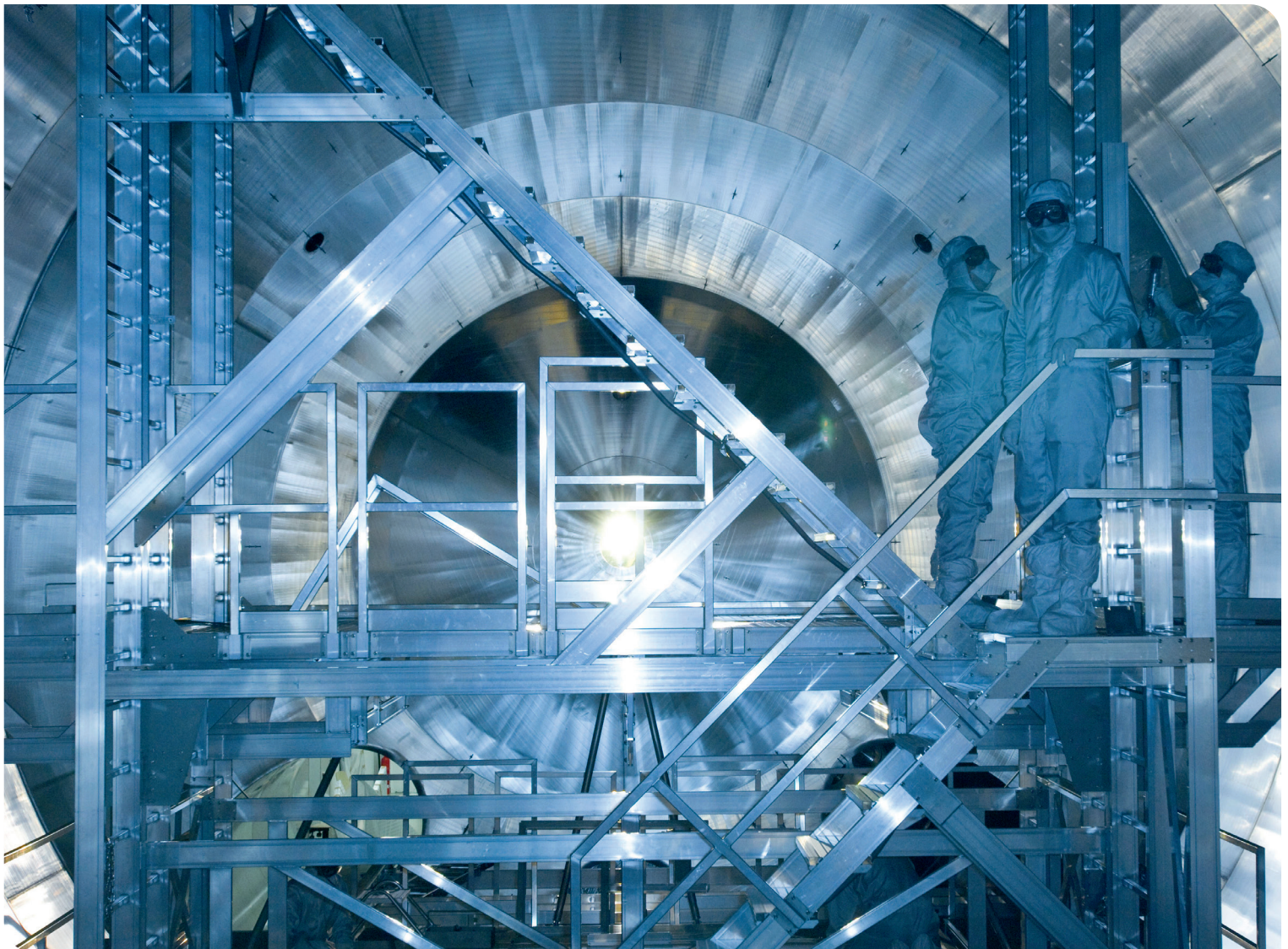


Fortschrittsbericht 2024

Textteil



Fortschrittsbericht des Karlsruher Instituts für Technologie

Textteil
für das Jahr 2024

A	Teil A: Programmatisch-inhaltliche Entwicklung des Zentrums	8
A.1	Entwicklungen auf Zentrumsebene	8
A.1.1	Übersicht zum Zentrum.....	8
A.1.2	Qualitative Beschreibung der Zentrumsentwicklung	15
A.1.2.1	Ziele des letzten Jahres und Zielerreichung	15
A.1.2.2	Herausragende wissenschaftliche Ergebnisse des Jahres	22
A.1.2.3	Besondere Vorkommnisse	24
A.1.2.4	Planungen des laufenden und des kommenden Jahres	43
A.1.2.5	Nachwuchsförderung	49
A.1.3	Strategische Zentrumsplanung	67
A.1.3.1	Mittel- und langfristige Strategie des Zentrums.....	67
A.1.3.2	Risikoanalyse	72
A.1.4	Entwicklung der Institute (Großforschungsaufgabe)	73
A.1.4.1	Bereich I – Biologie, Chemie und Verfahrenstechnik.....	73
A.1.4.1.1	Institut für Biologische Grenzflächen (IBG)	73
A.1.4.1.1.1	Teilinstitut für Biologische Grenzflächen 1 – Biomolekulare Mikro- und Nanostrukturen (IBG 1)	73
A.1.4.1.1.2	Teilinstitut für Biologische Grenzflächen – Molekulare Biophysik (IBG 2).....	76
A.1.4.1.1.3	Teilinstitut für Biologische Grenzflächen – Makromolekulare Materialien (IBG 3)	78
A.1.4.1.1.4	Teilinstitut für Biologische Grenzflächen – Magnetische Resonanz (IBG 4).....	79
A.1.4.1.1.5	Teilinstitut für Biologische Grenzflächen – Biotechnologie und Mikrobielle Genetik (IBG 5)	82
A.1.4.1.2	Institut für Funktionelle Grenzflächen (IFG)	84
A.1.4.1.3	Helmholtz-Institut Ulm (HIU)	86
A.1.4.1.4	Institut für Katalysatorforschung und -technologie (IKFT)	88
A.1.4.1.5	Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT)	91
A.1.4.1.6	Institut für Technische Chemie (ITC)	93
A.1.4.1.7	Institut für Biologische und Chemische Systeme (IBCS).....	95
A.1.4.1.7.1	Teilinstitut für Biologische Informationsprozessierung (IBCS-BIP).....	95
A.1.4.1.7.2	Teilinstitut für Funktionelle Molekulare Systeme (IBCS-FMS)	98
A.1.4.2	Bereich II – Informatik, Wirtschaft und Gesellschaft	100
A.1.4.2.1	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS).....	100
A.1.4.2.2	Scientific Computing Center (SCC)	103

A.1.4.2.3 KASTEL (Institut für Informationssicherheit und Verlässlichkeit)	106
A.1.4.2.3.1 Teilinstitut Entwicklung sicherer Systeme (KASTEL-ESS)	106
A.1.4.2.3.2 Teilinstitut Software Engineering für selbst-adaptive Systeme (KASTEL-SESAS)	108
A.1.4.2.3.3 Teilinstitut Verlässlichkeit autonomer dynamischer Systeme (KASTEL-VADS)	110
A.1.4.3 Bereich III – Maschinenbau und Elektrotechnik.....	112
A.1.4.3.1 Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI)	112
A.1.4.3.2 Institut für Angewandte Materialien (IAM)	115
A.1.4.3.2.1 Teilinstitut Angewandte Werkstoffphysik (IAM-AWP)	115
A.1.4.3.2.2 Teilinstitut Energiespeichersysteme (IAM-ESS).....	118
A.1.4.3.2.3 Teilinstitut Werkstoff- und Grenzflächenmechanik (IAM-MMI).....	120
A.1.4.3.2.4 Teilinstitut Werkstoffkunde (IAM-WK)	123
A.1.4.3.3 Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik (IHM)	124
A.1.4.3.4 Institut für Thermische Energietechnik und Sicherheit (ITES).....	126
A.1.4.3.5 Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT).....	128
A.1.4.3.6 Institut für Nukleare Entsorgung (INE)	131
A.1.4.3.7 Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik (INR)	134
A.1.4.3.8 Institut für Technische Physik (ITEP).....	136
A.1.4.4 Bereich IV – Natürliche und gebaute Umwelt.....	139
A.1.4.4.1 Institute for Advanced Membrane Technology (IAMT)	139
A.1.4.4.2 Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Aerosolforschung (IMKAAF)	141
A.1.4.4.3 Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Spurengase und Fernerkundung (IMKASF).....	143
A.1.4.4.4 Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Umweltforschung (IMKIFU)	146
A.1.4.4.5 Institut für Meteorologie und Klimaforschung Troposphärenforschung (IMKTRO)	148
A.1.4.4.5.1 Teilinstitut Troposphärische Messkampagnen und Modellentwicklung (IMKTRO-T)	148
A.1.4.5 Bereich V – Physik und Mathematik	151
A.1.4.5.1 Institut für Beschleunigerphysik und Technologie (IBPT)	151
A.1.4.5.2 Institut für Quantenmaterialien und -technologien (IQMT)...	153
A.1.4.5.3 Institut für Astroteilchenphysik (IAP)	155
A.1.4.5.4 Institut für Nanotechnologie (INT)	158
A.1.4.5.5 Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik (IPE) .	160
A.1.4.5.6 Institut für Photonenforschung und Synchrotronstrahlung (IPS).....	163
A.2 <i>Programmanteile des Zentrums (LK I und LK II)</i>	166
A.2.1 Überblick zu Helmholtz Energy	166
A.2.1.1 Bericht des Forschungsbereichskoordinators an den Senat	166
A.2.1.2 Rolle des Zentrums im Forschungsbereich	166

A.2.1.3 Programmanteil Energy System Design (ESD)	169
A.2.1.3.1 Das Programm im Überblick	169
A.2.1.3.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms	171
A.2.1.3.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen	173
A.2.1.3.4 Strategische Themen	182
A.2.1.3.5 Senatsempfehlungen	188
A.2.1.4 Programmanteil Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET)	188
A.2.1.4.1 Das Programm im Überblick	188
A.2.1.4.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms	190
A.2.1.4.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen	193
A.2.1.4.4 Strategische Themen	195
A.2.1.4.5 Senatsempfehlungen	198
A.2.1.5 Programmanteil Fusion	198
A.2.1.5.1 Das Programm im Überblick	198
A.2.1.5.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms	201
A.2.1.5.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen	202
A.2.1.5.4 Strategische Themen	202
A.2.1.5.5 Senatsempfehlungen	204
A.2.1.6 Programmanteil Nuclear Waste Management, Safety and Radiation Research (NUSAFE)	205
A.2.1.6.1 Das Programm im Überblick	205
A.2.1.6.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms	207
A.2.1.6.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsemp- fehlungen	208
A.2.1.6.4 Strategische Themen	210
A.2.1.6.5 Senatsempfehlungen	218
A.2.1.7 Strategische Initiativen	218
A.2.1.7.1 Energy Lab	218
A.2.1.7.2 Querschnittsthema: Bioeconomy meets Energy	220
A.2.1.7.3 GeoLaB	221
A.2.1.7.4 Innovationspool	222
A.2.1.7.5 Initiativen aus weiteren Pakt-Mitteln bis 2025	226
A.2.1.7.5.1 Zeitenwende Energieversorgungssicherheit	226
A.2.1.7.5.2 Innovationsplattform Solar TAP	229
A.2.2 Überblick zu Helmholtz Information	231
A.2.2.1 Bericht der Forschungsbereichskoordinatorin an den Senat	231
A.2.2.2 Rolle des Zentrums im Forschungsbereich	231
A.2.2.3 Programmanteil Engineering Digital Futures (EDF)	233
A.2.2.3.1 Das Programm im Überblick	233
A.2.2.3.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms	236
A.2.2.3.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen	239
A.2.2.3.4 Strategische Themen	240
A.2.2.3.5 Senatsempfehlungen	247

A.2.2.4 Programmanteil Natural, Artificial and Cognitive Information Processing (NACIP)	247
A.2.2.4.1 Das Programm im Überblick	247
A.2.2.4.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms	250
A.2.2.4.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen	251
A.2.2.4.4 Strategische Themen	253
A.2.2.4.5 Senatsempfehlungen	256
A.2.2.5 Programmanteil Materials System Engineering (MSE)	257
A.2.2.5.1 Das Programm im Überblick	257
A.2.2.5.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms	260
A.2.2.5.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen	261
A.2.2.5.4 Strategische Themen	264
A.2.2.5.5 Senatsempfehlungen	266
A.2.2.6 Strategische Initiativen	266
A.2.2.6.1 Inkubator-Plattformen	266
A.2.2.6.2 Helmholtz Foundation Model Initiative: SolAI	267
A.2.2.6.3 Innovationspool	268
A.2.2.6.4 Initiativen aus weiteren Pakt-Mitteln bis 2025	272
A.2.3 Überblick zu Helmholtz Matter	273
A.2.3.1 Bericht des Forschungsbereichskoordinators an den Senat	273
A.2.3.2 Rolle des Zentrums im Forschungsbereich	273
A.2.3.3 Programmanteil Matter and the Universe (MU)	277
A.2.3.3.1 Das Programm im Überblick	277
A.2.3.3.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms	280
A.2.3.3.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen	284
A.2.3.3.4 Strategische Themen	287
A.2.3.3.5 Senatsempfehlungen	290
A.2.3.4 Programmanteil From Matter to Materials and Life (MML)	290
A.2.3.4.1 Das Programm im Überblick	290
A.2.3.4.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms	292
A.2.3.4.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen	293
A.2.3.4.4 Strategische Themen	295
A.2.3.4.5 Senatsempfehlungen	296
A.2.3.5 Programmanteil Matter and Technologies (MT)	296
A.2.3.5.1 Das Programm im Überblick	296
A.2.3.5.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms	299
A.2.3.5.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen	300
A.2.3.5.4 Strategische Themen	301
A.2.3.5.5 Senatsempfehlungen	304
A.2.3.6 Nationale und Internationale Wissenschaftsinfrastruktur (Großgeräte der Leistungskategorie II)	305
A.2.3.7 Strategische Initiativen	306
A.2.3.7.1 Innovationspool	306
A.2.3.7.2 Initiativen aus weiteren Pakt-Mitteln bis 2025	309

A.2.4	Überblick zum Forschungsbereich Erde und Umwelt.....	311
A.2.4.1	Bericht der Forschungsbereichsordinatorin an den Senat	311
A.2.4.2	Rolle des Zentrums im Forschungsbereich	311
A.2.4.3	Programmanteil Changing Earth – Sustaining Our Future (CE)	312
A.2.4.3.1	Das Programm im Überblick.....	312
A.2.4.3.2	Wissenschaftliche Highlights des Programms	315
A.2.4.3.3	Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen.....	316
A.2.4.3.4	Strategische Themen	317
A.2.4.3.5	Senatsempfehlungen.....	321
A.2.4.4	Strategische Initiativen	321
A.2.4.4.1	Resilient Urban Spaces	321
A.2.4.4.2	Remote Sensing	322
A.2.4.4.3	Extremes	322
A.2.4.4.4	REKLIM.....	323
A.2.4.4.5	DataHub	323
A.2.4.4.6	Helmholtz Foundation Model Initiative: HClimRep	324
A.2.4.4.7	Innovationspool	325
A.2.4.4.8	Initiativen aus weiteren Pakt-Mitteln bis 2025	325
A.3	Programmungebundene Forschung.....	326
A.3.1	Zusätzliche Themen innerhalb von Programmen	326
A.3.2	Themen außerhalb von Programmen.....	326
A.4	Wissens- und Technologietransfer (LK III).....	327
A.4.1	Wissenstransfer	328
A.4.2	Technologietransfer	352
A.5	Bericht zu den besonderen Finanzierungsaufgaben	359
A.6	Infrastruktur (IK V-VII).....	360
A.6.1	Entwicklung des Zentrummanagements	362
A.6.2	Entwicklung der wissenschaftlichen Infrastruktur	377
A.6.3	Entwicklung des Basisbetriebs	380
A.7	Vollständige Publikationsliste	389

Anhang	390

A Teil A: Programmatisch-inhaltliche Entwicklung des Zentrums

A.1 Entwicklungen auf Zentrumsebene

A.1.1 Übersicht zum Zentrum

Das Karlsruher Institut für Technologie – Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) schafft und vermittelt Wissen für Gesellschaft und Umwelt und erbringt hierzu herausragende Leistungen von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung auf einer breiten disziplinären Basis in Natur-, Ingenieur-, Wirtschafts- sowie Geistes- und Sozialwissenschaften. Zu den globalen Herausforderungen der Gesellschaft leistet es maßgebliche Beiträge in den Feldern Energie, Mobilität und Information.

Mit rund 10.100 Mitarbeitenden, davon rund 5.900 in Wissenschaft und Lehre, sowie insgesamt 22.763 Studierenden ist das KIT eine große Wissenschaftseinrichtung, die einen Spitzenplatz in Europa einnimmt. Das KIT bereitet seine Studierenden mithilfe eines forschungsorientierten universitären Studiums auf verantwortungsvolle Aufgaben in Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft vor und schlägt mit transdisziplinärer und praxisorientierter Forschung und Lehre die Brücke zwischen Erkenntnis und Anwendung zum gesellschaftlichen Nutzen, wirtschaftlichen Wohlstand und Erhalt unserer natürlichen Lebensgrundlagen.

Als „Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft“ schöpft das KIT sein Synergiepotenzial voll aus, das durch die Zusammenführung der Aufgaben einer nationalen Großforschung und denen einer Landesuniversität entsteht. Zur Erfüllung seiner drei Kernaufgaben Forschung, Lehre und Innovation gliedert sich das KIT in fünf disziplinäre Bereiche und ordnet ihnen seine 121 Institute organisatorisch zu: (I) Biologie, Chemie und Verfahrenstechnik; (II) Informatik, Wirtschaft und Gesellschaft; (III) Maschinenbau und Elektrotechnik; (IV) Natürliche und gebaute Umwelt; (V) Physik und Mathematik. Die Lehre wird in den KIT-Fakultäten organisiert, die programmorientierte Forschung in den Helmholtz-Programmen. Auch die Querschnittsaufgaben Internationalisierung, Digitalisierung und Nachhaltigkeit sind im Präsidium und im KIT breit verankert und aktiv gelebt. Übergreifende Wissenschafts- und Dienstleistungsaufgaben werden von zentralen wissenschaftlichen Einrichtungen wahrgenommen, die direkt dem Präsidenten bzw. der Vizepräsidentin und den Vizepräsidenten zugeordnet sind. Eine moderne Administration, organisiert in Service- und Dienstleistungseinheiten, Stabsstellen, zentralen wissenschaftlichen und Betriebseinrichtungen sowie in nicht akademischen Wahlämtern, unterstützt die Wissenschaft bei der Erfüllung ihrer Kernaufgaben.

Forschen am KIT – Wissenschaftliche Exzellenz und gesellschaftliche Relevanz

Forschung ist eine zentrale Aufgabe des KIT, die dem Erkenntnisgewinn ebenso verpflichtet ist wie der Herausforderung, wesentliche Beiträge für die Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft und den Erhalt unserer natürlichen Lebensgrundlagen zu leisten. Das KIT verfolgt eine

Forschungsstrategie, die darauf abzielt, die nationale und internationale Sichtbarkeit des KIT durch ein attraktives und überzeugendes Forschungsprofil zu stärken und somit die Anziehungskraft auf Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der ganzen Welt und in jeder Karrierephase zu erhöhen. Dabei ist das Leitkriterium der Forschungsstrategie höchste wissenschaftliche Leistungsfähigkeit. Sowohl Profilbildung als auch Profilschärfung werden an diesem Kriterium gemessen. Die Stärke der Forschung des KIT gründet nicht zuletzt in der gleichrangigen und verschränkenden Kompetenz in erkenntnis- und anwendungsorientierter Forschung des KIT als einzige deutsche Exzellenzuniversität mit nationaler Großforschung. Die Bereiche verkörpern mit ihren Instituten und KIT-Fakultäten die disziplinär orientierte Ausprägung des Forschungs- und Lehrprofils, wohingegen die KIT-Zentren als inter- und zunehmend auch transdisziplinäre Dialogplattformen für die disziplinübergreifende Themenorientierung stehen. Die den Bereichen zugeordneten thematisch orientierten Helmholtz-Programme haben vernetzende Funktion im KIT und auch mit den anderen Helmholtz-Zentren. Durch herausragende Kompetenzen in der anwendungs- wie erkenntnisorientierten Forschung sowie einzigartige Forschungsinfrastrukturen ist das KIT prädestiniert, in den Natur- und Ingenieurwissenschaften eine führende nationale und eine sehr sichtbare internationale Position einzunehmen. Die dynamische Weiterentwicklung von Profilbildung und Profilschärfung folgt einerseits dem Grundsatz, leistungsfähige Elemente des Forschungsprofils auszuweiten und noch sichtbarer zu machen. Andererseits werden vielversprechende, zukunftsweisende Felder erschlossen.

Studieren am KIT – Forschungsorientiert lehren und forschend lernen

Das KIT begreift sich in seinen universitären Aufgaben als Forschungsuniversität und orientiert sich konsequent am Prinzip der Einheit von Forschung und Lehre. Die Forschung ist gemäß der didaktischen Grundidee des KIT – forschungsorientiert lehren und forschend lernen – die wichtigste Basis der Lehre. Das Hauptgewicht liegt traditionell in den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik).

Aufgrund seiner deutschlandweit einzigartigen Konstruktion als „Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft“ steht das KIT für eine forschungs- und studierendenorientierte Lehr- und Lernkultur und stellt so beste forschungsnahe Studienbedingungen mit optimalen Betreuungsverhältnissen für seine Studierenden sicher. So sind die Studierenden am Ende ihres Studiums darauf vorbereitet, verantwortungsvolle Tätigkeiten in Wirtschaft, Wissenschaft und öffentlicher Verwaltung zu übernehmen, in einer globalisierten und medial vernetzten Welt zu agieren und nachhaltige Lösungen mit Hilfe wissenschaftlicher Methoden zu entwickeln.

Innovation und Transfer am KIT – Für die Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft und Wirtschaft

Die Fähigkeit zur Innovation ist entscheidend für die Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft. Für das KIT sind Innovation und Transfer in besonderem Maße eine gesellschaftliche Aufgabe, um Antworten auf zentrale gesellschaftliche Fragen geben zu können und neben Forschung und Lehre zugleich eine gesetzlich verankerte Kernaufgabe.

Innovation und Transfer sind als Glied in der wissenschaftlichen Wertschöpfungskette eng mit Forschung und Lehre verknüpft. Die Überführung von Erkenntnissen in die Anwendung als Grundprinzip der Innovation bzw. transdisziplinäre Forschung zusammen mit der Praxis sollen alle Mitglieder und Angehörigen des KIT als ihren Beitrag zum gesellschaftlichen Auftrag des

KIT begreifen. Mit der Umsetzung von Ideen, Konzepten und Erfindungen zum nachhaltigen Nutzen für die Wirtschaft (technische Innovationen) und Gesellschaft (soziale Innovationen) und deren Verknüpfung zu systemischen Lösungen tragen Innovationen zur Verbesserung der Lebensqualität und Wettbewerbsfähigkeit bei. Viele Innovationen des KIT adressieren die drängenden Herausforderungen der Gesellschaft – seien es Batterien für Elektromobilität oder die Supraleiter für den verlustfreien Stromtransport.

Mit seiner Ausrichtung in Forschung, Lehre und Innovation sieht sich das KIT im Einklang mit der Zukunftsstrategie der Bundesregierung und der Fortschreibung des Pakts für Forschung und Innovation des Bundes, der Länder und der Wissenschaftsorganisationen, die auf eine immer stärkere Vernetzung zwischen exzellenter (Aus-)bildung und Grundlagenforschung sowie anwendungsorientierter Forschung in Wissenschaft und Industrie zielen.

Das KIT begreift zudem den Technologie- und Wissenstransfer sowie transdisziplinäres Forschen z.B. in Reallaboren als übergreifendes Handlungsfeld, in dem es Forschung, Lehre und Innovation durch Kommunikation, Beratung und Anwendung mit der Gesellschaft, d.h. Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft, verknüpft. Das KIT zielt mit diesem weitgefassten Transfer, der so in dem 2022 durch den Aufsichtsrat verabschiedeten Handlungsfeld Transfer beschrieben ist, auf die Verfügbarmachung von am KIT erarbeiteten Ideen, Wissen, Erfahrungen, Prozessen und Aus- sowie Weiterbildungsangeboten. Die Aufnahme gesellschaftlicher Entwicklungen, Anregungen, Bedürfnisse und Befürchtungen sowie deren Berücksichtigung in der weiteren Entwicklung der Kernaufgaben Forschung, Lehre und Innovation ist dabei ein zentrales Anliegen.

(Zur Weiterentwicklung des Transfers im KIT im Berichtsjahr siehe Kap. A.4.)

Arbeiten am KIT – Orientierung an Mensch und Mission

Qualifizierte und motivierte Beschäftigte sind die wichtigste Ressource für den Erfolg des KIT. Demzufolge sind eine transparente und verantwortliche Personalplanung, -förderung und -gewinnung sowie ein von gegenseitigem Respekt, Kooperation und Subsidiarität geprägtes Miteinander die Grundpfeiler der Arbeit am KIT.

Nach innen und außen strebt das KIT nach Transparenz, Verlässlichkeit und vertrauensvollem Miteinander. Die Beachtung des Gleichbehandlungsgrundsatzes in jeglicher Dimension von Chancengleichheit von Männern und Frauen und Diversität sind dem KIT ein besonderes Anliegen. Als ein Grundstein für die Verwirklichung der Chancengleichheit gilt die optimale Vereinbarkeit von Beruf und Familie. In diesem Kontext hat das KIT die Charta „Familie in der Hochschule“ unterzeichnet. Es wird das Ziel verfolgt, die Vereinbarkeit von Studium, Beruf und Wissenschaft mit Familienaufgaben weiter in der Organisation zu verankern und weiterzuentwickeln.

Das KIT begreift ein inspirierendes Arbeitsumfeld sowie die kulturelle Vielfalt seiner Forschenden, Lehrenden und Studierenden als Bereicherung und unterstützt die Integration seiner internationalen Mitglieder nicht nur auf Basis der persönlichen Kompetenzen der handelnden Personen, sondern auch durch institutionelles Engagement und Angebote bei der Gestaltung des Wissenschaftsbetriebs. Um Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auch für internationale Karrieren zu rüsten, werden die Karrierewege am KIT auch mit dem internationalen Wissenschaftssystem kompatibel gestaltet und weiterführende Positionen im offenen internationalen Wettbewerb besetzt.

Daten und Fakten

Zentrale Gremien des KIT

Vorstand/Präsidium

Das Präsidium leitet als Vorstand das KIT kollegial. Dem Präsidium gehören hauptamtlich an (1) der Präsident als Vorstandsvorsitzender, (2) ein Präsidiumsmitglied für Forschung, (3) ein Präsidiumsmitglied für Lehre und akademische Angelegenheiten, (4) ein Präsidiumsmitglied für Transfer und Internationales, (5) ein Präsidiumsmitglied für Digitalisierung und Nachhaltigkeit sowie (6) ein Präsidiumsmitglied für Finanzen, Personal und Infrastruktur.

Der Präsident hat die Richtlinienkompetenz.

Aufsichtsrat

Der Aufsichtsrat des KIT besteht aus elf Mitgliedern, die von der Wissenschaftsministerin des Landes Baden-Württemberg bestellt werden. Bund und Land benennen jeweils eine Vertreterin oder einen Vertreter als ständiges Mitglied.

KIT-Senat

Dem KIT-Senat gehören neben dem Präsidium eine Bereichsleitung, eine Chancengleichheitsbeauftragte, eine Vertreterin bzw. ein Vertreter aus dem Personalrat sowie gewählte Vertreterinnen und Vertreter der verschiedenen Mitgliedergruppen aus der Universitätsaufgabe (UA) und aus der Großforschungsaufgabe (GFA) des KIT an. Den Vorsitz hat der Präsident des KIT inne.

Institute des KIT

121 Institute sind in den fünf disziplinär gebildeten Bereichen organisiert:

Bereich I – Biologie, Chemie und Verfahrenstechnik (20 Institute, 69 Professorinnen und Professoren sowie leitende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler),

Bereichsleiterin: Prof. Dr. Andrea Robitzki;

Bereich II – Informatik, Wirtschaft und Gesellschaft (26 Institute, 110 Professorinnen und Professoren sowie leitende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler),

Bereichsleiter: Prof. Dr. Michael Decker;

Bereich III – Maschinenbau und Elektrotechnik (32 Institute, 76 Professorinnen und Professoren sowie leitende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler),

Bereichsleiter: Prof. h.c. Dr. Joachim Knebel;

Bereich IV – Natürliche und gebaute Umwelt (23 Institute, 73 Professorinnen und Professoren sowie leitende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler),

Bereichsleiter: Prof. Dr. Johannes Orphal;

Bereich V – Physik und Mathematik (20 Institute und 77 Professorinnen und Professoren sowie leitende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler),

Bereichsleiter: Prof. Dr. Marc Weber.

Daten 2024

Budget KIT Gesamt (Planzahl laut Wirtschaftsplan 2024):

1.093 Mio. Euro (davon grundfinanziert 722 Mio. Euro)

Budget Großforschungsaufgabe (Planzahl laut Wirtschaftsplan 2024):

557 Mio. Euro (davon grundfinanziert 397 Mio. Euro)

Anzahl Mitarbeitende KIT Gesamt:

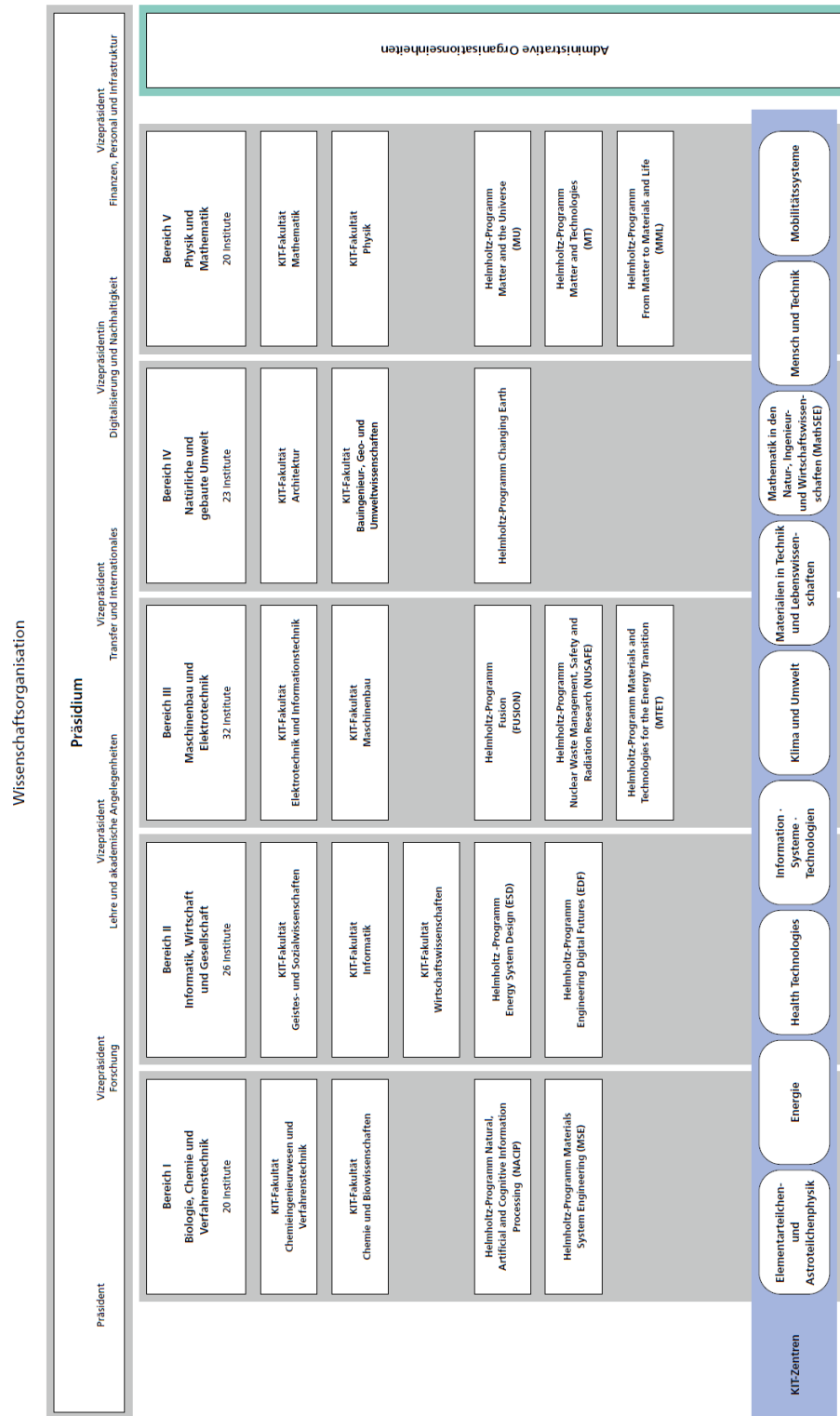
10.107

Anzahl Mitarbeitende Großforschungsaufgabe:

4.660

Organigramme

Organigramm der Wissenschaftsorganisation



Die Helmholtz-Programme sind der Bereichsleiterin / den Bereichsleitern zugeordnet. Die Bearbeitung erfolgt bereichsübergreifend.

KIT
Karlsruher Institut für Technologie

Aufbauorganisation

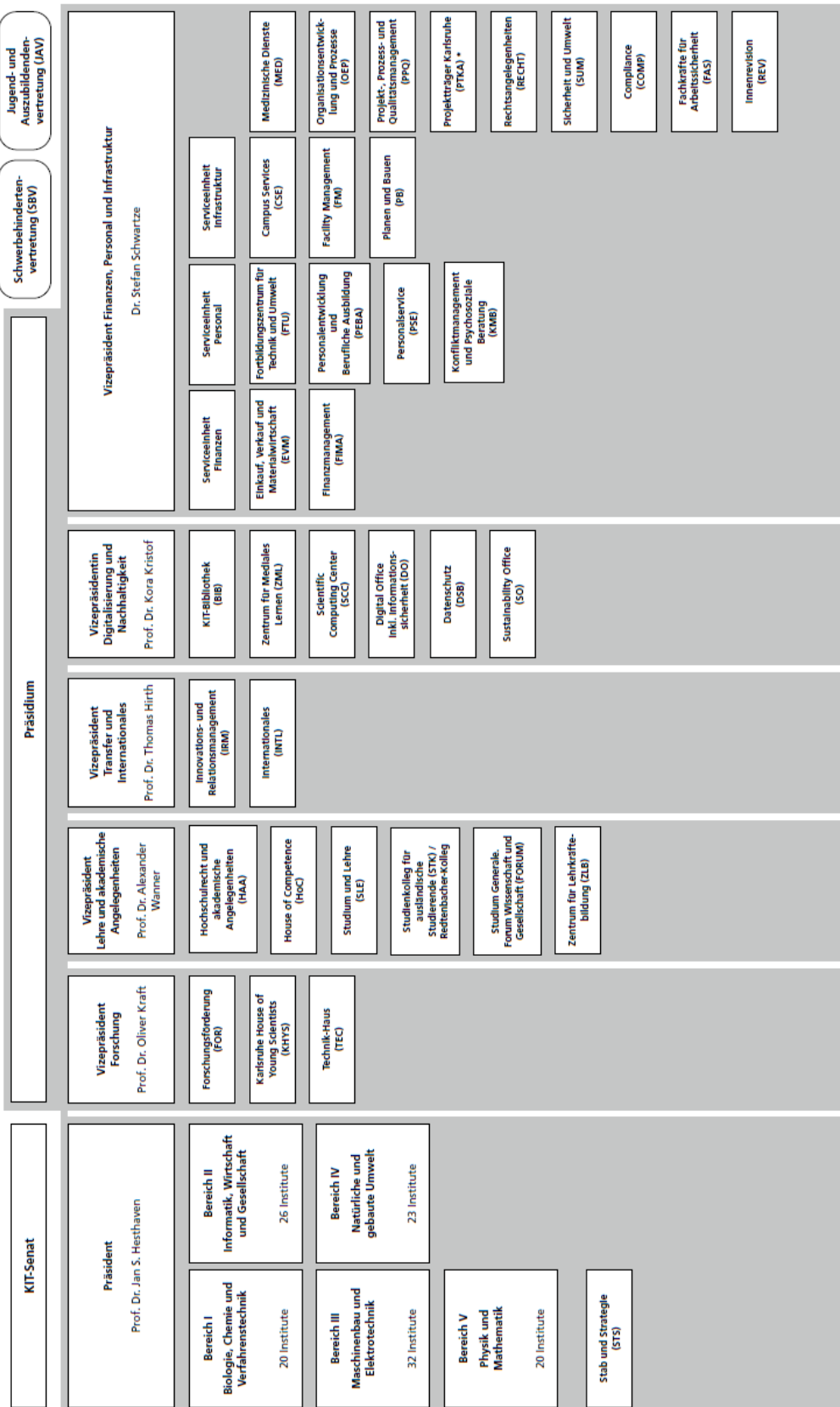
Aufsichtsrat

Chancengleichheits-
beauftragte (CHG)

Personalrat (PR)

Schwerbehinderten-

Jugend- und Auszubildenden-



- * keine fachliche Weisung durch das Präsidium des KIT

A.1.2 Qualitative Beschreibung der Zentrumsentwicklung

A.1.2.1 Ziele des letzten Jahres und Zielerreichung

Organisationsstruktur des KIT

Seit 1. Oktober 2024 ist Prof. Dr. Jan S. Hesthaven als Präsident des KIT im Amt. Er übernahm die Amtsgeschäfte von Prof. Dr. Oliver Kraft, Vizepräsident Forschung des KIT, der in der Interimsphase zwischen August 2023 und September 2024 die Amtsgeschäfte nach innen und außen in Vertretung des Präsidenten des KIT wahrgenommen hatte.

Zum 1. September 2024 trat Dr. Stefan Schwartze sein Amt als Vizepräsident des KIT für das Ressort Finanzen, Personal und Infrastruktur als Nachfolger von Michael Ganß an, der zum 31. Juli 2024 in den Ruhestand ging. Prof. Dr. Jan S. Hesthaven und Dr. Stefan Schwartze wurden am 23. Januar 2024 vom Aufsichtsrat des KIT gewählt und am 19. Februar 2024 vom KIT-Senat jeweils für eine Amtszeit von sechs Jahren bestätigt. (s. Kapitel A.1.2.3, Unterpunkt „Weiterentwicklung des KIT und wichtige Ereignisse“, unten).

Der Bereichsrat des Bereichs I – Biologie, Chemie und Verfahrenstechnik wählte am 3. September 2024 einstimmig Prof. Dr. Andrea Robitzki als Bereichsleiterin für eine zweite Amtszeit, die am 17. Februar 2025 beginnt.

Aus Anlass der zum 1. Juni 2025 endenden Amtszeit von Prof. Dr. Alexander Wanner, dem Vizepräsidenten Lehre und akademische Angelegenheiten, und seiner Entscheidung, nicht für eine weitere Amtszeit zur Verfügung zu stehen, wurde die Diskussion einer Weiterentwicklung der Präsidiumsstruktur am KIT angestoßen. Als Ergebnis dieses Prozesses wurde die Zusammenlegung der beiden derzeitigen Ressorts „Forschung“ und „Lehre und akademische Angelegenheiten“ zu einem Ressort „Forschung, Lehre und akademische Angelegenheiten“ (deutsche Bezeichnung) bzw. „Academic Affairs“ (englische Bezeichnung) am 4. Dezember 2024 vom Aufsichtsrat des KIT beschlossen. Die Anzahl der Präsidiumspositionen verringert sich damit auf fünf. Ziel der Weiterentwicklung ist es, die Potenziale des KIT durch eine integrierte Betrachtung, Verschränkung und gegenseitige Befruchtung von (Groß-)Forschung und Lehre noch stärker zu heben.

Zum 1. Januar 2024 wurden darüber hinaus folgende Änderungen in der Organisationsstruktur des KIT wirksam: Neu gegründet wurden das Institut für Statistik (STAT) sowie das Teilinstitut Software Engineering für selbstadaptive Systeme (KASTEL-SESAS) am Institut KASTEL – Institut für Informationssicherheit und Verlässlichkeit. Ebenfalls zu berichten ist die Neugründung des Instituts für Wasser und Umwelt (IWU). Alle Organisationseinheiten des Instituts für Hydromechanik (IFH) und des Instituts für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) wurden in das IWU integriert. Das IFH und das IWG wurden in der Folge aufgelöst. Die Teilinstitute des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung wurden zu den folgenden selbstständigen Instituten umstrukturiert: Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Aerosolforschung (IMKAAF), Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Spurengase und Fernerkundung (IMKASF), Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Umweltforschung (IMKIFU) sowie Institut für Meteorologie und Klimaforschung Troposphärenforschung (IMKTRO), bestehend aus dem Teilinstitut Troposphärische Messkampagnen und Modellentwicklung (IMKTRO-T) und Organisationseinheiten der Professorinnen und Professoren des ehemaligen IMK-TRO.

Das Informationstechnologie-Zentrum des KIT wurde zum 1. Januar 2024 umbenannt in „Scientific Computing Center (SCC)“ (s. Kap. 1.2.3 „Besondere Vorkommnisse“, Unterpunkt „Weiterentwicklung des KIT und wichtige Ereignisse“). Außerdem wurde mit Wirkung zum 1. Januar 2024 das Digital Office (DO) inklusive Informationssicherheit (ISB) als Stabsstelle direkt an die Vizepräsidentin Digitalisierung und Nachhaltigkeit, Prof. Dr. Kora Kristof, angebunden. Die Leitung übernahm Dr. Alexander Haas. Die Dienstleistungseinheit Allgemeine Services wurde zum 1. Februar 2024 in Campus Services (CSE) umbenannt. Mit Wirkung zum 1. Oktober 2024 wurde das Zentrum für Angewandte Kulturwissenschaft und Studium Generale (ZAK) in „Studium Generale. Forum Wissenschaft und Gesellschaft“ (FORUM) umbenannt. Zum 1. Januar 2025 wird am KIT das Institut für Wirtschaftsinformatik (WIN) gegründet. Das Institut für Wirtschaftsinformatik und Marketing (IISM) wird in Institute for Customer Insights (CIN) umbenannt, während das Institut für Wissenschaftliches Rechnen und Mathematische Modellbildung (IWRMM) aufgelöst wird.

Dachstrategie KIT 2025

Die Amtsantritte des neuen Präsidenten und des neuen Vizepräsidenten Finanzen, Personal und Infrastruktur im 2. Halbjahr 2024 fielen zusammen mit dem zunehmenden Abschluss der Projekte aus der Dachstrategie mit Zeithorizont 2025.

Die Konzentration im Jahr 2024 lag daher auf wenigen, aber dafür intensiv diskutierten Projekten insbesondere im Handlungsfeld Forschung.

Aufbauend auf den Ergebnissen des Projektes „Etablierung eines kontinuierlichen Strategieprozesses Forschung“ wurde der Fachstrategieprozess Forschung mit zwei weiteren ausgewählten Themen fortgeführt. Ziele sind die intensive Auseinandersetzung mit Zukunftsthemen von wesentlicher Bedeutung für Forschung, Lehre und Innovation des KIT, Schaffung von neuen Synergieeffekten durch vertieftes Zusammenwirken der Universitäts- und Großforschungsaufgabe und Identifikation von Themen mit hoher Relevanz.

Im Rahmen der Exzellenzstrategie wurden 2024 SWOT-Analysen im Kontext des ExU-Monitorings in mehreren Leistungsdimensionen erarbeitet als Basis für den geforderten Selbstbericht. Im Hinblick auf die ExU II wurden strategische Eckpfeiler definiert, mögliche Szenarien, Ziele und daraus abgeleitete inhaltliche Schwerpunkte mit den dazugehörigen Vorhaben entwickelt. Hierzu gehört das ExU-Projekt „Research Foci und Emerging Fields“ über profilbildende Forschungsschwerpunkte, die bereits eine internationale Spitzenstellung erreicht haben (Research Foci), im Aufbau befindliche Potenzialbereiche in der Forschung (Emerging Fields) sowie mögliche Erweiterungen und Änderungen im Hinblick auf den neuen Antrag.

Aus dem Ressort Finanzen, Personal und Infrastruktur wurde das Projekt „Aufbau eines Controllings von nicht-wissenschaftlichen Aufgaben in den direkt an PS-Mitglieder oder eine Serviceeinheit angebundenen OEs des KIT“ fortgeführt, ab September unter Leitung des neuen Vizepräsidenten Dr. Stefan Schwartze.

Im Projekt „Ausgestaltung der Transferstrategie“ wurden Ziele und Maßnahmen zum Wissenstransfer erarbeitet einschließlich eines geeigneten Monitoringsystems für die Transferleistungen.

Die Ziele des ebenfalls bereits 2023 gestarteten Folgeprojekts New Work, Steigerung der Arbeitgeberattraktivität, Flexibilisierung von Arbeitszeit und -ort, Flächenoptimierung, Weiterentwicklung Führungskräfte und Kulturwandel, wurden in verschiedenen Arbeitspaketen weiter bearbeitet. Anfang Juli 2024 konnte gemeinsam mit dem Personalrat eine neue Dienstvereinbarung zur mobilen Arbeit und Desk-Sharing verabschiedet werden.

In den Handlungsfeldern Digitalisierung und Nachhaltigkeit jeweils mit Zeithorizont 2030 wurden 2024 zwei wesentliche Projekte initiiert: Das „Schnittstellenprojekt Digitalisierung und Nachhaltigkeit“ soll die relevanten Potenziale an der Schnittstelle Digitalisierung und Nachhaltigkeit für die Kernaufgaben des KIT Forschung, Lehre und Innovation sowie KIT-intern identifizieren und konkrete Pilotvorhaben konzipieren. Das Projekt zur Neuausrichtung der Governancestruktur für die Digitalisierung zielt auf eine effektivere Struktur, verbesserte Kommunikation und Partizipation sowie schlankere Prozesse. Darüber hinaus wurden im „Basisprojekt Nachhaltigkeit“, das für das Handlungsfeld „Nachhaltigkeit“ zentral ist und im Jahr 2023 mit einem breiten Beteiligungsprozess mit Arbeitspaketen zu Forschung, Lehre, Transfer und Innovation sowie dem KIT als Organisation gestartet wurde, im Arbeitspaket Forschung die Themencluster entwickelt, priorisiert und mögliche Umsetzungswege diskutiert und schließlich umgesetzt.

Exzellenzstrategie

Exzellenzstrategie – Exzellenzuniversität

Die Ziele des Antrags Exzellenzuniversität umfassen: 1) Leistungsfähigkeit und Agilität in der Spitzenforschung erhöhen, 2) Bewusstsein für Verantwortung ausprägen, 3) Attraktivität für den exzellenten wissenschaftlichen Nachwuchs steigern und 4) Institutionellen Kulturwandel auf Basis der Dachstrategie KIT 2025 fördern.

Herausragende Forschungspersönlichkeiten in international führenden Themenfeldern zu gewinnen, gehört zu den besonderen Erfolgen des KIT. Im Herbst 2024 warb das KIT eine weitere Alexander von Humboldt-Professur ein und damit die dritte AvH-Professur seit 2020. Prof. Dr. Christopher Barner-Kowollik wird 2025 als Direktor des Instituts für Funktionelle Grenzflächen an das KIT berufen.

In den beiden Reallaboren „Autonomes Fahren“ und „Digitale Barrierefreiheit und Assistenzsysteme für Menschen mit Einschränkungen“ erprobt das KIT den Transfer in die und aus der Gesellschaft. Im Reallabor „Digitale Barrierefreiheit“ konnten im Jahr 2024 Projekte mit zwei Karlsruher Museen initiiert werden.

Auch 2024 konnten junge wissenschaftliche Spitzenkräfte rekrutiert und an das KIT gebunden werden. Das KIT setzt dabei auf breit gefächerte und zielgruppenspezifische Angebote. Insbesondere mit dem Young Investigator Group Preparation Program und der Tenure-Track-Professur konnte das KIT seine Attraktivität für junge Spitzenforschende steigern. Ein weiterer zentraler Aspekt in dieser Hinsicht sind Planbarkeit und Transparenz der Karrierewege, bei dem das KIT auch 2024 weitere Maßnahmen zur Verbesserung realisiert hat. So ist die Nachfrage nach Veranstaltungen, die über das Young Investigator Network (YIN), das Karlsruhe House of Young Scientists (KHYS) und die strukturierten Promotionsprogramme angeboten werden, nach wie vor sehr rege, und die Teilnehmenden drücken eine hohe Zufriedenheit aus. Die Auseinandersetzung mit Fragen des verantwortungsvollen Forschens und Handelns steht bei der Academy for Responsible Research, Teaching and Innovation (ARRTI) im Vordergrund. Wie in den vorherigen Jahren führte die ARRTI auch 2024 zahlreiche Veranstaltungen für Studierende, Lehrende und Forschende zur Förderung der *ethical literacy* durch. In der Forschung ist die Bewilligung des BMBF-Projekts „Militärische Rüstungstechnologien und Ethik“ in Kooperation mit der TU Hamburg ein Erfolg, während die zunehmende strukturelle Integration von *ethical literacy* in gesamte Studiengänge in der Lehre ein weiterer Meilenstein ist.

Das Vorhaben International Excellence Grants nimmt am KIT in besonderer Weise die Förderung von Internationalität und Interkulturalität in den Blick. Mit der Verleihung des International Excellence Award of KIT – und dem damit verbundenen Fellowship of SCHROFF Foundation – kürt das KIT eine international renommierte Wissenschaftspersönlichkeit aus dem Ausland für ihr Wirken und lädt sie zur Durchführung eines selbst gewählten Forschungsvorhabens an das KIT ein. 2024 ging der Preis an Dr. Chris Funk, Direktor des Climate Hazard Center an der University of California in Santa Barbara. Im Berichtsjahr 2024 wurden zudem insgesamt 22 Forschende zur Förderung in der inzwischen bewährten Förderlinie International Excellence Fellowships ausgewählt, darunter acht Wissenschaftlerinnen.

Exzellenzstrategie – Exzellenzcluster

Im hochkompetitiven Exzellenzcluster-Wettbewerb wurde im zweistufigen Verfahren bezüglich der Antragsskizzen am 2. Februar 2024 die Entscheidung verkündet. Neben den Fortsetzungsanträgen für die beiden bestehenden Exzellenzcluster darf das KIT einen neuen Vollantrag stellen. Fristgerecht zum 22. August 2024 hat das KIT die Fortsetzungsanträge zu dreidimensionalen additiven Fertigungstechniken „3D Matter Made to Order“ und zur Batterieforschung „Post Lithium Storage“ eingereicht wie auch den Neuantrag „Chemically Designed Quantum Architectures“, der die Entwicklung chemischer Plattformen für hochpräzise Quantenarchitekturen zum Aufbau von Materialstrukturen für künftige Quantentechnologien zum Ziel hat. Mit Antragstellende Universitäten sind – in unterschiedlichen Konstellationen – die Universitäten Heidelberg, Stuttgart, Ulm und Gießen.

Vierte Phase der Programmorientierten Förderung (PoF IV)

In der vierten Phase der programmorientierten Förderung (PoF IV) der Helmholtz-Gemeinschaft, die für alle Forschungsbereiche von 2021 bis 2027 läuft, beteiligt sich das KIT an allen elf Forschungsprogrammen der vier Forschungsbereiche Erde und Umwelt, Helmholtz Energy, Helmholtz Information und Helmholtz Matter. Als Forschungsgroßgerät der Leistungskategorie II betreibt das KIT zudem das Grid-Computing-Zentrum Karlsruhe (GridKa), eines der Tier1-Rechen- und Datenzentren für die Datenspeicherung und -prozessierung der LHC-Experimente an der Europäischen Organisation für Kernforschung CERN. Im Berichtsjahr wurden – wie das für Helmholtz Energy im Jahr 2023 der Fall war – zwei weitere Forschungsbereiche umbenannt: Helmholtz Information und Helmholtz Matter.

Helmholtz Energy: Das KIT hat im Berichtsjahr seine weitere Aufstellung und inhaltliche Planung für die Helmholtz-Energieforschung konsolidiert. Neben Wasserstoff, Negativemissionen und ganzheitlichem Energiesystem wurden für die PoF V als zentrale strategische Forschungsthemen auch Geoenergie, Photovoltaik, Power-to-X und Fusionsforschung identifiziert und weiterentwickelt. Es wurde auch die Fortführung der Reaktorsicherheitsforschung im Programm NUSAFE beschlossen. Die Kreislaufwirtschaft als gemeinsame Herausforderung im Forschungsbereich wird in alle künftigen Vorhaben hineinspielen. Ein wichtiger Erfolg für das KIT war im Jahr 2024 die Bewilligung der Infrastruktur „High Power Grid Lab“ (HPGL) im Helmholtz-Investitionsverfahren. Das HPGL wird das Energy Lab um zukunftsweisende Möglichkeiten erweitern und die Energieforschung des KIT noch sichtbarer machen.

Helmholtz Information: In Helmholtz Information wurde die Weiterentwicklung der Priorisierten Infrastrukturen KCOP, KNMFi und HSS zu einer gemeinsam betriebenen Forschungsinfrastruktur vorangetrieben. Das über den Europäischen Forschungsrat (ERC) mit 14 Mio. Euro geförderte Projekt „Active hybrid Photonic Integrated Circuits for Ultra-Efficient

Electro-Optic Conversion and Signal Processing“ (ATHENS) hat das Ziel, optische Kommunikationssysteme über die Entwicklung hybrider Materialien leistungsfähiger und energieeffizienter zu machen. Dies ist besonders angesichts steigender Anforderungen an die Übertragung großer Datenmengen durch Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz (KI) relevant. Damit geht das KIT einen weiteren Schritt, um sich den Herausforderungen der Digitalisierung und KI-Forschung zu stellen. Die Kerninformatik, die durch Paktmittel im Projekt „Helmholtz Core Informatics Research at KIT (HeCI)“ mit 10 Mio. Euro finanziert wird, soll langfristig in der Programmforschung integriert werden und dadurch Beiträge zur digitalen Souveränität leisten sowie durch eine Querschnittsfunktion, z.B. in der künstlichen Intelligenz und dem Research Software Engineering in anderen Programmen unterstützen. Hierfür wurden im Berichtsjahr bereits diese Aktivitäten als Thema in der Programmatik der PoF V eingeplant. Die bereits jetzt stattgefundenen Arbeiten werden im Rahmen der wissenschaftlichen Begutachtung im Jahr 2025 am KIT bewertet, und im Anschluss wird über eine Verstetigung entschieden.

Helmholtz Matter: Der im Jahr 2024 neu geförderte ERC Advanced Grant „Gravitational Wave Detectors Cooled with Superfluid Helium“ (GRAVITHELIUM) mit knapp 3,4 Mio. Euro (Prof. Dr.-Ing. Steffen Grohmann) unterstützt die Forschungen im Programm Matter and the Universe (MU) bei der Entwicklung von Schlüsseltechnologien in der Astrophysik und stellt einen wichtigen Baustein in Vorbereitung auf das europäische Großprojekt, den Gravitationswellendetektor „Einstein-Teleskop“, dar. In der Technologieentwicklung an Observatorien in der Multi-Messenger-Astroteilchenphysik konnte das KIT im Berichtsjahr wesentliche Beiträge leisten. Energieeffizienz und andere Aspekte der Nachhaltigkeit standen dabei ebenso im Fokus: So konnten am Karlsruhe Research Accelerator (KARA) im energieeffizienten Betrieb deutliche Einsparungen von ca. 30 % erzielt werden. Im Programm Matter and Technologies (MT) wurde die Detektorentwicklung von kompakten Mini-Beschleunigern der nächsten Generation vorangetrieben (Next-Generation (Laser-Plasma Electron) Accelerators, Compact Light Sources) und somit auch das neue Themenfeld Health Technologies am KIT gestärkt. Im Programm From Matter to Materials and Life (MML) wurden Forschungen zu hochauflösenden *in vivo* und zeitaufgelösten Bildgebungsstudien vertieft, z.B. zur Morphodynamik bei Insekten oder zur Embryogenese bei Wirbeltiermodellorganismen.

Forschungsbereich Erde und Umwelt: Das KIT ist in zwei Topics an dem Helmholtz-Programm Changing Earth – Sustaining our Future (CE) im Forschungsbereich Erde und Umwelt vertreten. Dabei ist das KIT für das Topic „Die Atmosphäre im globalen Wandel“ federführend und zu einem kleinen Teil auch im Topic „Nachhaltige Bioökonomie – Naturpotenziale nutzbar machen“ vertreten. Die Klimaforschung im Forschungsbereich Erde und Umwelt wurde in Bezug auf die Analyse von großen Datenmengen durch die Einbindung in die Projekte „Digital Earth“ und „Earth System Modelling“ gestärkt. Diese sind in die Aktivitäten des Joint Labs „Exascale Earth System Modelling“ (ExaESM) eingegangen, das in Zusammenarbeit mit Helmholtz Information insbesondere die Nationalen Hochleistungsrechner für die Datenmodellierung einbindet.

Strategische Investitionen im Korridor 2,5-15 Mio. Euro: Umsetzung im Jahr 2024

Strategische Investitionen im Korridor > 2,5 Mio. Euro adressieren laufende, institutionell geförderte Investitionsvorhaben des KIT.

Beim Projekt DeepStor (High-temperature Deep Underground Thermal Storage) konnten letzte Genehmigungsfragen vorgeklärt und die Planung entsprechend vertieft werden, sodass nun im Jahr 2025 die baulichen Vorabmaßnahmen umgesetzt werden können. Im Projekt zur

Entwicklung und zum Aufbau eines Kompaktspeicherrings für die Beschleuniger-Forschung (c-Start) konnten die Anlagenprojektierung abgeschlossen und wesentliche Komponenten beauftragt werden. Die im Kontext des Projekts zur Weiterentwicklung der Karlsruhe Nano Micro Facility (KNMFi) laufenden Arbeiten im Kontext des Aufbaus einer Plattform zur Synthese und Charakterisierung chemischer Substanzen von der Biologie bis zu Materialien konnten bis auf wenige noch 2025 anstehende Abnahmen abgeschlossen werden. Das Vorhaben zum Aufbau eines Kompetenzzentrum für Hochauflösende Supraleitende Sensoren (HSS) ist beschaffungsseitig weit vorangeschritten. Die laufenden Arbeiten zum Aufbau von Syntheserouten im Rahmen der Forschungsplattform zur Speicherung von Strom in synthetischen Kohlenwasserstoffen (e-Xplore) wurden weitergeführt und nähern sich dem Projektende.

Im Rahmen des von Eurofusion zusatzfinanzierten Projekts zur Weiterentwicklung des Helium Loops Karlsruhe (Heloka-US) wurde die Teststrecke beauftragt. Beim ebenfalls von Eurofusion kofinanzierten Projekt DIPAK ist zwischenzeitlich der Bau des Behälters wie auch die Projektierung des Labors weit vorangeschritten.

In den national zusatzfinanzierten Projekten zum Beitrag des KIT im Rahmen des Aufbaus der Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure – Germany (ACTRIS) wurde mit den Umsetzungsmaßnahmen fortgefahren und zwischenzeitlich weitere Komponenten beauftragt bzw. geliefert. Beim ebenfalls zusatzfinanzierten Projekt ApplHy zum Design und der Realisierung einer kombinierten Flüssigwasserstoff (LH2)- und elektrischen Energie-Transportstrecke im Rahmen der Verbundprojekte des BMBF Wasserstoff-Leitprojekts bzw. Technologieplattform TransHyDE, wurde die Integration in das H2-Gesamtkonzept des EnergyLab konzeptionell vertieft, außerdem wurde weiter an der Umsetzung der Einzelmaßnahmen gearbeitet. Im Projekt Sektorkopplung (SEKO) zur Forschung an der intelligenten Verknüpfung von der Energiesysteme Strom, Mobilität, Gas, Wärme bzw. Kälte wurden die Beschaffungen plangemäß fortgeführt.

Die Projekte zum Beitrag des KIT zu Upgrade des IceCube Neutrino Observatory wie auch der Forschungsinfrastruktur Inside Clouds konnten plangemäß bzw. vorzeitig beendet werden.

Strategische Investitionen im Korridor 2,5-15 Mio. Euro: Umsetzung ab 2025

Siehe entsprechenden Abschnitt im Kapitel A.1.2.4.

Strategische Ausbauinvestitionen > 15 Mio. Euro: Umsetzung im Jahr 2024

Strategische Ausbauinvestitionen >15 Mio. Euro adressieren die vom Senat der Helmholtz-Gemeinschaft bewilligten Investitionsmaßnahmen unter Beteiligung des KIT.

Bei der strategischen Ausbauinvestition zum Aufbau des Center of Optics and Photonics (KCOP) ist der Hochbau weit vorangeschritten, sodass die meisten Gerätebeschaffungen bereits im Jahr 2024 angestoßen werden konnten. Die Gerätebeschaffungen für die Infrastruktur Karlsruhe Nano Micro Facility (KNMFi), die Helmholtz Forschungs- und Versuchsplattform zur Entsorgung radioaktiver Abfälle und zum Rückbau kerntechnischer Anlagen (HOVER) wie auch die Beschaffungen im Rahmen der Helmholtz Data Federation (HDF) wurden fortgeführt, zugehörige Baumaßnahmen schreiten ebenfalls voran. Im Rahmen des Projektbeitrags des KIT zum Full Scientific Exploitation 20ft he Large Hadron Collider, Karlsruhe (LHC) wurden die Laborräume fertiggestellt und Tests zu wichtigen Komponenten plangemäß weitergeführt. Die Projekte Accelerator Technology Helmholtz iNfrAstructure (ATHENA) und Helmholtz Energy

Materials Characterization Platform (HEMCP) wurden wegen einiger verbliebener Nacharbeiten nochmals um einige Monate verlängert.

Im 2023 hinzugekommenen Projekt Geothermal Laboratory in the Crystalline (GeoLaB) liegen die Vorabmaßnahmen zur Standortbestimmung weitgehend im Plan. Die Genehmigung zur ersten Explorationsbohrung im Jahr 2025 liegt vor. Für das ab 2025 zur Umsetzung anstehende Projekt High Power Grid Lab (HPGL) konnten bereits vorab wichtige Vorarbeiten zu Bau und Gerätebeschaffungen vorangetrieben werden.

Das Projekt zum Beitrag des KIT beim Aufbau der zur Helmholtz Materials Foundry wurde erfolgreich abgeschlossen.

Strategische Ausbauinvestitionen > 15 Mio. Euro: Umsetzung ab 2025

Die vom Senat der Helmholtz-Gemeinschaft bewilligten strategischen Ausbauinvestitionen unter Beteiligung des KIT „Helmholtz Data Federation“ (HDF), „Full Scientific Exploitation of the LHC“, „Karlsruhe Center for Optics and Photonics“ (KCOP), „Helmholtz Forschungs- und Versuchsplattform zur Entsorgung radioaktiver Abfälle und zum Rückbau kerntechnischer Anlagen“ (HOVER) und „Geothermal Laboratory in the Crystalline Basement“ (GeoLaB) werden auch im Jahr 2025 weiter umgesetzt.

Im Jahr 2023 hat das KIT bei der Helmholtz-Gemeinschaft den Antrag zur Finanzierung der Infrastruktur „High Power Grid Lab“ (HPGL) für strategische Ausbauinvestitionen > 15 Mio. Euro zur Umsetzung ab 2025 eingereicht. Ziel des HPGL ist es, die neuartigen leistungselektronischen Netzbetriebsmittel (z. B. Netzkupplungen, Stromrichter für DC-Netze) in einer Umgebung zu erforschen, die mit ihrem Verhalten das reale Netz so exakt wie technisch möglich abbildet. Diese für das KIT und zur Erweiterung des Energy Lab sehr wichtige Infrastruktur konnte erfolgreich eingeworben werden und wird, dem Votum des Helmholtz-Senats folgend, ab 2025 umgesetzt. Weitere Helmholtz-Zentren sind an dieser Infrastruktur nicht beteiligt.

Teilnahme am Bund-Länder-Programm zur Förderung des wiss. Nachwuchses

Um den wissenschaftlichen Nachwuchs zu stärken, wird das KIT die Tenure-Track-Professur flächendeckend als gleichwertigen Weg zur Professur weiter stärken. Dadurch werden die Karrierewege des wissenschaftlichen Nachwuchses planbarer und transparenter. Zusätzlich zu den Tenure-Track-Professuren aus dem Bund-Länder-Programm zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses werden dazu im laufenden und kommenden Jahr weitere Junior- und Tenure-Track-Professuren im Rahmen des ExU-Vorhabens „KIT Excellent Tenure“ eingerichtet (geplant sind bis zu zehn Juniorprofessuren / Tenure-Track-Professuren pro Jahr). Das KIT war in beiden Antragsrunden des Bund-Länder-Programms zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses der Jahre 2017 und 2019 erfolgreich und hat aufgrund seines überzeugenden Förderkonzepts für junge Forscherinnen und Forscher die Mittel für insgesamt 15 Tenure-Track-Professuren eingeworben. Alle 15 Tenure-Track-Professuren konnten erfolgreich besetzt werden, insgesamt wurden sieben von den insgesamt 15 geförderten Tenure-Track-Professuren mit Wissenschaftlerinnen besetzt und so ein weiteres Ziel des KIT, den Anteil an (Junior-)Professorinnen zu erhöhen, erreicht. Im Jahr 2024 konnte ein weiterer Tenure-Track-Professor nach erfolgreicher Endevaluation auf eine W3-Professur übernommen werden.

Bauliche Entwicklung

Die bauliche Entwicklung des KIT ist von zahlreichen Einflussfaktoren geprägt. Ein wesentlicher Faktor sind die zahlreichen Gebäude, die sich in einem dringend sanierungsbedürftigen Zustand befinden. Auch die für den Betrieb und Funktionserhalt der Gebäude und Forschungsanlagen erforderliche Ver- und Entsorgungsinfrastruktur ist in vielen Teilen dringend sanierungsbedürftig.

Ein wesentliches Ziel der baulichen Entwicklung ist daher, dass jedes Projekt – neben der bedarfsorientierten, flächeneffizienten und nachhaltigen Weiterentwicklung des Gebäudebestands – zum Abbau des Sanierungsstaus beiträgt. Hierzu wurde ein Bauprogramm mit Sanierungsketten für die Universitätsaufgabe (UA) und die Großforschungsaufgabe (GFA) aufgestellt. Teil des Bauprogramms sind neben den im Jahr 2024 gestarteten Baumaßnahmen, wie der Ersatzneubau für das Institut IKFT oder die Sanierung des Trinkwassernetzes am Campus Nord, weitere Planungen und Projektentwicklungen an den Standorten der UA und der GFA.

Einen Schwerpunkt der baulichen Entwicklung bildet der Entwicklungskomplex „Physik“ mit vorgesehenen baulichen Maßnahmen für Lehre und Forschung am Campus Süd und Campus Nord. 2024 wurden wesentliche Eingangsfaktoren, wie Nutzungs- und Flächenbedarfe, für die Projektentwicklung „Physik“ weiter präzisiert und ausformuliert. Zudem wurde 2024 die Projektentwicklung des Teilmoduls „Lernzentrum am Schloss“ abgeschlossen, um in die Phase der Planung überzugehen. Durch die Generalsanierung der seit Jahren leerstehenden und schadstoffbelasteten Gebäude 20.11 bis 20.14 („Pavillons am Schloss“) leistet dieses Projekt einen wichtigen Beitrag im Rahmen des Sanierungsprogramms am KIT.

Daneben wurde die Projektentwicklung für den Forschungsbau „ProcessingHealth“ (als Art. 91b GG -Vorhaben) abgeschlossen. Das Bauvorhaben entsteht – eine Förderempfehlung durch den Wissenschaftsrat vorausgesetzt – am Campus Süd.

A.1.2.2 Herausragende wissenschaftliche Ergebnisse des Jahres

Energie

Weltweit arbeiten Forschung und Industrie an der Kommerzialisierung der Perowskit-Photovoltaik. In den meisten Forschungslaboren stehen lösungsmittelbasierte Herstellungsverfahren im Fokus. Etablierte Photovoltaikfirmen setzen heute jedoch fast ausschließlich auf Vakuumverfahren zur Abscheidung von hochqualitativen Dünnschichten. Ein internationales Konsortium unter der Leitung des KIT und des National Renewable Energy Laboratory (NREL, USA) hat herausgefunden, dass industriell erprobte Vakuumverfahren mit gewissen Verbesserungen zur schnellen Kommerzialisierung bei den Perowskit-Solarzellen beitragen könnten. Die Ergebnisse sind in *Energy & Environmental Science* erschienen. Lokale dezentrale Energiesysteme, sogenannte Microgrids, können urbane Infrastrukturen widerstandsfähiger machen und Risiken für die Bevölkerung verringern, etwa bei großflächigen Stromausfällen infolge von Naturgefahren oder Cyberangriffen. Forschende des KIT stellten in der Fachzeitschrift *Nature Sustainability* Designkriterien für Microgrids vor, die neben technischen Faktoren einen fairen Umgang mit unterschiedlichen sozialen Gruppen berücksichtigen. Die Studie zeigt einen Weg, wie Städte die Transformation hin zu einer sicheren und nachhaltigeren Versorgung gerecht gestalten können.

Information

Künstliche Intelligenz kann die Auswertung von medizinischen Bilddaten verbessern. So können auf Deep Learning basierende Algorithmen die Lage und Größe von Tumoren feststellen. Dies ist das Ergebnis von autoPET, einem internationalen Wettbewerb zur medizinischen Bildanalyse. Forschende des KIT erreichten den fünften Platz (Bericht der sieben besten Teams in *Nature Machine Intelligence*). Mithilfe computergestützter neuronaler Netzwerke können Forschende des KIT und der Universität Duisburg Essen affektive Zustände anhand der Körpersprache von Tennisspielerinnen und Tennisspielern präzise identifizieren. Die in der Fachzeitschrift *Knowledge-Based Systems* veröffentlichte Studie zeigt, dass KI Körpersprache und Emotionen ähnlich genau bewerten kann wie ein Mensch, sie verweist aber auch auf ethische Aspekte. Forschende des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) haben gemeinsam mit Consultants von Helmholtz.AI des Forschungszentrums Jülich (FZJ) und des SCC am KIT eine neue KI-basierte Methode entwickelt, um Unregelmäßigkeiten in sonnennachgeführten Spiegeln für solarthermische Kraftwerke (Heliostaten) leicht zu erkennen. Da diese einen wesentlichen Kostenfaktor darstellen, ist die Optimierung ihrer Produktion und Leistung von entscheidender Bedeutung. Die Ergebnisse wurden im Wissenschaftsjournal *Nature Communications* veröffentlicht. Ein Team von Forschenden des KIT identifizierte einen neuen Zelltyp in Blutgefäßen, der das Gefäßwachstum entscheidend mitverantwortet. Diese Entdeckung könnte neue therapeutische Strategien zur Behandlung ischämischer Herz-Kreislauf-Erkrankungen ermöglichen, also Erkrankungen, die auf die verminderte oder fehlende Durchblutung von Gewebe zurückgehen. Das Team berichtet in *Nature Communications*.

Erde und Umwelt

Steroidhormone gehören zu den verbreitetsten Mikroverunreinigungen im Wasser. Sie schaden der menschlichen Gesundheit und stören das ökologische Gleichgewicht von Gewässern. Forscherinnen des KIT haben festgestellt, dass die Adsorption an den Kohlenstoff-Nanoröhren Steroidhormone einfängt, aber ihren nachfolgenden Abbau nicht einschränkt. Ihre Studie ist in *Nature Communications* veröffentlicht. Nach einem massiven Erdbeben im Dickson-Fjord in Grönland fanden Forschende des KIT gemeinsam mit internationalen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern heraus, dass die Quelle der durch Erdbebenmessgeräte registrierten Schwingungen das anhaltende Hin- und Herschwappen von Wasser in dem engen Fjord war. Sie zeigten auch den Zusammenhang zwischen dem Erdbeben und dem Ausdünnen eines Gletschers auf, das sie auf den Klimawandel zurückführen. Darüber berichteten sie in *Science*. Wie sich die globale Erwärmung räumlich und zeitlich auf das Grundwasser auswirkt und was das für Mensch und Natur bedeutet, haben Forschende des KIT untersucht. Sie haben die prognostizierten Veränderungen der Grundwassertemperatur bis zum Jahr 2100 dargestellt. Globale Temperaturkarten für Grundwasser in verschiedenen Tiefen unter der Erdoberfläche zeigen, dass an Orten mit flachem Grundwasserspiegel oder hoher atmosphärischer Erwärmung weltweit die höchsten Grundwassererwärmungsraten zu erwarten sind. Ihre Studie ist in der Zeitschrift *Nature Geoscience* veröffentlicht.

Materie

Im Bereich der Elementarteilchen haben Fortschritte in der Technologie es der Wissenschaft ermöglicht, neue Phänomene zu entdecken. So hat der Belle II-Teilchendetektor, der von einem internationalen Team von Forschenden im japanischen Forschungslabor KEK betrieben wird, eine bedeutende Beobachtung gemacht. Zum ersten Mal wurde ein geladenes B-Meson nachgewiesen, das in ein Kaon, ein Neutrino und ein Antineutrino zerfällt. Obwohl dies mit den Vorhersagen des Standardmodells der Teilchenphysik übereinstimmt, ist die beobachtete

Häufigkeit dieser Zerfälle höher als erwartet. Die Ergebnisse wurden bei *Physics Review D* eingereicht und sind auch als Preprint auf arxiv verfügbar.

Die Karlsruher Arbeiten am Upgrade des Experiments Compact Muon Solenoid (CMS) am Large Hadron Collider des CERN bei Genf haben im Oktober 2024 einen wichtigen Meilenstein erreicht: Das erste voll funktionsfähige Modul für den neuen CMS-Spurdetektor hat die Produktionsstraße im KIT verlassen. Der neue Spurdetektor wird erstmals die Auswahl von interessanten Teilchenspuren in Echtzeit erlauben und wesentlich dazu beitragen, ab dem Jahr 2030 den kleinsten Bausteinen der Natur weitere Geheimnisse zu entlocken. Bis 2026 werden am KIT bis zu 2.000 dieser Detektormodule gefertigt.

Materialforschung

Forschende des KIT haben ein mechanisches Metamaterial entwickelt, mit dem sich die Wechselwirkungen zwischen den Bausteinen auch über größere Entfernungen im Material auslösen lassen. Das Material könnte Anwendung finden, wenn es um das Messen von Kräften oder das Überwachen von Statik geht. Die Ergebnisse sind in *Nature Communications* veröffentlicht. Photonische Raum-Zeit-Kristalle haben Forschende des KIT mit Partnern aus Finnland und China konstruiert und so gezeigt, wie sich solche vierdimensionalen Materialien für die optische Informationsverarbeitung nutzen lassen (Publikation in *Nature Photonics*). Zum ersten Mal in Deutschland haben Forschende des KIT herausgefunden, wie sogenannte Zinn-Fehlstellen in Diamanten sehr exakt mit Mikrowellen kontrolliert werden können. Die Ergebnisse sind ein wichtiger Schritt für die Entwicklung leistungsfähiger Quantencomputer und sicherer Quantenkommunikationsnetzwerke und in *Physical Review X* veröffentlicht. Einen neuen Ansatz für die Herstellung ressourcenschonender und langlebiger Katalysatoren, der die unterschiedliche Wechselwirkung von Edelmetallen mit verschiedenen Trägermaterialien nutzt, haben Forschende des KIT entwickelt. Ihre Studie ist als „Very Important Paper“ in der Fachzeitschrift *Angewandte Chemie* veröffentlicht. Einen innovativen Werkstoff für eine energieeffiziente Architektur stellen Forschende des KIT in der Fachzeitschrift *Nature Communications* vor. Das Material lässt Sonnenlicht ins Innere, sorgt für ein angenehmeres Raumklima und reinigt sich wie ein Lotusblatt selbst.

A.1.2.3 Besondere Vorkommnisse

Weiterentwicklung des KIT und wichtige Ereignisse

Seit 1. Oktober 2024 ist Prof. Dr. Jan S. Hesthaven Präsident des KIT. Bei der feierlichen Amtseinführung am 4. Dezember im Audimax des KIT überreichten die baden-württembergische Wissenschaftsministerin Petra Olschowski und der Aufsichtsratsvorsitzende des KIT, Prof. Dr. Michael Kaschke, offiziell die Amtskette an den neuen Präsidenten. Prof. Dr. Jan S. Hesthaven ist der vierte Präsident des KIT. Davor war er als Provost und Vizepräsident für die akademischen Angelegenheiten der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) verantwortlich. Im Fokus seiner ersten Amtszeit steht die klarere Positionierung des KIT in der nationalen und internationalen Wissenschaftslandschaft. Zentrale Themen sind dabei das enge Zusammenspiel von Forschung, Lehre, Wissenschaftstransfer und dem Dialog mit der Gesellschaft, außerdem das Gewinnen internationaler Talente sowie die enge Zusammenarbeit mit starken Partnern weltweit. Prof. Dr. Jan S. Hesthaven folgt auf Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka, der im August 2023 an die Spitze der Fraunhofer-Gesellschaft gewechselt war. In

der Übergangszeit hatte Prof. Dr. Oliver Kraft, Vizepräsident Forschung, die Vertretung des KIT nach innen und außen übernommen.

Zum 1. September 2024 trat Dr. Stefan Schwartze sein Amt als Vizepräsident des KIT für das Ressort Finanzen, Personal und Infrastruktur an. Stefan Schwartze arbeitete zuvor beim GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung in Potsdam, wo er mehr als ein Jahrzehnt lang die administrativen Geschicke bestimmte.

Im Jahr 2025 feiert das KIT als eine der ältesten Technischen Universitäten Deutschlands seinen 200. Geburtstag. Eine der Vorgängerinstitutionen des KIT, die Polytechnische Schule, war 1825 gegründet worden. Unter dem Motto „Wir gestalten Zukunft. Forschung | Lehre | Transfer“ lädt das KIT alle Interessierten das ganze Jahr über zu einem abwechslungsreichen Programm ein: Dieses reicht von Wissens- und Mitmachformaten über Ausstellungen, Konzerte und Lichtshows bis hin zu Partys, einem großen Tag der offenen Tür sowie der dritten KIT Science Week. Im Berichtsjahr 2024 liefen die Vorbereitungen für das Jubiläum „200 Jahre KIT“ auf Hochtouren. Zweimal standen KIT-Zentren bei der Veranstaltung „KIT im Rathaus“ im Mittelpunkt dieses erfolgreichen Formates der Wissenschaftskommunikation in Karlsruhe, das den Dialog mit der Gesellschaft sucht. Am 29. Januar 2024 informierten Forschende des KIT-Zentrums Health Technologies die interessierte Öffentlichkeit über ihre aktuelle Arbeit. Am 5. Juni 2024 präsentierten Forschende des KIT-Zentrums Energie im Karlsruher Rathaus neueste Entwicklungen in der Energieforschung am KIT und deren praktische Anwendungsmöglichkeiten. Beim Campustag am KIT, der am 8. Juni 2024 stattfand, konnten sich Schülerinnen und Schüler der Oberstufe sowie ihre Angehörigen über das vielfältige Studienangebot informieren und das KIT als attraktiven Studienort kennenlernen. Aus Anlass der Umbenennung des Informationstechnologie-Zentrums des KIT, das zuvor den Namen „Steinbuch Centre for Computing“ trug, in „Scientific Computing Center“ (SCC) organisierte das KIT am 17. Juli 2024 eine Tagung mit dem Titel „Was heißt hier ‚Nie wieder‘?“. Hier gab es Fragen und Antworten zum Umgang des KIT mit politischem Extremismus. Anlässlich des Internationalen Tags der Demokratie am 15. September veranstaltete das KIT gemeinsam mit weiteren Partnern zum dritten Mal die „Tage der Demokratie“. Eine Woche lang fanden vielfältige Veranstaltungsformate für interessierte Bürgerinnen und Bürger auf dem Karlsruher Kronenplatz statt. Vom 5. bis zum 9. November 2024 stand der Karlsruher Kronenplatz im Zeichen der Wissenswoche „Mobilität im Datenrausch“. Diese wurde organisiert vom Kompetenzcluster ANYMOS (Anonymisierung für vernetzte Mobilitätssysteme) in Zusammenarbeit dem TRIANGEL Transfer | Kultur | Raum. Interessierte konnten einen Einblick in die Welt der Erhebung von Mobilitätsdaten erhalten. Der landesweite Studieninformationstag am 20. November 2024 bot Studieninteressierten die Möglichkeit, das KIT in allen Facetten zu entdecken und einen Einblick in die angebotenen Bachelorstudiengänge zu erhalten.

Auch im Jahr 2024 waren am KIT hochrangige Besuche zu verzeichnen: Der baden-württembergische Ministerpräsident Winfried Kretschmann, Wissenschaftsministerin Petra Olschowski und Verkehrsminister Winfried Hermann informierten sich am 12. Januar 2024 am KIT über aktuelle Projekte und Ergebnisse aus der Mobilitätsforschung. Die Wissenschaftsministerin nutzte im Berichtsjahr weitere Gelegenheiten für einen Besuch am KIT: am 13. Februar 2024 bei einer Besichtigung des Fusionsmateriallabors und des Tritiumlabors Karlsruhe am Campus Nord, bei ihrer Start-up-Tour durch Karlsruhe und Stuttgart am 27. März 2024, am 4. Dezember zur feierlichen Amtseinführung von Prof. Dr. Jan S. Hesthaven sowie am 5. Dezember anlässlich der Eröffnung der Karlsruhe School of Education. Am 1. März 2024 besuchte der Bundesminister für Digitales und Verkehr, Dr. Volker Wissing, das KIT-Zentrum Mobilitätssysteme und das Energy Lab. Manne Lucha, der baden-württembergische Gesundheitsminister, erhielt am 14. August 2024 einen Einblick in das KIT-Zentrum Health Technologies (HealthTech) (s. Kapitel „Hochrangige Besuche“ unten).

Der Experte für makromolekulare Photochemie Prof. Dr. Christopher Barner-Kowollik erhielt eine Alexander von Humboldt-Professur. Ab 2025 wird er am KIT zu neuen Materialien und polymerbasierten Systemen forschen. Außerdem ehrte das KIT hochrangige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für ihre Arbeit: Dr. Chris Funk, Direktor des Climate Hazards Center (CHC) an der Universität von Kalifornien in Santa Barbara, wurde mit dem „International Excellence Award of KIT“ und dem „Fellowship of SCHROFF Foundation“ ausgezeichnet. In seiner Forschung widmet sich Chris Funk der Optimierung von Fernerkundungsverfahren zur Überwachung von Dürren, extremen Niederschlagsereignissen und Hitzewellen in tropischen Regionen. Das KIT und der KIT Freundeskreis und Fördergesellschaft e.V. (KFG) verliehen die Heinrich-Hertz-Gastprofessur 2024 an Dr. Cordelia Schmid. Die Informatikerin und Forschungsdirektorin am französischen Forschungsinstitut INRIA hielt am KIT einen öffentlichen Vortrag mit dem Titel „Multimodales Verstehen von Video-Datenströmen und Bild-Sprache gesteuerte Robotik“. Das KIT-Zentrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik (KCETA) zeichnete Dr. Belén Gavela, Professorin für Theoretische Physik an der Universidad Autónoma de Madrid (UAM), Spanien, mit dem Julius Wess-Preis 2023 aus, der im Jahr 2024 verliehen wurde. Den Julius Wess-Preis 2024 erhielt die US-amerikanische Teilchenphysikerin Prof. Dr. Glennys Farrar für ihre bedeutenden Beiträge zur Teilchenphysik und Astroteilchenphysik sowie ihre Pionierarbeit zur Struktur des galaktischen Magnetfelds. Das Ausgründungsprojekt Rement aus dem KIT hat Abbruchbeton als wertvollen Rohstoff identifiziert und verarbeitet ihn klimafreundlich zu neuen Baustoffen. Dafür haben die Gründerinnen und Gründer den mit 20.000 Euro dotierten Jurypreis des Innovationspreises NEO2024 der Technologie-Region Karlsruhe und den Publikumspreis gewonnen (s. auch Kapitel „Auszeichnungen, Preise und Berufungen in Ämter, Gremien o.ä.“ unten).

Beteiligung an nationalen Forschungsinfrastrukturen und Gremien

Im Berichtsjahr 2024 hat das KIT die für Helmholtz Energy sehr wichtige Großinvestition High Power Grid Lab (HPGL) eingeworben. Es konnten bereits wichtige Vorarbeiten zu Bau und Gerätebeschaffungen vorangetrieben werden (s. Kapitel „Strategische Ausbauinvestitionen > 15 Mio. Euro: Umsetzung ab 2025“ oben).

Am 15. Juli 2024 veröffentlichte das BMBF den bereits im Frühjahr des Jahres angekündigten Aufruf zur Einreichung von Kurzkonzepten für das Verfahren zur Priorisierung umfangreicher Forschungsinfrastrukturen („Nationale Roadmap“). Ziel dieses Verfahrens ist es, Vorhaben für umfangreiche Forschungsinfrastrukturen auszuwählen, die für den Ausbau und Erhalt der deutschen Spitzenposition im internationalen Wettbewerb und der Leistungsfähigkeit des deutschen Wissenschaftssystems als Teil des europäischen Forschungsraums prioritär sind. Im Rahmen dieses Prozesses konnten bis Ende August zunächst Interessenbekundungen für Vorhaben eingereicht und bis 25. Oktober 2024 Kurzkonzepte ausgearbeitet werden. Diese Kurzkonzepte durchlaufen anschließend ein Begutachtungsverfahren des Wissenschaftsrates, das im Sommer 2025 in die Veröffentlichung einer Shortlist münden soll.

Das KIT hat sich an diesem Aufruf in hohem Umfang beteiligt und als federführende Trägereinrichtung die Vorhaben „Nuclear Magnetic Resonance facility“ (KNMR) und „XLZD - A xenon-based low-background observatory for rare processes“ (XENON-LZ- DARWIN) eingereicht, zudem ist es als Trägereinrichtung an dem Vorhaben „IceCube-Gen2“ beteiligt (die Federführung liegt hier bei DESY). Darüber hinaus beteiligt sich das KIT als Partner an den Projekten „From Sensing to sustainable land use and management“ (TerraNet), „Einstein Telescope, a 3rd Generation Gravitational Wave Detector“ (ET), „Exploiting the full physics poten-

tial of the Large Hadron collider“ (Physics@LHC), „Square Kilometer Array“ (SKA) und „Positron-Elektron-Tandem-Ring-Anlage“ (PETRA IV). Bei dem Vorhaben „Digital Research Infrastructure for Computing and Communication“ (SlicesDE) ist eine Beteiligung von einzelnen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des KIT vorgesehen. Ursprünglich vorgesehen war auch die Einreichung eines Kurzkonzepts zur geplanten Infrastruktur IFMIF-DONES, die von hoher Bedeutung ist für die Fusionsforschung sowohl am KIT als auch auf nationaler und internationaler Ebene. Das Kurzkonzept wurde schlussendlich nicht eingereicht, da eine Realisierung dieser FIS außerhalb des Roadmap-Verfahrens schneller möglich sein könnte.

Im Berichtsjahr 2024 wurde Prof. Dr. Thomas Hirth, Vizepräsident Transfer und Internationales des KIT, in den Vorstand der DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. gewählt. Zudem wurde er vom Vorstand für ein weiteres Jahr in den DECHEMA-Koordinierungskreis delegiert. Das Kuratorium der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) hat Prof. Dr. Thomas Hirth zum 1. Januar 2024 für zwei Jahre in die Jury des Deutschen Umweltpreises gewählt. Der Vizepräsident Forschung des KIT, Prof. Dr. Oliver Kraft, wurde zum 1. Januar 2025 als stimmberechtigtes Mitglied in die Wissenschaftliche Kommission Niedersachen berufen. Der Internationale Wissenschaftsrat hat Dr. Alik Ismail-Zadeh, Institut für Angewandte Geowissenschaften, in den Wissenschaftlichen Ausschuss des Programms für Integrierte Forschung zum Katastrophenrisiko berufen. Der Ausschuss unterstützt das Büro der Vereinten Nationen für Katastrophenvorsorge. In das Berichtsjahr fiel auch die Wahl von Prof. Dr. Joachim Knebel, Leiter Bereich 3 – Maschinenbau und Elektrotechnik, zum stellvertretenden Sprecher durch das Direktorium des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien (FVEE). Die Mitgliederversammlung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) hat Prof. Dr. Gisela Lanza vom wbk Institut für Produktionstechnik für eine zweite Amtszeit im DFG-Senat gewählt. Sowohl die Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften als auch die Europäische Akademie der Wissenschaften (Academia Europaea) haben Prof. Dr. Holger Puchta, Joseph Gottlieb Kölreuter Institut für Pflanzenwissenschaften (JKIP), zum Mitglied gewählt. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat Prof. Dr. Marliese Uhrig-Homburg, Institut für Finanzwirtschaft, Banken und Versicherungen (FBV), in den Auswahl-ausschuss für den Heinz Maier-Leibnitz-Preis gewählt.

Die Tatsache, dass zahlreiche Mitglieder des KIT in Gremien und Ausschüssen als Expertinnen und Experten für Themen mit hoher gesellschaftlicher Relevanz berufen werden, unterstreicht die Kompetenz und steigende Sichtbarkeit des KIT als wissenschaftliche Einrichtung, welche Forschung, Lehre und Innovation unmittelbar mit Verantwortung für Gesellschaft und Umwelt verbindet.

Neue Leuchtturmprojekte in der Forschung

Energie

Die EU strebt bis 2050 Klimaneutralität an. Das Projekt RISEnergy (Research Infrastructure Services for Renewable Energy) soll auf dem Weg dorthin die Entwicklung von Innovationen für erneuerbare Energien bis zur Markteinführung beschleunigen. Ein Schwerpunkt des Projekts besteht darin, Forschenden und Unternehmen den Zugang zu Forschungsinfrastrukturen in europäischen und nichteuropäischen Ländern zu erleichtern. Das vom KIT geleitete Projekt startete am 1. März 2024. Die Europäische Kommission finanziert RISEnergy mit rund 14,5 Mio. Euro für viereinhalb Jahre. Um Batteriezellen – etwa für die Elektromobilität oder Elektrowerkzeuge – künftig flexibler herstellen zu können, haben Forschende des KIT eine agile Batteriezellfertigung aufgebaut. Ein roboterbasiertes und modular aufgebautes, agiles Produk-

tionssystem ermöglicht es künftig, bedarfsgerecht kundenindividuelle Batteriezellen in der geforderten Stückzahl zu produzieren. Dies ermöglicht es Unternehmen, sich schneller an neue Technologien und volatile Märkte anzupassen und kann die Wettbewerbsfähigkeit von Deutschland als Industriestandort stärken. Wie eine nachhaltige Transformation des Energiesystems gelingen kann, skizzieren Forschende des KIT, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und des Forschungszentrums Jülich. In einem „Policy Briefing“ analysieren sie dabei mögliche Zukunftsszenarien und beziehen ökologische, ökonomische, institutionelle, organisatorische und soziale Aspekte ein.

Information

Leistungsfähige Mikrochips sind entscheidend für den erfolgreichen Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI). In dem am KIT koordinierten, vom Bundesforschungsministerium geförderten Projekt „German Open-Source Tools for AI Algorithm-Hardware Co-Design“ (EDAI) koppeln Forschende den Entwurf von KI-Algorithmen und KI-Chips. So lassen sich Hardwareanforderungen wie Energieeffizienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit im gesamten Prozess berücksichtigen. EDAI baut auf Open-Source-Software auf, um den Zugang zu KI-basierten Lösungen besonders für kleinere und mittlere Unternehmen zu erleichtern. Im vom BMBF geförderten Projekt „Systemische und existenzielle Risiken der KI“ untersuchen Forschende am KIT mögliche Risiken bei der Entwicklung von KI-basierten Technologien und erarbeiten Bewertungs- und Handlungsansätze. Der „Hochleistungsrechner Karlsruhe“ (HoreKa), der seit Juni 2021 am KIT in Betrieb ist, zählt derzeit zu den schnellsten Rechnern Europas. Nach einem kürzlich erfolgten Upgrade belegt er nun außerdem Rang 6 in der halbjährlich erscheinenden Green500-Liste der energieeffizientesten Rechner der Welt. Das Robotics Institute Germany (RIG) nahm am 1. Juli 2024 seine Arbeit auf. Aufgebaut wird es unter der Federführung der Technischen Universität München (TUM) mit Beteiligung und Sprecherschaft des KIT sowie acht weiteren Universitäten und vier außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Das RIG wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung für zunächst vier Jahre mit 20 Mio. Euro gefördert und dient der Stärkung der globalen Wettbewerbsfähigkeit und technologischen Souveränität Deutschlands in der KI-basierten Robotik.

Erde und Umwelt

Der Klimawandel führt zu mehr heißen Tagen und wirkt sich damit auf den Alltag, die Lebensqualität und die Gesundheit der Menschen aus. Im Projekt „Prozessschema für lokalspezifische Hitzeanpassung in kleinen Kommunen“ (PROLOK) untersuchen Forschende des KIT und der Universität Freiburg nun Wege, wie sich kleine Kommunen besser vor Hitzeereignissen schützen können. Bäume in Städten tragen auf vielfältige Weise zum Wohlergehen der dort lebenden Menschen bei. Allerdings ist unklar, ob Stadtbäume diese Leistungen auch bei extremen Klimabedingungen im bisherigen Umfang erbringen können. Im Innovationscluster UR-BORETUM begannen Forschende des KIT gemeinsam mit Partnern mit der Bestandsaufnahme und dem Monitoring urbaner Baumbestände am Oberrhein. Für ein besseres Verständnis des Klimawandels ist es unter anderem wichtig, die dynamischen und chemischen Prozesse in der oberen Atmosphäre zu verstehen. Mit einem Stratosphärenballon, dessen Durchmesser der Länge eines Fußballfelds entspricht, untersuchen Forschende des KIT gemeinsam mit dem Forschungszentrum Jülich (FZJ) erstmals transkontinental die oberen Luftschichten in 40 Kilometern Höhe.

Mobilität

Am KIT forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an zukunftsweisenden sicheren, nachhaltigen sowie komfortablen Lösungen für die Mobilität von morgen. Im Verbundprojekt RABus (Reallabor für den Automatisierten Busbetrieb im ÖPNV in der Stadt und auf dem Land) untersuchten Forschende des KIT und Partner selbstfahrende Kleinbusse als Mobilitätsangebot unter realen Bedingungen. Dabei haben On-Demand-Angebote enormes Potenzial, wenn sie gut umgesetzt und kommuniziert werden. Das Projekt wurde 2024 verlängert. Im Verbundprojekt LogIKTram (Logistikkonzept und IKT-Plattform für stadtbahnbasieren Gütertransport) haben das KIT und weitere Partner ein Logistikkonzept entwickelt, um den Gütertransport von den Straßen stärker auf die Schienen zu verlagern. Die Forschenden haben untersucht, wie ein zukünftiger Gütertransport in Straßenbahn- und Stadtbahnwagen verlagert werden kann, um den städtischen und regionalen Straßenverkehr zu entlasten. Für viele Menschen ist es eine Herausforderung, auf dem Land zu leben und in der Stadt zu arbeiten, denn lückenlose, effiziente Verkehrssysteme sind im ländlichen Raum noch selten und bieten oft keine Alternative zum eigenen Auto. Im Projekt Country to City Bridge – C2C Bridge am Standort Karlsruhe des Deutschen Zentrums Mobilität der Zukunft untersuchen Forschende, wie sich ein Verkehrsangebot zwischen Stadt und Land nachhaltig und attraktiv gestalten lässt.

Weiterentwicklung der Lehre: Zukunftsweisende Projekte und Lernformen

Die Zahl der Erstsemesterstudierenden lag im Wintersemester 2024/2025 bei 5.920, einschließlich der Anfängerinnen und Anfänger in den Masterstudiengängen. Insgesamt waren damit 22.763 Studierende am KIT eingeschrieben. Die Zahl der ausländischen Studierenden stieg im WS 2024/25 im Vergleich zum WS 2023/24 um 9,2 % auf 5.247. Studierende hatten die Wahl zwischen 44 Bachelor- und 65 Masterstudiengängen. Den Start am KIT erleichtern unter anderem die von den Fachschaften organisierten Orientierungsphasen, kurz O-Phasen, vor Semesterbeginn. Zum abwechslungsreichen Campusleben – von Kultur über Sport bis Politik und vielem mehr – tragen die mehr als 90 Hochschulgruppen des KIT bei. Was das Besondere am KIT ist und was es bedeutet, am KIT zu studieren, zeigt die zum Wintersemester 2024/25 veröffentlichte Videoreihe „KIT – That's why“ in fünf Beiträgen zu den Themen Energie, Mobilität, Campus, Digitalisierung sowie Nachhaltigkeit und Klima, die auf dem Youtube-Kanal des KIT verfügbar ist.

Mit dem zum Sommersemester 2024 neu eingeführten topMINT-Orientierungssemester können Studieninteressierte jeweils im Sommersemester zur Studienvorbereitung die verschiedenen MINT-Studiengänge (Mathematik, Informatik, Natur- und Ingenieurwissenschaften) des KIT kennenlernen. Dabei erhalten sie Informationen über die Anforderungen im Studium und können so Unterstützung bei der Wahl ihres Studiengangs erhalten. Die Grundlagenkurse in den MINT-Fächern bereiten die Teilnehmenden auf ein anschließendes Studium am KIT vor. Das topMINT-Orientierungssemester wird in enger Abstimmung mit den beteiligten Einrichtungen des KIT vom MINT-Kolleg Baden-Württemberg organisiert, einer Verbundeinrichtung des KIT und der Universität Stuttgart.

Im Wettbewerb um die besten Köpfe setzte das KIT zum Start des Wintersemesters 2024/2025 auch auf innovative Lehrformate. So konnten Studierende beispielsweise eigene Escape Games entwickeln, eine Vorlesung mit Segelflug besuchen oder bundesweit einzigartige Einblicke in Großforschungsanlagen erhalten. Durch aktive Mitarbeit, den Blick über den Tellerrand und interdisziplinäres Denken wollen die Dozierenden den Studierenden nicht nur Wissen vermitteln, sondern vor allem Lust aufs Lernen machen.

Zum 1. Mai wurde die „Karlsruhe School of Education (KSE)“ gegründet und im Dezember 2024 im Beisein der baden-württembergischen Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kunst, Petra Olschowski, feierlich eröffnet. In der KSE intensivieren das KIT und die Pädagogische Hochschule Karlsruhe ihre langjährige und erfolgreiche Zusammenarbeit. In der gemeinsamen wissenschaftlichen Einrichtung werden neue Ideen und Impulse für die Lehrkräftebildung entwickelt und die Zusammenarbeit in Studium und Lehre, Forschung und Nachwuchsförderung sowie Transfer ausgebaut. Die gemeinsamen Strukturen einer School of Education versprechen weitere und nachhaltige Synergieeffekte. Schwerpunkte der KSE sind die Themen Digitalisierung, Nachhaltigkeit, MINT, Demokratiebildung und Gesundheit.

Im Projekt digiMINT haben Lehramtsstudierende des KIT an der Digitalisierung der Lehrkräfteausbildung in den MINT-Fächern gearbeitet und vielfältige Möglichkeiten erprobt, wie z.B. 360-Grad-Sportvideos, mathematische Escape-Games oder Lehr-Lern-Videos zur Biomechanik. Dank des neu eingerichteten Digital Learning Lab und der verstärkten Vernetzung mit externen Partnern können Lehramtsstudierende am KIT auch künftig den Einsatz von digitalen Tools in ihrer Ausbildung testen und integrieren.

Kooperationen zur Steigerung der Innovationsleistung

Unter dem Titel „Forschen für eine nachhaltige Zukunft“ zeigte das KIT bei der Hannover Messe 2024 Exponate und Präsentationen im Future Hub sowie bei den Energy Solutions. Zudem war das KIT am Stand von Baden-Württemberg international, an weiteren Ständen sowie im Konferenzprogramm vertreten. Im Future Hub stellte das KIT mehrere Projekte vor: Dazu gehörte das Projekt AgiProbot, bei dem erforscht wird, wie sich Fabriken autonom an ständig neue Bedingungen anpassen können. Das innovative Kreislaufverfahren „Net-Zero Circular Concrete“ ermöglicht es, Beton ressourcen- und klimaschonend herzustellen. Der Kompetenzcluster „Anonymisierung für vernetzte Mobilitätssysteme“ (ANYMOS) zeigte, wie sich bei Diensten für vernetzte Mobilität, etwa Navigationssystemen oder Ticketkäufen per Smartphone, erreichen lässt, dass die Daten nur so verwendet werden, dass sie keine Rückschlüsse auf Individuen zulassen. Bei den Exponaten zu Energy Solutions ging es um Energiespeicher, denen beim nachhaltigen Umbau des Energiesystems und beim Ausbau erneuerbarer Energien eine entscheidende Bedeutung zukommt. An beiden Ständen war zudem die Technologiebörse des KIT mit insgesamt über 70 weiteren Angeboten vertreten. Sie zeigt Innovationen des KIT, aus denen innovative und nachhaltige marktfähige Produkte und Verfahren entstehen können.

Am 31. Januar 2024 fand das erste KIT Innovators Homecoming statt und brachte über 300 Alumnae und Alumni des KIT aus der Start-up-Community zusammen. Ehemalige Studierende, die mittlerweile beeindruckende Erfolgsgeschichten geschrieben haben, trafen sich, um ihre Erfahrungen und ihr Wissen zu teilen. Die Veranstaltung war nicht nur eine Gelegenheit für Ehemalige und Start-ups, sich auszutauschen, sondern auch ein lebendiges Beispiel für die Stärke des KIT-Netzwerks.

Mit dem TRIANGEL am Kronenplatz in der Innenstadt in Karlsruhe hat das KIT einen Ort des Austausches geschaffen, um den Dialog mit der Gesellschaft zu stärken und Forschung erlebbar zu machen. Zu den Highlights des vergangenen Jahres zählen die Wissenswochen, ein erfolgreich etabliertes Format, das ausgewählte Themen über mehrere Tage hinweg der Öffentlichkeit präsentiert. Im Jahr 2024 wurden zwei Wissenswochen umgesetzt, die Wissenswoche „Mathematik“ und die Wissenswoche „Mobilität im Datenrausch“ des vom BMBF geförderten Kompetenzclusters ANYMOS. Darüber hinaus bereicherten weitere Veranstaltungen wie die Tage der Demokratie, das 70-jährige Jubiläum des CERN, das Real:labor Festival und

die Science Camps für Kinder und Jugendliche das Jahr (s. auch Kapitel A.1.2.3, Unterpunkt „Weiterentwicklung des KIT und wichtige Ereignisse“).

Forschende des KIT engagieren sich zukünftig noch stärker in der Region Schwarzwald. Dazu haben im August 2024 Prof. Dr. Thomas Hirth, Vizepräsident Transfer und Internationales des KIT, sowie Stefan Bogenrieder, Geschäftsführer Campus Schwarzwald, einen entsprechenden Kooperationsvertrag unterzeichnet. Dies markiert den Beginn einer intensiven Zusammenarbeit zweier führender Forschungs- und Bildungseinrichtungen und bündelt Expertise und Ressourcen des KIT und des Campus Schwarzwald.

Der Innovationscampus Nachhaltigkeit (ICN) startete im Januar 2024. Es handelt sich um eine gemeinsame Initiative der Universität Freiburg (UFR) und KIT. Unter dem Leitsatz „Transformationen für Stadt-Regionen der Zukunft – Klimaschutz, Ressourcenschonung und Well-being“ streben die beiden Universitäten umfassende soziale, technische und ökonomische Innovationen an, um gemeinsam zu einer nachhaltigen Gesellschaft beizutragen (s. Kap. „Nachhaltigkeit“ und „Stärkung der regionalen Verbünde“).

Noch während der Operation eine neue Hornhaut ausdrucken und damit die Sehfunktion wiederherstellen: Diesen bahnbrechenden Schritt im Kampf gegen Hornhauterkrankungen soll künftig ein laserbasiertes Verfahren mit maßgeschneiderter Biotinte ermöglichen. Entwickelt haben es Forschende des KIT gemeinsam mit den Unternehmen Carl Zeiss Meditec AG und Evonik Healthcare. Beim diesjährigen Innovationswettbewerb NEULAND wurde das Projekt mit dem Ideenpreis ausgezeichnet.

Um die Gründungskultur an baden-württembergischen Hochschulen weiter zu verbessern, fördert das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg (MWK) sechs sogenannte INSPIRE BW Hubs. Darunter ist auch der DeepTechHub unter Federführung des KIT. In der Initiative wollen lokale Hochschulen die Region Südwestdeutschland prominent positionieren, indem sie relevante Akteure vernetzen und gemeinsame Gründungsaktivitäten unterstützen.

Wissenschaftlicher Nachwuchs

Im Rahmen der Exzellenzstrategie ist 2019 das „Young Investigator Group Preparation Program“ (kurz YIG Prep Pro) gestartet. Das Ziel des Programms ist die Erhöhung der Anzahl der Nachwuchsgruppen am KIT durch eine gezielte und umfassende Unterstützung bei der Vorbereitung von Anträgen auf eine Nachwuchsgruppe. Im Programm lassen sich dieses Jahr fünf weitere erfolgreiche Anträge der Fellows feiern: zwei Helmholtz-Forschungsgruppen, eine NEXUS Nachwuchsgruppe der Carl Zeiss Stiftung und zwei Emmy Noether-Nachwuchsgruppen der DFG. Zwei Alumni wurden auf eine W1-Professur berufen, ein Alumnus auf eine W3-Professur.

Im Jahr 2024 wurden insgesamt neun hochkarätige, extern finanzierte Nachwuchsgruppen am KIT bewilligt: vier Emmy Noether-Nachwuchsgruppen der DFG sowie eine NEXUS Nachwuchsgruppe der Carl Zeiss Stiftung. Gleich vier Mal war das KIT bei der diesjährigen Auswahl der Helmholtz Forschungsgruppen-Förderungen erfolgreich. Eine Emmy Noether-Nachwuchsgruppe brachte Prof. Dr. Nadja Klein bei ihrer Berufung auf eine W3-Professur am KIT mit. Dies stellt eine sehr erfolgreiche Bilanz dar, die sowohl die Attraktivität des KIT als Forschungsstandort als auch den Erfolg bei der Rekrutierung herausragender Nachwuchskräfte bestätigt.

Mit dem Leopoldina-Preis für junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler 2023 ehrte die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina Dr. Jingyuan Xu, die am KIT neuartige

Heiz- und Kühltechnologien für die Energiewende erforscht. Jingyuan Xu ist seit 2021 am Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT) tätig. Dort forschte sie zunächst als Humboldt Research Fellow und YIG Prep Pro-Fellow. Seit 2024 leitet sie die von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderte CZS-Nexus-Forschungsgruppe „Emissionsfreie und umweltfreundliche Heiz- und Kühltechnologien“ (ZEco Thermal Lab), für welche sie 1,5 Mio. Euro eingeworben hat. Aktuell kann die junge Ingenieurin zwei weitere markante Auszeichnungen für sich verbuchen: den Hector Research Career Development Award sowie die Aufnahme in die Global Young Academy, einen exklusiven Zusammenschluss internationaler Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler.

Studierende und Forschende des KIT haben gemeinsam mit dem US-amerikanischen Chiphersteller Intel einen Mikrochip für Forschung und Lehre entwickelt – vom Entwurfsprozess über das Tape-out bis hin zur Charakterisierung des Rohchips. Der Chip heißt KIT „Callisto“, hat eine Gesamtfläche von vier Quadratmillimetern und nutzt moderne Transistortechnologie von Intel. Ermöglicht wurde das Projekt durch das Intel University Shuttle Program, bei dem der Chiphersteller nach einer kompetitiven Auswahlphase mit Universitäten weltweit kooperiert.

(Für einen detaillierten Überblick zu den Fördermaßnahmen für Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler am KIT s. Kap. A.1.2.5 „Nachwuchsförderung“ sowie die Abschnitte zum Bund-Länder-Programm in Kap. A.1.2.1 und A.1.2.4.)

Ausbau der internationalen Kooperationen

Im Bereich der internationalen Studierenden verzeichnet das KIT eine anhaltend positive Entwicklung. Während die Gesamtzahl der Studierenden im Wintersemester 2024/25 geringfügig gesunken ist, stieg die Zahl der internationalen Studierenden um 9,2 % an. Besonders Studierende aus Indien zeigen ein wachsendes Interesse am KIT, was insbesondere auf das erweiterte Angebot an englischsprachigen Masterstudiengängen zurückzuführen ist. Auch in China und der Türkei bleibt das KIT eine gefragte akademische Institution. Die beiden großen Herausforderungen der vergangenen Jahre – die Einführung von Studiengebühren für internationale Studierende im Jahr 2016/17 sowie die pandemiebedingten Einschränkungen 2020 – sind inzwischen überwunden. Das Bewerbungsaufkommen hat im Wintersemester 2024/25 sogar einen neuen Höchststand erreicht.

Das Pierre-Auger-Observatorium ist mit einer Fläche von 3.000 km² das weltweit größte Messinstrument für kosmische Strahlung. Es wird von mehr als 400 Forschenden aus 17 Ländern betrieben. Zahlreiche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT sind an der Forschung mit dem Detektorsystem beteiligt. Hier werden die energiereichsten Teilchen aus der kosmischen Strahlung erfasst, um ihre Art, Herkunft und Ausbreitung über Millionen von Lichtjahren zu verstehen. 2024 ging das internationale Gemeinschaftsprojekt in die Verlängerung: Nach erfolgreicher Begutachtung wurde es um mindestens weitere zehn Jahre verlängert.

Im Rahmen einer feierlichen Zeremonie erhielt Dr. Chris Funk, Direktor des Climate Hazards Center an der Universität von Kalifornien in Santa Barbara, am 25. November den „International Excellence Award of KIT“ und das „Fellowship of SCHROFF Foundation“ 2024 (s. Kapitel A.1.2.3, Unterpunkt „Weiterentwicklung des KIT und wichtige Ereignisse“ oben).

Seit 1999 sind die Tongji-Universität in Shanghai und das KIT partnerschaftlich miteinander verbunden. Am 5. November 2024 feierten das KIT und die Tongji-Universität ihre 25-jährige Partnerschaft mit einer zweitägigen Veranstaltung in Karlsruhe. Prof. Dr. Jan S. Hesthaven,

Präsident des KIT, und Prof. Dr. Fang Shouen, Senatspräsident der Tongji-Universität, eröffneten die Zeremonie und erneuerten die Kooperationsvereinbarung, die zu einer strategischen Partnerschaft erweitert wurde.

EPICUR steht seit 2019 für eine attraktive und innovative Europäische Universitätsallianz. Der Zusammenschluss von neun Partneruniversitäten prägt mit einem vielfältigen interdisziplinären Kursprogramm eine neue Generation von Studierenden in Europa. 2024 entstand innerhalb von EPICUR eine neue zentrale Serviceeinheit: das Centre for International Teaching and Learning (EPiC TLC) für Lehrende und lehrunterstützende Personen. Das virtuelle EPiC TLC bietet eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Vernetzung, beruflichen Weiterbildung und Inspiration und stärkt damit die Internationalisierung, Innovation und die Freude an qualitativ hochwertiger Hochschullehre.

Auch der trinationale Zusammenschluss zwischen fünf Universitäten am Oberrhein – Eucor – The European Campus – wird weiter ausgebaut: Er erhielt eine dritte grenzüberschreitende Professur. Die Eucor-Professur „Wasser und Nachhaltigkeit“ ist seit September 2023 mit Prof. Dr. Karl Matthias Wantzen besetzt. Mit der Stelle entstand eine weitere Brücke zwischen dem KIT und der Universität Straßburg in Kooperation mit der Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg. Ziel der Professur ist eine erweiterte interdisziplinäre Forschung und Lehre zum nachhaltigen Wassermanagement mit Fokus auf der Oberrheinregion sowie die Entwicklung von Projekten zusammen mit privaten und öffentlichen Partnern. Ein grenzüberschreitender, transdisziplinärer Masterstudiengang in „Continental Water Sustainability“ ist geplant und soll ab September 2026 beginnen. Als Vorbereitung dazu wurde bereits eine Eucor Fall School angeboten.

Digitalisierung

Digitalisierung und Nachhaltigkeit sind zentrale Transformationen unserer Zeit. Die digitale Transformation führt zu tiefgreifenden Veränderungen der Produktions-, Mobilitäts- und Energiesysteme sowie unserer Konsummuster. Um Fehlentwicklungen zu vermeiden, muss dieser Wandel nachhaltig und verantwortungsvoll gestaltet werden. Gleichzeitig sind digitale Lösungen essenziell für die Bewältigung von Nachhaltigkeitsproblemen wie Klimawandel, Ressourcenknappheit und Biodiversitätsverlust. Am KIT werden Digitalisierung und Nachhaltigkeit schon lange erforscht, gelehrt und umgesetzt. Die zwei Transformationen stärker zusammen zu denken (Twin Transformation) und zu gestalten, ist ein wichtiger Ansatzpunkt und damit auch im Fokus des KIT. Auch auf strategischer Ebene sind die beiden Querschnittsthemen eng miteinander verknüpft: Mit dem im Oktober 2024 gestarteten „Schnittstellenprojekt Digitalisierung und Nachhaltigkeit“ wird das Ziel verfolgt, wichtige Potenziale an der Schnittstelle von Digitalisierung und Nachhaltigkeit für Forschung, Lehre, Transfer sowie für die internen Prozesse des KIT zu identifizieren und umzusetzen. Alle Mitarbeitenden und Studierenden wurden dazu eingeladen, ihre konkreten Ideen in einem Elevator-Pitch-Format einreichen, um die Transformation an der Schnittstelle Digitalisierung und Nachhaltigkeit voranzubringen. Besonders innovative und impact-orientierte Ideen werden in Workshops weiter ausgearbeitet und anschließend kriteriengestützt priorisiert und zu Konzepten für konkrete Umsetzungs- und Pilotvorhaben ausgearbeitet.

Wichtige Impulse für die Digitalisierung in den Kernaufgaben setzte auch das Maßnahmenpaket, mit dem das Land insgesamt acht Initiativen fördert, die der Digitalisierung von Lehre, Forschung und Verwaltung an den Hochschulen und Universitäten des Landes Baden-Württemberg einen deutlichen Schub geben sollen. Ziel ist es, ein modernes, flexibles und individuelles Hochschulstudium zu ermöglichen und den Lehrenden den Einsatz digitaler Lehr- und

Lernformate zu erleichtern. Die ausgewählten Projekte werden vom Land Baden-Württemberg mit insgesamt rund fünf Mio. Euro gefördert. Das KIT ist an fünf dieser acht Initiativen beteiligt, bei dreien hat es die Federführung.

Bei einem Informationstag am 4. Dezember 2024 gab das E-Learning-Team des Zentrums für Mediales Lernen (ZML) am KIT einen umfassenden Überblick über seine vielfältigen Service-Angebote. In kurzen Inputs von jeweils 15 Minuten lernten die Teilnehmenden wichtige Facetten des Medieneinsatzes in der Lehre kennen und erfuhren, welche Unterstützungsangebote sie hierfür am ZML nutzen können. Vorgestellt wurden sowohl didaktische Themen wie auch die technischen Rahmenbedingungen am KIT. Im Rahmen des Informationstages stellte das ZML auch den gemeinsam mit der Bibliothek neu eingerichteten Digital Maker Space vor. Der Digital Maker Space im InformatiKOM am KIT bietet Studierenden und Lehrenden die Möglichkeit zur Medienproduktion und Aufzeichnung in professioneller Umgebung. Im InformatiKOM betreibt das ZML auch das Digital Learning Lab, eine innovative Lernumgebung, die aus einem realen und einem virtuellen Raum besteht. Studierende können hier verschiedene Technologien kennenlernen und direkt ausprobieren.

Als erste Universitätsbibliothek Deutschlands hat die Bibliothek des KIT das freie Bibliotheksmanagementsystem Koha eingeführt. Der vor der Jahreswende erfolgreich abgeschlossene Launch verspricht den Nutzerinnen und Nutzern der Bibliothek einen spürbaren Zuwachs an Funktionalität, Gebrauchstauglichkeit und Nutzungserlebnis. Zugleich unterstützt das KIT mit diesem Schritt die Bemühungen der baden-württembergischen Landesregierung um einen verstärkten Einsatz von Open-Source-Lösungen.

Nachhaltigkeit

Das Jahr 2024 stand ganz im Zeichen des breiten Beteiligungsprozesses zur Nachhaltigkeit am KIT. Das Leitprojekt „Basisprojekt Nachhaltigkeit“ zur Umsetzung des Handlungsfelds Nachhaltigkeit der Dachstrategie KIT 2025 verfolgt das Ziel, nachhaltige Entwicklung in den Kernaufgaben Forschung, Lehre, Innovation sowie im KIT vom Arbeits- und Studienalltag bis zu den Infrastrukturen voranzubringen. In einem breiten, handlungsorientierten Beteiligungsprozess, werden Nachhaltigkeitsthemen erarbeitet, kriteriengestützt priorisiert und über Umsetzungskonzepte verankert. Das Projekt gliedert sich in mehrere Arbeitspakete zu Forschung, Lehre, Transfer & Innovation und zum KIT als Organisation. Das Projekt wird in den folgenden Absätzen kurz vorgestellt und durch weitere beispielhafte Aktivitäten des KIT im Feld der Nachhaltigkeit in Forschung, Lehre und Innovation ergänzt.

Der Frage, wie die Nachhaltigkeitsforschung am KIT weiter ausgestaltet werden kann, wurde im Arbeitspaket Forschung des Basisprojekts Nachhaltigkeit nachgegangen. Die priorisierten Forschungsthemen haben ihren Fokus in den Bereichen Energiewende, Klimawandelanpassung, nachhaltige Mobilität, Zirkularität und Ressourcenschonung. Ziel ist, die Forschung zu Nachhaltigkeit substanziell voranbringen und die neuen Ideen in laufende Prozesse am KIT einzuspeisen.

Zudem wurde im KIT-Zentrum Klima und Umwelt für den Forschungsschwerpunkt Kreislaufwirtschaft und Umwelttechnologien ein neues Topic eingerichtet, um die Expertise entsprechend zu bündeln und Synergien zu schaffen. Damit sollen eine systemische Herangehensweise gestärkt und von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung Synergien erschlossen werden.

Kreisläufe sollen dabei über Systemgrenzen hinweg geschlossen und Rohstoffbedarf, Emissionen und Abfälle industrieller Kernprozesse minimiert werden.

Darüber hinaus wurde am KIT ein auf recyceltem Beton und einem Teil Kalkstein basierender Klinker entwickelt, dessen Produktion in einer Pilotanlage am KIT für Belit-Zementklinker erprobt wird. Klimaneutral wird der Kreislaufbeton durch die direkte Kopplung der Klinkerherstellung mit der Produktion von karbonatisierter Gesteinskörnung. Dabei wird das CO₂ aus der Klinkerproduktion direkt zur Karbonatisierungshärtung grobkörniger Betonabfälle eingesetzt und so langfristig gebunden. Mit diesem klimaneutralen Kreislaufbeton könnten sich die Treibhausgasemissionen im Bausektor signifikant reduzieren lassen.

Im Arbeitspaket Lehre des Basisprojekts Nachhaltigkeit wurden Workshops und eine KIT-weite Umfrage unter Studierenden sowie unter Arbeitgeberinnen und Arbeitgebern durchgeführt. Hieraus wurden Ideen und Maßnahmen für die Weiterentwicklung der nachhaltigkeitsorientierten Lehre abgeleitet, um Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) stärker zu verankern. Unter Federführung des House of Competence (HoC) und des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) entsteht außerdem das Konzept für ein neu aufgesetztes Begleitstudium Nachhaltigkeit. Weitere Angebote für BNE am KIT sind beispielsweise die International Seasonal School zur Umweltbildung und Nachhaltigkeit, die Schule der Transformation des House of Competence des KIT und des Karlsruher Transformationszentrums für Nachhaltigkeit und Kulturwandel sowie transdisziplinäres Lernen über #climatechallenge.

Das Arbeitspaket Transfer des Basisprojekts Nachhaltigkeit befasst sich mit der Frage, welche Formate besonders für den Transfer von Nachhaltigkeitsinnovationen geeignet sind.

Mit dem Innovationscampus Nachhaltigkeit startete im Januar 2024 zusammen mit der Universität Freiburg eine neue Innovationsplattform, um in den Innovationsfeldern Klimaschutz, Ressourcenschonung und Well-being ein Innovationsökosystem zwischen Wirtschaft, Politik und öffentlicher Verwaltung, Zivilgesellschaft und Wissenschaft zu etablieren.

Auf der Hannover Messe hat das KIT innovative Exponate und Präsentationen im Future Hub sowie bei den Energy Solutions vorgestellt. Mit ressourcenschonenden Produktionsverfahren, Beiträgen zur erneuerbaren Energieversorgung und der Automatisierung industrieller Prozesse zeigten Forschende inter- und transdisziplinäre Ansätze, um über gemeinsam von Wissenschaft und Wirtschaft entwickelte Innovationen die Transformation zu einer nachhaltigeren Industrie zu schaffen.

Auch im KIT selbst wurden 2024 wichtige Weichen für den Weg Richtung Nachhaltigkeit inklusive Netto-Treibhausgasneutralität gestellt.

Mit der Übernahme der Bauherreneigenschaft ist das KIT als Landesuniversität nun auch für die Bau- und Sanierungsprozesse für die an den Campus Süd, Ost und West genutzten Landesliegenschaften verantwortlich. Diese Rolle ist im 2. KIT-Weiterentwicklungsgesetz festgeschrieben. Sanierungs- und (Ersatz-) Neubauprojekte werden nun von der Konzeption bis zur Durchführung der Baumaßnahmen von der Dienstleistungseinheit Planen und Bauen gesteuert. Dadurch können Verfahren vereinfacht und beschleunigt werden.

Außerdem wurden die Weichen für eine deutlich effektivere Nutzung der Flächen über alle Campus gestellt.

Das im Jahr 2024 gestartete Projekt zu Defossilisierung der Wärmeversorgung des KIT legt die Basis für den Weg des KIT zur Netto-Treibhausgasneutralität. Auch der Übergang zu einer nachhaltigen Stromversorgung und zur Energieeffizienz kommen voran. An den Standorten des KIT schritt z.B. der Photovoltaik-Ausbau weiter voran; auch 2025 und in den folgenden Jahren werden weitere Solaranlagen installiert werden. 2024 wurde der Leuchtmitteltausch hin zur LED-Technologie vorangetrieben und ein KIT-internes Intracting für Effizienzinvestitionen beschlossen

Hochrangige Besuche am KIT

Im Jahr 2024 besuchten erneut zahlreiche Abgeordnete, Staatssekretärinnen und -sekretäre sowie Ministerinnen und Minister des Landes Baden-Württemberg und des Bundes das KIT, um sich über verschiedene Themen in Forschung, Lehre und Innovation zu informieren. Einige der Besuche seien hier erwähnt: Der baden-württembergische Ministerpräsident Winfried Kretschmann, Wissenschaftsministerin Petra Olschowski und Verkehrsminister Winfried Hermann informierten sich am 12. Januar 2024 am KIT über aktuelle Projekte und Ergebnisse aus der Mobilitätsforschung. Im Fokus stand der InnovationsCampus Mobilität der Zukunft, außerdem stellte sich das Baden-Württemberg Institut für Nachhaltige Mobilität (BWIM) vor, das als unabhängiger Think- und Do-Tank zur aktiven Gestaltung der Mobilitätswende in Baden-Württemberg beiträgt. Am 1. Februar hielt der baden-württembergische Finanzminister Dr. Danyal Bayaz am KIT einen öffentlichen Vortrag über „Finanzpolitik in herausfordernden Zeiten“. Die baden-württembergische Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kunst, Petra Olschowski, kam am 13. Februar 2024 an den Campus Nord des KIT, um sich ein Bild von der Fusionsforschung des KIT zu machen. Um sich über aktuelle Ergebnisse und laufende Projekte in der Mobilitäts- und Energieforschung zu informieren, besuchte Dr. Volker Wissing, Bundesminister für Digitales und Verkehr, am 1. März 2024 das KIT. Im Mittelpunkt standen das KIT-Zentrum Mobilitätssysteme sowie das Energy Lab am KIT. Bei ihrer Start-up-Tour durch Karlsruhe und Stuttgart kam Petra Olschowski, Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg, am 27. März 2024 erneut an das KIT. Dabei informierte sie sich über Förder- und Unterstützungsmöglichkeiten von forschungsbasierten Ausgründungen. Zwei Parlamentarier von Bündnis 90/Die Grünen besuchten am 22. Juli 2024 das KIT. Am Campus Nord kamen Kai Gehring, Vorsitzender des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung am Deutschen Bundestag, und Alexander Salomon, Mitglied des baden-württembergischen Landtags für den Wahlkreis Karlsruhe-West, zunächst mit Vizepräsident Prof. Dr. Alexander Wanner zusammen, um sich über aktuelle wissenschaftspolitische Themen auszutauschen. Den zweiten Teil des Programms bildeten Führungen durch das Energy Lab und die Anlagen des Verbundvorhabens NECOC (Negative Emissions through converting Carbon diOxide to Carbon). Staatssekretär Dr. Andre Baumann vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg besuchte am 6. August 2024 das Institut für Massivbau und Baustofftechnologie (IMB) und die Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Karlsruhe (MPA Karlsruhe), um sich über die Baustoffforschung am KIT zu informieren. Die aktuelle Forschung im Bereich der Gesundheitstechnologien stand im Mittelpunkt des Besuchs des baden-württembergischen Ministers für Soziales, Gesundheit und Integration, Manne Lucha, und des Karlsruher Oberbürgermeisters Dr. Frank Mentrup am 14. August 2024 am KIT-Zentrum Health Technologies (HealthTech). Einen Überblick über das KIT-Zentrum Klima und Umwelt erhielt Sandra Weeser, Vorsitzende des Ausschusses für Wohnen, Stadtentwicklung, Bauwesen und Kommunen im Deutschen Bundestag am 28. August 2024. Sie besuchte außerdem die Kreislauffabrik am wbk Institut für Produktionstechnik des KIT. Am 1. Oktober 2024 besuchten Parlamentarierinnen und Parlamentarier aus der Landtagsfraktion von Bündnis 90/DIE GRÜNEN in Bayern das KIT. Dabei machte sich der Arbeitskreis „Gesellschaftlicher Zusammenhalt“ ein persönliches Bild von den Aktivitäten der InnovationsCampus Nachhaltigkeit und Mobilität am KIT. Anlässlich der feierlichen Amtseinführung des neuen Präsidenten des KIT, Prof. Dr. Jan S. Hesthaven, kam die baden-württembergische Wissenschaftsministerin Petra Olschowski am 4. Dezember 2024 noch einmal ans KIT. Am 5. Dezember nahm sie an der feierlichen Eröffnung der Karlsruhe School of Education (KSE) teil. Die gemeinsame Einrichtung des KIT und der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe stärkt die Bildung von Lehrkräften.

Unterstützung Geflüchteter

Die Koordinationsstelle zur Integration von Geflüchteten und Migrantinnen und Migranten am KIT verzeichnete weiterhin viele Anfragen (durchschnittlich 10 - 15 Personen pro Woche). Sie beriet und informierte sowohl per E-Mail als auch in einer wöchentlichen Sprechstunde zahlreiche Studieninteressierte sowie Akademierinnen und Akademiker, die sich auf dem deutschen Arbeitsmarkt orientieren wollten. Die Hauptherkunftsländer waren weiterhin Ukraine, Türkei, Syrien und Afghanistan.

Nachdem die DAAD-Programme „Integra“ und „Welcome“ zur Integration von Geflüchteten an Hochschulen zum 31. Dezember 2023 ausgelaufen waren, konnte 2024 mit finanziellen Mitteln der Christian Bürkert Stiftung ein kleines Gasthörendenprogramm am KIT aufrechterhalten werden. In diesem Rahmen können durchschnittlich fünf geflüchtete Menschen pro Semester Sprachkurse am KIT besuchen, die KIT-Bibliothek nutzen, an interkulturellen Veranstaltungen teilnehmen und mit Beratungsangeboten auf ihrem Weg ins Studium begleitet werden.

Das International Scholars and Welcome Office (IScO) war in der 14. Ausschreibungsrunde der „Philipp Schwartz-Initiative für gefährdete Wissenschaftler*innen“ (PSI) mit allen drei Nominierungsvorschlägen erfolgreich. Seit Oktober bzw. Dezember 2024 forschen nun drei weitere – insgesamt fünf PSI-geförderte Forschende in 2024 – am KIT und leben mit ihren Familien nunmehr in bzw. bei Karlsruhe.

Aufgrund der ungeklärten Haushaltslage im Bund konnte 2024 lediglich eine PSI-Ausschreibungsrunde (Runde 15) erfolgen statt wie sonst zwei. Gegen Ende des Jahres wurden sog. „Brückenförderungen“ ausgeschrieben, zur Überbrückung der Zeit bis zur Entscheidung der Bewilligungen in der Runde 15, mit Stipendienstart im Juli 2025. Das KIT reichte zwei Anträge ein.

Auszeichnungen, Preise und Berufungen in Ämter, Gremien o.ä.

Zahlreiche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT wurden im Jahr 2024 mit hohen Preisen ausgezeichnet oder wurden in Ämter oder Gremien berufen. Die folgende Auflistung basiert auf einer detaillierten und kontinuierlichen Recherche; aufgrund der Dynamik und der Vielzahl der Verleihungen ist sie nicht abschließend.

Preisträgerin/ Preisträger	OE am KIT	Auszeichnung/Preis
Dr. Martin Angerer	Karlsruher Schule für Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik: Wissenschaft und Technologie (KSETA)	Helmholtz-Promotionspreis
Prof. Dr. Almut Arneth	Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Umweltforschung (IMKIFU)	Verdienstorden des Landes Baden-Württemberg
Prof. Dr. Christopher Barner-Kowollik	Institut für Funktionelle Grenzflächen (IFG)	Alexander von Humboldt-Professur
Jan Niklas Blötz	DE Innovations- und Relationshipmanagement (IRM)	Preis der KIT Freundeskreis und Fördergesellschaft e.V.
Laura Bosch	DE Innovations- und Relationshipmanagement (IRM)	Preis der KIT Freundeskreis und Fördergesellschaft e.V.

Preisträgerin/ Preisträger	OE am KIT	Auszeichnung/Preis
Doreen Brinker	Institut für Entwerfen und Bau- technik (IEB)	Young Talent Award des Badischen Archi- tekturpreises 2024
Dr. Sina Brückner-Amin	Archiv für Architektur und Ingeni- eurbau (SAAI)	Promotionspreis des KIT 2024
Prof. Dr. Klaus Butterbach-Bahl	Institut für Meteorologie und Kli- maforschung Atmosphärische Umweltforschung (IMKIFU)	Nachhaltigkeitspreis des Nobel Sustainability Trust
Prof. Dr. Luisa de Cola	Gastwissenschaftlerin am Institut für Funktionelle Grenzflächen (IFG)	Royal Society of Chemistry (RSC) Centenary Prize for Chemistry and Communication 2024
Prof. Dr. Stefanie Dehnen	Institut für Nanotechnologie (INT)	Aufnahme in die „Class of 2022/23 Fellows“ für bemerkenswerte Beiträge sowie für Spit- zenleistungen in den Bereichen Forschung, Unterstützung, Kreativität und Innovation
Prof. Dr. Stefanie Dehnen	Institut für Nanotechnologie (INT)	Korrespondierendes Auslandsmitglied in der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Österreichischen Akademie der Wissenschaft (ÖAW)
Prof. Dr. Stefanie Dehnen	Institut für Nanotechnologie (INT)	Honorary Fellow of the Chinese Chemical Society (CCS)
Dr. Ali Riza Durmaz	Institut für Angewandte Materia- lien (IAM)	Südwestmetall-Förderpreis des Arbeitgeber- verbands Südwestmetall
Dr. Elisabeth Eiche	Institut für Angewandte Geowis- sensschaften (AGW)	Hermann-Credner Preis der Deutschen Geo- logischen Gesellschaft/Geologischen Verei- nigung
Yannick Erb	Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsver- fahren (AIFB)	IT Innovation Award 2023 des Fujitsu NEXT e.V.
Prof. Dr. Maximilian Fichtner	Institut für Nanotechnologie (INT) und Direktor des Helmholtz-Insti- tuts Ulm (HIU)	Wissenschaftspreis der Stadt Ulm
Viktoria Fitterer	Dienstleistungseinheit Campus Services (CSE)	Wahl zur Vorstandsvorsitzenden des Messe- arbeitskreises Wissenschaft e. V. (mak)
Moritz Fünkner	Institut für Fahrzeugsystemtechnik (FAST)	Schöck Bau-Innovationspreis
Dr. Isabel Gallin	Stabsstelle Digital Office inkl. In- formationssicherheit (DO)	Wahl zur Vizepräsidentin der Netzwerkorga- nisation European University Information Systems (EUNIS)
Prof. Dr. Tilman Gneiting	Institut für Stochastik (STOCH)	Wald Memorial Award and Lectures
Lisa-Lou Gracia	Institut für Organische Chemie (IOC)	Sparkassen-Umwelt-Preis
Prof. Dr. Steffen Grohmann	Institut für Technische Thermody- namik und Kältetechnik Refrigera- tion and Cryogenics (TTK-KKT) / Institut für Beschleunigerphysik und Technologie (IBPT)	ERC Advanced Grant (Projekt GRAVITHE- LIUM)

Preisträgerin/ Preisträger	OE am KIT	Auszeichnung/Preis
Prof. Dr. Armin Grunwald	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)	Auswahl von Table.Media zu einem von 100 entscheidenden Köpfen der deutschsprachigen Wissenschaftsszene in der Kategorie „Think Tank“
Prof. Dr. Armin Grunwald	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)	Berater von Ländervertretungen in UN-Gremium
Dr. Fabian Hagen	Engler-Bunte-Institut (EBI)	Förderpreis der Friedrich und Elisabeth Boysen-Stiftung 2024
Prof. Dr. Gudrun Heinrich	Institut für Theoretische Physik (ITP)	gewähltes Mitglied des Fachkollegiums der DFG
Prof. Dr. Christoph Hilgers	Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)	Wahl zum ersten Vorsitzenden des Berufsverbands Deutscher Geowissenschaftler e. V. (BDG)
Prof. Dr. Thomas Hirth	Vizepräsident Transfer und Internationales	Wahl in den Vorstand der DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., außerdem Delegation in den DECHEMA-Koordinierungskreis
Prof. Dr. Thomas Hirth	Vizepräsident Transfer und Internationales	DECHEMA Medaille für langjähriges Engagement als Vorsitzender der deutschen Plattform für Verfahrenstechnik
Prof. Dr. Thomas Hirth	Vizepräsident Transfer und Internationales	Wahl in die Jury des Deutschen Umweltpreises durch das Kuratorium der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)
Prof. Dr. Marlis Hochbruck	Institut für Angewandte und Numerische Mathematik (IANM)	Berufung in die internationale Expertenkommission des Elitenetzwerks Bayern
Dr. Maxi Hoffmann	Institut für Technische Chemie und Polymerchemie (ITCP)	FCTKA-Preis der Freunde der Chemischen Technik Karlsruhe
Prof. Dr. Michael Hoffmann	emeritierter Professor des Instituts für Angewandte Materialien (IAM)	Ehrenmitgliedschaft der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM)
Felix Huber	Technischer Produktdesigner wbk Institut für Produktionstechnik (wbk)	Ehrung als landesbester Absolvent seines Jahrgangs durch Industrie- und Handelskammer Karlsruhe (IHK)
Dr. Alik Ismail-Zadeh	Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)	Wahl zum Vorsitzenden der Kommission für mathematische Geophysik der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG)
Dr. Alik Ismail-Zadeh	Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)	Berufung in den wissenschaftlichen Ausschuss des Programms für Integrierte Forschung zum Katastrophenrisiko durch den Internationalen Wissenschaftsrat
Julia Jager	Biologielaborantin Zoologisches Institut (ZOO), Abteilung für Zell- und Entwicklungsbiologie	Ehrung als landesbeste Absolventin ihres Jahrgangs durch Industrie- und Handelskammer Karlsruhe (IHK)
Dr. Noémie Jaquier	Institut für Anthropomatik und Robotik (IAR)	Preis der Hector Stiftung
Dr. Joel Joseph	Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT)	Helmholtz-Promotionspreis

Preisträgerin/ Preisträger	OE am KIT	Auszeichnung/Preis
Dr. Alexander Kauffmann	Institut für Angewandte Materialien (IAM)	Masing Memorial Prize der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM)
Dr. Marc Keller	Institut für Thermische Strömungsmaschinen (IST)	Förderpreis der Friedrich und Elisabeth Boyesen-Stiftung 2023
Natascha Kindsvogel	DE Finanzmanagement (FIMA)	Preis der KIT Freundeskreis und Fördergesellschaft e.V.
Prof. Dr. Christian Kirchberg	Ehem. Lehrbeauftragter am Zentrum für Angewandte Rechtswissenschaften und Institut für Informations- und Wirtschaftsrecht (IIWR)	Staufer-Medaille des Landes Baden-Württemberg
Prof. Dr. Joachim Knebel	Leiter Bereich 3 - Maschinenbau und Elektrotechnik	Wahl zum stellvertretenden Sprecher für das Direktorium des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien (FVEE)
Prof. Dr. Jochen Kolb	Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)	Wahl zum stellvertretenden Vorsitzenden Hochschule und Forschungseinrichtungen des Berufsverbands Deutscher Geowissenschaftler e. V. (BDG)
Prof. Dr. Christian Koos Prof. Dr. Stefan Bräse	Institut für Photonik und Quantenelektronik (IPQ) Institut für Organische Chemie (IOC)	ERC Synergy Grant (Projekt ATHENS)
Prof. Dr. Oliver Kraft	Vizepräsident Forschung	Berufung als stimmberechtigtes Mitglied in die Wissenschaftliche Kommission Niedersachsen
Prof. Dr. Harald Kunstmann	Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Umweltforschung (IMKIFU)	Deutscher Hydrologiepreis der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft (DHG)
Tobias Länge	Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB)	Auszeichnung für seine Masterarbeit durch den Verein für Angewandte Informatik Karlsruhe e.V.
Prof. Dr. Gisela Lanza	wbk Institut für Produktionstechnik (wbk)	Erneute Wahl in den DFG-Senat durch die Mitgliederversammlung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)
Prof. Dr. Annette Leßmöllmann	Institut für Technikzukünfte (ITZ)	Wahl zur zweiten Vorsitzenden des Hörfunkrats von Deutschlandradio
Dr. Jan van der Linden	Institut für Experimentelle Teilchenphysik (ETP)	Promotionspreis des KIT 2023
Dr. Patrick Lott	Institut für Technische Chemie und Polymerchemie (ITCP)	FCTKA-Preis der Freunde der Chemischen Technik Karlsruhe
Dr. Roman Lyubimenko	Institute for Advanced Membrane Technology (IAMT)	Sparkassen-Umwelt-Preis
Philipp Matheis	Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB)	Auszeichnung für seine Masterarbeit durch den Verein für Angewandte Informatik Karlsruhe e.V.
Dr. Marvin Carl May	wbk Institut für Produktionstechnik (wbk)	Promotionspreis des KIT 2024

Preisträgerin/ Preisträger	OE am KIT	Auszeichnung/Preis
Hannah Meyer	Institut für Meteorologie und Klimaforschung Troposphärenforschung (IMKTRO)	Auszeichnung „Outstanding Student and PhD candidate Presentation“ (OSPP) auf der Generalversammlung 2024 der European Geosciences Union (EGU)
Prof. Dr. Raffaella Mirandola	Institut für Informationssicherheit und Verlässlichkeit (KASTEL)	Most Influential Paper Award bei der 15th ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering (ICPE 2024), South Kensington, UK
Fabian Mockert	Institut für Meteorologie und Klimaforschung Troposphärenforschung (IMKTRO)	Klimapreis der Reinhard-Süring-Stiftung
Prof. Dr. Margarete Mühlleitner	Institut für Theoretische Physik (ITP)	Wahl zur stellvertretenden Vorsitzenden des Komitees für Elementarteilchenphysik (KET)
Prof. Dr. Gerhard Neumann	Institut für Anthropomatik und Robotik (IAR)	ERC-Consolidator Grant (Projekt SMARTI)
Dr. Clifford Patten	Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)	SGA-Young Scientist Award (Society for Geology Applied to Mineral Deposits)
Prof. Dr. Holger Puchta	Joseph Gottlieb Kölreuter Institut für Pflanzenwissenschaften (JKIP)	Mitglied der Leopoldina - Nationale Akademie der Wissenschaften und der Europäischen Akademie der Wissenschaften (Academia Europaea)
Andrea Cecilia Santos Rodríguez	Institut für Entwerfen, Kunst und Theorie (EKUT)	Sparkassen-Umwelt-Preis
Dr. Tobias Röddiger	Institut für Telematik (TM)	Informatics Europe 2024 Best Dissertation Award (BDA) bei der 20. European Informatics Leaders Summit (ECSS 2024)
Dr. Tobias Röddiger	Institut für Telematik (TM)	Helmholtz-Promotionspreis
Dr. Michelle Rönspies	Joseph Gottlieb Kölreuter Institut für Pflanzenwissenschaften (JKIP)	Bayer Pharmaceuticals Promotionspreis der Gesellschaft für Biochemie und Molekularbiologie
Dr. Michelle Rönspies	Joseph Gottlieb Kölreuter Institut für Pflanzenwissenschaften (JKIP)	Elisabeth-Gateff-Preis der Gesellschaft für Genetik
Prof. Dr. Peter W. Roesky	Institut für Anorganische Chemie (AOC)	Marianne-Baudler-Preis der Gesellschaft Deutscher Chemiker
Prof. Dr. Wilhelm Schabel	Institut für Thermische Verfahrenstechnik (TVT)	John A. Tallmadge Award in Coating Technology von der International Society of Coating Science and Technology und dem American Institute of Chemical Engineers
Dr. Bianca Schacherl	Institut für Nukleare Entsorgung (INE)	Promotionspreis des KIT 2023
Prof. Dr. Herwig Schopper	Gründungsdirektor der Institute für Experimentelle Kernphysik der früheren Technischen Hochschule Karlsruhe (TH) und des damaligen Kernforschungszentrums Karlsruhe sowie ab 1960 ordentlicher Professor an der TH Karlsruhe	Heisenberg-Medaille 2024 der Heisenberg-Gesellschaft Ehrendoktorwürde des KIT

Preisträgerin/ Preisträger	OE am KIT	Auszeichnung/Preis
Dr. Dominik Schreiber	Institut für Theoretische Informatik (ITI)	Gemeinsamer Dissertationspreis der Gesellschaft für Informatik e. V., der Österreichischen Computer Gesellschaft und der Schweizer Informatikgesellschaft
Dr. Constantin Seibold	Institut für Anthropomatik und Robotik (IAR)	Promotionspreis des KIT 2023
Elke Siedentopp	Institut Entwerfen und Bautechnik (IEB)	Preis der KIT Freundeskreis und Fördergesellschaft e.V.
Alexander Streilin	Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK)	Preis der KIT Freundeskreis und Fördergesellschaft e. V. (KFG)
Dr. Simon Ternes	Institut Mikrostrukturtechnik (IMT)	Sparkassen-Umwelt-Preis
Karina Trindade	Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT)	Applied Photonics Award in der Kategorie „Special Jury Prize for Application in Sustainability“
Tim Niklas Uhl	Institut für Theoretische Informatik (ITI)	Golden Spike Award
Prof. Dr. Marliese Uhrig-Homburg	Institut für Finanzwirtschaft, Banken und Versicherungen (FBV)	Wahl in den Auswahlausschuss für den Heinz Maier-Leibnitz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)
Prof. Dr. Dorothea Wagner	Institut für Theoretische Informatik (ITI)	Aufnahme als korrespondierendes Mitglied der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste
Prof. Dr. Dorothea Wagner	Institut für Theoretische Informatik (ITI)	Erste KIT-Seniorprofessur
Dr. Benjamin Walter	Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)	Victor-Moritz-Goldschmidt-Preis der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft (DMG)
Elisé Wamen	Allgemeiner Studierendenausschuss am KIT (AStA)	Karlsruher Integrationspreis
Prof. Dr. Marion A. Weissenberger-Eibl	Institut für Entrepreneurship, Technologiemanagement und Innovation (ENTECHNON)	Rudolf-Diesel-Medaille in der Kategorie „Beste Innovationsförderung“ des Deutschen Instituts für Erfindungswesen
Dr. Karina Winkler	Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Umweltforschung (IMKIFU)	Helmholtz-Promotionspreis
Dr. Jannik Wilhelm	Institut für Meteorologie und Klimaforschung Troposphärenforschung (IMKTRO)	Zweitbester Platz bei der Otto-Haxel-Auszeichnung für Physik, (vergeben von der KIT Freundeskreis und Fördergesellschaft e. V. (KFG) in Zusammenarbeit mit der Deutschen Physikalischen Gesellschaft)
Dr. Jingyuan Xu	Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT)	Leopoldina-Preis für junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler 2023, außerdem Förderpreis der Hector Fellow Academy und Aufnahme in die Global Young Academy
Dr. Jingyuan Xu	Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT)	Ökologiepreis der Viktor & Sigrid Dulger-Stiftung
Dr. Jiaming Zhang	Engler-Bunte-Institut (EBI)	Promotionspreis des KIT 2024

A.1.2.4 Planungen des laufenden und des kommenden Jahres

Strategische Entwicklung

Das KIT hat mit der Dachstrategie KIT 2025 die Weichen für seine Weiterentwicklung für die kommenden Jahre gestellt. Mit der Aufnahme der Handlungsfelder „Transfer“, „Digitalisierung“ und „Nachhaltigkeit“ in die Dachstrategie greift das KIT aktuell drängende Herausforderungen und Chancen für die künftige Entwicklung von Gesellschaft und Umwelt auf.

Im Jahr 2024 wurden im Handlungsfeld Digitalisierung alle vorgesehenen Strategieprojekte zur weiteren Digitalisierung von Aufgaben und Prozessen aus den Themenfeldern „Forschung und Innovation“, „Studium und Lehre“, „Digital gestützte Administration“ sowie „Digitale Fundamente“ vorangetrieben. Schwerpunkte sind hierbei z.B. Forschungsdatenmanagement und Forschungssoftware, digitale Didaktik und digitale Lehr-/Lernsettings, die Einführung elektronischer Akten für bestimmte Anwendungsfälle in der Administration, die Weiterentwicklung des digitalen Arbeitsraums am KIT sowie die Wissensvermittlung zu Digital Literacy und Data Literacy. Mit dem im Oktober 2024 gestarteten „Schnittstellenprojekt Digitalisierung und Nachhaltigkeit“ wird das Ziel verfolgt, wichtige Potenziale an der Schnittstelle von Digitalisierung und Nachhaltigkeit für Forschung, Lehre, Transfer sowie für die internen Prozesse des KIT zu identifizieren und umzusetzen. Alle Mitarbeitenden und Studierenden wurden dazu eingeladen, ihre konkreten Ideen in einem Elevator-Pitch-Format einzureichen, um die Transformation an der Schnittstelle Digitalisierung und Nachhaltigkeit voranzubringen. Besonders innovative und impact-orientierte Ideen werden in Workshops weiter ausgearbeitet und anschließend kriteriengestützt priorisiert und zu Konzepten für konkrete Umsetzungs- und Pilotvorhaben ausgearbeitet (s. auch Kapitel A.1.2.3, Unterpunkt „Digitalisierung“).

Im Basisprojekt Nachhaltigkeit wurden in einem stark beteiligungsorientierten Prozess, gemeinsam mit Mitarbeitenden und Studierenden des KIT, Ideen und Maßnahmen zur Stärkung von Nachhaltigkeit in den Kernaufgaben und für das KIT als nachhaltige Organisation gesammelt, entwickelt, kriteriengestützt priorisiert und Umsetzungswege entwickelt und begangen. Das Projekt gliedert sich in mehrere Arbeitspakete zu „Forschung“, „Lehre“, „Transfer und Innovation“ und zum „KIT als Organisation“ – hinsichtlich Arbeits- und Studiumsalltag oder Infrastrukturen. Im Jahr 2024 abgeschlossen wurde das Arbeitspaket „Forschung“. Der Fokus lag hier darauf, zentrale Forschungsfragen sowie innovative Forschungsformate am KIT für eine nachhaltige Entwicklung zu identifizieren und diese Impulse für das KIT in laufende (fach-)strategische Prozessen (z.B. PoF, Exzellenzuniversität, Struktur- und Entwicklungsplanung) einzubringen und nutzbar zu machen. Die anderen Arbeitspakete werden 2025 abgeschlossen und dann auch in die Umsetzung gehen (s. auch Kapitel A.1.2.3, Unterpunkt „Nachhaltigkeit“).

Im Rahmen des Antrags auf die Exzellenzuniversität bereitete sich das KIT im Jahr 2024 ausgehend von den regelmäßig stattfindenden Statusgesprächen mit Bund und Land wie auch den Ergebnissen der im Februar 2023 durchgeführten selbstaufgelegten Zwischenevaluation auf die Evaluation 2025 vor. Neben dem positiven Ausgang dieser Evaluation ist das Einwerben von mindestens zwei Exzellenzclustern als eine weitere Voraussetzung für eine Fortsetzung der Förderung ab Januar 2027 notwendig. Ein Förderentscheid wird am 22. Mai 2025 erwartet. Mit seinen insgesamt drei Exzellenzcluster-Anträgen wahrt das KIT diesbezüglich seine Chancen. Die internen Vorbereitungen auf die zweite Förderperiode als Exzellenzuniversität am KIT umfassten 2024 unter anderem die Arbeit von Teams aus Fachexpertinnen und Fachexperten, deren Zuschnitt entlang der Förderkriterien für die Exzellenzuniversität gewählt wurde. Zudem wurden geplantes Vorgehen und wesentliche Inhalte regelmäßig im

„Sounding Board Exzellenzuniversität“ erörtert, einem rund 40-köpfigen Beratungskreis, der überwiegend aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern verschiedener Karrierestufen aus der ganzen disziplinären Breite des KIT sowie Vertreterinnen und Vertretern weiterer Akteursgruppen des KIT (u.a. Studierende, Promovierende, Beauftragte für Chancengleichheit, Personalrat) zusammengesetzt ist.

Das KIT befand sich 2024 in der vierten Phase der programmorientierten Förderung (PoF IV) der Helmholtz-Gemeinschaft und ist an elf Forschungsprogrammen in den vier Forschungsbereichen Helmholtz Energy, Helmholtz Information, Erde und Umwelt sowie Helmholtz Matter beteiligt. Im Rahmen des kontinuierlichen Strategieprozesses zur Helmholtz-Strategie des KIT wurden im Jahr 2024 die Fachgespräche auf Ebene der Forschungsbereiche und die Sitzungen der Helmholtz-Plattform@KIT zur Erarbeitung der Positionierung des KIT in den Strategiediskussionen der Helmholtz-Forschungsbereiche genutzt. Das war im Hinblick auf die fünfte Phase der programmorientierten Förderung (PoF V) und zur Vorbereitung der wissenschaftlichen Begutachtungen am KIT im ersten Halbjahr 2025 wichtig.

Mit der Übernahme der Bauherreneigenschaft ist das KIT als Landesuniversität auch für die Bau- und Sanierungsprozesse für die an den Campus Süd, Ost und West genutzten Landesliegenschaften verantwortlich. Diese Rolle ist im 2. KIT-Weiterentwicklungsgesetz festgeschrieben. Sanierungs- und (Ersatz-) Neubauprojekte werden nun von der Konzeption bis zur Durchführung der Baumaßnahmen von der Dienstleistungseinheit Planen und Bauen gesteuert. Dadurch wurde nicht nur die Möglichkeit geschaffen, Verfahren zu vereinfachen und zu beschleunigen, es wurden auch die Weichen für eine deutlich effektivere Nutzung der Flächen über alle Campus gestellt.

Am 1. Oktober 2024 trat Prof. Dr. Jan S. Hesthaven sein Amt als Präsident des KIT an. Er übernahm die Amtsgeschäfte von Prof. Dr. Oliver Kraft, Vizepräsidenten Forschung, der in der Interimsphase zwischen August 2023 und September 2024 die Amtsgeschäfte nach innen und außen in Vertretung des Präsidenten das KIT wahrgenommen hatte.

Aus Anlass der zum 1. Juni 2025 endenden Amtszeit von Prof. Dr. Alexander Wanner, dem Vizepräsidenten Lehre und akademische Angelegenheiten, und seiner Entscheidung, nicht für eine weitere Amtszeit zur Verfügung zu stehen, wurde die Diskussion einer Weiterentwicklung der Präsidiumsstruktur am KIT angestoßen. Als Ergebnis dieses Prozesses wurde die Zusammenlegung der beiden derzeitigen Ressorts „Forschung“ und „Lehre und akademische Angelegenheiten“ zu einem Ressort „Forschung, Lehre und akademische Angelegenheiten“ (deutsche Bezeichnung) bzw. „Academic Affairs“ (englische Bezeichnung) am 4. Dezember 2024 vom Aufsichtsrat des KIT beschlossen. Die Anzahl der Präsidiumspositionen verringert sich damit auf fünf. Ziel der Weiterentwicklung ist es, die Potenziale des KIT durch eine integrierte Betrachtung, Verschränkung und gegenseitige Befruchtung von (Groß-)Forschung und Lehre noch stärker zu heben.

Exzellenzstrategie

Exzellenzstrategie – Exzellenzuniversität

Seit Beginn der Förderung als Exzellenzuniversität konnte das KIT durch die Vorhaben der Exzellenzuniversität und das 100-Professuren-Programm nicht nur die Anzahl der Professuren und Juniorprofessuren am KIT von 368 auf 415, sondern auch den Anteil an Wissenschaftlerinnen in der Professorenschaft von 14 % auf aktuell 19,5 % steigern. Als Teil des Programms konnten allerdings von insgesamt vier geplanten KIT Real-World Lab-Professuren-Tandems

(acht Professuren) die Berufungsverfahren für zwei Reallabore (Tandems 3 und 4) im Jahr 2024 nicht abgeschlossen werden. Für das Tandem 3 (Reallabor „Echtzeitentscheidungen bei riskantem Nichtwissen in der Impactvorhersage von Extremereignissen“) sind die Berufungsverfahren bereits weit fortgeschritten, während sich die Besetzung von Tandem 4 (Reallabor „Dezentrale Energiewende“) weiter verzögert, da für eine der beiden Professuren die eingegangenen Bewerbungen leider nicht dem Anforderungsprofil entsprachen.

Um Chancengleichheit und -gerechtigkeit zu leben, setzen sich am KIT alle Ebenen kontinuierlich mit gender-sensiblen Fragestellungen auseinander. Gender Equity greift die Resultate aus den 14 abgeschlossenen Chancengleichheitsprojekten aus Wissenschaft und Verwaltung auf und macht sie zugänglich, um so den internen Transfer zu ermöglichen. In einem Strategieworkshop gemeinsam mit dem Präsidium, den Bereichsleitungen und Akteurinnen der Chancengleichheit wurden die Schärfung der Vision und der Strategie, sowie eine stärkere Verknüpfung mit Diversität und dem Thema der Intersektionalität diskutiert. Aufbauend auf den Erkenntnissen werden bis Ende 2025 sechs Zukunftswerkshops durchgeführt, um die Implikationen für Chancengleichheit und Diversitätsstrategie je Bereich zu reflektieren und deren Umsetzung voranzutreiben.

Alle zwei Jahre öffnet die KIT Science Week die Türen des KIT für interessierte Menschen und baut eine Brücke zwischen Wissenschaft und Gesellschaft, um die gemeinsame Auseinandersetzung mit einem aktuellen Thema zu befördern. Während die KIT Science Week 2023 unter dem Motto „Zukunft gemeinsam nachhaltig gestalten“ stand, wird es im Jahr 2025 um das Thema „Stadt der Zukunft“ gehen. Parallel zu den Vorbereitungen der Science Week 2025 wird weiter eruiert, wie die von der Gesellschaft 2023 eingebrachten Themen in aktuelle Forschungsprozesse integriert werden können. In dem BMBF-geförderten Projekt *Mobiles Futurium* wird dies bereits erfolgreich umgesetzt.

Studierende profitieren in besonderem Maße vom Vorhaben Research Infrastructures in Research-Oriented Teaching (RIRO Teaching), in dem sie in innovativen Lehr- und Lernkonzepten frühzeitig an die Forschungspraxis und die großen Forschungsinfrastrukturen des KIT wie das Energy Lab, die Wolkenkammer AIDA (Aerosol Interaction and Dynamics in the Atmosphere) oder den KITcube – Advanced Integrated Atmospheric Observation System herangeführt werden. Im Jahr 2024 entschied sich das KIT zum ersten Mal, die RIRO Ausschreibung speziell auf interdisziplinär ausgerichtete Konzepte zu fokussieren. Von zehn eingereichten Projektvorschlägen wurden vier vom internen Beratungsgremium des KIT, dem *Council for Research and Promotion of Young Scientists* (CRYS), zur Förderung vorgeschlagen. Ihre Umsetzung startet 2025.

Exzellenzstrategie – Exzellenzcluster

Das KIT stellt sich dem Exzellenzcluster-Wettbewerb mit seinen zwei bereits seit 2019 geförderten Exzellenzclustern zu dreidimensionalen additiven Fertigungstechniken „3D Matter Made to Order“ und zur Batterieforschung „Post Lithium Storage“. Mit dem Neuantrag „Chemically Designed Quantum Architectures“ (Chemische Plattform für hochpräzise Quantenarchitekturen zum Aufbau von Materialstrukturen für künftige Quantentechnologien) stärkt das KIT zudem seinen Forschungsschwerpunkt „Quantum Technologies“. Nach intensiver Begutachtung aller bundesweit eingegangenen Voll- und Fortsetzungsanträge durch internationale Review Panels in der Zeit von Anfang Oktober 2024 bis Februar 2025 und – abschließend – einem internationalen Expertinnen- und Expertengremium fällt am 22. Mai 2025 schließlich die Entscheidung darüber, welche Exzellenzcluster ab 1. Januar 2026 eine Förderung erhalten.

Vierte Phase der Programmorientierten Förderung (PoF IV)

Im Jahr 2024 sind die Planungen des KIT für die strategischen Aufstellung in der PoF V weiter vorangeschritten. In den vier Forschungsbereichen wurden Strategiepapiere erstellt und die Programmstrukturen der nächsten Förderperiode festgelegt, welche sich überwiegend stabil zeigen. Neben den Strategiepapieren sind die FB-übergreifenden PoF V-Themen Helmholtz Quantum, Helmholtz Klima und Biomedical Engineering Teil der Gesamtstrategie der Helmholtz-Gemeinschaft.

Im Rahmen des kontinuierlichen Strategieprozesses zur Helmholtz-Strategie des KIT wurde die Positionierung des KIT in den einschlägigen Formaten der Forschungsbereiche erarbeitet (u.a. Fachgespräche, Themenbeiratssitzungen, Helmholtz-Plattform). Darüber hinaus wurden die erforderlichen Weichenstellungen zur Vorbereitung auf die wissenschaftlichen Begutachtungen am KIT gelegt. Ein zentrales Ereignis des kommenden Jahres sind die wissenschaftlichen Begutachtungen der Forschungsbereiche am KIT im ersten Halbjahr 2025. Dazu wurden im Berichtsjahr in allen vier Forschungsbereichen Statusberichte erstellt, die als Grundlage dafür dienen. Entlang der Ergebnisse dieser Begutachtungen werden die Planungen für PoF V gegebenenfalls nochmals nachjustiert.

Helmholtz Energy: Die Weiterentwicklung der Energieforschung rund um die Infrastrukturen Energy Lab (mit dem neu bewilligten High Power Grid Lab) und GeoLaB wird für das laufende Jahr und in den kommenden Jahren eine wichtige Rolle spielen, auch in Hinblick auf die PoF V. Ebenso der weitere Prozess rund um die Infrastruktur IFMIF-DONES, die für die Fusionsforschung am KIT, auch vor dem Hintergrund der wissenschaftlichen Entwicklungen der jüngsten Zeit, von hoher Bedeutung ist. Abzuwarten ist insgesamt, welche Auswirkungen die Zielsetzungen der im Februar 2025 neugewählten Bundesregierung möglicherweise auf die Energieforschung des KIT haben werden.

Helmholtz Information: Das KIT hat sich im Berichtsjahr dem Zentrum für Quantenwissenschaft und -technologie, IQST, einer Einrichtung der Universitäten Stuttgart und Ulm sowie des Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung, angeschlossen. Das IQST soll zu einem landesweiten Netzwerk für die wissenschaftliche „Quanten-Community“ in Baden-Württemberg ausgebaut werden. Somit werden die Quantenwissenschaften in Helmholtz Information dauerhaft gestärkt und weiterentwickelt. Um die Chipproduktion in Europa voranzutreiben und Deutschland als Innovationsstandort für Chipdesign weiter zu stärken, hat das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg (MWK) im Berichtsjahr die Gründung des virtuellen Karlsruher Chipdesign House (KCH) am KIT bewilligt. Geplant ist außerdem ein neuer Master-Studiengang.

Im **Forschungsbereich Erde und Umwelt** steht die ganzheitliche Betrachtung des Erdsystems in nur einem Programm „Changing Earth – Sustaining our Future“ im Mittelpunkt der Aktivitäten. Dabei ist das KIT für das Topic 1 „Die Atmosphäre im globalen Wandel“ federführend und zu einem kleinen Teil auch im Topic 7 „Nachhaltige Bioökonomie – Naturpotenziale nutzbar machen“ vertreten. Im Zuge der strategischen Überlegungen für die PoF V wurde im Jahr 2024 die Basis für die sichtbare programmatische Aufstellung der Stadtforschung des KIT im FB gelegt.

In **Helmholtz Matter** sind die Planungen für die PoF V im Berichtsjahr weiter vorangeschritten, das KIT baut seine Kompetenzen und Aktivitäten in den Themenfeldern Dunkle Materie und Neutrinos, Health Technologies, Detektor- und Laserentwicklung, Nachhaltigkeit/Energieeffizienz und Data Management aus und schafft damit Grundlagen für die künftige Schwerpunktsetzung in der PoF V. Vorbereitungen für die erste Aufbaustufe des vom KIT in Federführung

vorangetriebenen Vorhabens „DARWIN/XLZD“ zur Suche nach Dunkler Materie erfolgten bereits im Rahmen des geförderten ErUM-Projekts „XENON/DARWIN“ (BMBF, 2023-2026). Um die Verarbeitung und Analyse großer Datenmengen in der Teilchenphysik auch künftig zu bewältigen, bereiteten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT mit „TIER-Upgrade – Upgrade of the Grid Computing Centers for the HL-LHC“ in 2024 einen Antrag im Rahmen des strategischen Ausbauinvestitionskorridors der Helmholtz-Gemeinschaft vor, der Mitte 2025 eingereicht werden soll.

Strategische Investitionen im Korridor 2,5-15 Mio. Euro: Umsetzung ab 2025

Im Jahr 2025 werden die vom Aufsichtsrat genehmigten Investitionen „c-START“, „Hochauflösende Supraleitende Sensoren (HSS)“, „INSIDE CLOUDS“, und „DeepStor“ weiter vorangetrieben.

Für die vom Programm Fusion am KIT im Rahmen von EUROfusion FP9 und PoF V ab 2025 geplanten Investitionsmaßnahmen „Helium Loop Karlsruhe – Upgrade Storage“ (HELOKA-US) (Stufe II) und „Tritium Extraction & Recovery System for Helium-Cooled Pebble Bed Blanket“ (TER-HCPB) ist keine Finanzierung aus dem Investitionskorridor zwischen 2,5 und 15 Mio. Euro mehr vorgesehen.

Strategische Ausbauinvestitionen > 15 Mio. Euro: Umsetzung ab 2025

Die vom Senat der Helmholtz-Gemeinschaft bewilligten strategischen Ausbauinvestitionen unter Beteiligung des KIT „Helmholtz Data Federation“ (HDF), „Full Scientific Exploitation of the LHC“, „Karlsruhe Centre for Optics and Photonics“ (KCOP), „Helmholtz Forschungs- und Versuchsplattform zur Entsorgung radioaktiver Abfälle und zum Rückbau kerntechnischer Anlagen“ (HOVER) und „Geothermal Laboratory in the Crystalline Basement“ (GeoLaB) werden auch im Jahr 2025ff weiter umgesetzt.

Im Juli 2024 hat das KIT als federführendes Zentrum den Antrag ATMOSense ins Helmholtz-Verfahren für strategische Ausbauinvestitionen > 15 Mio. Euro eingereicht. ATMOSense soll als zentrales Instrument des Forschungsbereichs Erde und Umwelt entscheidende Beiträge zur Verbesserung von Vorhersagen zu Klima, Wetter und Luftqualität leisten. Der Antrag ATMOSense soll auf Basis der Rückmeldung aus der FIS-Kommission überarbeitet und im Jahr 2025 erneut in das Verfahren eingereicht werden.

Für 2025 plant das KIT zudem, in Federführung den Antrag für das „Upgrade of the Grid Computing Centers for the HL-LHC (TIERup)“ ins Verfahren einzuspeisen: Der High Luminosity LHC (HL-LHC) Beschleuniger am CERN stellt ganz neue Herausforderungen auch an das Datenmanagement und die Analyse. Um neue Entdeckungen und eine angemessene Beteiligung Deutschlands daran zu ermöglichen, müssen die deutschen TIER-Grid-Rechenzentren am KIT, DESY und GSI entsprechend aufgerüstet werden.

In Helmholtz Information gab es im Laufe des Jahres 2024 den Aufruf, weitere Ideen für Ausbauinvestitionen zu benennen. Das KIT hat als federführendes Zentrum zusammen mit Hereon, HZB und FZJ den Vorschlag „HELMHOLTZ Acceleration Alliance – A World-wide Unique Self Driving Lab Research Network“ (HELMA) in den FB eingebracht, der vom Managementboard für eine Einreichung in 2026 priorisiert wurde. HELMA wird im Falle einer Bewilligung eines der weltweit führenden Konsortien für autonome KI/ML-basierte Forschung auf der Grundlage von Self-Driving Labs (SDLs) mit der weltweit größten Aktivität in der autonomen Innovationsentwicklung von Gesundheitstechnologien durch biomedizinische Technik

und die digitale Beschleunigung der Erforschung von Materialsystemen in den Bereichen Kommunikationstechnologie, Elektronik, Energiespeicherung/-umwandlung und Katalyse sein.

Teilnahme am Bund-Länder-Programm zur Förderung des wiss. Nachwuchses

Um den wissenschaftlichen Nachwuchs zu stärken, wird das KIT die Tenure-Track-Professur flächendeckend als gleichwertigen Weg zur Professur weiter stärken, wodurch die Karrierewege des wissenschaftlichen Nachwuchses planbarer und transparenter werden. Zusätzlich zu den Tenure-Track-Professuren aus dem Bund-Länder-Programm werden dazu im laufenden und kommenden Jahr weitere Junior- und Tenure-Track-Professuren im Rahmen des ExU-Vorhabens „KIT Excellent Tenure“ eingerichtet (geplant sind zehn Junior-/Tenure-Track-Professuren pro Jahr).

Dies führt langfristig zu einer Weiterentwicklung der Personalstruktur des wissenschaftlichen Personals am gesamten KIT, fördert den Kulturwandel am KIT und begünstigt die Chancengleichheit und die Vereinbarkeit von Beruf und Familie. Seit Beginn der Förderung durch das Bund-Länder-Programm waren die Endevaluationsergebnisse von zwei Tenure-Track-Professoren und zwei Tenure-Track-Professorinnen positiv, sodass diese auf eine W3-Professur berufen werden konnten. Für drei Tenure-Track-Professuren konnten die Zwischenevaluationen erfolgreich abgeschlossen werden.

Es gab keine negativen Evaluationen, und die Tenure-Track-Professur im Rahmen des Bund-Länder-Programms erweist sich seit der Einführung als planbarer und transparenter Karriereweg zur W3-Professur.

Seit der Teilnahme am Bund-Länder Programm zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und im Rahmen des ExU-Vorhabens „KIT Excellent Tenure“ konnte das KIT die Anzahl an Junior- und Tenure-Track-Professuren deutlich erhöhen. So waren 2024 30 Juniorprofessuren besetzt, davon 23 Tenure-Track-Professuren.

Bauliche Entwicklung

Die Planungen in der baulichen Entwicklung haben, wie schon in Kapitel 1.2.1 beschrieben, insbesondere das Ziel, dem Sanierungsstau im Gebäudebestand entgegenzuwirken. Das dafür aufgestellte Bauprogramm in der Universitätsaufgabe (UA) und der Großforschungsaufgabe (GFA) beinhaltet Bauprojekte, die in den kommenden Jahren als Sanierungsbaumaßnahmen oder Ersatzneubauten realisiert werden sollen.

Die Baumaßnahmen (Module) der Projektentwicklung „Physik“ sowohl in der UA also auch in der GFA bilden dabei einen zentralen Baustein des Bauprogramms in den kommenden Jahren und sind Startpunkt einer Sanierungskette mit weiteren größeren Sanierungsbauvorhaben. Neben der Sanierung der Gebäude 20.11 bis 20.14 („Pavillons am Schloss“) am Campus Süd für die künftige Nutzung als Lernzentrum werden Bedarfsplanungen für das Teilchenphysik- und das Festkörperphysikcluster durchgeführt. Für eine mögliche Unterbringung werden dafür auch die Gebäude 401 und 211 („Alte Kantine“) am Campus Nord geprüft. Weitere sanierungsbedürftige Gebäude am Campus Süd sind ebenso für eine Nutzung durch die Physik in Prüfung (unter anderem das seit 2024 weitgehend leerstehende Gebäude 20.21).

Im Rahmen der Sanierungskette stehen weitere Gebäude, die sich teils in einem kritischen Zustand befinden, für eine umfassende Sanierung als Entwicklungsprojekte an. Dabei werden auch mögliche Nach- oder Umnutzungsszenarien betrachtet. Am Campus Süd sind das unter anderem die aktuell durch die Physik genutzten Gebäude 30.22, 30.23 und 30.24 sowie das

Architekturgebäude 20.40. Zudem ist das Sportinstitutsgebäude 40.40 ein weiteres größeres Entwicklungsprojekt der kommenden Jahre.

Am Campus Nord werden neben den wissenschaftlich genutzten Gebäuden im Bauprogramm zahlreiche Bauprojekte der Ver- und Entsorgungsinfrastruktur entwickelt und geplant, beispielsweise ein Ersatzneubau für das dortige Wasserwerk.

Die Planungen und Projektentwicklungen zum Abbau des Sanierungsstaus gehen unter anderem auf Ergebnisse der baulichen Entwicklungsplanung (BEP) zurück. 2025 soll diese im KIT umfassend vorgestellt und in diesem Zusammenhang auch eine Broschüre herausgegeben werden, um diese Ergebnisse breit zu kommunizieren.

A.1.2.5 Nachwuchsförderung

Die systematische Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses ist ein zentrales Ziel des KIT. Damit unterstreicht das KIT seine Wertschätzung des wissenschaftlichen Nachwuchses, der mit seinen Forschungsleistungen wesentlich zum Erfolg des KIT beiträgt. In den Programmen der Nachwuchsförderung wird unterschieden zwischen wissenschaftlichem Nachwuchs in der Qualifizierungsphase (Promovierende sowie Postdocs in einer Orientierungsphase von bis zu drei Jahren am KIT) und einer Etablierungsphase als selbstständige Nachwuchsgruppenleitungen bzw. Junior-/Tenure Track-Professuren.

Am KIT werden alle Promovierenden sowie Postdocs vom Karlsruhe House of Young Scientists (KHYS), der zentralen, fachübergreifenden Einrichtung für Nachwuchsförderung, mit einem breiten Beratungs-, Qualifizierungs-, Internationalisierungs- und Vernetzungsangebot unterstützt, unabhängig davon, ob sie einen Karriereweg in der Wissenschaft oder freien Wirtschaft einschlagen möchten. Das Angebot des KHYS, aber auch die Industrieprojekte der Institute und der „Gründerschmiede“, bringen die jungen Forschenden frühzeitig in Kontakt mit der Industrie, fördern die Innovation und den Gründungsgeist. Des Weiteren fördert und begleitet das KHYS koordinierte Forschungsprogramme (z.B. Graduiertenkollegs und -schulen), führt im Rahmen des aufgebauten Qualitätsmanagementsystems Befragungen durch, ist für die Erfassung der Promovierenden am KIT zuständig und trägt so zur Qualitätssicherung der Promotionsbedingungen bei (prämiertes Konzept „QualityDoc@KIT“).

Die Ergebnisse der Befragung der Promovierenden und Betreuenden wurden Anfang 2024 an alle KIT-Fakultäten verteilt und dienen den Promotionsausschüssen zur Weiterentwicklung der Promotionsbedingungen. Ein weiterer Baustein des Konzepts QualityDoc@KIT ist Docata, das Webportal für den wissenschaftlichen Nachwuchs am KIT. Im Jahr 2024 wurde Docata um zentrale Funktionen erweitert. So können sich nun z.B. auch Postdocs in Docata registrieren und erhalten somit als Mitglieder des KHYS Zugang zu allen KHYS-Angeboten. Die Promovierenden haben die Möglichkeit ausgewählte (Forschungs-)Angaben in Docata selbstständig zu prüfen und zu aktualisieren. Diese Funktion ist insbesondere hinsichtlich der Qualität für interne und externe Berichte des KIT von großer Bedeutung.

Die Nachfrage nach den etablierten und vorwiegend von Promovierenden genutzten Fördermaßnahmen „Research Travel Grant“ und „Networking Grant“ war im Berichtsjahr weiterhin sehr hoch. Insgesamt wurden die Austausch- und Vernetzungsprogramme des KHYS wieder sehr ausgiebig genutzt, um internationale forschungs- oder karriererelevante Netzwerke auszubauen. Im Rahmen des „Aspirant Grants (Doc)“ kamen in diesem Jahr zehn Promotionsinteressierte für einmonatige Gastaufenthalte ans KIT. Die Anzahl der Neuansträge bei „Aspirant Grants (Doc)“ ist im Vergleich zum Vorjahr leicht gestiegen (14 im Jahr 2024 statt 13 im Jahr 2023). Einige der Aspirants aus den vergangenen Jahren promovieren mittlerweile am KIT

oder haben dies vor. Somit trägt das Programm zur Gewinnung hochqualifizierter internationaler Promovierender bei. Im Rahmen des „Helmholtz Visiting Researcher Grants“ und „HIDA Trainee Netzwerkes“, Helmholtz-weiter Austauschprogramme für Promovierende und Postdocs, deren Forschungsarbeit einen starken Bezug zum Bereich (Applied) Information & Data Science besitzt, wurden 2024 zehn talentierten Nachwuchsforschenden bis zu dreimonatige Forschungsaufenthalte am KIT ermöglicht sowie eine Reise nach Norwegen finanziert. Die Anfragen für die Internationalisierungs- und Vernetzungsprogramme sind weiterhin hoch und zeigen auch für 2025 einen erhöhten Bedarf an.

Ein wesentlicher strategischer Baustein der Nachwuchsförderung am KIT ist die Ermöglichung der Promotion im Rahmen von mehr als 35 strukturierten Promotionsprogrammen. Durch die Etablierung von sechs KIT Graduate Schools in zwei Förderrunden im Rahmen der Exzellenzstrategie in strategisch relevanten Themenfeldern verfügt das KIT an allen neun KIT-Zentren über mindestens eine Graduiertenschule. Ziel des KIT ist dabei, die Möglichkeit zur Promotion in einem solchen Umfeld kontinuierlich auszubauen, dadurch den Zugang zu einem strukturierten fachlichen und überfachlichen Qualifizierungsangebot und Betreuungskonzept zu erweitern und die Qualität der Nachwuchsförderungsangebote für Promovierende und Postdocs zu erhöhen. 2024 reflektierten die vier in der zweiten Förderrunde neu etablierten KIT Graduate Schools ihre Entwicklung mit dem KHYS-Lenkungskreis im Rahmen einer Zwischenberichterstattung und erhielten Hinweise für eine Weiterentwicklung. Darüber hinaus wurde 2024 am KIT ein DFG-Graduiertenkolleg erfolgreich eingeworben (GRK 3076). Ein weiteres Graduiertenkolleg sowie ein Sonderforschungsbereich und ein SFB-Transregio wurden im Rahmen ihrer Fortsetzungsbegutachtungen positiv evaluiert (GRK 2561, SFB 1441, SFB-TRR 288). Im Zuge der Förderlinie Exzellenzcluster hat das KHYS die Initiativen des KIT mit persönlichen Beratungen, Informationsmaterialien und schriftlichen Feedbacks intensiv bei der Erarbeitung des Qualifizierungs- und Betreuungskonzeptes der Antragsskizzen und der Vorbereitung der Begutachtung begleitet.

Um die Nachwuchsförderung am KIT zu stärken und ihre Akteurinnen und Akteure zu vernetzen, haben das KHYS und die Promotionsprogramme im Jahr 2024 ihren intensiven Austausch erfolgreich fortgesetzt. Auf der Ebene der Koordinatorinnen und Koordinatoren fanden regelmäßige Treffen zu aktuellen Themen statt. Zusätzlich wurde der Austausch der Sprecherinnen und Sprecher der Graduiertenschulen mit dem Vizepräsidenten Forschung und dem KHYS als jährliches Austauschformat in der Nachwuchsförderung verankert. Diese Maßnahmen stärken die Strukturen der Nachwuchsförderung am KIT, und dieser positive Trend setzt sich auch im Jahr 2025 fort. Auch der Service des KHYS, Promotionsprogramme während der Laufzeit und insbesondere bei der Planung überfachlicher Weiterbildungsangebote beratend wie auch administrativ zu unterstützen, wurde genutzt, z.B. wurden 15 Workshops für sechs Promotionsprogramme in Zusammenarbeit mit dem KHYS organisiert. Darüber hinaus wurden vier Promotionsprogramme bei der Vorbereitung und Durchführung von Promovierendenbefragungen zur Gesamtevaluation ihres Promotionsprogramms unterstützt, z.B. zur Vorbereitung auf Fortsetzungsanträge/-begutachtungen.

Auch im letzten Jahr der Förderung des KHYS Postdoc Office durch den Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz Gemeinschaft konnten die drei definierten Hauptziele kontinuierlich umgesetzt und das Projekt erfolgreich abgeschlossen werden. Das KHYS hat sich im Berichtsjahr 2024 fest als sichtbare Anlaufstelle für Postdocs, Postdoc-Interessierte sowie deren Vorgesetzte am KIT etabliert. So wurden die zahlreichen Angebote und Services gemäß den drei Zielen, Orientierung für die Karriereentwicklung und -entscheidung bereitstellen, karrierespezifische Qualifizierung ermöglichen und Selbstständigkeit und Vernetzung fördern, sehr gut angenommen und konnten zudem auf Grundlage der Ergebnisse der Evaluationen und Befragungen weiterentwickelt werden. Darüber hinaus konnte ein Großteil der Services (u.a. die

persönliche Karriereberatung) und Angebote (z.B. das Förderprogramm Aspirant Grant oder das Welcome Event für Postdocs) verstetigt werden. Aufgrund des hohen Bedarfs an individueller Beratung wurde das bereits bestehende Angebot an persönlicher Karriereberatung durch ein neu aufgesetztes Coaching-Programm mit externen Karrierecoaches ergänzt, das sehr stark nachgefragt war und sehr positiv evaluiert wurde. Flankierend dazu soll 2025 ein Peercoaching-Format aufgebaut werden, das zudem dem großen Bedarf an persönlichem Austausch von Postdocs untereinander Rechnung trägt. Der Beratungsbedarf ist nicht nur bei den Postdocs hoch; insgesamt hat das KHYS im Jahr 2024 rund 2.600 Personen beraten.

Die jährlich wiederkehrenden Informations- und Netzwerkveranstaltungen in Zusammenarbeit mit KIT-internen Partnern, z.B. „Career Talks“ sowie der „Career Day – Transition Possible“ in Kooperation mit sieben weiteren Helmholtz-Zentren und Arbeitgebern außerhalb der Academia, wurden weiterhin sehr gut angenommen und positiv evaluiert. Definitives Highlight im Veranstaltungsjahr 2024 waren die „KHYS Postdoc Days“, die im September zum zweiten Mal im Rahmen der „Postdoc Appreciation Week Germany“ stattfanden. Das KIT hatte ein attraktives Programm für Postdocs mit verschiedenen Veranstaltungsformaten und unterschiedlichen Themen rund um die Karriere als Forschende zusammengestellt und dieses, wie die anderen 65 kooperierenden Einrichtungen auch, zum großen Teil für externe Interessierte geöffnet. Das Netzwerkformat „KIT Postdoc Meeting“, das 2023 zum ersten Mal stattfand, hat sich ebenfalls etabliert und findet nun zweimal jährlich statt. Es handelt sich um ein interaktives Eventformat, dessen Inhalte und Themen von Postdocs am KIT selbst gestaltet werden, um so auch der lebendigen Postdoc-Community am KIT Raum zu bieten.

Im März 2024 veranstaltete das KHYS zum sechsten Mal die „KIT Doctoral Days“ unter dem Motto „Informieren – Orientieren – Vernetzen“. Über vier Tage wurden insgesamt 16 Veranstaltungen (Vorträge, Netzwerkveranstaltungen, Workshops und Beratung) für Promovierende und Promotionsinteressierte des KIT angeboten, die mit rund 650 Anmeldungen auf große Resonanz stießen. Die Podiumsdiskussion zum Thema „Gute Betreuung“ zur Eröffnung der „KIT Doctoral Days“ gab sowohl Betreuenden als auch Promovierenden eine Plattform zum intensiven Austausch. Neben den „KIT Doctoral Days“ ergänzten die „Welcome Events for Doctoral Researchers“ sowie ein „KHYS-Foyergespräch“ zur geplanten Reform des Wissenschaftszeitvertragsgesetzes das Informations- und Vernetzungsangebot des KHYS.

Das in den letzten Jahren neu konzipierte und stark erweiterte überfachliche KHYS-Weiterbildungsprogramm „Fit for your next career step“ läuft weiterhin erfolgreich als etablierter Grundpfeiler des KHYS und wird sehr gut angenommen. Es bietet Promovierenden und Postdocs spezifisch auf die Karrierephase zugeschnittene Kurse und ermöglicht damit den Kompetenzaufbau für verschiedene Karrierewege innerhalb wie außerhalb der Wissenschaft. 2024 wurde das Modul „Fit for Science“ mit mehreren Angeboten zu KI- und Programmier-Kompetenzen ausgebaut. Basierend auf den Evaluationen wird das Weiterbildungsprogramm auch 2025 weiterentwickelt.

Die Internationalisierungsmaßnahmen im Rahmen des KHYS Postdoc Office „Aspirant Grant (Postdoc)“ und „Connecting Young Scientists (ConYS)“ stießen auch 2024 auf großes Interesse. Im Rahmen von ConYS setzten 21 Postdocs insgesamt 27 Forschungsreisen und Konferenzreisen um, betreuten fünf Gastaufenthalte am KIT und führten zwei internationale Veranstaltungen mit zahlreichen Teilnehmenden durch. Die Anzahl der Förderungen ist demnach gestiegen. Viele der geförderten Postdocs melden unter anderem zurück, dass die Module die Karriereentwicklung gut unterstützen. Zudem kamen im Rahmen des Aspirant Grants (Postdoc) deutlich mehr Postdocinteressierte für einmonatige Gastaufenthalte ans KIT als im Vorjahr (zwölf im Jahr 2024 statt sieben im Jahr 2023). Die Anzahl der Neubewilligungen ist 2024 im Vergleich zum Vorjahr leicht gestiegen (16 statt 15). Einige der Gäste melden zurück, dass

sie eine Postdocstelle am KIT planen oder zumindest in Betracht ziehen, wodurch das Programm wie beabsichtigt zur Rekrutierung hochqualifizierter Postdocs aus aller Welt beiträgt. Im gemeinsam von PEBA und FOR begleiteten Exzellenzuniversitätsvorhaben „Young Investigator Group Preparation Program (YIG Prep Pro)“ wurde die siebte Auswahlrunde Mitte Dezember 2024 gestartet. Bis zum 14. Februar 2025 können sich internationale Postdocs bis zu drei Jahre nach der Promotion bewerben, die in einem zweistufigen Verfahren des *Council for the Promotion of Young Scientists* ausgewählt werden. Ziel ist die Rekrutierung hochkarätiger internationaler Postdocs, deren Frauenanteil im YIG Prep Pro 40 % betragen soll. Über die letzten Jahre hinweg konnte der Frauenanteil der Programmteilnehmenden stetig erhöht werden. Im Durchschnitt beträgt der Frauenanteil über die fünf Kohorten bislang 47 %. Die neuen YIG Prep Pro-Kandidatinnen und -Kandidaten werden ihre Stelle voraussichtlich zwischen Sommer und Herbst 2025 antreten. Bei erfolgreicher Einwerbung einer extern finanzierten Nachwuchsgruppe können Fellows bei strategischer Passung ihres Forschungsthemas die Chance erhalten, sich auf eine in ihrem Themenfeld ausgeschriebene W1-Professur am KIT zu bewerben.

Das KIT hat 2012 die Definition der „KIT-Nachwuchsgruppe“ eingeführt und somit Mindeststandards für Nachwuchsgruppen am KIT gesetzt. Nachwuchsgruppen, die bestimmte vordefinierte Qualitätsmerkmale, wie z.B. die wissenschaftliche und finanzielle Unabhängigkeit erfüllen, erhalten durch das Präsidium den Status einer „KIT-Nachwuchsgruppe“, wodurch den Nachwuchsgruppenleitungen gleichzeitig auch der Weg eröffnet wird, als KIT Associate Fellow an Promotionsverfahren mitzuwirken. Zum 31. Dezember 2024 hatten insgesamt 46 Nachwuchsgruppen am KIT den KIT-Nachwuchsgruppenstatus inne (Stand im Vorjahr: 42). Das Instrument wird laufend angeboten und die Bewerbung um die Anerkennung als KIT-Nachwuchsgruppe wird somit auch 2025 Leitenden von Nachwuchsgruppen möglich sein. Im Jahr 2024 wurden insgesamt neun hochkarätige, extern finanzierte Nachwuchsgruppen am KIT bewilligt: vier Emmy Noether-Nachwuchsgruppen der DFG (Dr. Martin Halla, Dr. Alexander Fengler, Dr. Bjarne Kreitz und Dr. Jan Christian Masell) sowie eine NEXUS Nachwuchsgruppe der Carl Zeiss Stiftung (Dr. Johanna Schröder). Gleich vier Mal war das KIT bei der diesjährigen Auswahl der Helmholtz Forschungsgruppen-Förderungen erfolgreich (Dr. Yanina Biondi, Dr. Arik Beck, Dr. Gan Huang, Dr. Benjamin Leinhard). Eine Emmy Noether-Nachwuchsgruppe brachte Prof. Dr. Nadja Klein bei ihrer Berufung auf eine W3-Professur am KIT mit. Dies stellt eine sehr erfolgreiche Bilanz dar, die sowohl die Attraktivität des KIT als Forschungsstandort als auch den Erfolg bei der Rekrutierung herausragender Nachwuchskräfte bestätigt. Dieser Weg soll nicht zuletzt mithilfe der Instrumente der Nachwuchsförderung fortgeführt werden.

Das Young Investigator Network (YIN) besteht seit 2008 und ist das selbstverwaltete Netzwerk für den wissenschaftlichen Führungskräftenachwuchs in der Etablierungsphase am KIT. Mit 69 unabhängigen Nachwuchsgruppenleitungen und Junior- bzw. Tenure-Track-Professorinnen und -Professoren blieb die Mitgliederzahl im Jahr 2024 auf einem hohen Niveau. Der Anteil an Frauen im YIN erhöhte sich um drei Prozentpunkte und liegt derzeit bei 32 %. Dem YIN stehen die YIN-Geschäftsstelle und ein eigenes Budget für sein zielgerichtetes Angebotsportfolio zur Verfügung, das bis Ende 2026 mit Exzellenzuniversitätsmitteln erweitert und vom YIN-Vorstand verwaltet wird. Als Interessensvertretung der Zielgruppe setzte sich das YIN 2024 erfolgreich für die Einführung eines „Karriereentwicklungsgesprächs“ zwischen der Institutsleitung und neu anerkannten KIT-Nachwuchsgruppenleitenden ein. Ziel des Gesprächs ist es, die individuellen Möglichkeiten und Perspektiven anhand der vier Modelle für weiterführende Nachwuchskarrieren am KIT aufzuzeigen, die Voraussetzungen und Fristen dafür zu klären sowie weitere Schritte zu planen. Darüber hinaus hat YIN sein bedarfsgerechtes Weiterbildungs- und Coaching-Programm mit der Aufnahme von Gruppenklausurtagungen (Team

Retreats) als Führungswerkzeug zur Bearbeitung teambezogener Themen erweitert. Neu eingeführt wurden ferner Work-Life-Blending-Formate zur Stärkung des Austausches und des Zusammenhalts in der YIN-Community. Zu den wissenschaftlichen Erfolgen von Mitgliedern aus dem YIN zählten die Vergabe des Ökologiepreis 2024 der Viktor & Sigrid Dulger Stiftung, des Leopoldina-Preises für junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler 2023, des Landeslehrpreises 2023 sowie die dreier KIT-Fakultätslehrpreise an YIN-Mitglieder. Zehn (ehemalige) YIN-Mitglieder haben 2024 eine volle Professur angetreten: fünf haben nach erfolgreicher Tenure-Evaluation nun eine W3-Professur am KIT inne und fünf haben an eine andere Universität gewechselt – davon ist einer im Jülicher Modell berufen mit dem KIT als außeruniversitäre Forschungseinrichtung. Die W2/W3-Berufungsrate aus dem YIN stieg damit auf 52 %.

Berufliche Ausbildung am KIT

In der Technologieregion Karlsruhe ist das KIT einer der größten Anbieter von Ausbildungsplätzen und genießt auch über die Landesgrenzen hinweg einen ausgezeichneten Ruf. Auch im Jahr 2024 lag die Erfolgsquote bei den Abschlussprüfungen mit nahezu 100 % wieder wesentlich über dem Landes- bzw. Bundesdurchschnitt. Zwei Auszubildende wurden als Landesbeste geehrt und drei Absolventen seitens der DHBW Karlsruhe als Jahrgangsbeste des jeweiligen Studienganges ausgezeichnet. Das KIT erhielt auch im Jahr 2024 durch die IHK Karlsruhe eine Belobigung und Urkunde für seine exzellente Ausbildung. Auch im Jahr 2024 wurde die Ausbildung des KIT zum vierten Mal in Folge von der Fachzeitschrift Capital, als einer der „Besten Ausbilder Deutschlands 2024“ in den Kategorien „Ausbildung“ und „Duales Studium“ ausgezeichnet.

Zum Stichtag 31. Dezember 2024 beschäftigte das KIT 268 Auszubildende in mehr als 25 verschiedenen Ausbildungsberufen bzw. Fachrichtungen nach dem Berufsbildungsgesetz und 69 Duale Hochschülerinnen und Hochschüler in 14 Studiengängen mit 18 Studienrichtungen. Damit waren 337 Personen in Ausbildung am KIT. Darüber hinaus wurden mehrere Auszubildende anderer Unternehmen im Rahmen von Kooperationsvereinbarungen für bestimmte Ausbildungsabschnitte oder einzelne Maßnahmen mitausgebildet.

2024 kooperierte das KIT mit insgesamt 17 Haupt- und Realschulen sowie Gymnasien im Rahmen der IHK-Initiative „Wirtschaft macht Schule“. 303 Schülerinnen und Schülern konnte am KIT in 65 Instituten im Jahr 2024 eine bis zu zweiwöchige Berufsorientierungsmaßnahme (OIB, BORS und BOGY) ermöglicht werden.

A.1.2.6 Chancengleichheit

Am KIT ist der Präsident das zuständige Präsidiumsmitglied für das Thema Chancengleichheit. Im Auftrag des Präsidiums bzw. des Präsidenten initiiert und konzipiert die Abteilung Chancengleichheits- und Diversitätsmanagement als Linienaufgabe neue Chancengleichheitsmaßnahmen sowie -projekte bzw. entwickelt bereits vorhandene weiter und führt diese durch. Dabei nehmen die Chancengleichheitsbeauftragten des KIT, welche direkt dem Präsidenten zugeordnet sind, im Rahmen ihrer gesetzlichen Aufgaben und ihres rechtlichen Auftrags eine maßgebliche Beratungs- und Unterstützungsfunktion sowie Kontroll- und Überwachungsfunktion wahr, indem sie mit ihrer Expertise und im Rahmen ihrer Beteiligungsrechte einbezogen werden. Insbesondere im Rahmen ihres Initiativrechts geben sie neue Impulse, um die Chancengleichheit am KIT weiter zu fördern. Per Gesetz (§ 16 Abs. 3 KITG) müssen sie unverzüglich und umfassend über jede Angelegenheit, die einen unmittelbaren Bezug zu

ihrer Aufgabenstellung aufweist, informiert werden. Insgesamt nehmen am KIT vier Chancengleichheitsbeauftragte und ihre vier Stellvertreterinnen ihre gesetzlich geregelten Aufgaben mit entsprechenden Rechten und Pflichten bei der Durchsetzung der Chancengleichheit für Frauen und Männer wahr. Ebenso wirken im Büro Chancengleichheit die Leiterin und Mitarbeitenden sowie in den KIT-Fakultäten und den Außenstellen des KIT Vertrauensfrauen bei der Umsetzung der Chancengleichheit mit.

Arbeit und Familie

Um seine Beschäftigten bei der Vereinbarkeit von Beruf und Familie bestmöglich zu unterstützen, hat das KIT u.a. die im Folgenden aufgeführten Instrumente und Maßnahmen entwickelt und auch im Jahr 2024 weiter ausgebaut:

(1) Familiengerechte, flexible Arbeitszeiten

Auf dem Gebiet der internen Arbeitsorganisation werden familiengerechte und flexible Arbeitszeiten im Rahmen der vorhandenen Gleitzeitregelung ermöglicht. Im Rahmen der Dienstvereinbarung zur Regelung der gleitenden Arbeitszeit können individuelle Regelungen (unter Wahrung der betrieblichen Interessen und des Einvernehmens) getroffen werden.

(2) Teilzeitbeschäftigung, New Work, Tele-Arbeitsplätze, familienbedingte Beurlaubung

Das KIT bietet vielfältige Arbeitszeitmodelle an, welche im Rahmen von einzelvertraglichen Regelungen individuell festgelegt werden. Das Folgeprojekt „New Work“ beschäftigt sich im Rahmen der Dachstrategie KIT 2025 mit modernen Ansätzen der Arbeitsgestaltung. Ziel von „New Work“ ist die Gestaltung einer Arbeitsumgebung, die die langfristige Leistungsfähigkeit der Organisation und das Wohlbefinden der Mitarbeitenden sichert, eine gute Work-Life-Balance für die Mitarbeitenden ermöglicht und individuelle Bedürfnisse im Einklang mit den Anforderungen der Organisation berücksichtigt. Im Rahmen von „New Work“ wurde die bislang geltende Dienstvereinbarung zur Telearbeit und Mobilen Arbeit neu verhandelt. Die neue Dienstvereinbarung zur Mobilen Arbeit und Desk Sharing ist am 5. Juli 2024 in Kraft getreten. Der Umfang der Mobilen Arbeit kann nun bis zu 80 % der vertraglich geregelten Arbeitszeit umfassen (statt wie bisher 40 %, bei Eignung der Tätigkeit). Die Telearbeit wurde mit der neuen Dienstvereinbarung abgeschafft und durch die Mobile Arbeit ersetzt, die flexibler gestaltbar und unbürokratischer umsetzbar ist. Durch die Einführung der Möglichkeit des Desk Sharing soll zudem eine nachhaltige und effiziente Flächennutzung am KIT unterstützt werden. Die zu besetzenden Stellen am KIT werden soweit möglich als teilzeitgeeignet ausgeschrieben.

(3) Verlängerung der Laufzeit von befristeten Arbeitsverträgen entsprechend der in Anspruch genommenen Elternzeit

Eine Verlängerung der Laufzeit von befristeten Arbeitsverträgen bei Elternzeit wird entsprechend der Regelung des Wissenschaftszeitvertragsgesetzes umgesetzt.

(4) Wechsel zur Vollzeitbeschäftigung, Wiedereinstiegsmaßnahmen, z.B. „spezielles Stellenangebot in den Zentren zur Erleichterung des wissenschaftlichen Wiedereinstiegs nach familienbedingter Unterbrechung“

Ein Wechsel von Teilzeit zu Vollzeitbeschäftigung wird im Rahmen der betrieblichen Möglichkeiten auf Wunsch der Beschäftigten gewährt. Für werdende Eltern bietet die Personalentwicklung im Rahmen des Elternzeitbegleitprogrammes Beratungsgespräche und Workshops rund um das Thema Schwangerschaft an. Die Eltern erhalten zusätzliche Informationen zu konkreten persönlichen Fragen ergänzend zu den arbeitsrechtlichen Auskünften vom Personalservice sowie Hilfestellung bei der konkreten Planung von Elternzeit und Wiedereinstieg.

Eine weitere Zielsetzung im Rahmen des Ausbaus des Elternzeitbegleitprogramms ist es, bessere Strukturen zur Vernetzung mit den Eltern und der Eltern untereinander zu schaffen. Hierzu sind regelmäßig „family lunches“ angedacht – ein zwangloser Austausch während der Mittagspause, wechselnd an beiden Standorten. In diesem Rahmen werden Eltern regelmäßig in quartals- bis halbjährigem Turnus zu einem Zusammentreffen eingeladen, moderiert durch das Team der Familienbetreuung der Personalentwicklung und Beruflichen Ausbildung. In den family lunches sollen Bedarfe der Zielgruppen eruiert, die Angebote bekannt gemacht und der generelle Austausch gefördert werden. In erster Linie gedacht als zusätzlicher Baustein für das Elternzeitbegleitprogramm wurde in Kooperation mit der Deutschen Rentenversicherung eine Vortragsreihe zu rentenrechtlichen Themen ausgearbeitet. Die Einstiegsthemen waren Kinder- und Erziehungszeiten sowie Teilzeit mit ihren Auswirkungen auf die Rente. Der Themenkomplex Rente wird um individuelle persönliche Beratungstermine mit Beratern der deutschen Rentenversicherung ergänzt, die im Rahmen von Betriebssprechtagen am KIT durchgeführt werden. Ein weiteres Beratungsmodul in Zusammenarbeit mit der Zusatzversorgung VBL konnte installiert werden. Weiterhin aufgenommen wurden Vorträge zur Zusatzversorgung durch die VBL und das Angebot von Beratungen und Vorträgen zur Altersvorsorgestrategie in Zusammenarbeit mit der Deutschen Rentenversicherung.

(5) Kinderbetreuungseinrichtungen (betriebseigen/extern)

Das KIT bietet für die Kinder der Beschäftigten Betreuungsplätze in zwei betrieblichen Kindertagesstätten an, wobei jeweils eine Einrichtung am Campus Nord und eine am Campus Süd verortet ist. Die Konzepte der beiden Einrichtungen haben, angepasst an die Bedarfe einer Wissenschaftsorganisation, die Themen Naturwissenschaft, Bewegung und sprachliche Bildung als Schwerpunkte ausgebildet. Angeboten werden Plätze als Krippen- und Kindergartenplätze für Kinder im Alter von drei Monaten bis Schuleintritt. Gerade das junge Aufnahmealter ist hier dem Wissenschaftsbetrieb angepasst und ermöglicht so einen frühen Wiedereinstieg nach der Elternzeit. Für Berufungszusagen, Nachwuchsgruppenleiterinnen und Nachwuchsgruppenleiter sowie Sonderforschungsbereiche stehen dem KIT in der Kindertagesstätte „Schlossgeister“ zehn weitere Plätze zur Verfügung.

Für die Beschäftigten, Promovierenden sowie Studierenden bietet das KIT mehrere Möglichkeiten, die Eltern bei Betreuungsengpässen mit einer Notbetreuung zu unterstützen (Notfallbetreuung „FlexiKids“ in der Kita, Eltern-Kind-Büro, Vermittlung von Tageseltern über Tageselternvereine). Mit „FlexiKids“ bietet das KIT eine Notfallbetreuung im KinderUniversum an. Betreut werden können generell fünf Kinder (davon zwei Krippenkinder) im Alter von sechs Monaten bis zu zwölf Jahren bei Notfällen und kurzfristigen Betreuungsbedarfen, wie Ausfall der Tagesmutter oder bei Dienstreisen. Auch können Organisationseinheiten des KIT die „FlexiKids“ für Veranstaltungen buchen und somit Seminar- und Kongressteilnehmerinnen und -teilnehmern eine Kinderbetreuung anbieten. Seit Ende 2022 können die Beschäftigten außerdem ein mobiles Eltern-Kind-Zimmer, die „KidsBox“ bei der Personalentwicklung und Beruflichen Ausbildung ausleihen. Die Kids-Box ist für einzelne Betreuungsengpässe gedacht, an welchen die Beschäftigten ihre Kinder mit zur Arbeit bringen. Sie bietet altersangepasstes Spielmaterial, ebenso wie einen Sitzmöglichkeiten für das Kind, Wickelmöglichkeit und Laufstall. Ebenso besteht eine Zusammenarbeit mit einem Tageselternverein, über welchen das Team der Familienbetreuung die Vermittlung für längerfristige Betreuungen unterstützt.

Der Arbeitsbereich „KINT – Kinder in Naturwissenschaft und Technik am KIT“ umfasst aktuell drei Maßnahmenswerpunkte: Schulkind-Betreuung (mit Fokus auf die Ferienzeiten im Schulferienkalender Baden-Württembergs), Kinder-Uni sowie Angebote zur Kongressbetreuung. Der Fokus dieser Maßnahme liegt auf der Umsetzung von Angeboten zur besseren Vereinbarkeit beruflicher und familiärer Herausforderungen und auf einer frühen Rekrutierung von

Schülerinnen und Schülern für die MINT-Fachbereiche, weshalb KINT als eine Querschnittsaufgabe verstanden wird. Das Büro für Chancengleichheit führte die Schulkindbetreuung auch im Jahr 2024 während der baden-württembergischen Schulferien mit gewohnt hohem Zulauf erfolgreich weiter. Am 30. Juli 2024 begeisterte die KIT-Kinder-Uni mit ihrer Auftaktmesse und insgesamt neun Vorlesungen an sechs Veranstaltungstagen und stieß erneut auf reges Interesse bei der Zielgruppe der Sieben- bis Vierzehnjährigen. Ein vielfältiges Rahmenprogramm mit Themenständen zum Experimentieren und Ausprobieren rundete das Angebot ab.

Aus dem Kompensationspool für Schwangerschaften werden nahtlose Ersatzeinstellungen für Mutterschutzzeiten realisiert. Dies gilt besonders für weibliche Beschäftigte mit Beschäftigungsverbot z.B. im Laborbereich und für Beamtinnen und Beamte, die ansonsten aufgrund der fehlenden finanziellen Erstattung durch die Krankenkasse erst nach Ablauf der Mutterschutzzeit ersetzt werden können.

(6) Dual-Career-Couples-Maßnahmen

Der Dual-Career-Service konnte sein Netzwerk aus Arbeitgebern in der Technologieregion weiter ausbauen und dieses durch regionale, angrenzende Dual Career Netzwerke ergänzen. Der Service bietet den Partnern und Partnerinnen von Professorinnen und Professoren in Berufungs- und Bleibeverhandlungen sowie wissenschaftlichen Führungskräften, die neu an das KIT kommen, Unterstützung bei der beruflichen und sozialen Integration in der Region Karlsruhe. 2024 wurden 25 Paare unterstützt.

(7) Auditierung von gleichstellungspolitischen und familienfreundlichen Maßnahmen

Die Zertifizierung im Rahmen des „audit familiengerechte hochschule“ ist im Sommer 2023 ausgelaufen. Gleichwohl fördert das KIT weiterhin aktiv die Vereinbarkeit von Beruf bzw. Studium und Familie. Es ist geplant, das Thema intern über einen Qualitätszirkel der Abteilung Familienbetreuung unter Einbeziehung der Chancengleichheitsbeauftragten weiter strategisch voranzutreiben. Seit 2014 ist das KIT weiterhin Mitglied im Verein „Familie in der Hochschule e.V.“ und hat in diesem Zuge die Charta „Familie in der Hochschule“ unterzeichnet. Mit der Unterzeichnung erfolgte eine Selbstverpflichtung zur Umsetzung familienfreundlicher Standards innerhalb der Hochschule sowie zu aktiver Vernetzung innerhalb der Hochschullandschaft.

Chancengleichheit von Männern und Frauen

Das Thema „Chancengleichheit von Männern und Frauen“ wurde am KIT auch 2024 auf allen Ebenen und in zahlreichen Maßnahmen und Projekten weiterentwickelt. Dazu gehörten u. a. folgende Aktivitäten:

(1) Mentoring-Programme

Das Mentoring-Programm „X-Ment“ zielt darauf ab, die Karriereentwicklung von hochqualifizierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zu unterstützen. Im Januar 2024 begann der 14. Durchlauf des Programms mit neun Frauen und sechs Männern. Die Öffnung der Mentoring-Programme auch für Männer macht es möglich, geschlechtsspezifische Aspekte kontextbezogen in die Veranstaltungen zu integrieren und gemeinsam zu reflektieren. Es geht darum, Frauen und Männer zu frühen Zeitpunkten in der Karriere für Genderaspekte zu sensibilisieren und die Geschlechter in einen konstruktiven Austausch miteinander zu bringen. Gendersensibles Agieren im Alltag ist inzwischen eine wichtige Kompetenz für Führungskräfte und Teammitglieder, sei es durch den korrekten Sprachgebrauch oder durch eine bewusste Berücksichtigung aller Geschlechter in verschiedenen Situationen. Als zukünftige Führungskräfte setzen sich die Teilnehmenden von X-Ment frühzeitig mit dieser Thematik auseinander.

(2) Weiterbildungsmaßnahmen für (zukünftige) Führungskräfte

Am KIT werden zwei Qualifizierungsprogramme für neue sowie erfahrenere Führungskräfte angeboten. Das Thema Chancengleichheit ist hier ein integraler Bestandteil und fließt in alle Module ein. Insbesondere im Modul „Personalauswahl“ wird ein großer Fokus auf Unconscious Bias gelegt, u.a. stehen hier auch die beiden KIT-E-Learnings zum Thema Genderkompetenzausbau und Beobachtungskompetenz im Mittelpunkt. Des Weiteren werden Weiterbildungsmaßnahmen zu verschiedenen Themen team- und institutsintern durchgeführt. Dabei werden Aspekte zur Umsetzung von Chancengleichheit explizit thematisiert. Im Berichtsjahr fanden weiterhin 23 Einzelcoachings mit zwölf Professorinnen und elf Professoren statt. Zudem fanden für die Führungskräfte in Verwaltung und Technik sechs Einzelcoachings mit einer männlichen und fünf weiblichen Führungskräften statt. Im Jahr 2024 wurde das im Vorjahr implementierte Angebot von Einmal-Coaching-Sitzungen für Führungskräfte sowie Professoren und Professorinnen weiterhin gut angenommen. Insgesamt haben neun Personen (fünf Frauen und vier Männer) das Angebot angenommen. Weiterhin fanden moderierte kollegiale Coachings im Rahmen von vier bis sechs Terminen in sieben gemischten Gruppen mit Führungskräften aus Verwaltung und Technik sowie Teilnehmenden aus der Professorenschaft mit insgesamt elf männlichen und 36 weiblichen Personen statt.

(3) Chancengerechte Besetzung von Gremien und Begutachtungsgruppen

Die Besetzung von Gremien, die nicht durch demokratische Wahlen zusammengesetzt werden, wird in § 16 Abs. 7 KIT-Gesetz (KITG) geregelt, der besagt, dass bei der Besetzung dieser Gremien Frauen und Männer gleichberechtigt berücksichtigt werden sollen. Darüber hinaus sollen im nach demokratischen Wahlgrundsätzen gewählten KIT-Senat und den KIT-Fakultätsräten mindestens drei stimmberechtigte Frauen vertreten sein. Im Übrigen sollen Findungs-, Berufungs- und andere Auswahlkommissionen zu gleichen Teilen mit Frauen und Männern besetzt werden. In der Chancengleichheitssatzung wird zugleich darauf hingewiesen, dass gerade in Disziplinen, in denen Frauen unterrepräsentiert sind, oftmals wenige Frauen in vielen Gremien mitwirken müssen. Die damit gebundene Arbeitszeit von jungen Wissenschaftlerinnen und Professorinnen darf keinen Wettbewerbsnachteil für diese darstellen. Im Jahr 2024 waren 19 Frauen unter den insgesamt 73 Mitgliedern (ohne Gäste) des KIT-Senats, was einem Frauenanteil von 26 % entspricht. Hier ist, ebenso wie in den KIT-Fakultätsräten, ein besseres Verhältnis wünschenswert, jedoch werden die Mitglieder des KIT-Senats ebenso wie die Mitglieder der KIT-Fakultätsräte unter Beachtung demokratischer Wahlgrundsätze gewählt, weshalb eine Einflussnahme nur nach den gesetzlichen Regeln möglich ist.

(4) Beteiligung der Chancengleichheitsbeauftragten

Die Chancengleichheitsbeauftragten des KIT sind gemäß den gesetzlichen und rechtlichen Grundlagen an entsprechenden Gremien zu beteiligen. Somit sind sie in zahlreichen Gremien als Mitglied oder als Gast vertreten (z.B. Berufungskommissionen, Bereichsräte, KIT-Senat, Aufsichtsrat, KIT-Fakultätsräte, KIT-Programmkommissionen, KIT-Senatskommissionen).

(5) Einrichtungsspezifische Frauenförderprogramme

Das Karlsruhe House of Young Scientists (KHYS), die Dienstleistungseinheit Forschungsförderung (FOR) sowie die Dienstleistungseinheit Personalentwicklung und berufliche Ausbildung (PEBA) unterstützen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei der Bewerbung auf spezielle Förderprogramme. Die Rekrutierung von Hochschullehrerinnen wird im Exzellenzuniversitäts(ExU)-Vorhaben „Gender Equity 2“ (GE2) unterstützt, indem zusätzliches Berufungsbudget explizit zur Gewinnung herausragender Professorinnen bereitgestellt wird. Seit

Projektbeginn in 2019 sind 15 exzellente Wissenschaftlerinnen durch das GE2-Berufungsbudget finanziell zusätzlich gefördert worden. 2024 wurde durch im Rahmen des Projekts eine Webseite gelauncht, welche der Rekrutierung hochkarätiger Wissenschaftlerinnen dient. Ein zentraler Baustein dieser Seite ist ein Video mit Interviews erfolgreicher Professorinnen sowie Impressionen zu deren Arbeits- und Forschungsbedingungen am KIT. Daneben werden auf dieser Webseite wichtige Informationen und Kontakte am KIT für die Zielgruppe bereitgestellt. Begleitend wurde ein Leitfaden zur Unterstützung der Berufungskommissionen bei der Suche für geeignete Kandidatinnen entwickelt. Das ExU-Vorhaben „Gender Equity 1“ (GE1) verfolgt das Ziel einer KIT-weiten Stärkung von Chancengleichheit. Es wurden verschiedene Top-down- wie auch Bottom-up-Ansätze initiiert, die zu einem langfristigen Kulturwandel hin zu mehr Chancengleichheit beitragen sollen. So wurden beispielsweise über zwei Jahre hinweg 14 fachspezifische Chancengleichheitsaktivitäten finanziell gefördert und die Umsetzenden durch enge Begleitung und Workshops weiter in ihrer Genderkompetenz gestärkt. Auch nach Auslaufen der Förderung aus ExU-Mitteln werden mehrere dieser Aktivitäten auf Bereichsebene fortgeführt. Der Fokus der zweiten Phase von GE1, die 2024 startete, liegt auf der Konsolidierung und strategischen Weiterentwicklung der bisher geleisteten Arbeit. Nach Festlegung der zentralen Leitplanken im Rahmen eines Strategiewerkshops für Präsidiumsmitglieder und Bereichsleitungen wird weiterhin die Auseinandersetzung mit Chancengleichheitsaspekten auf dezentraler Ebene durch entsprechende Formate gefördert und der Genderkompetenzaufbau in der Breite vorangetrieben.

(6) Sonstige Maßnahmen zur Förderung der Chancengerechtigkeit

Um einen Kulturwandel hin zu mehr Chancengleichheit zu erreichen und damit die Attraktivität des KIT für weitere exzellente Wissenschaftlerinnen zu steigern, hat das KIT zahlreiche Maßnahmen etabliert bzw. durchgeführt:

Am 26. April 2024 luden die Chancengleichheitsbeauftragten am KIT alle Frauen zur 9. Frauenvollversammlung mit dem Thema „Gender Care Gap“ ein. Gastrednerin Prof. Almut Peukert von der Universität Hamburg präsentierte in ihrem Vortrag Zahlen und Fakten zur Care-Arbeit in Deutschland. In der anschließenden Diskussion konnten die Teilnehmerinnen Fragen stellen und miteinander in den Austausch kommen, was rege genutzt wurde. Die vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg organisierten Frauenwirtschaftstage sind als jährliche Aktionstage der gleichberechtigten Beteiligung von Frauen am Erwerbsleben und in der Wirtschaft gewidmet. Das KIT beteiligte sich mit einer interaktiven Informations- und Diskussionsveranstaltung am 17. Oktober an der Initiative. Die KIT-Gründerschmiede und das Büro für Chancengleichheit widmeten sich gemeinsam dem Thema „Parität bei Gründungen“. Mit Kim Eisenmann konnte eine erfolgreiche KIT-Alumna und Start-up-Gründerin ins TRIANGEL eingeladen werden, die den Anwesenden als Role Model von ihrer Gründungserfahrung als Frau ebenso berichtete wie von ihren Erlebnissen rund um Finanzen oder ihrem Verständnis von gerechter Aufteilung von Care-Arbeit. Der TRIANGEL Open Space war gut gefüllt und die Teilnehmenden konnten im Anschluss Fragen stellen und mit der Gründerin ins Gespräch kommen.

Um den Genderkompetenzaufbau zu fördern, wird fortlaufend das Online-Training zum Aufbau von Genderkompetenz seit 2021 obligatorisch für die ersten drei Leitungsebenen des KIT sowie die internen Mitglieder von Berufungskommissionen und freiwillig für alle Mitarbeitenden des KIT angeboten. Bis zum 31. Dezember 2024 hatten bereits über 1.600 Personen die Schulung absolviert. 2023/2024 wurde zudem eine vierteilige Workshop-Reihe zum Ausbau von Genderkompetenz in der Personalauswahl angeboten. Außerdem werden im Rahmen des GenderConsultings Initiativen des KIT (z.B. Cluster, SFB) zu den Möglichkeiten zur Förderung von Chancengleichheit und Diversität beraten

Das KIT war 2024 mit seinem Gleichstellungskonzept im Professorinnenprogramm 2030 des Bundes und der Länder erfolgreich. Innerhalb dieses Programmes können nun bis zu drei W3-Professorinnen erstberufen und Maßnahmen zur Förderung der Chancengleichheit am KIT entwickelt und umgesetzt werden.

Im Projekt zur „Erhebung der aktuellen Situation von Professorinnen am KIT“ ist 2024 die zweite von insgesamt drei Erhebungen gestartet. Ziel des Projektes ist es, die Rahmenbedingungen, unter denen Professorinnen am KIT arbeiten, unter direktem Einbezug der betroffenen Wissenschaftlerinnen quantitativ und qualitativ zu erheben und zu analysieren

Das 100-Professuren-Programm hat sich das ambitionierte Ziel gesetzt, unter den Neuberufungen 40 % mit Professorinnen zu besetzen und damit bis 2030 einen Frauenanteil von 20 % unter den Hochschullehrenden zu erreichen. Der Frauenanteil bei den Rufannahmen lag 2024 bei 42 %, sodass das KIT auf einem sehr guten Weg ist, das 20 %-Ziel beim Frauenanteil auf Ebene der Professuren zu erfüllen (2024: bereits 20 % inkl. Vertretungsprofessuren, 19 % ohne Vertretungsprofessuren). Um den kritischen Übergang von der Postdoc-Phase hin zur Professur so zu gestalten, dass gerade auch Wissenschaftlerinnen und internationale Postdocs gefördert werden, wurde bereits 2017 die Tenure-Track-Professur als zusätzlicher Karriereweg etabliert und 2019 ebenso das „Young Investigator Preparation Program“ (YIG Prep Pro) zur frühen Rekrutierung von potenziellen Nachwuchsgruppenleitungen. Beide Maßnahmen werden im Rahmen des Ziels „Providing Reliable Academic Careers“ umgesetzt bzw. erweitert. In beiden Programmen (auch im Rahmen der Maßnahme KIT Excellent Tenure) wird ein Frauenanteil von mind. 40 % angestrebt. Im Programm YIG Prep Pro liegt der Frauenanteil der bisherigen vier Durchläufe von 2019 bis 2024 bei 46 %.

Der jährliche Gender-Monitoring-Bericht dient als Analyse- und Reflexionsinstrument und ist damit eine wichtige Arbeitsgrundlage für die Leitungsebenen sowie die Chancengleichheitsakteurinnen und -akteure. Der Bericht beschreibt den aktuellen Stand der Frauenanteile auf Ebene der Leitungspositionen und Gremien, beim wissenschaftlichen und wissenschaftsunterstützenden Personal sowie bei den Studierenden. Zudem wird die Entwicklung der Frauenanteile in Hinblick auf die gesetzten Ziele im Rahmen des aktuellen Chancengleichheitsplans (bis 2026) dargestellt. Ein fachlicher Austausch zum Thema Gender-Monitoring erfolgt auf Hochschulebene regelmäßig im Rahmen des bundesweiten Netzwerkes Gleichstellungscontrolling an Hochschulen.

Am Diversity-Tag des KIT wurden 2024 wieder unterschiedliche Workshops angeboten, um die Diversitykompetenz der Beschäftigten auszubauen. Die neun Veranstaltungen, zwei Infostände und eine Filmvorführung haben viel Interesse geweckt und waren fast durchgehend überbucht. Mit Veranstaltungen wie „Führung von interkulturellen Teams“, „Biases at work“ oder „Informationen barrierefrei aufbereiten“ konnten die Beschäftigten in ganz unterschiedlichen Themenfeldern ihre Kompetenz stärken. Auch im Jahr 2024 wurden Mitarbeitende zu Unconscious (Gender) Biases in unterschiedlichen Zusammenhängen (z.B. Recruitment, Lehre, Wissenschaft) sensibilisiert. Durch Workshops und Vorträgen konnten insgesamt in zehn Formaten rund 100 Personen erreicht werden.

2024 startete das KIT das Projekt „Exzellenz durch Vielfalt – Steigerung der Arbeitgeberattraktivität durch diversitätssensibles Employer Branding und Personalmarketing“ aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds der HGF ein. Das Projekt hat eine Laufzeit von vier Jahren und verfolgt in zwei Förderphasen die Ziele, insbesondere für die Gewinnung von Frauen und internationalen Spitzenkräften, eine Schärfung der Arbeitgebermarke zu erreichen sowie gezielt diversitätssensible Prozesse der Personalgewinnung auszubauen. Das Projekt „Einführung von Diversity Mainstreaming am KIT“ vernetzt bestehende Aktivitäten zur Förderung von Vielfalt und baut weitere Angebote aus z.B. über ein Diversity-Monitoring oder der Erweiterung von

Angeboten zur Förderung von Diversity-Kompetenzen. Ziel ist es, Diversität als Querschnittsaufgabe in der gesamten Hochschule weiterzuentwickeln. Die im Rahmen des Projekts durchgeführte Mitarbeitendenumfrage erfasst weitergehend die Situation zu Themen wie Vielfalt, Teilhabe und Zugehörigkeit. Frauen waren mit 50 % der Teilnehmenden am ersten Durchlauf im September 2024 im Vergleich zu den Gesamtzahlen des KIT überrepräsentiert. Die geschlechtsspezifische und intersektionale Auswertung ermöglicht Erkenntnisse zu Themenbereichen wie Work-Life-Balance und Diskriminierungserfahrungen von Frauen.

(7) Gendergerechte (Bild-)Sprache und Sichtbarkeit von Chancengleichheit

Seit 2021 ist die durch den KIT-Senat beschlossene Leitlinie „Gendergerecht und inklusiv: Sprache und Bildsprache der Vielfalt am Karlsruher Institut für Technologie“ in Kraft. Die Leitlinie schafft sowohl eine Orientierungshilfe für den Alltag als auch Verbindlichkeit für die offizielle Kommunikation nach innen und außen. Sie soll einen Beitrag dazu leisten, eine offene Willkommens- und Feedback-Kultur zu etablieren, um durch eine lebendige und wertschätzende Kommunikation die Chancengleichheit sowie Vielfalt am KIT zu leben und weiter zu fördern. Die zentrale Landingpage „Chancengleichheit und Diversität am KIT“ bündelt in deutscher und englischer Sprache die vielfältigen Maßnahmen und Aktivitäten, die am KIT zur Verbesserung der Chancengleichheit und Diversität umgesetzt werden. Zusätzlich stellt ein Leitfaden zur Außendarstellung von Chancengleichheits- und Diversitätsthemen Hinweise für die Darstellung sowie Good-Practice-Beispiele bereit.

Kaskadenmodell

Parallel zum weiterhin geltenden Kaskadenmodell der GWK bis zum Jahr 2025 hat das KIT im Jahr 2024 ein neues Kaskadenmodell 2024-2030 mit Zielquoten für den Stichtag 31. Dezember 2030 durch Präsidiumsbeschluss vom 5. August 2024 festgelegt und eingereicht. Der Anwendungsbereich des Kaskadenmodells erfasst aktuell nur Personal, das der Großforschungsaufgabe (Helmholtz-Zentrum) zugeordnet wird. Nicht betrachtet wird das Personal des KIT, welches vorrangig mit einer Universitätsaufgabe betraut ist. Im Zuge der Vollendung des Fusionsprozesses mit dem 2. KIT-Weiterentwicklungsgesetz, der Zusammenführung von Großforschungs- und Universitätsaufgaben und der Vereinheitlichung der Finanzströme strebt das KIT an, keine separaten Daten mit Bezug zur Großforschungsaufgabe, sondern nur noch einheitliche Gesamtdaten für das KIT aufzuführen. In den nachfolgenden Darstellungen werden die beiden aktuell geltenden Kaskadenmodelle mit den jeweiligen Zielquoten dargestellt. Im Kaskadenmodell 2019-2025 sind für die definierten Personalkategorien des Kaskadenmodells die Zielquoten für den 31. Dezember 2025 festgehalten, die ausgehend vom Ist-Stand am 31. Dezember 2019 formuliert wurden. Dargestellt werden der jeweilige Ist-Stand der Jahre 2019 bis 2024, die zu erwartenden Fluktuationen, der geplante Aufwuchs sowie die Zielquoten bis 2025. Anschließend werden die Erläuterungen zu den aktuellen Ist-Werten (Stand 31. Dezember 2023) dargestellt. Im Kaskadenmodell 2024-2030 sind entlang der gleichen Personalkategorien die jeweiligen Zielquoten für den 31. Dezember 2030 dokumentiert, ausgehend vom Ist-Stand am 31. Dezember 2023. Auch diese Tabelle enthält die zu erwartende Fluktuation, den geplanten Aufwuchs sowie die Neubesetzungsquote je Personalkategorie, die zur Erreichung der Zielquote notwendig ist. Es folgen die Strategien und Maßnahmen, die zur Erreichung der Ziele etabliert bzw. intensiviert werden sollen sowie die Begründungen zu den formulierten Zielwerten 2030 je Personalkategorie.

Frauenquote – Entwicklung										Frauenquote – Abteilung und Ziel 2025																						
IST 31.12.2019			IST 31.12.2020			IST 31.12.2021			IST 31.12.2022			Ist 31.12.2023			Ist 31.12.2024			Prognose 2020 – 2025			SOLL 31.12.2025	SOLL 31.12.2026	KIT									
Anzahl Personen	davon Frauen	Frauen- quote (%)	Anzahl Personen	davon Frauen	Frauen- quote (%)	Anzahl Personen	davon Frauen	Frauen- quote (%)	Anzahl Personen	davon Frauen	Frauen- quote (%)	Anzahl Personen	davon Frauen	Frauen- quote (%)	Anzahl Personen	davon Frauen	Frauen- quote (%)	Zugänge ³			Ziel-Frauen- quote (%)	Entwicklung 2019–2024 in %-Punkten										
																		Abgelegt ³														
																		Wieder- besetzung von Stellen (Fluktuation)	Neue Stellen (Aufwuchs) & Fluktuation)	Besetzte Positionen mit Frauen (Aufwuchs & Fluktuation)	Frauenquote der Besetzung mit Frauen											
Zustimmung ⁴	4	0	0,0%	4		0,0%	4	0	0,0%	4	1	25,0%	5	1	20,0%	4	0	0	0	0	0	-	0,0%	0,0%	-5,0%							
Erste Führungsebene ⁵	5	1	20,0%	5	1	20,0%	5	1	20,0%	5	1	20,0%	5	1	20,0%	5	1	0	0	0	0	-	20,0%	20,0%	0,0%							
	34	2	5,9%	30	3	10,0%	28	2	7,1%	32	3	9,4%	31	4	12,9%	35	5	5	0	5	1	6	3	50,0%	14,3%	0,4%						
Zweite Führungsebene ¹	66	11	16,7%	71	12	16,9%	79	15	19,0%	81	17	21,0%	91	17	18,7%	96	19	19,8%	70	14	15	3	15	4	19	6	31,6%	20,0%	3,1%	1,1%		
	21	6	28,6%	20	5	25,0%	20	6	30,0%	21	5	23,8%	17	6	35,3%	20	7	35,0%	25	9	14	3	14	4	18	6	33,3%	36,0%	6,4%	-0,3%		
Leitung zehnjähriger Forschungs- und Nachwuchsgruppen/Forschungsbereich ²	52	5	9,6%	52	7	13,5%	53	8	15,1%	59	10	16,9%	63	11	17,5%	69	12	17,4%	63	11	8	0	8	11	19	6	31,6%	17,5%	7,8%	-0,1%		
	2		0,0%	2		0,0%	2		0,0%	2		0,0%	2		0,0%	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%	0,0%	
Vergütungsgruppen																																
	WT		-		-		3	1	33,3%	4		0,0%	4	0	0,0%	4	1	25,0%	5	2					5	5	2	40,0%	40,0%	-	25,0%	
E ISU TQD/TVL ATB S (BZ B3)	9	1	11,1%	9	1	11,1%	10	1	10,0%	11	1	9,1%	10	1	10,0%	9	1	11,1%	7	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
E ISU TQD/TVL	135	13	9,6%	132	13	9,8%	135	15	11,1%	133	16	12,0%	130	15	11,5%	138	15	10,9%	140	24	36	2	36	5	41	13	31,7%	17,1%	17,1%	1,2%	-0,7%	
E I4 TQD/TVL	430	81	18,8%	424	85	20,0%	425	79	18,6%	442	84	19,0%	441	87	19,7%	440	102	23,2%	450	99	119	25	119	20	139	43	30,9%	22,0%	22,0%	4,3%	3,5%	
E I3 TQD/TVL	1.006	326	31,9%	1.117	338	30,1%	1.306	388	30,5%	1.402	455	32,5%	1.558	527	33,8%	1.701	575	33,8%	1.050	598	264	908	14	922	312	33,8%	33,7%	33,7%	0,0%	0,0%		

Kaskadenmodell 2019–2025: Ziel-Quoten am 31. Dezember 2025 und Ist-Quoten am 31. Dezember der Jahre 2019 bis 2024 für das wissenschaftliche Personal (ohne verwaltungs-, technisches und sonstiges Personal) in Köpfen (nicht: VZÄ).

Kaskadenmodell 2019–2025: Erläuterungen zu den Ist-Werten (Stand 31.12.2024)

Bitte erläutern Sie in der Vergleichstabelle, aus welchen Gründen sich die IST-Werte zum Teil nicht auf dem angestrebten Niveau der SOLL-Werte befinden.			
SOLL-IST-Vergleich 2023		IST - SOLL Frauenquote	Erläuterung
Zentrumsleitung ⁴		20,0%	
Führungsebenen ⁴	Erste Führungsebene ⁴	0,0%	
	Zweite Führungsebene ¹	-1,4%	Hier zeigt sich seit 2019 ein kontinuierlicher Anstieg der absoluten Kopffzahlen bei Frauen, was die Bemühungen auf dieser Führungsebene unterstreicht. Ist-Stand liegt knapp unter Zielwert 2025 und kann in dieser Gruppe realistisch durch Besetzung einer weiteren Frau erreicht werden
	Dritte Führungsebene ¹	-1,3%	Hier zeigt sich seit 2019 ein kontinuierlicher Anstieg der absoluten Kopffzahlen bei Frauen. Im Vergleich zur Ausgangslage konnte die Anzahl von Frauen um 73% gesteigert werden. Dieser absolute Anstieg in Köpfen schlägt sich weniger stark in der Steigerung von 3,1 Prozentpunkten nieder, da auch der Anteil von Männern einen Aufwuchs erfahren hat. Gründe sind hier die Herausforderung der Gewinnung von Frauen aufgrund des fächerspezifisch geringen Anteils qualifizierter Frauen und der Wettbewerb mit anderen Institutionen in den vertretenen Fächern.
	Leitung selbständiger Forschungs- und Nachwuchsgruppen/Forschungsbereiche ²	-1,0%	In der langfristigen Perspektive konnte der Anteil von Frauen um 6,4 Prozentpunkte gesteigert werden. Der Zielwert 2025 ist damit nahezu erreicht. Aufgrund geringer Gesamtkopffzahlen starke Auswirkung des Anteils bei Veränderungen von nur +/- 1 Kopf bei Frauen oder Männern
Vergütungsgruppen	W3/C4	-0,1%	
	W2/C3	0,0%	...
	W1	-15,0%	Seit 2019 Steigerung des Frauenanteils im W1-Bereich um 25 Prozentpunkte. Aufgrund sehr geringer Gesamtkopffzahlen hat jede Veränderung eine starke Auswirkung auf den Anteil. Die hier dargestellten absoluten Zahlen sind nicht repräsentativ für das gesamte KIT. Die Einrichtung von Juniorprofessuren (W1) als wissenschaftliche Qualifikationsstufe erfolgt überwiegend innerhalb der Universitätsaufgabe des KIT. Viele der W1-Positionen werden jedoch auch in W3-Positionen der Großforschungsaufgabe verdauert, was langfristig eine positivere Prognose und Entwicklung des Frauenanteils bei den Professuren insgesamt mit sich bringen wird.
	E 15 Ü TVoD/TV-L, ATB, S (B2, B3)	-3,2%	Keine Wiederbesetzung / Neueinrichtung in dieser Entgeltgruppe geplant, insofern keine Steuerungsmöglichkeit.
	E15 TVoD/TV-L	-6,3%	Trotz langsamerer Entwicklung ist eine Erhöhung der absoluten Köpfe bei Frauen festzustellen (+2 Frauen bei gleichzeitig +3 Männer und damit eine Neubesetzungsanteil von 40%, die über der prognostizierten Frauenquote Neubesetzungen liegt). Diese Gruppe entspricht in der Regel einer internen Beförderung aus vorhergehender Vergütungsgruppe, daher liegt der Fokus der Bemühungen darauf, zunächst den Pool an geeigneten Bewerber/innen weiterzuentwickeln und die Förderung qualifizierter Frauen in den darunterliegenden Vergütungsgruppen voranzubringen. Die Gewinnung von Frauen von Extern gestaltet sich aufgrund des fächerspezifisch geringen Anteils qualifizierter Frauen sowie des Wettbewerbs mit anderen Institutionen um die gleichen Köpfe als herausfordernd.
	E14 TVoD/TV-L	1,2%	Hier wurde der Zielwert bereits 2024 übertroffen. Da dies in der Regel einer internen Beförderung aus vorhergehender Tarifgruppe entspricht, unterstreicht die hier messbare Entwicklung die bei der Vergütungsgruppe E15 beschriebenen Fokussierung auf die interne Förderung qualifizierter Frauen.
	E13 TVoD/TV-L	0,1%	...

Kaskadenmodell 2024–2030: Zielquoten am 31. Dezember 2030 für das wissenschaftliche Personal (ohne verwaltungs-, technisches und sonstiges Personal) in Köpfen (nicht: VZÄ)

KIT		Frauenquote – Entwicklung			Frauenquote – Ableitung und Ziel 2030									
		IST 31.12.2023			Prognose 31.12.2030		Prognose 2024–2030							SOLL 31.12.2030
		Anzahl Personen	davon Frauen	Frauen- quote (%)	Anzahl Personen	davon Frauen	Abgänge ³		Zugänge ³					Ziel-Frauen- quote (%)
							Gesamt	davon Frauen	Wieder- besetzung von Stellen (Fluktuation)	Neue Stellen (Aufwuchs)	Besetzbare Positionen Gesamt (Fluktuation &	davon Besetzung mit Frauen	Frauen- quote Neu- besetzung en	
	Zentrumsleitung	4	1	25,0%	5	2	3	1	3	1	4	2	50,0%	40,0%
Führungsebenen	Erste Führungsebene ⁴	5	1	20,0%	5	1	2	1	2	0	2	1	50,0%	20,0%
	Zweite Führungsebene ¹	31	4	12,9%	31	9	13	1	13	0	13	6	46,2%	29,0%
	Dritte Führungsebene ¹	91	17	18,7%	144	41	29	4	29	53	82	28	34,1%	28,5%
	Leitung selbständiger Forschungs- und Nachwuchsgruppen/Forschungsbe	17	6	35,3%	20	8	17	6	17	3	20	8	40,0%	40,0%
Vergütungsgruppen	W3/C4	63	11	17,5%	82	21	17	2	17	19	36	12	33,3%	25,6%
	W2/C3	2	0	0,0%	2	0	0	0	0	0	0	-	0,0%	
	W1	4	0	0,0%	19	8	4	0	4	15	19	8	42,1%	42,1%
	E15 Ü TVöD/TV-L, ATB, S (B2, B3)	10	1	10,0%	3	0	7	1	0	0	0	-	0,0%	
	E15 TVöD/TV-L	130	15	11,5%	130	26	53	6	53	0	53	17	32,1%	20,0%
	E14 TVöD/TV-L	441	87	19,7%	454	113	100	8	100	13	113	34	30,1%	24,9%
	E13 TVöD/TV-L	1.558	527	33,8%	2.088	713	1.352	464	1.352	530	1.882	650	34,5%	34,1%

Kaskadenmodell 2024–2030:

Darstellung der Strategien und Maßnahmen zur Erreichung der Zielquoten

Welche Strategien und Maßnahmen ergreift Ihr Zentrum, um die ambitionierten, aber realistischen Zielquoten im Jahr 2030 zu erreichen?

Strategien

- Formulierung von Zielwerten, Strategien und Maßnahmen im aktuellen Zeitraum im aktuellen Chancengleichheitsplan 2022-2026. Für die kommende Planungsperiode im Rahmen des Struktur- und Entwicklungsplanes wird ein neuer Chancengleichheitsplan für den Zeitraum 2027-2031 vorbereitet.
- Verankerung von Chancengleichheitszielen, Zielwerten und Erfolgskriterien im EXU-Konzept "The Research University in the Helmholtz Association - Living the Change"
- Verankerung von Chancengleichheitszielen in der Dachstrategie "KIT 2025"

Maßnahmen

- Abgeleitete Maßnahmen aus der Exzellenzstrategie: Young Investigator Group Preparation Programm; Gender Equity 1 (Kulturwandel und fachspezifische Chancengleichheitsansätze) und Gender Equity 2 (Finanzielle Förderung zur Rekrutierung herausragender Wissenschaftlerinnen)
- Ausbau von Genderkompetenz/Gendersensibilisierung, z. B. durch Nutzung eines eigens entwickelten Online-Moduls zur Genderkompetenz (Zielgruppe: vor allem Leitungs-/Führungskräfte, Mitglieder von Berufungskommissionen sowie alle Mitarbeitende)
- Active Scouting und proaktive Ansprache qualifizierter Frauen für Führungs-/Leitungsaufgaben
- Vielfältige und umfangreiche Maßnahmen zur Vereinbarkeit von Beruf, Wissenschaft, Studium und Familie & Pflege sowie allgemeine Personalentwicklungsmaßnahmen
- Die hier beschriebenen Strategien und Maßnahmen werden auch im Chancengleichheitsplan 2022-2026 festgehalten.

Kaskadenmodell 2024–2030: Begründung zur Festlegung der Zielwerte je Personalkategorie

Ziel-Frauenquote (%)		Jeweils Begründung zu „ambitionierte, aber realistische Zielquote“
40,0%	Zentrumsleitung	- Aufwuchs durch Besetzung der aktuell vakanten Stelle "Präsident/in"; das Besetzungsverfahren ist mit Stand vom 01.07.24 hierzu bereits abgeschlossen. - Hinweis: In dieser Kaskade wird lediglich die Großforschungsaufgabe des KIT betrachtet; bezogen auf Gesamt-KIT (inkl. Universitätsbereich) liegt der Frauenanteil im Präsidium bei 20%.
20,0%	Erste Führungsebene	- Keine geplanten Veränderungen. - Entspricht Bereichsleitungen und Wahlamt, die zentrale Steuerungsmöglichkeit ist damit begrenzt. Active Scouting nach Kandidatinnen und proaktive Ansprache ist notwendig.
29,0%	Zweite Führungsebene	- Herausforderung der Gewinnung von Frauen aufgrund des fächerspezifisch geringen Anteils qualifizierter Frauen im Sinne der Kaskade. - Wettbewerb mit anderen Institutionen bei gleichzeitig geringem Frauenanteilen in den vertretenen Fächern. - Orientierung an Aufwuchs von 2019-2023 zur Ermittlung der Ziel-Frauen-Quote 2030: bisher 7 Prozentpunkte über 4 Jahre => Angestrebte Erhöhung von 16,1 Punkten über 7 Jahre entspricht einer leichten Steigerung der bisherigen Anstrengungen im Sinne der durchschnittlichen jährlichen Steigerungsrate in Prozentpunkten. (Bisher +1,75 Prozentpunkte p.a., ab 2024: +2,3 Prozentpunkte p.a.)
28,5%	Dritte Führungsebene	- Herausforderung der Gewinnung von Frauen aufgrund des fächerspezifisch geringen Anteils qualifizierter Frauen im Sinne der Kaskade. - Wettbewerb mit anderen Institutionen bei gleichzeitig geringem Frauenanteilen in den vertretenen Fächern. - Orientierung an Aufwuchs von 2019-2024 zur Ermittlung der Ziel-Frauen-Quote 2030: bisher 2 Prozentpunkte über 4 Jahre => Angestrebte Erhöhung von 9,8 Punkten über 7 Jahre entspricht einer Verdreifachung der bisherigen Anstrengungen im Sinne der jährlichen Steigerungsrate in Prozentpunkten. Eine Neubesetzungsquote von 50% würde die Steigerung der Ziel-Frauenquote um 18,8 Prozentpunkte und eine Verfünffachung der jährlichen Steigerungsrate in Prozentpunkten erfordern.
40,0%	Leitung selbständiger Forschungs- und Nachwuchsgruppen/Forschungsbereiche	- Orientierung an Ziel-Frauenquote für das gesetzte Ziel im EXU-Vorhaben für KIT gesamt sowie im aktuellen Chancengleichheitsplan für KIT gesamt für das Jahr 2026. - Stagnation 2019 bis 2023 bei den Kopfzahlen bei den Frauen, daher zunächst im Fokus, die Gesamtzahl der erfolgreichen Nachwuchsgruppenleitungen von Frauen zu erhöhen. - Diese Führungsebene wird nicht besetzt, sondern eingeworben. Zentrale Steuerungsmöglichkeit ist daher begrenzt. Potentielle Kandidatinnen werden durch das YIG Prep Pro bei der Vorbereitung der Anträge auf eine Nachwuchsgruppe unterstützt. Innerhalb des Programms existiert eine Frauenquote von 50%. - Herausforderung der Gewinnung von Frauen aufgrund des fächerspezifisch geringen Anteils qualifizierter Frauen im Sinne der Kaskade.
25,6%	W3/C4	- Orientierung an der Frauenzielquote im Chancengleichheitsplan des KIT für 2026 für das KIT Gesamt mit 20%. - Besetzungen mit Professuren ist auch von Rufannahme abhängig; 2023 liegt der Anteil der Ernennungen von Frauen unter dem Anteil der erteilten Rufe an Frauen für KIT gesamt. - Orientierung an Aufwuchs von 2019-2023 zur Ermittlung der Ziel-Frauen-Quote 2030: Angestrebte Erhöhung um 8,1 Punkte über 7 Jahre entspricht der Fortsetzung der bisherigen Anstrengungen im Sinne der jährlichen Steigerungsrate in Prozentpunkten. Eine Neubesetzungsquote von 50% würde die Steigerung der Ziel-Frauenquote um 15,4 Prozentpunkte erfordern.
0,0%	W2/C3	Keine Wiederbesetzung / Neueinrichtung geplant.
42,1%	W1	- Orientierung an Ziel-Frauenquote für das gesetzte Ziel im EXU-Vorhaben für KIT gesamt sowie im aktuellen Chancengleichheitsplan für KIT gesamt für das Jahr 2026. - Sehr geringe Gesamtkopfzahlen in Gruppe gibt großen Ausschlag bei dem Prozentwert der Ziel-Frauenquote. - Herausforderung der Gewinnung von Frauen aufgrund des fächerspezifisch geringen Anteils qualifizierter Frauen im Sinne der Kaskade. - Wettbewerb mit anderen Institutionen bei gleichzeitig geringem Frauenanteilen in den vertretenen Fächern.
0,0%	E15 Ü TVoD/TV-L, ATB u.a.	Keine Wiederbesetzung / Neueinrichtung geplant.
20,0%	E15 TVoD/TV-L	- Entspricht in der Regel einer internen Beförderung aus vorhergehender Tarifgruppe, daher wurde Nachwuchspotential gemäß Kaskade unter 50% angesetzt. - Herausforderung der Gewinnung von Frauen aufgrund des fächerspezifisch geringen Anteils qualifizierter Frauen sowie im Wettbewerb mit anderen Institutionen. - Orientierung an Aufwuchs von 2019-2023 zur Ermittlung der Ziel-Frauen-Quote 2030: bisher 1,9 Prozentpunkte über 4 Jahre => Angestrebte Erhöhung von 8,5 Punkten über 7 Jahre entspricht einer Verdoppelung der bisherigen Anstrengungen im Sinne der jährlichen Steigerungsrate in Prozentpunkten. Eine Neubesetzungsquote von 50% würde die Steigerung der Ziel-Frauenquote um 15,8 Prozentpunkte und eine Vervierfachung der bisherigen jährlichen Steigerungsrate in Prozentpunkten erfordern.
24,9%	E14 TVoD/TV-L	- Entspricht in der Regel einer internen Beförderung aus vorhergehender Tarifgruppe, daher wurde Nachwuchspotential gemäß Kaskade unter 50% angesetzt. - Herausforderung der Gewinnung von Frauen aufgrund des fächerspezifisch geringen Anteils qualifizierter Frauen sowie im Wettbewerb mit anderen Institutionen. - Orientierung an Aufwuchs von 2019-2023 zur Ermittlung der Ziel-Frauen-Quote 2030: bisher 0,9 Prozentpunkte über 4 Jahre => Angestrebte Erhöhung von 5,2 Punkten über 7 Jahre entspricht einer Verdreifachung der bisherigen Anstrengungen im Sinne der jährlichen Steigerungsrate in Prozentpunkten. Eine Neubesetzungsquote von 50% würde die Steigerung der Ziel-Frauenquote um 10,1 Prozentpunkte und eine Versechsfachung der bisherigen jährlichen Steigerungsrate in Prozentpunkten erfordern.
34,1%	E13 TVoD/TV-L	- Orientierung am aktuellen Chancengleichheitsplan für KIT gesamt für das Jahr 2026: 30% bei befristeten Wiss Mit. - Internes Nachwuchspotential: Betrachtet man die vorhergehenden Qualifikationsstufen gemäß Kaskadenmodell, dann liegen die Frauenanteile für KIT gesamt im Jahr 2023 unter den Studienanfänger*innen bei 30%, bei Studienabschlüssen MA bei 30% und bei 32% unter den Promovierenden. Die jetzigen Frauenanteile und Zielquoten liegen bereits über dem Nachwuchspotential gemäß der Kaskade. - Externe Anwerbung: Bei der Anwerbung qualifizierter Frauen bundesweit und international steht das KIT im starken Wettbewerb mit anderen Institutionen bei gleichzeitig geringem Frauenanteilen in den vertretenen Fächern.

Parallel zu den Zielquoten im Kaskadenmodell erstellt das KIT nach § 16 Abs. 5 KITG für die Dauer von fünf Jahren einen Chancengleichheitsplan für das gesamte KIT, welcher neben einer Bestandsaufnahme und einer beschreibenden Auswertung der Beschäftigtenstruktur konkrete Ziel- und Zeitvorgaben für die Entwicklung der Chancengleichheit von Frauen und Männern enthält. Der erste Chancengleichheitsplan des KIT (2014-2018) wurde für den Zeitraum vom 1. Januar 2019 bis 31. Dezember 2021 fortgeschrieben, um eine Synchronisation mit dem Struktur- und Entwicklungsplan des KIT herzustellen. Seit dem 1. Januar 2022 gilt der neue Chancengleichheitsplan 2022-2026, welcher auf Basis der Bestandsaufnahme und Bewertung der Entwicklungen des ersten Geltungszeitraums sowie den Anforderungen des zuständigen Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst, Baden-Württemberg, neue Zielkategorien und Zielwerte zur Erhöhung der Frauenanteile beinhaltet. Folgende Zielzahlen zur Erhöhung der Frauenanteile hat sich das KIT bis 2026 ausgehend vom Ist-Stand zum 31. Dezember 2019 gesetzt. Diesem folgt der Chancengleichheitsplan 2027-2031, der im Frühjahr 2025 erarbeitet wird. Aufgrund neuer Anforderungen von Seiten des MWKs Baden-Württemberg sind hier fortan veränderte Kategorien zu berücksichtigen. Aus diesem Grund liegen die Ist-Zahlen für 2024 nach der Systematik des bisherigen Chancengleichheitsplans zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht vor.

Zielkategorie	2019	2020	2021	2022	2023	Zielwert 31.12.2026
Wissenschaftliches Personal						
1. Professuren (W1-W3)	14%	16%	17%	18%	19%	20%
2. davon Juniorprof. W1 mit TT	25%	17%	14%	27%	25%	40%
3. davon Juniorprof. W1 ohne TT	29%	36%	41%	33%	29%	40%
4. Abteilung-/ Arbeitsgruppenleitungen	14%	16%	16%	18%	17%	17%
5. Nachwuchsgruppenleitungen	26%	26%	33%	26%	26%	37%
6. befrist. wiss. MA mit Dr.-Titel	32%	31%	29%	31%	31%	34%
7. befrist. wiss. MA o. Dr.-Titel	27%	27%	30%	28%	32%	30%
Wissenschaftsunterstützendes Personal						
8. Leitungspositionen der Dienstleistungseinheiten (etc.) ¹	48%	42%	49%	51%	45%	50%
9. Unbefr. beschäftigte Frauen der EG E5-E12 im technischen Dienst	28%	27%	28%	28%	28%	31%
10. Weibl. Auszubildende in naturw., gewerbl.-techn. Berufen	30%	31%	30%	31%	32%	35%
Leitungspositionen und Gremien						
11. Präsidiumsmitglieder	17%	17%	17%	17%	20%	33%
12. Bereichsleiter/innen	20%	20%	20%	20%	20%	20%
13. Aufsichtsrat	54%	54%	54%	45%	36%	54%
14. KIT-Senat	24%	24%	22%	22%	28%	30%
15. KIT-Senatskommission Chancengleichheit & Diversität	69%	71%	75%	75%	70%	50%

¹ Hierzu zählen auch die (zentralen) wiss. Einrichtungen, (zentralen) Betriebseinrichtungen und Stabsstellen.

Zudem werden seit dem Berichtsjahr 2021 die Frauenanteile bei den Professuren differenziert nach Altersgruppen dargestellt, um hier ein detaillierteres Bild aufzeigen zu können. Dabei werden alle Professuren des KIT (außer Vertretungs-/Honorarprofessuren) der Besoldungsgruppen W1-W3 (inkl. C3/C4) erfasst. Die nachfolgende Übersicht stellt die Frauenanteile in den Altersgruppen über/unter 50 Jahre für das Jahr 2023 dar:

	2023		
	Gesamt	w	w (%)
Prof. gesamt (W1-W3/C3/C4)	402	77	19
Prof. ab 50 J. (W2/W3/C3/C4)	255	38	15
Prof. bis 49 J. (W2/W3/C3/C4)	116	31	27
W1-Prof. gesamt	31	8	26

A.1.3 Strategische Zentrumsplanung

A.1.3.1 Mittel- und langfristige Strategie des Zentrums

Gestaltungsoptionen durch neue gesetzliche Rahmenbedingungen

Seit dem 1. Januar 2023 agiert das KIT unter den Vorzeichen des 2. KIT-Weiterentwicklungsgesetzes. Damit ist „KIT – Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft“ Realität geworden: eine Wissenschaftseinrichtung, die die beiden Aufgaben „Großforschungsaufgabe“ und „Universitätsaufgabe“ innerhalb eines einheitlichen organisatorischen und rechtlichen Rahmens mit einem integrierten Personalkörper erfüllt. Das Jahr 2024 brachte schließlich den finalen Meilenstein in der Etablierung von Großforschungs- und Universitätsaufgabe übergreifenden Vorgehensweisen im Kontext von „KIT 2.0“: Die geplante vollständige Übernahme der Bauherreneigenschaft durch das KIT auch für die Landesliegenschaften, die im Rahmen der Universitätsaufgabe genutzt werden, ist am 9. April 2024 vom Ministerrat des Landes Baden-Württemberg rückwirkend zum 1. Januar 2024 beschlossen worden. Das KIT hat diese Verantwortung durch Ausbau von Personalkapazitäten und Kompetenzen, Anpassung und Skalierung der internen Prozesse sowie eine übergreifende Steuerung mit vollem Engagement angenommen. Mit diesem letzten Schritt ist die formale Umsetzung von „KIT 2.0“ am KIT abgeschlossen.

Profilbildung und -schärfung in den großen Forschungsprogrammen

Forschung ist eine der drei Kernaufgaben am KIT, die dem Erkenntnisgewinn genauso verpflichtet ist wie dem Anspruch, wesentliche Beiträge für die Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft und den Erhalt unserer natürlichen Lebensgrundlagen zu leisten. Diese Verbindung prägt das Arbeiten in den Forschungsschwerpunkten (Research Foci) und mittelbar das Profil des KIT.

Bei den im Antrag auf Exzellenzuniversität identifizierten Research Foci handelt es sich um „Chemical and Electrochemical Energy Storage“, „Nanomaterials“, „Quantum Technologies“, „Elementary Particle and Astroparticle Physics“, „Autonomous Systems and Robotics“, „Atmospheric Sciences“ sowie um die beiden Emerging Fields „Cyber Security“ und „Technology Futures and Assessment“.

Zur Weiterentwicklung des Profils des KIT gehört es auch, im wichtigsten deutschen Forschungswettbewerb der Universitäten erfolgreich zu sein. KIT stellt sich diesem Wettbewerb mit Exzellenzcluster-Anträgen entlang drei seiner sechs Forschungsschwerpunkte. Die Fortsetzungsanträge zu dreidimensionalen additiven Fertigungstechniken „3D Matter Made to Order“ und zur Batterieforschung „Post Lithium Storage“ tragen zur Weiterentwicklung der Research Foci „Nanomaterials“ und „Chemical and Electrochemical Energy Storage“ bei. Mit dem Neuantrag „Chemically Designed Quantum Architectures“ (Chemische Plattform für hochpräzise Quantenarchitekturen zum Aufbau von Materialstrukturen für künftige Quantentechnologien) stärkt das KIT seinen Forschungsschwerpunkt „Quantum Technologies“. Die drei Exzellenzcluster-Vorhaben wurden unlängst durch Berufungen, Investitionen in Forschungsinfrastrukturen und die Studiengangsentwicklung strategisch gestärkt.

Einen wesentlichen Beitrag zur Profilschärfung des KIT leistet zudem der interne Fachstrategieprozess Forschung. Nach einem Fokus auf Quantentechnologien und Health Technologies

im letzten Durchlauf wählte das Präsidium diesmal aus neun Themenvorschlägen für den in einem orchestrierten Wechsel aus Top-down und Bottom-up ablaufenden und auf ca. 18 Monate angelegten Prozess zwei gesellschaftlich höchst relevante Themen: Kreislaufwirtschaft und Mobilität. Unter breiter Beteiligung aus der Wissenschaft über Disziplinen und Bereiche hinweg wurden die beiden Themengebiete 2024 in intensiven Workshops bearbeitet. Die im Herbst 2024 ausgearbeiteten Strategiepapiere bilden nun die Grundlage für Handlungsoptionen und eine künftige Weichenstellung ab 2025.

Die Fertigstellung des multidisziplinär ausgerichteten „Karlsruhe Center for Optics und Photonics“ (KCOP) am KIT hat auch im Jahr 2024 große Fortschritte gemacht. Das KCOP wird eine fortgeschrittene (Reinraum-)Infrastruktur mit einem entsprechenden Gerätepark für Forschungsaktivitäten von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung in den Feldern Quantitative Lebenswissenschaften, Nanophotonik für die Energiewandlung, Teratronik, hoch entwickelte Detektor- und Sensorsysteme und photonische Nanofabrikation zur Verfügung stellen. 2024 wurde zudem der Grundstein für eine Zusammenführung mit der KNMFi und HSS zur Forschungsinfrastruktur „KarlTech“ gelegt, sodass eine gezielte Nutzung aller vorhandenen Reinraum- und Materialcharakterisierungsmethoden für interne und externe User stattfinden kann.

Die EU strebt bis 2050 Klimaneutralität an. Doch kann nicht überall gleichbleibend die Wind- oder Sonnenenergie zur Umsetzung dieses Ziels erzeugt werden – Spitzenlasten und Dunkelflauten sind hier zentrale Herausforderungen. Als Europas größte Forschungsinfrastruktur für erneuerbare **Energie** (die zugleich ein Alleinstellungsmerkmal der KIT-Energieforschung ist) nimmt sich das Energy Lab dieser Aufgabe an und erforscht die intelligente Vernetzung von umweltfreundlichen Energieerzeugern und Speichermethoden. Eine sowohl strategisch als auch wissenschaftlich bedeutsame Erweiterung erfuhr das Energy Lab 2024 nun durch die Bewilligung der Helmholtz-Großinvestition „High Power Grid Lab“ (HPGL), das neue und dringend erforderliche Forschungs- und Testmöglichkeiten für ein agiles Energienetz der Zukunft bereitstellen wird. Auch über seine koordinierende Rolle im neugegründeten Netzwerk RISEnergy konnte das KIT seine Sichtbarkeit in der globalen Energieforschung weiter ausbauen: RISEnergy bildet mit 69 Technologieinstituten, Universitäten und Industriepartnern aus 22 Ländern und gemeinsam mit der Europäischen Energieforschungsallianz EERA ein Konsortium, das sich als „europäisches Ökosystem“ für die erneuerbaren Energien versteht und seinen Mitgliedern u.a. die Zugänge zu europäischen und nichteuropäischen Forschungsinfrastrukturen ermöglicht. Weitere programmübergreifende Weichenstellungen waren im Berichtsjahr sowohl die Priorisierung der „Kreislaufwirtschaft“ als neuem Paradigma für die laufende und künftige Forschung in Helmholtz Energy als auch die Entscheidung, am KIT die Reaktorsicherheitsforschung im Programm NUSAFE über die laufende PoF IV hinaus fortzusetzen. Zudem konnte das KIT im Licht der jüngsten Entwicklungen und Durchbrüche der Fusionsforschung sein Profil weiter schärfen hinsichtlich seiner führenden Technologie-Expertise auf dem Weg zu einem Fusionskraftwerk der Zukunft.

Die vier Joint Labs von **Helmholtz Information** erhielten auch im Jahr 2024 über den Innovationspool eine zusätzliche Finanzierung. Vor allem die informationsbasierte Materialentwicklung und -charakterisierung haben in den Joint Labs „Virtual Materials Design“ und „Model and Data Driven Materials Characterization“ ein breites Netzwerk schaffen können, wovon der gesamte Forschungsbereich und auch die Helmholtz-Gemeinschaft profitieren. Zudem wurde durch das Managementboard beschlossen dem Innovationspoolprojekt „HiRSE_PS, Helmholtz Platform for Research Software Engineering – Preparatory Study“ bis zum Ende der PoF IV den Status eines flexiblen Joint Labs zu geben. Damit erhält das Projekt ein Board, eine eigene Governance und die Möglichkeit, gesondert im Statusbericht für die wissenschaftliche

Begutachtung 2025 zu berichten. Damit wird die interdisziplinäre und programmübergreifende Tätigkeit hervorgehoben und die Sichtbarkeit erhöht.

In **Helmholtz Matter** hat das KIT die Empfehlungen des Themenbeirats aufgegriffen und die Profilbildung des Zentrums durch Fortführung der Forschungsinfrastrukturen KATRIN/TLK, GridKa und KARA weiter vorangetrieben, sowie die Themenfelder Dunkle Materie und Neutrinos am KIT gestärkt. Zur weltweiten Sichtbarkeit von KATRIN konnte auf der NEUTRINO 2024 in Milano die Bestimmung einer niedrigeren Obergrenze von $0.45 \text{ eV}/c^2$ vorgestellt werden. Zugleich konnte das KIT seine technologischen Partnerschaften in internationalen Konsortien weiter verfestigen. Das Pierre Auger Observatorium in Argentinien, in welchem das KIT eine führende Rolle und die Co-Sprecherschaft unter den 17 beteiligten Nationen einnimmt, wurde nach erfolgreicher Begutachtung um mindestens weitere zehn Jahre verlängert. Die Karlsruher Auger-Gruppe ist aktuell an der Errichtung eines Radioantennenfeldes beteiligt, mit dem eine neue Nachweismethode für die Sekundärteilchenkaskaden, die man oft auch als ausgedehnte Luftschauer bezeichnet, etabliert werden soll. Damit ist Auger-Prime in Phase II eingetreten, die bis 2035 laufen wird. Eines der weltweit sensitivsten Experimente zur direkten Suche nach Dunkler Materie auf der Erde ist das Projekt XENONnT, an dem das KIT seit 2019 beteiligt ist. Derzeit arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT im internationalen Verbund an der Entwicklung des Nachfolge-Experiments DARWIN/XLZD, das durch verfeinerte Technologie und exzellente Sensitivität ein Observatorium auch für andere extrem seltene Ereignisse aus der Astroteilchenphysik werden soll.

Im **Forschungsbereich Erde und Umwelt** wurde die Modellierungsstrategie stetig weiterentwickelt: So wurden von den als „Cross Topic Activity“ (CTA) etablierten Projekten „Digital Earth“ (DE) und „Advanced Earth System Modelling Capacity“ (ESM) des Changing Earth-Programms wesentliche Beiträge diesbezüglich geleistet. Verschiedene Projekte in den Inkubatorplattformen HMC und HAICU sowie die Aktivitäten des Programmtopics „The Atmosphere in Global Change“ (Topic 1) ergänzen die Entwicklung. Vor allem der enge Austausch mit Helmholtz Information (z.B. Aspekte, die im JointLab ExaESM bearbeitet werden) und eine sich entwickelnde Anbindung an das Nationale Hochleistungsrechnen (NHR) zeigt die erfolgreiche FB-übergreifende Zusammenarbeit. Im Bereich der atmosphärischen Modellierung – auch unter Berücksichtigung der Luftzusammensetzung (Aerosol, Ozon, etc.) – hat eine kontinuierliche Fokussierung durch die Beteiligung an der Governance (ICON Board) und einer engen Partnerschaft mit dem DWD auf ICON(-ART) stattgefunden. Gleichzeitig liefert Topic 1 wichtige Beiträge zum Aufbau des DataHub und der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur für Erdsystemforschung (NFDI4Earth), welche für die fortschreitende Einbindung von Daten und KI-Methoden in die Modellierung essenziell sind.

Attraktiver Studienort in Europa – Umsetzung der Einheit von Forschung und Lehre im gesamten KIT

Die Ergebnisse des 2019 abgeschlossenen Leitprojekts „Einheit von Forschung und Lehre am gesamten KIT“ im Rahmen der Dachstrategie KIT 2025 tragen dazu bei, die Verzahnung von Forschung und Lehre am KIT weiter voranzutreiben. Im Rahmen des Leitprojekts wurde ein zukunftsweisendes Thesenpapier mit fünf Fokusthemen erstellt, die in der Umsetzung sind. Über 5.200 neue Studentinnen und Studenten starteten im Wintersemester 2024/2025 in ihr Studium am KIT. Am KIT haben Studierende die Wahl zwischen 44 Bachelor- und 59 Masterstudiengängen. Den Start am KIT erleichtern unter anderem die von den Fachschaften

organisierten Orientierungsphasen, kurz O-Phasen, vor Semesterbeginn. Zum abwechslungsreichen Campusleben – von Kultur über Sport bis Politik und vielem mehr – tragen die mehr als 90 Hochschulgruppen des KIT bei.

Ausgestaltung der Innovationsstrategie

Als eine der Kernaufgaben des KIT schlägt Innovation eine Brücke zwischen Erkenntnis und Anwendung zum gesellschaftlichen Nutzen, wirtschaftlichem Wohlstand und Erhalt unserer natürlichen Lebensgrundlagen. Das KIT hat im Rahmen seiner Dachstrategie KIT 2025 im Jahr 2022 das bisherige Handlungsfeld Innovation zum Handlungsfeld Transfer erweitert und damit den Technologie- und Wissenstransfer am KIT strategisch zusammengeführt, um den Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft signifikant zu stärken.

Um die Gründungskultur an baden-württembergischen Hochschulen weiter zu verbessern, fördert das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg (MWK) sechs sogenannte INSPIRE BW Hubs. Darunter ist auch der DeepTechHub unter Federführung des KIT. In der Initiative wollen lokale Hochschulen die Region Südwestdeutschland prominent positionieren, indem sie relevante Akteure vernetzen und gemeinsame Gründungsaktivitäten unterstützen. Das MWK fördert den DeepTechHub mit bis zu 1,95 Mio. Euro.

Wissenstransfer in die Gesellschaft bedeutet Forschung erlebbar machen und in den Dialog treten. Um dies zu ermöglichen, hat das „TRIANGEL Transfer | Kultur | Raum“ mit den „Wissenswochen“ ein Schaufensterformat geschaffen, bei dem ausgewählte Themen des KIT über mehrere Tage präsentiert werden. Im Jahr 2024 fanden zwei Wissenswochen statt. Vom 8. bis 12. Oktober lud das KIT-Zentrum Mathematik große und kleine Besucher ein, das Fach Mathematik neu zu entdecken. Vom 5. bis 9. November gab der Kompetenzcluster ANYMOS (Anonymisierung für vernetzte Mobilitätssysteme), dem auch das KIT angehört, mit vielfältigen Angeboten einen Einblick in die Welt der Erhebung von Mobilitätsdaten.

Mit dem neuen Format „Innovators Homecoming“ wendet sich die Gründerschmiede an Alumnæ und Alumni des KIT, deren Netzwerk hier über verschiedene Generationen zusammengeführt werden soll. Über 350 Personen nahmen an der ersten Veranstaltung im Jahr 2024 teil, darunter viele Gründerinnen und Gründer, Unternehmerinnen und Unternehmer sowie Führungskräfte.

Stärkung der regionalen Verbünde

Das KIT wird in seiner Funktion als regionaler Knotenpunkt seine langjährigen intensiven Kooperationen mit den umliegenden Hochschulen und Forschungseinrichtungen weiter ausbauen. Außerdem ist das KIT auch als Teil der Helmholtz-Gemeinschaft maßgeblich in nationalen und internationalen Forschungsnetzwerken engagiert.

Eucor – The European Campus ist ein trinationaler Verbund von fünf Universitäten in der Oberrheinregion. Zu den Mitgliedern zählen die Universitäten Basel, Freiburg, Haute-Alsace, Strasbourg sowie das KIT. Gemeinsam bündeln die Universitäten Kompetenzen von 15.000 Forscherinnen und Forschern, 13.500 Promovierenden sowie 117.000 Studierenden. Die Einrichtung grenzüberschreitender Professuren ist ein Pionierprojekt von Eucor. So konnte eine neue Professur „Wasser und Nachhaltigkeit“ mit der Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg eingerichtet und mit Prof. Dr. Karl Matthias Wantzen besetzt werden. Am KIT ist Matthias Wantzen dem Institut für Wasser und Umwelt zugeordnet. An

allen besetzten Brückenprofessuren ist das KIT beteiligt. Ein wichtiges Ziel im Eucor-Strategieplan 2024–2030 ist der Ausbau der grenzüberschreitenden Professuren.

Die langjährige Zusammenarbeit des KIT mit der Universität Heidelberg war 2011 mit der Gründung des „Heidelberg Karlsruhe Research Partnership (HEiKA)“ auf eine neue Stufe gestellt worden: HEiKA ermöglicht seitdem eine fachbereichsspezifische Kooperation und gemeinsame Positionierung in hochkompetitiven Forschungsfeldern. Dazu gehört der 2018 gemeinsam eingeworbene Exzellenzcluster „3D Matter Made to Order (3DMM2O)“, der die Verbindung weiter stärkt. Im Jahr 2024 konnten Forschende des KIT innerhalb des Exzellenzclusters ein neuartiges mechanisches Metamaterial entwickeln, mit dem sich Wechselwirkungen zwischen den Bausteinen nicht nur mit den nächsten Nachbarn, sondern auch über größere Entfernungen im Material auslösen lassen.

Auf dem Gebiet der elektrochemischen Energiespeicher wurde 2018 mit der Gründung des „Center for Electrochemical Energy Storage Ulm & Karlsruhe (CELEST)“ die langjährige Zusammenarbeit des KIT mit der Universität Ulm sowie dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg ebenfalls auf eine neue Stufe gehoben. Die Aktivitäten des seit 2019 durch die DFG geförderten Exzellenzclusters „Post Lithium Storage Cluster of Excellence (POLiS)“ tragen maßgeblich und auf höchstem Niveau zum CELEST Forschungsfeld „Post-Lithium Batteries“ bei.

Mit den Exzellenzclustern 3DMM2O und POLiS geht das KIT auch in das Auswahlverfahren für die nächste Runde der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder. Dazu kommt ein neuer Antrag für die Initiative Chem4Quant, eine chemische Plattform für hochpräzise Quantenarchitekturen. Forschende des KIT, der Universität Ulm und der Universität Stuttgart möchten in der gemeinsamen Initiative Chem4Quant Materialstrukturen für künftige Quantentechnologien gezielt aufbauen. Mit einer chemiebasierten Plattform schlägt Chem4Quant einen fundamental neuen Ansatz vor. Ziele der Initiative sind neuartige Qubit-Materialien und das Realisieren erster Bauteile für das zukünftige Quanteninternet. Dabei kann Chem4Quant auf eine weltweit einzigartige Expertise auf dem Gebiet der molekularen Quantensysteme sowie auf etablierte Kooperationen zurückgreifen.

Das Zentrum für Quantenwissenschaft und -technologie (IQST) der Universitäten Stuttgart und Ulm sowie des Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung steht seit zehn Jahren für eine interdisziplinäre Spitzenforschung, die über die Grundlagenforschung hinaus auch mögliche Anwendungen und deren gesellschaftlichen Nutzen im Blick hat. Mit dem KIT hat sich im Jahr 2024 eine weitere überregionale Institution dem weltweit renommierten Zentrum angeschlossen. Das IQST soll zu einem landesweiten Netzwerk für die wissenschaftliche „Quanten-Community“ in Baden-Württemberg ausgebaut werden.

Mit der Gründung der „Karlsruhe School of Education (KSE)“ intensivieren das KIT und die Pädagogische Hochschule Karlsruhe ihre langjährige und erfolgreiche Zusammenarbeit. In der gemeinsamen wissenschaftlichen Einrichtung wollen sie neue Ideen und Impulse für die Lehrkräftebildung entwickeln und die Zusammenarbeit in Studium und Lehre, Forschung und Nachwuchsförderung sowie Transfer ausbauen. Die KSE wurde am 5. Dezember 2024 im Beisein der baden-württembergischen Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kunst, Petra Olschowski, feierlich eröffnet.

Die Anwendung und Entwicklung neuer Technologien der DNA-Synthese voranzutreiben, um den Weg für die Herstellung ganzer künstlicher Genome zu ebnen – das ist das Ziel eines neuen interdisziplinären Zentrums, das an der Universität Heidelberg, dem KIT und der Johannes Gutenberg-Universität Mainz entsteht. Im Center for Synthetic Genomics sollen neue Entwicklungen in der Synthetischen Genomik durch Grundlagenforschung und Technologieentwicklung unter Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz angestoßen werden. Den

Aufbau fördert die Carl-Zeiss-Stiftung über einen Zeitraum von sechs Jahren mit insgesamt 12 Mio. Euro.

Wie lassen sich die Folgen des Klimawandels in Städten bewältigen? Wie kommen wir zu einem gesundheitsfördernden und ressourcenschonenden Angebot in Mensen und Betriebskantinen? Und was motiviert Bürgerinnen und Bürger zu einem nachhaltigeren Lebensstil? Im neuen Innovationscampus Nachhaltigkeit, der am 24. Januar 2024 an den Start ging, wollen die Universität Freiburg und das KIT wirkungsvolle und direkt umsetzbare Antworten auf solche Fragen finden – gemeinsam mit Partnern aus Gesellschaft, Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Das Land Baden-Württemberg stellte zunächst für den Aufbau und die ersten drei Pilotprojekte eine Million Euro zur Verfügung.

A.1.3.2 Risikoanalyse

Risiken aus dem Forschungs- und Geschäftsbetrieb sowie dem Betrieb der Anlagen und Gebäude des KIT (inkl. Großforschungsaufgabe) werden jährlich in einem ausführlichen Risikobericht analysiert und bewertet. Im Ergebnis wird im Risikobericht des KIT 2024 festgestellt, dass keine bestandsgefährdenden Risiken für das KIT (inkl. Großforschungsaufgabe) bestehen.

A.1.4 Entwicklung der Institute (Großforschungsaufgabe)

Die Institute des KIT erfüllen im Rahmen ihrer fachlichen Zuständigkeit und der Vorgaben der Organe der zentralen Ebene, des Bereichs, der zuständigen KIT-Fakultät und des zuständigen KIT-Programms die Aufgaben des KIT in Forschung, Lehre und Innovation. Die Aufgaben in Lehre, Studium und akademischen Angelegenheiten erfüllen sie im Rahmen der Zuständigkeit der jeweiligen KIT-Fakultät. Institute werden entsprechend der Aufgaben nach § 2 Absatz 1 KITG unterschieden in solche, die überwiegend Aufgaben in der Großforschung (Großforschungsaufgaben) wahrnehmen und solche, die überwiegend Aufgaben einer Universität (Universitätsaufgaben) wahrnehmen. Da der Fokus des vorliegenden Berichts auf den Fortschritten und Entwicklungen der Großforschungsaufgabe (GFA) liegt, ist das Kapitel „Entwicklung der Institute“ entlang der Institute oder Teilinstitute mit überwiegend Großforschungsaufgabe strukturiert. Jedes Institut ist einem der fünf disziplinär gebildeten Bereiche zugeordnet. Die Bereiche gestalten die fachliche Weiterentwicklung der Disziplinen als einen institutionalisierten Rahmen zur Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen und verteilen die Ressourcen strategisch. Die jeweiligen Bereichsleiterinnen und Bereichsleiter vertreten ihre Bereiche gegenüber dem Präsidium (s. Kapitel „Daten und Fakten“ oben, S. 11).

A.1.4.1 Bereich I – Biologie, Chemie und Verfahrenstechnik

A.1.4.1.1 *Institut für Biologische Grenzflächen (IBG)*

Sprecher der kollegialen Leitung: Prof. Dr. Christof M. Niemeyer

A.1.4.1.1.1 *Teilinstitut für Biologische Grenzflächen 1 – Biomolekulare Mikro- und Nanostrukturen (IBG 1)*

Leitende Person

Teilinstitutsleiter: Prof. Dr. Christof M. Niemeyer

Kurzdarstellung

Das IBG 1 ist eingebunden in das Programm Materials Systems Engineering (MSE) im Topic 3 „Adaptive and Bioinstructive Materials Systems“. Das Institut besteht aus den Arbeitsgruppen „Biomolekulare Mikro- und Nanostrukturen“ (Prof. Dr. Christof M. Niemeyer) und „Molekulare Evolution“ (PD Dr. Kersten S. Rabe).

Die Arbeitsgruppe Biomolekulare Mikro- und Nanostrukturen befasst sich mit der Entwicklung teilsynthetischer DNA-Protein-Konjugate und deren Anwendung zur Herstellung biofunktionalisierter Mikro- und Nanostrukturen. Die nanoskaligen Einheiten werden mit Hilfe kovalenter und nicht-kovalenter Methoden aufgebaut, indem die Selbstassemblierung von programmierbaren DNA-Gerüsten und Protein-Überstrukturen genutzt wird. Hierdurch ist eine große Breite komplexer Molekülsysteme zugänglich, die als Reagenzien nutzbar sind für die Immunanalytik in Mikrofluidiksystemen, für die Herstellung und Anwendung von Mikroarrays aus Enzymen, Antikörpern und anderen Molekülen und für den Aufbau komplexer biomolekular-modifizierter

Oberflächen für Zellkulturtechniken. Insbesondere eignen sich diese Systeme für Anwendungen in Materialforschung und (Bio)Katalyse.

Ein erfolgreiches Anwendungsbeispiel sind die sogenannten „all-enzyme-hydrogel“ (AEH) Materialien – genetisch programmierbare Hydrogele, die ausschließlich aus biotechnologisch-relevanten Enzymen bestehen und intensiv für Anwendungen in der industriellen Biokatalyse optimiert werden (s.u.). Eine weitere Plattform sind Nanokompositmaterialien aus DNA, Proteinen und Nanopartikeln, die für nanostrukturierte Oberflächen oder als 3D-Hydrogele einsetzbar sind, um maßgeschneiderte Eigenschaften gezielt einstellen zu können. Diese Materialien eignen sich u.a. als Zellkultursubstrate mit programmierbarer Funktionalität und eröffnen damit ein breites, biotechnologisches Anwendungsspektrum.

Die Arbeitsgruppe Molekulare Evolution beschäftigt sich mit der Entwicklung mikrobieller Wirt- und Enzymsysteme für die Biotechnologie. Mithilfe gerichteter Evolution werden Materialsysteme aus Mikroorganismen und freien Enzymen entwickelt, mit denen werthaltige Feinchemikalien, möglichst auf der Basis von Reststoffen, hergestellt werden können. Dr. Rabe koordiniert das BMBF-geförderte Verbundprojekt „MicroMatrix“, dessen Ziel es ist, bisher unkultivierbare mikrobielle Organismen für die Anwendung zugänglich zu machen. Auch ist er gemeinsam mit Prof. Dr. Sylvia Erhardt Sprecher des Fokusfeldes „Self-assembled, adaptive and biomimetic materials systems“ innerhalb des KIT-Zentrums „Materials in Technical and Life Sciences“ (MaTeLiS).

Die biotechnologisch ausgerichtete Forschung am IBG 1 konzentriert sich auf die Entwicklung von mikrofluidischen Methoden für die Assemblierung von Materialsystemen und die Kultivierung, Charakterisierung und Anwendung von mikrobiellen Mischkulturen. Das Thema Biofilmtechnologie fokussiert sich dabei auf Arbeiten zur informationsgestützten Identifikation und Isolierung von Mikroorganismen aus komplexen Habitaten (in Kooperation mit dem IBG 5), wofür die hierfür entwickelte Plattform der sogenannten MESIF (macroporous elastomeric silicone foam) Chips höchst erfolgreich zur Anreicherung, Probenahme und In-situ-Kultivierung von mikrobiellen Mischkulturen eingesetzt wird.

Highlights der Forschung

- Durch Nutzung der einzigartigen nanoskaligen Adressierbarkeit von DNA-Origami-basierten Materialien, konnten grundlegende Prozesse untersucht werden, die in den frühen Phasen der Zellsignalisierung ablaufen. Am Beispiel des epidermalen Wachstumsfaktors (epidermal growth factor, EGF) Signalweges konnte mithilfe der DNA-Nanostrukturen erstmalig die initial ablaufende Assemblierung der EGF-Rezeptoren von Tumorzellen auf der Nanoskala untersucht werden. Es zeigte sich, dass EGF-Abstände von etwa 30–40 nm die höchste EGFR-Aktivierung in adhärennten MCF7- und Hela-Zellen bewirkten. Diese Ergebnisse öffnen die Tür für die Entwicklung neuer Ansätze in Diagnostik und Therapie. (<https://doi.org/10.1007/s00253-024-13294-0>).
- Durch die Entwicklung einer skalenübergreifenden Testplattform zur Untersuchung der mikrofluidischen Strömungsdynamik von Tumorzell-Extravasation konnten fundamentale Mechanismen dieses Prozesses erforscht werden. Hierzu wurden mikrofluidische Reaktoren mit biofunktionalisierten Poren eingesetzt, um zu untersuchen, wie die nanoskalige Architektur von Liganden die Integrin-Signalwege beeinflusst. Die Extravasation von Tumorzellen, also ihr Austritt aus der Blutbahn und das Eindringen in umliegendes Gewebe, spielt eine zentrale Rolle in der Tumor-Metastasierung und stellt daher ein wichtiges therapeutisches Ziel dar, auch weil sie zur oft lebensbedrohlichen Ausbreitung von Krebs über den Primärtumor hinaus beiträgt (<https://doi.org/10.1002/anie.202318805>).

- Durchbrüche in der quantitativen Charakterisierung von DNA-Materialien (<https://doi.org/10.1002/smt.202400251>) führten zu einer Hochdurchsatz-Screening-Methode, die den Weg für maschinelles Lernen (ML)-basierte Vorhersagen ihrer physikalischen Eigenschaften ebnet. Diese Materialien haben nicht nur bedeutende Anwendungen in der Biomedizin und Biotechnologie, sondern dienen auch als Modellsysteme für natürliche biologische DNA-Materialien wie Chromatin, das im Zellkern jeder Zelle vorkommt (<https://doi.org/10.1002/chem.202401788>).

Strategische Ereignisse

Das Konzept für eine KI-gestützte Vorhersage neuer Materialsysteme für die Biokatalyse, basierend auf einer automatisierbaren Plattform zur Erhebung experimenteller Daten, wurde weiterentwickelt. Die multidimensionalen Datensätze werden in das umfassende Forschungsdatenmanagement des IBG 1 implementiert, das auf Basis von zwei ELN Systemen (elabFTW und Kadi4Mat) in Eigenregie kontinuierlich ausgebaut wird. Ein Kooperationsnetzwerk befindet sich im Aufbau.

Die Kommerzialisierung der All-Enzyme Hydrogele durch ein Gründerteam aus dem Institut wird weiter vorangetrieben. Das Team um „Catavis“ befindet sich aktuell im Prozess der Mittelakquise. So wurde beispielsweise ein Förderantrag für das Programm EXIST-Forschungstransfer gestellt.

Unter Führung des IBG 1 wurde der Ausbau des Konsortiums „Mikroorganismische Landwirtschaft“ vorangetrieben, das im Kooperationsnetzwerk des Innovationsraumes „Bioökonomie auf Marinen Standorten“ auf die Entwicklung neuer mikrobieller Methoden für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft in der Agrarindustrie abzielt. Erste Publikationen und Drittmittelanträge sind erfolgt.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Acheron GmbH und assoziierte Partner im Innovationsraum „Bioökonomie auf Marinen Standorten“ (s.o.)

Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

AGs Gescher (TU Hamburg), Horn (EBI, KIT), Bastmeyer (IBCS-BIP, ZOO, KIT), Hubbuch (BLT, KIT), Wöll (IFG, KIT) – DNA- und Protein-basierte Kompositmaterialien und dazu passende integrierte Mikroreaktionsplattformen für die automatisierte Kultivierung und Analyse von eukaryotischen Zellverbündungen und mikrobiellen Gemeinschaften; AGs Friederich (ITI) Reischl (IAI), Wenzel (INT) und Franzreb, Wöll (IFG) des KIT (Entwicklung von Plattformsystemen für die computergestützte Materialsynthese); AG Kaster (IBG 5, KIT) – Informationsgestützte Identifikation und Isolierung von Mikroorganismen aus komplexen Habitaten zur Entwicklung neuartiger Materialsysteme für die industrielle Biokatalyse; AG Wöll, Franzreb (IFG, KIT) – Entwicklung von Prozessketten für die Herstellung biokatalytisch-aktiver Materialsysteme und Durchführung biokatalytischer Verfahren; MPI Dortmund, Universität Heidelberg, Universität Freiburg, MPI Stuttgart, University of Applied Sciences Upper Austria School of Engineering (Anwendungsentwicklungen für die zellbasierte MOSAIC Plattform)

A.1.4.1.1.2 Teilinstitut für Biologische Grenzflächen – Molekulare Biophysik (IBG 2)

Leitende Person

Teilinstitutsleiterin: Prof. Dr. Anne S. Ulrich

Kurzdarstellung

Im Programm 2 *Natural, Artificial and Cognitive Information Processing* (NACIP) der PoF IV in Helmholtz Information sind die Beiträge des Teilinstituts IBG 2 (Molekulare Biophysik) vorwiegend auf das Thema „Molecular and Cellular Information Processing“ (Topic 4) ausgerichtet. Insbesondere werden hier die molekularen Aspekte der Informationsübertragung durch Biomembranen erforscht. Zellen empfangen Signale der Außenwelt (Hormone, Neurotransmitter, Licht) zumeist über Transmembran-Rezeptoren. Die zugrundeliegenden Wechselwirkungen zwischen Liganden/Proteinen/Lipiden sind jedoch in der flüssigkristallinen Matrix nur schwer zu erfassen. Daher entwickelt das Teilinstitut für Biologische Grenzflächen neue strukturelle Ansätze und biophysikalische Konzepte, um die Informationsverarbeitung räumlich zu beschreiben (u.a. mit Festkörper-NMR), um sie auf höheren Ebenen der Komplexität zu interpretieren (Modulation durch andere Komponenten), und um dieses Grundlagenwissen schließlich gezielt anzuwenden (photoschaltbare Agenzien und Pharmaka).

- 1) **Strukturaufklärung von Rezeptoren und Ionenkanälen:** Transmembran-Rezeptoren und Ionenkanäle sind die klassischen Informationsüberträger in Zellmembranen. Die Strukturaufklärung ihrer membranständigen α -Helices gelingt jedoch nur selten auf konventionellem Wege (Kristallographie, Flüssig-NMR). Daher hat das Team des IGB 2 zunächst grundlegende Festkörper-NMR Methoden entwickelt, die mit Hilfe von orientierten Proben und selektiven Isotopen-Markierungen (^2H , ^{15}N , ^{19}F) eine 3D-Strukturaufklärung von Protein-Helices und Faltblättern in Biomembranen unter quasi-natürlichen Bedingungen ermöglicht. Auf diese Weise wurden mehrere verwandte Tyrosinkinase-Rezeptoren (PDGFR β , PDGFR α , EGFR, E5) miteinander verglichen, und unterschiedliche porenbildende Proteine (Pinholine) und Peptide (KIA-Serie) konnten charakterisiert werden. So ließ sich die aus Transmembranhelices bekannte Funktionalität von Tryptophan-Membranankern auch auf amphiphile porenbildende Segmente übertragen [Highlight 1].
- 2) **Modulation der Membranresponsivität durch amphiphile Substanzen:** Nicht nur die o.g. Membranproteine sind für die Signaltransduktion verantwortlich, sondern auch die Lipidmatrix ist maßgeblich daran beteiligt, diesen Weg der Informationsverarbeitung zu modulieren. Wenn sich amphiphile Substanzen in die Lipiddoppelschicht einbetten, können sie u.a. das laterale Druckprofil und/oder die lokale Krümmung verändern. Dadurch modulieren sie das Öffnungsverhalten von Ionenkanälen und die Oligomerisierung von Rezeptoren, was die Reizweiterleitung bzw. Reaktivität einer Zelle beeinflusst. Über systematische Messreihen suchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des IGB 2 Korrelationen zwischen den physikalischen Einflüssen amphiphiler Agenten auf die Lipiddoppelschicht einerseits und den beobachteten molekularen sowie zellulären Effekten andererseits. Neben gängigen Wirkstoffen (Lokalanästhetika, Psychoopharmaka) und Peptiden (Epsin-Analoga, KIA-Derivate) wurde kürzlich ein einzigartiger Wirkmechanismus für den Naturstoff Squalamin aufgezeigt. Dieses amphiphile Sterol-Derivat aus dem Haifisch legt sich großflächig auf die Lipiddoppelschicht und verhindert damit die Bindung und Aggregation von amyloidogenen Peptiden [Highlight 2]. Da dies auch die Bildung von α -Synuclein Aggregaten bei der Parkinson-Krankheit zu verhindern scheint, gilt Squalamin als vielversprechender Kandidat gegen diese Form von Neurodegeneration. [Highlight 2]

- 3) Entwicklung und Anwendung photoschaltbarer Agenten: Unser Ansatz der Photopharmakologie beruht auf photoschaltbaren Peptidomimetika, die sich mit sichtbarem bzw. UV-Licht reversibel ein- und ausschalten lassen. Indem ihre Verabreichung zeitlich und räumlich präzise kontrolliert wird, lassen sich systemische Nebenwirkungen vermeiden. Ausgehend von dem Gerüst eines DAE (Diarylethen)-verbrückten zyklischen Peptids wurden mehrere Leitstrukturen für Wirkstoff-Kandidaten gegen bakterielle Infektionen (Antibiotika), gegen Krebs (Zytostatika) und gegen Ionenkanäle (Schlangengifte) optimiert. Als nächsten Schritt wurde nun – statt eines Photoschalters im Rückgrat – eine neue photoschaltbare Seitenkette entwickelt. Ihr Spiropyran-Gerüst erlaubt eine Licht- und pH-gesteuerte „Umschaltung“ von hydrophil zu hydrophob, was genutzt werden konnte, um eine oberflächliche Bindung bzw. ein tieferes Eintauchen des modifizierten Peptids in eine Zellmembran zu steuern [Highlight 3].

Highlights der Forschung

- [1] E. Strandberg, P. Horten, D. Bentz, P. Wadhwani, J. Bürck, A.S. Ulrich (2025) Trp residues near peptide termini enhance the pore-forming activity of cationic amphipathic α -helices. *Biophys. Chem.* 318, 107365
- [2] S.L. Grage, N. Guschtschin-Schmidt, B. Meng, A. Kohlmeyer, S. Afonin, A.S. Ulrich (2025) Interaction of squalamine with lipid membranes. *J. Chem. Phys. B*, 129:1760-1773
- [3] A. Hrebonkin, S. Afonin, A. Nikitjuka, O.V. Borysov, G. Leitis, O. Babii, S. Koniev, T. Lorig, S.L. Grage, P. Nick, A.S. Ulrich, A. Jirgensons, I.V. Komarov (2024) Spiropyran-based photoisomerizable α -amino acid for membrane-active peptide modification. *Chem. Eur. J.* 30, e202400066

Strategische Ereignisse

Nachhaltigkeit: Das IBG 2 baut zusammen mit zwei Nachbarinstituten (IBG 4 und ITEP) eine Anlage zur Helium-Rückführung aus den NMR Spektrometern. Diese Anlage ermöglicht die fast vollständige Rückgewinnung des flüssigen Heliums (insbesondere beim Befüllen der NMR-Geräte und das langsame Entweichen) und senkt damit die in den letzten Jahren extrem angestiegenen Kosten und den Helium-Verbrauch des NMR-Betriebs am Institut.

Dialog: Prof. Dr. Ulrich hat als Gründungsmitglied eine wissenschaftliche Verlagsgenossenschaft „DISCORSO“ für deutschsprachige Fach- und Sachbücher mitbegründet, und ist in der Programmkommission aktiv.

EU-Horizon 2020: Im Rahmen eines EURIZON-Projekts unterstützt das IBG 2 seit Mai 2024 mehrere ukrainische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie ukrainische Forschungseinrichtungen, wie das Palladin Institut für Biochemie (NAS), die V. N. Karazin Kharkiv Nationale Universität, und das Nationale Institut für Krebsforschung (NCIU).

Stipendien und Preise: Nataliia Petlovana erhält ein Promotionsstipendium vom Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD).

Xinru Liu erhält ein Promotionsstipendium vom China Scholarship Council (CSC).

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Bruker BioSpin GmbH, Rheinstetten (Entwicklung einer speziellen Hardware für die Festkörper-NMR)

Hochschulen

Taras Shevchenko Nationale Universität, Prof. Igor V. Komarov (Kiew, Ukraine); Victor Chang Cardiac Research Institute, Prof. Boris Martinac (Sydney, Australien); Kyoto Universität, Prof. Shiroh Futaki (Kyoto, Japan); Universität Hokkaido, Prof. Fernando Arteaga-Arteaga (Hokkaido, Japan); University Medical Center Utrecht, Prof. Laura Creemers (Utrecht, Holland); Université Laval, Prof. Normand Voyer (Québec, Kanada); Northeastern University, Prof. Venkatesan Renugopalakrishnan (Boston, USA) u.v.m., gefördert durch die EU, DFG, DAAD und ICR.

A.1.4.1.1.3 Teilinstitut für Biologische Grenzflächen – Makromolekulare Materialien (IBG 3)

Leitende Person

Teilinstitutsleiter: Prof. Dr. Patrick Théato

Kurzdarstellung

Das IBG 3 ist sowohl in das Programm P3-T2 „Optics & Photonics: Materials, Devices, and Systems“ als auch in das Programm P3-T3 „Adaptive and Bioinscriptive Materials Systems“ eingebunden.

Im IBG 3 inkl. dem Soft Matter Synthesis Laboratory (SML) werden grundsätzlich neue Wege zur chemischen Synthese von Polymeren und den daraus resultierenden Materialien entwickelt. Dies lässt sich in mehrere Bereiche unterteilen: a) Schwefel als Ressource zur Polymer-synthese, b) Neue Methoden zur Polymersynthese und Polymermodifizierung, c) Hydrogele, d) Responsive und bioinspirierte Polymere, e) Automatisierung von Polymersynthesen, f) Polymere im Bereich der Energiespeicherung sowie g) Prozessierung von Polymeren.

In allen Bereichen werden neue Anwendungsfelder exploriert, die sich gegenseitig wissenschaftlich befruchten. Insbesondere die Entwicklungen zur Automatisierung von Polymersynthesen wurden weiter vorangetrieben und werden zukünftig weiter vertieft, um so in Kombination mit KI eine Selbstkontrolle von Materialsynthesen zukünftig zu ermöglichen.

Im Bereich der Prozessierung ist neben dem direkten 3D-Druck auch die Nanofaserherstellung mittels Elektrosponnen etabliert.

So ergeben sich durch die Arbeiten am IBG3 und SML durch den kontinuierlich erweiterten synthetischen Zugang zu neuen funktionellen Polymeren mit spannenden Eigenschaften, womit sich breitere Möglichkeiten zu Struktur-Eigenschafts-Studien eröffnen.

Highlights der Forschung

- Elementarer Schwefel ist ein vielversprechender Rohstoff für schwefelreiche Polymere. Hier wurde erstmals die inverse Vulkanisation von einem reaktiven Monomer durchgeführt, wodurch eine nachträgliche Amidierung mit funktionellen Aminen vielseitige Anwendungen wie Schwefel-haltige Nanopartikel und Quecksilberadsorbenten ermöglicht.

Alexander P. Grimm, Martina Plank, Andreas Stihl, Christian W. Schmitt, Dominik Voll, Felix H. Schacher, Jörg Lahann, Patrick Théato „Inverse Vulcanization of Activated Norbornenyl Esters – A Versatile Platform for Functional Sulfur Polymers“. Angewandte Chemie 2024, 136 (36), e202411010. DOI: 10.1002/ange.202411010

- Eine neuartige 3D-druckbare Tinte zur Herstellung von interpenetrierenden-Hydrogelen kombiniert ein Polyelektrolyt-Komplex (PEC) aus Hyaluronsäure und Chitosan mit einem

fotovernetzbares Polymer, wobei eine UV-Belichtung die gleichzeitige Netzwerkbildung ermöglicht und so mechanisch anpassbare, flexible sowie pH- und temperaturstabile Hydrogelschichten erzeugt.

Vaishali Pruthi, Valerian Hirschberg, Patrick Théato „3D Printable Polyelectrolyte Complex-Integrated Interpenetrating Network Hydrogels with Customizable Mechanical Strength and pH-Responsiveness“. Advanced Materials Technologies, 2024, 2400416. DOI: 10.1002/admt.202400416

- In Anlehnung an die präzise Proteinsynthese wurde eine maßgeschneiderte Polyurethan-Synthese aus neuartigen AB-Typ-Monomeren entwickelt, die durch Curtius-Umlagerung in situ entstehen. So lassen sich flexible Materialeigenschaften ermöglichen, die durch nachträgliche Modifikation weiter anpassbar sind.

Yibo Shen, Patrick Theato, Yosuke Akae „Tailored Polyurethane Synthesis from AB-Type Monomers“. Macromolecules 2024, 57 (16), 8162-8175. DOI: 10.1021/acs.macromol.4c01269

Strategische Ereignisse

Die personelle Situation am SML hat sich gefestigt, sodass sich einige gemeinsame Projekte zwischen den beteiligten Forschungsgruppen Profs. Bräse, Lahann und Théato in den folgenden Bereichen ergeben haben: Organische Elektroden für die CO₂ Reduktion, 3D-Druck von enzymhaltigen Hydrogelen. In der wissenschaftlichen Umgebung des IBG 3 konnte sich Dr. Azra Kocaarslan als Young Investigator Group Preparation Program Fellow am ITCP etablieren.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Es wurden Gespräche zu Kooperationen mit den Firmen Vulcan, Arlanxeo und Synthos geführt.

Hochschulen

National: Helmholtz Institut Ulm (HIU), TU Dortmund, Universität Münster

International: National Yang Ming Chiao Tung University (Taiwan China), Ningbo Institute of Materials Technology & Engineering (China), Jilin University (China), University of Leeds (UK), University of Technology (Australia), Indian Institute of Science Education and Research Kolkata (India).

A.1.4.1.1.4 Teilinstitut für Biologische Grenzflächen – Magnetische Resonanz (IBG 4)

Leitende Person

Teilinstitutsleiter: Prof. Dr. Burkhard Luy

Kurzdarstellung

Innerhalb der PoF IV ist das IBG 4 im Programm Materials Systems Engineering (MSE) und darin im Topic 5 „Materials Information Discovery“ hinsichtlich der folgenden Themen eingebunden:

- Methodenentwicklung in der Magnetischen Resonanz (Prof. Dr. Burkard Luy),
- Strukturbiochemie und Metabolomics (PD Dr. Claudia Muhle-Goll),
- Hyperpolarisierte Magnetresonanz (HGF-NWG PD Dr. Benno Meier).

Die Forschungsaufgaben des Teilinstituts innerhalb des Programms umfassen die Untersuchung von unterschiedlichsten biologisch und synthetisch inspirierten Materialien auf atomarer und molekularer Ebene in Lösung.

Die Arbeitsgruppe unter der Leitung von Prof. Dr. Burkard Luy widmet sich der Methodenentwicklung und Anwendung in der Magnetischen Resonanz. Im Jahr 2024 lagen die Hauptarbeiten im Bereich der Messung und Interpretation von Strukturdaten, die an parziell orientierten, chiralen Proben gemessen wurden [10.1002/mrc.5448; 10.1021/acs.jctc.4c00441]. Weiterhin konnten zusammen mit Professor Jan Korvink (KIT, IMT) Pulssequenzbausteine entwickelt werden, die parallele NMR-Spektroskopie in einem einzelnen Magneten erlauben [0.1038/s44172-024-00233-0]. Schließlich wurde eine wichtige Klasse von Selen-haltigen organischen Verbindungen umfassend NMR-spektroskopisch untersucht [10.3390/inorganics12080201].

Die Arbeitsgruppe von PD Dr. C. Muhle-Goll untersucht biologische und chemische Fragestellungen mit Mitteln der hochauflösenden NMR-Spektroskopie. Das Hauptaugenmerk ist auf Substrat-Enzym-Interaktionen auf dem Gebiet der intramembranären Proteolyse gerichtet. Die für Alzheimer wichtige γ -Sekretase konnte zell-frei hergestellt werden [10.1016/j.pep.2023.106407]. Es konnte ein Zusammenhang bei der Regulierung der für Alzheimer wichtigen γ -Sekretase mit einer spezifischen Palmitoylierungsstelle gefunden sowie ein homologes Modellsystem entwickelt werden [10.1096/fj.202302152R]. Ein Review zur Struktur und Dynamik von γ -Sekretase Transmembran-Domänen und ihren Mutanten wurde veröffentlicht [10.1021/acschemneuro.4c00068]. Schließlich konnte eine Forschungsarbeit zur Unterdrückung eines bei der Entstehung und Entwicklung von Prostatakrebs relevanten Signalwegs veröffentlicht werden [10.1158/1535-7163.MCT-23-0354].

Die Nachwuchsgruppe von PD Dr. Benno Meier konnte im Jahr 2024 auf einigen Gebieten sehr wichtige wissenschaftliche Arbeiten beenden. Langlebige hyperpolarisierte Magnetisierungszustände konnten erzeugt und auch bei der schwierigen Hyperpolarisation von protonreichen aliphatischen Ketten eingesetzt und charakterisiert werden [10.1021/acs.jpclett.4c01457]. Zusammen mit Prof. Dr. Dennis Kurzbach von der Universität Wien konnten auf der anderen Seite sehr kurzlebige Vorgängermoleküle des Kalziumcarbonats gemessen werden [10.1038/s42004-024-01300-5]. Weiterhin konnte ein neuer Rekord bei der Hyperpolarisation von Pyruvat und einzelnen Aminosäuren mit Bullet-DNP erreicht werden [10.1021/acs.analchem.4c00618]. In Zusammenarbeit mit Prof. Aharon Blank (Technion Haifa) gelang es, die Hyperpolarisation von kleinen Molekülen durch Einbindung in Carbonate über mehrere Minuten zu speichern [10.1126/sciadv.ado2483]. Ein Review zur Hyperpolarisation und Empfindlichkeit der Kernspinresonanz wurde verfasst [10.1016/j.jmro.2024.100172].

Highlights der Forschung

- Die absolute Konfigurationsbestimmung von chiralen Molekülen ist in der Analytik eine große, aber auch wichtige Herausforderung. So war z.B. das falsche Enantiomer des Wirkstoffs Thalidomid für den Contergan-Tragödie verantwortlich, was durch geeignete analytische Verfahren eventuell hätte verhindert werden können. Eine lang diskutierte Möglichkeit zur Konfigurationsbestimmung sind dipolare Restkopplungen in chiralen flüssigkristallinen Phasen. Die Forschenden des IBG 4 konnten hier eine Referenz-Messreihe mit meh-

rerer Enantiomerenpaaren durchführen und die Unterschiede zwischen den Paaren erstmalig in einer theoretischen Studie modellieren [10.1002/mrc.5448; 10.1021/acs.jctc.4c00441], eine arbeitsintensive Vorarbeit, um im nächsten Schritt die Konfigurationsbestimmung zu ermöglichen.

- In der Alzheimer-Forschung spielt die γ -Sekretase als zentrales Enzym bei der Proteolyse des Alzheimer *Precursor*-Proteins eine entscheidende Rolle. Das gesamte membranständige Enzym ist für viele biochemische Studien jedoch zu groß. Die Entwicklung eines Expressionssystems für eine aktive Untereinheit der γ -Sekretase war deshalb ein lang gehegtes Ziel und konnte 2024 durch ein speziell entwickeltes, zellfreies Verfahren erstmals umgesetzt werden [<https://doi.org/10.1016/j.pep.2023.106407>]. Diese fundamentale Arbeit wird die Erforschung von Zusammenhängen in der Alzheimer-Erkrankung signifikant erleichtern.
- Ein maßgebliches Ziel in der modernen medizinischen Diagnostik ist die Verfolgung von biochemischen Prozessen im lebenden Körper. Dazu ist es notwendig, spezifisch Moleküle so zu präparieren, dass sie einen guten Kontrast vor dem organischen Hintergrund bilden. Eine besonders gute Möglichkeit bietet hier Hyperpolarisation, da die entsprechenden Moleküle chemisch nicht modifiziert werden müssen. Allerdings ist Hyperpolarisation normalerweise zu kurzlebig. Durch die Einbindung der interessierenden Moleküle in Carbonat-Matrizen konnte die Polarisierung jetzt jedoch über mehrere Minuten konserviert werden [10.1126/sciadv.ado2483]. Experimente zu entsprechender Kontrastierung im MRT werden derzeit vorbereitet.

Strategische Ereignisse

Das herausragende Ereignis im Jahr 2024 war der Transport, die Aufstellung und schließlich die Installation des 850 MHz NMR-Spektrometers am IBG 4. Das gebrauchte Gerät wurde von der Leibniz-Universität Hannover inklusive zweier Probenköpfe, einer Cryo-Plattform und weiterem Equipment erworben. Eine Überarbeitung sämtlicher Spektrometerkomponenten mit teilweisen Erneuerungen ist im Jahr 2025 geplant.

Längerfristige Kooperationen (Beschränken Sie sich ggf. auf die wichtigsten)

Wirtschaft

Pulse und Pulssequenzen (Bruker Biospin GmbH, Rheinstetten)

Hochschulen

Prof. Dr. J. G. Korvink (KIT, IMT), Prof. G. Bodenhausen (ENS Paris), Prof. A. Kentgens (RU Nijmegen) und Dr. A. Gossert (ETH Zürich) – NMR-basierte Ligandenbindungsdetektion im Rahmen des ERC Synergy Projekts HiScore; Prof. Dr. D. Kurzbach, Universität Wien (Biomineralisation); Technion Haifa (Polarisationsspeicherung in Karbonaten); Eötvös Lorand Universität Budapest (intrinsisch ungeordnete Proteine); TU München, LMU (Alzheimer-assoziierte Proteolysevorgänge); Universität Heidelberg, Exzellenzcluster 3DMM2O (induzierte pluripotente Stammzellen in Medaka).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Max-Rubner-Institut (Inflammations- und Ernährungsparameter)

A.1.4.1.1.5 Teilinstitut für Biologische Grenzflächen – Biotechnologie und Mikrobielle Genetik (IBG 5)

Leitende Person

Teilinstitutsleiterin: Prof. Dr. Anne Kaster

Kurzdarstellung

Das IBG 5 besteht aus der Arbeitsgruppe „Mikrobielle Genetik und Biotechnologie“ und ist in das Programm 3 Materials Systems Engineering (MSE) Topic 3 „Adaptive and Bioinstructive *Materials* Systems“ der PoF IV in Helmholtz Information eingebunden. Die Arbeitsgruppe besteht aus neun wissenschaftlichen Mitarbeitenden (Dr. John Vollmers, Dr. Sandra Wiegand, Dr. Jochen Müller, Dr. Florian Lenk, PD Dr. Andreas Ott, Dr. Habibu Aliyu, Dr. Islam Khattab, Dr. Gunnar Sturm, Dr. Steven Minden; zwei davon in Teilzeit), 1,5 Stellen für technisches Personal, vier DoktorandInnen, sowie Bachelor- und Masterstudierenden.

Das IBG 5 widmet sich der Erforschung der sogenannten „microbial dark matter“ (Mikroorganismen die bislang nicht kultiviert und charakterisiert werden können), sowie „functional dark matter“ (Proteine, die exprimiert werden, denen aber bislang keine Funktion zugewiesen werden kann). Hierbei werden In silico-Methoden mit experimentellen feedback loops kombiniert, um eine Verifizierung von bioinformatischen Pipelines und Algorithmen (machine learning (ML) und deep learning (DL), natural language processing (NLP), topological data analyses (TDA) etc.) zu ermöglichen. Das IBG 5 beherbergt weiterhin die einzige europäische Pipeline für prokaryotische Einzelzell-Genomik und -Transkriptomik (single cell omics, SCO), die sowohl aerobe als auch anaerobe Mikroorganismen erforschen kann und die kontinuierlich verbessert wird. Ein neuer Schwerpunkt liegt hierbei auf der Entwicklung sogenannter „Multi-omics“-Methoden, die es ermöglichen sollen, Gene und deren Expression simultan von einer einzigen Zelle zu untersuchen. Neben einem Reinraum mit Zellsortierern, liquid handling-Systemen und Next Generation Sequencing-Instrumenten gehören auch bioinformatische Computer Cluster zu unserer Infrastruktur, die weiter für Strukturvorhersagen von Proteinen sowie „big data mining“ ausgebaut wurden.

Prof. Dr. Anne Kaster ist Bereichsratsmitglied sowie Mitglied im Council for Research and Promotion of Young Scientists (CRYS), sie engagiert sich im KHYS des KIT und ist Vice-Dean der BIFIGS grad school. Zudem war sie Mitglied in der Findungskommission der Bereichsleitung für Bereich I und ist Mitglied in diversen Berufungskommissionen. Außerdem vertritt sie die Universitätsprofessorinnen und -professoren im KIT-Senat. 2024 konnten elf Manuskripte (peer-review) publiziert werden, sowie 550.000 Euro an Drittmitteln eingeworben wurden. Eine vollständige Publikationsliste ist unter <https://www.kasterlab.com/publications/> zu finden.

Highlights der Forschung

- Ein gemeinsamer *Commentary* mit den Instituten IKFT, LVT, BLT und ITAS gefördert vom Strategiefond des KIT, Bereich 1, zur Bedeutung der Nutzung von CO₂ als Substrat für die mikrobielle Lebensmittelproduktion, der systematisch die Möglichkeiten und technischen Herausforderungen bei der Verwirklichung erörtert (Minden S, Grünberger A, Van der Schaaf U, Neumann A, Rösch C, Sauer J, Kaster AK (2024) Producing food from CO₂ using microorganisms: Lots to do, little to lose!. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104778> (IF 15).
- Ein erfolgreicher Wildcard-Antrag bei der Carl Zeiss-Stiftung zusammen mit Professor Dirk Holtmann (KIT) und Professor Roland Ulber (RPTU, Kaiserslautern-Landau). Bei diesem

Projekt soll CO₂ in wertvolle Chemikalien umgewandelt werden. Dazu wird ein elektrobiotechnologischer 200 %-Reaktor entwickelt, in dem eine Co-Kultur von zwei Mikroorganismen CO₂ zunächst in Methan und dieses dann in Malat umwandelt.

- Eine Publikation mit unseren Kollaborationspartner der Stanford University (Sewell HL, Criddle CS, Woo SG, Kim S, Müller JA, Kaster AK (2024) [Pseudomonas stutzeri KC carries the pdt genes for carbon tetrachloride degradation on an integrative and conjugative element \(ICE\)](https://doi.org/10.1159/000538783). *Microbial Physiology*. <https://doi.org/10.1159/000538783>), die zeigen konnte, dass Mikroorganismen in Kultur genetische Elemente verlieren und damit ihre biotechnologischen Eigenschaften einbüßen. Die Publikation führte dazu, dass die Deutsche Sammlung für Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ) nun Ihre Stammsammlung überarbeitet, und Stämme mit und ohne die entsprechenden ICE anbietet.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Cytana, Freiburg (Entwicklung eines Single Cell Printers für prokaryotische Organismen); Acheron GmbH, (Sequenzierung von mikrobiellen Gemeinschaften aus Photobioreaktoren und Biofiltern in der Landwirtschaft).

Hochschulen

Prof. Dr. Christof Niemeyer, KIT IBG 1; Prof. Dr. Jörg Sauer, KIT IKFT (Fermentationsprozesse für die Herstellung von mikrobiellem Protein); Prof. Dr. Alexander Grünberger, KIT BLT (Entwicklung von Einzelzellplattformen); Prof. Dr. Dirk Holtmann, KIT BLT (Sequenzierung von Bioelektronischen Mikroorganismen); Prof. Dr. Pavel Levkin, KIT IBCS (Miniaturisierung von Amplifizierungs-Reaktionen); Prof. Dr. Thomas Schwartz, KIT IFG (Erforschung von Mikrobien und ihrer Reaktion auf Umwelteinflüsse und Schadstoffe); Prof. Craig Criddle, Stanford University(Erforschung von HGT bei Bioremediation); Prof. Fernando de la Cruz, University of Cantabria (ARG Transmission im Meer); Prof. Shay Tal, Israel National Center for Mariculture (marines Plasmidome); Prof. Dr. Johannes Gescher, TUHH (Entwicklung einer neuen Kultivierungsplattform für „microbial dark matter“).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Helmholtz Center for Environmental Research, UfZ Leipzig (antibiotic resistant genes und ihre Verbreitung in der Umwelt); DKFZ Heidelberg (gemeinsame Doktorandin mit Prof. Benedikt Broers, Erforschung des Bias in SCO); Universitätsklinikum Heidelberg, [Sektion Neuropädiatrie und Stoffwechselmedizin](#) (gemeinsame Doktorandin mit Thomas Opladen, Erforschung des Mikrobioms von Patientinnen und Patienten mit seltenen genetischen Stoffwechselerkrankungen).

A.1.4.1.2 Institut für Funktionelle Grenzflächen (IFG)

Leitende Person

Institutsleiter: Prof. Dr. Christof Wöll

Kurzdarstellung

Das IFG ist Teil des Programms Materials Systems Engineering (MSE) in Helmholtz Information und darin Teil des Topics T3 („Adaptive and Bioinstructive Materials Systems Engineering“).

Die Forschungsstrategie des Instituts für Funktionelle Grenzflächen basiert auf einer Kombination moderner analytischer Verfahren mit der Entwicklung leistungsfähiger Modellsysteme, roboterunterstützter Experimente und Machine Learning-Ansätzen. Die wichtigsten Themenfelder sind die Heterogene Katalyse, die Entwicklung von biologisierten Funktionsmaterialien, die Konzeption neuartiger biotechnologischer Verfahren sowie die Oberflächenfunktionalisierung mineralischer Partikel. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Entwicklung additiver Fertigungsverfahren (3D-Druck) zur Synthese funktioneller Bauteile und Hybridmaterialien sowie magnetischer Partikel und die Charakterisierung dieser Materialien mit modernsten Verfahren.

Highlights der Forschung

- Die regulierte Ladungsübertragung in Donor-Akzeptor-Metall-Organischen Gerüstverbindungen (MOFs) für hochempfindliche Photodetektoren konnte nachgewiesen werden. (<https://doi.org/10.1002/anie.202414526>).
- Anhand einer Fallstudie konnte am Beispiel von HKUST-1 SURMOF gezeigt werden, dass die Qualität von MOF-basierten Dünnschichten z.B. für die Geräteintegration durch maschinelles Lernen optimiert werden kann. (<https://doi.org/10.1002/adfm.202404631>).
- UiO-66-X SURMOF-beschichtete, langlebige und selektive Sensoren sowie Sensorarrays wurden hinsichtlich der Detektion flüchtiger organischer Verbindungen optimiert. (<https://doi.org/10.1021/acssensors.3c01575>).

Strategische Ereignisse

Abteilung Roboterassistierte und informationsbasierte Materialsynthese

PD Dr. Lars Heinke (Nachwuchsgruppenleiter) hat einen Ruf auf eine W3-Professur an die Freie Universität Berlin angenommen.

Im Rahmen der Weiterentwicklung der RoSyMod-Plattform wurden weitere Fortschritte in der Hard- und Software-Entwicklung erreicht. So wurde im Teilprojekt RoboCOAT die Kommunikation zwischen dem Syntheseroboter und dem Analyseroboter untereinander sowie die Kommunikation zwischen dem Analyseroboter und dem Analysegerät (Röntgendiffraktometer) über IP-Adressen realisiert, sodass im Prinzip auch eine Remote-kontrollierte Nutzung möglich wäre. Zudem wurde eine graphische Software-Benutzeroberfläche für die Roboter in Kooperation mit der Roboter-Firma Stäubli implementiert, die es auch Studierenden ermöglicht, ohne tiefere Kenntnis spezifischer Maschinensprachen die Roboter zu programmieren. Damit ist ein schnelles Einlernen neuer Mitarbeitender möglich.

Abteilung Bioprozesstechnik und Biosysteme

Innerhalb der RoSyMod-Plattform konzentriert sich das BioCAR-Projekt auf die autonome, roboterunterstützte Optimierung der Synthese und Anwendung von Bioträgern. Im Jahr 2024 lag

der Fokus auf der Programmierung der Steuerungssoftware für den entwickelten, vollautomatisierten Laboraufbau (self-driving lab, SDL) und dessen Integration mit verschiedenen Laborgeräten und Repositorien, während gleichzeitig die Benutzerfreundlichkeit für Forschende verbessert wurde. Insbesondere konnte eine End-to-End-Lösung für die autonome Optimierung enzymatischer Prozesse etabliert werden. Diese beginnt mit der Planung eines Experiments im elektronischen Laborbuch (ELN), gefolgt von der autonomen Generierung von Hardware-Skripten und der Durchführung der Experimente im SDL und endet mit der Erstellung von Berichten und Diagrammen, die automatisch zurück in das ELN übertragen werden.

Durch die Abteilung konnten zwei strategisch bedeutende Projekte eingeworben werden, die das Institut im Bereich „Power to Value-added Products“ stärken. Im Projekt CarboSide, gefördert durch das baden-württembergische Wissenschaftsministerium, wird die elektrochemische Umwandlung von CO₂ zu höherwertigen Kohlenstoffverbindungen wie Acetat erforscht. Parallel untersucht ein Partner die mikrobielle Produktion von Biotensiden aus diesen Kohlenstoffquellen. Zudem wurde ein Folgeantrag im DFG-Schwerpunktprogramm eBioTech bewilligt, das innovative Wirbelbettreaktoren für elektroenzymatische und elektromikrobielle Synthesen entwickelt. Ein weiterer strategischer Schwerpunkt war der durch die AGs von Dr. Gözde Kabay und Prof. Dr. Franzreb erfolgte Aufbau von zwei autonomen, robotikgestützten Synthese und Analytiksystemen. Diese sogenannten self-driving labs (SDLs) sind Bestandteil des Projekts BioCAR innerhalb der Initiative RoSyMod des IFG sowie des IBCS-FMS.

In der AG von Prof. Dr. Gottwald wurde die Entwicklung mikrothermoformbarer Sauerstoffsensitiver Polymerfolien zur Erzeugung von Organoiden und Messung deren Sauerstoffverbrauchs in der direkten Mikroumgebung weiter vorangetrieben und ein weiteres Patent angemeldet (DE 102022115584.6). Die Arbeiten mündeten in der Gründung des KIT Spin-offs CAVIGEN (UG) Für das Ausgründungsprojekt konnte eine Helmholtz Enterprise Spin-off-Förderung in Höhe von 230.000 Euro eingeworben werden. In der AG von Prof. Dr. Schwartz gelang in Kooperation mit der AG von Prof. Dr. Levkin (IBCS, KIT) die Anwendung von Mikroarray-Ansätzen zur Identifikation von Anti-Biofilm-Wirkstoffen sowie antibiotischen Verbindungen, um einer fortschreitenden Resistenzentwicklung bei Krankheitserregern entgegenzuwirken.

Abteilung Neue Polymere und Biomaterialien (NPB)

Die Abteilung NPB wird Teil des „NanoRAM“-Konsortiums in einem EU-geförderten Doktorandenetzwerk im Rahmen der HORIZON-TMA-MSCA-Initiative. Geführt von der Aarhus University (Dänemark) besteht das Konsortium insgesamt aus 19 Partnern aus zwölf unterschiedlichen Ländern. Insgesamt werden ab 2024 14 Promovierenden gefördert mit dem Ziel, die nächste Generation an Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern mit dem Fokus auf die Entwicklung und Anwendung von Nanowerkzeugen zur Handhabung und Charakterisierung von weicher Materie auszubilden. Die Abteilung NPB beteiligt sich unter der Führung von Prof. Dr. J. Lahann und Dr. M. König mit einem Projekt zur „Digitalisierung der Biomaterialforschung über einen Deep Learning-Ansatz“.

Abteilung Chemische Biologie

In der Abteilung von Prof. Dr. Schepers konnte zusammen mit den Unternehmen Evonik und Zeiss eine neue Strategie zur Funktionalisierung von veganen rekombinanten Collagen-basierten Hydrogelen entwickelt werden, die zum 3D-Druck von personalisierten und patientenspezifischen Hornhäuten verwendet werden kann. Ein Kooperationsvertrag mit Zeiss wird gerade ausgearbeitet. Für den Transfer in die Wirtschaft erhielt sie den Neuland Innovation Preis (5.000 Euro). Die Gruppe Schepers konnte im Rahmen der Exzellenzförderung das RIRO Teaching Projekt (120.000 Euro) einwerben, das als Trainingsmodul der Anleitung von jungen Talenten im Masterstudium an den großen Infrastrukturen der Self Driving labs im Helmholtz-

Bereich dienen soll. Weitere Förderungen aus dem Strategiefond erfolgten für das Konsortium HELMHOLTZ Acceleration Alliance (HELMA), in dem ein self driving Lab für die Biomaterialentwicklung und den 3D Biodruck entwickelt werden soll (ca. 2 Mio. Euro).

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

KMPT-Andritz, Endress & Hauser, GlyXera, micromod, Evonik, PreSens, Böhlinger Ingelheim; WIOTEC® Arnsberg GmbH & Co. KG; Dr.-Ing. Max Schlötter GmbH & Co. KG; HybridSensor-Net; MeKo Manufacturing e.K.

Hochschulen

MIT, Boston, USA; RWTH Aachen; TU München; Universität Hohenheim; Universität Freiburg; Universität Tübingen; Universität Heidelberg; Medizinische Hochschule Hannover; University of Birmingham, UK; HS Mannheim; Universität Ghana; Universität Nairobi; Leibniz Universität Hannover (Prof. C. Lee-Thedieck); Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL, Schweiz) (Prof. F. Stellacci); Technion Israel Institute of Technology (Prof. S. Levenberg); Tata Institute of Fundamental Research, Hyderabad, Gopanally, Hyderabad, Telangana, Indien; Nantes Université - CNRS CEISAM, Nantes, Frankreich; Department of Chemical and Biological Engineering, Koç University, Istanbul, Türkei; Institut für Festkörperphysik, Technische Universität Graz, Österreich.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Universitätsklinik Heidelberg, Universitätsklinik Mannheim, HEREON, FAIRMAT, INM – Leibniz-Institut für Neue Materialien Saarbrücken.

A.1.4.1.3 *Helmholtz-Institut Ulm (HIU)*

Leitende Person

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Maximilian Fichtner

Kurzdarstellung

Das Helmholtz-Institut Ulm (HIU) beschäftigt sich mit der Erforschung und Entwicklung von elektrochemischen Energiespeichern der nächsten und übernächsten Generation. Dazu forscht das internationale Team am HIU an zukunftsfähigen Zellkonzepten sowie Batteriematerialien für den stationären und mobilen Einsatz.

Das HIU wurde gemeinsam vom KIT und der Universität Ulm gegründet, zusammen mit zwei weiteren assoziierten Partnern, dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) sowie dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW). Das Institut ist auf dem Campus der Universität Ulm (Science Park 1) angesiedelt und schlägt eine Brücke zwischen den beiden Standorten Ulm und Karlsruhe.

Das HIU bündelt die unterschiedlichen Kompetenzen der vier Partner in sich und ermöglicht so einen multiperspektivischen Fortschritt in der Erforschung innovativer Energiespeicherformen. Am HIU arbeiten Chemikerinnen und Chemiker, Physikerinnen und Physiker, Materialwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler, Mathematikerinnen und Mathematiker sowie Inge-

neurinnen und Ingenieure Hand in Hand. Grundlagen- und anwendungsnahe Forschung werden ebenfalls unter einem Dach zusammengefasst, um den Transfer zwischen Wissenschaft und Industrie möglichst effizient zu gestalten.

Das Direktorium, oberstes Leitungsgremium des HIU, setzt sich wie folgt zusammen: Prof. Dr. Andrea Robitzki (Leiterin Bereich I am KIT), Prof. Dr. Joachim Ankerhold (Vizepräsident der Universität Ulm), Prof. Dr. Maximilian Fichtner (Geschäftsführender Direktor, KIT), Prof. Dr. Dominic Bresser (KIT), Prof. Dr. Arnulf Latz (DLR) und Dr. Margret Wohlfahrt-Mehrens (ZSW). Gegen Ende des Jahres 2024 arbeiteten 125 Personen am HIU (Stand 31.12.2024), davon 106 Mitarbeitende in Ulm, 19 Mitarbeitende am Standort Karlsruhe. 25 Mitarbeitende waren in der Administration des HIU tätig, davon sieben Angestellte im Bereich IT und technisches Personal. Darüber hinaus nutzten 59 Forschende die Infrastruktur des HIU in Ulm.

Am HIU gab es im Jahr 2024 drei Professuren:

- Prof. Dr. Maximilian Fichtner, Festkörperchemie, Universität Ulm
- Prof. Dr. Arnulf Latz, Multiphysikalische Modellierung, Universität Ulm
- Prof. Dr. Dominic Bresser, Elektrochemische Energiespeicherung, KIT

Das HIU wird mit einem Grundhaushalt von 5,5 Mio. Euro pro Jahr – über das KIT zu 90 % vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) – und zu 10 % vom Land Baden-Württemberg finanziert. Im Jahr 2024 war das HIU als reguläres Institut in die programmorientierte Förderung der Helmholtz-Gemeinschaft integriert und deckte alle Forschungsaktivitäten des Topic 2 „Electrochemical Energy Storage“ im Programm Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET) ab.

Highlights der Forschung

- Publikation in *CARBON ENERGY* (Wiley): „Recycled graphite for more sustainable lithium-ion batteries“ (DOI: 10.1002/cey2.483): M. Olutogun, A. Vanderbruggen, C. Frey, M. Rudolph, D. Bresser, S. Passerini
Diese Publikation widmet sich einem neuen, auf Schaumflotation basierendem Verfahren zum Recycling von Graphit, dem vorherrschenden Aktivmaterial an der negativen Elektrode von Lithium-Ionen-Batterien. Es wurde festgestellt, dass die Struktur und Morphologie des recycelten Graphits im Vergleich zu reinem kommerziellem Anodengraphit im Wesentlichen unverändert bleiben. Trotz einiger kleiner Verunreinigungen bietet das recycelte Graphitmaterial eine bemerkenswert reversible spezifische Kapazität: Die daraus neu zusammengesetzte Lithium-Ionen-Zellen wiesen eine ausgezeichnete Zyklenstabilität auf: Nach 1.000 Lade- und Entladezyklen war noch 80 % der ursprünglichen Ausgangskapazität festzustellen.
- Publikation in *Nature Communications*: „Improving rechargeable magnesium batteries through dual cation co-intercalation strategy“ (DOI: 10.1038/s41467-023-44495-2): A. Roy, M. Sotoudeh, S. Dinda, Y. Tang, C. Kübel, A. Groß, Z. Zhao-Karger, M. Fichtner, Z. Li
In dieser Arbeit wurde eine signifikante Verbesserung der Ionenmobilität in wiederaufladbarer Magnesiumbatterien thematisiert. In der Veröffentlichung wird eine Strategie vorgestellt, bei der Magnesium-Ionen mit Lithium- sowie Natrium-Ionen in einem Dualsalzelektrolyten gepaart werden, um eine verbesserte elektrochemische Leistung zu erreichen.

Strategische Ereignisse

Wissenschaftsministerin Olschowski am HIU: Am 6. September 2024 war die Wissenschaftsministerin des Landes Baden-Württemberg, Petra Olschowski, zu Gast am HIU. Sie besuchte im Rahmen einer Sommertour unter dem Motto „Wie wollen wir in Zukunft zusammenleben?“ die Universität Ulm sowie das HIU. Nach einer Institutsführung durch die HIU-Labors hatte sie

zudem Gelegenheit, mit Mitarbeitenden und Nachwuchsforschenden zu sprechen. Die Ministerin nutzte den Besuch, um sich über den aktuellen Stand der Batterieforschung und über die Exzellenzaktivitäten der Universität Ulm zu informieren. Diese bewirbt sich im Jahr 2025 um die Fortsetzung des Exzellenzclusters „Post-Lithium-Storage (POLiS)“. „Wir freuen uns sehr über die Unterstützung unserer Exzellenzaktivitäten durch die Ministerin“, sagte Professor Michael Kühl, Vizepräsident der Universität Ulm. „Durch herausragende Forschung an den drängenden Themen unserer Zeit, wie wir sie an der Uni Ulm betreiben, sichern wir die Zukunftsfähigkeit unserer Region.“

Ulmer Konferenz diskutiert Magnesium als neuen Batterierohstoff: Das 5. „Internationale Symposium für Magnesium-Batterien“ (MagBatt V) fand vom 18. bis 20. September 2024 in Ulm statt. Erneut konnten die Organisatoren – darunter das HIU – einige der weltweit renommiertesten Batterieforschenden für sogenannte „multivalente Batterien“ im Ulmer Stadthaus begrüßen. Das Konferenzprogramm umfasste Beiträge zu Magnesium-, Kalzium-, Zink- und Aluminiumbatterien und zielte darauf ab, die aktuellen Fortschritte auf dem Gebiet der „Post-Lithium-Batterien“ zu präsentieren und diskutieren. Batterien auf der Basis von Magnesium, Kalzium, Zink und Aluminium, versprechen zum Teil sehr attraktive Batteriezell-Eigenschaften.

Längerfristige Kooperationen

Argonne National Laboratory (USA), Technical University of Denmark (Dänemark), Fundacion Cidetec (Spanien), Ulsan National Institute of Science and Technology (Südkorea), Nanyang Technological University (Singapur), Hanyang University Seoul (Südkorea)

Kurzdarstellung von wissenschaftlichen Kooperationsprojekten

2024 gab es 47 größere Forschungsprojekte am HIU. Vierzehn Projekte wurden von der Europäischen Kommission gefördert, 22 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), drei durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), jeweils zwei vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Ferner wurden vier Projekte aus Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert. Daneben gab es ein Industrieprojekt und einige individuelle Förderungen durch die Alexander von Humboldt-Stiftung und den DAAD.

A.1.4.1.4 Institut für Katalyseforschung und -technologie (IKFT)

Leitende Person

Institutsleiter: Prof. Dr. Jörg Sauer

Kurzdarstellung

Das Institut für Katalyseforschung und -technologie (IKFT) entwickelt Katalysatoren und Prozesstechnologien für katalytische Reaktionen zur Herstellung von chemischen Energieträgern für die sich zunehmend verändernde Rohstoffbereitstellung und Energieerzeugung. In Helmholtz Energy liegen die Hauptaufgaben in den Topics 3 „Chemical Energy Carriers“ und 5 „Ressource and Energy Efficiency“ des Programms Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET).

Das IKFT verbindet dabei die Erforschung der relevanten Prozesse von der molekularen Ebene bis hin zur Erprobung von Verfahren in Pilotanlagen, aufbauend auf Expertise in der theoretischen Modellierung, In operando-Methoden unter Realbedingungen, im Scale-up technischer Katalysatoren und zur Integration innovativer Prozessschritte in Wertschöpfungsketten. Mittels neuer Katalysatoren und angepasster Prozesse werden vor allem die Herstellung von chemischen Wasserstoffspeichern (Methanol, DME, LOHC, NH_3) und Kraftstoff-Komponenten auf Basis regenerativer Rohstoffe für Anwendungen in denen langfristig Kohlenwasserstoffe benötigt werden, untersucht. Die entsprechenden Forschungsthemen reichen von der Grundlagenforschung (Herstellung von Modellsystemen für die Katalyse, Operando-Methoden, quantenmechanische Modelle) bis hin zum Prozessdesign (Reaktionskinetik und Prozesssimulation, Betrieb von parallelisierten und halbtechnischen Versuchsanlagen). Der Zugang zu kohlenstoffbasierten chemischen Energieträgern mittels biogener Zwischenprodukte, die durch thermochemische Prozesse aus Restbiomasse erzeugt werden, ist ein weiterer Schwerpunkt. Ergänzt wird das Forschungsportfolio durch Beiträge zur Einbindung der energieintensiven Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft in das Energiesystem im Programm Energy System Design (ESD), Topic 2 „Digitalisierung und Systemtechnik“ zur Bewertung kohlenstoffbasierter Wertschöpfungsketten. In der Lehre werden von den Dozenten und Dozentin, Prof. Dr. Jörg Sauer, Prof. Dr. Nicolaus Dahmen, Prof. Dr. Olaf Deutschmann (ITCP/IKFT), Prof. Dr. Jan-Dierk Grunwaldt (ITCP/IKFT), Prof. Dr. Felix Studt, und Prof. Dr. Silke Behrens (IKFT), Lehrveranstaltungen in den KIT-Fakultäten für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik (CIW/VT) sowie für Chemie und Biowissenschaften (ChemBio) durchgeführt. Tenure Track-Prof. Dr. Moritz Wolf wirkt an der Forschung des IKFT mit und führt dort eine Arbeitsgruppe „Materialsynthese und Scale-up“.

Highlights der Forschung

- Forschungsaktivitäten zur zeolithkatalysierten Olefinsynthese in der Abteilung „Katalyse und Operando-Spektroskopie“ haben gezeigt, wie Lewis-saure Aktivzentren durch die Bildung von Formaldehyd die mechanistisch außerordentlich wichtige Aromatenbildung begünstigen. [doi.org/10.1021/acs.jpcc.4c03408]
- Arbeiten zur kohlenstofffreien chemischen Speicherung und Freisetzung erneuerbarer Energien belegen, dass die hohe spezifische Energiedichte von Eisen und seine Recyclingfähigkeit es zu einem attraktiven Speichermaterial machen. [doi.org/10.1002/cssc.202481504]
- Zum Thema Ammoniak als CO_2 -freien Kraftstoff und Wasserstoffträger wurden in der Abteilung „Katalyse und Operando-Spektroskopie“ mittels Messungen am Synchrotron und Big Data-Analysen katalytisch aktive Strukturen identifiziert, die für die effiziente Nachbehandlung von nicht umgesetztem NH_3 erforderlich sind. [10.1021/acscatal.3c05019]
- In der Abteilung „Katalysatormaterialien und Prozessentwicklung“ wurde gezeigt, wie durch die Wahl von Katalysatoren, Prozessbedingungen und der Einsatzstoffe die resultierende Produktzusammensetzung der heterogen katalysierten Synthese von Benzin und Kerosin aus leichten Olefinen und die damit einhergehenden Kraftstoffeigenschaften maßgeschneidert werden. [Patentanmeldung 102024133043.0 (12.11.1024); doi.org/10.1016/j.fuel.2024.133680]
- In der Abteilung „Modellsysteme und nanoskalige Funktionsmaterialien in der Katalyse“ wurde eine flexible Synthesepattform zur kontinuierlichen Herstellung von Modellkatalysatoren in der Flüssigphase entwickelt, und im Rahmen des DFG SFB 1441 „Verfolgung der aktiven Zentren in heterogenen Katalysatoren für die Emissionskontrolle“ (TrackAct) bereits für die Herstellung von atompräzisen Pt-Clustern demonstriert.

Strategische Ereignisse

Für das Bauvorhaben zur Errichtung des neuen IKFT-Forschungsgebäudes wurden im Jahr 2024 die Leistungsphase 5 (Ausführungsplanung) und die ersten Elemente der Vergabe erfolgreich abgeschlossen. Mit der Grundsteinlegung am 20. November 2024 wurde der Baubeginn des neuen Forschungsgebäudes mit 6.800 m² Nutzfläche eingeleitet. Die Inbetriebnahme ist für das erste Halbjahr 2028 geplant.

In dem 2024 etablierten *Carbon Cycle Lab* werden über die Abteilung „Skalierung von Prozessen mit erneuerbaren Kohlenstoffquellen“ gegenwärtig zwei neue Module errichtet, die wesentliche Erkenntnisse zur Produktbildung mittels einer variablen Einstellung der Reaktionszeit von Pyrolyseprozessen erbringen sollen. Das zweite Modul für die hydrierende, katalytische Veredlung flüssiger Zwischenprodukte, u.a. der Biomasse- und Kunststoffpyrolyse, soll eine Verknüpfung von Fragestellungen zur Erzeugung von Rohprodukten und zur Herstellung normgerechter Kraftstoffe und industriell einsetzbarer chemischer Grundstoffe ermöglichen.

Der DFG-Sonderforschungsbereich 1441 „Verfolgung der aktiven Zentren in heterogenen Katalysatoren für die Emissionskontrolle“ (TrackAct) (Sprecher: Prof. Dr. Jan-Dierk Grunwaldt) wurde um eine weitere vierjährige Förderperiode verlängert.

Das internationale Forschungsprojekt CARE-O-SENE („Catalyst Research for Sustainable Kerosene“) unter Koordination von Sasol Germany mit mehreren beteiligten IKFT-Arbeitsgruppen sowie dem Helmholtz Zentrum Berlin, dem Fraunhofer IKTS und Ineratec wurde bis Ende 2026 verlängert.

Im Rahmen eines Antrages zu einer Forschungsgruppe („Bridging Concepts in Thermo- and Electro-Hydrogen Peroxide Catalysis“ (HyPerCat), FOR 5715) bewilligte die DFG 3,9 Mio. Euro für Forschungsarbeiten zur Thermo- und Elektrokatalyse im Bereich der Wasserstoffperoxid-Direktsynthese. An der Forschungsgruppe sind insgesamt acht Gruppen beteiligt, davon sieben am KIT (darunter fünf des KIT-IKFT) und eine an der TU Berlin.

Die Helmholtz-Gemeinschaft hat den Antrag von Dr. Arik Beck (ITCP/IKFT) zur Gründung einer Helmholtz-Nachwuchsgruppe mit dem Thema „Automated Learning and Photo Catalysis“ bewilligt.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

CAC (Chemnitz, BMDV-Verbundvorhaben REF4FU), EDL Anlagenbau (Leipzig, BMDV-Verbundvorhaben REF4FU), Evonik (Hanau, BMWK-Verbundvorhaben 3D-Process), Ineratec (Karlsruhe, BMWK-Verbundvorhaben 3D-Process), Mineralö Raffinerie Oberrhein MiRO, Sasol Germany (Hamburg, Forschungsprojekt CARE-O-SENE), Siemens (Berlin, BMWK-Verbundvorhaben 3D-Process).

Hochschulen

Aristotle University (Thessaloniki, Griechenland, Projekt HEPTA), Bergakademie Freiberg (BMDV-Verbundvorhaben REF4FU), Leibniz-Institut für Katalyse (Rostock), Technical University of Denmark (Lyngby, Dänemark), Technische Universität Berlin (Forschungsgruppe HyPerCat), Technische Universität Darmstadt, Universität Padua (ERASMUS-Programm).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

DBFZ (Leipzig, BMDV-Verbundvorhaben REF4FU), DLR (Stuttgart, BMDV-Verbundvorhaben REF4FU), Fraunhofer IKTS (Hermsdorf, Forschungsprojekt CARE-O-SENE), Fraunhofer ISE (Freiburg, Verbundvorhaben reFuels), HZB (Berlin, Forschungsprojekt CARE-O-SENE), National Institute of Renewable Energies (Golden, USA).

A.1.4.1.5 *Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT)*

Leitende Person

Institutsleiter: Prof. Dr. Roland Dittmeyer

Kurzdarstellung

Das IMVT ist im Schwerpunkt im Topic „Chemical Energy Carriers“ im Programm Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET) in Helmholtz Energy in der PoF IV tätig. Außerdem werden Beiträge zum Programm Energy System Design (ESD) in Helmholtz Energy geleistet. Generalthema ist die Erzeugung strombasierter chemischer Energieträger (e-Fuels), wobei Kerosin für die Luftfahrt und Methanol für die Schifffahrt im Fokus stehen. Es werden Themen über die gesamte PtX-Prozesskette bearbeitet, d.h. von der Gewinnung von CO₂ aus Luft durch „Direct Air Capture“ oder biogenen Punktquellen bis hin zur Aufarbeitung der Syntheseprodukte zu spezifikationsgerechten Kraftstoffen. Die Forschung zielt primär auf lastflexible Technologien, die einer variablen Stromerzeugung aus Windenergie- und Photovoltaik-Anlagen zumindest teilweise folgen können. Sie schließt auch die Aktivierung von CO₂, Wasser oder Stickstoff durch den Einsatz von Nichtgleichgewichts-Plasmaverfahren und alternativ Solarstrahlung ein, ebenso wie die direkte elektrochemische Reduktion von CO₂ zu höheren Kohlenwasserstoffen. Die Stoff- und Wärmeintegration der einzelnen Prozessstufen von PtX-Verfahren, die Anforderungen an dezentrale Anlagen für netzintegrierten oder Inselbetrieb an verschiedenen Einsatzorten, und die Aufarbeitung von Prozessabwasser für die Wiedernutzung in der Elektrolyse stellen weitere wichtige Aspekte der Untersuchungen dar.

Das IMVT betreibt im PtX-Lab, einem Teil des vor kurzem erweiterten Energy Lab, Pilotanlagen zur strombasierten Synthese von Fischer-Tropsch-Kraftstoffen sowie von Methanol ausgehend von verschiedenen Elektrolyseverfahren und ebenso zur CO₂-Abscheidung aus dezentralen Punktquellen und aus Luft in Lüftungs- und Klimatisierungsanlagen von Gebäuden. Mit Daten aus den PtX- und DAC-Anlagen sowie entsprechenden digitalen Zwillingen trägt das IMVT zum ESD-Topic „Digitalization and Systems Technologies for Flexible Solutions“ bei. Auf der methodischen Seite verfolgt die Forschung am IMVT den Ansatz, mit modularen mikrostrukturierten Apparaten verfahrenstechnische Prozesse entscheidend zu verbessern oder durch neue Prozessfenster, die mit konventioneller Technologie nicht zugänglich sind, neue Produkte oder deutlich verbesserte Produkteigenschaften zu ermöglichen. Dies zielt auf erhöhte Ausbeute und Selektivität, reduzierten Energieverbrauch, verkürzte Entwicklungszeit sowie attraktive Kosten und hohe Flexibilität und Dynamikfähigkeit der Anlagen. Innovative Fertigungsverfahren bilden die Grundlage für die entwickelten Komponenten und Apparate, wobei additive Fertigungsverfahren für die Prozessintensivierung einen besonderen Schwerpunkt bilden.

Neben den beschriebenen Anwendungen im Kontext der Energiewende wird auch an neuen kontinuierlichen Verfahren zur stoff- und energieeffizienten Herstellung von Feinchemikalien, Nahrungsergänzungsmitteln und anderen chemischen Produkten geforscht. Kontinuierliche elektrochemische Synthesen in neuartigen Elektrolyseuren bilden in diesem Zusammenhang einen neuen Forschungsschwerpunkt am IMVT, wobei die Arbeiten primär an erfolgreiche Materialforschung anknüpfen und auf die Entwicklung leistungsfähiger Komponenten und Apparate fokussiert sind.

Highlights der Forschung

- Ein Highlight des Jahres 2024 war die Auszeichnung der gemeinsam mit Siemens, Evonik, INETRATEC und dem IKFT durchgeführten Arbeiten im BMWK-Projekt 3DProcess mit dem Formnext Design Award. Ausgezeichnet wurde ein innovatives Reaktordesign, das für mehr Nachhaltigkeit in der Chemie sorgen soll. Das Reaktorsystem ist auf die Synthese von Chemikalien für pharmazeutische Wirkstoffe (active pharmaceutical ingredients (API)) ausgelegt, und erreicht laut Siemens eine Energieeinsparung von bis zu 50 %. Gleichzeitig werden rund 50 % weniger Lösungsmittel als im konventionellen Prozess benötigt.
- Ein weiteres Highlight des Jahres 2024 war der erste erfolgreiche Versuchsbetrieb der gemeinsam mit der IMVT-Ausgründung ICODOS entwickelten Pilotanlage zur Synthese von grünem Methanol aus dezentralen CO₂ Punktquellen. Die Anlage basiert auf einer patentierten Verfahrensentwicklung des IMVT (EP000004192804A1) und wurde in Eigenregie geplant und gebaut. Sie konnte im Rahmen des EU-Projekts UP-TO-ME erfolgreich in Betrieb genommen werden und lieferte bereits mehr als 100 Liter Methanol in hoher Reinheit.

Strategische Ereignisse

Auch im Berichtsjahr 2024 hat das IMVT den Aufbau verschiedener Containeranlagen im PtX-Lab forciert und die Zusammenarbeit mit anderen Gruppen im Energy Lab des KIT vorangetrieben. Die Ziele sind dabei sowohl technischer als auch personeller Art. Beispielsweise wird die datentechnische Anbindung der PtX-Anlagen in die Leitwarte des SEnSSiCC (Smart Energy System Simulation and Control Center) ausgebaut und die am Energy Lab verfügbaren Personalressourcen sollen zudem für den Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen für das PtX-Lab eingesetzt werden.

Das IMVT engagiert sich außerdem nach wie vor im Bereich des Wissenstransfers zu den Themen Wasserstoff, PtX, e-Fuels und DAC. Mit Interviews und Beiträgen in verschiedenen Formaten wird die allgemeine Öffentlichkeit erreicht. Genannt seien hier die Ausstellung „Power-to-Change“, die bereits in verschiedenen Museen gezeigt wurde, Kurzvideos, die Beteiligung an Fernsehsendungen und der Dialog mit Abgeordneten auf Kreis-, Landtags- und Bundestagebene, vor allem bei deren Besuchen im Energy Lab. Im Rahmen der Helmholtz Klimainitiative HiCAM, des Kopernikus Projekts P2X, des Wasserstoff-Leitprojekts H₂Mare und des Helmholtz-Projekts DACStorE wurden zahlreiche Publikationen für die interessierte Öffentlichkeit und fachkundige Expertinnen und Experten erstellt. Ein Beispiel hierfür ist der vom IMVT im Rahmen des DACStorE-Projekts am 10. September 2024 im Zeiss Innovation Hub@KIT durchgeführte Informationstag zur CO₂ Direct Air Capture mit mehr als 60 Teilnehmenden.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

INERATEC, ICODOS, Sunfire, Climeworks, Cargill, Siemens AG, Evonik, Bayer AG, Eilenburger Elektrolyse- und Umwelttechnik GmbH, Glassomer, BASF SE, ESIM Chemicals, EDF, Cloud Fluid, DACMA.

Hochschulen

University of Toronto (CA), TU Berlin, FAU Erlangen, Uni Dortmund, Bergakademie Freiberg, Uni Stuttgart, LUT University (FI), Aristotle University Thessaloniki (GR), Universidad de Magallanes (CL), Universidad de Chile (CL).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

DLR, FZ Jülich, Helmholtz-Zentrum Hereon, UFZ, GFZ, HZB, DECHEMA, VTT (FI), IPP Garching, CSIRO (AUS), EIFER.

A.1.4.1.6 *Institut für Technische Chemie (ITC)*

Leitende Person

Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Dieter Stapf

Kurzdarstellung

Die Forschung am ITC befasst sich mit den verfahrenstechnischen Grundlagen und der Entwicklung energie- und ressourceneffizienter thermochemischer Prozessketten für eine nachhaltige, klimaneutrale Kreislaufwirtschaft mit den Technologieschwerpunkten Pyrolyse, Vergasung, Reststoffverbrennung, sowie Kalzinierung. Der Kompetenzschwerpunkt liegt auf Hochtemperaturverfahren bei gemischten, festen Einsatzstoffen (organische sowie mineralische Abfallströme wie z.B. Mischkunststoffabfälle und Altbeton) mit dem Hauptziel der stofflichen Nutzung als Sekundärrohstoffe und der Abtrennung von Schad- und Störstoffen. Grundlegende Untersuchungen finden im Labor und anwendungsnahe Tests im halbtechnischen Maßstab sowie an Pilotanlagen statt. Modelltheoretische Arbeiten sind Teil dieser multiskaligen Vorgehensweise, um das verfahrenstechnische Prozessdesign und Scale-up auf Basis von Simulationsrechnungen zu ermöglichen. Der Schwerpunkt der analytischen Kompetenzen liegt in der hochauflösenden Materialanalyse der chemischen und mineralischen Zusammensetzung, physikalischer Eigenschaften, der Partikelanalyse, sowie der organischen Analyse komplexer Stoffgemische.

Das ITC ist in den fünf Abteilungen Vergasungstechnologie, Technische Mineralogie, Verbrennungs- und Partikeltechnologie, Pyrolysetechnologie sowie Betrieb Pilotanlagen organisiert. In der Großforschungsaufgabe verantwortet letztere gemeinsam mit dem IKFT den Betrieb der Forschungsinfrastruktur Carbon Cycle Lab als Teil der Energy-Lab-Infrastruktur, mit Demonstrationsanlagen zur Synthesegaserzeugung, zur Kunststoffpyrolyse und zur Biomasse-Schnellpyrolyse sowie der Verbrennungsanlage BRENDA zur Untersuchung von Fragestellungen der energetischen Verwertung gefährlicher Abfälle.

In der PoF IV-Periode ist der überwiegende Teil der Arbeiten des ITC zur Schließung des Kohlenstoffkreislaufs und zur Schließung mineralischer Kreisläufe im Helmholtz Energy-Programm Materials and Technologies for the Energie Transition (MTET), im durch das ITC koordinierten Topic „Ressource and energy efficiency“ abgebildet, in dem die Helmholtz-Programmforschung zur Thematik „Kreislaufwirtschaft“ stattfindet. Zusätzlich ist das ITC am Programm Energy System Design (ESD), Topic „Digitalisation and system technology“ beteiligt, wie auch mit dem Karlsruher Expositionssystem (Air-Liquid-Interface) an den forschungsgebietsübergreifenden Aktivitäten zur Partikelexposition und Biosensorik im Programm Natural, Artificial and Cognitive Information Processing (NACIP), Topic „Molecular and cellular information processes“.

Darüber hinaus verantwortet das ITC das Thema Ressourceneffizienz und Dekarbonisierung im Programm- und Forschungszentren-übergreifenden Innovationspoolprojekt „Energiewende und Kreislaufwirtschaft“.

Gemeinsam mit dem MTET Topic 5-Forschungspartner Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf sowie dem Umweltforschungszentrum Leipzig untersucht das ITC Optionen zur Kreislaufführung von Kunststoffadditiven im Kooperationsprojekt „FINEST particulate anthropogenic material flows in a sustainable circular economy der Helmholtz-Sustainability-Initiative“. Das Projekt beinhaltet u.a. eine Graduate School der beteiligten Promovierenden sowie umfangreiche Transferaktivitäten.

Im Helmholtz-Zeitenwende-Projekt „Rohstoffsicherung“ errichtet das ITC ein Kunststoffpyrolyse-Pilotanlage auf Basis Wirbelschichttechnologie für das Carbon Cycle Lab, um transferrelevante Forschung auf dem Gebiet des chemischen Recyclings von Mischkunststoffabfällen zur Reduktion der Industrieabhängigkeit von fossilen Rohstoffen zu beschleunigen.

Highlights der Forschung

- Einweihung der Recycling-Zement Pilotanlage: Die Pilotanlage mit dem zentralen Drehrohr, elektrisch beheizt auf 1.000°C, und interner CO₂-Atmosphäre, wird nun genutzt, um die Herstellung von Belit-Zementklinker aus sekundären Rohstoffen zu erforschen und das Verfahren zu skalieren. Belitklinker aus Betonabbruch dient als (Teil-)Ersatz für herkömmlichen Portlandzement, schont natürliche Ressourcen und vermindert Energieeinsatz und CO₂-Ausstoß der Zementherstellung.
- Erfolgreiche Synthesegasherstellung aus Kunststoffpyrolyseöl: Vom 17. November bis 7. Dezember 2024 wurden in der letzten Betriebskampagne am Hochdruck-Flugstromvergaser des Carbon Cycle Lab erfolgreich 20 Tonnen kunststoffbasiertes Pyrolyseöl zu Synthesegas umgesetzt. Damit konnte die Funktion einer wichtigen Prozesskette für einen nachhaltigen Kohlenstoffkreislauf im skalierbaren Größenmaßstab erfolgreich demonstriert werden. Die neue Forschungsplattform CCLab setzt den mit bioliq® begonnenen Weg der Verwertung von Abfallstoffen konsequent fort. Das bioliq®-Projekt wurde zum Jahresende abgeschlossen.
- Keine signifikanten PFAS-Emissionen aus der Abfallverbrennung: Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) finden sich in unzähligen Produkten und damit auch im Hausmüll. Am ITC wurde gemeinsam mit internationalen Partnern untersucht, welchen Anteil die Abfallverbrennung an der Freisetzung dieser Verbindungen hat. Die Versuche in der Verbrennungsanlage BRENDA ergaben, dass eine Verbrennung bei den in europäischen Anlagen üblichen Temperaturen und Verweilzeiten die Fluorpolymere nahezu vollständig abbaut. Die Studie wurde nun im Fachmagazin *Chemosphere* veröffentlicht (DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.143403).

Strategische Ereignisse

Prof. Dr.-Ing. Frederik Scheiff übernahm in Nachfolge von Prof. Dr.-Ing. Thomas Kolb die Professur „Verfahrenstechnik chemischer Rohstoffe und Energieträger“, verbunden mit der Leitung des Bereichs Chemische Energieträger / Brennstofftechnik des Engler-Bunte-Instituts in der Universitätsaufgabe, die mit der Leitung der Abteilung Vergasungstechnologie des ITC in der Großforschungsaufgabe verbunden ist.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Air Liquide Global E&C Solutions Germany, Air Liquide Forschung und Entwicklung (Hochdruck-Flugstromvergasung im Bereich der Prozessoptimierung); Arcus Greencycling Technologies GmbH (Technologie der Pyrolyse von Kunststoffabfällen im Schneckenreaktor); Basell

Polyolefine GmbH (katalytische Pyrolyse von Polyolefinen); Lanxess AG (Verwertung von Kunststoffen, die Flammenschutzmittel enthalten, durch Pyrolyse); Vitrocell Systems GmbH (Weiterentwicklung und Vermarktung des Karlsruher Expositionssystems).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf, Helmholtz-Institut Freiberg.

A.1.4.1.7 *Institut für Biologische und Chemische Systeme (IBCS)*

Sprecher der kollegialen Institutsleitung: Prof. Dr. Stefan Bräse

A.1.4.1.7.1 *Teilinstitut für Biologische Informationsprozessierung (IBCS-BIP)*

Leitende Person

Teilinstitutsleiter: Prof. Dr. Martin Bastmeyer

Kurzdarstellung

Der Schwerpunkt der Arbeiten des Teilinstituts IBCS-BIP liegt in der Aufklärung der molekularen Mechanismen, die der biologischen Informationsverarbeitung in Zellen und Modellorganismen zugrunde liegen. Ziel ist es, dieses Wissen in „proof-of-principle“-Anwendungen unmittelbar in der Informationstechnologie und Biotechnologie sowie mittelbar in der Medizin einzubringen. Die Arbeiten sind in Helmholtz Information im Programm Natural, Artificial and Cognitive Information Processing (NACIP) verortet.

Dabei spielt die Charakterisierung und quantitative Erfassung von molekularen Netzwerken, die der Zellproliferation, der Zelldifferenzierung und den pathologischen Prozessen zugrunde liegen, eine bedeutende Rolle. Die methodischen Ansätze im IBCS-BIP reichen von der Molekular- und Zellbiologie über Mikroskopie, Proteomik, Genomik, Modellierungen bis hin zur komplexen Genetik. Hierbei werden Modellorganismen wie Maus, Zebrafisch und Medaka, sowie humane Zelllinien und Stammzellen verwendet. Der Zebrafisch eignet sich insbesondere für systematische Studien, weil er ein leicht zugängliches Modellsystem für die Vertebratenentwicklung darstellt. Seine Embryonen sind transparent und können mit Hilfe zeitlich-räumlich hochauflösender mikroskopischer Methoden quantitativ über längere Zeit analysiert werden.

Highlights der Forschung

- Es wurde signifikant in die Verwendung von Zebrafischen und Medakas als Tiermodellsysteme investiert. Am KIT ist das Europäische Zebrafisch-Forschungszentrum (EZRC) beherbergt, eine der größten experimentellen Fischanlagen in Europa. Zebrafische sind aufgrund ihrer geringen Größe, ihrer optischen Transparenz, ihrer schnellen Entwicklung außerhalb des Muttertieres sowie der Verfügbarkeit einer Reihe von fortschrittlichen genetischen und transgenen Werkzeugen besonders attraktive Modelle. Darüber hinaus eignen sie sich besonders gut für groß angelegte, nicht-invasive In-vivo-Bildgebung, und es gilt allgemein als ethisch vertretbar, mit ihren frühen Entwicklungsstadien zu experimentieren.

Darüber hinaus sind die grundlegenden Kontrollmechanismen, die die Embryonalentwicklung des Zebrafisches steuern, denen aller anderen Wirbeltierarten, einschließlich des Menschen, sehr ähnlich. Ausgehend von den Stärken des Zebrafisches als Tiermodell für das Hochdurchsatz-Screening wurde nach und nach auch ein Zentrum für Bildgebung und Screening investiert, das das EZRC ergänzt und die automatisierte Mikroskopie sowie die groß angelegte Bild- und Videodatenanalyse einsetzt, um anspruchsvolle In-vivo-Screens mit sich entwickelnden Zebrafischembryonen und -larven sowie komplementären In-vitro-Zellsystemen durchzuführen. Das EZRC fördert den Tierschutz in der Forschung, da Tierexperimente in mehrfacher Hinsicht durch die Arbeit des EZRC vermieden werden und es mutante Zebrafischlinien aus aller Welt in Form von gefrorenen Spermaproben einlagert. Durch die Vorhaltung der Mutanten leistet das EZRC einen wertvollen Beitrag zum 3R-Prinzip (Replace, Reduce, Refine). Alle Linien werden über einen Webshop angeboten und können nach In-Vitro Fertilisation an die Interessenten verschickt werden. Das EZRC ist eine einzigartige Infrastruktur, die zusammen mit dem Screening Centre eine weltweit einzigartige Infrastruktur darstellt.

- Obgleich Menschen das gleiche Genom haben, sind sie dennoch leicht unterschiedlich, sodass sie zum Beispiel auf Medikamente unterschiedlich reagieren können. Diese Aspekte der personalisierten Medizin sind in ihren Ursachen noch wenig verstanden. Um diese Fragen anzugehen, wurde ein Panel von mehr als 100 Medaka-Inzuchtlinien erstellt. In Zusammenarbeit mit der Universität Heidelberg und dem EBI Cambridge soll dieses Panel im Rahmen des ERC Synergy-Projects „INDIGENE“ Aufschluss geben, wie solche unterschiedlichen Antworten genetisch bedingt sind. Dieses Panel an Medaka-Inzuchtlinien ist weltweit einzigartig und ist auch nicht in irgendeiner anderen Wirbeltierspezies möglich (DOI10.1038/s44318-024-00186-2 und DOI10.1038/s41467-023-38482-w).
- Die beiden Fischarten Zebrafisch (*Danio rerio*) und Medaka (*Oryzias latipes*) haben sich zu unverzichtbaren Modellsystemen für die Untersuchung von Genfunktionen bei Vertebraten entwickelt. Im Rahmen der neuen EU-Gesetzgebung zur Durchführung von Tierversuchen (Direktive 2010/63/EU) sind von den Experimentatoren spezifische Kenntnisse im Umgang mit den Tieren nachzuweisen. In Antwort auf diese neue Gesetzgebung wurde der Internationale Zebrafisch und Medaka Kurs (IZMC) am KIT eingerichtet (www.izmc.ezrc.kit.edu). Dieser Kurs ist Vorreiter in diesem Gebiet und erhielt als erster Fischkurs in Europa das Gütesiegel der Federation of European Laboratory Animal Science Association (FELASA). Im Imaging and Screening Center ermöglicht die Konvergenz fortschrittlicher optischer Manipulationstechniken mit der Mikroskopie die Steuerung biologischer Prozesse, die über die reine Abbildung und Quantifizierung hinausgehen. In der Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Kreysing mit dem Schwerpunkt „Optische Manipulation der nächsten Generation“ wurde die FLUCS-Technologie weiterentwickelt, um optofluidische Manipulationen ohne starke Temperaturgradienten zu ermöglichen. Durch die erfolgreiche Integration von KI-Technologien für Bildverarbeitung, Datenanalyse und Versuchsplanung in den Workflow lassen sich zelluläres Verhalten, biochemische Reaktionen und sogar die Dynamik auf Gewebeebene präzise steuern. Diese Methode ermöglicht die Manipulation komplexer biologischer Systeme und kann dazu beitragen, unser Verständnis komplexer biologischer Prozesse zu erweitern. Sie ermöglicht innovative Anwendungen, die von präziser Zellsortierung und -musterung bis hin zur Schaffung künstlicher gewebeähnlicher Strukturen reichen (DOI: 10.1038/s41377-024-01406-4 und DOI: 10.1186/s43593-023-00049-z).

Strategische Ereignisse

Im Berichtsjahr konnte Dr. Iliya Stoev erfolgreich eine Nachwuchsgruppe im YIG Prep Pro am IBCS-BIP etablieren. Die Arbeitsgruppe befasst sich mit der mechanischen Charakterisierung von smarten, schaltbaren und biokompatiblen DNA-Hydrogelen. Diese können je nach spezifische Materialeigenschaften auf unterschiedliche Anwendungen z.B. für die Verabreichung von Medikamenten, die Biosensorik und die künstliche Gewebekultur abgestimmt werden.

Im Weiteren wurde die Tenure-Track-Professur (W1) von Tenure-Track-Prof. Dr. Lennart Hilbert nach positiver Endevaluation in die Universitätsprofessur (W3) am KIT „Systembiologie und Bioinformatik“ übergeleitet. Während die genomische DNA-Sequenz grundlegend für die Informationsspeicherung ist, erfolgt die Entschlüsselung dieser Information im Rahmen der dreidimensionalen Organisation des Genoms und der biophysikalischen Prozesse im Zellkern. Die Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Hilbert untersucht diese Funktionen des Zellkerns durch die Kombination von Zebrafisch als Tiermodell mit In-vivo-Mikroskopie und Deep-Learning-beschleunigter Bildgebung. In Verbindung mit der materialwissenschaftlichen Expertise des KIT sollen Simulationen helfen Funktionsprinzipien zu extrahieren, die das Design von DNA-Materialien nach dem Vorbild des Zellkerns erleichtern (DOI10.1021/acsphotonics.3c01558 und DOI10.1021/acs.nanolett.3c01301).

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

BASF, Leica, Olympus, VITROCELL, Hoffmann-La Roche AG, Rapp OptoElectronic, LS Instruments & Hummingbird GmbH.

Hochschulen

National: Universitäten Bochum, Erlangen, Freiburg, Heidelberg, Jena, Mainz, Marburg, LMU München, TU München, Oldenburg, Rostock.

International: Universitäten Wien (A), Liège (B), Bern (Schweiz), Fribourg (CH), ETH Zürich (CH), Lanzhou (CHN), Tsinghua Peking (CHN), Murcia (ES), Bordeaux (F), La Reunion (F), Paris (F), Strasbourg (F), Ferrara (I), Trento (I), Genua (I), Padua (I), Messina (I), Neapel (I), Federico II Neapel (I), Tel-Aviv (IL), Soochow (J), Sendai (J), Okayama (J), Groningen (NL), Nova Lissabon (P), Porto (P), Linköping (S), Uppsala (SE), Bilkent (TUR), Marmara (TUR), Birmingham (UK), Cambridge (UK), Edinburgh (UK), Queen Mary und St. Georges, London (UK), Oxford (UK), Manchester (UK), Southampton (UK), UCLA (USA), Clemson (USA), Colorado (USA), Denver (USA), North Carolina State University (USA), Miami (USA).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

National: Helmholtz-Zentrum München, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ, FZ Jülich, DKFZ, Hereon, Deutsches Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen DZNE, DPZ Göttingen, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, MPI Entwicklungsbiologie Tübingen, MPI für medizinische Forschung Heidelberg, MP Zentrum für Physik und Medizin, Friedrich-Löffler-Institut Jena, EMBL Heidelberg.

International: IST Wien (A), Shanghai Institutes of Biological Sciences (CHN), ZF BioLabs S.L Madrid (ES) [EZRC], CNRS Paris (F), INSERM (F), IGBMC Straßburg (F), CEA (F), Stazione Zoologica Anton Dohrn Napoli (I), Hubrecht Institute (NL), Wellcome Trust Sanger Institute (UK) [EZRC], EMBL-EBI (UK), Hinxton (UK), Zebrafish International Resource Center, ZIRC (USA) [EZRC], NKI Amsterdam (NL) . National BioResource Project *NBRP* (J), Centro de

Regulación Genómica *CRG (ES)*, Karolinska Institut (SWE), Woods Hole Oceanographic Institution (USA), Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing (CHN), Tokyo Institute of Technology (J); Crick Institute (UK), MIT (USA).

A.1.4.1.7.2 Teilinstitut für Funktionelle Molekulare Systeme (IBCS-FMS)

Leitende Person

Teilinstitutsleiter: Prof. Dr. Stefan Bräse

Kurzdarstellung

Das IBCS-FMS verfolgt innerhalb des Programmes „Material Systems Engineering“ (MSE), Topic 3 das Ziel, neue molekulare Konzepte mit digitalen Methoden zu verbinden, um innovative, adaptive und leistungsfähige Materialsysteme in Chemie und Lebenswissenschaften zu entwickeln. Der Schwerpunkt liegt auf funktionalen Molekülen und Materialien, die für Anwendungen in den Bereichen Chemie und biomedizinische Technologien optimiert werden.

Ein zentraler Forschungsbereich ist die Entwicklung bioinspirierter und funktionaler Moleküle und Materialien sowie dreidimensionaler Strukturen mit fortschrittlichen Eigenschaften, die für biologische und biomedizinische Anwendungen von entscheidender Bedeutung sind.

Ein weiteres zentrales Forschungsfeld ist die digitale Molekül- und Materialentwicklung, bei der KI-gestützte Algorithmen und simulationsbasierte Methoden genutzt werden, um Moleküle vorherzusagen und zu optimieren. Diese Ansätze spielen eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von Fluorophoren, die effizienter, langlebiger und nachhaltiger sind.

Ein weiterer Fokus liegt auf der Entwicklung innovativer Materialien, funktionaler Oberflächen und mikrostrukturierter Systeme für Biomedizin, Wirkstoffforschung und nachhaltige Materialwissenschaften. Ein Schwerpunkt ist die Nanodroplet-Technologie, insbesondere Hochdurchsatz-Assays auf Nanodroplet-Arrays zur optimierten Flüssigkeitsmanipulation. Miniaturisierte Droplet-Microarrays ermöglichen eine effiziente Analyse individueller Tumorreaktionen und tragen zur personalisierten Krebstherapie bei.

Weitere Forschungsgebiete umfassen neuartige Lipide für pharmazeutische und biomedizinische Anwendungen sowie Methoden zur Hochdurchsatz-Organischen Synthese zur Beschleunigung der frühen Wirkstoffentwicklung. KI-gestützte und simulationsbasierte Verfahren optimieren Materialien und Moleküle. Zusätzlich werden funktionale Polymermaterialien und Hochdurchsatz-Screening-Methoden für den 3D-Druck entwickelt. Beispiele sind poröse 3D-gedruckte Materialien mit Eigenschaften wie Superhydrophobie, Superabsorption oder Adsorption. Zudem wird an einer neuen Methode für den hochparallelen Hochdurchsatz-3D-Druck geforscht.

Das IBCS-FMS ist in verschiedene nationale und internationale Forschungs Kooperationen eingebunden. Zu den wichtigsten Beteiligungen gehören:

1. Interdisziplinäre Forschungsnetzwerke:

- Zusammenarbeit mit anderen Helmholtz-Zentren (z. B. HEREON) im Bereich Materialwissenschaft und Digitalisierung
- Kooperationen mit Universitäten (z.B. Heidelberg) und Instituten zur Entwicklung neuer Materialien

2. Industriepartnerschaften:

- Entwicklung innovativer Materiallösungen für Unternehmen in den Bereichen Chemie, Pharma und Medizintechnik (z.B. BASF)
- Direkter Technologietransfer durch gemeinsame Projekte und Prototypentwicklungen

3. Förderprogramme und Innovationsprojekte:

- Beteiligung an DFG, EU- und BMBF-geförderten Projekten (3DMM2O, ERC ATHENS, NIPU, NOMEN, EURIDOC)
- Mitgliedschaft in Netzwerken zur KI-gestützten Materialforschung und nachhaltigen Materialentwicklung (NFDI)

Durch die enge Verzahnung von Naturwissenschaften, Materialwissenschaft und Digitalisierung leistet das IBCS-FMS einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung smarterer, nachhaltiger, miniaturisierter und anwendungsorientierter Materialsysteme für die Technologien der Zukunft.

Highlights der Forschung

- Mit der Entwicklung von Katalysatoren zur Umsetzung von CO_2 zu CO und CH_4 wurde ein neuer wissenschaftlicher Arbeitsbereich etabliert. Die Kombination von theoretischen Modellen mit experimenteller Prüfung der Ergebnisse in Parallelreaktoren ermöglichte die Entwicklung der ersten bisher unbekannten Systeme durch theoriegetriebenes Design und nachfolgende Validierung.
- Das Team von Prof. Dr. Veronique Orian-Rousseau hat in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Alexander Nesterov-Müller vom Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT) des KIT Peptide mit hohen Zelladhäsions-/Abstoßungseigenschaften durch Screening auf hochdichten Peptidarrays identifiziert. Peptide mit hohen Abstoßungseigenschaften, wie sie in TNF-alpha zu finden sind, sind von besonderem Interesse für biomedizinische (biotechnologische) Anwendungen und wurden zum Patent angemeldet (Commun. Biol. 2024, DOI 10.1038/s42003-024-06541-7; EP000004464714A1 (Veröffentlicht am 20. November 2024)).
- In den vergangenen Jahren wurden bedeutende Fortschritte in der Entwicklung biofunktionaler Materialien und Hochdurchsatz-Screening-Technologien erzielt. Die Droplet-Microarray-Plattform, die miniaturisierte Hochdurchsatzexperimente durch die Erzeugung von Nanoliter-Tropfen für parallele chemische Synthesen und biologische Screenings ermöglicht, wurde weiterentwickelt. Diese Plattform wurde erfolgreich für die On-Chip-Kombinatorik-Synthese und die zelluläre Analyse eingesetzt und optimiert die Integration chemischer Synthesen mit biologischen Assays.

Strategische Ereignisse

Die Plattform für Automatisierte Synthese und Analyse von chemischen Reaktionen (ChemASAP) wurde im Jahr 2024 in das Gebäude 330 (IFG) umgezogen. In Bau 330 wird ChemASAP nun Schritt für Schritt in Betrieb genommen. Es konnten alle Änderungen an der Gebäudeinfrastruktur abgeschlossen und alle Beschaffungen getätigt werden (www.chemasap.kit.edu).

Für Chemotion/NFDI4Chem wurde die Evaluierung der ersten Förderphase und Bewerbung für den Zeitraum 2025-2030 durchgeführt und erstes positives Feedback der Gutachtenden zur Bewerbung der zweiten Förderphase erhalten.

Das ERC Synergy Projekt ATHENS mit den Partnern Friedrich-Schiller-Universität Jena und der EPFL Lausanne (Schweiz) wird 2025 starten (www.athens.kit.edu).

Die Mausanlage bzw. Nagerhaltung wurde in ein „Präklinisches Forschungszentrum“ umgewandelt und in die Plattform „3ROCKIT“ (**R**eplace **R**educe **R**efine **O**rganismal **R**esearch by **C**omputational and **C**ellular technologies@KIT.) des neuen KIT-Zentrums für Gesundheitstechnologien (gegründet am 1. März 2023) integriert.

Am IBCS-FMS wurden bereits modernste Organoid-Technologien in Kombination mit CRISPR/Cas entwickelt, um die Funktionen von Genen in physiologischen und pathologischen Zell- und Gewebeproben zu entschlüsseln. Es wurden nicht nur Gewebsäquivalente des Darms und der Leber hergestellt, sondern auch Organoide von Dickdarm- und Bauchspeicheldrüsenkrebs sowie Gehirnanorganoide. Es besteht eine Kooperationsvereinbarung mit dem Universitätsklinikum Halle (Saale), um derzeit die Aktivitäten im Bereich der Patientenorganoide (PDOs) zu intensivieren.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

BASF (Abteilung I), Symrise (I), Shimadzu (I).

Hochschulen

Heidelberg (Abteilungen I, II, III), Uni Freiburg, Uni Stuttgart, Uni Tübingen, Harvard University, Université de Bordeaux (FR) (I), Université de Montpellier (FR) (I), Université de Strasbourg (FR) (I), Université de Liege (BE) (I), University of the Basque Country (SE) (I), University of Aveiro (PT) (I), KTH (SE) (I), ETH Zürich (CH) (I), Université de Haute-Alsace Mulhouse (FR) (I), Ohio University (USA) (I), Durham University (UK) (I), Uppsala University (SE) (I).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

DKFZ Heidelberg, HEREON (I), FIZ Karlsruhe.

A.1.4.2 Bereich II – Informatik, Wirtschaft und Gesellschaft

A.1.4.2.1 *Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)*

Leitende Person

Institutsleiter: Prof. Dr. Armin Grunwald

Kurzdarstellung

Das ITAS unter Leitung von Prof. Dr. Armin Grunwald erarbeitet und vermittelt Wissen für die Gestaltung und über die Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen. Dabei werden ethische, ökologische, ökonomische, soziale, politisch-institutionelle und kulturelle Forschungsfragen inter- und transdisziplinär bearbeitet. Die am Institut untersuchten Forschungsthemen ergeben sich einerseits aus dem Beratungsbedarf von Politik, Gesellschaft, Wissenschaftssystem und Wirtschaft, andererseits aus dem wissenschaftlichen Bedarf nach Methodenentwicklung und -erprobung in diesem inter- und teils transdisziplinären Feld. Konstitutiver

Teil der Technikfolgenabschätzung und damit der Arbeit des ITAS ist neben Forschung auch der Wissenstransfer.

Die grundfinanzierten Forschungsarbeiten des ITAS sind in den Programmen Energy Systems Design (ESD) von Helmholtz Energy sowie Engineering Digital Futures (EDF) von Helmholtz Information angesiedelt. Im Rahmen dieser Programme arbeitet das ITAS mit anderen Helmholtz-Einrichtungen zusammen an Fragen der Transformation des Energiesystems sowie des digitalen Wandels der Gesellschaft. Über diese beiden Helmholtz-Forschungsbereiche hinaus baut ITAS zunehmend Kontakte und Kooperation zum Forschungsbereich Erde und Umwelt auf.

Highlights der Forschung

- Erstes internationales Handbuch der Technikfolgenabschätzung veröffentlicht: Im November 2024 wurde das „Handbook of Technology Assessment“ veröffentlicht; es wurde vom Leiter des ITAS herausgegeben und enthält zahlreichen Beiträge von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus dem ITAS. Es bietet einen umfassenden Überblick über die Praktiken, Theorien, Methoden und Kulturen der Technikfolgenabschätzung (TA) auf der ganzen Welt und untersucht verschiedene Perspektiven, wie die TA weiterentwickelt werden kann, um den Herausforderungen der Zukunft besser zu begegnen. Dazu analysieren Expertinnen und Experten aus allen Weltregionen sowohl Theorie und Methodik der TA und untersuchen die tiefgreifenden Veränderungen, die durch technologische Fortschritte auf individueller, kollektiver und globaler Ebene verursacht werden. In weiteren Kapiteln werden eine Vielzahl von TA-Anwendungen in unterschiedlichen kulturellen Kontexten sowie in verschiedenen Bereichen untersucht, darunter KI, Klimatechnik, Gesundheitswesen und Arbeitswelt. Das Handbuch ist nicht nur eine wertvolle Ressource für die globale Community der Technikfolgenabschätzung, sondern auch ein wichtiger Leitfaden für Studierende der Wissenschafts- und Technikforschung, der Technikethik, der Risikobewertung und der Responsible Research and Innovation.
- Neuartige soziotechnische Perspektive auf das Sicherheitsdesign der KI: Forschende aus dem ITAS untersuchten autonome KI-Systeme daraufhin, wie sie mit Blick auf Sicherheitsaspekte gestaltet werden können. Bestehende Gestaltungsprinzipien sind in der Regel sehr abstrakt und konzentrieren sich auf KI-Systeme für sich, berücksichtigen jedoch selten die negativen Auswirkungen auf die Sicherheit, die sich aus soziotechnischen Interaktionen ergeben können. Basierend auf explorativen Studien, Literaturreviews, theoretischen Analysen und qualitativen Betrachtungen der Schnittstellen zwischen KI-Systemen in autonomen Systemen und ihrer sozialen Umwelt werden Maßnahmen vorgeschlagen, die darauf abzielen, strukturelle Schwachstellen zu vermeiden. Letztendlich kann dieser Ansatz als Orientierung für Beratungen zwischen mehreren Interessengruppen mit interdisziplinärem Hintergrund dienen. Er bietet eine Anleitung für die Gestaltung von KI-gesteuerten Systemen, um das Sicherheitsdesign zu verbessern.
- Planungsmethodik für städtische Energiesystemplanung für resiliente Städte: Unter Mitarbeit des ITAS wurde im Topic 1 des ESD-Programms Metriken eine konkrete Planungsmethodik im Kontext der städtischen Energiesystemplanung für nachhaltige und resiliente Städte auf der Basis von Micro-Grids und lokalen Energiegemeinschaften entwickelt. Die wichtigsten Ergebnisse wurden in einem Forschungsartikel in *Nature Sustainability* veröffentlicht (Ottenburger et al. 2024). Die wachsenden Herausforderungen des Klimawandels, der Digitalisierung und der urbanen Verdichtung erfordern innovative Ansätze, um Städte widerstandsfähiger, nachhaltiger und gerechter zu machen. Micro-Grids, lokal angepasste und unabhängige Energiesysteme, können bei dieser Transformation eine zentrale Rolle

spielen. Sie mildern nicht nur die Folgen von Stromausfällen, sondern tragen auch simultan zu mehreren Zielen für nachhaltige Entwicklung (SDGs) bei. Die räumliche Planung von Micro-Grids hat einen erheblichen Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit, die soziale Gerechtigkeit und die Folgen von Stromausfällen und prägt damit den städtischen Wandel. Auf der Grundlage von ethischen Überlegungen und systemanalytischen Untersuchungen kann das räumliche Design von Micro-Grids optimiert werden, um Wohlfahrtsverluste zu minimieren und gleichzeitig faire Verteilung zu ermöglichen.

Strategische Ereignisse

Das von Mitarbeitenden des Instituts konzipierte und getragene, im Wintersemester 2021/2022 an der Fakultät für Sozial- und Geisteswissenschaften am KIT erstmals angebotene Wahlpflichtfach „Technikfolgenabschätzung“ wurde weiter gefestigt. Im Jahr 2024 fanden prägende Überlegungen zu einem neuen Major/Minor-System im Rahmen der geplanten Umstellung von Teilen der Lehre an der Fakultät auf das System der „Liberal Arts and Sciences“ (LAS) statt, in dem das ITAS ab WS 2025 einen grundständigen Studiengang zu Technikfolgenabschätzung und Zukunftsgestaltung anbieten wird. Damit baut das ITAS seine Vorreiterrolle in der akademischen Positionierung des Faches weiter aus.

Im November 2024 hat das Präsidium des KIT beschlossen, die bislang im Programm EDF von Helmholtz Information angesiedelte ITAS-Forschung einschließlich der Anbindungsstellen zur Verkehrsforschung, Informatik und Robotik und einiger stadtbezogener Forschung aus dem Energiebereich ab der POF V-Periode im Forschungsbereich Erde und Umwelt zu verorten. Dies wird im Rahmen eines neuen Topics zur Transformation urbaner Systeme erfolgen, in dem das ITAS sich schwerpunktmäßig mit der „twin“ (digital and sustainable) transformation befassen wird. Die Ko-Topicleitung wird von Prof. Daniel Lang vom ITAS übernommen.

Ende 2024 wurde das Sustainability Futures Lab (SFL) der ITAS-Forschungsgruppe „Reallabor gestalten“ installiert. Das SFL ist eine digital unterstützte, datengetriebene Umgebung, die Daten, Simulation, Visualisierung und Interaktionskomponenten zu bestimmten Themen nutzt, um relevante Akteure zusammenzubringen und gegenseitige Lernprozesse zwischen Wissenschaft und Gesellschaft zu ermöglichen. Das SFL bietet eine spannende Perspektive, um die Lücke zwischen transdisziplinären Forschungsansätzen wie der Reallaborforschung und der Forschung, die auf Big Data und entsprechenden Modellierungsansätzen aufbaut, zu schließen.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Aufgrund seines Schwerpunktes in der forschungsbasierten Politik- und Gesellschaftsberatung ist das ITAS bei Kooperationsvorhaben mit der Wirtschaft zurückhaltend. Es gibt eine Fülle von Einzelkooperationen in Projekten. Längerfristige Kooperationen werden jedoch vermieden, um nicht den Eindruck von mangelnder Unabhängigkeit zu erwecken.

Hochschulen

School for the Future of Innovation in Society, Arizona State University (ASU); School for Sustainability, Arizona State University (ASU), 4TU.Centre for Ethics and Technology (4TU.Ethics) in den Niederlanden, insbesondere die Technische Hochschule Delft; Universidade NOVA de Lisboa.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Unterschiedliche europäische Netzwerke der Technikfolgenabschätzung (Netzwerk TA (NTA), European Technology Assessment Group (ETAG) und European Parliamentary Technology

Assessment Network (EPTA) – koordinierender Partner; Global TA Network – Gründungsmitglied); Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften – gemeinsame Durchführung der Politikberatung für das Österreichische Parlament; Stiftung für Technologiefolgen-Abschätzung als Kompetenzzentrum der Akademien der Wissenschaften Schweiz (TA-SWISS); Rathenau Instituut of The Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences Den Haag; Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin – enge Kooperation im Rahmen der Tätigkeit für den Deutschen Bundestag.

A.1.4.2.2 Scientific Computing Center (SCC)

Leitende Personen

Prof. Dr. Martin Frank
Dr. Martin Nussbaumer
Prof. Dr. Achim Streit

Kurzdarstellung

Das SCC ist an zwei Helmholtz-Programmen beteiligt. Das LK-II Großgerät GridKa ist dem Programm Matter and the Universe (MU) zugeordnet. Mit gewohnt hoher Zuverlässigkeit wurden im Jahr 2024 den vier LHC-Experimenten, Belle II und weiteren Astroteilchenphysik-Experimenten insgesamt 52.700 CPU-Kerne, 56 NVIDIA GPUs, ~100 PetaByte skalierbaren Online-Plattenspeicher und mehr als 140 PetaByte zuverlässigen Offline-Datenspeicher zur Verfügung gestellt. Die Batch-Compute-Farm von GridKa wurde um 3.840 ARM-CPU-Kerne erweitert, die im Vergleich zu herkömmlichen x86-CPUs 20% energieeffizienter sind. GridKa hat sehr erfolgreich an der Data Challenge 2024 des Worldwide LHC Computing Grid (WLCG) teilgenommen.

Im Programm Engineering Digital Futures (EDF) in Helmholtz Information forscht das SCC im Topic 1 „Enabling Computational- & Data-Intensive Science and Engineering“. In den domänenspezifischen SimDataLabs (SDLs) wurde u.a. im SDL für Materialwissenschaften das FAIR Digital Object (FDO) Konzept als streng formalisiertes Datenmodell für die Kuratierung und Verteilung von Referenzdatensätzen in NFDI-MatWerk angewendet. Im SDL Erdsystemwissenschaften wurde u.a. das Projekt ICON-SmART unterstützt, um numerische Chemie-Klima- und Aerosolsimulationen durch die Anwendung von KI und ML zu optimieren. In der domänenübergreifenden Forschung wurde mit JobMon ein Werkzeug entwickelt, das eine einfache Leistungsbewertung und Auffindung von Leistungsengpässen in Jobs auf den Supercomputern des KIT ermöglicht. Im Quantum Maschine Learning wurde gezeigt, wie Anwendungen im Bereich der Hochenergiephysik mit Noisy Intermediate Scale Quantum (NISQ)-Geräten umgehen können. In Verbindung mit der HIFIS-Plattform, IAM4NFDI und dem EU-Projekt InterTwin wurden Werkzeuge zur Authentifizierung und Autorisierung (AAI) in förderierten Infrastrukturen verbessert und mit neuen Funktionen ausgestattet. Das SCC stellt den Helpdesk-Service für den EOSC EU-Knoten bereit, der im Oktober 2024 startete. Im EOSC Beyond-Projekt wurden ein Pilot für einen nationalen EOSC Pilot entwickelt und das Helpdesk-System für die European Open Science Cloud (EOSC) erweitert. Der Transfer Federation Service wurde in NFDI4Ing und bwHPC-S5 zusammen mit der RWTH Aachen und der Universität Heidelberg verbessert. Im BMBF-Projekt RAPID wurde zusammen mit den KMUs AiNT und Fees eine

neue Methode für die Prompt-Gamma-Neutronen-Aktivierungsanalyse (PGNAA) für eine zerstörungsfreie Materialanalyse entwickelt. Zur Quantifizierung von Unsicherheiten in großskaligen HPC-Simulationen wurde eine neuartige ressourcenoptimale Methode entwickelt. Die neue Forschungsgruppe „Methods for Big Data“ (mit W3-Professur) startete im August 2024 und entwickelte einen neuartigen Backfitting-Algorithmus zur Schätzung von Verteilungsmodellen mit sehr großen Datensätzen.

Highlights der Forschung

Es besteht ein wachsendes Interesse an datengetriebenen Modellen für wissenschaftliche und technische Anwendungen, insbesondere für die Energieforschung und die Erdsystemwissenschaften. Eine Reihe innovativer Modelle unterstützt die Umsetzung der Energiewende hin zu erneuerbaren Energiequellen (<https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-1714>, <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51019-z>), verbessert die Atmosphärenwissenschaften durch schnelle und effiziente Wettervorhersagen (<https://doi.org/10.1109/NICE61972.2024.10549584>) oder verbessert sogar die Möglichkeiten der medizinischen Bildgebung (<http://dx.doi.org/10.1109/CAI59869.2024.00212>). Diese Fortschritte gehen jedoch mit einem steigenden Bedarf an Rechenressourcen einher, insbesondere während der Entwicklungs- und Trainingsphase. In diesem Zusammenhang muss eine nachhaltige und effiziente Entwicklung dieser wissenschaftlichen datengetriebenen Modelle betont werden. Daher generieren die neuen Modelle nicht nur tiefgreifende Erkenntnisse mit hoher Vorhersagegenauigkeit, sondern überwachen auch die Nutzung von (Rechen-)Ressourcen und optimieren die damit verbundenen Auswirkungen.

Strategische Ereignisse

Im Talent Management bietet das „Computational and Mathematical Modeling Program“ (CAMMP) am SCC eine Vielzahl von Aktivitäten für Schülerinnen und Schüler sowie für Lehrkräfte an und ist auch in der Forschung zur Bildungsentwicklung tätig. Im Jahr 2024 konnte die Zahl der Schülerinnen und Schüler, die mit eintägigen Workshops („CAMMP-Tage“) erreicht wurden, um mehr als 100 auf 441 erhöht werden. Während der zwei „CAMMP-Wochen“ arbeiteten insgesamt 60 Schülerinnen und Schüler an realen Simulationsproblemen. Darüber hinaus wurden über 50 Lehrkräfte in Schulungen und Seminaren fortgebildet. Katja Hoeffler gewann den Preis der Konferenz der mathematischen Fachbereiche (KMathF) für die beste Master- oder Staatsexamensarbeit in Studiengängen für das Lehramt an Gymnasien. Katharina Flügel (SCC) gewann auf der 31st International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2024) den Best Paper Award für ihre Veröffentlichung „Feed-Forward Optimization with Delayed Feedback for Neural Network Training“. Jun.-Prof. Dr. Sebastian Krumscheid (Leiter der Forschungsgruppe „Uncertainty Quantification“) erhielt den Lehrpreis des KIT für Mathematik für seine innovativen und praxisorientierten Lehrkonzepte zu hochkomplexen mathematischen Methoden.

Im Innovationspool-Projekt „Research Software Engineering (RSE)“ (HiRSE_PS) wurde die überaus erfolgreiche HiRSE-Seminarreihe mit internationaler Reichweite fortgesetzt. Das SCC co-organisierte die bundesweit erste RSE-Sommerschule. Mit HiRSE Code Promotion wurde eine nationale Initiative zur Hervorhebung von in Deutschland entwickelter Forschungssoftware geschaffen. Die HiRSE_PS-Initiative wurde in ein Joint Lab namens „Helmholtz Information - Research Software Engineering“ (HiRSE) umfirmiert. Das SCC hat mehrere Maßnahmen zum Aufbau einer RSE-Community am KIT etabliert. Gemeinsam mit der Universität Heidelberg wurde ein Landes-Projekt zum Aufbau eines Landesdienstes für Gitlab gestartet.

Das SCC organisierte im September 2024 in Karlsruhe das „International User Forum for the High Performance Storage System (HPSS)“. 60 Teilnehmende aus 26 HPSS-Einrichtungen in Europa, Nordamerika und Asien nahmen daran teil. Es gab Berichte zu neusten technischen Innovationen, zur Nutzung und zu operativen Besonderheiten.

Im Dezember 2024 co-organisierte das SCC die internationale EUDAT-Konferenz in Karlsruhe, bei der mehr als 110 Teilnehmende aus 20 Ländern zusammenkamen. Vortragende der e-Infrastrukturen EGI, EU-DAT, GÉANT, OpenAire, der wissenschaftlichen Gemeinschaften EBRAINS, Helmholtz AI, ENVRI-Hub NEXT, OSCARS, eLTER und weiterer, unterstützt durch EOSC EU Node, Base4NFDI, FAIR-CORE4EOSC und EOSC-Beyond, trafen auf ein interessantes Publikum.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft:

Siemens Healthcare, Erlangen, und Siemens Digital Industries, Karlsruhe (Forschung im Themengebiet der angewandten Künstlichen Intelligenz); Zusammenarbeit mit Unternehmen (u.a. IBM und SAP) im Feld der Aufbereitung, Verarbeitung und Analyse von großen Datenmengen mittels KI-Methoden auf hochperformanten Rechnersystemen im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts „Smart Data Innovation Services (SDI-S)“.

Hochschulen:

Universität Stuttgart (bzgl. Supercomputing auf den Ebenen Tier-1 und Tier-2), Universität Heidelberg zur LSDF (in der Nutzung und Archivierung von Daten aus der Systembiologie, Hydrologie und anderen Forschungsdisziplinen); alle universitären Rechenzentren im Land Baden-Württemberg (gemeinsame Landeskonzerte zu den Themen HPC auf Ebene Tier-3, große Daten/Forschungsdatenmanagement sowie IT-Dienste); TU Dresden, RWTH Aachen, TU Darmstadt, FAU Erlangen, Université de Bordeaux, Frankreich.

Weiterhin arbeitet das SCC innerhalb des NHR eng mit allen anderen Standorten an Hochschulen zusammen.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen:

Das SCC arbeitet in den Themen Supercomputing, Big Data, Computational & Data Science, AI, föderierte IT-Dienste eng zusammen mit: Forschungszentrum Jülich, DESY, GSI, HMGU, HZDR, HZB, Fraunhofer-IWM, DKRZ, DKFZ, AWI, BADW-LRZ, MPCDF, CNRS/IN2P3 in Frankreich, STFC in Großbritannien, IFCA/CISC in Spanien, INFN in Italien, CSC in Finnland, Oak Ridge National Laboratory, University of Tennessee Knoxville und University of Notre Dame in den USA, und dem CERN. Durch die Mitgliedschaften u.a. in WLCG, EUDAT CDI, der EOSC Association sowie verschiedenen EU-Projekten bestehen zahlreiche weitere Kontakte auf internationaler Ebene.

A.1.4.2.3 KASTEL (Institut für Informationssicherheit und Verlässlichkeit)

Sprecher der kollegialen Institutsleitung: Prof. Dr. Jörn Müller-Quade

A.1.4.2.3.1 Teilinstitut Entwicklung sicherer Systeme (KASTEL-ESS)

Leitende Person

Teilinstitutsleiter KASTEL-ESS: Prof. Dr. Jörn Müller-Quade

Kurzdarstellung

Das Teilinstitut KASTEL-ESS verfolgt im Topic 3 „Engineering Secure Systems“ (ESS), Programm Engineering Digital Futures (EDF, Helmholtz Information), die ingenieurwissenschaftlich geprägte Entwicklung sicherer Systeme für kritische Infrastrukturen. Mit der fortschreitenden Digitalisierung kommt der Cybersecurity-Forschung eine zentrale gesellschaftliche Bedeutung zu. Lösungsansätze werden in drei Forschungsgruppen zur Methodenentwicklung und drei Security-Labs in den sicherheitsrelevanten Anwendungsbereichen Energie, Mobilität und Produktion entwickelt (Ein Leitgedanke ist dabei die Quantifizierung von Sicherheit):

- Forschungsgruppe Quantifying Security (Sprecher: Prof. Dr. Jörn Müller-Quade),
- Forschungsgruppe Secure Computation and Communication (Dr. Andy Rupp, Prof. Dr.-Ing. Anne Koziolk),
- Forschungsgruppe Human and Societal Factors (Prof. Dr. Melanie Volkamer),
- Energielabor (Prof. Dr. Veit Hagenmeyer),
- Mobilitätslabor (Prof. Dr.-Ing. Ina Schaefer),
- Produktionslabor (Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyerer).

Highlights der Forschung

- Eine effektive Ampelerkennung ist eine kritische Komponente in Wahrnehmungssystemen autonomer Fahrzeuge. Im Mobilitätslabor wird ein neuartiges Deep-Learning-Wahrnehmungsmodul entwickelt und im realen Verkehr umfassend getestet. Aktuelle Lösungen stellen sich oft als nicht robust gegen Angriffe heraus und existente Abwehrmaßnahmen, die auf erklärbarer KI (XAI) basieren, als nicht so effektiv wie erwartet. Daher werden Verfahren und Methoden untersucht, die die Sicherheit der Ampelerkennung erhöhen können. Es konnte so gezeigt werden, dass „Mixture of Expert“-Modelle für die semantische Segmentierung von Verkehrssituationen robuster gegenüber White-Box-Eingabemanipulations- und Übertragungsangriffen sind. Zusätzlich werden Ansätze entwickelt, um Modellmanipulationsangriffen standzuhalten, die während des Modelltrainings durch Data-Poisoning erfolgen. In Kombination erweitern diese Techniken die Grenzen für eine zukünftige, gegen Angriffe widerstandsfähige Wahrnehmung des autonomen Fahrens.
- Auf der diesjährigen ICSE-Konferenz (IEEE/ACM International Conference on Software Engineering), der führenden Tagung für Software-Engineering-Forschung wurden drei herausragende Arbeiten mit innovativen Forschungsbeiträgen vorgestellt. Eine Studie stellt neue Ansätze zur Plagiatserkennung in der Softwareentwicklung und -ausbildung vor: Eine sprachunabhängige Methode verhindert effektiv automatisierte Verschleierungsangriffe

durch Plagiatsgeneratoren unter Beibehaltung einer niedrigen Falsch-Positiv-Rate. Ein anderer Ansatz kombiniert automatisierte Analyse mit menschlicher Prüfung zur Erkennung von Plagiaten in modellbasierten Artefakten wie Diagrammen, selbst wenn diese mit KI-Tools wie ChatGPT verschleiert wurden. Beide Methoden zeigen im Vergleich zum Stand der Technik deutlich höhere Erkennungsraten und Widerstandsfähigkeit gegen automatische Angriffe.

Strategische Ereignisse

Das Engagement von KASTEL-ESS-PIs in Leitungsfunktionen forschungspolitischer Beratungsgremien ermöglicht den Wissenstransfer zu Entscheidungsträgern. Dazu gehören Arbeitsgruppen der „Plattform Lernende Systeme“ (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften acatech, BMBF), das acatech-Themennetzwerk Sicherheit, die Initiative „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS; acatech, Leopoldina, Akademieunion, BMBF), die BMWK-Expertengruppe „Transformation der Automobilindustrie“, die Wissenschaftliche Arbeitsgruppe des Cyber-Sicherheitsrates (BMI), des „Fraunhofer Strategischen Forschungsfeldes Künstliche Intelligenz“ und des Fraunhofer-Leistungsbereiches Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit (VVS). Weitere PIs sind Mitglieder der acatech-Themennetzwerke Sicherheit und Gesundheitstechnologie sowie der Interdisziplinären Kommission für Pandemieforschung (DFG).

Die Forschenden des Teilinstituts wurden mit zahlreichen Preisen für ihre Publikationen ausgezeichnet, verliehen wurden u.a. der Stefano Rodotà Data Protection Award 2024 (Council of Europe, Convention 108 on Data Protection: Tenure-Track-Prof. Dr. Frederike Zufall), Best Paper Award (2nd International Workshop on Re-design Industrial Control Systems with Security, RICSS'24: Dr. Alessandro Erba).

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Über das Topic ESS hat KASTEL-ESS mit dem FZI Forschungszentrum Informatik und dem Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB am Standort Karlsruhe wichtige Kooperations- und Transferpartner mit engen Industriekontakten. Aktuell sind folgende Kooperationen mit der Wirtschaft hervorzuheben: ABB Asea Brown Boveri Ltd („Entwurfsmethodiken für Cloud-native Systeme im Kontext der industriellen Automatisierung“), BASF AG („ChemCrypt“), IBM Research („Group Verifiable Random Functions“), Mercedes-Benz AG („VINCRIPTOR“: Pseudonymisierung von Fahrzeug-Identifizierungsnummern), NEC Laboratories Europe („Repliable Onion Routing“), Pionix GmbH (Identifikation von Sicherheitsanforderungen der Software „Everest“), SAP SE („Secure Federated Machine Learning“).

Hochschulen

Innerhalb gemeinsamer Forschungsarbeiten bestanden 2024 im Teilinstitut Kooperationen mit 34 nationalen und 20 internationalen Forschungsinstituten, z.B. Ben-Gurion University of the Negev, ETH Zürich, Imperial College London – CARS, Goethe-Universität Frankfurt am Main, King's College London, KU Leuven – COSIC, Royal Holloway University of London, Ruhr-Universität Bochum, TU Bergakademie Freiberg, TU Dresden, Tel-Aviv University, Universität der Bundeswehr München, Universität zu Köln, Universität Mannheim, Université de Luxembourg, Universität Paderborn, University College London, University of Edinburgh, University of Waterloo.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Die am Teilinstitut beteiligten Arbeitsgruppen unterhalten enge Kooperationen mit Forschungseinrichtungen, z.B.: ATHENE National Research Center for Applied Cybersecurity (Darmstadt), Centrum Wiskunde & Informatica (CWI, Amsterdam), Centre for Tactile Internet with Human-in-the-Loop (CeTi, Dresden), CISPA Helmholtz Center for Information Security (Saarbrücken), Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC (Garching), Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT (Darmstadt), Idaho National Lab (Idaho Falls, USA).

A.1.4.2.3.2 Teilinstitut Software Engineering für selbst-adaptive Systeme (KASTEL-SESAS)

Leitende Person

Teilinstitutsleiterin KASTEL-SESAS: Prof. Dr. Raffaella Mirandola

Kurzdarstellung

Das Teilinstitut KASTEL-SESAS befasst sich mit der Erforschung von Methoden und Werkzeugen für die Entwicklung komplexer autonomer, softwareintensiver Systeme. Damit diese Systeme ihr volles Potenzial entfalten können, müssen sie trotz allgegenwärtiger Ungewissheit (*Uncertainty*) – ausgelöst etwa durch Fehler, Ausfälle, böswillige Angriffe und andere erwartete und unvorhergesehene Veränderungen – in ihren realen Betriebsumgebungen stets die erforderliche Funktionalität bieten. Die Entwicklung dieser Systeme stellt deshalb eine große Herausforderung dar. Ein wichtiger Ansatz zur Eindämmung von Ungewissheit ist die Fähigkeit dieser Systeme zur Selbstanpassung, welche in der Regel durch eine Rückkopplungsschleife erreicht wird. Diese Rückkopplungsschleife sammelt während des Betriebs zusätzliche Daten über Ungewissheiten. Sie nutzt diese Informationen dann, um Ungewissheiten zu beseitigen, Schlussfolgerungen über das System zu ziehen und Entscheidungen über eine Neukonfiguration oder mögliche Anpassungen zu treffen, um die Ziele des Benutzenden unter sich stetig ändernden Bedingungen zu erreichen. Im Notfall kann auf diese Weise auch die Leistung des Systems punktuell verringert werden. Das Ziel dieser Rückkopplungsschleifen besteht darin, resiliente Systeme zu erhalten bzw. zu entwickeln. Resiliente Systeme sind in der Lage, während des Einsatzes auf Veränderungen zu reagieren. Sie können mögliche negative Konsequenzen mitigieren und sich von ihnen erholen. Sogenannte antifragile Systeme (*antifragile systems*) sind sogar in der Lage, aus Veränderungen zu lernen und sich dadurch während des Einsatzes stetig zu verbessern.

Der Entwurf und die Validierung solcher Systeme erfordern neue Ansätze, die über die derzeitigen Architekturen, Frameworks und Werkzeuge hinausgehen. Um die Forschung in diesem Feld voranzutreiben, betreibt KASTEL-SESAS eine Forschungsgruppe mit der Otto-von-Lehmann-Professur für Software Engineering für Selbstadaptive Systeme (Prof. Dr. Raffaella Mirandola).

Highlights der Forschung

- Die Sicherstellung hoher Betriebsqualität (*Quality of Service, QoS*) stellt eine zentrale Herausforderung für selbstanpassende Systemen (*self-adaptive systems*) dar, weil das System in einer dynamischen Umgebung stets die Anforderungen an Leistung, Zuverlässigkeit

und Sicherheit erfüllen muss. Die praktische Umsetzung dieser Systeme – also der effektive Umgang mit der aus dem Realeinsatz entstehenden Variabilität sowie sich stetig verändernder Benutzeranforderungen – ist für Softwaretechnikerinnen und Softwaretechniker eine einzigartig komplexe und schwierige Aufgabe. Um diese Herausforderung zu bewältigen, haben Forschende des Teilinstituts ein Referenzmodell für die Entscheidungsfindung bei der Selbstanpassung vorgestellt, welches die drei Faktoren Kosten, Nutzen und Risiko als zentrale Aspekte jeder Anpassungsoption berücksichtigt. Der Ansatz stellt dabei einen Fortschritt gegenüber bestehenden Lösungen dar, die sich bei der Entscheidungsfindung bisher nur auf Nutzen und Kosten konzentriert haben.

D. Weyns, S. M. Hezavehi, P. Avgeriou, R. Calinescu, R. Mirandola, D. Perez-Palacin: "An Architectural Viewpoint for Benefit-Cost-Risk-Aware Decision-Making in Self-Adaptive Systems", ACM TAAS, online December 2024: DOI: 10.1145/3705612

- Ein in den letzten Jahren immer zentraler werdendes Thema stellt die Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten etwa zum Schutz sensibler Daten oder zur Sicherung des Vertrauens von Endnutzenden in moderne (Mikro-)Dienste (*micro services*) dar. Selbstanpassende Systeme können Sicherheitsmaßnahmen während der Laufzeit unterstützen, indem die Konfiguration und das Verhalten des verwalteten Systems autonom angepasst werden. Menschliches Eingreifen ist dann nur noch in Einzelfällen – oder im Idealfall gar nicht – notwendig. Zu diesem Zweck haben Forschende des Teilinstituts ein neuartiges Framework zur Organisation von Mikrodiensten unter Berücksichtigung von *Quality of Service* und Software-Schwachstellen entwickelt und vorgestellt.

M. Camilli, F. Luccioletti, R. Mirandola, P. Scandurra: "Integrated QoS- and Vulnerability-Driven Self-adaptation for Microservices Applications." ICSOC (2) 2024: 55-71, DOI: 10.1007/978-981-96-0808-9_5

- Selbstanpassende Systeme gelten dann als antifragil, wenn sie in der Lage sind, aus Unsicherheiten und Störungen zu lernen. Auf diese Weise können zukünftige Ereignisse schneller, effizienter und mit geringeren Auswirkungen für den Benutzer bewältigen werden. Das KASTEL-SESAS hat damit begonnen, eine grundlegende Definition von Antifragilität zu entwickeln. Zu diesem Zweck wurde eine Charakterisierung von Antifragilität innerhalb einer etablierten Taxonomie von Zuverlässigkeit (*Dependability*) vorgelegt, um ihre konzeptionellen Implikationen zu verdeutlichen, Gestaltungsrichtlinien bereitzustellen sowie ihre Beziehungen zu anderen Ansätzen mit ähnlichen Zielen zu veranschaulichen. Aufbauend auf dieser Charakterisierung haben die Forschenden ein Framework vorgestellt, das die Entwicklung von antifragilen Systemen fördern soll.

V. Grassi, R. Mirandola and D. Perez-Palacin. A conceptual and architectural characterisation of antifragile systems, in Journal of Systems and Software, Vol. 213, Article N° 112051, 2024

- Im Jahr 2024 fand ein Dagstuhl-Seminar zum Thema „Resilience and Antifragility of Autonomous Systems“ statt. Ziel des Seminars war es, die internationale Forschung zu resilienten und antifragilen autonomen Systemen zu vereinheitlichen, um so die Erarbeitung wissenschaftlicher Ergebnisse einerseits und deren Implementierung in der Industrie andererseits zu beschleunigen. An der Veranstaltung nahmen führende Köpfe aus Forschung und Industrie mit Fachkenntnissen in den Bereichen Resilienz, Antifragilität, Sicherheit und Ethik von autonomen Systemen aus verschiedenen Disziplinen wie Informatik, Security-Forschung und Ethik teil.

S. Burton, R. Calinescu, R. Mirandola: Resilience and Antifragility of Autonomous Systems (Dagstuhl Seminar 24182). Dagstuhl Reports 14(4): 142-163(2024)

Strategische Ereignisse

Prof. Dr. Mirandola ist Mitglied des Editorial Boards der Journals *IEEE Transactions on Software Engineering* und *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems*. Sie ist zudem Co-Editorin für Sonderausgaben des *Journal of Systems and Software*. Prof. Dr. Mirandola ist Mitglied des Lenkungsausschusses internationaler Konferenzen wie „IEEE/ACM Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems“, „ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering“ und „IEEE International Conference on Software Architecture“.

Die starke Einbindung von Prof. Dr. Mirandola in redaktionelle Gremien von Fachzeitschriften sowie in Lenkungsausschüsse von Konferenzen und Programmkomitees trägt zur Verbreitung von Forschungsergebnissen ihrer Gruppe bei, die den akademischen Diskurs und somit die Richtungsbestimmung des Forschungsfeldes nachhaltig prägt.

Längerfristige Kooperationen

Politecnico di Milano, Universität Rom Tor Vergata, Universität Roma Tre, Universität Bergamo, Gran Sasso Science Institute in Italien; Linnaeus-Universität, Chalmers-Universität in Schweden; KU Leuven in Belgien; Universität York in Großbritannien; Universität Groningen in den Niederlanden; Universität Brasília in Brasilien.

A.1.4.2.3.3 Teilinstitut *Verlässlichkeit autonomer dynamischer Systeme* (KASTEL-VADS)

Leitende Person

Teilinstitutsleiter KASTEL-VADS: Prof. Dr. André Platzer

Kurzdarstellung

Das Teilinstitut KASTEL-VADS befasst sich mit den Prinzipien der Verlässlichkeit autonomer dynamischer Systeme, wie sie etwa für das Studium der Korrektheit von cyber-physischen Systemen (CPS) nötig sind. Ziel ist die Entwicklung von Techniken, mit denen man Computern anvertrauen kann, physikalische Prozesse zu steuern. Dies ist eine zentrale Herausforderung für die Computerunterstützung in lebenswichtigen Bereichen wie Automobil, Flugzeug und Zugsystemen sowie in der Robotik. Um dieses Ziel zu erreichen, betreibt KASTEL-VADS eine Forschungsgruppe:

- Alexander von Humboldt-Professur für Logik autonomer dynamischer Systeme (Prof. Dr. André Platzer).

Eine zentrale Rolle in der Theorie, Praxis und Anwendung spielen dabei Programmiersprachen mit Logiken, die Beweise als Korrektheitsgarantien liefern.

Mit der Genehmigung des Helmholtz-Pilotprogramms Kerninformatik übernahm KASTEL-VADS Mitte 2023 zeitweilig die zentrale Koordination des Programmes und stellt den Sprecher sowie Geschäftsführer.

Highlights der Forschung

- Zu den Ergebnissen gehören spannende grundlegende Erkenntnisse, die Logik, Spiele und Fixpunkte verbinden. [LICS'24]. Die Spiellogik mit Sabotage (GLs) wird als einfache und natürliche Erweiterung der Spiellogik von Parikh mit einem einzigen zusätzlichen Primitiv eingeführt, das es den Spielerinnen und Spielern ermöglicht, dem Gegner oder der Gegnerin Fallen zu stellen. GLs können zur Modellierung unendlicher Sabotagespiele verwendet werden, bei denen die Spielenden die Regeln während des Spiels ändern können. Im Gegensatz zur Spiellogik, die deutlich weniger ausdrucksstark ist, ist GLs genauso ausdrucksstark wie das modale μ -Kalkül. Dies offenbart eine enge Verbindung zwischen der verwickelten, verschachtelten Rekursion, die modalen Fixpunktlogiken innewohnt, und gegnerischen dynamischen Regeländerungen, die für Sabotage-Spiele charakteristisch sind. Ein natürlicher Hilbert-artiger Beweiskalkül für GLs wird vorgestellt und mit Hilfe von syntaktischen Äquivalenzreduktionen als vollständig bewiesen. Es folgt die Vollständigkeit einer einfachen Erweiterung von Parikhs Kalkül für Spiellogik, die das erste vollständige Kalkül für propositionale Spiellogik liefert, das in den 1980er Jahren eingeführt wurde.
- Andere Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf Verfeinerungsargumente zwischen cyber- physischen Systemen (CPS) beim Nachweis von Sicherheitseigenschaften für solche Systeme [IJCAR'24]. Verfeinerungen machen die Argumentation leichter zugänglich, insbesondere für CPS, da sie es ermöglichen, den Kernalgorithmus von seiner Implementierung zu abstrahieren. Die Korrektheit der Implementierung wird dadurch sichergestellt, dass bewiesen wird, dass die Implementierung den Kernalgorithmus verfeinert, zusammen mit der Korrektheit des Kernalgorithmus, die im Allgemeinen einfacher zu beweisen ist. Wir haben die differenzielle Verfeinerungslogik (dRL) untersucht, in der die Verfeinerung ein Objekt erster Klasse ist, was sie aussagekräftig genug macht, um von Verfeinerungen zu sprechen, die nur unter bestimmten Bedingungen gelten. dRL ist eine Erweiterung der differenziellen dynamischen Logik dL, die für die Verifikation hybrider Programme verwendet und im Theorembeweiser KeYmaera X implementiert wird. Die neuen Erkenntnisse untersuchen die einheitliche Substitution, um die Argumentation auf einfache, nicht-schematische Aspekte zu konzentrieren, was der Schlüssel für die geringe Größe des Solidität-kritischen Kerns von KeYmaera X ist.

Strategische Ereignisse

Das Helmholtz Pilotprogramm Kerninformatik am KIT (KiKIT) konnte erfolgreich eingeworben und gestartet werden und wurde im Rahmen der Helmholtz-Leuchtturinitiative in die kompetitive Endauswahl aufgenommen. Ziel des Pilotprogramms ist die Etablierung von Grundlagenforschung an der Schnittstelle von Informatik und Mathematik in den Bereichen des Algorithmen- und Software-Engineerings, künstlicher Intelligenz und Hardwaredesigns im Rahmen der Helmholtz-Gemeinschaft. Die Forschungsergebnisse des Teilinstituts KASTEL-VADS sind synergistische Ergebnisse der Alexander von Humboldt-Professur, des DFG SFB Convide, und von KiKIT.

Längerfristige Kooperationen

Prof. Dr. Platzer arbeitet weiterhin intensiv mit seiner Gruppe am Logical Systems Lab der Carnegie Mellon University sowie mit seinem Doktoranden an der Ludwig-Maximilians-Universität München sowie seinem Kollegen an der DePaul University zusammen. Ein Teil seiner Forschung fand in einem gemeinsamen Federal Railroad Administration (FRA) Projekt mit Siemens statt.

A.1.4.3 Bereich III – Maschinenbau und Elektrotechnik

A.1.4.3.1 *Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI)*

Leitende Person:

Institutsleiter: Prof. Dr. Veit Hagenmeyer

Kurzdarstellung

Das Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI) betreibt Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet innovativer, anwendungsorientierter Informations-, Automatisierungs- und Systemtechnik für zukunftsfähige Energiesysteme sowie komplexe Industrie- und Laborprozesse. Die F&E-Vorhaben umfassen alle Entwicklungsphasen vom Konzeptentwurf bis zur Prototypenherstellung und praktischen Erprobung und beinhalten neben der Systemrealisierung auch die Entwicklung neuartiger Informatik- und Automatisierungsmethoden und -werkzeuge, die im Rahmen der Systemherstellung eingesetzt und weiterentwickelt werden.

Das Institut ist im Rahmen der programmorientierten Förderung PoF IV der Helmholtz-Gemeinschaft in zwei Forschungsbereichen aktiv: Helmholtz Energy und Helmholtz Information.

Helmholtz Energy:

- Programm Energy System Design (ESD),
Topic 2 „Digitalization and system technology“

Helmholtz Information:

- Programm Material Systems Engineering (MSE),
Topic 1 „Functionality by Information-guided Design: from Molecular Concepts to Materials“,
Topic 2 „Optics & Photonics: Materials, Devices, and Systems“
- Programm Natural, Artificial and Cognitive Information Processing (NACIP),
Topic 4 „Molecular and Cellular Information Processing“,
- Programm Engineering Digital Futures (EDF),
Topic „Engineering Secure Systems“ (IAI-Arbeitsgruppe in KASTEL)

Das IAI ist am Aufbau, Betrieb und der Weiterentwicklung des Energy Lab am KIT beteiligt. Neben dem Smart Energy System Simulation and Control Center (SEnSSiCC) mit seinen Simulationslaboren und dem Experimentierfeld gehören zum IAI-Teil das Reallabor „Living Lab Energy Campus“ (LLEC) und das Cyber-Security-Lab „Engineering Security for Energy Systems“. Diese Arbeiten werden durch Experimente im realitätsnahen Laborumfeld des „KASTEL Security Lab Energy“ ergänzt.

Der Beitrag des IAI im Programm ESD zu den Arbeiten im FB Energie liegt in der systemischen Betrachtung des Energiesystems der Zukunft. Die zukünftig erforderliche Kopplung der unterschiedlichen Energiesektoren und die Fluktuation der Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen stellt eine enorme Herausforderung für die Steuerung und Regelung des Energiesystems der Zukunft dar. Die Arbeiten am IAI liefern Lösungen für die systemtechnologischen Herausforderungen und den digitalen Umbau hin zu einem integrierten und sektorgekoppelten Energiesystem. Es werden dafür Methoden, Modelle und Werkzeuge für Design, Betrieb und Regelung eines integrierten, dezentralen Energiesystems erforscht. Die technische Umsetzbarkeit der vielfältigen Hardware- und Software-Lösungen wird direkt in intelligenten Energiesystemlaboren und Infrastrukturen getestet und integriert. Dies unter Einsatz von Methoden

der Künstlichen Intelligenz (KI), um Erklärbarkeit, Vorhersage und Systemidentifikation in Bezug auf das Energiesystem zu ermöglichen. Wo vertraglich zulässig, werden die Kriterien der Helmholtz Open-X Initiative erfüllt, sodass die erarbeiteten Lösungen auch anderen Forschungseinrichtungen zugänglich werden.

Die Arbeitsgebiete in ESD umfassen:

- die Stromnetz-Modellierung und -Simulation, die die gesamte Bandbreite und Spannungsebenen vom Europäischen Verbundnetz bis hin zum Niederspannungsnetz in Wohnquartieren umfasst,
- den Aufbau und Betrieb von „Smart Areas“ inkl. Bereitstellung von validierten Betriebsdaten zum Scheduling und zur Steuerung der Anlagen als Grundlage für den optimierten Betrieb,
- die Flexibilisierung und Optimierung energieintensiver industrieller Prozesse,
- die Entwicklung von Methoden zur Erkennung und Unterbrechung realistischer Cyberangriffe auf Energiesysteme über die vollständige Angriffskette hinweg inkl. der Risikobewertung der Auswirkungen auf die kritische Infrastruktur,
- Arbeiten zur Dekarbonisierung und Flexibilisierung von Recyclingprozessen „Energy Transition and Circular Economy“ (Abschluss Innopoolprojekt),
- weitere Forschungsaktivitäten im Bereich Sektorkopplung, Optimierung, „Forecasting“, Netzstabilität, etc. innerhalb ESD und in komplementären Projekten (Förderprojekte, Industrieprojekte).

Im Programm MSE von Helmholtz Information entwickelt das IAI Prozesse für die digitale und additive Fertigung, einschließlich modellbasierter Simulationsverfahren und Algorithmik zur Automatisierung. Ein Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung nachhaltiger und umweltfreundlicher Materialien und Prozesse für den Druck optoelektronischer Bauteile, der elektrischen Kontaktierung elektrooptischer Systeme und deren Anwendung in der Hochfrequenztechnik. Zur Umsetzung komplexer elektronischer und photonischer Systeme mit neuartigen funktionalen Nanomaterialien werden „cloud“-basierte Softwarearchitekturen mit niederschweligen Zugängen zu Hochleistungsrechenarchitekturen für die informations- und datengetriebene Automatisierung hochauflösender 2D- und 3D-Druck-, „Postprocessing“- , Montage- und „Packaging“-Verfahren entwickelt. Es kommen KI-Methoden zur Anwendung, damit vollautomatische Labore z.B. auch in der Batterieforschung zu realisiert werden können.

Die Arbeitsgebiete in MSE umfassen:

- die Modellbildung und Simulation für digitale Zwillinge von digitalen, additiven Fertigungsverfahren,
- die Erarbeitung neuartiger Aufbau- und Verbindungsverfahren und Kapselungsverfahren,
- die Entwicklung von Verfahren zur optischen Inspektion und Aufklärung der 3D-Nanostruktur,
- die Entwicklung und Weitergabe von Algorithmen zur Auswertung automatisiert generierter Messungen bzw. Daten in 1D, 2D und 3D.

Im Programm NACIP werden KI-basierte Segmentierungs- und Trackingalgorithmen inkl. der zugehörigen „Open Source“-Implementierungen entwickelt, ergänzt durch robotergestützte „Screening“-Verfahren.

Die Arbeitsgebiete in NACIP umfassen:

- die Entwicklung von Verfahren zur Bewegungsanalyse von Zebrafärbungen,
- KI-basierte Verfahren zu Organoiden, stammzellbasierten Systemen, Zellinteraktionen und zum Bakterienwachstum,
- die Entwicklung von Hardwaresystemen und Softwareverfahren zur Insektenidentifikation.

Highlights der Forschung

- Erfolgreiche Inbetriebnahme einer neuartigen Power-to-Methanol-Container-Anlage zusammen mit dem Institut für Mikroverfahrenstechnik (IMVT) des KIT im Energy Lab gefolgt von einem seit Herbst 2024 laufenden Test im Klärwerk Mannheim unter realen Bedingungen.
- Bereitstellung einer „Co-Simulations-Demoplattform“ im Kopernikusprojekt ENSURE (Phase 3) zusammen mit Instituten der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen und der RWTH Aachen. Diese Plattform verknüpft Netzsimulationen, Co-Simulationen und Hardware-in-the-Loop Simulationen der beteiligten Partner und soll über das Projektende hinaus der Forschung und der Industrie zur Verfügung stehen.
- Bereitstellung des Softwarepakets KAI DA zum laborübergreifenden Einsatz von KI in bildbasierten Problemfeldern.

Strategische Ereignisse

- Beiträge zur VDI Expertenempfehlung 4603 Blatt 3 „IT-Sicherheit und Informationssicherheit für Betriebsmanagementsysteme in der Energiewirtschaft“.
- Etablierung einer Kooperation mit ENTSO-E, Brüssel (Europäische Übertragungsnetzbetreiber), um ein Netzmodell Europa mit transienter Dynamik zu entwickeln.
- Mitorganisation des Workshops EnergySP zur Cybersicherheit in Energiesystemen (im Rahmen der ACM e-energy 2025).
- Einbindung von Prof. Dr. Gerardo Hernandez-Sosa (Lichttechnisches Institut des KIT und Innovationlab Heidelberg) in die Arbeiten im Programm MSE.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

APG (Austrian Power Grid), A; Bruker GmbH, D; CRH Opterra, D; E.G.O. Elektro-Gerätebau GmbH, D; EnBW Energie Baden-Württemberg AG, D; ENTSO-E, BE; Électricité de France (EDF), F; Fichtner IT GmbH, D; Hitachi Energy, D; InnoCharge, D; InnovationLab GmbH, D; Netze BW GmbH, D; Notion GmbH, D; Quantica GmbH, D; Siemens AG, D; Siemens Energy, D; Stadtwerke Bruchsal, D; Stadtwerke Karlsruhe, D; TenneT TSO GmbH, D; TransnetBW GmbH, D; vialytics GmbH, D.

Hochschulen

EPFL Lausanne, CH; Friedrich-Alexander-Universität Nürnberg-Erlangen, D; RWTH Aachen, D; Universität Gustave Eiffel, F; Universität Heidelberg, D; Singapore University of Technology and Design (SUTD), SG; Universitätsaugenklinik Rostock, D; Technische Hochschule Ulm, D; Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), D; University of California, Berkeley, USA; University of Illinois at Urbana-Champaign, USA; University of North Carolina Charlotte (UNCC), USA; EPIC-Center, USA; Dänisch Technische Universität, DK; Universität St. Gallen, CH; University Waterloo, CA; University of Cambridge, UK; Technische Universität Darmstadt, D; Universidad Politécnica de Madrid, E; University of Pretoria, ZA.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Deutsches Krebsforschungszentrum DKFZ, D; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, D; EIFER-European Institute for Energy Research, DE & F; Forschungszentrum Informatik FZI, D; Forschungszentrum Jülich, D; Fraunhofer Institut IOSB, D; Helmholtz-Zentrum Hereon, D; Museum für Naturkunde, Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung, D; National Renewable Energy Laboratory (NREL), USA; OFFIS-Institut für Informatik Oldenburg, D; Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), USA; Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (PIK), D; AIT (Austrian Institute of Technology), A; Umweltforschungszentrum Leipzig, D.

A.1.4.3.2 *Institut für Angewandte Materialien (IAM)*

Sprecher der kollegialen Institutsleitung: Prof. Dr. mont. Christoph Kirchlechner

A.1.4.3.2.1 *Teilinstitut Angewandte Werkstoffphysik (IAM-AWP)*

Leitende Person

Teilinstitutsleiter: Prof. Dr. Hans Jürgen Seifert

Kurzdarstellung

Das IAM-AWP unter der Leitung von Prof. Dr. Hans Jürgen Seifert erforscht und entwickelt innovative metallische und nichtmetallische Funktions- und Strukturwerkstoffe sowie Verbundwerkstoffe. Im Mittelpunkt stehen die Werkstoffmodellierung sowie Fragen zu Struktur- und Eigenschaftsbeziehungen sowohl für Bulk- als auch für Dünnschichtmaterialien. Die Aktivitäten sind in die Helmholtz-Programme Fusion, Nuclear Waste Management, Safety and Radiation Research (NUSAFE) und Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET) von Helmholtz Energy sowie in das Programm Materials Systems Engineering (MSE) von Helmholtz Information mit der Karlsruhe Nano Micro Facility (KNMF) eingebettet. Darüber hinaus werden Forschungsprojekte bearbeitet und koordiniert, die von nationalen Trägern (Land Baden-Württemberg, DFG, BMBF, BMWK, BMUV), der Europäischen Union sowie Industriepartnern gefördert werden. Das IAM-AWP ist über mehrere multilaterale Kooperationen auch

programmübergreifend vernetzt. Es ist durch Forschung und Lehre an den KIT-Fakultäten Maschinenbau sowie Elektrotechnik und Informationstechnik umfangreich in die Universitätsaufgabe des KIT eingebunden.

Im Forschungsbereich Helmholtz Energy werden systemspezifische Strukturwerkstoffe für hochbelastbare Komponenten in der Fusionstechnologie und für solarthermische Kraftwerke auf Basis von 9-14 % Cr-Stählen, oxiddispersionsgehärteten ODS-Legierungen und Refraktärlegierungen erforscht (Helmholtz-Programme Fusion, MTET). Im Helmholtz-Programm MTET werden mechanische Eigenschaften und die Korrosionsresistenz austenitischer Stähle in flüssigen Metallen untersucht. Im Programm Fusion hat die am Teilinstitut entwickelte Herstellungsrouten der (ODS) ferritisch-martensitischen Stähle zu einer wesentlichen Erhöhung der Einsatztemperaturen geführt. Insbesondere die Duktilisierung des Refraktärmetalls Wolfram wird im Rahmen des europäischen Projekts EUROFusion untersucht. Im Feld Großkomponenten für das internationale Fusionsexperiment ITER werden Mikrowellen-Einkopplungseinheiten entwickelt. Des Weiteren werden Torusfenster basierend auf künstlich erzeugten Diamantscheiben entwickelt, die eine Schlüsseltechnologie für ITER und Folgeanlagen darstellen. Im Programm NUSAFE werden wichtige Beiträge zum Hochtemperaturverhalten von in Kernkraftwerken eingesetzten Materialien bei Betriebs- und Störfallbedingungen geleistet. Die Mitarbeitenden des IAM-AWP beteiligten sich hier aktiv und verantwortlich in verschiedenen internationalen Kooperationsprogrammen.

In den Helmholtz-Programmen MTET, MSE und in DFG-geförderten Projekten bearbeitet das IAM-AWP materialspezifische Fragen in den Themenfeldern Dünnschichttechnologie und Lasertechnologie sowie Thermodynamik und Thermophysik. Mit den Forschungsgebieten Thermodynamik und Thermophysik der Werkstoffe setzt das IAM-AWP Schwerpunkte, die auch die Untersuchung funktioneller Komponenten der Energietechnik z.B. von Lithium-Ionen-Batterien umfassen. Im Programm MTET wird auch die elektrokatalytische Wandlung von CO₂ zu Treibstoffen und Chemikalien sowie die Erzeugung von solarem Wasserstoff mittels Hochtemperatur-Festoxid-Elektrolysezellen (SOEC) untersucht.

Die Arbeiten des Instituts in den Programmen werden durch diverse DFG-Vorhaben, BMBF- und EU-Projekte sowie direkte Industriekooperationen auf den Gebieten der Grundlagenforschung, der Materialentwicklung sowie des nachhaltigen Industrietransfers erfolgreich strategisch verstärkt.

Highlights der Forschung

- Das 2022 gestartete KIT-BOR60-Projekt mit einem Gesamtbudget von über 14 Mio. Euro hat zum Ziel, alle konstruktionsrelevanten Werkstoffeigenschaften (Festigkeit, Kriechen, Ermüdung, Bruchmechanik, Kerbschlag, Schwellen, Härte) des Referenzwerkstoffs EUROFER97 – ein am KIT entwickelter niedrig-aktivierender 9Cr-1W-Stahl – in zwei extremen Zuständen (maximale Duktilität und maximale Festigkeit) nach Neutronenbestrahlung zu ermitteln. Die Proben werden bei der unteren (325 °C) und der höchsten Betriebstemperatur (550 °C) eines Fusionskraftwerks bestrahlt. Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass bei 550 °C nach einer Strahlenschädigung von 20 dpa keine Entfestigung auftritt. Zudem konnte erstmals das In-situ-Bestrahlungskriechen der EUROFER97-Legierung quantifiziert werden. Die Ergebnisse dieses weltweit einzigartigen Projekts werden entscheidende Erkenntnisse zur Strahlenresistenz des EUROFER97-Stahls liefern und einen wichtigen Beitrag zur Konstruktion und Zulassung zukünftiger Fusionskraftwerke leisten.
- Entwicklung von ECRH-Mikrowellen-Launchern für den Fusionsreaktor DEMO sowie für die Volumetric Neutron Source (VNS). Charakterisierung der Hochfrequenzeigenschaften (dielektrische Verluste im Mikrowellenbetrieb der ECRH) aller in ITER eingesetzten Torus-

Diamantfenster (Qualifikation). Im Rahmen der Diamantcharakterisierung werden Spannungs- und Defektanalysen in CVD und SC Diamant festkörperphysikalisch untersucht zur Verbesserung der Mikrowellenfenster am Torus und in den Gyrotrons sowie zur Entwicklung neuer Detektoren für die Plasmadiagnostik.

- Quantitative Charakterisierung der Wärmebildung, der Alterung und des thermischen Durchgehens bis zur Entflammung und Explosion von Lithium- und Natrium-Batterien. Hierzu werden modernste kalorimetrische und werkstoffanalytische Untersuchungsmethoden kombiniert eingesetzt. Die wesentlichen Reaktionsmechanismen bei den genannten Vorgängen wurden aufgeklärt. Durch thermodynamische Modellierungen und Rechnungen mit CALPHAD-Methoden konnten die analytischen Beschreibungen der Freien Enthalpie-Funktionen und weiterer thermodynamischer Eigenschaften erstellt werden. Die anwendungsrelevanten Phasendiagramme und Dampfdruckkurven für Elektrolytsysteme und Aktivmaterialien wurden berechnet.

Längerfristige Kooperationen (Beschränken Sie sich ggf. auf die wichtigsten)

Wirtschaft

BMW AG, Mercedes-Benz AG, St. Gobain Performance Plastics Biolink GmbH Waakirchen, Pulsar Photonics GmbH Herzogenrath, EAS Batteries GmbH Nordhausen, MOEWE Optical Solutions GmbH Mittweida, EdgeWave GmbH (EDGE) Würselen, Custom Cells GmbH Tübingen, Zoz GmbH Wenden, Diamond Materials GmbH Freiburg, KBHF GmbH Karlsruhe, SAFT Frankreich, ARKEMA S.A. Frankreich, Sovema Group S.p.A. Italien, Pipistrel Slowenien, Westinghouse USA, EdF Frankreich, FRAMATOME Frankreich, Ulba Metallurgical Plant Kazakhstan, NGK Insulators Ltd. Japan, Materion Corp. USA.

Hochschulen

Justus-Liebig-Univ. Gießen, Univ. Ulm, TU Bergakademie Freiberg, Univ. des Saarlandes Saarbrücken, Univ. Münster MEET, Univ. Duisburg-Essen, TU Ilmenau, Univ. Kaiserslautern, Central South Univ. PR China, Tianjin Univ. China, Changchun Univ. of Science and Technology PR China, Univ. of Science and Technology Beijing PR China, UNIFESP São Paulo, IFSP São Paulo Brasilien, Univ. of Warwick UK, Aarhus Univ. Dänemark, TU Wien, National Formosa Univ. Taiwan, Königliche Techn. Hochschule Stockholm Schweden, Univ. of Helsinki, Finnland.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), HIU Ulm, DECHEMA-Forschungsinstitut, Frankfurt a.M., Forschungszentrum Jülich (FZJ), Fraunhofer-Institut für Lasertechnik Aachen, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT Pfinztal, GRS gGmbH Garching, Austrian Institute of Technology, CIDETEC Spanien, RISE IVF AB Schweden, CNRS Orléans Frankreich, ORNL USA, INL USA, CEIT Spanien, JRC Petten, Niederlande, CEA Frankreich, IRSN Frankreich, CNL Kanada, PSI Schweiz, HUN-REN Ungarn, CCFE UK, ENEA Italien, QST Japan.

A.1.4.3.2 Teilinstitut Energiespeichersysteme (IAM-ESS)

Leitende Person

Teilinstitutsleiter: Prof. Dr. Helmut Ehrenberg

Kurzdarstellung

Das IAM-ESS unter der Leitung von Prof. Dr. Helmut Ehrenberg beschäftigt sich primär mit der Entwicklung, Herstellung und Charakterisierung neuartiger Materialien für elektrochemische Energiespeicher, z.B. für Li-Ionen-Batterien und Post-Lithium-Systeme. Die Forschung am IAM-ESS reicht von der Etablierung neuer Materialkonzepte, über die Aufklärung von Funktions- und Degradationsmechanismen bis hin zur Hochskalierung und zur Integration in Anwendungen. Die Kompetenzfelder und Arbeitsschwerpunkte sind in Arbeitsgruppen zusammengefasst: „Kohlenstoffbasierte Materialien“, „Entwicklung von Streumethoden zur Materialcharakterisierung“, „Funktionelle Kompositmaterialien“, „Neuartige Materialkonzepte“, „Elektrolyte und elektrochemische Methoden“, „Grenzflächenanalytik“, „Synthese und keramische Pulvertechnologie“, „Elektrodenfertigung“, „Zellfertigung und Zelltests“, und „Fusionskeramik“. Die Arbeiten des IAM-ESS sind langfristig in den Helmholtz-Programmen Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET) – Topic „Elektrochemische Energiespeicher“ und Fusion sowie im Programm Materials Systems Engineering (MSE) verankert.

Das Institut verfügt über die materialwissenschaftliche Expertise, Prozess-Know-how und die Infrastruktur für die Synthese von Aktivmaterialien für Batterien in Mengen bis zu 10 kg. Die Entwicklung und Herstellung von Elektroden erfolgt vom Labor- bis zum Pilotmaßstab, sowohl für lösemittelbasierte Verfahren als auch für trockene Prozesse. Zellen werden von der Knopfzellgröße bis hin zu großformatigen Pouchzellen (30 Ah) mit hoher Zuverlässigkeit gefertigt. Für die Zellcharakterisierung steht eine umfassende Palette an modernsten Geräten und Instrumenten für die Durchführung von Experimenten, Synthesen und detaillierten Analysen verschiedener Materialien zur Verfügung. Dazu gehört auch die Möglichkeit, elektrochemische Messungen durchzuführen, um wertvolle Erkenntnisse über die Leistungsmerkmale von Batterien wie Kapazität, Spannungsprofile, Zyklenfestigkeit und Innenwiderstand zu gewinnen. Dabei wird ein großer Längenbereich von der mikrokristallinen Struktur der Materialien über ihre Grenzflächen bis hin zu ganzen Komponenten abgedeckt. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf In-situ- und In-operando- sowie Post-mortem-Analysen. Diese ermöglichen Einblicke in die während der Speicherung ablaufenden Prozesse und tragen daher maßgeblich zu deren Verständnis bei. Dabei werden Techniken wie Röntgenbeugung (X-ray diffraction, XRD), Rasterelektronenmikroskopie (Scanning Electron Microscopy, SEM) und Transmissionselektronenmikroskopie (Transmission Electron Microscopy, TEM) eingesetzt, um strukturelle und morphologische Eigenschaften von Batteriematerialien in unterschiedlichen Auflösungen zu untersuchen. Darüber hinaus setzt das IAM-ESS Charakterisierungsmethoden zur Untersuchung der chemischen Zusammensetzung und der Oberflächeneigenschaften von Batteriekomponenten ein, wie die Röntgenphotoelektronenspektroskopie (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS), die optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppelten Plasma (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy, ICP-OES), energiedispersive Röntgenspektroskopie (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy, EDX) und Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (Fourier-Transform InfraRed Spectroscopy, FTIR). Lithiumhaltige Materialien sind auch der Schwerpunkt der Materialentwicklungsarbeiten für die Fusionsforschung und Forschungsaktivitäten am IAM-ESS: Lithiumhaltige Keramiken werden als mögliche Tritiumquelle zukünftiger Fusionsreaktoren entwickelt.

Highlight der Forschung

Von Pulver zu Pouch-Zellen – Natrium-Ionen-Batterien mit einer Lebensdauer von über 1.500 Zyklen: Ein $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3/\text{C}$ Komposit (NVP/C) wurde als langfristig stabiles Material für Natrium-Ionen-Batterien entwickelt, das im Vergleich zu Hard Carbon eine Zyklenstabilität von 1.500 Zyklen mit einer Restkapazität von 87 % in Vollzellen aufweist. Die Degradation, die Zyklenstabilität, die Morphologie des zyklisch gealterten Materials und der Einfluss der Alterung auf die Wärmeentwicklung während des Zyklus wurden eingehend untersucht. Der Syntheseprozess wurde so skaliert, dass die Verfügbarkeit der NVP/C-Kathodenmaterialien im Kilogramm-Maßstab die Realisierung eines Referenzsystems auf Material-, Elektroden- und sogar Mehrschicht-Vollzellenebene (TRL 4) ermöglicht. In Kombination mit anderen Elektrodenmaterialien kann dieses intrinsisch stabile Material sowohl für Anode als auch für Kathode verwendet werden. Es zeigt klar definierte Plateaus und eignet sich daher auch als ideales Referenzelektrodenmaterial für die Forschung an Natrium-Ionen-Batterien

Strategische Ereignisse

Am IAM-ESS konnten die Berufungsverfahren für zwei neue Professuren abgeschlossen werden: Für die W3-Professur für „Grenzflächenprozesse“ (Bereich 3, KIT-Fakultät für Maschinenbau) konnte Prof. Dr. Anass Benayad von der Französische Kommission für Atomenergie und alternative Energien (CEA) gewonnen werden. Prof. Dr. Benayad wird die Leitung der Abteilung Grenzflächenanalytik übernehmen und seinen Dienst zum 1. April 2025 antreten. Für die W3-Professur für „Materialien für die nachhaltige Speicherung elektrochemischer Energie“ (KIT-Fakultät für Chemie und Biowissenschaften) konnte Prof. Dr. Daria Mikhailova vom Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) gewonnen werden. Prof. Dr. Mikhailova wird voraussichtlich ihren Dienst am 1. Mai 2025 antreten und die Leitung der Abteilung „Neuartige Materialkonzepte“ (ehemals „Materialsynthese für Energiematerialien“) übernehmen.

Längerfristige Kooperationen

Nationale Verbundprojekte:

BMBF- Kompetenzcluster „FestBatt2“, BMBF-Kompetenzcluster „Analytik und Qualitätssicherung (AQua)“, BMBF-Kompetenzcluster „Intelligente Zellproduktion (InZePro)“, BMWK-Projekt „Entwicklung eines ganzheitlichen und nachhaltigen Recyclingansatzes für Lithium-Ionen-Batterien – LiBinfinity“, BMBF-Projekt „InMicroBat - Intelligente, modular adaptive Microenvironments für eine effizientere Batteriezellfertigung“, BMBF-Projekt „ENTISE – Entwicklung der Natrium-Ionen-Technologie für Industriell Skalierbare Energiespeicher“, Kompetenznetzwerk CELEST.

Europäische und internationale Verbundprojekte:

EU-Projekt RHINOCEROS, EU-Projekt LICORNE, NSERC/DFG - Projekt „SUSTAIN – Prussian White for Sustainable Separation and Purification Technologies“.

Wirtschaft

EnBW, BMW, Bruker BioSpin, Daimler und Daimler Truck – Die Kooperationen umfassen neben den oben aufgeführten Forschungsprojekten auch die Betreuung von fünf Promotionen, die industriefinanziert werden (EnBW: 1, BMW: 1, Mercedes Benz AG: 2, VW: 1).

Weitere Partner aus der Wirtschaft: Exyte Technology GmbH, LICULAR GmbH, Daimler Truck AG, EnBW.

Hochschulen

Universität Ulm, Justus-Liebig-Universität Gießen (Exzellenzcluster POLiS); internationales Netzwerk und wissenschaftliche Synergien über zahlreiche gastwissenschaftliche Aufenthalte, u.a. mit Université Mohammed VI Polytechnique (Marokko), University of Sydney (Australien), Covenant University (Nigeria) und die Ivan Franko National University Lviv (Ukraine).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR), Forschungszentrum Jülich (FZJ), Helmholtz Zentrum Berlin (HZB), Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW).

A.1.4.3.2.3 Teilinstitut Werkstoff- und Grenzflächenmechanik (IAM-MMI)

Leitende Person

Teilinstitutsleiter: Prof. Dr. Christoph Kirchlechner

Kurzdarstellung

Das Institut für Angewandte Materialien – Werkstoff- und Grenzflächenmechanik (engl. „Mechanics of Materials and Interfaces“ IAM-MMI) untersucht grundlegende Mechanismen der Werkstoffschädigung und des Werkstoffversagens. Im Fokus stehen neben Strukturmaterialien insbesondere Funktionswerkstoffe, deren mechanische Zuverlässigkeit im Zuge der Energiewende und für die Informationstechnologie von enormer gesellschaftlicher Relevanz sind. Das Mechanismen-basierte Verständnis der Werkstoffdegradation erfordert einen skalenübergreifenden Werkzeugkasten. Dieser besteht aus mechanischen und mikrostrukturellen Charakterisierungsverfahren, welche mit multiphysikalischer Modellierung wie auch modernen Verfahren der Datenanalyse kombiniert werden, um gezielt Eigenschaften von Materialien und Materialsystemen zu optimieren. Um das Verhalten einzelner Kristallbaufehler quantitativ zu verstehen, werden Proben mit Abmessungen im Nano- und Mikrometerbereich strukturiert und anschließend mit In-situ-Charakterisierungsmethoden geprüft. Entsprechend werden nicht nur die mechanischen Triebkräfte einzelner mikrostruktureller Mechanismen gemessen, sondern auch der Mechanismus selbst – beispielsweise im Elektronenmikroskop oder an Synchrotron Strahllinien – beobachtet. Durch den Einsatz von fokussierten Ionenstrahlen (FIB), Laserablation und mechanischer Fertigung gelingt der Brückenschlag von der Nano- bis zur Makroebene.

Von Interesse sind Funktionsmaterialien, wie unter anderem Batteriewerkstoffe (Helmholtz-Energy, MTET), insbesondere Elektrodenmaterialien, sowie gedruckte Materialverbunde (Helmholtz Information, MSE). Die chemo- und elektro-mechanischen Eigenschaften dieser Materialien werden experimentell hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit charakterisiert. Für skalenübergreifende Materialsimulationen werden kontinuumsmechanische und mikromechanische Simulationsmethoden sowie Phasenfeld-Modellierung eingesetzt.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt des IAM-MMI ist die Charakterisierung, Modellierung und Qualifizierung von Werkstoffen und Werkstoffverbunden für die Fusionstechnologie (Helmholtz Energy, Fusion). Dabei wird das nichtlineare Verformungs- und Schädigungsverhalten unter den extremen Belastungsbedingungen untersucht, mittels beobachteter Mechanismen interpretiert und mit geeigneten Stoffgesetzen beschrieben. Ziel ist es, zuverlässige Auslegungsregeln für die aus den betrachteten Werkstoffen und Werkstoffverbunden gefertigten Bauteile abzuleiten. Die Expertise liegt dabei in der Handhabung radiotoxischer Materialien,

deren experimenteller Charakterisierung und der Modellierung ihrer Zuverlässigkeit. Die im Fusionsmateriallabor vorhandenen Möglichkeiten zur mechanischen Prüfung kombiniert mit der Expertise im Bereich der Probenpräparation, Mikrostruktur- und Elementanalytik hochradioaktiver und toxischer Proben mittels lichtoptischer Mikroskope und mittels Elektronenmikroskope stellen ein Alleinstellungsmerkmal unter den europäischen Heiße-Zellen-Laboren dar. Dabei kann das IAM-MMI auf eine langjährige Erfahrung in der Vorbereitung, Durchführung und Bewertung der Zuverlässigkeit unter Neutronenbestrahlung verweisen. Zusätzlich bietet die sichere Handhabung des radioaktiven Wasserstoffisotops Tritium neue Möglichkeiten bei der Untersuchung der Wasserstoffversprödung, wie sie in der ERC Consolidator Grant-geförderten Gruppe „Wasserstoff Mikromechanik“ untersucht wird.

Einen weiteren Forschungsschwerpunkt in Helmholtz Information (MSE) stellt die Additive Fertigung dar. Hierbei werden experimentelle Voraussetzungen für das generative Herstellen metallischer Probekörper geschaffen. Ferner werden biomechanische Gestaltungsprinzipien auf additiv hergestellte Bauteile übertragen. Dabei wird auf eine über Jahre aufgebaute Expertise im Bereich der Bionik und Biomechanik zurückgegriffen. Zusätzlich werden bionische Prinzipien für Oberflächenstrukturen analysiert und auf technische, tribologisch belastete Oberflächen übertragen.

Highlights der Forschung

- Identifikation von Mechanismen für Nukleation und Wachstum von Dendriten in Lithium-Ionen-Batterien in Form von Nadeln, Schlaufen und Büschen: Selbstdiffusion von Li als Oberflächendiffusion und Einbau an Defekten, bspw. am Fuß oder an durch Versetzungen erzeugten Knicken.
- Untersuchung der Auswirkungen von topologisch dicht gepackten (TCP) Phasen auf die plastische Verformung von Superlegierungen auf Ni-Basis. Diese Forschung liefert wertvolle Einblicke in die mikrostrukturelle Entwicklung von Superlegierungen auf Ni-Basis sowie ihre Rolle bei den Degradationsmechanismen und trägt zur Entwicklung zuverlässiger Materialien für Gasturbinen bei.
- Erfolgreiche Entwicklung einer Materialtheorie für ferritisch-martensitische Stähle unter Neutronenbestrahlung, die die Beschreibung ihres Verformungs-, Schädigungs- und Bruchverhaltens bei großen Deformationen in Abhängigkeit der Belastungsrate, der Mehrachsigkeit und der Bestrahlungsdosis ermöglicht. Die Theorie erlaubt, der allzu konservativen, auf Gleichmaßdehnung basierten Auslegungsregeln für hochbelastete Fusionsreaktorkomponenten zu lockern und sie durch sichere, auf Bruchdehnung basierte Kriterien zu ersetzen.

Strategische Ereignisse

Seit April 2024 leitet Dr. habil. Xufei Fang den ERC-Starting Grant „MECERDIS“ (2024-2029, 1,5 Mio. EUR). Er und sein Team wollen ein revolutionäres mechanisches Führungsdesign zusammen mit externen Feldern nutzen, um Versetzungen in Keramiken zu kontrollieren.

Der deutsche Beitrag zur International Fusion Materials Irradiation Facility – Demo Oriented Neutron Source (IFMIF-DONES), der internationalen Fusionsneutronenquelle zur Materialqualifizierung, wurde gemeinsam mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie DONES-Espana in einer Arbeitsgruppe konkretisiert. Dieser umfasst einerseits die Entwicklung und Lieferung wichtiger Komponenten als Sachleistung nach Granada (durch das Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik (INR) des KIT) und andererseits über die

nächsten ca. zehn Jahre die Weiterentwicklung und dann Bereitstellung eines Labors zur skalenübergreifenden Hochdurchsatz-Charakterisierung und Qualifizierung von dort bestrahlten Materialien (Fusionsmateriallabor im IAM-MMI).

In der Sitzung der Programmkommission Fusion am 10. Dezember 2024 wurde Prof. Dr. Kirchlechner einstimmig zum neuen Wissenschaftlichen Programmsprecher Fusion am KIT mit Wirkung ab dem 1. Januar 2025 gewählt. Das Amt soll von ihm bis zum Übergang in die POF V, bzw. bis zur Neubesetzung der Institutsleitung des INR wahrgenommen werden.

Im DFG-geförderten Transregio 188 „Schädigungskontrollierte Umformprozesse“ wird seit 2017 an der TU Dortmund, der RWTH Aachen und dem KIT ein tiefgreifendes Verständnis der umforminduzierten Schädigung aufgebaut. Dabei sollte die Schädigung quantitativ vorhergesagt und z.B. durch Lastpfadwechsel beeinflusst werden. Die dritte Förderphase wurde Ende 2024 bestätigt, wodurch der TRR188 für weitere vier Jahre finanziert ist.

Im neu gestarteten EU-Projekt NANO-S-MART untersuchen die Forschenden am IAM-MMI den Stoffkreislauf der Stahlproduktion, um mit intelligentem Materialdesign und geschlossenen Stoffkreisläufen die Verluste im Rohstoffverbrauch unserer Gesellschaft in Zukunft zu minimieren.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Airbus Operations GmbH, Robert Bosch GmbH, Carl Zeiss Microscopy GmbH, SEW Eurodrive GmbH, Kugeler Bimetal SA, Linde AMT Schluechtern GmbH, BASF, Framatome, Alleima

Hochschulen, TU Darmstadt, RWTH Aachen, TU Dortmund, Montanuniversität Leoben, TU Wien, University Roma Tre, University of Latvia, University of Oxford, University of Bologna, Hochschule Aalen, Hochschule Trier, École des Mines de Saint-Étienne, Université Grenoble Alpes, Université Paris-Saclay, University of Palermo, University of Malta, Shanghai Jiao Tong University, Osaka University, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), University of Sydney.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), Culham Centre for Fusion Engineering (CCFE), Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), Belgian Nuclear Research Center (SCK CEN), Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), Centre for Energy, Environmental and Technological Research (CIEMAT), Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA), Oak Ridge National Lab (ORNL), Max-Planck-Institut für Eisenforschung (MPIE), Erich Schmid Institut der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, National Centre for Metallurgical Research (CENIM-CSIC), Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), JRC Petten, Forschungszentrum Jülich (FZJ), Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR).

A.1.4.3.2.4 Teilinstitut Werkstoffkunde (IAM-WK)

Leitende Person

Teilinstitutsleiter: Prof. Dr. Martin Heilmaier

Kurzdarstellung

Das IAM-WK verfügt über breite methodische Kompetenzen in den Bereichen Herstellung und Verarbeitung, Gefüge und Struktur, Charakterisierung der mechanischen, thermischen und elektrochemischen Eigenschaften. Es bietet seinen Mitgliedern damit ein attraktives wissenschaftliches Umfeld und ausgezeichnete fachliche und persönliche Entwicklungsmöglichkeiten.

In der vierten Phase der programmorientierten Förderung wirkt das Institut mit seinen Arbeiten in Helmholtz Energy (Programme Materials and Technologies for the Energy Transition – MTET, Nuclear Fusion – Fusion) und Helmholtz Information (Programm Materials Systems Engineering – MSE) mit. Im Programm MTET fokussieren die Aktivitäten auf die Entwicklung neuer (metallischer) Hochtemperaturwerkstoffe, insbesondere für Gasturbinen und konzentrierte Solarthermie. Im MTET Innovationpoolprojekt „Solarer Wasserstoff, hochrein und komprimiert“ wird die Mikrostruktur neuartiger Elektrolyseure/Brennstoffzellen untersucht. Im Bereich Electrochemical Energy Storage beschäftigen sich die Forschenden mit der Entwicklung neuartiger Elektrolyte für Lithium-Hochvoltzellen sowie im Rahmen des Exzellenzclusters POLIS mit der Formulierung und Analytik von sicheren Elektrolyten für Na- und K-Ionen-Batterien. Im Programm Fusion fokussieren sich die Aktivitäten auf den 3D-Druck (Laser und Elektronenstrahl) von Kühlstrukturen aus Wolfram und CuCrZr. Durch die Kombination beider Druckverfahren wurden erfolgreich Bauteile im Direktdruck ohne zusätzlichen Fügeschritt hergestellt. Im Programm MSE steht die Entwicklung der Additiven Fertigung von Leichtbauteilen, hier aus der Titanlegierung Ti6Al4V, in Vordergrund. Die Herstellung mittels Materialextrusionsverfahren (MEX) konnte erfolgreich gezeigt werden und wird derzeit in Richtung Health Care und deren speziellen Anforderungen, z.B. im Bereich von Hüft- oder Dentalimplantaten, weiterentwickelt.

Highlights der Forschung

- Im Rahmen eines HeiKa Projekts, in dem das IAM-WK und die Medizinische Fakultät der Universität Heidelberg (Poliklinik für Kieferorthopädie) zusammenarbeiten, wurden die Prozesskette des 3D-Druck-Verfahrens der Materialextrusion entwickelt, um Dentalimplantate auf Zirkondioxid-Basis zu entwickeln. Neben den mechanischen Eigenschaften wurde auch die Reaktion des Knochenzellgewebes auf das Implantat untersucht (<https://www.heika-research.de/index.php/en/research/medical-technology-health-mth/untersuchungen-mittels-fff-3d-gedruckten-implantaten-aus>).
- Die institutsübergreifenden Forschungsarbeiten zu Elektroden von Brennstoffzellen im MTET-Innovationsprojekt wurde im Jahr 2024 ausgezeichnet (European Fuel Cell Forum EFCF 2024 in Luzern).

Strategische Ereignisse

Prof. Dr. M. Heilmaier wurde 2023 mit Amtszeit bis Ende 2024 zu einem der beiden Präsidenten der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM) gewählt, die national mit über 2.000 persönlichen Mitgliedern größte Interessenvertretung der Materialwissenschaft und Werkstoff-

technik. Es ist die Mission der DGM, den Technologie- und Wissenstransfer zwischen Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Unternehmen und internationalen Partnern zu fördern und ihren Mitgliedern das bestmögliche Netzwerk im Bereich der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik anzubieten.

Prof. Dr. A. Pundt wurde 2024 als Fachkollegiatin der Deutschen Forschungsgemeinschaft in das Fachkollegium „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“ gewählt.

Längerfristige Kooperationen

Hochschulen

TU Freiberg (Zusammenarbeit mit mehreren anderen Teilinstituten des IAM im Rahmen der DFG-geförderten Forschungsgruppe (FOR 3010) an multifunktionalen, grobkörnigen, refraktären Verbundwerkstoffen und Werkstoffverbunden für großvolumige Schlüsselbauteile in Hochtemperaturprozessen); Graduiertenkolleg 2561 (Materials Compounds from Composite Materials) unter der Sprecherschaft von Prof. Dr. M. Heilmaier und mit Beteiligung von TU Darmstadt und DFI Frankfurt; Mitglied im Exzellenzcluster POLIS, getragen vom KIT, dem Helmholtz-Institut Ulm, der Universität Ulm, dem ZSW Ulm und der Universität Gießen.

A.1.4.3.3 *Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik (IHM)*

Leitende Person:

Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. John Jelonnek

Kurzdarstellung

Das Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik (IHM) forscht und lehrt auf den Gebieten der Impuls- und Mikrowellentechnik bei hohen und höchsten Leistungen. Dazu gehören die Theorie und Praxis der Erzeugung hoher Energiedichten von Elektronenstrahlen, die Erzeugung hoher elektromagnetischer Felder und Wellen im Millimeterwellen- und sub-THz-Bereich sowie die Anwendung dieser Verfahren in der Energieerzeugung und -nutzung, in der Materialforschung und -bearbeitung sowie in den Umwelttechnologien. Das Institut gliedert sich in die Abteilung Hochleistungsimpulstechnik (Leitung: Prof. Dr. Georg Müller) und die Abteilung Hochleistungsmikrowellentechnik (kommissarischer Leitung: Prof. Dr.-Ing. John Jelonnek). Das Institut ist in die Helmholtz-Programme Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET), Fusion und Nuclear Waste Management, Safety and Radiation Research (NUSAFE) eingebunden.

Highlights der Forschung

Abteilung für Hochleistungsmikrowellentechnik:

- Zum ersten Mal wurde am FULGOR Teststand des KIT das 1 MW 105 GHz Gyrotron erfolgreich im Langpulsbetrieb bei Pulsen von mehreren Sekunden betrieben. Damit wurde die volle Funktionsfähigkeit von FULGOR bzgl. Langpulstests erfolgreich gezeigt.
- Das am KIT entwickelte und von Thales gebaute 140 GHz industrielle Gyrotron für W7-X (TH1507U) hat eine Weltrekordenergieabgabe von 1,3 MW bei einer Pulslänge von 6 Minuten erzielt.

- Zum ersten Mal wurde ein Mehrstufenkollektor auf einem Fusionsgyrotron montiert und an FULGOR in Betrieb genommen, erste Experimente wurden durchgeführt.
- Im Rahmen des Programms MTET beschäftigt sich das IHM mit Prozessen zur Aufspaltung von CO₂ mittels erneuerbarer Energien. Im Jahr 2024 konnte erstmals eine Konversion bis zu 40 % und eine Energieeffizienz von 45 % erzielt werden.

Abteilung für Hochleistungsimpulstechnik:

- Ein neuer Hochtemperaturteststand für kombinierte Korrosion/Erosionsversuche in flüssigem Blei wurde aufgebaut und in Betrieb genommen. Der Teststand erlaubt zukünftig Erosionsversuche in flüssigem Blei bis 650°C bei Relativgeschwindigkeiten > 10m/s.
- Bei einem Screening von ölbildenden Hefestämmen konnte erstmals eine Spezies identifiziert werden, die auf Reststoffen (Rohglyzerin, Abfallstoff aus der Biodieselproduktion) kultiviert, einen hohen Lipidgehalt (38 %dw) bildet, der mittels 2-MeTHF, einem nachhaltigen Lösemittel, sehr energieeffizient extrahiert werden kann.
- Erfolgreiche Entwicklung eines Schaltungskonzepts zum Betrieb einer hochkomplexen Myonenfalle am PSI. Die vorgeschlagene Lösung erlaubt eine präzise Ansteuerung von vier halben Helmholzspulen bei gleichzeitiger Unterdrückung von Durchschwingern/Restströmen nach dem Puls.

Strategische Ereignisse

Abteilung für Hochleistungsmikrowellentechnik:

- Mit dem Fusions-Startup Proxima Fusion und Diamond Materials wurde der BMBF Antrag „HeatQIS“ erfolgreich beim BMBF eingereicht. Vollantragstellung und Start des Projekts ist in 2025 vorgesehen
- Das Engineering des Reaktors für die Synthese Route 3 des eXplore Containers zur plasmaunterstützten Aktivierung von CO₂ inklusive einer O₂ Abtrennung wurde fertiggestellt. Der Reaktor befindet sich im Aufbau und soll Mitte 2025 in Betrieb gehen.

Abteilung für Hochleistungsimpulstechnik:

- Ein neuer Hochtemperaturteststand für kombinierte Korrosion/Erosionsversuche in flüssigem Blei wurde aufgebaut und in Betrieb genommen. Der Teststand erlaubt zukünftig Erosionsversuche in flüssigem Blei bis 650°C bei Relativgeschwindigkeiten > 10m/s.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Vötsch Industrietechnik GmbH, Reiskirchen (Entwicklung von Anlagen der HEPHAISTOS-Serie zur Materialprozesstechnik mit Mikrowellen); KSB (Entwicklung von Materialien für den Einsatz in Hochtemperaturwärmespeichern mit flüssigem Blei als Wärmeträgermedium).

Hochschulen

Mitglied im internationalen Konsortium „DEVELOPMENT OF HIGH POWER TERAHERTZ SCIENCE AND TECHNOLOGY“ unter der Leitung von FIR-FU, Japan; assoziiertes Mitglied im europäischen Fusion-EP Master Programm; National University of Australia (ANU - Weiterentwicklung von Na-gekühlten CSP Receivern und Wärmespeichern); Wuhan Universität, China (Weiterentwicklung von Flüssigmetallbatterien); Gründungsmitglied des International Bioelectric Consortium, Zusammenarbeit in Bioelektrik mit einer Vielzahl von Universitäten (Norfolk University, USA, Kumamoto University, Japan, und 15 weitere).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

IPP Greifswald (Upgrade des ECRH-Systems an Wendelstein W7-X, Greifswald); Europäischer Tokamak CEA/WEST (Entwicklung von 105 GHz 1 MW Gyrotrons); US Tokamak DIII-D (Entwicklung von 117,5 GHz 1 MW Gyrotron); Thales Electron Devices (TED), Paris, Frankreich (Entwicklung von Gyrotrons im Rahmen des europäischen Gyrotron-Konsortiums EGYC); Eurofusion WP HCD (Tasks Leader für die Gyrotronentwicklung); Proxima Fusion (Entwicklung von 240 GHz Gyrotrons); IPP, Garching, und IGVP, Universität Stuttgart (Entwicklung von Power-to-Molecules Technologien mit Hilfe atmosphärischer Mikrowellenplasmen); Fraunhofer FHR (Entwicklung eines innovativen Weltraumradars unter Verwendung von Hochleistungsmikrowellenquellen); CERN, DESY und PSI (Entwicklung von schnellen und flexiblen Pulsgeneratoren); CEA, Frankreich, SCK-CEN, Belgien, CIEMAT, Spanien, ENEA, Italien (Entwicklung von Flüssigmetallsystemen im Rahmen von Euratom EU-Projekten).

A.1.4.3.4 *Institut für Thermische Energietechnik und Sicherheit (ITES)*

Leitende Person:

Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Daniel Banuti

Kurzdarstellung

Das ITES ist vollständig in Helmholtz Energy integriert. Es befasst sich mit Fragestellungen der thermischen Energietechnik entlang der Achsen Wärme, Wasserstoff und Resilienz in allen Programmen. Die fachlichen Schwerpunkte liegen auf der Analyse und Beschreibung komplexer Thermofluidodynamik, inkl. Mehrphasen- und reaktiven Strömungen und der resilienten Infrastruktur. Die Arbeiten decken das Spektrum von physikalischen Grundlagen bis hin zu industrienahen Anwendungen ab.

Ziel im Programm Energy Systems Design (ESD) ist die Verbesserung der Resilienz einzelner Infrastrukturen oder Infrastruktur-Systeme. Dazu werden Verfahren zur Simulation, Analyse und Optimierung kritischer Infrastrukturen (z.B. Versorgungsnetze) untersucht. Internationale und interdisziplinäre Zusammenarbeit im Kontext urban resilienter Energieplanung führte zu einer Veröffentlichung in *Nature Sustainability* mit dem Titel „Sustainable Urban Transformations based on integrated Microgrid Designs“ (ITES war hier federführend).

Im Programm Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET) ist das ITES in mehreren Feldern aktiv, wie der Entwicklung von Flüssigmetall-basierten Wärmespeichern mit einer thermischen Kapazität von 100 kWh, Systemlösungen mit Wasserstoff als Energiespeicher oder der effizienten Nutzung geothermischer Energie mit modularen Niedertemperaturanlagen sowie der Wasseraufbereitung aus Niederenthalpie-Abwärme insbesondere für Elektrolyse und Lithium-Abtrennung.

Im Programm Nuclear Waste Management, Safety and Radiation Research (NUSAFE) werden Auslegungsstörfälle und auslegungsüberschreitende Störfälle für Leichtwasserreaktoren, aber auch für innovative Konzepte behandelt. Auch im Jahr 2024 leistete das KALLA grundlegende Beiträge zur Bewertung der sicheren Kühlbarkeit von flüssigmetallgekühlten innovativen kerntechnischen Systemen. Der Fokus der Untersuchungen lag auf thermohydraulischen Effekten in teilweise blockierten Stabbüdeln des Reaktorkerns.

Im Programm Fusion spielen in zukünftigen Fusionskraftwerken mit magnetischem Plasmaeinschluss flüssige Metalle als Brutmaterial und Kühlmittel eine wichtige Rolle, deren Wechselwirkung mit den starken magnetischen Feldern untersucht und Designkonzepte auf ihre Realisierbarkeit geprüft werden. Die Arbeiten sind im Europäischen Fusionsprogramm EUROfusion integriert und werden durch das Helmholtz-Programm Fusion koordiniert.

Highlights der Forschung

- Erfolgreiche Weiterentwicklung und Tests eines „Pressure Augmenting Converter“ als Basis einer kompressorlosen Gasturbine, mit erfolgreicher stabiler Drosselung zwischen 50 kW_{chem} und 500 kW_{chem} sowie Laufzeiten bis zu 90s (Zum Vergleich: DLR und TU Berlin <1s).
- Vergleich des Betriebsverhaltens verschiedener ATF-Materialien im Niederdruckkreislauf COSMOS-L mit eigens entwickelten Messverfahren zu Validierungsgrößen wie Siedekernstellendichte, Blasenablösedurchmesser und Blasenablösefrequenz.
- Mit einer Reihe von Veröffentlichungen zur flüssigmetallbasierten Methanpyrolyse und zur Synthese von technisch nutzbarem, klimaneutralem oder sogar klimapositivem festem Kohlenstoff aus CO₂ konnte das ITEP im Jahr 2024 seine internationale Führungsposition in diesen aktuellen Forschungsfeldern erneut unterstreichen.

Strategische Ereignisse

MPS: Abschluss der Inbetriebnahme und Beginn des Versuchsbetriebs am Hochdruck-Thermohydraulikkreislauf COSMOS-H.

MHD: Die von UCLA (USA) ans KIT überführte Anlage MaPLE wurde fertiggestellt. Mit der Anlage werden ab 2025 Experimente mit dem prototypischen Flüssigmetall Blei Lithium für Fusionsanwendungen durchgeführt.

RESIS: KI-unterstützte Integration von Energietechnologien in ein Smart Grid auf Basis des am ITES entwickelte Analyse Tool FRAMESS mit Reinforcement-Agenten. Kopplung von JRODOS mit FRAMESS. Kooperation mit SAP in Verbindung mit der Frage nach neuen KI-basierten Entscheidungsunterstützungssystemen zur Resilienz von kritischen Infrastrukturen.

KALLA: Stand bei der Hannovermesse des ITES-KALLA stellt strategische Entwicklungen von Pilot-Speicherexperimenten einem breiten Fachpublikum vor. Nominierung für die Endrunde des Innovationspreises NEO2024 der Technologieregion Karlsruhe für NECOC.

H2: Ernennung von Dr.-Ing. Thomas Jordan zum Vorstandsmitglied von EIFER EWIV. Gründung der wissenschaftlichen „diamond open“ Zeitschrift „Hydrogen Safety“. Gründung der Nationalen Allianz Wasserstoffsicherheit mit BAM, DVGU, GRS, PTB, Fraunhofer, FZJ.

EVT: Kooperation mit dem Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI) und dem Institut für Angewandte Materialien (IAM) des KIT zur Erfassung und Bewertung der Energieströme einer Spritzgussmaschine als vielversprechende Zusammenarbeit im EnergyLab.

Längerfristige Kooperationen

Das Institut unterhält zahlreiche wissenschaftliche Kontakte mit nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen. Traditionell besteht eine enge Zusammenarbeit mit Universitäten und eine starke Kooperation mit Bundes- und Landesbehörden. Studierenden an Universitäten, Fachhochschulen und Berufsakademien sowie kompetenten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus dem In- und Ausland wird Gelegenheit zur Mitarbeit an interessanten Entwicklungsaufgaben gegeben.

Wirtschaft

Daimler Trucks, KSB SE, FONDUIUM Gruppe, BASF, SAP, OECD-NEA, DECHEMA, Framatome GmbH, Siemens Energy AG, Stadtwerke München, Vulcan Energy, GOHL-KTK (ehem. Kühlturm Karlsruhe), Hydroisotop, BWG (Geothermische Beratung), Frenell, Impetro Automotive Engineering GmbH.

Hochschulen

Politecnico di Milano (I), Montanuniversität Leoben (A), University of Birmingham (UK), Universität Hannover, Universität Stuttgart, Universität Danzig (Polen), Hochschule Merseburg (D), CTU Prag (Tschechien), Universität Waterloo (USA, MInternship-Programm), Instituto Tecnológico Buenos Aires - ITBA (Argentinien, Doppelmaster), Ausbildung von derzeit sieben DHBW-Studierenden verschiedener Fachrichtungen.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

SCK/CEN (B), JRC Petten (N), CEA (F), VKI (B), ENEA (I), HZDR, DLR, Paul Scheerer Institut PSI (S), EUROfusion, F4E, ITER, ENEA Italien, Ciemat Spanien, EIFER Europäisches Energieforschungsinstitut, HSE, Buxton UK.

A.1.4.3.5 *Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT)*

Leitende Person:

Institutsleiter: Prof. Dr. Jan G. Korvink

Kurzdarstellung

Das IMT beteiligte sich im Jahr 2024 mit 75 % des grundfinanzierten Personals in Helmholtz Information in den Programmen Natural, Artificial and Cognitive Information Processing (NACIP) und Materials Systems Engineering (MSE) (ca. 45 %) und der priorisierten Infrastruktur Karlsruhe Nano Micro Facility (KNMFi) (ca. 30 %). Seit Beginn der PoF IV engagiert sich das IMT auch in Helmholtz Energy. Dort arbeiten im Programm Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET) ca. 25 % des grundfinanzierten Personals.

Das IMT forscht und entwickelt auf den Gebieten der Mikro- und Nanotechnologien und verfolgt dabei konsequent interdisziplinäre Systemansätze, welche durch den Einsatz von Magnet Resonanz Technologien (MRT) als übergeordnetes Fachgebiet verstärkt werden.

Das Ziel des Institutes ist es, den Stand der Technik in den Mikro- und Nanotechnologien durch innovative Beiträge voranzubringen und eine weltweite Spitzenstellung in diesen Gebieten einzunehmen. Dort werden unter anderem mikrofluidische Komponenten mit unterschiedlichen Technologien Hochdurchsatz-NMR genauso wie MRI, korrelativ charakterisiert. Miniaturisierte Versuchsaufbauten-Charakterisierungen ermöglichen In-situ-und Operando-Experimente. Unter Einsatz des vorhandenen Know-hows forscht das Institut auch in angrenzenden Wissenschaftsgebieten wie z.B. der Biotechnologie, der Datenübertragung in Echtzeit sowie der Photovoltaik und entwickelt neuartige, anwendungsorientierte Bauteile und Baugruppen, welche mit Hilfe seines umfangreichen Technologieportfolios auch in der Praxis hergestellt werden können. Einen Fokus bilden dabei Fertigungstechnologien von Strukturen vornehmlich aus Kunststoffen und Metallen mit lateralen Dimensionen von 6 nm und aufwärts bis zu einigen 100 µm. Hierfür steht dem Institut ein umfangreicher Gerätepark, insbesondere für lithographi-

sche Strukturierungsmethoden sowie für die vor- und nachgelagerte Prozesstechnik, zur Verfügung. Verstärkt werden immer mehr 3D-Druckverfahren für verschiedenste Materialien mit Auflösungen im Nano- und Mikrometerbereich eingesetzt und erforscht.

Die gerätetechnische Infrastruktur befindet sich überwiegend im ca. 600 m² großen Reinraumbereich des Institutes. Aufseiten der Prüfverfahren ragen bildgebende und spektroskopische Kernspinanalysen sowie topographische Oberflächenanalysen mittels Rasterkraft-mikroskopie heraus. Diese Technologien werden durch komplementäre, hochauflösende optische Messverfahren ergänzt, die eine Einordnung der kleinräumlichen Ergebnisse des AFMs über größere Flächen ermöglichen. Die Integration aller Messinstrumente des IMT in eine Infrastruktur für korrelative Charakterisierung wurde im Jahr 2024 weiter vorangetrieben und ermöglicht zukünftig mit einer Integration aller Messschritte in ein ElectronicLabNotebook (ELN)-Konzept die Bereitstellung von Daten nach dem FAIR (Findable - Accessible - Interoperable - Reusable)-Prinzip.

Die technische Infrastruktur des Instituts und das Know-how seiner Mitarbeiterenden stehen im Rahmen der High-Tech-Plattform KNMFi auch der wissenschaftlich-technischen Öffentlichkeit aus Industrie und Forschung in Kooperationen auf Antragsbasis zur Verfügung. Hier ist das FAIR Prinzip der Datenbereitstellung von hoher Attraktivität für die Nutzer der KNMFi. Diese Technologien und Expertisen werden zusätzlich in dem von der EU finanzierten Projekt PhotonHub der Industrie angeboten.

Am IMT waren am 31. Dezember 2024 insgesamt 203 Mitarbeiterende beschäftigt, davon 105 einnahme- bzw. sonderfinanzierte Mitarbeiterende, davon 52 Promovierende des IMT. Hinzu kommen, ohne einen Arbeitsvertrag des KIT, 12 Promovierende mit einem Stipendium ihres Herkunftslandes oder einem DAAD-Stipendium. Des Weiteren sind am IMT fünf Mitarbeitende beschäftigt, die über den Universitätsbereich finanziert sind; hiervon ist einer einnahmefinanziert. Acht Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftler besuchten das IMT. Im Jahr 2024 wurden 17 Doktorprüfungen abgelegt. Insgesamt wurden 31 Master- oder Bachelorarbeiten am IMT durchgeführt.

Highlights der Forschung

- Der erfolgreiche Einsatz von Magnetischen Resonanz Methoden ermöglicht erstmals die Messung und Visualisierung spezieller Strömungen sowie der Nebenströmungen.
- Gemeinsam mit der Fa. Voxalytic wurde eine neue Methode entwickelt, mit der sich erstmals die chirale Struktur eines Moleküls direkt durch Kernspinspektroskopie in sehr kurzen Messzeiten aufklären lassen. Insbesondere für die chemische und pharmazeutische Industrie ergeben sich völlig neue Ansätze.
- Im Bereich der Photovoltaik gab es bedeutende Fortschritte bei Dreifachsolarzellen aus Perowskit-Perowskit-Silizium. Die Optimierung eines stabilen, reinen α -Phasen-hochwertigen mittleren Perowskit-Dünnschicht führt zu einer Rekorderffizienz von 24,4 %.
- Mit der Entwicklung eines transparenten, selbstreinigenden Metamaterials auf Polymerbasis für Strahlungskühlung und Lichtmanagement in Innenräumen wurde ein Durchbruch bei der Energieeffizienz von Gebäuden erzielt. Sein hoher Emissionsgrad im mittleren Infrarotbereich ermöglicht eine passive Kühlung, um bis zu 6 °C.

Strategische Ereignisse

Prof. Dr. Ulrich W. Paetzold wurde zum 1. Mai 2024 auf die W3-Professur „Next Generation Photovoltaics“ am IMT berufen.

Dr. Gan Huang erhielt ein Angebot der Helmholtz-Forschungsgruppe (HIG), um an der Nutzung der Kälte des Universums für nachhaltige Kühlung unter Sonneneinstrahlung zu arbeiten.

Jingyuan Xu erhält den Preis für Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler der Leopoldina und wird als Hector Fellow Academy in die Global Young Academy aufgenommen.

Dr Joel Joseph erhielt den Helmholtz-Promotionspreis 2024 für seine herausragende Forschungsarbeit auf dem Gebiet Thermomagnetischer Mikroaktoren und Generatoren.

Der Patentantrag zur chemischen Synthese mit Nano3D-gedruckten Stapeln erlaubt die Herstellung von Katalysatoren für neue Ansätze in der Brennstoffzellenfertigung.

Erste Ergebnisse, heterogene Kern-Schale-Nanokristalle als radiotheranostische Materialien für die gezielte Alphatherapie zur Krebsbehandlung einzusetzen, wurden patentiert.

Im neu eingeworbenen EU-Doktorandennetzwerk EU-Projekt HEAT4ENERGY entwickeln Nachwuchsforschende thermomagnetische Generatoren zur Nutzung industrieller Abwärme bei niedrigen Temperaturen.

Eine neuartige Hardware für die parallele NMR-Spektroskopie, die vor allem zusammen mit einem digitalen Zwilling eine effiziente Charakterisierung der Messleistung und eine Optimierung der MR-Methoden ermöglicht, wurde entwickelt, um zwei der größten Herausforderungen paralleler NMR-Detektoren zu bewältigen: RF- und Gradientenmagnetfeldkopplung.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Fa. BASF (gemeinsamer Entwicklungsarbeiten), Fa. Polysecure (Technologietransferprojekt seit 2015), Fa. Asicon (Vertriebspartner für Röntgenlinsen in Japan), mit den Firmen AVANCIS, Meyer Burger, Von Ardenne, Singulus, Phytonics (Entwicklungsarbeiten für Perowskit-PV), Fa. Cargill (Technologietransfer), Nanoscribe (nano3D-Druck), Lithoz (MikroKeramikdruck), PEPperPRINT(3DPeptidruck), Tecnan (EU-Projekt), QCells, AVANCIS, von Ardenne, Phytonics (Perowskite).

Hochschulen

Tohoku Universität Sendai (Prof. Dr. Atsushi Momose / HyReXPhi), Kyoto University (Prof. Dr. Osamu Tabata, HeKKSaGoN), Universidade Federal do Rio de Janeiro (Prof. Dr. Mauro Carvalho, SAW-Sensoren), École Nationale Supérieure de Paris (Prof. Geoffrey Bodenhausen NMR-EU Initiative), ENSMM Besançon (Beirat Graduiertenschule SPIM), Universität Madrid (Prof. Dr. Andrés Díaz Lantada, Universidad Politécnica Madrid), Freie Universität Brüssel und ca. 20 weitere Universitäten im Rahmen der KNMFi, EPFL Lausanne (Prof. Dr. Tobias Kippenberg), Technische Universität Dresden über die Honorarprofessur von Prof. Dr. Jürgen Brandner, Universidad del País Vasco (Prof. V.A. Chernenko) für Biomaterialien, University Twente (NMR), University of Florence (Aufbau einer NMR-Forschungsstruktur), University of Pretoria (Prof. Trudi Joubert, BWS-Austauschprogramm), Universität Wien, Max Perutz Labs, Universität Limerick, Università di Bologna, Universität Leuven (EU-Projekt), Universität Stuttgart (Prof. M. Saliba), Ruhr-Universität Bochum (Prof. Alfred Ludwig, FGL-Schichten), University of Ljubljana (Prof. Andrej Kitanovski, Energy Harvesting).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Innovationlab Heidelberg (gedruckte Elektronik), ACTPHAST (VUB Brüssel, Europäische Anwenderplattform für Photonik), CNRS Institut NEEL (Dr. Nora Dempsey / Smart materials), CSIR:-Council for Scientific and Industrial Research South Africa, Helmholtzzentrum Berlin, Forschungszentrum Jülich, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Institut für Solare Energieforschung in Hameln, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, National Renewable Energy Laboratory (USA), IMEC, Universität Rovira i

Virgili, Spanien (Prof. X. Mateos), University of Free States, Südafrika (Prof. H. Swart), NCT/UCC Dresden (Prof. Oliver Bruns and Dr. Andriy Chmyrov).

A.1.4.3.6 *Institut für Nukleare Entsorgung (INE)*

Leitende Person

Institutsleiter: Prof. Dr. Horst Geckeis

Kurzdarstellung

Die FuE-Arbeiten des INE sind vorwiegend in das Programm Nuclear Waste Management, Safety and Radiation Research (NUSAFE) eingebunden und darüber hinaus auch Bestandteil des Programms Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET). Das INE befasst sich mit Fragen der Sicherheitsforschung zur Zwischen- und Endlagerung radioaktiver Abfallstoffe und zum sicheren Rückbau kerntechnischer Anlagen im Rahmen des Topics 1 des Programms NUSAFE. Der Schwerpunkt der Arbeiten des Instituts liegt im Unterschied zu vielen anderen mit der Entsorgungsforschung befassten Institutionen in Deutschland auf radio-/geochemischen Aspekten des „Safety Case“ eines tiefeingeologischen Endlagers. Experimentelle Untersuchungen befassen sich mit dem Verhalten hochradioaktiver Abfallformen aus der Kernenergienutzung (abgebrannter Kernbrennstoff und verglaste Abfälle aus der Wiederaufarbeitung) in Salz-, Ton- und Hartgesteinsformationen. Aber auch materialwissenschaftliche Fragestellungen, die sich aus der zu erwartenden deutlich verlängerten Zwischenlagerung bestrahlter Kernbrennelemente ergeben, sind Gegenstand der Forschung. Zudem werden Radionuklidwechselwirkungen in komplex zusammengesetzten, zementhaltigen Matrices schwach- und mittelradioaktiver Abfälle behandelt. Im Mittelpunkt der Arbeiten stehen Actiniden und langlebige Spalt- und Aktivierungsprodukte, die über lange Zeiträume die Radiotoxizität radioaktiver Abfälle bestimmen. Im Rahmen des Standortauswahlverfahrens für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in tiefen geologischen Formationen stellen sich Fragen nach einem sicherheitsgerichteten, wissenschaftlichen Vergleich von Endlagerwirtsgesteinen und demzufolge auch von wirtsgesteinsspezifischen Endlagerkonzepten. Am INE werden grundlegende und anwendungsorientierte Untersuchungen zur möglichen Freisetzung von Radionukliden aus einem Endlager und deren Rückhaltung sowie zum Transport in der Geosphäre mit Hilfe moderner mikro/spektroskopischer und theoretischer Methoden durchgeführt. Dazu beteiligt sich das INE u.a. auch an Projekten in Untertagelaboratorien. Stark grundlagenorientiert ist die wissenschaftliche Befassung mit chemischen Eigenschaften von Radioelementen und den elektronischen Strukturen in ihren Verbindungen mit Hilfe fortgeschrittener hochauflösender spektroskopischer und quantenchemischer Methoden.

Die Abteilung Rückbau treibt u.a. die Entwicklung innovativer Technologien für den sicheren und effizienten Rückbau von kerntechnischen Anlagen voran. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung praxisbezogener neuer Rückbautechnologien (Pilotprojekte) für offene Problemstellungen samt einer großmaßstäblichen Erprobung. Hierfür werden der standardisierte Rückbau von kerntechnischen Anlagen und Technologien und Verfahren zur Demontage von Stahl, Edelstahl und Stahlbeton in der Forschung behandelt. In nationalen und internationalen Forschungsprojekten wird die Entwicklung von Automatisierungs- und Prozesstechnologien vorangetrieben, z.B. mit Hilfe von Multirobotersystemen und digitalen Technologien wie Building Information Modeling (BIM) und Künstlicher Intelligenz (KI).

Im Rahmen der Geoenergieforschung im Programm MTET zur umweltgerechten Nutzung von tiefeingeothermischen Ressourcen werden neue integrative Konzepte der geothermischen Nutzung des tiefen Untergrundes entwickelt und getestet. Wissenschaftliche Schwerpunkte liegen auf geologischer Charakterisierung und Modellierung, Entwicklung von geophysikalischen Methoden sowie digitalen Methoden und Virtual Engineering. Der Fokus liegt dabei auf der Entwicklung der Großforschungsinfrastrukturen DeepStor und GeoLaB.

Zu allen am INE bearbeiteten Themen widmen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler intensiv der Lehre unter Nutzung moderner und teils einzigartiger Forschungsinfrastrukturen. Insbesondere die Vermittlung von Know-how und Kompetenzen zu nuklearen und nuklearchemischen Themen sind vor dem Hintergrund der generationenübergreifenden Zeiträume, die das Projekt „nukleare Entsorgung“ in Deutschland benötigen wird, von besonderer Bedeutung.

Highlights der Forschung

- Entsorgungsforschung: Im Rahmen des CFM- (Colloid Formation and Migration) Projekts wird als Teil des Long-Term In-Situ-Test (LIT) im Untertagelabor an der Grimsel Test Site der NAGRA (CH) die In-situ-Diffusion von Radionukliden (RN) durch FEBEX-Bentonit untersucht. Hierzu wurde kompaktierter, mit RN-Tracern dotierter Bentonit zur Simulation der RN-Ausbreitung in der geotechnischen Barriere eines Endlagers im Bereich einer wasserführenden Scherzone des kristallinen Wirtsgesteins (Granodiorit) eingebracht. Es wird erwartet, dass die RN stark durch Sorption an den Tonmineralphasen zurückgehalten werden und daher nur in Ultraspuren-Konzentrationen in den im Abstand von 4 cm von der Quelle entnommenen Grundwasserproben nachzuweisen sind. Erstmals durchgeführte Analysen der Grundwasserproben mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS) zur Quantifizierung der RN-Freisetzung über einen Zeitraum von 4,5 Jahren haben nun mit einer bis dato unerreichten Nachweisempfindlichkeit gezeigt, dass ^{233}U , ^{237}Np , ^{242}Pu und ^{241}Am nur in einer frühen Phase der Freisetzung, in der der Bentonit noch nicht vollständig gesättigt ist, in das Grundwasser abgegeben werden. Für ^{99}Tc wurde im Verlauf des Experiments eine stationäre Konzentration beobachtet, die auf die Diffusion eines kleinen Anteils von nicht reduziertem Tc (d.h. des mobileren $\text{Tc}^{\text{VII}}\text{O}_4^-$) mit einer Freisetzung von ca. $8,5 \times 10^{-5}$ des ursprünglich eingesetzten Inventars hindeutet.
- Rückbau: Im Fokus standen die Automatisierung und Digitalisierung von Rückbautechnologien, inklusive der Überführung von modernen Robotertechnologien in praxistaugliche Systeme. Im Projekt ROBDEKON konnten hierzu der DekontBot und das Kontaminationsarray weiterentwickelt und optimiert werden. Die Arbeiten wurden durch das Projekt ViS-DeMe unterstützt. Durch die Anwendung von BIM und KI soll im genannten Projekt die Raumdatenerfassung bei der Gebäudefreigabe digitalisiert werden. Zentrales Augenmerk lag hierbei auf der Lokalisierung und Erfassung von Störobjekten wie z.B. Ankerplatten. Die Ergebnisse wurden in das internationale Projekt DORADO übertragen. In DORADO soll durch die Anwendung digitaler Techniken die Sicherheit und Effizienz beim nuklearen Rückbau erhöht werden.
- Geoenergieforschung: Im Berichtsjahr sind die ersten wichtigen Schritte für die laufende Explorationsphase für GeoLaB erfolgt. Dazu waren drei Schritte erfolgreich umzusetzen: Kommunikation mit Stakeholdern sowie Bürgerinnen und Bürgern, Genehmigung der Betriebspläne durch die Behörden sowie Umsetzung der wissenschaftlich-technischen Explorationsmaßnahmen. Im Hinblick auf den Umfang des GeoLaB-Projekts und die Vielzahl der beteiligten Akteure ist eine wirksame Kommunikation von Anfang an entscheidend für

den Erfolg des Projekts. Deshalb wurde ein umfangreiches und mehrstufiges Kommunikationskonzept mit Bausteinen wie intensiven Stakeholder-Gesprächen, Dialogveranstaltungen und Informationsmaterialien entwickelt und umgesetzt. Zielgerichtete Kommunikationsmaßnahmen waren die Grundlage für die Genehmigung und Durchführung der Explorationsmaßnahmen wie der Seismik, der geophysikalischen Messkampagne und der Explorationsbohrung.

Strategische Ereignisse

Entsorgungsforschung: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des INE koordinieren und bearbeiten Projekte für die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE), die im Rahmen des Standortauswahlverfahrens bzw. für die Erstellung von repräsentativen Sicherheitsuntersuchungen benötigt werden. Diese Arbeiten stellen einen relevanten wissenschaftlichen Transfer von über viele Jahre im INE erarbeiteten Daten und Wissen an die BGE zur Realisierung des Standortauswahlverfahrens dar. Einen wichtigen Beitrag zum Wissenstransfer leistet Prof. Dr. Horst Geckeis in seiner Funktion als stellvertretender Vorsitzender des Hauptausschusses der Entsorgungskommission (ESK) des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Dr. Volker Metz wurde als Mitglied des Endlagerausschusses der Entsorgungskommission (ESK) berufen. Prof. Dr. Tonya Vitova erhielt den Ruf auf die W3-Professur für „Advanced X-Ray Spectroscopy in f-element chemistry“ im Bereich III des KIT. Dr. Frank Heberling konnte sich erfolgreich im Fach „Umweltmineralogie und Geochemie“ am KIT habilitieren.

Geoenergieforschung: Das Zeitenwende-Projekt der Helmholtz-Gemeinschaft GEOZeit beschleunigt den Transfer von Erkenntnissen aus DeepStor auf das Wärmespeicherkonzept der Case Study Karlsruhe. Im Hinblick auf den geplanten Schwerpunkt digitale Methoden in PoF-V und den Digitalen Zwilling von GeoLaB wurde die Arbeitsgruppe Digital Methods & Virtual Engineering aufgebaut. Ein bedeutender Meilenstein dieser Strategie ist die erfolgreiche Einwerbung des BMBF-Verbundprojekts GeoDT.

Rückbau: Für das Verfahren der Abrasivaufbereitung mit Sieb und Magnetfilter im Batch-Betrieb wurde ein Patent erteilt.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

EnBW, Stadtwerke Karlsruhe, Stadtwerke München, Hydroisotop, GTN, KAH GmbH, IBASS GmbH & Co. KG, Contec GmbH, SAT Kerntechnik GmbH, RWE Nuclear GmbH (Deutschland), SKB (Schweden), ONDRAF/NIRAS (Belgien), Baker Hughes (USA), Geo-Energie Suisse (Schweiz).

Hochschulen

National: Heidelberg, Erlangen, Mainz, Frankfurt, Jena, Berlin, München, Hannover, Clausthal, Braunschweig, Freiberg, Bonn, Dresden, Darmstadt, Hochschule Karlsruhe, Hochschule für Technik und Wirtschaft Konstanz; *International:* École de Mines, Mulhouse, Strasbourg, Université Côte d'Azur (UCA), SKEMA Business School (Frankreich), Kyoto (Japan), Manchester, (Großbritannien), POSTECH (Korea), Universitat Politècnica de Catalunya, (Spanien), Szeged (Ungarn), Helsinki (Finnland), Kopenhagen (Dänemark), Chicago, Washington (USA), Universidad de Chile.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

National: HZDR, FZJ, GFZ, UFZ, BASE, BGE, BGE Technology, BGR, GRS, Öko-Institut, IfG, Fraunhofer ISE, Fraunhofer IEG, Fraunhofer IOSB, DFKI, BAM; *International:* KAERI, KAIST

(Korea), LANL, Sandia NL, USTUR, DOE, LBNL, INL (USA), CEA Marcoule/Cadarache, BRGM, ANDRA (Frankreich), Amphos21 (Spanien), JRC Karlsruhe (EU), PSI, Grimsel Test Site (Schweiz), Untertagelabor Mt. Terri (Schweiz), SCK/CEN (Belgien), TNO (Niederlande).

Internationale Organisationen: EU, IAEA, OECD-NEA, EURADOS, EuradScience.

A.1.4.3.7 *Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik (INR)*

Leitende Person:

Institutsleiter: Prof. Dr. John Jelonnek (komm.)

Kurzdarstellung

Das INR beteiligt sich an den Helmholtz-Energieprogrammen Fusion, NUClear waste disposal and SAFETY (NUSAFE), Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET). Die Forschungsgebiete umfassen:

- Entwicklung, Implementierung, Verifikation und Validierung physikalischer Modelle zum turbulenten Wärme- und Impulstransport thermisch hochbelasteter Komponenten für energietechnische Anwendungen,
- Weiterentwicklung und Validierung von Rechenverfahren und -programmen, Modellen und Kerndaten für neutronen- und reaktorphysikalische Analysen, sowie neuartige Neutronen- und γ -detektoren für verschiedene Anwendungen von der Medizintechnik bis hin zu Beschleunigern,
- Entwicklung, Anwendung und Validierung von Multiphysik- und Multiskalen-kopplungsmethoden für Neutronenphysik/Thermohydraulik, Thermodynamik und Festigkeitsmechanik sowie Fluid-Struktur-Interaktion,
- Entwicklung von Komponenten und Simulation von Kraftwerken für Fusions-, Kern- und Solarkraftwerke inklusive sicherheitstechnischer Analysen,
- Optimierung von Komponenten für Hochtemperaturanwendungen (Receiver, therm. Speicher) mit Hilfe neuer/verbesserter Instrumentierungsverfahren, gestützt durch Experimente, in Fluiden (Gase, Wasser bzw. Flüssigmetalle),
- Werkstoffqualifizierung bei hohen Temperaturen, Drücken bzw. variablen Sauerstoff- und Wasserstoffgehalts sowie während betriebsrelevanter Transienten,
- Auslegung und Fertigungstechnologien reaktorinterner Komponenten in Fusionsreaktoren, Entwicklung von Anlagen-Systemcodes, Modellierung des Tritiumtransports, elektromagnetische Analysen magnetischer Fusionskraftwerke, sowie thermo-hydraulisch-mechanische Validierungsversuche in Helium-Kreisläufen (HELOKA),
- Numerische Analyse und Optimierung von thermohydraulischen und sicherheitstechnischen Systemen im Bereich Energietechnik, insbesondere innerhalb der beiden Helmholtz-Programme NUSAFE und Fusion.

Neben der Beantwortung anwendungsorientierter Fragestellungen im Rahmen nationaler, europäischer und privatrechtlicher Verträge werden Grundlagenarbeiten durchgeführt, in die insbesondere Studierende und Promovierende integriert sind.

Highlights der Forschung

Bereitstellung von Referenzlösungen für die Sicherheitsanalysen in Betrieb befindlicher KKWs und innovativer Kernreaktorsystemen in der EU und weltweit

Strategische Ereignisse

Fusion

- Koordination des europäischen Brutblanket-Arbeitspaketes im Projekt EUROfusion (EUROfusion), sowie Koordination der Neutronik und Kerndatenentwicklung für IFMIF-DONES und EU DEMO (EUROfusion, JEFF),
- Federführende Mitarbeit in weiteren EUROfusions-Arbeitspaketen: WPBB-Brutblanketentwicklung und -qualifizierung (heliumgekühltes Blanket, Heliumkreislaufauslegung), WPSAE-Sicherheit für DEMO (Unfallanalyse, Entwicklung und Validierung der Tritium-Codes, Generic Site Safety Report (3. Volumen)), WPBOP-Balance of Plant – Kraftwerksauslegung und transientes Verhalten eines Fusionskraftwerks; WPENS-Europäische Neutronenquelle zur Materialbestrahlung,
- Entwicklung von Multiphysik- und Multiskalenansätzen zur Berechnung von gekoppelten neutronenphysikalischen/thermohydraulischen und festigkeitsmechanischen Fragestellungen auf Basis von CAD-Modellen für unterschiedliche Anwendungen (Fusion, NUSAFE),
- Entwicklung des Referenzsystemcodes (BLUEMIRA mit UKAEA) zur ganzheitlichen Beschreibung eines Fusionskraftwerks,
- Bereitstellung von Modellen zur Wasserstoffdiffusion in Strukturmaterialien und deren experimentelle Validierung (Q-Pete),
- Experimentelle Untersuchung verschiedener Kühlkonzepte für die Blanket-Bruteinheiten einschließlich Charakterisierung ihrer Wärmeübertragungsleistung,
- Experimentelle Untersuchung des Einflusses auf das Ermüdungsverhalten von Strukturwerkstoffen im Kontakt mit festem Brutmaterial unter spezifischer Temperatur und Zusammensetzung des Spülmediums,
- Baubeginn der Flüssigsalzanlage HELOKA-US für die Validierung des HCBP Balance of Plant Konzepts.

NUSAFE

- Erweiterung von höchstauflösenden Multiphysik-Methoden für LWR, SMRs und Forschungsreaktoren,
- Entwicklung und Validierung von Multi-physik/-skalen Tools zur verbesserten Beschreibung der 3D-Thermohydraulik im Kern und Kreisläufen von (SMRs),
- Validierung von ASTEC-Codes anhand von QUENCH-ATF und ELMOR Daten (relevant für SMRs),
- Weiterentwicklung der KIT-Rechenkette zur Bewertung des Quellterms und radiologischen Risikos bei schweren Unfällen in LWR und SMR,
- SIMMER-Code Entwicklung zur Simulation schwerer Unfälle: mit JAEA und CEA,
- Sicherheitsstudien innovativer Reaktoren: mit EdF (Frankreich) und NRA (Japan),
- Sicherheitsuntersuchungen von kleinen modularen und innovativen Reaktoren für EU-Programme: EASI-SMR, SANE, SASPAM-SA, ESFR-SIMPLE, PATRICIA, PUMMA, ANSELMUS, ENDURANCE, TREASURE, LESTO,
- Entwicklung der statistischen Methode zur Modellierung des Dekontaminationsfaktors in Schwarmströmung eines Pool-Scubbing-Prozesses (BMUV Vorhaben NAMPS),
- Erfolgreiche Inbetriebnahme des Flüssig-Natrium-Kreislaufs KASOLA.

MTET

- Erfolgreiche Testreihen zur Werkstoffqualifizierung in HEMAT – bis 620°C, Experimente zur Wärmeübergangsverbesserung in Rohren mit Innenstrukturierung (Patentanmeldung),
- Erfolgreicher Abschluss des DFG-Projekts „Einfluss angehobener V-förmiger Rippen auf die turbulenten Strömungs- und Temperaturfelder, die Wärmeübertragung und den Widerstandsbeiwert in Kühlkanälen“,
- Thermohydraulische Auslegung des thermoklinen Flüssigmetall-Wärmespeichers FLEXSTOR zur Integration in KASOLA.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Kraftanlagen Heidelberg, EnBW, Preussen Elektra, Framatome, Westinghouse, EdF, FRENELL, Freudenberg, VAST Solar sowie AZELIO etc.

Hochschulen

TU Dresden, TUM München, RWTH Aachen, Universität Stuttgart, Universität Marseille, KTH Stockholm, Polytechnico Turin, University of Pisa, Universidad de Madrid (UPM), Universität Palermo, Universität Ghent, Lappeenranta Universität (LUT), Universidad de Granada, Georgia Tech, Pennsylvania State University; North Carolina State University, Universidad Autónoma de Mexico, Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), Universidad de San Martín Buenos Aires.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

HZDR, FZJ, IPP (Garching & Greifswald), DLR, DKFZ, CEA, ASNR, CCFE, ENEA, CIEMAT VTT, JRC KA, Fusion for Energy (F4E), ITER, ESS, CERN, ILL, EdF, NRA, JAEA-Broader Approach Agreements, QST, Department of Energy (DOE, USA), INL, ANL, ORNL, IPPE (Obninsk), CAS (Chinese Academy of Sciences- FDS), Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS-Deutschland), IRSN (Frankreich), US NRC (USA), NRA (Japan), OECD NEA, IAEA.

A.1.4.3.8 Institut für Technische Physik (ITEP)

Leitende Person:

Prof. Dr. Mathias Noe

Kurzdarstellung

Das ITEP versteht sich als nationales und internationales Kompetenzzentrum für Supraleitungs-, Energie und Fusionstechnologien mit den Forschungsfeldern:

- Supraleiter- und Kryomaterialien,
- Energietechnische Anwendungen der Supraleitung,
- Echtzeitsysteme für Energietechnologien,
- Supraleitende Magnettechnologie sowie
- Vakuum- und Fusionstechnologien.

Die Forschungsarbeiten sind in den Helmholtz Programmen Fusion, Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET), Energie System Design (ESD), Matter and Technologies (MT) und Matter and the Universe (MU) verankert.

Im Forschungsfeld Supraleiter- und Kryomaterialien ist die Untersuchung neuer Supraleiter ein wichtiger Forschungsschwerpunkt. 2024 wurde ein Beitrag veröffentlicht, in dem die Röntgendiffraktometrie zur Bestimmung des Sauerstoffgehaltes von hochtemperatur-supraleitenden Bandleitern beschrieben wurde. Dem Hauptautor Kai Walter wurde dafür in 2024 der Jan Evetts-Preis der Zeitschrift *Superconductor Science and Technology* verliehen. Im CryoMaK Labor zur Untersuchung mechanischer Materialeigenschaften bei tiefen Temperaturen konzentrierten sich die Arbeiten im Jahr 2024 auf Zugversuche an Hohlkörpern in Wasserstoffumgebung. Insbesondere an Proben aus Kupfer, austenitischen und ferritischen Stählen wurde das Wasserstoff-induzierte Ermüden des Materials untersucht. Zusammen mit internationalen Partnern wurde die Methode 2024 als ISO/DIN-Standard etabliert.

Im Forschungsfeld Energietechnische Anwendungen der Supraleitung wurde im BMWK Verbundprojekt HighAmp zur Entwicklung eines neuartigen supraleitenden Mittelspannungskabels eine Vielzahl von Hochspannungsmessungen und AC Verlustmessungen an verschiedensten Konfigurationen durchgeführt.

Bei der Entwicklung einer supraleitenden Brückenschaltung mithilfe des dynamischen Widerstandes von Supraleitern konnte ein Dauerbetrieb aufgezeigt werden.

Bei der Modellierung von supraleitenden Komponenten konnte durch eine neue Methode die Simulationszeit für die Berechnung von Wechselstromeigenschaften eines supraleitenden Kabels auf einem runden Kern von einigen Stunden auf einige Minuten verkürzt werden, bei gleicher Genauigkeit.

Im Forschungsfeld Echtzeitsysteme für Energietechnologien sind wichtige Forschungsthemen die Modellierung und Regelung von Netzen, die Untersuchung von dynamischen Energiespeichersystemen und die Integration von Wasserstoff in zukünftige Energiesysteme.

Ein hybrider Energiespeicher bestehend aus einem energie-intensiven (z.B., Batterie oder Wasserstoff) und einem schnellen Energiespeichersystem (z.B., Schwungrad oder Superkondensator) ergibt Vorteile für die Lebensdauer des gesamten Systems. Hierfür wurden verschiedene Regelstrategien für die Frequenz- und Leistungsregelung entwickelt.

Im EnergyLab des KIT ist die sogenannte „Hydrogen Integration Platform“ der Baustein für die Untersuchung von wasserstoffbasierten Energietechnologien. Für mehrere große Demonstrationsprojekte wurde das Baufeld dazu weiter vorbereitet und die Planung detailliert.

Eine wichtige Aufgabe im Forschungsfeld Supraleitende Magnettechnologie ist die Entwicklung hochtemperatur-supraleitender Magnete. In einer Apparatur zum robotischen Wickeln von nicht-planaren hochtemperatur-supraleitenden Magneten wurde in 2024 erstmals eine nicht-planare Wicklung hergestellt. Das EU-Projekt MEESST wurde in 2024 abgeschlossen, in dem der am ITEP entwickelte Magnet im Plasmakanal erfolgreich getestet werden konnte. Für eine hybride Energiepipeline für Strom und Flüssig-Wasserstoff wurde das Konzept finalisiert und erste Komponenten bestellt. Im Verbundprojekt SPEEDY-HTS zur Entwicklung eines 1:1 Demonstrators für einen supraleitenden Mid-Speed Windgenerator wurde das Design finalisiert und für die Pitch Regelung ein Patent eingereicht.

Im Forschungsfeld Vakuum- und Fusionstechnologien hat Dr. Thomas Giegerich im Mai 2024 die Leitung von Dr. Christian Day übernommen, der eine leitende Funktion bei einem Unternehmen angenommen hat. Es konnten zwei neue Projekte mit Industriepartnern eingeworben werden. Im Projekt SyrVBreTT geht es um die Entwicklung des Brennstoffkreislaufs und wichtiger Komponenten für einen Stellarator und im Projekt KaliAS wird eine Strategie für die Lithium-6 Produktion entwickelt. Bei der Entwicklung von Kryovakuumpumpen wurde für die Pumpe des italienischen DTT Projektes das Design erstellt und es wurde für die Pumpen im Einstein-Teleskop Projekt das Konzept erstellt und überprüft. Im Projekt DIPAK, in dem ein

komplett neues Labor für große Vakuumtechnologien aufgebaut wird, wurde die vorläufige Planung des Gebäudes finalisiert und die Gesamtplanung beauftragt.

Highlights der Forschung

- Im Rahmen einer langjährigen Kooperation mit CERN wurde 2024 die ehemalige Pilotproduktion von Hochtemperatur-Supraleitern der Firma Bruker in den Routinebetrieb am KIT überführt. Es konnten erste längere Bänder bis zu 15 m und erste breitere Proben bis zu 3 cm Breite mit guten Eigenschaften hergestellt werden.
- In dem Verbundprojekt SuperLink wurde die Berechnung des 110 kV Netzes der Stadtwerke München abgeschlossen, indem der Einfluss eines supraleitenden 110 kV Kabels auf ein neu strukturiertes Netz untersucht wurde. Im Vergleich zum Bestand könnten etwa 10 % an Leitungslänge eingespart werden. Weiterhin wurde das 110, kV, 500 MVA Protokabel im Oktober erfolgreich für einen Präqualifikationstest in Betrieb genommen.
- Im Rahmen des BMWK Verbundprojektes DEMO200 wurde ein Technologiedemonstrator für eine hochtemperatur-supraleitende Industriestromschiene erfolgreich mit den Industriepartnern getestet. Bei dem Test im Aluminiumwerk der Firma Trimet in Voerde wurde eine Stromstärke von bis zu 190 kA erzielt. Das ist deutlich mehr als bisher weltweit erreicht wurde. Damit wurde die grundlegende Auslegung bestätigt und es konnte im Rahmen des BMWK Reallabors SuprAl, die Entwicklung und den dauerhaften Einsatz einer 600 m, 200 kA Stromschiene für den Einsatz in einem Aluminiumwerk in Hamburg begonnen werden. Das ITEP begleitet das Reallabor wissenschaftlich und verantwortet die Datenerfassung und -auswertung.

Strategische Ereignisse

Im Jahr 2024 erfolgte ein Ruf an Tenure-Track-Prof. Dr. Giovanni De Carne auf eine W3 Professur für Echtzeitsysteme in der Energietechnik am KIT. Dadurch wird die langfristige Einbindung unserer Arbeiten auf diesem Gebiet sichergestellt und die wissenschaftliche Qualität von Prof. Dr. De Carne ausgezeichnet.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Gauss Fusion – Verbundprojekte, Proxima Fusion – Verbundprojekte, Vision Electric Superconductors – Verbundprojekte, Siemens Mobility – Forschungsk Kooperation, ABB – Verbundprojekte, Kyoto Fusioneering – Verbundprojekte.

Hochschulen

Universität Hannover – Lehrauftrag

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

CERN – Direkte Kooperation zu HTS und Nachhaltige Forschungsinfrastrukturen, CEA – Gemeinsame Aktivitäten, ENEA – Kooperationsabkommen, ITER – Diverse Entwicklungen und Aufträge, F4E – Diverse Entwicklungen und Aufträge, NIFS Japan – Fusion, NREL – Gemeinsame Aktivitäten und Doktorandenaustausch.

A.1.4.4 Bereich IV – Natürliche und gebaute Umwelt

A.1.4.4.1 *Institute for Advanced Membrane Technology (IAMT)*

Leitende Person

Institutsleiterin: Prof. Dr.-Ing. Andrea Iris Schäfer

Kurzdarstellung

Das IAMT wurde im Januar 2020 gegründet, aufbauend auf der erfolgreichen Einwerbung einer Professur über die Helmholtz-Rekrutierungsinitiative. Die Vision des IAMT ist es, durch herausragende Forschung auf dem Gebiet der Membranmaterial- und Prozessentwicklung für die Wasseraufbereitung einen Beitrag zur Lösung großer gesellschaftlicher Herausforderungen zu leisten. Erreicht wird dies durch das Streben nach Exzellenz in der Forschung, erstklassige Laboratorien, innovative Forschungs- und Berufsausbildung, das Bestreben der Lösung realer Probleme, umfassende transdisziplinäre Zusammenarbeit sowohl mit (inter)nationalen Kolleginnen und Kollegen als auch mit Industriepartnern.

Die Forschung des IAMT adressiert u.a. folgende Themen und Bereiche: neuartige Membranmaterialien (z.B. Membranabsorber, photo- und elektrokalytische Membranen) Rückhalte- und Verschmutzungsmechanismen (z.B. Spurenschadstoff, und Ionenentfernung und Entsalzungsmechanismen), Systementwicklung und Anwendungen (z.B. Wasserwiederverwendung, Ressourcenrückgewinnung und Entsalzung).

Die in 2019 eröffneten Labore des IAMT bestehen aus den folgenden Räumlichkeiten für experimentelle Forschung: 1) Herstellung von Membranmaterialien, 2) Charakterisierung von Membranen, 3) Membranfiltration, 4) Radiotracer-Labor, 5) Wasser Analytisches Labor und 6) Verfahrenstechnisches Labor. Die Ausstattung des Labors zur Herstellung von Membranen ermöglicht den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern unterschiedliche Materialträger und Beschichtungen zu erforschen, darunter viele Materialeien die von führenden Kooperationspartnern zur Verfügung gestellt werden. Im Labor zur Charakterisierung von Membranen werden u.a. Porengröße, Porosität, Oberflächenladung und thermo-gravimetrische Eigenschaften von Membranen untersucht. Im Labor für Membranfiltration nutzt das IAMT eine Reihe von spezifisch konzipierten und am IAMT gebauten Filtrationssystemen wie zum Beispiel Durchflusszellen für Nanofiltration, Elektrodialyse, photo- und elektrokatalytische Membranexperimente. Im Radiotracer-Labor ermöglichen die vom IAMT verwendeten Radiotracer den Nachweis von Mikroverunreinigungen bis zu Konzentrationen von < 1 ng/L. Im Analytischen Labor steht eine große Anzahl von Analyseinstrumenten zur Verfügung, viele Großgeräte auch gekoppelt, um reelle Wasserproben untersuchen zu können. Am IAMT wird täglich eine große Menge an Proben generiert, die auch nach einer effektiven Behandlung bis in den Bereich der Nachweisgrenzen analysiert werden müssen. Im Verfahrenstechnischen Labor gibt es weitere Systeme (z.B. ein elektrochemisches Membransystem) sowie einige „Pilotanlagen“ im Labormaßstab. Die Laborarbeiten des IAMT werden durch zusätzliche Feldversuche ergänzt, mit Hilfe mobiler Anlagen und einem Landrover/Trailer, der diverse Anlagen direkt mit Photovoltaik autonom betreiben kann. Eine aktuelle Herausforderung am Institut stellt die Suche nach Fördermitteln für ein Technikum für Upscale und Transfer dar, welches sich als ein internationales Leuchtturmprojekt und Lernlabor in Planung befindet.

Die Forschung des IAMT ist in der Helmholtz-Gemeinschaft im Forschungsbereich Erde und Umwelt (EuU) im Programm Changing Earth – Sustaining our Future (CE) und dort im Topic 7

Towards a Sustainable Bioeconomy verankert. Die Aufgabe von Topic 7 besteht darin, zu einer nachhaltigen Bioökonomie beizutragen, die eine wachsende und anspruchsvolle Bevölkerung mit Nahrungsmitteln, Wasser und erneuerbaren Ressourcen für die Industrie versorgt und gleichzeitig den ökologischen Fußabdruck verringert und eine wachsende Kreislaufwirtschaft unterstützt. Dies bedeutet konkret die ressourceneffiziente Behandlung und Rückgewinnung von Wasser im Wasser-Energie-Material-Umwelt Nexus.

Highlights der Forschung

Veröffentlichung in *Nature Communications* - Liu et al., 2024 (doi: 10.1038/s41467-024-52730-7): Die zunehmende Besorgnis über Mikroverunreinigungen in Gewässern treibt die Entwicklung elektrochemischer Membranreaktoren (EMR) als nachhaltige Wasseraufbereitungslösung voran. Doch das Zusammenspiel von Adsorption, elektrochemischen Reaktionen und Nebenproduktbildung erschwert das Verständnis ihrer Mechanismen. Dieser Beitrag untersucht den Abbau von isotoopenmarkierten Steroidhormonen in einer EMR mit Kohlenstoffnanoröhrchen-Membran. Durch die Kombination von Hochleistungsflüssigkeitschromatographie und Szintillationsanalyse wird zwischen Adsorption und Abbau unterschieden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Voradsorption den Abbau nicht hemmt, da EMR eine schnelle Adsorptionskinetik und einen effektiven Massentransfer aufweist. Bei einer Spannungserhöhung von 0,6 auf 1,2 V wird die Abbaurate nicht mehr durch den Elektronentransfer, sondern durch die Adsorptionsraten begrenzt. Diese Erkenntnisse liefern wertvolle Impulse für die Weiterentwicklung elektrochemischer Strategien zur Reduzierung von Mikroverunreinigungen.

Strategische Ereignisse

Das IAMT ist ein ausgesprochen kooperatives Institut mit einer Vielzahl nationaler und internationaler Partnerschaften. Innerhalb des KIT ist die Kooperation mit Prof. Dr. Bryce Richards (IMT) besonders erfolgreich, da sie zu zahlreichen gemeinsamen Publikationen im Bereich photokatalytischer Materialien geführt hat. Ein herausragendes Beispiel ist ein gemeinsamer Doktorand, der 2024 den Sparkassen-Umweltpreis gewann. Ein weiteres zentrales Forschungsfeld ist die Entwicklung mit erneuerbaren Energien betriebener Membransysteme für den Einsatz in Afrika. Aufbauend auf den Erfolgen des gemeinsamen UNDINE-Preises 2023 wird 2025 eine gemeinnützige GmbH gegründet, um ein groß angelegtes Transferprojekt in Afrika zu realisieren. Dabei sollen zehn Systeme installiert sowie deren Betrieb und Wartung langfristig begleitet werden.

Das IAMT besitzt einen Landrover mit einem speziell angefertigten Allrad-Anhänger, der mehrere Pilotanlagen (eine nach der anderen) aufnehmen kann, die mit Photovoltaik und verschiedenen Energiespeichern und -puffern betrieben werden. Diese mobile und energieautarke Infrastruktur ermöglicht Feldtests unter realen Bedingungen und ist strategisch relevant für die Erprobung nachhaltiger, netzunabhängiger Energiesysteme. Die Ausrüstung wurde in den letzten Jahren gebaut und wurde erstmals im Juli/August 2024 bei einer Exkursion im Schwarzwald (Menzenschwand) eingesetzt.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Deukum, Ertel Ionstream, Blücher, Brita, Talamon, IXOM, Mineralstech, Dupont, Nitto, Berg-hof, TzW, Fader.

Hochschulen

Hebräische Universität von Jerusalem (Israel), University of California in Los Angeles (USA), Tsing-Hua-Nationaluniversität (Taiwan), Tongji-Universität in Shanghai (China), Technische Universität Dresden, Stanford Linear Accelerator Center der Stanford University (USA), University of Sydney (Australien), Boston University (USA), University of Basel (Schweiz), Dalhousie University (Kanada), Australian National University (Australien), Universität Hokkaidō (Japan), Tel Aviv University (Israel), University of Queensland (Australien).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung, Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Lawrence Livermore National Laboratory (USA), TZW: DVGW - Technologiezentrum Wasser.

A.1.4.4.2 *Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Aerosolforschung (IMKAAF)*

Leitende Person

Institutsleiter: Prof. Dr. Thomas Leisner

Kurzdarstellung

Das Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Aerosolforschung (IMKAAF) untersucht die Rolle von Aerosolen für Wetter, Klima und Umwelt. Der Fokus liegt auf ihrem Einfluss auf Wolken- und Niederschlagsprozesse sowie die Luftqualität. Dazu werden Labor- und Feldexperimente zu den physikalischen und chemischen Eigenschaften und Prozessen atmosphärischer Aerosole durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse können unter anderem die Vorhersagefähigkeit von Wetter- und Klimamodellen verbessern. Das Institut trägt zu den Subtopics 1.1, 1.2 und 1.3 des Topic 1 „The Atmosphere in Global Change“ des Programms Changing Earth (CE) bei.

Das Institut betreibt zwei große Aerosol- und Wolkenkammern: die seit über 25 Jahren betriebene „klassische“ AIDAc (Aerosolinteraktionen und -dynamik in der Atmosphäre) und die etwas kleinere dynamische Kammer AIDAd. Die AIDA-Simulationskammern ziehen zu den regelmäßig stattfindenden Messkampagnen führende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der ganzen Welt an. Die Nutzung der AIDA durch externe Forschende wurde in den vergangenen Jahren auch im Rahmen von Trans-National-Access durch das EU-Projekt ATMO-ACCESS gefördert. Neue Förderung für die internationale Zusammenarbeit wird derzeit auf EU-Ebene beantragt.

Die große AIDAc wird derzeit im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts ACTRIS-D durch die neue Atmosphärensimulationskammer AIDAc2 („cold&clean“) ersetzt. Diese Investition stärkt die international führende Rolle des IMKAAF bei der Erforschung von Aerosol- und Wolkenprozessen unter simulierten Atmosphärenbedingungen, insbesondere bei tiefen Temperaturen.

Im Rahmen der europäischen Forschungsinfrastruktur ACTRIS (Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure) leitet das IMKAAF die zentrale Einrichtung für Wolken In-Situ-Messungen (Cloud In Situ, CIS) und deren Unit Centre for Cloud Ice Nucleation (CCIce). Das BMBF fördert im Projekt ACTRIS-D den Aufbau des CCIce Kalibrierzentrums für eisbildende

atmosphärische Aerosole (INPs) am KIT. Der Betrieb von CCIce begann 2024 mit ersten Qualitätsaudits an europäischen Messstationen. Die Betriebskosten werden neben einem Eigenanteil des KIT vom BMUV getragen.

Neben den Arbeiten an den Wolkenkammern werden am IMKAAF Laborexperimente zu den optischen, thermodynamischen und chemischen Eigenschaften von Aerosolen, unter anderem an einzelnen Wolkentropfen in elektrodynamischen Levitatoren, durchgeführt.

Das IMKAAF entwickelt und betreibt zudem Feldinstrumente zur optischen, chemischen und physikalischen Charakterisierung von Aerosol- und Wolkenteilchen. Diese Instrumente werden auf Messstationen, in mobilen Containern und auf Drohnen eingesetzt, unter anderem im Rahmen der Helmholtz-Projekte MOSES und Inside Clouds. Das im Rahmen eines Technologietransfer-Projekts entwickelte und jetzt kommerziell erhältliche INP Messgerät PINE (Portable Ice Nucleation Experiment) wird zunehmend bei langfristigen Feldmessungen in Europa, der Arktis und Australien eingesetzt, um wichtige Erkenntnisse über die Herkunft und Variabilität der INPs zu gewinnen. Durch die Helmholtz-Nachwuchsgruppe „Solving the Cirrus Cloud Puzzle“ hat sich das IMKAAF mit einzigartigen Instrumenten zur Charakterisierung von Wolkeneis an internationalen Flugzeugkampagnen, darunter auch mit dem Forschungsflugzeug HALO, beteiligt.

Das IMK-AAF beteiligt sich mit Vorlesungen am KIT und der Universität Heidelberg an der universitären Lehre. Durch die jährlich stattfindende studentische AIDA-Kampagne werden Studierende frühzeitig an die Infrastrukturen der Großforschung herangeführt.

Highlights der Forschung

- **Hochauflösende Modellierung der Luftqualität in Stuttgart:** Im Winter begünstigen stagnierende meteorologische Bedingungen die Akkumulation von Aerosolen, wobei Ammoniumnitrat und organische Partikel dominieren. Wolken können Temperaturinversionen abschwächen und dadurch die Verdünnung von Luftschadstoffen während der morgendlichen Spitzenzeiten erleichtern. Die Validierung des hochauflösenden Large-Eddy-Simulation (LES)-Modells PALM-4U zeigt eine hohe Übereinstimmung bei der Simulation der bodennahen Grenzschichthöhe und der Luftmassenmischung. Allerdings unterschätzt das Modell die Aerosolkonzentrationen, was auf die fehlende Berücksichtigung sekundärer Bildungsprozesse zurückzuführen ist.

Zhang, H., Huang, W., Shen, X., Ramisetty, R., Song, J., Kiseleva, O., Holst, C. C., Khan, B., Leisner, T., and Saathoff, H.: Aerosol composition, air quality, and boundary layer dynamics in the urban background of Stuttgart in winter, Atmos. Chem. Phys., 24, 10617–10637, <https://doi.org/10.5194/acp-24-10617-2024>, 2024.

- **Langzeitmessungen von INPs in der freien Troposphäre:** Seit 2019 werden in Kooperation mit Geosphere Austria Langzeitmessungen von INPs am Sonnblick Observatorium (3106 m ü. M.) in Österreich durchgeführt, um tägliche und saisonale Schwankungen sowie kurzfristige Variationen der INP-Konzentrationen zu untersuchen. Diese Messungen bieten eine neue Grundlage zur Verbesserung der Modellierung der atmosphärischen primären Eisbildung.

P. Bogert: Ice-nucleating particles in the free troposphere: long-term observation and first measurements at cirrus formation temperatures using the novel Portable Ice Nucleation Experiment PINEair, PhD thesis, KIT, 2024, <https://doi.org/10.5445/IR/1000174265>.

- **AIDA-Experimente zur INP-Aktivität von Ammoniumsulfat-Partikeln:** Sulfatpartikel, die teilweise oder vollständig durch Ammonium neutralisiert sind, sind ein wesentlicher Bestandteil des atmosphärischen Aerosols. Je nach der vorliegenden relativen Feuchte kann das Aerosol flüssig sein oder in kristallinen Phasen mit unterschiedlichem Neutralisationsgrad

vorliegen. Diese Phasen beeinflussen wichtige atmosphärische Prozesse wie Lichtstreuung, chemische Reaktionen und die Bildung von Zirruswolken. Durch Experimente an der AIDAc-Kammer wurde erstmals eine Parametrisierung für das Eisbildungsverhalten solcher Aerosole bei 220 K in Abhängigkeit von ihrer Zusammensetzung gewonnen.

Bertozzi, B., Wagner, R., Höhler, K., Saathoff, H., Möhler, O., & Leisner, T. (2024). Influence of the neutralization degree on the ice nucleation ability of ammoniated sulfate particles. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 129, e2023JD040078, <https://doi.org/10.1029/2023JD040078>.

Strategische Ereignisse

Das IMKAAF leistet einen Beitrag zur strategischen Weiterentwicklung der Programmforschung im Forschungsbereich Erde und Umwelt innerhalb des Programms „Changing Earth – Sustaining Our Future“.

Längerfristige Kooperationen (Beschränken Sie sich ggf. auf die wichtigsten)

Wirtschaft

Bilfinger Nuclear&Energy Transition GmbH (PINE Validierungsaktivitäten und neues Technologietransferprojekt).

Hochschulen

Purdue University (Gastwissenschaftler und PALMS Entwicklung); West Texas A&M University (wissenschaftliche Kooperation und Instrumentenentwicklung); CERN CLOUD Kollaboration; Universität Groningen (Projekt zur Rolle der Luftverschmutzung mit Stickstoffverbindungen für Aerosolchemie und Wolkeneigenschaften).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

ACTRIS ERIC (Kooperationsvereinbarung); National Institute of Meteorological Sciences, Republic of Korea (International Memorandum of Agreement); Beijing Weather Modification Center, Beijing (Gastwissenschaftler und wissenschaftliche Kooperation); Chinese Academy of Sciences, Institute of Atmospheric Physics (Gastwissenschaftler und wissenschaftliche Kooperation); Korea Institute of Technology, Seoul, Republic of Korea (Gastwissenschaftler und wissenschaftliche Kooperation); NOAA, Boulder, CO (PALMS Entwicklung).

A.1.4.4.3 *Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Spurengase und Fernerkundung (IMKASF)*

Leitende Person

Institutsleiter: Prof. Dr. Jan Cermak (kommissarisch, seit September 2024), Prof. Dr. Peter Braesicke (bis August 2024)

Kurzdarstellung

Das Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Spurenstoffe und Fernerkundung (IMKASF) entwickelt und nutzt innovative Messmethoden, neuartige Analysemethoden und fortschrittliche numerische Atmosphärenmodelle. Im Zusammenspiel von Beobachtungen und Modellierung wird die räumliche und zeitliche Verteilung atmosphärischer Bestandteile (Spurengase, Aerosole, Polare Stratosphärische Wolken, etc.) untersucht. Ziel ist es, ein verbessertes Verständnis von dynamischen, chemischen und physikalischen Prozessen, die

für die Vorhersage von Wetter, Klima und Luftqualität besonders wichtig sind, zu gewinnen. Strategisch wird ein „whole atmosphere“-Ansatz verfolgt (PoF IV FB EuU), der über die Troposphäre hinaus einen Fokus auf die untere und mittlere Atmosphäre legt, den schwierig zugänglichen Höhenbereich zwischen etwa 5 und 120 km (obere Troposphäre, Stratosphäre, Mesosphäre und untere Thermosphäre). Das IMKASF hat insgesamt neun Gruppen, die in drei Abteilungen mit unterschiedlichen Arbeitsschwerpunkten zusammengefasst sind. Als Querschnittsthema wird dabei das Forschungsdatenmanagement kontinuierlich entwickelt und ist mit dem DataHub (PoF IV FB EuU) und der NFDI4Earth eng verbunden. Seit September 2024 hat Prof. Dr. Jan Cermak nach dem Wechsel von Prof. Dr. Peter Braesicke in den Vorstand des DWD kommissarisch die Institutsleitung des IMKASF inne. Das Berufungsverfahren für die inhaltliche Nachfolge Prof. Orphal am IMKASF läuft, die Nachfolge Prof. Braesicke wurde angestoßen, beide als W3-Professuren verbunden mit einer Abteilungsleitung am IMKASF.

Für die Atmosphärenmessungen werden einzigartige, vorwiegend selbst entwickelte Instrumente auf diversen Plattformen (Bodenstationen, Forschungs- und Passagierflugzeuge, Höhenballons und Satelliten) sowie operationelle Satellitensysteme eingesetzt. Das IMKASF ist weltweit federführend in der Auswertung und Bewertung der Daten des MIPAS-Instruments auf dem Satelliten ENVISAT (2002-2012), koordiniert seit 2015 das europäische Projekt I-AGOS-CARIBIC (hier machte der Umstieg auf einen Airbus A350 der Lufthansa weiterhin gute Fortschritte, die Wiederaufnahme des operationellen Betriebs ist für Ende 2025 geplant), hat gemeinsam mit dem FZ Jülich das Instrument GLORIA entwickelt, ein weltweit einzigartiges 2D-abbildendes Fourier-Transform-Spektrometer im mittleren Infrarot, und ist führend am Betrieb und an der Weiterentwicklung von internationalen Netzwerken von Bodenstationen (NDACC, TCCON, COCCON) beteiligt. Das unter Federführung des IMKASF mit Partnern am FZJ entwickelte Messgerät GLORIA-Lite wurde 2024 erstmals bei einer Messkampagne erfolgreich eingesetzt. Die ACTRIS-D Infrastruktur KLOX nähert sich dem Ende ihrer Aufbauphase und erweitert unsere satellitengestützten Studien zu Aerosol-Wolken-Interaktionen. Für die Simulation der Atmosphäre inklusive relevanter Spurenstoffe wird das ICON-ART-Modellsystem mitentwickelt und in diversen Projekten (z.B. ITMS und HErZ) mehr und mehr in der Unterstützung von Kampagnen genutzt.

Highlights der Forschung

- GLORIA-Lite Transatlantik-Ballonflug von Nordschweden nach Kanada: Das neu entwickelte abbildende FTIR-Spektrometer GLORIA-Lite ist mit einem Stratosphärenballon im Rahmen der Messkampagne TRANSAT 2024 vom 22. bis 26. Juni 2024 von Kiruna (Nordschweden) über Grönland nach Baffin Island (Kanada) geflogen. Dabei wurde die Luftzusammensetzung zwischen 5 und 40 km Höhe gemessen.
- Klimaforschung: Wetter- und Klimamodell ICON ist Open-Source: Das numerische Modell ICON ermöglicht effiziente Wettervorhersagen und Klimaprojektionen. Mit ICON-ART hat das KIT das System um eine Komponente erweitert, um zu untersuchen, wie sich etwa Treibhausgasemissionen und Staubwolken von Saharastürmen ausbreiten und auf Wetter und Klima auswirken. Das Modell steht seit Januar 2024 unter einer Open-Source-Lizenz der Öffentlichkeit zur Verfügung und soll zu mehr Transparenz in der Wissenschaft beitragen.
- Rettung der Singapur-Zeitreihe: Das IMKASF hat 2023 die Fortsetzung der Singapur QBO-Datenreihe der FU Berlin übernommen. Die Berechnung der QBO am KIT erfolgt weiterhin mit dem an der FU Berlin entwickelten Analyseverfahren, sodass die FUB-QBO Datenreihe konsistent in die Zukunft fortgesetzt wird. Dieser Datensatz wird benötigt für eine Vielzahl

von klimawissenschaftlichen Anwendungen (z.B. Trendanalysen, Modellrelaxation).
[<https://www.atmohub.kit.edu/807.php>]

Strategische Ereignisse

Die Zentren- und Topic-übergreifende Initiative DataHub im Forschungsbereich Erde und Umwelt (FB EuU) verfolgt das Ziel, in konsequenter Umsetzung der FAIR-Prinzipien, den Zugang und das einfache Arbeiten mit Forschungsdaten Kompartimente-übergreifend zu ermöglichen. Entwicklung und Betrieb fokussieren sich auf die drei wichtigen Aufgaben:

- Bereitstellung von dezentral gespeicherten Daten in dem integrierenden „Earth Data Portal“ (www.earth-data.de),
- Bereitstellung von Werkzeugen zur Einbindung von Forschungsdaten in eigene Arbeitsprozesse und -Abläufe, sowie
- Stärkung des systematischen Forschungsdatenmanagements durch den Aufbau durchgängiger, digitaler Prozesse von der Datenerhebung bis zur Archivierung.

Der DataHub ist in den Aufbau der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI), sowie der European Open Science Cloud (EOSC) eng eingebettet. Darüber hinaus wird die Vernetzung mit anderen datenhaltenden Quellen im Bereich der Erdsystemwissenschaften, wie beispielsweise der nationalen Geodateninfrastruktur GDI-DE oder der nationalen Infrastruktur für marine Daten MDI-DE, vorangebracht (<https://www.atmohub.kit.edu/>).

Die Technologien des DataHub sind inzwischen so weit entwickelt, dass thematische Viewer für spezifische Forschungsfragen leicht umzusetzen sind. Exemplarische Workflows wurden implementiert, die Einbindung eigener Daten in „Szenarien-Rechnungen“ ermöglichen, was die zukünftige Entwicklung digitaler Zwillinge vereinfacht. Ein automatisierter Zugriff auf Forschungsdaten (maschinenlesbar), wie er für Anwendungen unter Verwendung künstlicher Intelligenz benötigt wird, wurde ebenso exemplarisch im Jahr 2023 umgesetzt.

Ein wichtiges Element der zukünftigen Entwicklung der Atmosphären- und Klimaforschung am KIT (insbesondere im europäischen Rahmen) stellt die Umsetzung des BMBF-finanzierten Vorhabens ACTRIS-D als Teil der EU ESFRI-Infrastruktur ACTRIS mit Status einer ERIC dar. Die Förderung in Höhe von ca. 15 Mio. Euro ermöglicht den Aufbau einer umfassenden ACTRIS-D-Infrastruktur in Form von Langzeit-Beobachtungsplattformen und der ACTRIS „Central Facility for Cloud In Situ Measurements“ (CIS) am KIT.

Die Europäische Weltraumorganisation (ESA) hat dem vom KIT koordinierten Vorschlag für die Satellitenmission CAIRT (steht für: changing-atmosphere infrared tomography; mehr Infos unter <https://www.cairt.eu/de>) für den ESA-Satelliten Earth Explorer 11 im November 2023 als einen von zwei verbleibenden Kandidaten für eine Mission zur Erdbeobachtung ausgewählt. Die finale Entscheidung fällt im Sommer 2025.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Zusammenarbeit mit europäischen Raumfahrtorganisationen (ESA, EUMETSAT), Zusammenarbeit mit der Lufthansa, Zusammenarbeit mit Bruker.

Hochschulen

Zusammenarbeit mit den universitären Partnern in nationalen Forschungsdateninfrastruktur NFDI4Earth, Kooperation mit dem Institute for Climate and Atmospheric Science (ICAS) der

University of Leeds in Großbritannien; Zusammenarbeit mit der Universität in Granada; Universität Aix-Marseille, Frankreich; ETH Zürich, Schweiz; Aristoteles-Universität Thessaloniki, Griechenland.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Kooperation mit dem DLR-Institut für Physik der Atmosphäre (IPA) in Oberpfaffenhofen als assoziiertem Partner des Topic 1; DWD als assoziierter Partner in Topic 1 im Programm Changing Earth am KIT; TROPOS, Leipzig; DKRZ, DWD, MPI-M und C2SM (Schweiz) als Partner im ICON-Konsortium; Nationale Forschungsinitiative: „Forschungsflugzeug HALO“; Europäische Forschungsinitiativen: ESFRI EU-Infrastrukturen ACTRIS und IAGOS (unter (Co-)Führung durch KIT); Zusammenarbeit mit Observatorien in Teneriffa (Spanien), Kiruna (Schweden); Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Frankreich; Gobabeb Namib Research Institute, Namibia.

A.1.4.4.4 *Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Umweltforschung (IMKIFU)*

Leitende Person

Institutsleiter: Prof. Dr. Hans Peter Schmid

Kurzdarstellung

Das Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Umweltforschung (IMKIFU) verfolgt Fragen der Klima-Landoberflächen-Interaktion auf regionaler bis globaler Skala sowie der Sondierung der unteren Atmosphäre im Wettbewerb und in breiter Partnerschaft mit anderen weltweit führenden Instituten. Die Forschung am IMKIFU ist Bestandteil des Helmholtz Forschungsprogramms Changing Earth – sustaining our future (CE), Topic 1: The Atmosphere in Global Change. Schwerpunkte sind die Wechselwirkungen zwischen Land und Atmosphäre (z.B. biogene Treibhausgasemissionen, Hydrometeorologie), zwischen Landnutzung und Klima sowie die bodengestützte atmosphärische Fernerkundung. Sowohl in Messprogrammen als auch in der Modellierung liegt der thematische Fokus auf klimasensitiven und durch anthropogenen Einfluss geprägten Regionen (Berggebiete, semiaride Regionen, intensive Landwirtschaft, städtische Ballungsräume); z.B. im bayerischen Voralpenland, in West- und Ostafrika sowie in Ostasien (China, Vietnam, Philippinen).

Die Komplexität der Prozesse, die solche Interaktionen bewirken oder begleiten, gehören zu den meistgenannten Gründen für Unsicherheiten in der regionalen Klimamodellierung, der Vorhersage von Hochwasser oder Dürre, oder der Bewertung von anthropogenen Landnutzungsänderungen (z.B. in Land- und Forstwirtschaft, Urbanisierung). Das breite Spektrum von Zeitskalen (Sekunden bis Dekaden), über die sich Boden-Ökosystem-Klima-Wechselwirkungen abspielen, verlangt einen fortlaufenden, langjährigen und innovativ/ integrativen Ansatz in der experimentellen Forschung, kombiniert mit Modellierung. Das IMKIFU führt am Institut und im direkten Umland langfristige Messungen durch (TERENO-preAlpine Umwelt-Observatorien, wissenschaftliches Gewächshaus, Zentrum für Stabile Isotopen-Analyse) und betreibt sowohl experimentelle Prozessforschung als auch die Entwicklung und Evaluation regionaler Klima-Erd-System-Modelle (mit eigenem High-Performance Computing Cluster). Um die Zu-

sammenhänge zwischen Klima- und Landoberflächenveränderung (insbesondere Treibhausgasbilanzen) zu verstehen und auf den Klimawandel bezogene Resilienzstrategien zu entwickeln, werden am IMKIFU zeitlich und räumlich hochaufgelöste Modelle (z.B. das bio-geochemische Ökosystemmodellsystem LandscapeDNDC, das dynamisches Vegetationsmodell LPJ-GUESS, das sozio-ökonomische/ ökologische Modellsystem CRAFTY) von Einzelprozessen bis zu regionalen Klimamodellsystemen betrieben und weiterentwickelt. Auf sozioökologischer Ebene werden die Ursachen und Konsequenzen von Veränderungen in sozioökologischen Systemen von der lokalen bis zur globalen Skala untersucht.

Die fernerkundliche Sondierung der Atmosphäre zum Verständnis von Variabilität und langfristigen Trends von atmosphärischen Spurengasen ist ein weiteres wichtiges Tätigkeitsfeld des IMKIFU, mit drei Beobachtungsniveaus auf engstem Raum (zwischen 744 und 2.964 m ü.M.). Die lange Tradition der hochpräzisen Atmosphären-Messreihen sind Teil von weltweiten Beobachtungsnetzwerken, u.a. für die Beurteilung der Methanemissionen aus der Erdgasförderung und dem Auftauen von Permafrost Böden, die Validierung von Satellitenmissionen, die Überwachung internationaler Vereinbarungen zur Emissionsbeschränkung (Montreal Protokoll, Paris Agreement) sowie als Beitrag zur Europäischen Forschungsinfrastruktur ACTRIS.

Highlights der Forschung

- Prof. Dr. Harald Kunstmann erhielt am 20. März 2024 in Berlin den Deutschen Hydrologiepreis für seine Leistungen in der Hydrologie. Er erforscht mit Computern Modellen die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt. Sein Team entwickelt Messverfahren, etwa die Nutzung von Mobilfunkdaten zur Erstellung hochauflösender Niederschlagskarten – besonders wichtig für Länder des globalen Südens mit fehlenden verlässlichen Messungen.
- Prof. Dr. Almut Arneth wurde für ihre Forschung zu Klimawandel und Biodiversität mit dem Verdienstorden Baden-Württembergs ausgezeichnet. Ihre Arbeiten verbessern das Verständnis dieser Wechselwirkungen und fließen in politische sowie gesellschaftliche Debatten ein. Sie engagiert sich im Weltklimarat, Weltbiodiversitätsrat und dem Klima-Sachverständigenrat Baden-Württembergs. Zudem zählt sie seit sechs Jahren zu den meistzitierten Wissenschaftlerinnen weltweit.
- Prof. Dr. Klaus Butterbach-Bahl wurde 2024 in San Francisco mit dem Sustainability Award des Nobel Sustainability Trust (NST) und der TU München ausgezeichnet. Der renommierte Biogeochemiker ist seit 1989 am KIT-Campus Alpin tätig und leitet seit 2022 auch das dänische Pionierzentrum Land-CRAFT. Seine Forschung fokussiert sich auf die Umweltauswirkungen der Landwirtschaft, insbesondere Treibhausgase.
- Fünfzehn Jahre integrierte terrestrische Umweltobservatorien (TERENO) in Deutschland: Funktionen, Dienste und Erfahrungen (Zacharias et al. 2024. Earth's Future. <https://doi.org/10.1029/2024EF004510>): Die Entwicklung integrierter Beobachtungssysteme zur Bewältigung globaler Umweltveränderungen ist eine zentrale Herausforderung der Erdsystemwissenschaft. Vor 15 Jahren gründete die Helmholtz-Gemeinschaft die Forschungsinfrastruktur TERENO, ein deutschlandweites Observatorien-Netzwerk. Das Observatorium TERENO-preAlpine im Bayerischen Alpenvorland wird vom IMKIFU betrieben. Als Deutschland-weites Netzwerk von Observatorien ist TERENO die Basis für interdisziplinäre und langfristige Forschung zu Auswirkungen globaler Umweltveränderungen auf terrestrische Ökosysteme und deren sozioökonomische Folgen.

Strategische Ereignisse

(i) Ein neuer globaler Datensatz bietet Informationen zur Produktion und Nutzung von Getreiderückständen im Zeitraum 1997–2021. (ii) Im Bereich regionale Klimasysteme wurden verschiedene Analyse-Tools erarbeitet, darunter PyCast zur saisonalen Klimavorhersage sowie BCSD-prozessierte saisonale Prognosen, insbesondere für das Blaue-Nil-Becken. (iii) Ein parlamentarisches Frühstück im Oktober 2024 thematisierte die Klimawirkung von Methan als unterschätzte Gefahr. (iv) Zudem wurde eine neue KIT-Nachwuchsgruppe zur Analyse und Modellierung von Landnutzungsdaten gegründet.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Landwirtschaftsministerium in Vietnam (Rice CH₄ emission assessment tool for stakeholders in Vietnam); WWL Umweltplanung und Geoinformatik GbR; Entscheidungshilfe-Programm Grünlandbewirtschaftung (Landwirtschaft, Milchwirtschaft).

Hochschulen

Technische Universität München; Universität Augsburg; Aarhus University (Dänemark); Universität Freiburg.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES); Bayerisches Landesanstalt für Landwirtschaft; Helmholtz Zentrum München.

A.1.4.4.5 *Institut für Meteorologie und Klimaforschung Troposphärenforschung (IMKTRO)*

Sprecher der kollegialen Leitung: Prof. Dr. Joaquim José Ginete Werner Pinto

A.1.4.4.5.1 *Teilinstitut Troposphärische Messkampagnen und Modellentwicklung (IMKTRO-T)*

Leitende Person

Teilinstitutsleiter: Prof. Dr. Peter Knippertz

Kurzdarstellung

Am IMKTRO-T werden grundlegende Untersuchungen zu Wetter, Klima und Spurenstoffen auf Basis von Messungen und Modellrechnungen durchgeführt. Diese haben erhebliches Anwendungspotential und werden durch gezielte Maßnahmen zum Wissenstransfer gesellschaftlichen Akteuren zur Verfügung gestellt. Die Arbeiten sind im Forschungsbereich Erde und Umwelt (EuU) im Programm Changing Earth – Sustaining our Future (CE) und dort im Topic 1 „The Atmosphere in Global Change“ verankert. In neun Arbeitsgruppen werden Themen der Wetter- und Klimaforschung bearbeitet. Hinzu kommen eine Helmholtz-Nachwuchsgruppe, die zum Mineralstaubkreislauf und dessen Auswirkungen forscht, eine BMDV-finanzierte Nach-

wuchsgruppe „Mesoskalige Prozesse und Vorhersagbarkeit“ sowie eine über den ERC Starting Grant ASPIRE („Advancing Subseasonal Predictions at Reduced computational Effort“) finanzierte Nachwuchsgruppe.

Das Teilinstitut wird aus Mitteln der Helmholtz-Programmforschung (PoF IV) gefördert und ist maßgeblich/leitend an großen Forschungsprojekten beteiligt, die von der DFG (z.B. VollImpact, HALO SPP), dem BMBF (z.B. ClimXtreme II), dem BMWK, der Helmholtz-Gemeinschaft (z.B. MOSES) und der EU (EDIPI, ERC Starting Grant ASPIRE) gefördert werden.

Es werden grundlegende Untersuchungen zu Prozessen im Klimasystem, im Wasserkreislauf und zur Wetterdynamik und -vorhersagbarkeit durchgeführt. Hierzu werden atmosphärische Prozesse wie Turbulenz, Konvektion, Wolkenbildung, Aerosolphysik, Niederschlagsentstehung und Austauschvorgänge an der Erdoberfläche durch Messungen, mit theoretischen Ansätzen und durch Modellrechnungen eingehend untersucht. Dies erfolgt mit geographischen Schwerpunkten auf Europa, den Mittelmeerraum und Afrika. Die Ergebnisse werden in prognosefähigen Modellen der Atmosphäre genutzt, um die Vorgänge im Klimasystem und bei Wetterphänomenen geeignet darzustellen und vorherzusagen. Forschungsschwerpunkte sind das Klima im regionalen Maßstab sowie Wettergefahren durch Sturm, Starkregen und Gewitter. Insbesondere letzteres wird mit engem Anwendungsbezug (u.a. Versicherungen) durchgeführt. Die dafür verantwortlichen Prozesse werden eingehend erforscht, durch Messungen erfasst und mit Modellen simuliert. Die Einflüsse der Orographie und Landnutzung auf die Wind- und Niederschlagsverteilung und die Dynamik konvektiver Systeme werden durch Messungen (KITcube, Radar, Lidar) mit boden- und luftgestützten Plattformen und Modellrechnungen (ICON) untersucht. Die Weiterentwicklung eigener Modellsysteme (ICON-ART) und die Durchführung großer Messprogramme nehmen dabei einen breiten Raum ein. Die Ergebnisse vieler Arbeiten finden Anwendung bei Fragen zum menschlichen Einfluss auf die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre und auf das Klima sowie bei der Risikobewertung von Wettergefahren, auch als Beitrag zu CEDIM (Center of Disaster Management and Risk Reduction Technology) und zu den KIT-Zentren Klima und Umwelt und MathSEE (Mathematics in Sciences, Engineering, and Economics). Eine zentrale Informationsschnittstelle zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit bzw. Industrie stellt das Süddeutsche Klimabüro dar. Ein besonders sichtbarer Wissenstransfer findet im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) u.a. zur Vorhersagemodellierung von Aerosolen (z.B. Vulkanasche), zu hochauflösender Klimamodellierung, zur Entwicklung von Messverfahren und zur Datenassimilation statt. Weiterhin besteht ein Kooperationsvertrag zwischen DWD, MPI-M, DKRZ und KIT über die gemeinsame Entwicklung des ICON-Modellsystems.

Highlights der Forschung

- Flugzeuggestützte Windmessung: Das IMKTRO-T hat in den vergangenen Jahren ein neuartiges System zu hochaufgelösten Messungen von Wind und Turbulenz entwickelt, das auf dem Forschungsflugzeug Cessna F406 (D-ILAB) der Technischen Universität Braunschweig eingesetzt wird. Das Doppler-Lidar System AIRflows (AIRborne fixed-beam lidar for wind measurements) ist eine Revolution in der Messtechnik. Bisherige Systeme verwenden ein einzelnes Doppler-Lidar Modul, das mittels eines Scanners Messungen der Radialwindgeschwindigkeit in verschiedene Blickrichtungen durchführt, um den 3D-Wind zu berechnen. Durch Kosten- und Größenreduzierung in den letzten Jahren ist es jetzt erstmals gelungen, fünf Lidare mit festen Blickrichtungen zu verwenden. Dies erlaubt eine um etwa eine Größenordnung bessere räumliche Auflösung sowie eine höhere Genauigkeit, was in mehreren Testflügen in 2024 demonstriert werden konnte.

- **Atmosphärenmodellierung:** In der numerischen Modellierung ist eine realistische, physikalische Darstellung atmosphärischer Beimengungen und ihrer Wechselwirkung mit Strahlung komplex und verteuert Simulationen enorm. Daher ist es wünschenswert, die Simulation von Prozessen in diesem Bereich durch statistische Methoden zu beschleunigen. Methoden der künstlichen Intelligenz bieten hier neue Möglichkeiten. Ein herausragendes Beispiel ist das Softwarepaket MieAI, das eine AI-basierte, schnelle, präzise und effiziente Berechnung aerosoloptischer Eigenschaften erlaubt. Integriert in das Modell ICON-ART, erlaubt MieAI längere und/oder höher aufgelöste Simulationen für Klima-, Wetter- und Energieanwendungen.
- **Afrikaforschung:** Untersuchungen im Bereich Wetter, Klima und Luftqualität haben eine lange Tradition am IMKTRO. Dabei zeigte sich immer wieder, wie schwierig es ist, die hochkomplexe, nicht-lineare Meteorologie des tropischen Afrikas mit ihren diversen Skalenwechselwirkungen zu erfassen und mit numerischen Modellen zu simulieren. In den vergangenen Jahren wurden daher neue mathematische und informatische Methoden zur Entschlüsselung der Meteorologie Afrikas ausprobiert und eingesetzt. Zum einen konnte demonstriert werden, dass mit einem recht einfachen Convolutional Neural Network bessere Eintagesniederschlagsvorhersagen für das tropische Afrika erzeugt werden konnten als mit den besten operationellen Wettermodellen inkl. einer statischen Nachbereitung. Zum anderen konnte mit Hilfe statistischer Emulatoren eine umfangreiche Charakterisierung von Unsicherheiten in verschiedenen Modellparameter durchgeführt werden.

Strategische Ereignisse

Neue Tenure-Track-Professorin am IMKTRO: Tenure-Track-Prof. Dr. Martina Klose forscht mit ihrer Arbeitsgruppe zu Aerosolen im Erdsystem, insbesondere Mineralstaub, und verwendet und entwickelt dabei numerische Modelle und Messungen im Feld und Labor. Dadurch ist ihre Forschung anschlussfähig sowohl im Hinblick auf weitere Feldmessaktivitäten, wie z.B. mit dem KITcube des IMKTRO und dem Aerosolcontainer des IMKAAF, als auch zur Modellentwicklung, insbesondere der Aerosol- und Spurengaskomponente ART des ICON-Modells.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Versicherungen (z.B. AXA, Sparkassenversicherung, Willis, AON).

Hochschulen

Institute for Climate and Atmospheric Science (ICAS) der University of Leeds in Großbritannien; Institut für Flugführung, TU Braunschweig; Kwame Nkrumah University of Science and Technology (KNUST); Universität Freiburg; University Partnership for Atmospheric Sciences (UPAS).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

DWD als assoziierter Partner in Topic 1 im Programm Changing Earth am KIT; Meteo Swiss; European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF); Kooperation mit dem DLR-Institut für Physik der Atmosphäre (IPA) in Oberpfaffenhofen als assoziiertem Partner des Topic 1; Nationale Forschungsinitiative: „Forschungsflugzeug HALO“; Europäische Forschungsinitiativen: ESFRI EU-Infrastrukturen ACTRIS, ICOS und IAGOS (unter (Co-)Führung durch KIT); Zusammenarbeit mit Observatorien in Teneriffa (Spanien), Kiruna (Schweden), Adis Abebe (Äthiopien) und Alzomoni (Mexiko) sowie dem CalTech und dem NASA-JPL in Pasadena (USA).

A.1.4.5 Bereich V – Physik und Mathematik

A.1.4.5.1 *Institut für Beschleunigerphysik und Technologie (IBPT)*

Leitende Person

Institutsleiterin: Prof. Dr. Anke-Susanne Müller

Kurzdarstellung

Das IBPT betreibt die Beschleunigeranlagen KARA (Karlsruhe Research Accelerator) als Beschleuniger-Testanlage und KIT Light Source und den Kurzpuls-Linearbeschleuniger FLUTE (Ferninfrarot Linac- und Test-Experiment) als Quelle intensiver, ultra-kurzer Elektronen- und Terahertz-Strahlungspulse. An den Beschleuniger-Testanlagen werden innovative Beschleunigertechnologien entwickelt, wie z.B. Diagnostik zur ultraschnellen Messung und Kontrolle der Elektronenstrahlen und neue Magnettechnologien. Methoden des maschinellen Lernens werden zur Optimierung und Stabilisierung des Betriebs eingesetzt. Das ermöglicht unter anderem Grundlagenforschung zu nichtlinearer Dynamik von Elektronenstrahlen. Mit seinen Industriepartnern bringt das IBPT Entwicklungen an deutschen und internationalen Hochleistungsbeschleunigern zum Einsatz. In den Zukunftsprojekten wird an laserbasierten Beschleunigern und kompakten Anlagen gearbeitet, u.a. an cSTART (compact Storage Ring for Accelerator Research and Technology), einem kompakten Speicherring für den Einfang und die Speicherung kurzer Elektronenpakete.

Ein weiteres wichtiges Standbein ist die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses direkt an den Forschungsinfrastrukturen. Bereits mehrfach wurden Nachwuchsforschende des KIT für ihre Arbeiten in der Beschleunigerforschung mit nationalen und internationalen Preisen ausgezeichnet.

Die IBPT-Anlagen sind Schlüsselinstrumente der Spitzenforschung in Physik, Chemie, Biologie, Medizin und in den Materialwissenschaften: Die Beamlines der KIT Light Source werden von elf Instituten des KIT aus Helmholtz Matter, Helmholtz Energy und Helmholtz Information (sieben Helmholtz-Programme), deren externen Kooperationspartnern, im Rahmen mehrerer SFB und anderer koordinierter Programme, sowie von zahlreichen Partnern aus der Wirtschaft genutzt.

Im Forschungsverbund Accelerator Technology Platform (ATP) am KIT arbeitet das IBPT in transdisziplinären Ansätzen gemeinsam mit Instituten des KIT aus vier Bereichen und sechs KIT-Fakultäten an der Entwicklung der Beschleunigertechnologien von morgen: von den Komponenten, die die Bausteine für einen Beschleuniger ausmachen, bis zum kompletten System. Ein wichtiges Ziel der ATP ist die energieverantwortliche Gestaltung von Beschleunigern und Forschungsinfrastrukturen. Hierzu wird in Zusammenarbeit von EnergyLab (Helmholtz Energy) und KARA das KIT-Testfeld für Energieeffizienz und Netzstabilität KITTEN betrieben. Ein weiterer Schwerpunkt der Forschung in der ATP ist die Entwicklung von Detektor-, Magnet- und Beschleunigertechnologien für den medizinischen Einsatz. Hier kooperiert das IBPT beispielsweise eng mit dem DKFZ und dem Universitätsklinikum Heidelberg in der Entwicklung und Charakterisierung neuer Technologien, Ansätze und Modalitäten für die Strahlentherapie. Zu seinen Forschungsthemen kooperiert das IBPT innerhalb des KIT im Rahmen der Aktivitäten der KIT-Zentren Health Technologies, KCETA, KCIST und Energy.

Highlights der Forschung

- Im Projekt cSTART konnte erfolgreich der Technische Design Report abgeschlossen und Partner aus der Industrie für den Aufbau eines neuartigen, kompakten Speicherrings gewonnen werden. Die Injektion von Elektronenpaketen aus Laser-Plasma-Beschleunigern (LPAs) und die Speicherung dieser ultra-kurzen Pakete im kompakten Speicherring in einem Nicht-Gleichgewichts-Zustand soll neuartige Betriebsmodi von Teilchenbeschleunigern ermöglichen. Vorbereitende Simulationen und Experimente bestätigen, dass ein Laser-Plasma-Injektor die nötigen Anforderungen erfüllen kann.

Ray, N.; Squires, D.; Saw, A. Y.; Natal, J.; Haerer, B.; Mueller, A.-S.; Fuchs, M.; Kirchen, M.; Jalas, S.; Messner, P.; Werle, C.; Maier, A., 2024. Proceedings of 15th International Particle Accelerator Conference, Nashville, Tennessee; MOPR44; doi:10.18429/jacow-ipac2024-mopr44.

- Die Publikation „Bridging the gap between machine learning and particle accelerator physics with high-speed, differentiable simulations“ wurde von den Editoren des Journals „Physical Review Accelerators and Beams“ unter die Top 10 Veröffentlichungen des Jahres 2024 gewählt.

Die beiden Doktoranden (KIT & DESY) haben den sehr schnellen Simulationscode „Cheetah“ für Teilchenbeschleuniger entwickelt, der auf die Anwendung von „Maschinellem Lernen“ (ML) im Beschleunigerbetrieb optimiert ist, d.h. unter anderem perfekte Schnittstellen zu üblichen ML-Algorithmen bietet. Der Code wird nun in einer internationalen Kooperation weiterentwickelt.

J. Kaiser, Ch. Xu, A. Eichler, and A. Santamaria Garcia; Bridging the gap between machine learning and particle accelerator physics with high-speed, differentiable simulations; Phys. Rev. Accel. Beams 27, 054601, DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevAccelBeams.27.054601>.

- Es wurden erfolgreich Hoch-Temperatur-Supraleiter-Magnete entwickelt und getestet, die besonders interessante Eigenschaften für den Bau von kompakten Beschleunigern bieten. Durch eine höhere Betriebstemperatur werden unmittelbar die Kosten für Kühlung gesenkt. Es wurden Prototypen für Quadrupole und helikale Undulatoren demonstriert. Diese Entwicklungen sind Teil der Forschung in KITTEN.

Fatehi, S.; Bernhard, A.; Richter, S. C.; Grau, A.; Eisele, M.; Hornung, F.; Arndt, T.; Mueller, A. S.; Fabrication and Powering Test of a High-Temperature Superconducting Periodic Quadrupole Driving a Short-Length Transport Line for Laser-Plasma Accelerators; 2024. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 34 (3), Art.-Nr.: 4001905, DOI: 10.1109/TASC.2024.3351958.

Richter, S. C.; Ballarino, A.; Bernhard, A.; Muller, A.-S.; Design and manufacturing of an HTS helical undulator demonstrator for compact FELs; 2024. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 34 (3), 1–7, DOI:10.1109/TASC.2024.3356449.

Strategische Ereignisse

Prof. Dr. Anke-Susanne Müller und Prof. Dr. Matthias Fuchs haben zusammen mit Prof. Dr. Oliver Jäkel (DKFZ) das Projekt „UCART“ im Rahmen des Programms „CZS Wildcard“ eingereicht, das nun von der Carl-Zeiss-Stiftung unterstützt wird. In UCART soll eine neue Methode der Strahlentherapie entwickelt werden, bei der Tumore mit einem Elektronenbeschleuniger direkt im Körper bestrahlt werden. Mit diesem Projekt stärkt das IBPT seine Kompetenzen im Bereich „Health Technologies“ und seine Kooperation mit dem DKFZ.

Prof. Dr. Steffen Grohmann erhält mit einem Advanced Grant des Europäischen Forschungsrats (ERC) eine Förderung für das Projekt GRAVITHELIUM zur Entwicklung einer Schlüsseltechnologie für das Einstein-Teleskop (ET) – den europäischen Gravitationswellendetektor der nächsten Generation. GRAVITHELIUM zielt darauf ab, mit suprafluidem Helium die Empfindlichkeit kryogener Laser-Interferometer bis an fundamentale Grenzen auszuschöpfen.

Im Rahmen von CERN70 hat sich das IBPT an Veranstaltungen beteiligt, um der breiten Öffentlichkeit Teilchenbeschleuniger und große Forschungsinfrastrukturen näher zu bringen. Neben einer Ausstellung auf dem Kronenplatz in Karlsruhe mit Mitmachexperimenten war Anke-Susanne Müller eine der Diskussionspartnerinnen der Podiumsdiskussion „Die Grundlagenforschung und ihre gesellschaftliche Relevanz“.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Bilfinger Nuclear & Energy Transition GmbH, Microworks.

Hochschulen

Friedrich-Schiller-Universität Jena, Technische Hochschule Mittelhessen, Technische Universität Darmstadt, Technische Universität Dortmund, Universitätsklinikum Heidelberg, Universität Hamburg, Université de Lille (Frankreich), Shizuoka University (Hamamatsu, Japan).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Diamond Light Source, Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ), European Organization for Nuclear Research (CERN), European XFEL, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR), Helmholtz-Institut Jena, Helmholtz-Zentrum Berlin, Max-Planck-Gesellschaft, National Institute of Information and Communications Technology (NICT, Tokyo, Japan), Paul-Scherrer-Institut (Schweiz), Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig und Berlin, Synchrotron SOLEIL (Paris, Frankreich).

A.1.4.5.2 *Institut für Quantenmaterialien und -technologien (IQMT)*

Leitende Person:

Institutsleiter: Prof. Dr. Matthieu Le Tacon

Kurzdarstellung

Die Erforschung der Quantentechnologie ist eine der zentralen Herausforderungen, die die Helmholtz-Gemeinschaft in der vierten PoF-Förderperiode (seit 2021), angeht. Sie steht im Mittelpunkt der Forschungsagenda des NACIP-Programms in Helmholtz Information. Die überwiegende Mehrheit der in der Quantenforschung am KIT tätigen Forschenden ist am Institut für Quantenmaterialien und -technologien (IQMT) angesiedelt, das 2020 nach einer tiefgreifenden Umstrukturierung des Instituts für Festkörperphysik offiziell gegründet wurde.

Das IQMT bündelt die vorhandene Expertise in einer gut sichtbaren Struktur in einem unabhängigen Institut, in dem die Abteilungen von international renommierten Expertinnen und Experten auf dem Gebiet der Quantenmaterialien und Quantentechnologien geleitet werden. Im Jahr 2024 bestand das IQMT aus insgesamt 23 Arbeitsgruppen, die in 9 Abteilungen untergebracht sind.

Erwähnenswert ist die Ernennung von Prof. Dr. Florian Weigend, einem Spezialisten für theoretische Quantenchemie, zum Leiter der Abteilung Molekulare Quantensysteme.

Ein übergreifendes Ziel des IQMT ist es, Synergien zwischen den Aktivitäten des KIT zu nutzen, wie z.B. fundamentale, von der Physik getriebene Materialentwicklungen und das Design künstlicher Strukturen, die darauf abzielen, auf der Grundlage neuer Erkenntnisse und Entde-

ckungen neue Funktionalitäten zu entwickeln, zu verstehen und zu beherrschen. Die Integration von adaptiven und abstimmbaren Quantenmaterialien in Geräte zielt darauf ab, neue Bausteine für zukünftige Informationstechnologien zu schaffen.

Im Jahr 2024 wurden am IQMT 42 Doktorarbeiten betreut. Sieben Promovierende haben ihre Dissertation am IQMT abgeschlossen. Im Jahr 2024 wurden 118 begutachtete Publikationen (aufgelistet in der Clarivate-Web of Science Datenbank) veröffentlicht, darunter drei Veröffentlichungen in Nature Physics, sechs in Nature Communications, drei in Physical Review X und neun in Physical Review Letters.

Highlights der Forschung

- Beobachtung von Josephson-Oberwellen in Tunnelkontakten: Die Entwicklung groß angelegter supraleitender Quantenprozessoren muss mit mikroskopischen Freiheitsgraden in Festkörperbauteilen umgehen. Moderne supraleitende Qubits nutzen Tunnel-Josephson-Kontakte aus Aluminiumoxid (AlOx) als nichtlineare Elemente für Quantenoperationen. Üblicherweise wird eine ideale sinusförmige Strom-Phasen-Beziehung angenommen, die jedoch nur für Kanäle mit sehr geringer Transparenz gilt. KIT-Forschende und das FZJ zeigten, dass diese Annahme die Energiespektren künstlicher Transmon-Atome nicht genau beschreibt. Ein mesoskopisches Modell mit höheren Josephson-Harmonischen verbessert die Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung erheblich. Dies hat wichtige Folgen für auf AlOx beruhende Quantentechnologien wie Quantencomputer und parametrische Verstärker (DOI: 10.1038/s41567-024-02491-3).
- Druckabhängiges elektronisches Übergitter im Kagome-Supraleiter CsV₃Sb₅: Forschende des KIT und der TU Dresden haben eine hochauflösende Einkristall-Röntgenbeugungsstudie des Kagome-Supraleiters CsV₃Sb₅ unter variierendem Druck und Temperatur durchgeführt. Sie zeigen, dass sich die strukturellen Modulationen der elektronischen Superstruktur bei tiefen Temperaturen ($T = 25$ K) um $p \sim 0,7$ GPa von einem 2×2 -Muster zu einer langreichweitigen Modulation mit $q = (0, 3/8, 1/2)$ wandeln. Dies stimmt mit früheren Transport- und NMR-Studien überein und liefert neue Einblicke in diese Übergänge. Auffällig ist die Korrelation zwischen den druckinduzierten Veränderungen der elektronischen Superstruktur und zwei Maxima der supraleitenden Übergangstemperatur, was auf eine Rolle der Fluktuationen für die Supraleitung hindeutet. Die Ergebnisse widersprechen jedoch den Vorhersagen ab initio berechneter elektronischer Strukturen und stellen gängige Modelle einer Peierls-artigen Verschachtelung mit Van-Hove-Singularitäten infrage (DOI: 10.1103/PhysRevLett.133.236503).
- Strange Metal und Supraleiter im zweidimensionalen Yukawa-Sachdev-Ye-Kitaev-Modell: Das zweidimensionale Yukawa-Sachdev-Ye-Kitaev-Modell (2D-YSYK) beschreibt universell Quantenphasenübergänge in Metallen mit räumlich ungeordneten Fluktuationen des quantenkritischen Punkts. Es enthält eine Fermifläche, die über zufällige Yukawa-Kopplungen an ein skalares Feld gebunden ist. KIT- und Harvard-Forschende präsentieren vollständige numerische Lösungen einer selbstkonsistenten, über Unordnung gemittelten Analyse des 2D-YSYK-Modells in normalleitenden und supraleitenden Zuständen. Sie bestimmen elektronische Spektralfunktionen, die frequenzabhängige Leitfähigkeit und die supraleitende Steifigkeit. Die Ergebnisse reproduzieren zentrale Beobachtungen in den Kupraten und zeigen ein Regime, in dem die supraleitende Steifigkeit bei tiefen Temperaturen mit abnehmender Übergangstemperatur zunimmt – wie es auch in massiven Kupraten beobachtet wird (DOI: 10.1103/PhysRevLett.133.186502).

Strategische Ereignisse

Die IQMT-Gruppen- und/oder Abteilungsleiterinnen und Abteilungsleiter D. Hunger, A. Metelmann, W. Wernsdorfer und W. Wulfhekel spielten eine führende Rolle bei der Vorbereitung des Vollartrags des Exzellenzclusters Chem4Quant – koordiniert von Prof. Dr. Ruben – der im November 2024 eingereicht wurde.

Anfang Januar 2024 haben die PIs des IQMT erfolgreich den Verlängerungsantrag des SFB TRR288 verteidigt, der ab Juli 2024 für vier weitere Jahre bewilligt wurde.

Die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. F. Weigend wurde offiziell am IQMT gegründet. Für die Leitung der Abteilung „Neue Quantenmaterialien“ (Nachfolge: Dr. Meingast) wurde eine neue Professur geschaffen. Die Berufungskommission hat drei Kandidatinnen in die engere Wahl gezogen. Der Ruf für den Erstplatzierten wurde Anfang 2025 erteilt.

Längerfristige Kooperationen

QUSTEC, am MARIE SKŁODOWSKA-CURIE Horizon 2020 COFUND-Programm des European Campus Eucor im Bereich Quantenwissenschaft und Technologie; SFB „Elastic Tuning and Response of Electronic Quantum Phases of Matter“ (SFB TRR 288) mit den Universitäten Frankfurt und Mainz (2024 verlängert); Teilnahme am BMBF-Projekt Q.R.X.; NFDI-Projekt DAPHNE; GeQCOS BMBF-Projekt; NEQSIG (BMBF-Projekt); BMBF-Projekt qBRigs, EU-Projekt AVAQus – FETOpen; EU Horizon-Projekten SuperQMe und TruePA EU-horizon, BMBF gefördertes Projekt ToFPAXRIS.

Weitere Partnerschaften bestehen mit: Stanford University; Argonne National Laboratory; Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme; Max-Planck-Institut für Festkörperforschung; Max-Planck-Institut für Chemische Physik Fester Stoffe; Diamond Light Source and Oxford University; European Synchrotron Radiation Facility; Weizmann Institute; University of Oxford; Institut Néel; Laboratoire des Champs Magnétiques Intenses; University of Kyoto; Los Alamos National Laboratory; Walter-Meißner-Institut, Garching München; University of Tokyo; Technische Universität München; Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen; Université Paris Diderot; University of Minnesota, USA; Donostia International Physics Center.

A.1.4.5.3 *Institut für Astroteilchenphysik (IAP)*

Leitende Person

Institutsleiter: Prof. Dr. Ralph Engel

Kurzdarstellung

Das Institut für Astroteilchenphysik (IAP) betreibt Grundlagenforschung in der Teilchen- und Astroteilchenphysik. In internationalen Großexperimenten werden die kosmische Strahlung und hochenergetische Neutrinos, die Eigenschaften von Neutrinos und die Natur der Dunklen Materie untersucht. Die Vorhaben sind dem Programm Matter and the Universe (MU) zugeordnet, mit einer kleinen Programmbeteiligung an Matter and Technologies (MT). Prof. Dr. Ralph Engel (IAP) ist der Sprecher des Helmholtz-Programms MU. Dr. Andreas Haungs, Dr. Roman Hiller und Dr. Bianca Keilhauer, alle IAP, bilden das (nebenamtliche) Managementteam des Programms MU für die Helmholtz-Gemeinschaft und das KIT. Prof. Dr. Kathrin

Valerius ist Topic-Co-Sprecherin des Topics Matter and Radiation from the Universe (MRU) in MU. Dr. Bianca Keilhauer vertritt das Programm MU auch im Coordination Board und ist Koordinatorin für „Wissenstransfer und Öffentlichkeitsarbeit“ von Helmholtz Matter.

Prof. Dr. Kathrin Valerius (Neutrinoeigenschaften), Dr. Markus Roth (Kosmische Strahlung) und Prof. Dr. Ralph Engel (Helmholtz) sind Mitglieder des Komitees für Astroteilchenphysik (KAT) in Deutschland. Prof. Dr. Kathrin Valerius ist zudem stellvertretende Vorsitzende des KAT. Prof. Dr. Ralph Engel ist stellvertretender Sprecher des Fachverbands Teilchenphysik der DPG. International bekleidete Dr. Andreas Haungs das Amt des Vorsitzenden der APPEC General Assembly bis Dezember 2024. Prof. Dr. Ralph Engel war bis Ende 2024 Co-Chair der Kommission C4 (Astroteilchenphysik) von IUPAP, The International Union of Pure and Applied Physics, und wurde für die Wahlperiode 2025-2027 zum Chair gewählt.

Das IAP gliedert sich seit Oktober 2024 in sechs, statt wie zuvor fünf, Abteilungen: Teilchentheorie und Computing, Astroteilchentheorie, Hochenergie-Universum, Niederenergie-Universum, KATRIN und Tritiumlabor Karlsruhe, mit insgesamt 21 Arbeitsgruppen. Hinzu kommen drei Infrastrukturgruppen: Konstruktion und Versuchstechnik, Mess- und Automatisierungstechnik sowie die Verbundwerkstatt (mit dem Institut für Experimentelle Teilchenphysik (ETP) und in enger Kooperation mit dem Institut für Technische Physik (ITEP)). Die IAP-Aktivitäten sind Kernbestandteil des MU-Topics MRU. Es sind alle Arbeitsgruppen der fünf Abteilungen Astroteilchentheorie, Hochenergie-Universum, Niederenergie-Universum, KATRIN und Tritiumlabor Karlsruhe beteiligt, inklusive der Emmy-Noether-Gruppe zur Dunklen Materie von Prof. Dr. Belina von Krosigk und der ERC-Starting Grant-Gruppe von Prof. Dr. Frank Schröder. Das IAP ist an den internationalen Kollaborationen Pierre-Auger-Observatorium, IceCube, KATRIN, XENONnT, DARWIN/XLZD und Einstein Telescope beteiligt. Die Abteilung Theorie und Computing trägt zum MU-Topic Fundamental Particles and Forces bei. Einige Aktivitäten der Gruppe Cosmic Ray Technologies werden über das MU-Innovationspool-Projekt ADC-MAPP gefördert und weitere sind MT zugeordnet.

Das IAP ist am KIT-Zentrum für Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA und an der Graduiertenschule KSETA beteiligt. Die Geschäftsstellen von KCETA und KSETA sind im IAP angesiedelt. Das IAP ist der deutsche Projektpartner der „Helmholtz International Research School for Astroparticle Physics and Enabling Technologies“ (HIRSAP), die zusammen mit der UNSAM Buenos Aires organisiert wird. Neben der Leitung des Projektmanagements für das KATRIN-Experiment am KIT stellt das IAP auch das Projektmanagement-Team für das Pierre-Auger-Observatorium in Argentinien.

Highlights der Forschung

Mit dem XENONnT-Detektor, der sich tief unter der Erde im LNGS (Italien) befindet und in erster Linie für die Suche nach dunkler Materie konzipiert ist, konnte ein bahnbrechender Nachweis von Neutrinos aus dem Kern der Sonne erbracht werden. Die Messung von ^8B -Fusionsneutrinos wurde durch die hochempfindliche, untergrundarme Flüssig-Xenon-Zeitprojektionskammer des Experiments und durch innovative maschinelle Analysemethoden ermöglicht. Dieses Ergebnis stellt drei wichtige Meilensteine dar: die erste Beobachtung von elastischen Kernrückstößen, die durch astrophysikalische Neutrinos verursacht werden, die erste Messung eines speziellen Streuprozesses mit einem Xenon-Target und der erste Vorstoß eines Experiments zum Nachweis dunkler Materie in den sog. „Neutrinnenebel“. Der Erfolg des XENONnT-Experiments beim Neutrinonachweis ebnet den Weg für Xenon-basierte Detektoren der nächsten Generation, wie das geplante XLZD-Observatorium für Dunkle Materie und Neutrinophysik, die die Geheimnisse des Universums tiefer ergründen sollen.

Die KATRIN-Kollaboration konnte aus den Daten der ersten fünf Messphasen eine neue Obergrenze für die Neutrino-Masse zu $< 0,45 \text{ eV}/c^2$ bestimmen. Das Ergebnis konnte aufgrund der größeren Statistik und verbesserten systematischen Unsicherheiten erzielt werden. Das Resultat wurde auf der Konferenz „Neutrino 2024“ im Juni 2024 vorgestellt und wird in Kürze mit allen Details in Science veröffentlicht werden. Der für diese Analyse verwendete Datensatz entspricht ca. 20 % des vollen, mit dem KATRIN-Experiment angestrebten Datensatzes, der bis Ende 2025 gemessen werden soll.

Das Pierre-Auger-Observatorium hat mit einer neuen, auf KI beruhenden Analyse Details zur Zusammensetzung der höchstenergetischen kosmischen Strahlung bestimmt, indem Daten des sog. Oberflächen-Detektors, welcher mit hoher Statistik Daten aufzeichnet, mit neuronalen Netzen auf massensensitive Eigenschaften durchsucht wurden. Bei Energien von wenigen 10^{18} eV ist die Massenzusammensetzung leicht und gemischt und besteht aus verschiedenen leichten Atomkernen wie Protonen oder Heliumkernen, was frühere Messungen mit dem Fluoreszenz-Detektor bestätigt. Mit zunehmender Energie verschiebt sich jedoch die Zusammensetzung hin zu schwereren Kernen und besteht hauptsächlich aus Kernen einer Massenzahl. Dies bedeutet, dass die energiereichste kosmische Strahlung oberhalb einiger 10^{19} eV aus schwereren Kernen besteht, wahrscheinlich aus einer Kombination von Elementen wie Stickstoff oder Eisen. Das bestätigt frühere Ergebnisse der Kollaboration, stellt aber die seit langem geltende Annahme in Frage, dass die energiereichsten Teilchen der Natur hauptsächlich Protonen sind.

Strategische Ereignisse

Mit der erfolgreichen Berufung von TT-Prof. Dr. Felix Kahlhöfer auf eine W3-Professur am Institut für Astroteilchenphysik übernahm dieser die Abteilungsleitung Teilchentheorie und Computing und Prof. Dr. Thomas Schwetz-Manogold übernahm die Abteilungsleitung Astroteilchentheorie.

In der Abteilung Niederenergie-Universum wurde die YIG-Prep-Pro-Förderung von Dr. Yanina Biondi erfolgreich abgeschlossen, indem Dr. Biondi eine Helmholtz Investigator Gruppe für fünf Jahre einwerben konnte. Die Gruppe startet im März 2025.

Das KIT, mit seinen Aktivitäten des IAP und ETP, reichte vier Konzepte für die Nationale Roadmap ein: XLZD als federführende Trägereinrichtung (Abteilung Niederenergie-Universum), IceCube-Gen2 (als federführende Einrichtung zusammen mit DESY), sowie Einstein Telescope und SKA (jeweils als beteiligte Einrichtung, Abteilung Hochenergie-Universum) ein.

Längerfristige Kooperationen

Hochschulen

UNSAM - Universidad Nacional de San Martin, Buenos Aires, Argentinien; ITeDA - Instituto de Tecnologias en Deteccion y Astroparticulas, Buenos Aires, Argentinien; Universität Heidelberg; Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; Bergische Universität Wuppertal; Universität Münster; Johannes Gutenberg-Universität Mainz; University of Delaware, USA.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg; Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY; Institut d'astrophysique de Paris IAP, Frankreich; Gran Sasso Science Institute GSSI, Italien; CERN; KATRIN-Kollaboration; Pierre-Auger-Kollaboration; IceCube-Kollaboration; EDELWEISS-Kollaboration; XENON-Kollaboration; DARWIN-Kollaboration; Einstein-Telescope-Kollaboration; NA61/SHINE-Kollaboration; PUNCH4NFDI.

A.1.4.5.4 *Institut für Nanotechnologie (INT)*

Leitende Person

Institutsleiterin: Prof. Dr. Stefanie Dehnen

Kurzdarstellung

Das Institut für Nanotechnologie (INT) am KIT wurde 1998 auf Initiative des damaligen Forschungszentrums (heute KIT Großforschungsaufgabe), der damaligen Universität Karlsruhe (TH) (heute KIT Universitätsaufgabe) und der Universität Straßburg gegründet. Grundlagenforschung im Bereich der Nanowissenschaften mit Blick auf Anwendungen und die Förderung des exzellenten wissenschaftlichen Nachwuchses sind die zentralen Ziele des Instituts.

Der interdisziplinäre Ansatz des INT gilt als Schlüssel für den Erfolg und für die weltweite Reputation des Instituts. Am INT bearbeiten theoretisch und experimentell ausgerichtete Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Chemie, Physik, Material- und Ingenieurwissenschaften sowie der Biologie gemeinsame Fragestellungen. Das INT umfasst derzeit 18 wissenschaftliche Abteilungen, die von international ausgewiesenen Universitätsprofessorinnen und -professoren des KIT sowie der Universitäten Basel, Darmstadt und Gießen geleitet werden. Die Entwicklung wirtschaftlich aussichtsreicher Innovationen wird in enger Kooperation mit Industriepartnern vorangetrieben, etwa im Bereich der Batteriematerialien im gemeinsam mit der BASF SE betriebenen Batterie- und Elektrochemie-Labor (BELLA). Mit dem am INT angesiedelten KIT-Zentrum MaTeLiS (Geschäftsführerin: Dr. N. Matter-König; wiss. Sprecher: Prof. Dr. W. Wenzel) soll eine enge Zusammenarbeit mit anderen Instituten des KIT gefördert werden.

In der aktuellen Periode der programmorientierten Forschung, PoF IV, ist das INT federführend in der Materialforschungsstrategie der Helmholtz-Gemeinschaft. Die helmholtzweite Vernetzung wird durch das Joint Lab „Virtual Materials Design“ (VMD; Koordinator: Prof. Dr. W. Wenzel) manifestiert. Zudem ist das INT an der vom BMBF geförderten Plattform „Material Digital“ (Sprecher: Prof. Dr. P. Gumbsch; stellvertretender Sprecher: Prof. Dr. W. Wenzel) beteiligt. Die Digitalisierungsaktivitäten werden derzeit sukzessive ausgebaut.

Im Jahr 2024 war das INT in den Forschungsprogrammen Materials Systems Engineering (MSE), Natural, Artificial and Cognitive Information Processing (NACIP) und Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET) der Helmholtz-Gemeinschaft eingebunden und in der PoF IV-Periode auf die folgenden Programmenthemen ausgerichtet: Molekulare Bausteine für neue Materialien; Nanoelektronik, Kohlenstoff-Nanostrukturen; Funktionale Nanomaterialien, Nanokatalyse; Additive Fertigung, Druckbare Elektronik und Systeme; Optik und Photonik; Elektrochemische Energiespeicherung; Karlsruhe NanoMicro Facility (KNMFi).

Mit moderner Infrastruktur und einem anregenden wissenschaftlichen Umfeld bietet das INT hervorragende Bedingungen für den wissenschaftlichen Nachwuchs und dessen weitere Qualifizierung. Im Jahr 2024 begannen am INT drei weitere drittmittelgeförderte Nachwuchsgruppen. Mitarbeitende des INT betreuten im Jahr 2024 170 Promovierende, teilweise auch an anderen Hochschulen. 22 Dissertationen wurden am INT abgeschlossen.

Mit derzeit 387 in der Clarivate-Web of Science Datenbank (428 in der KITopen-Datenbank) gelisteten Publikationen mit Erscheinungsjahr 2024 ist die Publikationsleistung des Instituts erneut gestiegen, wobei ein großer Teil der Arbeiten in renommierten Zeitschriften (davon 12 in der Familie der „Nature“-Publikationen und zwei in Science) angenommen wurden. Der

Hirsch-Index des INT stieg auf 204 (Vorjahr: 193), die Zahl der Zitationen übersteigt nun 300.000. Prof. Dr. J. Janek wurde vom Medienkonzern Clarivate als „Highly Cited Researcher“ ausgezeichnet. Die Innovationskraft der Forschung am INT zeigt sich auch an den fünf Patentanmeldungen im Jahr 2024, sowie an den Ausgründungen mit Beteiligung oder unter Federführung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus dem INT. Damit trägt das INT wesentlich zu den Kennzahlen der Programme MSE, NACIP und MTET bei.

Highlights der Forschung

- Hoch-Entropie-Materialien: Diese Übersichtsarbeit von INT-Forschenden aus mehreren Abteilungen über die jüngste Forschung zu Hoch-Entropie-Materialien (HEM) hebt deren großes Potenzial für Energie- und Elektronikanwendungen hervor, das vor allem auf den Eigenschaften des „Cocktaileffekts“ und den Gitterverzerrungen dieser Materialien beruht. Der Schwerpunkt liegt auf ionischen und kovalenten keramischen Materialien (Nature Reviews Materials, <https://doi.org/10.1038/s41578-024-00654-5>).
- Anomale eingefrorene evaneszente Phononen: Durch die Einführung von Verbindungen jenseits der nächsten Nachbarn ist es Forschenden des INT gelungen, mittels 3D-Lasermikrodruck ein Metamaterial zu entwerfen, das anomale eingefrorene evaneszente Phononen aufweist. Theorie und Experiment stimmen hervorragend überein. Das nichtlokale Spannungs- und Dehnungsverhalten könnte für mechanische Sensoren genutzt werden. (Nature Communications, <https://doi.org/10.1038/s41467-024-52956-5>).
- Inverses Design von Perowskit-Solarzellen unter Nutzung von KI: In Zusammenarbeit mit FZ Jülich und Forschenden aus Deutschland und China haben Forschende des INT einen geschlossenen Workflow für die Hochdurchsatzsynthese organischer Halbleiter zur Erstellung großer Datensätze und die Bayes'sche Optimierung zur Entdeckung neuer Materialien für den elektrischen Transport entwickelt. Diese Methode wurde zur Identifizierung und Synthese einer Reihe von Hochleistungsmolekülen verwendet, die maßgeschneiderte Eigenschaften für Solarzellenanwendungen aufweisen. (Nature Communications, <https://www.nature.com/articles/s41467-023-36057-3>).

Strategische Ereignisse

Das INT setzt sein strategisches Ziel der Fokussierung auf informationsbasiertes Materialdesign weiterhin konsequent um und schärft damit substanziell sein Profil. Das INT arbeitet insbesondere durch die personelle Verzahnung sehr eng und erfolgreich mit dem 2020 gegründeten Institut für Quantenmaterialien (IQMT) zusammen, in dem die Quanten-Aktivitäten des KIT sehr sichtbar vertreten werden.

Die Institutsleiterin Prof. Dr. S. Dehnen übernahm 2024 die Sprecherschaft des Programms MSE. Das für die Forschung im Bereich der Synthesechemie der Abteilung von Prof. Dehnen errichtete Interimsgebäude 9943 ging im März 2024 in Betrieb.

Im Dezember 2024 erhielt der INT-Gruppenleiter, Tenure-Track-Prof. Dr. P. Friederich, einen Ruf auf eine W3-Professur am KIT. Prof. Dr. Friederich wird am INT eine Abteilung zu „KI-Methoden in den Materialwissenschaften“ leiten, zum Großteil finanziert aus Eigenmitteln des INT. Diese Abteilung wird auch die Aktivitäten im Bereich der beschleunigten Materialentwicklung (Materials Acceleration Platform MAP) am KIT stärken.

Weiterhin wurde mit der assoziierten Gruppe „Inorganic Functional Materials“ unter der Leitung von Prof. Dr. P. Roesky die Zusammenarbeit mit Forschenden der Universitätsaufgabe im Bereich der synthetischen Chemie weiter verstärkt.

Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses unter besonderer Berücksichtigung von Gender- und Diversity-Aspekten ist ein erklärtes Ziel des INT. Die Emmy-Noether-Gruppe „Holografische Videoanzeige in Echtzeit: Meta-SLM“ von Dr. Maryna Meretska nahm im Januar 2024 die Arbeit auf. Der Fonds der Chemischen Industrie (FCI) fördert über Liebig-Stipendien die Nachwuchsgruppen von Dr. Pierre Picchetti und Dr. Oliver Townrow. Im Jahr 2024 waren am INT insgesamt 5 von 18 Abteilungsleitenden und 7 von 28 Gruppenleitenden weiblich. Beide am KIT etablierten DFG-Exzellenzcluster „3D Matter Made to Order“ (3DMM2O; Sprecher: Prof. Dr. M. Wegener) und „Energy Storage Beyond Lithium“ (POLiS; Sprecher: Prof. Dr. M. Fichtner), sowie der neu beantragte und in der ersten Runde erfolgreiche Cluster „Chemisches Design von Quantenarchitekturen“ (Chem4Quant; Sprecher Prof. Dr. M. Ruben) haben starke INT-Beteiligung. Die Clusteranträge wurden im August 2024 eingereicht (und im Q1/2025 begutachtet). Die DFG bewilligte für den Sonderforschungsbereich 1441 „Tracking the Active Site in Heterogeneous Catalysis for Emission Control Applications“ (TrackAct) mit INT-Beteiligung eine zweite Förderperiode (bis Ende 2028).

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

BASF SE: BELLA-Kooperation

Hochschulen

Universität Basel, TU Darmstadt, Justus-Liebig Universität Gießen, Universität Heidelberg, Universität Straßburg, Universität Ulm, ETH Zürich, IIT Madras, Queensland University of Technology, Sun Yat-Sen University (Guangzhou, China), University of Waterloo.

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

FZ Jülich, Hereon, HZB, HZDR, DLR, ZSW.

A.1.4.5.5 *Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik (IPE)*

Leitende Person

Institutsleiter: Prof. Dr. Frank Simon

Kurzdarstellung

Das IPE erforscht innovative Technologien in den sechs Helmholtz-Programmen Matter and Technologies (MT), Matter and the Universe (MU), Energy System Design (ESD), Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET), Materials Systems Engineering (MSE) und Natural, Artificial and Cognitive Information Processing (NACIP). Das Institut setzt besondere Schwerpunkte in der Entwicklung schnellster Datenaufnahmesysteme, im Bau von Detektoren, dem Sensor- und Mikrochipdesign sowie in der Aufbau- und Verbindungstechnik für Experimente in der Grundlagenforschung und für Anwendungen mit hoher gesellschaftlicher Relevanz. Es betreibt das KIT ASIC und Detektor-Labor zur Entwicklung von CMOS-basierten Siliziumsensoren und von integrierter Mikroelektronik, die Aufbau- und Verbindungstechnik mit modernsten Maschinen in einer Reinraumumgebung und mit weiteren elektronischen und mechanischen Werkstätten, sowie Infrastrukturen zur Charakterisierung von Komponenten und ganzen Systemen im Bereich von Detektoren und leistungselektronischen Komponenten. Das Kompetenzzentrum für Hochauflösende Supraleitende Quantensensoren (HSS) befindet sich

im Aufbau und wird das Portfolio des KIT um eine Schlüsseltechnologie für die Forschung in Helmholtz Matter erweitern. Für seine Forschungs- und Entwicklungsarbeiten verfügt das IPE über ein großes Netzwerk von externen Partnern und internationalen Kollaborationen. Zum Jahresende 2024 waren im IPE 79 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beschäftigt, darunter 38 Akademikerinnen und Akademiker, 19 Ingenieurinnen und Ingenieure sowie 19 Promovierende.

Highlights der Forschung

- Bi-direktionales Laden von Elektrofahrzeugen – Speicherkapazitäten für die Energiewende: Die großskalige Speicherung elektrischer Energie ist eine der großen Herausforderungen der Energiewende. Die intelligente Einbindung von Elektrofahrzeugen in das Stromnetz, bei der die Fahrzeugbatterien nicht nur durch das Netz aufgeladen werden, sondern in Spitzenlastzeiten oder zur Netzstabilisierung auch Energie an das Netz abgeben können, ist hierbei ein wichtiger Baustein. Für das sogenannte „Vehicle-to-Grid“ (V2G) Konzept wurden am IPE die wesentlichen Schlüsselkomponenten untersucht. So wurden Leistungselektronikmodule samt ihrer Regelung konzipiert, entworfen, produziert und charakterisiert. Außerdem wurde einer der größten öffentlichen Datensätze zur Batteriealterung erstellt. Dieser Datensatz ist in ein semi-empirisches Batteriealterungsmodell eingeflossen, um die Alterung von Fahrzeugbatterien über einen Zeitraum von 20 Jahren beurteilen zu können. Zusammenfassend überwiegen beim V2G die Vorteile sowohl für Fahrzeugbesitzer als auch Netzbetreiber.

Luh, M., Blank, T., Comprehensive battery aging dataset: capacity and impedance fade measurements of a lithium-ion NMC/C-SiO cell, Scientific Data 11.1 (2024) 1004.

Luh, M., Bidirectional Charging Systems and Battery Lifetime Modeling for Vehicle-to-Grid Applications, PhD thesis, Karlsruhe Institute of Technology (2024).

- Datenerfassungssystem für 12.000 supraleitende Quantensensoren an das ECHo-Experiment übergeben: Supraleitende Quantensensoren, wie kryogene Mikrokalorimeter (MMCs), übertreffen Halbleitersensoren mit einer um Größenordnungen besseren Energieauflösung. Ihr Einsatz ist aufgrund der erforderlichen kryogenen Temperaturen allerdings komplex. Ein IPE-Team hat ein Datenerfassungssystem für das Neutrinomassen-Experiment ECHo zur Auslese von MMC-Sensormatrizen entwickelt. Um die Zahl der Auslesekanäle zu erhöhen, wird ein Mikrowellenmultiplexverfahren der Sensorsignale eingesetzt und ermöglicht so erstmalig den praktikablen Einsatz dieser Sensoren im Kryostaten. Für die 12.000 Kanäle bei ECHo wurden 15 Module mit jeweils 800 Kanälen an das Experiment übergeben. Mit der Etablierung dieser Auslesetechnologie erreicht das IPE einen Meilenstein zur Realisierung zukünftiger Projekte mit MMC-Detektoren, wie KATRIN++. Gleichzeitig hat sich dieselbe Technologie zur Kommunikation mit Qubits bewährt.

Muscheid, T., et al., Full-Scale Readout Electronics for the ECHo Experiment, J Low Temp. Phys. 217.3 (2024) 456-463.

- Online-Datenerfassung und Verarbeitung für die Hochenergiephysik: Für die Online-Datenverarbeitung von großflächigen Detektorsystemen ist am IPE das leistungsfähige Datenerfassungsboard „Serenity-S1“ entwickelt worden. Es verfügt über 120 optische Verbindungen und erreicht Datentransferraten von über 3 Terabit pro Sekunde. Die integrierte programmierbare Logik des Serenity-S1 rekonstruiert beim CMS Level-1 Trigger innerhalb von nur 4 μ s Teilchenspuren in den Daten des Spurdetektors, die für die weitere Datenverarbeitung und Speicherung genutzt werden. Inzwischen setzen weitere CMS-Systeme

auf das Serenity-S1-Board. Insgesamt wird die Produktion 700 Einheiten umfassen, unterstützt mit 3 Mio. EUR aus der Helmholtz-Förderung „Full scientific exploitation of the Large Hadron Collider“.

Mehner, T., et al., Lessons learned while developing the Serenity-S1 ATCA card, JINST 19.02 (2024) C02018.

Strategische Ereignisse

Das IPE nutzt seine Kompetenzen, um Detektortechnologien für zukünftige wissenschaftliche Experimente und Infrastruktureinrichtungen zu erforschen und zu etablieren. Im Programmatic Topic Detector Technologies and Systems (MT-DTS) übernehmen IPE-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Koordinationsaufgaben auf Helmholtz-Ebene und engagieren sich federführend bei der Konzeption des Arbeitsprogrammes für die nächste Förderperiode. Zudem sind Forschende des IPE in zentralen Rollen an der Leitung und der Forschung in den internationalen Detektor R&D Kollaborationen in der Teilchenphysik zur Implementierung der ECFA Detector R&D Roadmap beteiligt, insbesondere im Bereich Elektronik und Kalorimetrie. Im Jahr 2024 wurde in dedizierte Detektorinfrastruktur investiert. So ist der Maschinenpark des Kompetenzzentrums für Hochauflösende Supraleitende Sensoren (HSS) nun vollständig und der Betrieb wird Anfang 2025 aufgenommen. Die Einrichtung wird gemeinschaftlich vom Institut für Mikro- und Nanoelektronische Systeme (IMS) unter Leitung von Prof. Dr. Sebastian Kempf und vom IPE betrieben. Darüber hinaus wurde der Maschinenpark des Zentrums für Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) aktualisiert und erweitert. Beide Einrichtungen werden ab 2026 in das neue KIT-Reinraumzentrum KCOP integriert. Das IPE wird dann zwei der neun Technologie-Cluster im KCOP betreiben und ist verantwortlich für den wissenschaftlichen Schwerpunkt „Detektortechnologien“.

Drittmittelprojekte stellen eine wichtige Säule der Forschung am IPE dar. Im Jahr 2024 sind Projekte im Umfang von 1,1 Mio. Euro neu bewilligt worden. In diesen Projekten aus dem Bereich der Hochenergiephysik werden Siliziumsensoren für das Upgrade des LHCb Experiments sowie Datenauslesesysteme für den Belle II Pixeldetektor entwickelt. Im Rahmen der neu gegründeten Detektor-R&D Kollaborationen DRD 3, 6 und 7 wird die Siliziumphotonik zur direkten Datenübertragung mit photonischen Komponenten auf Sensormodulen untersucht und hochgranulare Hadronkalorimeter für den Future Circular Collider am CERN entwickelt. Die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses ist für das IPE von hoher Bedeutung, insbesondere aufgrund der Konkurrenz mit der Industrie um Talente. Das IPE bildet auf allen Karrierestufen aus: Im Jahr 2024 gab es 27 Bachelor- und Master-Studierende, 10 DHBW-Studierende sowie 2 Auszubildende, 10 Praktikanten und 29 studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte. Fünf Doktoranden nehmen am Doppelpromotionsprogramm zwischen der Universidad Nacional de San Martin (UNSAM) in Buenos Aires, Argentinien und der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik des KIT teil. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des IPE lehren am KIT und der Dualen Hochschule Baden-Württemberg. Der Erfolg der Ausbildung am IPE spiegelt sich unter anderem in den ausgezeichneten Arbeiten wider. Im Jahr 2024 ist erneut einem Absolventen des IPE der Helmholtz-Promotionspreis zugesprochen worden.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

Längerfristige Industriekooperationen bestehen im Bereich der Leistungselektronik mit den Firmen Schaeffler (Herzogenaurach) und 3-5 Power Electronics (Dresden). Das TT-Projekt mit dem 3D-USCT besteht mit der Firma Zhejiang Equilibrium Nine Medical Equipment (Hangzhou, China).

Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Das IPE kooperiert in sechs Helmholtz-Programmen mit zahlreichen Partnern im KIT und mit anderen Helmholtz-Zentren. Durch die Mitgliedschaft in internationalen Kollaborationen wie Auger, Belle II, CBM, CMS, KATRIN sowie mehreren Detektortechnologieverbünden bestehen Kooperationen mit deutschen und europäischen Universitäten und Forschungszentren sowie Verbindungen zu etwa 100 Institutionen auf internationaler Ebene, insbesondere in Argentinien, England, Frankreich, Italien, in den Niederlanden und in den USA.

A.1.4.5.6 *Institut für Photonenforschung und Synchrotronstrahlung (IPS)*

Leitende Personen

Prof. Dr. Gerd Tilo Baumbach, Prof. Dr. Clemens Heske

Kurzdarstellung

Das Institut für Photonenforschung und Synchrotronstrahlung (IPS) betreibt methodische Forschung und instrumentelle Entwicklungen zu Röntgentomographie, -spektroskopie und -streuung unter Nutzung und Weiterentwicklung der Synchrotronstrahlungsmessplätze und der Laborinfrastruktur an der KIT Light Source und an Synchrotron-Facilities weltweit. Dabei liegt der Fokus auf In situ-, Operando- und In vivo(Hochdurchsatz-) Verfahren zur Charakterisierung von Materialien, Bauteilen und kleinen Organismen, sowie von technologischen und biologischen Prozessen mit hoher Relevanz, insbesondere in den Material- und Lebenswissenschaften, ausgerichtet auf die Forschungsschwerpunkte des KIT (z.B. im Kontext von Energie- und Informationstechnologien) und auf die KIT-Aktivitäten in den Helmholtz-Programmen. Im Rahmen des Helmholtz-Programms From Matter to Materials and Life (MML) konzentrieren sich Forschung und Entwicklung am IPS auf die Research Topics „Materials – Quantum, Complex and Functional Materials und Life Sciences – Building Blocks of Life: Structure and Function“. Das IPS kooperiert hierbei mit anderen Instituten des KIT, mit Partnern in Verbundprojekten, mit führenden regionalen, nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung, sowie mit nationalen und internationalen Industriepartnern.

Die Forschungsaktivitäten des IPS sind eng mit der universitären Lehre und Forschung der KIT-Fakultäten für Physik und Chemie & Biowissenschaften sowie weiterer Universitäten verknüpft und erlauben Studierenden verschiedener Fachrichtungen bereits im Bachelorstudium, im Masterstudium und als Promovierende die frühe und intensive Einbindung in ein internationales Forschungsumfeld zu erfahren. Ein besonderer Fokus des IPS liegt auf dem Erhalt und der Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Exzellenz und technischen Kompetenz der Forschungsanwendung von Synchrotronstrahlung zur Charakterisierung der Eigenschaften von Bauteilen, Materialien und Geweben, nebst der dazu notwendigen interdisziplinären Ausbildung und Weiterentwicklung seiner Mitarbeitenden.

Highlights der Forschung

- Atomistisches Verständnis der ultraschnellen Laserfragmentation: Laserfragmentierung in Flüssigkeiten wird verwendet, um ultrakleine metallische Nanopartikel zu erzeugen, die

photonische oder katalytische Aktivität zeigen. Mit einer Kombination aus pikosekunden-aufgelösten Röntgenstreuexperimenten und großskaligen Molekulardynamik-Simulationen konnte der Prozess der Phasenexplosion aufgeklärt werden, der durch gepulste Laserbestrahlung zu einer vollständigen Fragmentierung von Goldpartikeln zu 2-3 nm großen Clustern führt. Insbesondere konnte die Energieskala der Simulationen mit der experimentell einstellbaren Laserbestrahlungsdichte relativ zur Schmelzschwelle in Übereinstimmung gebracht werden, um die korrespondierende Strukturentwicklung gut zu korrelieren.

A. Plech et al., ACS Nano 18, 10527 (2024). DOI: 10.1021/acsnano.3c12314

- Bestimmung der lokalen und symmetrieraufgelösten elektronischen Struktur von flüssigem Dimethylsulfoxid mittels resonanter inelastischer weicher Röntgenstreuung: Dimethylsulfoxid (DMSO) ist ein wichtiges polares Lösungsmittel, das seine einzigartigen Eigenschaften vom freien Elektronenpaar und der starken polaren Bindung an der Sulfinyl-Funktionsgruppe ableitet. Durch die Verwendung von Karten mit resonanten inelastischen weichen Röntgenstreuungsdaten („RIXS maps“) an Schwefel, Kohlenstoff und Sauerstoff konnten Forscher am KIT die lokale und symmetrieraufgelöste elektronische Struktur von flüssigem DMSO ableiten. Die experimentellen Daten werden mit Berechnungen von Spektren auf der Grundlage der Dichtefunktionaltheorie verglichen, was eine detaillierte Analyse der Molekülorbitale im gesamten Molekül ermöglicht.

L. Weinhardt et al., J. Phys. Chem. Lett. 15, 10576 (2024). DOI: 10.1021/acs.jpclett.4c02329

- Neuer Phasenrekonstruktions-Algorithmus für dosiseffiziente Messungen: Auf Ausbreitung basierende Phasenkontrast-Röntgenbildgebungsverfahren sind wertvoll für die hochauflösende morphologische Bildgebung von biologischem Gewebe bis hin zu kleinen Organismen. Sie ermöglichen hochauflösende in vivo und zeitaufgelöste Bildgebungsstudien, z.B. zur Morphodynamik bei Insekten oder zur Embryogenese bei Wirbeltiermodellorganismen. Um dosiseffizientere Messszenarien zu ermöglichen, wurde ein leistungsfähiger Algorithmus zur Phasenrekonstruktion entwickelt, der Intensitätskontrasttransfer (ICT). Bei der ausbreitungsbasierten Nahfeld-Bildgebung können zwei phasensensitive Messregime unterschieden werden, das Edge-Enhancement-Regime und das holografische Regime, die zwei verschiedene Phasenrekonstruktionsalgorithmen erfordern: Im ersten Fall den bekannten Intensitätstransport-Algorithmus (TIE), im zweiten Fall das Kontrastübertragungs-Funktionsmodell (CTF). Der ICT-Ansatz vereinheitlicht und generalisiert sowohl TIE als auch CTF, indem er sie als Grenzfälle einbezieht, aber auch über ihre Grenzen hinaus anwendet, sei es bei schwach dämpfenden Objekten oder bei kurzen Ausbreitungsstrecken im freien Raum. So reproduziert er die Ergebnisse von TIE und CTF, wenn deren jeweilige Zusatzannahmen erfüllt sind. Wenn dies nicht der Fall ist, übertrifft er sie deutlich, was sowohl theoretisch als auch praktisch anhand synthetischer und gemessener Daten gezeigt wurde. Der ICT bietet ein einfaches und schnelles Verfahren zur Phasenbestimmung, das sowohl für Einzel- als auch für Mehrfachdistanzszenarien direkt anwendbar ist und sich somit für ein breites Spektrum von Anwendungen eignet.

T. Faragó et al., Optics Letters 49, 5159 (2024). DOI: 10.1364/OL.530330

Strategische Ereignisse

Die HERCULES European School ist ein fünfwöchiger Kurs zur Ausbildung von Studierenden und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus internationalen Universitäten und Laboratorien auf dem Gebiet der Neutronen- und Synchrotronstrahlungsforschung. Im Rahmen dieser Schule absolvieren die Teilnehmenden neben Übersichtsvorlesungen in Grenoble (F) eine Woche mit Spezialvorlesungen und Experimenten an einzigartigen Experimentierstationen

führender europäischer Neutronen- und Photonenfacilities. Das KIT empfing in diesem Rahmen als Partner der HERCULES School im März 2024 Teilnehmende an der KIT Light Source. Das IPS koordinierte das Programm am KIT und betreute die Teilnehmenden bei ihren Praktika an den Messplätzen der „Spectroscopy, Scattering and Imaging Cluster“ des IPS.

Im Rahmen des Exzellenzuniversitätsvorhabens RIRO führten Forschende des IPS gemeinsam mit dem IBPT mit dem Kompaktkurs „Beschleuniger und Synchrotronstrahlung für die Materialforschung“ für die Studierenden des KIT Vorlesungen und Praktika an weltweit führenden Messtationen der KIT Light Source durch. Das IPS trägt damit aktiv zur Wissensvermittlung hochattraktiver Forschung an modernsten Synchrotronstrahlrohren des KIT bei.

In einem KIT-internen strategischen Wettbewerb konnte das Projekt ROXS zur Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten der X-SPEC Beamline unter Verwendung einer neuen Experimentierstation eingeworben werden. Diese Station wird Untersuchungen mit weicher Röntgenstrahlung an radioaktiven Proben mittels eines neuartigen Quantendetektor-basierten Röntgenspektrometers in Gas-, Flüssigkeit-, In situ- und Operando-Umgebungen ermöglichen.

Forschende des IPS wurden auf international etablierten Konferenzen mit Preisen ausgezeichnet: Constantin Wansorra erhielt den Outstanding Conference Presentation Award auf der HAXPES 2024, Mathias Hurst einen Poster Award auf der XRM 2024 und Merve Kabukcuoglu den IUCr Young and Early Career Scientist Award auf der XTOP 2024.

Längerfristige Kooperationen

Wirtschaft

AVANCIS GmbH, Vifor International AG (Schweiz).

Hochschulen

Adam Mickiewicz University Poznań (PL), Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Charles University Prag (CZ), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Grenoble Alpes University (F), Imperial College London (UK), MINES ParisTech (F), Pennsylvania State University (USA), Rensselaer Polytechnic Institute (USA), Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Technische Universität Darmstadt, Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern, Universität Duisburg-Essen, Universität Hohenheim, Universität Passau, Universität Stuttgart, University of Arkansas (USA), Universities of Cambridge (UK), Nevada Las Vegas (UNLV, USA), New Hampshire (USA) und Poitiers (F).

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Advanced Light Source (USA), Eawag Dübendorf (CH), European Synchrotron Radiation Facility (F), Fondazione Bruno Kessler (IT), Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Helmholtz-Zentren Berlin, DESY, Jülich und Hereon, Institut Laue-Langevin (F), Institute of Entomology ASCR (CZ), Institute of High Pressure Physics UNIPRESS (PL), Julius-Kühn Institut - Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Leibniz-Institut für Kristallzüchtung Berlin, LWL-Museum für Naturkunde Münster, National Institute of Standards and Technology (USA), Okinawa Institute of Science and Technology (JP), Société civile Synchrotron SOLEIL (F), Senckenberg Museum Frankfurt, Staatlichen Museen für Naturkunde Karlsruhe SMNK und Stuttgart SMNS, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg ZSW.

A.2 Programmanteile des Zentrums (LK I und LK II)

Im Laufe der Jahre 2023 und 2024 wurden die Forschungsbereiche Energie, Information und Materie in Helmholtz Energy, Helmholtz Information und Helmholtz Matter umbenannt.

A.2.1 Überblick zu Helmholtz Energy

A.2.1.1 Bericht des Forschungsbereichskoordinators an den Senat

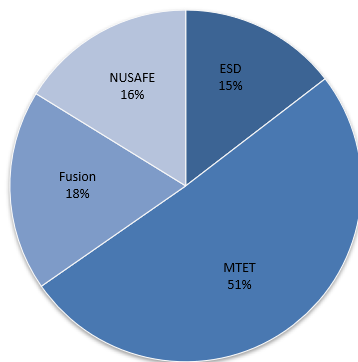
Siehe Anhang.

A.2.1.2 Rolle des Zentrums im Forschungsbereich

Zum Start der PoF IV erfuhr der Forschungsbereich (FB) eine teilweise Umstrukturierung. Er besteht in der laufenden PoF-Periode aus vier Programmen mit 13 Topics, Partner hierbei sind die Zentren FZJ, KIT, DLR, HZB, HZDR und IPP. Das KIT ist an allen vier Programmen (in zehn Topics) beteiligt.

Die Programme Energy System Design (ESD), Fusion, Materials and Technologies for Energy Transition (MTET) und Nuclear Waste Management, Safety and Radiation Research (NUSAFE) arbeiten sowohl an den technologischen wie auch gesellschaftlichen Lösungen zur umfassenden Realisierung der Energiewende und der nachhaltigen Energieversorgung. Die Kompetenzen des KIT umfassen hierbei die gesamte Kette der (erneuerbaren) Energiegewinnung, Umwandlung und Verteilung bis zur gesellschaftlichen Integration. Zusätzlich sind Nukleare Entsorgung und Sicherheit sowie Fusionsforschung Teil des Portfolios. Das KIT betreibt mit dem Energy Lab eine in Europa einzigartige Infrastruktur, die als integrierte Technologie- und Systemplattform die Erforschung und experimentelle Erprobung neuer Ansätze und leistungsfähiger Werkzeuge für die Stabilisierung der Netze ermöglicht. Durch die Einwerbung der Infrastruktur High Power Grid Lab (HPGL) über das Helmholtz-Investitionsverfahren, die zugleich eine bedeutsame Erweiterung des Energy Lab darstellt, wird das KIT seine führende Rolle im Forschungsbereich und auch seine internationale Sichtbarkeit in der Energieforschung weiter ausbauen. 2024 wurde am KIT im Zusammenwirken mit den Partnerzentren weiter intensiv an der Aufstellung für die kommende PoF V gearbeitet (s. hierzu auch Kap. A.1.2.1) und die inhaltlich-strategische Aufstellung für die nächste Förderperiode, auch bezüglich der forschungsübergreifend geplanten Themen, konnte konsolidiert werden. Am ersten Workshop zur Entwicklung der Forschungspolitischen Ziele für die PoF V im Dezember 2024 waren die Programmsprecher des KIT maßgeblich beteiligt. Prof. Dr. Jan. S. Hesthaven, der zum 1. Oktober 2024 sein Amt als Präsident des KIT angetreten hat, wird in dieser Funktion ab 2025 das KIT in den Gremien von Helmholtz Energy vertreten

Programmanteile des KIT in Helmholtz Energy



Anteile des KIT an Helmholtz Energy

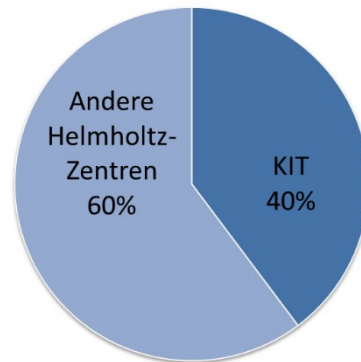


Abbildung 1: Programmanteile des KIT in Helmholtz Energy.

Da das IPP nur noch assoziierter Partner der Helmholtz-Gemeinschaft ist, hat das KIT einen größeren Anteil an Helmholtz Energy in der PoF IV.

Im Jahr 2024 konnte das Papier zur Helmholtz Energy Transition Roadmap (HETR) für die inhaltliche Aufstellung der PoF V nutzbar gemacht werden. Die Energieforschenden des KIT waren in die Arbeit an der HETR intensiv eingebunden, zum einen über das am KIT koordinierte Programm ESD, zum anderen über die Arbeit der einzelnen Fachgruppen. Auch im vierten Jahr der PoF IV war die Energieforschung des KIT mit den vier sogenannten „Zeitenwendeprojekten“ befasst, die 2022, als eine Antwort der Helmholtz-Energieforschung auf die Anforderungen der beschleunigten Energiewende insbesondere infolge des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine, über eine Finanzierung durch Paktrestmittel in Höhe von insgesamt 25 Mio. Euro starten konnten. In diesen Projekten bündelt die Helmholtz-Forschung ihre Erkenntnisse und wird diese Politik und Gesellschaft für die Bewältigung der (Energie-)krise zur Verfügung stellen. Das KIT ist an allen vier Projekten beteiligt; zwei davon werden in Federführung am KIT koordiniert, zum einen die „Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung“ (RESUR) und zum zweiten die „Geotechnologien für eine Zeitenwende in der Energieversorgung in Deutschland“ (GEOZeit). Als Partner ist das KIT an den beiden anderen Zeitenwendeprojekten „Beschleunigter Transfer der nächsten Generation von Solarzellen in die Massenfertigung“ sowie „Rohstoffsicherung durch flexible und nachhaltige Schließung von Stoffkreisläufen“ beteiligt.

Neu bewilligt wurden im Berichtsjahr für Helmholtz Energy vier Innovationspoolprojekte (Laufzeit 2025-2027) mit den Titeln „Auf dem Weg zur autonomen Materialentwicklung (AutoMat)“, „Data for Technology Assessment (DaTA)“, „Industrielle Transformation 2050 (IT 2050) und „Digital twins in nuclear waste disposal (DTN)“. Das KIT ist in Federführung für IT 2050 und an den drei weiteren Vorhaben als Partner beteiligt.

Auf dem Gebiet der Energietechnologien war das KIT an der Helmholtz Energy Materials Foundry (HEMF) beteiligt. HEMF stellte eine große Forschungsplattform für die Synthese, Produktion und Analyse von Energiematerialien für unterschiedliche regenerative Erzeugungstechnologien und für Speichertechnologien dar. Dieses Investitionsprojekt konnte Ende 2024 abgeschlossen werden.

Im Living Lab Energy Campus (LLEC) will das Forschungszentrum Jülich in Kooperation mit dem KIT am eigenen Beispiel zeigen, wie die energiepolitischen Ziele der Energiewende durch einen systemorientierten Ansatz und die Nutzung innovativer Techniken in einem bestehenden baulichen Umfeld erreicht werden können. Der ganze Forschungscampus wird dabei zu einem großen Experimentierfeld, in dem die Wechselwirkungen zwischen Technik, Energieträgern und Verbrauchern untersucht werden (Programm ESD, Topic 1 und 2: Programm MTET, Topic 1).

Energy System Design (ESD)

Eine der großen weltweiten Herausforderungen unserer Zeit ist die Bereitstellung einer umweltfreundlichen, sicheren und kosteneffizienten Energieversorgung. In Deutschland wird der Umbau zu einem Energiesystem vorangetrieben, das zugleich dem Klimawandel entgegenwirkt, systemtechnologisch zuverlässig ist und eine ökonomisch sinnvolle sowie gesellschaftlich akzeptierte Energieversorgung gewährleistet. ESD nimmt in Helmholtz Energy die systemische Position ein, bereitet dadurch die Grundlagen für die erfolgreiche Transformation des Energiesystems (Topic 1 – Energiesystemtransformation) und entwickelt Lösungen für die systemtechnologischen Herausforderungen und den digitalen Umbau hin zu einem integrierten Energiesystem (Topic 2 – Digitalisierung und Systemtechnologie). Die beiden topicübergreifenden Themen „Open X“ und „Bridging the Granularity Gap“ unterstützen dabei die Kohärenz innerhalb der Programmstruktur. Das Programm erforscht das Design und den Einsatz eines mehrskaligen Energiesystems. Dies gelingt insbesondere durch die Entwicklung, den Aufbau und die Anwendung einzigartiger, intelligenter Forschungsinfrastrukturen, die durch die Bereitstellung und die gemeinsame Nutzung mit Partnern aus der Industrie auch dem Transfer dienen. Das KIT koordiniert das Programm und ist an beiden Topics beteiligt.

Materials and Technologies for Energy Transition (MTET)

Ziel des Programms MTET ist es, wesentliche wissenschaftliche Erkenntnisse und zukunftsfähige Technologien für die Energiewende in Deutschland und für die nachhaltige Umgestaltung der Energieversorgung und -nutzung weltweit bereitzustellen. Gestützt auf die Kompetenzen in den Bereichen Physik, Chemie, Material- und Ingenieurwissenschaften, seinen multidisziplinären Ansatz und seine hochentwickelte und umfangreiche Forschungsinfrastruktur erforscht das Programm MTET Prozesse und Technologien in verschiedenen Maßstäben und Stufen der Systemintegration über die gesamte TRL-Skala hinweg. Die Steigerung der Effizienz und Langlebigkeit bei gleichzeitiger Reduktion der Kosten sind bei der Gewinnung, Bereitstellung und effizienten Nutzung erneuerbarer Energien erforderlich. MTET erarbeitet deshalb Optionen, um innovative Materialien und skalierbare Technologien für die Energieversorgung der Zukunft zu entwickeln, die eine Umsetzung in Deutschland wie auch in Exportmärkten erlauben. MTET besteht aus den fünf Topics „Photovoltaik und Windenergie“, „Elektrochemische Energiespeicherung“, „Chemische Energieträger“, „Hochtemperaturtechnologien“ sowie „Ressourcen- und Energieeffizienz.“ Das KIT ist an allen fünf Topics beteiligt.

Fusion

Die Erforschung der Fusionsenergiegewinnung hat das Ziel, eine nicht auf fossile Brennstoffe angewiesene, verlässliche und wirtschaftliche Energiequelle zu erschließen. Die Fusionsforschung ist ein Beitrag zur langfristig ausgerichteten anwendungsorientierten Grundlagenforschung im Sinne der Erarbeitung einer weiteren langfristigen Option für die globale Energieversorgung. Fusion stärkt die bedeutende und international anerkannte Position Deutschlands in der Fusionsphysik und der Fusionstechnologie. Zentrale Projekte der Fusionsforschung sind ITER und Wendelstein 7-X. Das Programm besteht aus den Topics „Stellarator Research“, „Tokamak Physics“, „Fusion Technologies and Materials“ und „Plasma-Wall Interactions“. Das KIT ist an einem von vier Programmenthemen, dem Topic „Fusion Technologies and Materials“, beteiligt. In diesem Topic werden am KIT wichtige Technologieentwicklungen für ITER und DEMO vorangetrieben. Das Topic umfasst sämtliche technologische Entwicklungen, die für die Realisierung großer Plasmaphysik-Experimente wie Wendelstein 7-X und Fusionsanlagen wie ITER bis hin zu einem Fusionskraftwerk, insbesondere dem europäischen Fusionsdemonstrationskraftwerk DEMO, notwendig sind.

Nuclear Waste Management, Safety and Radiation Research (NUSAFE)

Auch nach der Beendigung der Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung in Deutschland im April 2023 sind die Bewertung und Verbesserung der Sicherheit von Kernreaktoren und der Schutz der Bevölkerung vor Strahlenschäden wesentliche langfristige Aspekte der gesellschaftlichen Vorsorgeforschung – auch vor dem Hintergrund internationaler Entwicklungen u.a. in benachbarten Ländern. Dabei sind deutsche Expertinnen und Experten und ihre wissenschaftlich-technische Kompetenz in Zukunft weiterhin gefragt. Der sichere Rückbau kerntechnischer Einrichtungen und die sichere Entsorgung radioaktiver Abfälle einschließlich deren tiefeingeologische Endlagerung sind integrale Bestandteile der Energiewende in Deutschland und stellen eine langfristige gesellschaftliche Herausforderung dar. Das KIT bringt dabei seine Kernkompetenzen in der nuklearen Sicherheits- und Entsorgungsforschung im Rahmen der Beteiligung an den beiden Programmenthemen „Nuclear Waste Management“ und „Reactor-Safety“ ein.

A.2.1.3 Programmenteil Energy System Design (ESD)

A.2.1.3.1 Das Programm im Überblick

Ziele und Einbettung in den Forschungsbereich

Eine der großen weltweiten Herausforderungen unserer Zeit ist die Bereitstellung einer umweltfreundlichen, sicheren und kosteneffizienten Energieversorgung. In Deutschland wird der Umbau zu einem Energiesystem vorangetrieben, das zugleich dem Klimawandel entgegenwirkt, systemtechnologisch zuverlässig ist und eine ökonomisch sinnvolle sowie gesellschaftlich akzeptierte Energieversorgung gewährleistet.

In Helmholtz Energy stellen sich die vier Programme gemeinsam dieser Herausforderung als wissenschaftliche Architekten transformativer Lösungen. Dabei fokussiert sich das Programm Materialien und Technologien für die Energiewende (MTET) auf die technologische Umsetzung, entwickelt das Programm Fusion eine neue Option für eine sichere, CO₂-freie Energieversorgung und erweitert das Programm Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung (NUSAFE) die Expertise zur Kernenergie sowie zum Ausstieg aus derselben. Unter Einbindung dieser Arbeiten nimmt das Programm Energiesystemdesign (ESD) innerhalb Helmholtz Energy die systemische Position ein. Dadurch bereitet ESD die Grundlagen für die erfolgreiche Transformation des Energiesystems (Topic 1 – Energiesystemtransformation) und entwickelt Lösungen für die systemtechnologischen Herausforderungen und den digitalen Umbau hin zu einem integrierten Energiesystem (Topic 2 – Digitalisierung und Systemtechnologie). Die beiden topicübergreifenden Themen „Open X“ und „Bridging the Granularity Gap“ unterstützen dabei die Kohärenz innerhalb der Programmstruktur.

Das Programm erforscht das Design und den Einsatz eines mehrskaligen Energiesystems. Für diese komplexe Herausforderung arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der vier Helmholtz-Zentren DLR, FZJ, HZB und KIT sowie des wissenschaftlichen Kooperationspartners IPP aus der Max-Planck-Gesellschaft auf einer breiten Kompetenzbasis interdisziplinär zusammen. Unabhängige, systemische Analysen und die Entwicklung nachhaltiger Transformationspfade ermöglichen ein technisch und ökonomisch umsetzbares sowie gesellschaftlich akzeptiertes Energiesystem. Dazu werden Methoden und Technologien für das Design und die Nutzung resilienter, dezentraler und integrierter Energiesysteme erforscht. Dies gelingt

insbesondere durch die Entwicklung, den Aufbau und die Anwendung einzigartiger, intelligenter Forschungsinfrastrukturen, die durch die Bereitstellung und die gemeinsame Nutzung mit Partnern aus der Industrie auch dem Transfer dienen.

Programmstruktur

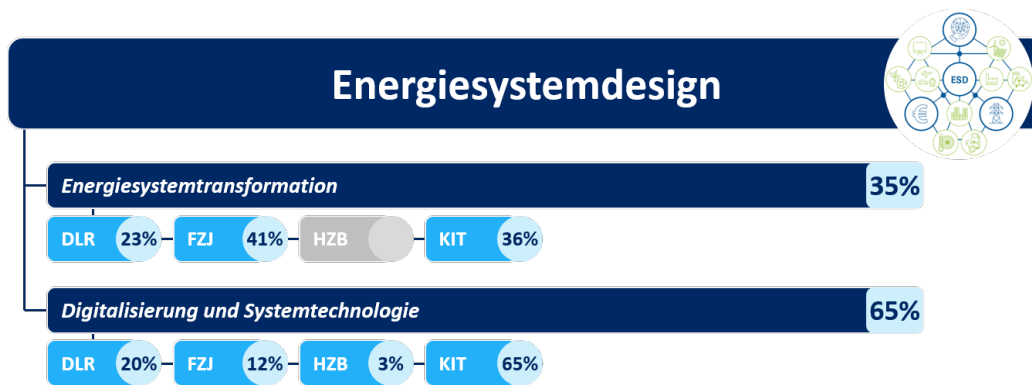


Abbildung 2: Programmstruktur ESD

Das Programm gliedert sich in:

Topic 1: Energiesystemtransformation
(Sprecher: Dr. Jann Weinand, FZJ)

Im Programm „Energiesystemdesign“ widmet sich das Topic 1 „Energiesystemtransformation“ der Transformation des Energiesystems unter der Berücksichtigung ethischer, sozialer, politischer, ökonomischer, technischer und ökologischer Aspekte. Dafür entwickelt und bewertet das Topic 1 nachhaltige Transformationspfade und erstellt quantitative und qualitative Transformationsszenarien für das künftige Energiesystem, die als Basis für politische Entscheidungsträger dienen und in die Helmholtz Energy Transition Roadmap (HETR, ursprünglich Subtopic 1.3) einfließen. Das Topic 1 umfasst die Subtopics „Effective System Transformation Pathways“ (ST1.1) und „Societally Feasible Transformation Pathways“ (ST1.2).

Topic 2: Digitalisierung und Systemtechnologie
(Sprecher: Prof. Dr. Veit Hagenmeyer, KIT)

Das Topic 2 „Digitalisierung und Systemtechnologie“ erforscht im Programm „Energiesystemdesign“ Methoden, Modelle und Werkzeuge für Design, Betrieb und Regelung eines integrierten, dezentralen Energiesystems. Die sektorenintegrierten Lösungen basieren auf regionalen Modellen bis zum gekoppelten europäischen Übertragungsnetz, welche in silico durch maschinelles Lernen, künstliche Intelligenz und High Performance Computing ermöglicht werden. Die technische Umsetzbarkeit der vielfältigen Hardware- und Software-Lösungen wird direkt in intelligenten Energiesystemlaboren und Infrastrukturen getestet und integriert. Topic 2 umfasst die Subtopics „Digitalization and Systems Technology for Flexibility Solutions“ (ST2.1), „Design, Operation and Digitalization of the Future Energy Grids“ (ST2.2) und „Smart Areas and Research Platforms“ (ST2.3).

A.2.1.3.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms

Highlight 1 (Topic 1): Neuartiger integrativer Szenarioansatz (DLR, FZJ, KIT)

Um die Transformation des Energiesystems unter Berücksichtigung technischer, ökologischer, ökonomischer, institutioneller, organisatorischer und sozialer Aspekte zu untersuchen und zu bewerten, wurde von DLR, FZJ und KIT gemeinsam ein neuartiger integrativer Szenarioansatz entwickelt, der diesen Anforderungen besser gerecht wird als die meisten der bisher verfügbaren und in der Diskussion dominierenden Energieszenarien. Der Ansatz besteht aus zwei Kernelementen: 1) der Entwicklung von sozio-technischen Energieszenarien und 2) der Bewertung der Nachhaltigkeitswirkungen dieser Energieszenarien. Die Analysen zeigen u.a. die Notwendigkeit, unterschiedliche Entwicklungen der Bevölkerungs- und Wirtschaftsleistung systematischer als bisher in Szenarioanalysen zu berücksichtigen, um einen Korridor des zukünftigen Energie- und Infrastrukturbedarfs abschätzen zu können. Die zentrale technische Strategie zur Defossilisierung ist die intensive direkte und indirekte Elektrifizierung von Wärme, Prozessen und Verkehr. Damit einhergehen muss ein koordinierter Ausbau der Verteilungs- und Speicherinfrastruktur für Strom, (Fern-)Wärme und synthetische Energieträger (die zum Teil importiert werden). Darüber hinaus müssen Strategien entwickelt werden, um geopolitische Risiken in Bezug auf kritische Ressourcen, die für die Transformation benötigt werden, zu reduzieren. Ebenso ist der Aufbau einer Infrastruktur für ein effektives Management der unvermeidbaren CO₂-Emissionen unerlässlich. Die untersuchten Transformationsstrategien führen zu einer Erhöhung der inländischen Wertschöpfung, verändern aber die Arbeitsnachfrage nicht wesentlich. Unter Akzeptanz Gesichtspunkten sollten insbesondere die finanziellen Zusatzbelastungen für einkommensschwache Haushalte minimiert werden. Die Methodik und Ergebnisse wurden mit einem Fachpublikum aus Forschung, Verbänden und Ministerien im Oktober 2023 in Berlin diskutiert, in der Zeitschrift *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* veröffentlicht (Poganietz et al. 2024a) [1] und sind als Policy Brief (mit ausführlicher Dokumentation) auf der Helmholtz-Energy-Website in deutscher und englischer Sprache verfügbar (Poganietz et al. 2024b) [2]. Auf Basis des Policy Briefs hat das Helmholtz-Energy Office ein Positionspapier zum Energiesystem mit dem Titel „Energiewende durch Innovation voranbringen und nachhaltig sichern“ erstellt.

[1] **Poganietz, W.-R., Jochem, P., Kopfmüller, J., Kullmann, F., Naegler, T., Vögele, S.** (2024a): *Die Energiewende integrativ denken*. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 74, Jg. 2024, Heft 10, ISSN: 0013-743X, 0720-6240

[2] **Poganietz, W.-R., Kopfmüller, J., Stelzer, V., Jochem, P., Naegler, T., Kullmann, F., Ross., A., Vögele, S.** (2024b): *ESD Policy Brief - Die Energiewende integrativ denken*. Veröffentlicht unter <https://energy.helmholtz.de/forschungshighlights/die-energiewende-integrativ-denken/>, DOI: 10.5445/IR/1000178241

Highlight 2 (Topic 1): Urbane Energiesystemplanung (FZJ, KIT)

Die Forschenden entwickelten Metriken und eine konkrete Planungsmethodik im Kontext der urbanen Energiesystemplanung für nachhaltige und resiliente Städte auf der Basis von Microgrids und lokalen Energiegemeinschaften. Diese interdisziplinäre Zusammenarbeit wurde mit Stakeholdern aus den ESD-Topics 1 und 2 und in Kooperation mit den US-Forschungseinrichtungen NREL und UNCC EPIC durchgeführt. Die wichtigsten Ergebnisse wurden 2024 in einem Forschungsartikel in *Nature Sustainability* veröffentlicht (Ottenburger et al. 2024) [3]. Die wachsenden Herausforderungen des Klimawandels, der Digitalisierung und der urbanen Verdichtung erfordern innovative Ansätze, um Städte widerstandsfähiger, nachhaltiger und gerechter zu machen. Microgrids, lokal angepasste und unabhängige Energiesysteme, können bei diesem Wandel eine zentrale Rolle spielen. Sie mildern nicht nur die Folgen

von Stromausfällen, sondern tragen auch dazu bei, mehrere Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs) gleichzeitig voranzubringen. Dazu gehören der Zugang zu erschwinglicher, zuverlässiger und nachhaltiger Energie (SDG 7.1), die Sicherstellung der Grundversorgung (SDG 11.1), die Verringerung der Auswirkungen von Katastrophen (SDG 11.5), die Förderung einer partizipativen und inklusiven Urbanen Planung (SDG 11.3) und die Verbesserung der Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel (SDG 11.b). Die räumliche Planung von Mikronetzen hat einen erheblichen Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit, die soziale Gerechtigkeit und die Folgen von Stromausfällen. Vorurteile wie das „Energy Gerrymandering“, bei dem sozial schwache Minderheiten von einer gleichberechtigten Beteiligung an Mikronetzen oder lokalen Energiegemeinschaften ausgeschlossen werden können, müssen aktiv vermieden werden. Neue Messmethoden sind auch erforderlich, um die Folgen von Stromausfällen, beispielsweise auf das Wohlbefinden, besser zu verstehen. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse kann die räumliche Gestaltung von Microgrids so optimiert werden, dass Wohlstandsverluste minimiert werden und gleichzeitig faire Entscheidungsprozesse möglich sind. In einer weiteren verwandten Kooperation zwischen Topic 1 und 2 wurde das robuste und kostenoptimierte Energiesystemdesign aller 11.000 deutschen Kommunen mit Hilfe der ETHOS-Modellierungssuite (Weinand et al. 2024) [4] ermittelt. Die parallele Berechnung von mehr als einer Million Optimierungen auf einer High-Performance-Computing-Cluster-Infrastruktur ermöglichte es uns, detaillierte nationale Energiesystemoptimierungen sowohl aus nationaler als auch aus kommunaler Perspektive durchzuführen. Die Analysen ergaben, dass 90 % der deutschen Kommunen, die 50 % der deutschen Bevölkerung entsprechen, über ausreichende erneuerbare Energieresourcen verfügen, um vollständig autonom, d. h. unabhängig von externen Netzinfrastrukturen und Importen, zu werden.

- [3] **Sadeeb S. Ottenburger, Rob Cox, Badrul H. Chowdhury, Dmytro Trybushnyi, Ehmedi Al Omar, Sujay A. Kaloti, Ulrich Ufer, Witold-R. Poganietz, Weijia Liu, Evgenia Deines, Tim O. Müller, Stella Möhrle, Wolfgang Raskob** (2024): Sustainable urban transformations based on integrated microgrid designs. *Nature Sustainability* 7, pp. 1067–1079. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01395-7>
- [4] **Weinand, J., Risch, S., Schulze, K., Vartak, S., Kleinebrahm, M., Pflugradt, N., Kullmann, F., Kotzur, L., McKenna, R., Stolten, D.** (2024): Scaling energy system optimizations: Techno-economic assessment of energy autonomy in 11 000 German municipalities. *Energy Conversion and Management* 309, 118422. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118422>

Highlight 3 (Topic 2): IKT-Plattform für Gebäude und Quartiere (DLR, FZJ, KIT)

FZJ, KIT und DLR haben eine FIWARE-basierte Informations- und Kommunikationstechnologie (ICT)-Plattform für Gebäude und Quartiere entwickelt, die die Vernetzung der drei Smart Areas ermöglicht: LLEC (FZJ), Energy Lab (KIT) und GridLab (DLR). Der Aufbau integriert zentrale FIWARE-Komponenten wie den Orion Context Broker (OCB), wobei bestimmte Elemente wie die Zeitreihen-Datenbank an die spezifischen Anforderungen angepasst werden. Um die Anwendbarkeit in realen Szenarien zu gewährleisten, wie sie im ESD-Subtopic 2.3 vorgesehen sind, wurde das Setup um etablierte Dienste für das Zugriffsmanagement und die Datensicherheit erweitert. Am FZJ wurden verschiedene Adapter und Datenmodelle für die Aufnahme und Harmonisierung von Daten aus verschiedenen Fieldbus-Protokollen und -Geräten entwickelt. [5]

Bisher wurden Dienste und Anwendungen, die im LLEC entwickelt wurden, wie z.B. die Erfassung von Messdaten aus der Infrastruktur des FZJ und von drahtlosen Sensoren auf Raumebene, ohne eine spezielle Middleware betrieben. Diese sind nun erfolgreich auf die ICT-Plattform migriert worden. Außerdem wurde die Plattform genutzt, um eine Verbindung zwischen den drei Smart Areas herzustellen. Um den Einsatz in ähnlichen Kontexten zu unterstützen, wurde ein „Deployment Kit“ entwickelt und als Open Source veröffentlicht.

- [5] **Westphal, L.; Schröder, M.; Carta, D.; Xhonneux, A.; Benigni, A.; Müller, D.;** Development and Application of a FIWARE-based ICT-Platform for Multi-Energy Systems on Building and District Level, 024 Open Source Modelling and Simulation of Energy Systems, OSMSES2024, Vienna, Austria, 2024 (IEEE Xplore), DOI: 10.1109/OSMSES62085.2024.10668993

A.2.1.3.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen

Das Helmholtz-Team sollte einen verlässlichen Fahrplan für die strategische Ausrichtung des Forschungsbereichs mit gut identifizierten Meilensteinen entwickeln, der es ermöglicht, mit Unterstützung der Gesellschaft und der Wirtschaft die Tragfähigkeit der ausgewählten Optionen zu bewerten.

ESD war im Rahmen der Helmholtz Energy Transition Roadmap (HETR) aktiv. In enger Zusammenarbeit mit dem HETR-Kernteam und den HETR-Fachgruppen wurde das im Rahmen von ESD entwickelte Szenario in die HETR aufgenommen und 2024 veröffentlicht. Wie oben bei Highlight 1 beschrieben, führte die Szenarioforschung darüber hinaus zu mehreren Publikationen im Jahr 2024, darunter ein Policy Brief zur Information von Entscheidungsträgern. Das Helmholtz-Positionspapier „Die Energiewende durch Innovation voranbringen und nachhaltig sichern“ ist aus dieser Arbeit hervorgegangen.

Um das Topic „Energiesystemtransformation“ als Dach für den Helmholtz-Forschungsbereich Energie zu etablieren, sollte das Team (1) klarere und ehrgeizigere Ziele und Leistungen formulieren, die gut auf den Zeitplan des Technologieprogramms abgestimmt sind, (2) die Kohärenz und Impact des Arbeitsprogramms durch eine ehrgeizige zeitliche Anpassung der Werkzeugentwicklung verbessern, (3) eine klare Rückkopplungsschleife zu den Technologie-Roadmaps schaffen und (4) benchmarking der Modellentwicklung gegenüber anderer Modellierungsansätze.

In Subtopic 1.1 spezifizieren die Arbeitsgruppen Methoden, Daten und Szenarien den Bedarf an Modellentwicklung und Modellworkflow, identifizieren Schnittstellen und koordinieren Rahmen- und Fachdaten. Insbesondere bei den technischen Daten hat eine intensive Abstimmung mit MTET stattgefunden, sodass überarbeitete technische Datensätze mit einem hohen Grad an Harmonisierung zur Verfügung stehen. Diese Datensätze wurden bereits für die Erstellung der ESD-Szenarien verwendet. Die Alleinstellung des ESD-Programms in der Methoden- und Werkzeugentwicklung wird durch mehrere Veröffentlichungen in einflussreichen Fachzeitschriften belegt. [6, 7]

- [6] **M. Hoffmann, B. U. Schyska, J. Bartels, T. Pelser, J. Behrens, M. Wetzel, H. C. Gils, C.-F. Tang, M. Tillmanns, J. Stock, A. Xhonneux, L. Kotzur, A. Praktiknjo, T. Vogt, P. Jochem, J. Linßen, J. M. Weinand, D. Stolten,** „A review of mixed-integer linear formulations for framework-based energy system models“, *Advances in Applied Energy*, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2024.100190>; Hoffmann et al. <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2024.100190>
- [7] **K. Schulze, F. Kullmann, J. M. Weinand, D. Stolten,** „Overcoming the challenges of assessing the global raw material demand of future energy systems“, *Joule*, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.05.016>

In Subtopic 1.2 haben die etablierten Arbeitsgruppen zur prospektiven integrativen Nachhaltigkeitsbewertung, zur langfristigen Steuerung und zum Entscheidungsverhalten Sitzungen und Workshops zur weiteren Abstimmung durchgeführt. Ansätze der multikriteriellen Entscheidungsanalyse (MCDA-Ansätze) wurden mit der lebenszyklusorientierten Nachhaltigkeitsbe-

wertung, der Analyse der Energiewende als langfristig angelegte Transformation (Vervollständigung *long-term governance frameworks*) und der Weiterentwicklung von Entscheidungs- und Diffusionsansätzen unter Berücksichtigung sozialer Präferenzstrukturen verbunden. In diesem Zusammenhang wurde das Helmholtz-MCDA-Tool als frei zugängliche Software (<https://www.mcda-helmholtz.de/index.php>) freigegeben, um eine umfassende sozio-technische Folgenabschätzung und Bewertung von Transformationspfaden für die ESD-Szenarien sicherzustellen.

Damit ist eine Abstimmung mit dem zentralen Strategietool HETR möglich. Die ab 2023 erstellten Szenarien bilden die Grundlage und Referenz für das HETR und dienen weiterhin der Abstimmung mit dem Programm MTET.

Das Gremium ermutigt das Team, sich auf regionale Modelle zu konzentrieren, da diese das Potenzial für ein Alleinstellungsmerkmal (Unique Selling Proposition, USP) haben.

Die Arbeiten der Arbeitsgruppe ESA (Energie System Analyse) am KIT konzentrierten sich im Jahr 2024 auf die Weiterentwicklung der automatisierten Modellgenerierung und Modellrepräsentation für Energiesysteme, auf die Entwicklung von Algorithmen und Softwarewerkzeugen für die kollaborative Energiesystem-Co-Simulation, neue Regelungsmethoden für Gebäude sowie neue Verfahren zur gekoppelten Stromnetzberechnung unter Wahrung des Datenschutzes.

Für die auf Open Data basierende Energiesystemmodellierung konnte die entwickelte Methodik für die automatisierte Erstellung von Verteilnetzmodellen für Wohngebiete verbessert werden. Durch eine neu entwickelte Lastabschätzung und eine zweistufige Optimierung realitätsnaher 20kV- und 400V-Netztopologien konnten die erzeugten Netze insbesondere durch die Nutzung öffentlicher 3D-Gebäudedaten in der Modellgenauigkeit erheblich verbessert werden, die Abhängigkeit von proprietären Netzbetreiberdaten konnte deutlich reduziert werden. Mit der Methodik konnte das Nieder- und Mittelspannungsnetz der Stadt Karlsruhe mit 45.000 Gebäudeanschlüssen anhand von Open Data vollständig generiert werden, was erfolgreiche Lastflussanalysen erlaubt. Die Ergebnisse wurden in IEEE Transactions on Smart Grid veröffentlicht [8] und tragen u.a. zur Helmholtz Open-X Initiative bei.

Einen weiteren Beitrag zu Open-X stellt die neue Methodik zur generischen Repräsentation von Stromnetzmodellen auf Basis einer *graph data structure* dar, die eine Umwandlung zwischen verschiedenen Modellier- und Simulationssoftwares unterstützt und somit die Software-Interoperabilität hinsichtlich Modellaustausch ermöglicht [9].

Im Bereich der Regelung für Gebäude wurde ein Ensemblemodell zur Parameteridentifikation in Gray-box-Gebäudemodellen entwickelt, das zwischen Arbeits- und Wochenendtagen unterscheidet. Das Modell verbessert die Vorhersagegenauigkeit der Innenlufttemperatur und reduziert die Abweichung der Transmissionswärmeenergie, wodurch das Potenzial zur Energieeinsparung in Gebäuden durch optimierte Regelstrategien erhöht wird [10].

In Zusammenarbeit mit ST 2.1 wurde für ein Gebäudecluster eine regelbasierte Regelung entwickelt, die elektrische Heizlast verschieben und Spitzenlasten reduzieren kann, wodurch eine vergleichbare Leistung zum modellprädiktiven Steuerungsverfahren (MPC) mit geringeren Rechenanforderungen erzielt wird [11].

Für die Modell-gekoppelte Energiesystemanalyse wurde die in der AG ESA entwickelte Co-Simulationsplattform eCoSim (energy system Co-Simulation) weiterentwickelt. Mit dem Ziel der Veröffentlichung als Open Software wurde eine Python-Portierung erfolgreich abgeschlossen. Die Basisfunktionalität der Software hinsichtlich Kollaboration wurde mit internationalen Partnern erfolgreich getestet und die Ergebnisse in ACM eEnergy veröffentlicht [12].

Im Bereich der verteilten Echtzeit-Co-Simulation wurde das bestehende Simulationsnetzwerk zwischen KIT und FAU Erlangen-Nürnberg um die RWTH Aachen erweitert. Um die Echtzeit-Simulation großer Übertragungsnetze zu ermöglichen, wurde ein neues Verfahren zur Reduktion von Netzmodellen basierend auf einem Genetischen Algorithmus (GA) entwickelt.

Weiterhin wurde die Herausforderung des Datenschutzes im Zuge der Energiewende untersucht. Im Fokus steht hier insbesondere die Interaktion der Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber (ÜNB-VNB), die vermehrt auf Datenaustausch zur Betriebskoordination im Stromnetz angewiesen sind, hier jedoch den Datenschutz berücksichtigen müssen. So konnte das eCo-Sim-Framework für eine dezentrale Lösung des AC Optimal Power Flow (OPF) Problems in geografisch verteilten Umgebungen eingesetzt werden, sodass eine gemeinsame optimale Netzberechnung durchgeführt werden konnte, ohne dass sensitive Daten ausgetauscht werden [13].

In einem weiteren Ansatz zur ÜNB-VNB Koordination wurde ein Machine Learning-Ansatz entwickelt, welcher ein ML-Modell eines Verteilnetzes mit dezentralen Erzeugern generiert und in die OPF-Berechnung des Übertragungsnetz-Modells nahtlos integriert. Die Methode ermöglicht die Einhaltung betrieblicher Grenzen beider Systeme und wahrt den Datenschutz [14].

- [8] **Weber, M.; Janecke, L.; Çakmak, H. K.; Hagenmeyer, V.:** *Open Data-Driven Automation of Residential Distribution Grid Modeling With Minimal Data Requirements.* 2024. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 15 (6), 5721–5732, DOI: 10.1109/TSG.2024.3406765
- [9] **Weber, M.; Kocher, A.; Çakmak, H. K.; Hagenmeyer, V.:** *ePowCoRe: A Novel Generic Representation of Power Grids Enabling Open-Source Model Conversion Modules.* 2024. *Proceedings of the 15th ACM International Conference on Future and Sustainable Energy Systems (OSMSES)*, 6 S., Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), DOI: 10.1109/OSMSES62085.2024.10668981
- [10] **Kovačević, J.; Li, C.; Förderer, K.; Çakmak, H. K.; Hagenmeyer, V.:** *Improving Reduced-Order Building Modeling: Integration of Occupant Patterns for Reducing Energy Consumption.* 2024. *Proceedings of the 15th ACM International Conference on Future and Sustainable Energy Systems*, 15th ACM International Conference on Future and Sustainable Energy Systems (2024), Singapur, Singapur, 04.06.2024–07.06.2024, 569–579, Association for Computing Machinery (ACM), DOI: 10.1145/3632775.3662163
- [11] **Langner, F.; Kovačević, J.; Zwickel, P.; Dengiz, T.; Frahm, M.; Waczowicz, S.; Çakmak, H. K.; Matthes, J.; Hagenmeyer, V.:** *Coordinated price-based control of modulating heat pumps for practical demand response and peak shaving in building clusters.* 2024. *Energy and Buildings*, 324, 114940, DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.114940
- [12] **Kocher, A.; Kovačević, J.; Süß, A.-C.; Saner, C. B.; Dindar, B.; Ehsan, M. A.; Çakmak, H. K.; Hagenmeyer, V.:** *Privacy Protection in Collaborative Geographically Distributed Co-Simulation of Multimodal Energy Systems.* 2024. *e-Energy '24: Proceedings of the 15th ACM International Conference on Future and Sustainable Energy Systems*, Singapore, 4th-7th June 2024, 639–647, Association for Computing Machinery (ACM), DOI: 10.1145/3632775.3661990
- [13] **Dai, X.; Kocher, A.; Kovačević, J.; Dindar, B.; Jiang, Y.; Jones, C. N.; Çakmak, H.; Hagenmeyer, V.:** *Ensuring Data Privacy in AC Optimal Power Flow with a Distributed Co-Simulation Framework.* 2024. *Electric power systems research*, 235, Art.-Nr.: 110710, DOI: 10.1016/j.epsr.2024.110710
- [14] **Dindar, B.; Saner, C. B.; Çakmak, H. K.; Hagenmeyer, V.:** *TSO-DSO Interaction: Privacy-Preserving Optimal Power Flow with Distributed Generators Using a Machine Learning-Based Approach.* 2024. *2023 IEEE PES 15th Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 6 S., Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), DOI: 10.1109/APPEEC57400.2023.10562006

In einem interdisziplinären Topic 1 und Topic 2 übergreifenden Rahmen werden sozio-technische Wirkungsanalysen im Hinblick auf urbane Microgrids und deren Bedeutung für Resilienz, Nachhaltigkeit und Wohlstandsvorsorge untersucht sowie Optimierungsfragen für die Gestaltung solcher Microgrids formuliert und mathematische Solver entwickelt [15]. In Topic 1 liegt der methodische Schwerpunkt auf techno-ökonomischen Modellen und Ansätzen zur sozio-technischen Wirkungsabschätzung. Um Transformationsstrategien auf regionaler Ebene zu entwerfen, werden techno-ökonomische Modelle entwickelt, die das regionale Nachfrage- und Produktionspotenzial widerspiegeln können. So wurde beispielsweise ein Energiesystemmodell entwickelt, das beliebige Gemeinden in einem hohen Detaillierungsgrad optimieren kann. In Millionen von parallelen Optimierungen auf High-Performance-Computing-Clustern wurden

die robusten kostenoptimierten Energiesysteme aller 11.000 deutschen Kommunen ermittelt [16].

Für die sozio-technische Wirkungsanalyse und -bewertung werden zunehmend ökonomische (partielle) Gleichgewichtsmodelle und Input-Output-Modelle entwickelt und durch regionalökonomisch-empirische Ansätze ergänzt, neue Ansätze für vollständige ökonomische Gleichgewichtsmodelle (GEM-Modelle) werden adaptiert sowie Technologie- und Produktbilanzierungsansätze wie LCA und LCSA mit Schwerpunkt Deutschland, einschließlich grenzüberschreitender Lieferketten. Diese Themen werden zentrumsübergreifend in den Arbeitsgruppen Makroökonomie und Integrative Nachhaltigkeitsbewertung bearbeitet. Erste Ergebnisse zu Arbeitsplatzeffekten und Ressourcenkritikalität im Rahmen von szenariobasierten ESD-Transformationspfaden liegen vor.

- [15] **Sadeeb S. Ottenburger, Rob Cox, Badrul H. Chowdhury, Dmytro Trybushnyi, Ehmedi Al Omar, Sujay A. Kaloti, Ulrich Ufer, Witold-R. Poganietz, Weijia Liu, Evgenia Deines, Tim O. Müller, Stella Möhrle, Wolfgang Raskob** (2024): *Sustainable urban transformations based on integrated microgrid designs*. *Nature Sustainability* 7, <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01395-7>
- [16] **Weinand, J., Risch, S., Schulze, K., Vartak, S., Kleinebrahm, M., Pflugradt, N., Kullmann, F., Kotzur, L., McKenna, R., Stolten, D.** (2024): *Scaling energy system optimizations: Techno-economic assessment of energy autonomy in 11 000 German municipalities*. *Energy Conversion and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118422>

In den Jahren 2022 und 2023 wurden in einer Kooperation zwischen den Projekten SmartEast und dem Helmholtz-Programm ESD Feldstudien durchgeführt mit dem Ziel, die reale Nutzung von Wireless M-Bus zu untersuchen. Nun wurden die überraschenden Ergebnisse veröffentlicht. Über 48 % der real aufgezeichneten Messgeräte verwenden keine der im Standard angebotenen Verschlüsselungsmethoden. Dies stellt eine massive Gefährdung der Privatsphäre insbesondere von Mietern dar, deren Heizungskostenaufteilung, Warm- und Warmwasserkosten auf Basis dieser Geräte durchgeführt wird. Die Sensoren schicken jedoch regelmäßig den aktuellen Zählerstand und so können z.B. Nachbarn Nutzungs-Zeit-Profile von Heizung, Warm- und Kaltwasser erstellen. Anwesenheit und Schlafphasen lassen sich damit abschätzen. Die Hinweise dieses Missstandes an alle betroffenen Hersteller sowie die Mitteilung an die Fachpresse sind unbeachtet verhallt [17].

- [17] **Hiller v. Gaertringen, F., Galenzowski, J., Bao, K., Waczowicz, S., & Hagenmeyer, V.** (2024). *Field Survey of Wireless M-Bus Encryption for Energy Metering Applications in Residential Buildings*. *ACM SIGEnergy Energy Informatics Review*, 4(4). to be published in the ACM Digital Library

Das Team sollte sich auf die Kontrolle und nicht so sehr auf die einzelnen Technologien konzentrieren.

Am KIT wurde von Langner et al. [18] eine Studie zur koordinierten preisbasierten Steuerung modulierender Wärmepumpen für die Laststeuerung und Spitzenlastkappung in Gebäudekomplexen präsentiert. Die Autorin und die Autoren stellen einen neuartigen regelbasierten Regler namens *Extended Price Storage Control+* (EPSC+) für den praktischen und flexiblen Betrieb von Heizsystemen in einem Gebäudekomplex vor. Die Studie zielt darauf ab, die Herausforderung des Ausgleichs von Stromerzeugung und -verbrauch in Netzen mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien zu bewältigen, wobei der Schwerpunkt auf Raumheizung und Warmwasser liegt, die 80 % des Energieverbrauchs in Gebäuden ausmachen. Die Studie bewertet die Leistung von EPSC+ durch eine neunwöchige Wintersimulationsstudie, an der ein Cluster von zehn Gebäuden in Deutschland beteiligt ist. Der EPSC+-Regler wird mit einem hierarchischen modellprädiktiven Regler (MPC) und einem Hysterese-Zweipunktregler als Vergleichsmaßstab verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass EPSC+ eine Leistung erzielt, die

der des MPC nahekommt, und die mittlere Spitzenlast um 38,8 % und die mittleren Stromkosten um 15 % im Vergleich zum Hysterese-Regler reduziert. Eines der wichtigsten Erkenntnisse aus dieser Studie ist die Effektivität von EPSC+ beim Ausgleich mehrerer Ziele, ohne dass komplexe Modelle, Prognosen oder Optimierungen erforderlich sind. Der Regler schafft es in den meisten Szenarien, Spitzenlasten und Stromkosten zu reduzieren und gleichzeitig den thermischen Komfort aufrechtzuerhalten. Dies ist besonders bemerkenswert, da er Ergebnisse erzielt, die mit komplexeren MPC-Systemen vergleichbar sind, während er rechnerisch kostengünstig und für die Umsetzung in der Praxis besser geeignet ist. Die Studie hebt auch die Bedeutung einer koordinierten Laststeuerung in Gebäudekomplexen hervor, da unkoordinierte Maßnahmen zu neuen Spitzenlasten führen können, die das Stromnetz belasten könnten. Die Fähigkeit des EPSC+-Reglers, die Heizsysteme mehrerer Gebäude zu koordinieren und dabei sowohl den Heizbedarf als auch den Warmwasserbedarf zu berücksichtigen, stellt einen bedeutenden Fortschritt bei praktischen Laststeuerungsstrategien für Wohngebiete dar.

[18] **Langner, F., Kovačević, J., Zwickel, P., Dengiz, T., Frahm, M., Waczowicz, S., Çakmak, H. K., Matthes, J., & Hagenmeyer, V.** (2024). Coordinated price-based control of modulating heat pumps for practical demand response and peak shaving in building clusters. *Energy & Buildings*, 324, 114940, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114940>

Die am KIT von Ekin et al. [19] durchgeführte Forschung stellt eine neuartige Steuerungsmethode für Lasten mit Leistungselektronik-Schnittstelle vor, um die Steuerung der Gleichstrom-Bussspannung in Gleichstrom-Mikronetzen zu unterstützen. Netzunterstützende Lasten (Grid-Supportive Loads, GSL) passen den Stromverbrauch dynamisch an, um die Netzstabilität mit minimalen Auswirkungen auf den Benutzer aufrechtzuerhalten. Der Ansatz übertrifft herkömmliche PI-Regler, indem er Spannungsabfälle reduziert und die Zuverlässigkeit von Mikronetzen verbessert. Das Modell des Gleichstrom-Mikronetzes umfasst Batteriespeicher, PV-Anlage und mehrere Lasten bei 700 V Nennbusspannung. Die GSL-Strategie erweitert kaskadierte PI-Regler mit adaptiver Referenzspannung. Simulationen zeigen, dass sich GSL-Spannungsschwankungen bei Störungen minimieren, wobei sich die Leistung mit zunehmendem Verstärkungsfaktor verbessert. Die Methode ist besonders effektiv bei kritischen Netzbedingungen. Die Studie hebt das noch nicht ausreichend erforschte Potenzial von mit Leistungselektronik verbundenen Lasten bei der Netzunterstützung hervor und schließt Lücken in der Literatur und in den Standards für die automatisierte Bedarfsreaktion in Gleichstromsystemen.

In der Veröffentlichung von Ekin et al. [20] wird eine nichtlineare Steuerung für Gleichstrom-Mikronetze zur Unterstützung von Wechselstromnetzen vorgestellt, die mehrere Batterien und eine Wechselstromverbindung umfasst. Die Studie vergleicht diese Methode mit der herkömmlichen PI-basierten Steuerung unter Verwendung eines Power-Hardware-in-the-Loop-Aufbaus. Die vorgeschlagene Strategie zielt darauf ab, die Netzunterstützung und die Gleichspannungsstabilität durch einen dreiphasigen Spannungsquellenwandler zu verbessern. Während die nichtlineare Steuerung eine verbesserte Spannungshaltung aufweist, zeigt sie im Vergleich zum PI-basierten Ansatz eine geringere Lastverteilungsfähigkeit. Die Studie erkennt Einschränkungen an und schlägt zukünftige Forschungsrichtungen vor, darunter die Erforschung fortschrittlicher Steuerungstechniken und Optimierungsalgorithmen zur Verbesserung der Leistung und Robustheit netzgekoppelter Stromversorgungssysteme.

[19] **Ekin, Ö., Balakrishnan, A., Spatafora, L., & Hagenmeyer, V.** (2024, November 19). Distributed Control Strategy for Grid Supportive Loads in DC Microgrids, <https://doi.org/10.1109/egrid62045.2024.10842713>

[20] **Ekin, Ö., Hagenmeyer, V., Wiegel, F., Perez, F., & Damm, G.** (2024). Grid supporting nonlinear control for AC-coupled DC Microgrids. 1–6, <https://doi.org/10.1109/icdcm60322.2024.10664838>

Der Beitrag von Wiegel et al. [21] präsentiert eine umfassende Studie zur Integration verteilter Energieressourcen (DERs) in sektorgekoppelte Mikronetze der realen Welt, wobei der Schwerpunkt auf den Herausforderungen, Strategien und experimentellen Erkenntnissen liegt. Im Mittelpunkt der Forschung steht die Implementierung und Evaluierung eines regelbasierten Energiemanagementsystems (EMS) im Smart Energy System Laboratory (SESCL) am KIT. Die Studie verwendet eine speziell entwickelte EMS-Testumgebung, um das Systemverhalten unter nicht idealen Bedingungen zu untersuchen, die reale Komponenten widerspiegeln. Das Dokument bietet einen detaillierten Überblick über aktuelle EMS-Technologien und beschreibt die Implementierung und Validierung einer EMS-Testumgebung. Es bewertet ein regelbasiertes EMS in verschiedenen Szenarien, um das Verhalten realer Komponenten zu verstehen, und hebt unerwartete Herausforderungen bei der Integration von EMS in reale Anwendungen hervor. Die Forschung umfasst eine Echtzeit-Messkampagne, die eine systematische Bewertung unter zwei verschiedenen Szenarien beinhaltet: hohe Erzeugung erneuerbarer Energien bei niedrigem lokalem Verbrauch und umgekehrt. Die Studie liefert mehrere interessante Erkenntnisse. Erstens zeigt sie, dass selbst einfache regelbasierte EMS effektiv dazu beitragen können, gemeinsame Ziele eines Mikronetzes zu erreichen, wie z.B. die Reduzierung des Stromaustauschs mit dem Hauptnetz. Die Experimente zeigen, dass beide zentralen Koordinationsstrategien der Mikronetzkomponenten den Stromaustausch mit dem Hauptnetz sowohl bei Szenarien mit hoher als auch mit niedriger erneuerbarer Energieerzeugung reduzieren können. Zweitens hebt die Studie die Bedeutung der Reaktionszeit in EMS-Strategien hervor. Die „Lastausgleichsstrategie“, die auf einer schnelleren Zeitskala von 3 Minuten arbeitet, erweist sich als effektiver bei der Minderung von Schwankungen im Vergleich zur „Last- und Erzeugungsplanungsstrategie“, die alle 15 Minuten Sollwerte generiert. Schließlich deckt die Studie unvorhersehbare Verhaltensweisen realer Komponenten auf, wie z. B. das einphasige Laden von Elektrofahrzeugen, das zu erheblichen Ungleichgewichten bei den dreiphasigen Spannungen führt, und die Auswirkungen eines plötzlichen Kommunikationsverlusts mit Netzkomponenten. Diese Ergebnisse unterstreichen die Komplexität und die Herausforderungen, die mit dem Übergang von simulationsgetesteten Modellen zu realen EMS-Anwendungen in Mikronetzen verbunden sind.

[21] **Wiegel, F., An, S., Wachter, J., Beichter, S., Süß, A.-C., Ekin, Ö., & Hagenmeyer, V.** (2024). *Integrating distributed energy resources in real-world sector-coupled microgrids: challenges, strategies, and experimental insights*. Institution of Engineering and Technology, https://doi.org/10.1049/pbpo149e_ch6

Aufgrund der steigenden Anzahl von Gleichstromsystemen, die mit dem Dreiphasen-Wechselstromnetz interagieren, nimmt die Bedeutung von Stromrichtern zur Verbindung dieser Systeme zu. Ein wichtiger Bestandteil deren Regelungssystems, die Phasenregelschleife im synchronen Bezugssystem (SRF-PLL), ist empfindlich gegenüber unsymmetrischen Netzzuständen. Die nichtlineare Analyse des SRF-PLL-Verhaltens zeigt die Größe der lock-in Domain und gibt eine Abschätzung des durchschnittlichen Phasenfehlers [22]. Diese Abschätzung kann für die Einstellung der Regelkreise im Stromrichter zu Rate gezogen werden.

Modulare Multilevel-Stromrichter (MMC), die in Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungssystemen und anderen Systemen mit hoher Leistung genutzt werden, besitzen interne Energiespeicher, die überwacht und geregelt werden müssen. Es wurde ein neuer Regelungsalgorithmus basierend auf Vibrational Control und Output-Invisible Control Allocation entwickelt, um den Ladungszustand der Energiespeicher zwischen den Abzweigungen des Stromrichters auszugleichen [23]. Das Potenzial für eine Optimierung der Energiepulsation im MMC wurde untersucht und die Grenzen im Hinblick auf einen Kompromiss mit der Verlustleistung aufgezeigt [24].

- [22] **Ponomarev, V. Hagenmeyer, and L. Gröll**, *Nonlinear analysis of the synchronous reference frame phase-locked loop under unbalanced grid voltage*, *Nonlinear Dynamics*, vol. 112, no. 11, pp. 9225–9243, 2024, DOI: 10.1007/s11071-024-09532-9.
- [23] **A. Kastner, L. Gröll and V. Hagenmeyer**, *Vibrational Control for Energy Balancing in Modular Multilevel Converters*, 2024 IEEE 65th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga, Latvia, 2024, pp. 1-7, DOI: 10.1109/RTUCON62997.2024.10830807.
- [24] **S. T. Kappenstein, V. Hagenmeyer and L. Gröll**, *Multiobjective Optimization of Energy Pulsation and Power Dissipation in Modular Multilevel Converters (MMCs)*, 2024 IEEE 65th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga, Latvia, 2024, pp. 1-7, DOI: 10.1109/RTUCON62997.2024.10830835

Das derzeitige Stromversorgungssystem erfordert eine höhere Leistungsflexibilität, die nicht nur von der Erzeugung, sondern auch von der Last abhängt. Um dieses Problem zu lösen, wurde am KIT eine auf der Lastempfindlichkeit basierende Laststeuerung vorgeschlagen, bei der die Abhängigkeit der Last von Spannung und Frequenz genutzt wird, um den Stromverbrauch nach unten oder oben zu regulieren. Zur Schätzung der Lastsensitivitäten wurde in Courcelle et al. [25] ein innovativer und zugleich robuster Algorithmus zur Schätzung der Sensitivitäten vorgeschlagen, der eine Echtzeitschätzung der Sensitivitäten durch die Einführung minimaler Störungen der Systemspannung ermöglicht. In Tao et al. [26] wurden die Lastspannungsempfindlichkeiten realer Lasten im Energy Smart Home Lab während eines eintägigen Versuchs mit einer der höchsten Zeitgranularitäten in der Literatur bewertet. In ähnlicher Weise wurde dieses Konzept in Geis-Schroer et al. [27] auf die Frequenzempfindlichkeit ausgeweitet, wobei die unteren und oberen Frequenzgrenzen, die netzgekoppelte Lasten erreichen können, aufgezeigt wurden. Schließlich wurde die auf der Lastsensitivität basierende Laststeuerung in einem konkreten Testfall angewandt, um die Diskrepanz zwischen der prognostizierten und der momentanen photovoltaischen Energieerzeugung zu minimieren [28]. Es hat sich gezeigt, dass die auf der Lastempfindlichkeit basierende Steuerung es ermöglicht, die Leistungsabweichung auszugleichen, ohne dass zusätzliche Hardware, wie z. B. Energiespeicher oder -erzeugung, installiert werden muss.

- [25] **M. Courcelle, Q. Tao, J. Geis-Schroer, T. Leibfried, G. De Carne**, *Perturbation-Based Load Sensitivity Identification for Smart Transformer-Based Load Control*, in *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2024, DOI: 10.1109/TPWRD.2024.3453270
- [26] **Q. Tao, M. Courcelle, J. Geis-Schroer, T. Leibfried, G. De Carne**, *Experimental Investigation of Power-to-Voltage Sensitivity Profiles of Residential Loads for Load Management Studies*, in *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2024, DOI: 10.1109/TPWRD.2024.3457578
- [27] **J. Geis-Schroer, Q. Tao, M. Courcelle, G. Bock, M. Suriyah, T. Leibfried**, *Power-to-Frequency Dependency of Residential Loads in a Wider Frequency Range: An Experimental Investigation*, in *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2024, DOI: 10.1109/TIA.2024.3439498
- [28] **Q. Tao et al.**, 2024, 14th Annual Protection, Automation and Control World Conference: PAC World Conference (PACWC 2024), Athens, Greece, 17.06. 2024–21.06. 2024

Die Untersuchung realer Netzvorfälle von Wachter et al. [29] vermittelt ein umfassendes Verständnis der Herausforderungen und Chancen, die mit dem Übergang zu von Wechselrichtern dominierten Stromversorgungssystemen verbunden sind. Durch die Analyse vergangener Vorfälle und ihrer Auswirkungen auf zukünftige Netze unterstreicht die Forschung die entscheidende Bedeutung der Anpassung von Stromversorgungssystemen an die zunehmende Verbreitung dezentraler, erneuerbarer Erzeugungsanlagen, die mit leistungselektronischen Wandlern verbunden sind. Der großflächige Einsatz von leistungselektronischen Geräten stellt neue Herausforderungen an die Steuerung dieser Komponenten. Im Rahmen der Forschung des KIT am Energy Lab werden neue Steuerungskonzepte auf ihre Praxistauglichkeit untersucht. Ein bedeutendes Beispiel für realistische Forschung im Bereich Energiemanagement und fortschrittliche Steuerungsstrategien liefert die Arbeit von Wiegel et al. [30]. Dieser Artikel bietet kritische Einblicke in die Herausforderungen bei der Umstellung von simulationsgetes-

teten Energiemanagementsystemen (EMS) auf reale Anwendungen und unterstreicht die Notwendigkeit weiterer Forschung zur Verbesserung der Widerstandsfähigkeit und Effizienz von EMS in dynamischen Umgebungen. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung der Integration kommerziell erhältlicher Komponenten und der Optimierung der EMS-Leistung, was zur Entwicklung lokaler intelligenter Energiesysteme beiträgt.

- [29] **J. Wachter, L. Gröll, V. Hagenmeyer**, 2024, *Survey of real-world grid incidents – opportunities, arising challenges and lessons learned for the future converter dominated power system*, *IEEE Open Journal of Power Electronics*, DOI: 10.1109/OJPEL.2023.3343167
- [30] **F. Wiegel, S. An, J. Wachter, S. Beichter, A.-C. Süß, Ö. Ekin, V. Hagenmeyer**, 2024, *Integrating distributed energy resources in real-world sector-coupled microgrids: challenges, strategies, and experimental insights* IET-Buchkapitel, *System Level Control and Optimisation of Microgrids*, DOI: 10.1049/PBPO149E_ch6

Das Team sollte durchgreifende/disruptive und out of the box-Konzepte untersuchen, wie z.B. die Auswirkungen von Leistungselektronik / nicht synchronisierten Netzen.

Der Artikel von Weißbecher et al. [31] stellt das Konzept des Leitungsmanagements (LM) in Energiepaket-Netzen (EP-Netzen) vor und befasst sich mit den Herausforderungen, die sich durch die zunehmende Integration erneuerbarer Energien in Stromnetze ergeben. Das EP-Netz unterteilt das Stromnetz in EP-Zellen und verwaltet die Stromflüsse in diskreten Paketen. Der Line Manager, eine entscheidende Softwarekomponente, koordiniert die Übertragung von Energiepaketen durch die Verwaltung der Übertragungsleitungskapazität. In dem Artikel werden die Architektur und die Funktionalität des Line Managers beschrieben und seine Rolle bei der Gewährleistung eines stabilen Betriebs zukünftiger Stromnetze hervorgehoben. Es werden verschiedene Methoden für die Berechnung des Netzzustands erörtert, darunter Strom-, Leistungs- und Mischmodusübertragungen. Der Line Manager identifiziert relevante Zeitpunkte für die Berechnung des Netzzustands und verwendet verschiedene Lösungsmethoden, um den Netzzustand zu berechnen. Zu diesen Methoden gehören die Knotenanalyse, das Newton-Verfahren, der aktuelle Betriebspunkt (COP) und der schnelle lineare Leistungsfluss (FLPF). Die Bewertung dieser Lösungsmethoden wird anhand europäischer Netzmodelle für ländliche, halbstädtische und städtische Gebiete durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass COP die am besten geeignete Methode für den Line Manager ist, da sie alle EP-Übertragungsmodi unterstützt und ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Genauigkeit und Rechengeschwindigkeit bietet. Das Dokument schließt mit der Hervorhebung der Bedeutung des Line Managers bei der Optimierung von Entscheidungsprozessen und der Minimierung der Rechenzeit in EP-Netzen. Eine einzigartige Erkenntnis aus diesem Dokument ist der innovative Ansatz für das Netzmanagement durch das Konzept der Energiepakete, das eine detailliertere Steuerung und eine effizientere Nutzung der Netzressourcen ermöglicht. Die Fähigkeit des Netzmanagers, verschiedene Übertragungsmodi (Strom, Leistung und gemischt) auf der Ebene der einzelnen EP-Geräte zu handhaben, ist eine bemerkenswerte Funktion, die die Flexibilität des Systems erhöht. Darüber hinaus bietet die Untersuchung verschiedener Lösungsmethoden und ihrer Kompromisse zwischen Genauigkeit und Rechenzeit wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Forschung und Optimierung in Netzmanagementsystemen.

- [31] **Weißbecher, M., Zitterbart, M., Hagenmeyer, V., Hiller, M., Schneider, K., An, S. X., Schulz, D., & Wiegel, F.** (2024). *Line Management in the Energy Packet Grid*, 182–191, <https://doi.org/10.1145/3632775.3661954>

Da sich die Gesellschaft auf ein dekarbonisiertes Energiesystem zubewegt, muss die Fähigkeit verbessert werden, das Verhalten und die Dynamik von Stromsystemen zu modellieren, vorherzusagen und zu verstehen. Das Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Nachfrage auf kurzen Zeitskalen spiegelt sich in der Frequenz des Stromnetzes wider und ist damit von zent-

raler Bedeutung für die Steuerung von Stromnetzen. Ein genaues Verständnis und eine genaue Vorhersage der Netzfrequenz könnten daher die Planung von Steuerungsmaßnahmen erleichtern und so die Systemstabilität verbessern und Kosten einsparen. Ob Deep-Learning-Ansätze Vorhersagen für hochaufgelöste und verrauschte Zeiträume liefern können, wie sie im Fall der Netzfrequenz vorliegen, bleibt eine offene Frage. Die Forschenden haben herausgefunden, dass der Temporal Fusion Transformer (TFT) in der Lage ist, die Basismodelle zu übertreffen, während ein vergleichsweise einfaches mehrschichtiges Perzeptron dies nicht kann. Durch Verringerung der zeitlichen Auflösung der Frequenzzeitreihen untersuchen und quantifizieren die Forschenden den Kompromiss zwischen Energieverbrauch und Vorhersageleistung des TFT. Die Einbeziehung zusätzlicher exogener Variablen (z.B. Kalendermerkmale, Last oder Erzeugung) verbessert die Leistung des TFT weiter. Unter Ausnutzung der dem TFT innewohnenden Interpretierbarkeit wurden am KIT die prognostizierte Lastrampe identifiziert, die aktuelle Stunde und den aktuellen Monat als die wichtigsten Merkmale [32].

[32] S. Pütz, H. El Ashhab, M. Hertel, R. Mikut, M. Götz, V. Hagenmeyer, B. Schäfer *Feasibility of Forecasting Highly Resolved Power Grid Frequency Utilizing Temporal Fusion Transformers, Proceedings of the 15th ACM International Conference on Future and Sustainable Energy Systems, 2024, pp 447-453, DOI: 10.5445/IR/1000172456*

Das Hochspannungsübertragungsnetz ist ein schwerwiegender Engpass für die Energiewende. Übertragungsnetzbetreiber müssen häufig eingreifen, um Netzengpässe zu beheben, was jedes Jahr Kosten in Milliardenhöhe verursacht [33]. Langfristig sind umfassende Netzerweiterungen und/oder grundlegend andere Betriebsstrategien erforderlich, um die Engpässe im Netz zu beheben. Kurzfristig kann eine dynamische Rekonfiguration der Topologie Engpässe abmildern und so Hunderte Millionen Euro einsparen. Die Optimierung des Betriebs von Schaltern und Sammelschienenkupplungen ist jedoch mathematisch sehr schwierig, sodass neuartige Algorithmen erforderlich sind. Im Jahr 2024 begann das FZJ eine Zusammenarbeit mit zwei Übertragungsnetzbetreibern, um die erforderlichen Lösungen bereitzustellen. Das erste Ziel ist, die Rechenkapazität moderner Grafikprozessoren (GPUs) für massiv parallele Stromnetzsimulationen zu nutzen [34, 35]. Diese Tools werden für den Netzbetrieb entweder unter Verwendung des Quality-Diversity-Ansatzes oder des Reinforcement Learning eingesetzt.

Als langfristige Lösung für das Management begrenzter Übertragungskapazitäten und verteilter Energiespeichersysteme wird im Programm ESD zudem ein möglicher Paradigmenwechsel für den Netzbetrieb auf der Grundlage von Technologien aus dem Betrieb von Datennetzen erforscht: In Anlehnung an Technologien aus dem Betrieb von Datennetzen werden Konzepte für eine möglicherweise quantisierte Übertragung elektrischer Energie untersucht. Dabei soll die Nutzung vorhandener Leitungs- und Speicherkapazitäten gleichzeitig optimiert werden. Das dabei entstehende Netz zeichnet sich durch gezielt geregelte Energieübertragungspfade aus und ist gekennzeichnet von sich selbst organisierenden Subnetzen, die durch Energierouter miteinander verbunden sind.

In Ergänzung der Forschungsarbeiten, die auf Modellierung, Systemanalyse und Reglersynthese mit klassischen Methoden setzen, werden auch bisher in der Regelung von Umrichtern nicht betrachtete Zugänge auf ihre praktische Anwendbarkeit geprüft. Dazu zählt im Berichtszeitraum ein beobachterbasierter, adaptiver Ansatz, der auf die Einsparung von Hardware-sensoren zielt. Die Realisierbarkeit des Ansatzes unter Realbedingungen wurde an einem einfachen Prototyp im Labor des Energy Lab erfolgreich nachgewiesen.

[33] Titz, M.; Pütz, S.; Witthaut, D. (2024), *Identifying drivers and mitigators for congestion and redispatch in the German electric power system with explainable AI*. *Applied Energy*, vol. 356, p. 122351, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122351>

- [34] van Dijk, J.; Westerbeck, N.; Schewe, L.; **Benigni, A.; Witthaut, D.** (2024). Unified algebraic deviation of distribution factors in linear power flow. *arXiv preprint arXiv:2412.16164*.
- [35] **Witthaut, D.** (2024), Accelerated DC loadflow solver for topology optimization (2025). *arXiv preprint arXiv:2501.17529*

A.2.1.3.4 Strategische Themen

Talentmanagement

Topic 1

In Zusammenarbeit mit der Arizona State University (ASU) und der Technischen Universität Delft wurde neben dem Programm für Promovierende am ITAS erfolgreich ein internationales Graduiertenprogramm eingeführt. Sowohl im Rahmen des Graduiertenprogramms als auch des Programms für Promovierende werden verschiedene Aspekte der Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse vermittelt. Darüber hinaus erhalten die Teilnehmenden einen umfassenden Überblick über die relevanten Theorien und Methoden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Förderung des kritischen Denkens im Rahmen problemorientierter Forschung. Darüber hinaus wurde die GS-EES – Graduate School for Electrochemical Energy Storage im Rahmen des Programms MTET gefördert.

Im Jahr 2024 konnte die -Forschungsgruppe „Sylvanus – Erhöhung der Resilienz und Vermeidung von Zielkonflikten bei Waldumwandlungen“ am KIT Dr. Marufa Sultana erfolgreich über das Young Investigator Group Preparation Program (YIG-Prep-Pro) des KIT rekrutieren, das aus Exzellenzstrategiemitteln gefördert wird (<https://www.kit.edu/research/yig-prep-pro.php>). Dr. Sultana war eine von sechs Kandidatinnen und Kandidaten, die von der unabhängigen Auswahlkommission des Council for Research and Promotion of Young Scientists und dem Präsidium des KIT aus fast 70 Bewerberinnen und Bewerbern ausgewählt wurden. Die aus Bangladesch stammende Forscherin ist eine außergewöhnlich talentierte Nachwuchswissenschaftlerin, die an der Universität Freiburg promoviert wurde. In den nächsten zwei Jahren wird sie am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) Förderanträge für den Aufbau einer eigenen Nachwuchsgruppe entwickeln. Mögliche Förderquellen sind das Emmy Noether-Programm der DFG, das Change Fellowship Programm der Volkswagenstiftung, das Helmholtz-Forschungsgruppenprogramm und der ERC Starting Grant.

Vernetzung

Topic 1

Der Helmholtz MCDA Workshop fand im Oktober 2024 am KIT statt. Am ersten Tag (mit Helmholtz- und externen Expertinnen und Experten) wurde die Integration von Stakeholdern für MCDA-Nachhaltigkeitsanalysen diskutiert. Am zweiten Tag (Helmholtz-intern) beschäftigten sich die Teilnehmenden mit den Stärken und Schwächen von Helmholtz-MCDA-Studien (Kriterien, Methoden, Stakeholder-Integration).

Ein Helmholtz-Promovierenden- und Postdoc-Workshop zum Thema „Prospektive Bewertung von Energietechnologien und -systemen“ fand am 13. März 2024 im DLR Göttingen statt. Die Keynote von C. Mutel trug den Titel „How prospective LCA researchers can help build a common understanding of the current and future world“. Der Workshop umfasste sieben Vorträge von Promovierenden und Postdocs des DLR, FZJ und KIT.

In Zusammenarbeit mit Herausgebern der Universitäten Alcalá, Perugia und dem KIT wurde ein Buch mit dem Titel „Emerging Battery Technologies to Boost the Clean Energy Transition“ bei Springer Nature veröffentlicht. Das Buch besteht aus 18 Kapiteln, die von internationalen Expertinnen und Experten verfasst wurden, darunter Autoren aus der Industrie und renommierten Forschungseinrichtungen in Europa und den Vereinigten Staaten.

Es wurden mehrere Konferenzen zum Thema MCDA besucht, darunter die OR-Konferenz in München vom 3. bis 6. September 2024 mit dem Vortrag „Stakeholder Integration in MCDA for Sustainability Assessment“ (KIT und FZJ) und das 98th EWG MCDA meeting in Catania vom 26. bis 27. September 2024 mit dem Vortrag „Review on MCDA Software for Sustainability Assessment“ (KIT und Leiden University).

Zum Thema Long-Term Governance (LTG) wurden auf der EASST-4S-Konferenz in Amsterdam zwei Sitzungen organisiert sowie Arbeiten vorgestellt. Darüber hinaus wurden Beiträge zu LTG auf Konferenzen in Trient, Bologna und Berlin präsentiert.

Das KIT organisierte die Konferenz Forum on Philosophy, Engineering, and Technology 2024 (fPET2024) in Karlsruhe. Mit 150 internationalen Teilnehmenden ist dies eine der bedeutendsten Konferenzen auf dem Gebiet der Technikphilosophie.

Dr. Somidh Saha vom ITAS des KIT hat mit Unterstützung von Prof. Dr. Armin Grunwald ein Stipendium im Rahmen des International Excellence Fellow-Programms des KIT (<https://www.intl.kit.edu/ischolar/13474.php>) eingeworben, das aus Exzellenzstrategiemitteln finanziert wird. Das Stipendium wurde für die Aufnahme der Wissenschaftlerin Colleen Murphy-Dunning (<https://environment.yale.edu/directory/staff/colleen-murphy-dunning>) von der Yale School of Environment, Yale University, USA, im Dezember 2024 verwendet. Das KIT leitet eine Initiative zur Stärkung der Zusammenarbeit mit der Yale University in den Bereichen Stadtökologie, städtische Forstwirtschaft, Herausforderungen der Energieeffizienz in Großstädten, die sich auf eine emissionsneutrale Zukunft zubewegen, und Umweltgesundheit. Colleen Murphy-Dunning wird das KIT im Sommer 2025 im Rahmen dieses Stipendiums besuchen, um Möglichkeiten die Zusammenarbeit zwischen KIT und Yale zu vertiefen.

Topic 2

Die Realisierung eines transnationalen ERIGrid 2.0-Zugangsprojekts zwischen KIT und DTU (Dänemark) beginnt 2024. Das Thema ist die Simulation der elektrischen Auswirkungen von Cyberattacken auf Wechselrichter und andere steuerbare Verbrauchs- und Erzeugungsgesetze.

Das KIT war Gastgeber für zwei internationale Forscher (Prof. Dr. Cigdem Yalcin und Prof. Dr. Christian Beck) als International Excellence Fellows für mehrere Monate. Diese Kooperationen führten bereits zu Veröffentlichungen im Jahr 2024 (z.B. X. Wen et al. [36]).

[36] **X. Wen, U. Oberhofer, L. Rydin Gorjão, G. C. Yalcin, V. Hagenmeyer, B. Schäfer**, 2024, *Identifying Complex Dynamics of Power Grid Frequency*, in *Proceedings of the 15th ACM International Conference on Future and Sustainable Energy Systems*, <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3632775.3661944>

Das Innovationspool-Projekt „Industrielle Transformation 2050“ wurde Ende 2024 bewilligt und beschäftigt sich mit der technologischen und geografischen Umgestaltung der Rohstoffindustrie für eine klimaneutrale Kreislaufwirtschaft. In diesem Projekt werden Wechselwirkungen zwischen den Verteilungsnetzen für Energie, Materialien und CO₂ untersucht. Das interdisziplinäre Projekt schlägt eine Brücke zwischen ESD und MTET mit programmübergreifender Forschung.

Das Innovationspoolprojekt „Data for Technology Assessment“ (DaTA) wurde Ende 2024 genehmigt und zielt darauf ab, ein öffentlich zugängliches Repositorium zu erstellen, das die

Forschungsaktivitäten der Programme ESD und MTET unterstützt und gleichzeitig zu einer Referenz für die wissenschaftliche Gemeinschaft in diesem Thema wird.

Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

Topic 1

Das KIT beteiligte sich an öffentlichen Veranstaltungen wie der „66. Akademiewoche Herbstakademie (2024)“ in Ulm (23.–26. September 2024), die sich mit der Nachhaltigkeitsbewertung in der Batterieforschung befasste, sowie an Industrieveranstaltungen wie der TWAICE, die sich mit der prospektiven Nachhaltigkeitsbewertung von Natrium-Ionen-Batterien befasste. Darüber hinaus leitete und beteiligte sich das KIT an forschungspolitisch relevanten Aktivitäten innerhalb von BEPA und Battery Europe in der Task Force Sustainability (<https://batterieseurope.eu/results/position-papers-on-cross-cutting-topics-2024/position-papers-on-cross-cutting-topics-2/>) und der sektorübergreifenden Arbeitsgruppe des Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan) der EU. Das Positionspapier zur Nachhaltigkeit von Batterien wurde auf dem World Circular Economy Forum (WCEF 2024) in Brüssel, Belgien, vorgestellt und diskutiert. Das KIT hat auch mit Umweltwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern der Universität Stockholm, Abteilung Umweltwissenschaften, zusammengearbeitet, um die Anwendung von „forever chemicals“ (PFAS) in der Energiespeicherung zu untersuchen, was zu einer gemeinsamen Veröffentlichung führte.

Die MCDA-Software #HELDA wurde in Workshops an der HSLU Hochschule Luzern zum Thema thermische Energiespeicher in Bern und Zürich erfolgreich eingesetzt. Teilnehmende aus Industrie, Regulierung und Technologieentwicklung gewichteten Kriterien mit der Kartenmethode, HELDA visualisierte die Ergebnisse und regte Diskussionen zu regulatorischen, ökonomischen und ökologischen Aspekten an.

Die Anwendung des PPGIS-Scenario-Tools ermöglicht eine transparente und gerechte Integration erneuerbarer Energien unter Berücksichtigung lokaler Restriktionen und untersucht, wie Landnutzungsentscheidungen das Potenzial erneuerbarer Energien beeinflussen. Es unterstützt Kommunen dabei, fundierte Entscheidungen auf der Grundlage von Szenarien zu treffen, die ökologische, ökonomische und soziale Kriterien vereinen. So werden Kommunen bei der partizipativen Entwicklung von wissens- und kriterien-basierten Leitlinien für Landnutzungsentscheidungen in Bezug auf erneuerbare Energien unterstützt (z.B. VG Kandel).

Die KIT-Academy for Responsible Research, Teaching and Innovation (ARRTI) beschäftigt sich mit der Verantwortung für Gesellschaft und Umwelt in Forschung, Lehre und Innovation. ARRTI fördert die Erforschung der Gründe, Möglichkeiten, Spielräume und Grenzen der persönlichen und institutionellen Verantwortung, zum Beispiel in Form eines Ethik-Kodexes für Reallabore. Praktisches Wissen wird durch Ethik-Workshops, Co-Teaching, Beratungscafés und Veranstaltungen zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit verbreitet [37].

[37]. M. Dusseldorp, E. Does, R. Hillerbrand, O. Parodi, *How to develop a Code of Ethics for real-world labs*, GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society, Vol 33 Nr. 4 (2024), p. 397-406 (10), DOI.org/10.14512/gaia.33.4.11

Die Sylvanus-Forschungsgruppe konzentriert sich im Rahmen des ESD-Programms auf die Entwicklung von Methoden zur Minimierung von Abwägungen zwischen verschiedenen Ökosystemleistungen und zwischen Strategien zur Klimaanpassung und -minderung. In Zusammenarbeit mit der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg wurde

ein Baumartenauswahlportal entwickelt, das 41 Kriterien für städtische Baumarten und Rückmeldungen von Interessengruppen über einen MCDA-Prozess enthält. Nach heutigem Kenntnisstand ist dies das erste umfassende Baumartenauswahlportal speziell für die städtische Baumpflanzung weltweit. Das Portal ist derzeit auf Deutsch verfügbar und wird in Zukunft auch ins Englische übersetzt werden. Das Portal kann hier besucht werden: <https://www.citytreesuit.de/>. Die Methodik ist hier detailliert beschrieben: <https://www.citytreesuit.de/citytreesuit/methodik>.

Topic 2

Um die Zusammenarbeit mit der Industrie und anderen Forschungseinrichtungen, die auf dem Gebiet der Direct Air Capture (DAC) arbeiten, zu stärken, veranstaltete das Projekt DACStorE einen Informationstag am KIT in Karlsruhe. Teilnehmende aus deutschen DAC-Start-ups, Unternehmen mit Interesse an der Anwendung der Technologie und Forschungseinrichtungen, die auf dem Gebiet tätig sind, informierten sich über den aktuellen Stand der Technologie und die laufende Forschung im Projekt. Ergänzt wurde der Tag durch eine Postersession mit Promovierenden des Projekts, eine Führung durch die Labore am KIT und eine Podiumsdiskussion mit Expertinnen und Experten aus Industrie und Wissenschaft.

Die VDI-Fachempfehlung 4603 Blatt 3 „IT-Sicherheit und Informationssicherheit für Betriebsführungssysteme in der Energiewirtschaft“ steht kurz vor der Fertigstellung. An der Erstellung der Empfehlung waren Mitglieder des Helmholtz-ESD-Programms maßgeblich beteiligt.

Das KIT ist Teil des *European Digital Innovation Hub applied Artificial Intelligence and Cybersecurity* (EDIH-AICS). Diese Innovationshubs sind zentrale Anlaufstellen, die Unternehmen und Organisationen des öffentlichen Sektors dabei unterstützen, auf digitale Herausforderungen zu reagieren und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Das Ziel des Innovationshubs „Künstliche Intelligenz und Cybersicherheit“ ist es, die Vision einer sicheren und nachhaltigen europäischen Technologie für künstliche Intelligenz in den Bereichen Produktion, Mobilität, Energie, Handel und Dienstleistungen sowie öffentliche Verwaltung voranzutreiben, um deren Wettbewerbsfähigkeit zu stärken und der Gesellschaft Vorteile zu bringen.

Im Rahmen eines von der Stadt Mannheim kofinanzierten Projekts wird eine am KIT (Institut für Mikroverfahrenstechnik – IMVT und Institut für Automation und Angewandte Informatik – IAI) aufgebaute Power-to-Methanol-Containeranlage auf der Mannheimer Kläranlage vom Eigenbetrieb Stadtentwässerung Mannheim durch das KIT und das Start-up ICODOS unter realen Bedingungen betrieben. Dabei wird insbesondere der dynamische Betrieb erforscht.

Das Programm kommuniziert Forschungsergebnisse an ein breites Publikum, z.B. in öffentlichen Interviews (<https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000170882>).

Drittmittleinwerbung

Topic 1

Start des neuen EU-Projekts „European Produced Sustainable Sodium-ion Batteries for Stationary Applications (EPISODE)“ im Dezember 2024: Das KIT ist verantwortlich für das Arbeitspaket zur Bewertung der Nachhaltigkeit. Das Projekt hat eine Laufzeit von vier Jahren und umfasst zwölf Partner aus Industrie und Wissenschaft.

Start von „CIRCUS: Connecting Initiatives for Rural Communities, Upscaling their Sustainable Energy“ (Juni 2024): Dieses Projekt zielt darauf ab, eine transnationale digitale Toolbox zu entwickeln, um das Potenzial ländlicher Gebiete für die lokale Energieerzeugung

nutzbar zu machen und Energiegemeinschaften bei der Installation und Nutzung von Infrastrukturen für erneuerbare Energien zu unterstützen.

Start von „Prototypes of Change Addressing the Housing-Energy Nexus (PREFIGURE)“ (April 2024): Das Horizon Europe Projekt PREFIGURE erforscht den Nexus von Wohnen und Energieanfälligkeit und skaliert innovative Initiativen für einen gerechten Übergang. Das Konsortium umfasst sieben Partner aus der Wissenschaft, der Industrie und der deutschen Regierung unter der Leitung des KIT. Das Projekt läuft bis 2027.

Start von „NetZeroCities“ (September 2024): Dieses Projekt des KIT konzentriert sich auf die „Klimafinanzierung für die energetische Modernisierung von Wohngebäuden“; es entwickelt eine Roadmap der auf EU- und lokaler Ebene verfügbaren Finanzierungsprogramme in drei Städten (Madrid, Frankfurt am Main und Istanbul). Das Projekt wird bis August 2025 laufen.

ICN-Projekt „Stärkung und Nachhaltigkeit von Innovationsgemeinschaften auf der Grundlage des Klimabürgerrats der Region Freiburg“ (2024-2025): Basierend auf den Empfehlungen des Freiburger Klimabürgerrates initiiert und unterstützt dieses Sondierungsprojekt Innovationsgemeinschaften. Das von AllWeDo e.V. in Freiburg durchgeführte und vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) wissenschaftlich begleitete Projekt fördert lokales Engagement, Vernetzung und Partizipation, um die Energiewende voranzutreiben.

Start des Projekts „KommMa“: Ziel des Mitte 2024 gestarteten Projekts ist der Aufbau einer Datenbank „Kommunaler Klimaschutz“, die Kommunen bei der Auswahl gezielter Klimaschutzmaßnahmen unterstützt. Basierend auf den Erkenntnissen aus dem Projekt „Kommunale Klimaschutzprüfstelle“ ist das ITAS an der Gestaltung der Schnittstelle zwischen Energie, Gesellschaft, Wirtschaft, Klima und Zeit beteiligt und konzentriert sich dabei auf den Energiesektor. Dem Konsortium gehören vier Institute des KIT, der Verband Kommunaler Unternehmen (Landesgruppe Baden-Württemberg) und interessierte Städte an.

„NEEDS Repowered – Navigieren in turbulenten Gewässern: RePowering Cities in Times of Crisis“: Dieses europäische Kooperationsprojekt, das Teil des „Driving Urban Transitions“-Programms ist und vom Austrian Institute of Technology (AIT) koordiniert wird, zielt darauf ab, eine Praxisgemeinschaft zu schaffen, die sich mit den Hindernissen und Möglichkeiten für Energieeffizienz und erneuerbare Energien auf lokaler Ebene befasst. Es gibt politische Empfehlungen zur ganzheitlichen Bewältigung von Energiekrisen, Energiearmut und Energiegerechtigkeit.

Start des EU-Projekts „RISEnergy: Research Infrastructure Services for Renewable Energy“ (März 2024): Das ITAS leitet die Aufgabe 3.4 „Entscheidungsfindung für Nachhaltigkeit und soziotechnische Aspekte“ im Arbeitspaket 3. Es werden multikriterielle Nachhaltigkeitsbewertungen von Energietechnologien durchgeführt und eine interne Online-Entscheidungsunterstützungsplattform auf der Basis der HELDA-Software (Helmholtz MCDA Tool) entwickelt und implementiert.

BMBF-Projekt „MoWIKO“ (2024): Das ITAS-Projekt „Moralisierungen in der Wissenschaftskommunikation – Ursachen, Formen und Wirkungen“ in Zusammenarbeit mit der Universität Heidelberg und dem Studium Generale. Forum Wissenschaft und Gesellschaft (FORUM) am KIT beschäftigt sich mit Moralisierungspraktiken in der Wissenschaftskommunikation unter besonderer Berücksichtigung der Energiesicherheit. Weitere Informationen finden sich hier: <https://www.mowiko.de/index.php>.

Abschluss des BMBF-Projekts „KIARA“ (2024): Dieses Projekt, eine Kooperation mit der TU Darmstadt, beschäftigte sich mit ethischen Fragen rund um die Chancen und Risiken von KI-gestützter Robotik in radiologischen Notfällen. Das ITAS arbeitete eng mit Rechtsexperten der TU Darmstadt zusammen.

BMBF-Innovationscluster „URBORETUM“ (2024-2029): Dieses Projekt zielt darauf ab, die Bewirtschaftung von städtischen und stadtnahen Wäldern zu verbessern, um den Herausforderungen des Klimawandels und der Urbanisierung zu begegnen. Es verbindet praktische Forschung mit dem Ziel, die Gesundheit der städtischen Wälder für eine grünere Zukunft zu verbessern. Weitere Informationen finden sich hier: <https://www.urboretum.de/>.

Innovationscampus Nachhaltigkeit (ICN): Das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg fördert das Projekt „ZUKAMAS: Zukunftsorientiertes Klimaschutzmanagement für urbane Grünflächen“ (<https://mwk.baden-wuerttemberg.de/de/forschung/forschungslandschaft/innovationscampus-nachhaltigkeit>). Das ITAS führt transdisziplinäre Aktivitäten wie Stakeholder-Dialoge und MobiLab-Touren in Karlsruhe und Freiburg durch, um die sozio-ökologische Resilienz von Stadtwäldern zu erhöhen.

Helmholtz-Projekt „UT-UBGI: Urban Transformation Towards a Blue and Green Infrastructure“ (2024-2027): Gefördert durch das Helmholtz Sustainability Challenge Program konzentriert sich dieses Projekt auf die Berechnung der Transpirationsraten und des Wachstums von Baumarten unter verschiedenen Bewässerungsstufen. Diese Daten werden städtische Klimamodelle (z. B. ENVI-Met, Palm4U) optimieren und Kühlungseffekte während Hitzeperioden bewerten.

Topic 2

Das DFG-geförderte Projekt „IDaSDoCES (Identifying Deterministic and Stochastic Dynamics of Complex Energy Systems)“ wurde Ende 2024 bewilligt und wird 2025 starten.

Das BMWK-geförderte Projekt in Zusammenarbeit mit dem PIK „eKI4DS (Erklärbare Künstliche Intelligenz für Dynamische Stabilität)“ wurde bewilligt und wird 2025 starten.

Das Projekt UP-TO-ME (EU Horizon Europe 2022-2025) zielt auf die Entwicklung neuer Technologien zur Herstellung von erneuerbarem Methanol. Diese völlig autonome, selbstoptimierende und kompakte Technologie wird biogene CO₂-Quellen nutzen und sich an verschiedene Umweltbedingungen anpassen, wobei Wettervorhersagen zur Optimierung der Produktion genutzt werden. Ziel ist es, niedrige Investitions- und Betriebskosten zu erreichen, um erneuerbares Methanol zu einem wettbewerbsfähigen grünen Kraftstoff zu machen.

Forschungsinfrastrukturen

Topic 2

Im Hinblick auf den stark wachsenden Bedarf an Stromrichterlösungen für den Ausbau der Stromnetze wurde das High Power Grid Lab (HPGL) als Helmholtz-Forschungsinfrastruktur detailliert geplant und beantragt. Nach erfolgreichem Verfahren wurde das HPGL im Juni 2024 vom Helmholtz-Senat zur Umsetzung priorisiert und im November 2024 vom Ausschuss der Zuwendungsgeber genehmigt. Parallel zum Antrags- und Bewilligungsverfahren begannen bereits Voruntersuchungen und Vorplanungen. Zudem wurde ein erster HW-Prototyp der späteren HPGL Power Hardware-in-the-Loop (PHIL) Emulatoren angeschafft und mit der Entwicklung sowie dem Aufbau einer skalierten HW-Forschungsplattform für die Weiterentwicklung des HPGL begonnen. Das Investitionsvolumen beträgt insgesamt 33,2 Mio. Euro und die Planungen für den Aufbau laufen. Das HPGL soll ab 2030 in Betrieb gehen.

Das Energy Lab hat das Engagement mit der Industrie verstärkt, insbesondere in der Richtung der Validierung von Energietechnologien. Mit der Entwicklung der H₂-Rail Anlage wird das Energy Lab zusammen mit Siemens Mobility die zukünftigen wasserstoff-basierten Züge ent-

wickeln. Des Weiteren wurde das Power Hardware-in-the-Loop Labor des Energy Lab regelmäßig für die Entwicklung und experimentelle Validierung von kommerziellen Geräten genutzt, z.B. von Bosch oder Siemens Energy.

Die Power-to-Methanol-Anlage im Energy Lab wurde im Jahr 2024 erfolgreich in Betrieb genommen.

Das KIT ist Mitglied der European Energy Research Alliance (EERA) und dabei aktiv in 8 Joint Programms (JP). Das Energy Lab wird darin weiterhin als FIS entsprechend platziert. Zudem ist das Energy Lab in den Infrastrukturnetzwerken DERLab und RISEnergy und an zwei großen Horizon Europe-Projekten zum Thema Nachhaltigkeit und Energieeffizienz beteiligt. Zur Stärkung der industrienahen Forschung im Bereich von Gleichstromtechnologien ist das Energy Lab-Team seit 2024 aktives Mitglied in der Open Direct Current Alliance (ODCA).

Für die Forschung zur Cybersicherheit in Energiesystemen wird eine Forschungsinfrastruktur (Stichwort Cyber-Range) aufgebaut, um die Komplexität realer Angriffe in Form von Emulationskampagnen modellieren zu können. Insbesondere wurde hierfür eine eigene IT-Infrastruktur durch das Drittmittelprojekt SEKO und Helmholtz-Pakt-Mittel querfinanziert.

Darüber hinaus erforscht das Vernetzungsprojekt „E-Industry“ der Institute IAI, ITC, IKFT und ITEP (ESD und MTET) im Rahmen des Energy Lab neue Verfahren der Kreislaufwirtschaft, inwieweit Prozesswärme elektrisch und netzfreundlich bereitgestellt werden kann.

Das Vernetzungsprojekt „ModyS“ im Energy Lab mit den Instituten IAI, IAM-WK und ITES will untersuchen, wie Spritzgießanlagen netzfreundlich betrieben werden können.

A.2.1.3.5 *Senatsempfehlungen*

Der Senat macht sich den ihm vorliegenden Vorschlag zur Bewertung des Programmfortschritts im Jahr 2024 zu eigen und beschließt ihn als seine Bewertung zum Programmfortschritt 2024. Er bestätigt damit den vorliegenden Controllingbericht des Präsidenten für das Jahr 2024.

A.2.1.4 *Programmanteil Materials and Technologies for the Energy Transition (MTET)*

A.2.1.4.1 *Das Programm im Überblick*

Ziele und Einbettung in den Forschungsbereich

Ziel des Programms MTET ist es, wesentliche wissenschaftliche Erkenntnisse und zukunftsfähige Technologien für die Energiewende in Deutschland und für die nachhaltige Umgestaltung der Energieversorgung und Nutzung weltweit bereitzustellen.

Gestützt auf seine Kompetenzen in den Bereichen Physik, Chemie, Material- und Ingenieurwissenschaften, seinen multidisziplinären Ansatz und seine hochentwickelte und umfangreiche Forschungsinfrastruktur erforscht das Programm MTET Prozesse und Technologien in verschiedenen Maßstäben und Stufen der Systemintegration. Steigerung der Effizienz und Langlebigkeit bei gleichzeitiger Reduktion der Kosten sind bei der Gewinnung, Bereitstellung und effizienten Nutzung erneuerbarer Energien erforderlich.

Das Programm MTET erarbeitet deshalb Optionen, um innovative Materialien und skalierbare Technologien für die Energieversorgung der Zukunft zu entwickeln, die eine Umsetzung in Deutschland wie auch in Exportmärkten erlauben. Es werden marktfähige Technologien für die Speicherung und Wandlung von Energie unter Berücksichtigung der Schließung von Stoffkreisläufen und der Schonung von Ressourcen entwickelt.

In fünf Topics wird die thematische Ausrichtung des Programms vorangetrieben. Beteiligt sind die fünf Helmholtz-Zentren Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Forschungszentrum Jülich (FZJ), Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB), Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) sowie das KIT.

Programmstruktur

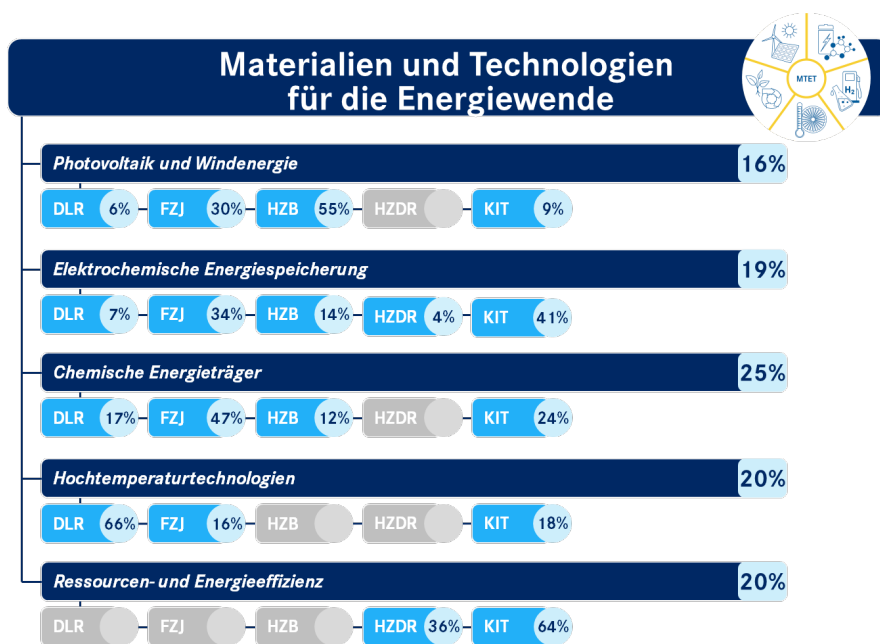


Abbildung 3: Programmstruktur MTET

Das Programm gliedert sich in:

Topic 1: Photovoltaik und Windenergie
(Sprecher: Prof. Dr. Rutger Schlatmann, HZB)

Photovoltaik und Windenergie stehen als die wichtigsten technologischen Säulen für die CO₂-freie Stromerzeugung im Fokus. Grundlegende Materialfragen werden beantwortet und sowohl Hochleistungskomponenten und -systeme als auch Produktionstechnologien entwickelt, die kostengünstig, nachhaltig und über lange Zeit stabil sind

Topic 2: Elektrochemische Energiespeicherung
(Sprecher: Prof. Dr. Helmut Ehrenberg, KIT)

Topic 2 widmet sich der elektrochemischen Energiespeicherung, mit der sich kompakte und hocheffiziente Speicher für dezentrale Versorgungssysteme und eine nachhaltige Elektromobilität bereitstellen lassen. Neue Batteriematerialien und -technologien einschließlich der Rohstoffverwertung werden erforscht und innovative Prozesse zur Zellherstellung und leistungsfähige Batteriesysteme für stationäre und mobile Anwendungen entwickelt.

Topic 3: Chemische Energieträger
(Sprecher: Prof. Dr. Olivier Guillon, FZJ)

Das Topic Chemische Energieträger befasst sich mit effizienten chemischen und elektrochemischen Umwandlungstechnologien zur Überbrückung der Lücke zwischen Energieangebot und -bedarf im Stromsektor sowie Anwendungen im Mobilitäts- und Industriesektor. Neue Verfahren wie Power-to-X-Technologien sollen erneuerbaren Strom umweltschonend in chemische Energieträger umwandeln. Das können etwa grüner Wasserstoff oder synthetische Kraftstoffe sein. Diese lassen sich gut speichern, transportieren und sind vielseitig im Energiesystem und Chemiesektor einsetzbar.

Topic 4: Hochtemperaturtechnologien
(Sprecher: Prof. Dr. Andreas Huber, DLR)

Um Strom und Prozesswärme künftig klimaschonend bereitstellen, speichern und nutzen zu können, forschen wir zu thermischen Hochtemperaturtechnologien: Dabei stehen fünf Schlüsseltechnologien und ihre Integration im Fokus: brennstoff- und lastflexible Gasturbinen, solarthermische Kraftwerke, Hochtemperaturwärmespeicher, geothermische Anwendungen sowie Hochtemperaturwärmepumpen.

Topic 5: Ressourcen- und Energieeffizienz
(Sprecher: Prof. Dr. Dieter Stapf, KIT)

Die Schaffung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft ist Voraussetzung für eine klimaneutrale Industrieproduktion unter Verzicht auf fossile Rohstoffe und für das Recycling knapper Nichteisenmetalle und seltener Erden. Das Topic beschäftigt sich daher mit der Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz. Ziel ist es, die großen Grundstoff- und Produktkreisläufe für Kohlenstoff, Metalle und Mineralien zu schließen. Hierfür werden neue Technologien und Konzepte für energieintensive Prozesse entwickelt, für die Nutzung von Primär- und Sekundärrohstoffen und für den hocheffizienten Transport elektrischer Energie.

A.2.1.4.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms

Topic 1

Unterstützung der Perowskit-Photovoltaik (PV) Gemeinschaft durch das Stage-Gate-Verfahren als effizienter Leitfaden für Benchmarking-Berichte zur Hochskalierung. (FZJ, HZB, KIT)

Zur Hochskalierung der Einschicht-Perowskit-Photovoltaik auf strukturierte und effiziente Weise wird ein Stage-Gate-Ansatz vorgeschlagen, der den Prozess in Stufen entsprechend dem Technology Readiness Level (TRL) unterteilt. Während die erste Stufe nur Materialforschung beinhaltet, befassen sich die späteren Stufen mit der Entwicklung von Geräten im Labormaßstab bis hin zu großflächigen Modulen. Eigenschaften wie die Größe der Geräte sowie Verarbeitungsmethoden werden schrittweise an kommerzialisierbare Techniken angepasst. Die Stufen sind durch Gates verbunden, die die Kriterien festlegen, die erfüllt sein müssen, damit ein Material oder ein Prozess in die nächste Stufe übergehen kann. Darüber hinaus hat eine Literaturrecherche zu den Stichworten „Perowskit“ und „Modul“ gezeigt, dass die meisten der berichteten Module eine Fläche von 10- 20 cm² haben, was der Stufe 3 oder TRL 5 des Schemas entspricht, und dass die Betriebsstabilität oft unvollständig angegeben wird. Diese

Ergebnisse deuten auf eine erhebliche Lücke in der Forschung zu großflächigen Modulen und erhöhten Belastungs- und Feldtests hin, die für den Übergang zu kommerziellen Anwendungen unerlässlich sind. Das Verfahren wird im Rahmen des Helmholtz-PV-Programms eingesetzt und ständig weiterentwickelt [1].

- [1] **K. Forberich, S. Albrecht, L. A. Castriotta, A. Distler, J. Hauch, T. Kirchartz, U. W. Paetzold, S. Schorr, C. Sprau, B. Stannowski, S. Ternes, E. Unger, T. Unold, C. J. Brabec** (2024): A Stage-Gate Framework for Upscaling of Single-Junction Perovskite Photovoltaics, *Advanced Energy Materials*, 202404036, DOI: 10.1002/aenm.202404036

Topic 2

Highlight 1: Von Pulver zu Pouch-Zellen – Natrium-Ionen-Batterien mit einer Lebensdauer von über 1.500 Zyklen (KIT)

Ein $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3/\text{C}$ Komposit (NVP/C) wurde als langfristig stabiles Material für Natrium-Ionen-Batterien entwickelt, das im Vergleich zu Hard Carbon eine Zyklenstabilität von 1.500 Zyklen mit einer Restkapazität von 87 % in Vollzellen aufweist. Die Degradation, die Zyklenstabilität, die Morphologie des zyklisch gealterten Materials und der Einfluss der Alteung auf die Wärmeentwicklung während des Zyklusses wurden eingehend untersucht. Der Syntheseprozess wurde so skaliert, dass die Verfügbarkeit der NVP/C-Kathodenmaterialien im kg-Maßstab die Realisierung eines Referenzsystems auf Material-, Elektroden- und Mehrschicht-Vollzellenebene (TRL 4) ermöglicht. In Kombination mit anderen Elektrodenmaterialien kann dieses intrinsisch stabile Material sowohl für Anode als auch für Kathode verwendet werden. Es zeigt klar definierte Plateaus und eignet sich daher auch als ideales Referenzelektrodenmaterial für die Forschung an Natrium-Ionen-Batterien [2, 3, 4].

- [2] **M. Häring, H. Geßwein, N. Bohn, H. Ehrenberg, J. R. Binder**, Influence of Process Parameters on the Electrochemical Properties of Hierarchically Structured $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3/\text{C}$ Composites (2024), *ChemElectroChem*, e202300401, DOI: 10.1002/celec.202300401
- [3] **P. Stüble, C. Müller, J. Klemens, P. Scharfer, W. Schabel, M. Häring, J. R. Binder, A. Hofmann, A. Smith**, Enabling Long-term Cycling Stability of $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3/\text{C}$ vs. Hard Carbon Full-cells 1002/batt.202300375 (2024), *Batteries & Supercaps*, e202300375, DOI: 10.1002/batt.202300375
- [4] **P. Stüble, C. Müller, N. Bohn, M. Müller, A. Hofmann, T. Akçay, J. Klemens, A. Koeppel, S. Kolli, D. Rajagopal, H. Geßwein, W. Schabel, P. Scharfer, M. Selzer, J. R. Binder, A. Smith**, From Powder to Pouch Cell: Setting up a Sodium-Ion Battery Reference System Based on $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3/\text{C}$ and Hard Carbon (2024) *Batteries & Supercaps*, e202400406, DOI: 10.1002/batt.202400406

Highlight 2: Effizientes einstufiges Herstellungsverfahren für LLZO/LCO-Verbundkathoden entwickelt: 80 % Energie- und Zeiteinsparung (FZJ, KIT)

In Zusammenarbeit zwischen dem FZJ und dem KIT wurde ein effizientes einstufiges Verfahren zur Herstellung von Granat-LLZO/LCO-Verbundkathoden für oxidkeramische Festkörperbatterien entwickelt. Es wurde gezeigt, dass LLZO direkt in Gegenwart von LCO aus preiswerten Metalloxid-Vorläufern in einem industriell etablierten Foliengießverfahren gebildet werden kann, wodurch die zeit- und energieaufwendige Synthese von vorgeformten LLZO-Pulvern entfällt. Im Vergleich zu den bekannten Methoden ist für die direkte Synthese der Vorläufer nur ein Wärmebehandlungsschritt erforderlich, wodurch bis zu 80 % Energie und Zeit eingespart werden. Das sequenzielle Gießen von Schlickern mit unterschiedlichen Zusammensetzungen ermöglicht die Herstellung leistungsoptimierter freistehender Kathodenschichten mit einer Gradientenmikrostruktur. Der skalierbare einstufige Herstellungsprozess verbessert die wirtschaftliche Attraktivität und reduziert den ökologischen Fußabdruck von LLZO-basierten Festkörperbatterien drastisch, wodurch sie näher an die industrielle Anwendung rücken [5].

- [5] **V. Kiyek, C. Schwab, W. S. Scheld, C. Roitzheim, A. Lindner, W. Menesklou, M. Finsterbusch, D. Fattakhova-Rohlfing, O. Guillon**, Direct Precursor Route for the Fabrication of LLZO Composite Cathodes for Solid-State Batteries (2024), *Advanced Science*, 11, 2404682, DOI: 10.1002/advs.202404682

Topic 3

Technologietransfer zur dezentralen Herstellung von grünem Methanol (KIT)

Grünes Methanol, hergestellt aus CO₂ und Wasserstoff, gilt als Hoffnungsträger für die Reduktion der CO₂-Emissionen in der Schifffahrt. Forschende aus Topic 3 haben nach mehrjähriger Entwicklungsarbeit eine Pilotanlage erfolgreich in Betrieb genommen, die ein neues integriertes Verfahren zur Herstellung von grünem Methanol aus CO₂-haltigen Gasen und Elektrolyse-Wasserstoff demonstriert und etwa 50 Liter Methanol pro Tag produzieren kann. Das Verfahren kombiniert in besonders effizienter Weise die CO₂-Gewinnung aus einer Punktquelle mit der Synthese des Methanols, indem die Methanol/Wasser-Produktmischung als Absorptionsmittel genutzt wird. Das aufgenommene CO₂ wird mit unter Druck stehendem H₂ wieder ausgetrieben, um das Einsatzgas für die Synthese zu erzeugen. Im Vergleich zu konventionellen Power-to-Methanol-Verfahren benötigt das integrierte Verfahren weniger Energie und hat geringere Investitionskosten. Durch ein automatisiertes, selbst lernendes und selbst optimierendes, neuartiges Betriebssystem soll ein autonomer Betrieb ermöglicht werden, der in Verbindung mit der hohen Effizienz und den geringen Investitionskosten zu wettbewerbsfähigen Herstellkosten für grünes Methanol führen soll. Bei Nutzung von Biogas oder Klärgas wird als Nebenprodukt Biomethan erhalten, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit weiter erhöht. Kann auch der bei der Elektrolyse erzeugte Sauerstoff verwertet werden, z.B. zur Abwasserreinigung in Kläranlagen, so ergeben sich weitere Kostenvorteile. Die Technologie wurde patentiert und an das neu ausgegründete Start-Up ICODOS GmbH lizenziert. Gemeinsam mit ICODOS soll die Anlage im ersten Quartal 2025 mit einem Biogas-Reinigungsmodul auf der Kläranlage in Mannheim im Betrieb mit realem Biogas erprobt werden.

Topic 4

100 kWh Hochtemperatur-Wärmespeicher mit Flüssigmetalltechnologie (KIT)

Die Arbeiten im Topic 4 zielen darauf ab, die Machbarkeit der thermischen Energiespeicherung mit Flüssigmetallen zum einen durch experimentelle Demonstrationen vom Labor- bis zum Pilotmaßstab und zum anderen die Materialentwicklung für hohe Temperaturen bis 750°C nachzuweisen. Im Karlsruher Flüssigmetalllabor wird ein Schüttbett aus keramischem Material als Wärmespeichermaterial und Flüssigmetallen als Wärmeträgerflüssigkeit verwendet. Diese innovative Konfiguration wurde im Labormaßstab erfolgreich demonstriert, und die Vorbereitungen für den 100-kWh-Prototyp DUOLIM befinden sich in der Endphase. Im Jahr 2024 wurden der Speicher und die komplexen Temperaturmessanlagen mit rund 200 Thermoelementen fertiggestellt und in die bestehende Kreislaufinfrastruktur integriert. Sowohl der Speichertank als auch die Thermoelementanlagen wurden vom Technik-Haus des KIT (TEC) hergestellt. Der Tank besteht aus X6CrNiMoTi17-12-2-Stahl mit einer Höhe von 2 m und einem Durchmesser von 0,6 m und wird etwa 1,5 Tonnen Zirkoniumsilikat (ZrSiO₄) enthalten. Die Thermoelemente werden in der Lage sein, das Temperaturprofil im Speicher sowohl in axialer Richtung als auch an bestimmten Punkten in radialer Richtung zu messen, um die Lade- und Entladeeffizienz unter verschiedenen Betriebsparametern zu bewerten. Parallel zu dieser vertieften Betrachtung der thermohydraulischen Eigenschaften von Festbettwärmespeichern auf Flüssigmetallbasis werden Materialtests hinsichtlich Speichermaterialien, Strukturmaterialien, aber auch Komponenten und Messtechnik in speziellen Prüfständen bei bis zu 750°C in Kontakt mit flüssigem Blei getestet [6].

- [6] **F. Müller-Trefzer, A. Heinzl, R. Hesse, A. Weisenburger, T. Wetzel, K. Niedermeier**, Screening of Filler Material for a Packed-Bed Thermocline Energy Storage Test Facility with Lead–Bismuth Eutectic as the Heat Transfer Fluid; *Energy Technology, Energy Technology* (2024), 12 (2), 2300781, DOI: 10.1002/ente.202300781

Topic 5

170 kA Test eines Demonstrators für eine supraleitende Industriestromschiene und SuperLink Projekt: Präqualifikationstest für ein 110 kV, 500 MVA supraleitendes Kabel gestartet (KIT)

Am 19. September 2024 hat ein Demonstratoraufbau bei der Firma TRIMET in Voerde einen 170 kA Stromtest bestanden. Die supraleitende Stromschiene konnte Ströme bis zu 189 kA bei 77 K übertragen. Der Demonstrator wurde im Rahmen des BMWK-Projekts DEMO200 mit Vision Electric Super-Conductors, TRIMET, Messer und KIT entwickelt. Die weltweit erste Langzeiteinrichtung einer 600 m langen, 200 kA starken HTS-Industriesammelschiene in einer Aluminiumschmelze befindet sich nun in der Entwicklung. Motivation: 90 % Reduzierung der Leitungsverluste. Im Oktober 2024 erfolgte die erfolgreiche Inbetriebnahme eines 150 m, 110 kV, 500 MVA Drehstrom-Supraleiterkabels im Umspannwerk Menzing mit den Stadtwerken München als Netzbetreiber. Dabei handelt es sich um einen weltweit erstmaligen so genannten Präqualifikationstest für eine geplante 15 km lange Supraleitungskabelverbindung, die den Süden Münchens mit mehr Strom versorgen soll. Motivation: Das supraleitende Kabel könnte einen Tunnel mit einem herkömmlichen 380 kV-Kabel und die damit verbundenen Bauarbeiten im dichtbesiedelten Stadtgebiet von München vermeiden.

A.2.1.4.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen

Das Photovoltaik-Team wird ermutigt, den Fortschritt des PV-Programms sorgfältig zu überwachen, um die potenziellen Risiken zu mindern, die mit bedeutenden wissenschaftlichen Herausforderungen und hartem internationalen Wettbewerb verbunden sind.

Das PV-Team bleibt weltweit unter den Top-Playern. Dies zeigt sich nicht nur daran, dass fünf PIs laut Clarivate zu den weltweit einflussreichsten Forschenden gehören, sondern auch daran, dass allein im Jahr 2024 zweimal Helmholtz-PV-PIs eingeladen wurden, einen Nature News and Views-Artikel beizusteuern (<https://doi.org/10.1038/s41560-023-01419-0> über Perowskit-Außenstabilität und <https://doi.org/10.1038/s41560-024-01618-3> über Silizium-Heterojunction-Zellen).

Durch die in den Jahren 2022 und 2023 gestarteten Projekte Zeitenwende und SolarTAP wurde das industrielle Netzwerk in der PV durch die Topicpartner HZB, FZJ und KIT weiter auf- und ausgebaut. Obwohl die Position der Helmholtz-PV-Forschung nach wie vor zur absoluten Weltspitze gehört, zeigt sich, dass auch andere Forschungslabore, darunter auch solche der chinesischen Großindustrie (z.B. Longi), immer bessere Ergebnisse erzielen und dass es einer nachhaltigen, gemeinsamen und koordinierten Anstrengung bedarf, um die Spitzenposition zu halten.

Auf dem Gebiet der elektrochemischen Speicherung (1) sollte die Recyclingstrategie vom Anfang der Wertschöpfungskette an integriert werden und (2) die Ansätze sollten sorgfältig ausgewählt werden, um sich auf die vielversprechendsten Technologien zu konzentrieren.

(1) „Design for Sustainability and Recycling“ orientierte Konzepte und Ideen werden entlang der gesamten Batteriewertschöpfungskette umgesetzt, von der Entwicklung kobaltfreier Elektrodenmaterialien und lösungsmittelfreier Produktionstechniken bis hin zur Re-Synthese von Batteriematerialien, wodurch der Materialkreislauf geschlossen wird. „Life Cycle Assessment“ wird als Instrument zur Bewertung der Umweltauswirkungen aktueller Lithium-Ionen-Batterien sowie von „Beyond Lithium“-Systemen eingesetzt

(2) Drei der fünf beteiligten Zentren arbeiten an einer Technologie. Eine Fokussierung auf die aussichtsreichsten Konzepte „Beyond Lithium“, „Metall-Schwefel“ und „Metall-Luft“ wurde auf Basis einer Bewertung der perspektivischen Leistungsindikatoren und einer Lebenszyklusanalyse umgesetzt. Die Arbeiten in der Helmholtz-Programmatik konzentrieren sich auf Ca-Schwefel Batterien, da diese von den untersuchten Metall-Schwefel Batterien die höchste Zellspannung liefern und die Weiterentwicklung dieser Zellchemie auch komplementär durch Drittmittelprojekte ergänzt wird.

Chemische Energieträger sind ein Eckpfeiler für eine kohlenstoffarme Wirtschaft. Die umfassende Aktivität ist von strategischer Bedeutung und dringend erforderlich, im Einklang mit der Wasserstoffstrategie der Bundesregierung, die durch das Programm aktiv unterstützt werden sollte. Die Kombination von In-situ- und In-operando-Instrumentierung von Nanomaterialien und Elektrochemie zum Design neuartiger Katalysatoren sollte als Alleinstellungsmerkmal (USP) etabliert und in vollem Umfang genutzt und substantiell gestärkt werden, einschließlich durch die Etablierung von Partnerschaften mit der Industrie.

Die Erzeugung synthetischer chemischer Energieträger und das Design neuartiger oder verbesserter Katalysatoren, Reaktoren und Verfahren für deren Herstellung ist ein Kernthema des KIT. Die Arbeiten reichen von der angewandten theoretischen Betrachtung der Katalyse als Grundlage für ein rationales Katalysatordesign über die robotergesteuerte Synthese nanoskaliger Katalysatormaterialien und deren Skalierung zur Verwendung für technische Katalysatoren, die Entwicklung neuer Reaktortechnologien und Syntheseverfahren bis hin zur in situ- und operando-Charakterisierung von Katalysatoren mit Synchrotronmethoden, u.a. in der CATACT Beamline der KIT-Strahlungsquelle KARA. Die Forschung zur Synthese technischer Katalysatoren wird in dem im Aufbau befindlichen Catalyst Development Center gebündelt. Einer der Schwerpunkte am KIT sind modulare Power-to-X-Technologien für die dezentrale Herstellung chemischer Energieträger mit Hilfe erneuerbarer Energien. Hier sind insbesondere die vom KIT koordinierten BMBF-Projekte Kopernikus-P2X und PtX-Wind / H2Mare zu nennen. Das KIT hat mit INERATEC und ICODOS bereits zwei Start-Up's hervorgebracht, die in Zusammenarbeit mit dem KIT dezentrale PtX-Anwendungen vorantreiben. Die Aktivitäten des KIT im Bereich der Elektrokatalyse, insbesondere jenseits der Wasserstofferzeugung, wurden deutlich verstärkt, u.a. durch eine neue TT-Professur, und betreffen sowohl die Erforschung neuer Elektrokatalysatoren als auch Prozessbedingungen, beispielsweise für die CO₂-Elektrolyse. Darüber hinaus werden im BMBF-Cluster4Future Electrification of Technical Organic Synthesis (ETOS) gemeinsam mit namhaften Industrieunternehmen (u.a. Merck, Evonik, BASF) Elektrokatalysatoren und Elektrolyseure für elektroorganische Synthesen entwickelt. Zudem ist das KIT aktiv in der nationalen Initiative NFDI4Cat zur Digitalisierung der Forschung in der Katalyse und verwandten Feldern.

Im Bereich der Ressourcen- und Energieeffizienz sollte ein stärker bedarfsorientierter statt kompetenzorientierter Ansatz gewählt werden, um sich auf die Herausforderungen mit dem Impact auf die Transformation des Energiesystems zu konzentrieren.

Durch die Verknüpfung von Energie und Ressourcen konzentriert sich das Programm auf Materialkreisläufe, die sowohl für die Kreislaufwirtschaft als auch für die Energiewende von großer Bedeutung sind. Es werden Schlüsseltechnologien ausgewählt, die skalierbar und flexibel in Bezug auf Abfallrohstoffe sind und hochwertige Produkte liefern. Nachdem diese Schlüsseltechnologien ihre Leistungsfähigkeit in Pilotversuchen unter Beweis gestellt haben, wird ihr potenzieller Beitrag zur Kreislaufwirtschaft und zum flexiblen Energiesystem kritisch bewertet.

A.2.1.4.4 Strategische Themen

Talentmanagement

Rufe

Prof. Dr. Ulrich Wilhelm Paetzold wurde am KIT im Mai 2024 auf die W3-Professur „Next Generation Photovoltaics“ berufen.

Prof. Dr. Dominic Bresser (KIT-HIU) wurde ab Juni 2024 zum W3-Professor für Elektrochemische Energiespeicherung an der Universität Ulm gemeinsam mit dem KIT berufen.

Nachwuchsgruppen

Dr. Chongchong Tang leitet eine neu errichtete DFG-Arbeitsgruppe „Gaskorrosion“ mit dem Schwerpunkt der Entwicklung und Charakterisierung neuartiger Hochtemperaturwerkstoffe für extreme Umgebungsbedingungen.

Preise/Stipendien

Dr. Gan Huang erhielt eine Helmholtz Young Investigator Group (HYIG) zum Thema „Harvesting the coldness of the universe for sustainable cooling under solar radiation (UNICOS)“.

Seit April 2024 leitet Dr. habil. Xufei Fang (IAM-MMI) als Mitglied des YIN (Young Investigator Network) eine KIT-Nachwuchsgruppe. Mit seinem ERC-Starting Grant „Mechanics-tailored Functional Ceramics via Dislocations“ (MECERDIS, 2024-2029) wollen Dr. Fang und sein Team ein revolutionäres mechanisches Design zusammen mit externen Feldern nutzen, um Versetzungen in Keramiken zu kontrollieren.

Dr. Alexander Kauffmann wurde mit dem Masing Preis von der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM) ausgezeichnet.

Vernetzung

Internationale Zusammenarbeit

Neue Kooperation zwischen Hokkaido Universität und KIT: Das Ziel der Kooperation ist die Entwicklung neuer Hochtemperaturwerkstoffe mit verbesserten oxidativen Eigenschaften.

Ein internationaler Workshop zu Carnot Batterien (IWCB) wurde von DLR, Universität Stuttgart und KIT organisiert. Mehr als 100 Vertreterinnen und Vertreter aus Industrie und des akademischen Bereichs haben an dem Workshop teilgenommen.

Auf Basis des laufenden Verbundprojekts VESTA wird die enge Kooperation zwischen der Forschungsinfrastruktur DeepStor und den US-amerikanischen National Labs INL und LBNL weiterentwickelt. Die Zusammenarbeit in VESTA wird gefördert durch BMWK und DOE.

Konferenzen

Im September 2024 veranstaltete das KIT das erste „International Symposium on Direct Lithium Extraction“ mit rund 120 internationalen Expertinnen und Experten aus Forschung und Industrie, die sich über den aktuellen Stand der Forschung und Anwendung im Bereich der Lithiumgewinnung austauschten.

Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

Ausgründungen

Das erfolgreiche Start-up Prio Optics GmbH (<https://www.prio-optics.com/>) produziert optische Filter mit einem neuartigen Tintenstrahldruckverfahren und wurde 2024 aus dem KIT ausgegründet.

Technologietransfer

Das SolarTAP-Projekt (FZJ, HZB, KIT) hat alle Meilensteine der Aufbauphase erreicht. Über 30 Industriepartner sind beteiligt und etwa 25 Transferprojekte angelaufen. In Zusammenarbeit mit dem VDI/VDE wurde eine gemeinsame Roadmap für die vier wichtigsten Anwendungsbereiche der aufstrebenden PV erstellt: PV in der Landwirtschaft, gebäudeintegrierte PV, fahrzeugintegrierte PV und PV für das Internet der Dinge.

Das KIT hat ein innovatives agiles Produktionssystem zur format-, material- und stückzahlflexiblen Herstellung von Batteriezellen entwickelt und aufgebaut. Die modulare Anlagentechnik ermöglicht eine schnelle Rekonfigurierbarkeit und stellt ein Alleinstellungsmerkmal in der Forschungslandschaft für die Entwicklung neuartiger Batteriezellkonzepte dar.

Die Forschungen am Carbon Cycle Lab des KIT zur Pyrolysetechnologie für Mischkunststoffabfälle mit Industriepartnern gehen nach der Anlage der Arcus Greencycling Technologies, Höchst, in die erste industrielle Großanlage zur katalytischen Pyrolyse von Mischkunststoffen ein. Die Grundsteinlegung fand bei LyondellBasell in Wesseling für Deutschlands größte chemische Recyclinganlage (50.000 t/a) statt.

Ein im Rahmen des BMWK-Projekts DEMO200 mit Vision Electric Super-Conductors, TRI-MET, Messer und KIT entwickelter Demonstrator bestand den 170 kA Stromtest. Die supraleitende Stromschiene konnte Ströme bis zu 189 kA bei 77 K übertragen. Die weltweit erste Langzeitinstallation einer 600 m langen, 200 kA starken HTS-Industriesammelschiene in einer Aluminiumschmelze wird nun entwickelt.

SuperLink: Die erfolgreiche Inbetriebnahme eines 150 m, 110 kV, 500 MVA Drehstrom-Supraleiterkabels im Umspannwerk Menzing (Stadtwerke München als Netzbetreiber) als Präqualifikationstest für eine geplante 15 km lange Supraleitungskabelverbindung fand statt, die München mit mehr Strom versorgen soll. Das supraleitende Kabel könnte einen Tunnel mit einem herkömmlichen 380 kV-Kabel vermeiden.

Wissenstransfer

Das KIT organisierte mehrere internationale Events, im Februar den 1. KIT-NREL-Workshop „Power-to-Molecules“ mit führenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern beider Organisationen, im Mai den 4. KIT-LUT-VTT-Workshop „Integration Challenges in P2X Synthesis and Electrolysis“ unter dem Dach der EERA, und im August die KIT-Sommerschule „Offshore-Power-to-X-Production“.

Das Subtopic Geoenergie arbeitet mit dem Programm ESD zusammen, um Strategien zur Einbindung von Bürgerinnen und Bürgern sowie Stakeholderinnen und Stakeholdern in die Forschung zur Energiewende zu entwickeln. In diesem Zusammenhang wurde das mobile Beteiligungslabor „MobiLab“ des KIT zur Wissenschaftskommunikation und zum Dialog über das kontroverse Thema der geothermischen Energienutzung eingesetzt.

Mit der vielbeachteten Veröffentlichung der Studienergebnisse zum Abbau von Flurpolymeren in der Abfallverbrennungs-Demonstrationsanlage des KIT mit internationalen Partnern (DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.143403) konnte erstmals gezeigt werden, dass Hausmüllverbrennungsanlagen nach europäischen Standards keine signifikanten PFAS-Emissionen aufweisen.

Drittmittleinwerbung

Europäische Projekte

Die Expertise des KIT in den Bereichen Laserstrukturierung und 3D-Batteriedesign spielt in zwei Projekten eine zentrale Rolle: BatWoMan untersucht die CO₂-neutrale Produktion von Batteriezellen unter Verwendung nachhaltiger, innovativer Verfahren und HighSpin entwickelt eine Silizium/Graphit-Anode und eine Lithium-Nickel-Manganoxid-Kathode für Anwendungen in der Automobil- und Luftfahrtindustrie bis TRL6.

Das vom KIT koordinierte EU-Projekt RISEnergy (Research Infrastructure Services for Renewable Energy) hat zum Ziel, die Entwicklung von Innovationen im Bereich der erneuerbaren Energietechnologien zu beschleunigen. Insbesondere soll der Zugang von Forscherinnen und Forschern sowie Unternehmerinnen und Unternehmern zu Forschungsinfrastrukturen über die Laufzeit von viereinhalb Jahren erleichtert werden.

Nationale Förderung (inkl. mit internationalen Partnern)

Zwei BMWK-Verbundvorhaben adressieren die industrielle Herstellung von PV: TIPSTAR - Tintenstrahldruck für Industrielle Perowskit-Silizium Tandemsolarzellen (KIT, Hanwha Q CELLS GmbH, Notion Systems, INM - Leibniz-Institut für Neue Materialien) und PVKIS - Dünnschicht-Tandem-Photovoltaik: Nachhaltige Perowskit/CIGS Solarmodule aus industriellen Prozessen (HZB, KIT, ZSW, AVANCIS, Uni Halle, Bergfeld Lasertechnik).

Im Juni 2024 wurde das vom BMBF geförderte Projekt „ENTISE“ (KIT, FZJ) zur Entwicklung einer leistungsfähigen, kostengünstigen und umweltfreundlichen Zellchemie für Natrium-Ionen-Batterie-Technologie einschließlich der Validierung in industriell skalierbaren Energiespeichersystemen eingeworben und gestartet.

Nach der erfolgreichen Begutachtung des Fortsetzungsantrags hat die DFG das Graduiertenkolleg 2561 „MatCom-ComMat: Materials Compounds from Composite Materials“ für die zweite Förderperiode verlängert. Das Graduiertenkolleg befasst sich mit der Entwicklung, Charakterisierung und Modellierung neuartiger Mehrphasen-Verbundsysteme, die bei Temperaturen bis zu 1.300°C eingesetzt werden können.

Im neuen BMWK-Verbundprojekt Thermlon mit Partnern wie dem Fraunhofer ISE arbeitet das KIT an einer Lithium-Extraktionstechnologie, die am Beispiel von Thermalwässern aus dem Oberrheingraben getestet wird.

Forschungsinfrastrukturen

Im BMBF-Kompetenzcluster „Analytik und Qualitätssicherung“ wurde ein Laser-Plasma-Spektroskopie-System (LIBS) eingerichtet, mit dem die Zusammensetzung nahezu jeder Materialprobe schnell und präzise bestimmt werden kann. Im Projekt Dual-LIBS-Q-Batt wird diese

Methode auf den Produktionsprozess großformatiger Batteriezellen und die Analyse von Hochenergiezellen angewandt.

Energy Lab: Das KIT ist Mitglied der European Energy Research Alliance (EERA) und dabei aktiv in 8 Joint Programms (JP). Das Energy Lab wird darin weiterhin als FIS entsprechend platziert. Zudem ist das Energy Lab in den Infrastrukturnetzwerken DERLab und RISEnergy und an vier großen Horizon Europe-Projekten zum Thema Nachhaltigkeit und Energieeffizienz beteiligt (Poseidon, Research Facility 2.0, Up-to-Me, WeForming) sowie an einem Horizon2020 Marie Curie Projekt (SmartGYSum).

Die experimentellen Daten aus den verschiedenen (verfahrens- und elektrotechnischen) Anlagen des Energy Lab werden im Betrieb erfasst. Darüber hinaus wird daran gearbeitet, digitale Zwillinge dieser Anlagen je nach Einsatzzweck in verschiedener Detaillierungsstufe zu erstellen, um diese dann wiederum für die verschiedenen Projekte nutzen zu können bzw. den Nutzern zur Verfügung zu stellen. Über allem steht die konsequente Umsetzung der Helmholtz Open-Science Policy, sofern es möglich ist. Die Prozessdatenerfassung, -auswertung und -simulation aus den verschiedenen Anlagen des Carbon Cycle Lab wird konsequent auf die Entwicklung von digitalen Zwillingen ausgerichtet.

Das Projekt GeoLaB befindet sich in der Explorationsphase. In diesem Rahmen wurden der Hauptbetriebsplan für die Erkundungsbohrungen bewilligt und geophysikalische Messungen zur Charakterisierung des Untergrunds durchgeführt. Im 1. Quartal 2025 wird die erste Erkundungsbohrung abgeteuft werden. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Kommunikation mit der lokalen Bevölkerung.

A.2.1.4.5 *Senatsempfehlungen*

Der Senat macht sich den ihm vorliegenden Vorschlag zur Bewertung des Programmfortschritts im Jahr 2024 zu eigen und beschließt ihn als seine Bewertung zum Programmfortschritt 2024. Er bestätigt damit den vorliegenden Controllingbericht des Präsidenten für das Jahr 2024.

A.2.1.5 *Programmanteil Fusion*

A.2.1.5.1 *Das Programm im Überblick*

Ziele und Einbettung in den Forschungsbereich

Das langfristige Ziel der internationalen Fusionsforschung ist die Erschließung einer neuen primären Energiequelle durch die Fusion leichter Wasserstoffisotope in magnetisch eingeschlossenen Plasmen. Hierbei spielt das Helmholtz-Programm Fusion eine zentrale Rolle. Durch seine bedeutenden Beiträge zum europäischen (durch EUROfusion und die europäische ITER-Agentur F4E koordinierten) und zum weltweiten Fusionsprogramm stärkt es die international anerkannte Position Deutschlands in der Fusionsphysik und der Fusionstechnologie und trägt so dazu bei, die Basis für ein Demonstrationskraftwerk (DEMO) zu legen. Das Programm ruht auf drei Säulen: dem Bau des Tokamaks ITER in Frankreich, dem Betrieb und

weiteren Ausbau des Stellarators Wendelstein 7-X (W7-X) in Greifswald („Stellarator Research“) und der Vorbereitung eines Demonstrationskraftwerks. Hierzu gehören drei komplementäre Aufgaben: die Demonstration eines brennenden Fusionsplasmas, die Validierung eines alternativen Konzepts, das einen inhärent stationären Energieeinschluss aufweist, sowie die Entwicklung von Technologien und Materialien für zukünftige Fusionskraftwerke. Die Programmenthemen „Stellarator Research“, „Tokamak Physics“, „Fusion Technologies and Materials“, „Plasma-Wall Interactions“ sowie die programmenthemenübergreifenden Aktivitäten „Theory Challenges“ und „The Route to a Fusion Power Plant“ strukturieren diese Aktivitäten. Die Arbeiten zu ITER schließen sowohl Beiträge zur Konstruktion als auch zur Vorbereitung seiner wissenschaftlichen Nutzung ein. Bei Wendelstein 7-X, der seinen Betrieb erfolgreich aufgenommen hat, liegt der Schwerpunkt seit 2019 auf dem weiteren Ausbau im Hinblick auf den vollen stationären Betrieb und der Umsetzung eines wissenschaftlichen Programms, das die notwendigen Grundlagen für den Hochleistungs-Dauerstrichbetrieb entwickeln soll. Parallel werden Lösungen für die technischen und wissenschaftlichen Herausforderungen an ein erstes Fusionskraftwerk, DEMO, erarbeitet.

Die Fusionsforschung der drei Zentren ist eng vernetzt und die Aufgaben gut koordiniert: Der Koordinierungsausschuss ist die „Entwicklungsgemeinschaft Kernfusion“, die auch als „Lenkungsausschuss“ des Helmholtz-Programms fungiert. Neben dem regelmäßigen Austausch von Informationen koordiniert die Entwicklungsgemeinschaft die Aufgabenverteilung entsprechend der in den Zentren vorhandenen Expertise und Infrastruktur.

Des Weiteren hat das Programm Fusion eine natürliche Schnittstelle zum Helmholtz-Programm „Energie System Design“. Hierbei liefert das Programm Fusion Modelle und Szenarien für potenzielle Fusionskraftwerke, welche in entsprechenden Energiezukunftsszenarien berücksichtigt werden können. Die techno-ökonomische Analyse von Szenarien mit Fusionskraft liefert dabei wertvolles Systemwissen über die Implementierung von Fusion in ein nachhaltiges Energiesystem.

Programmstruktur

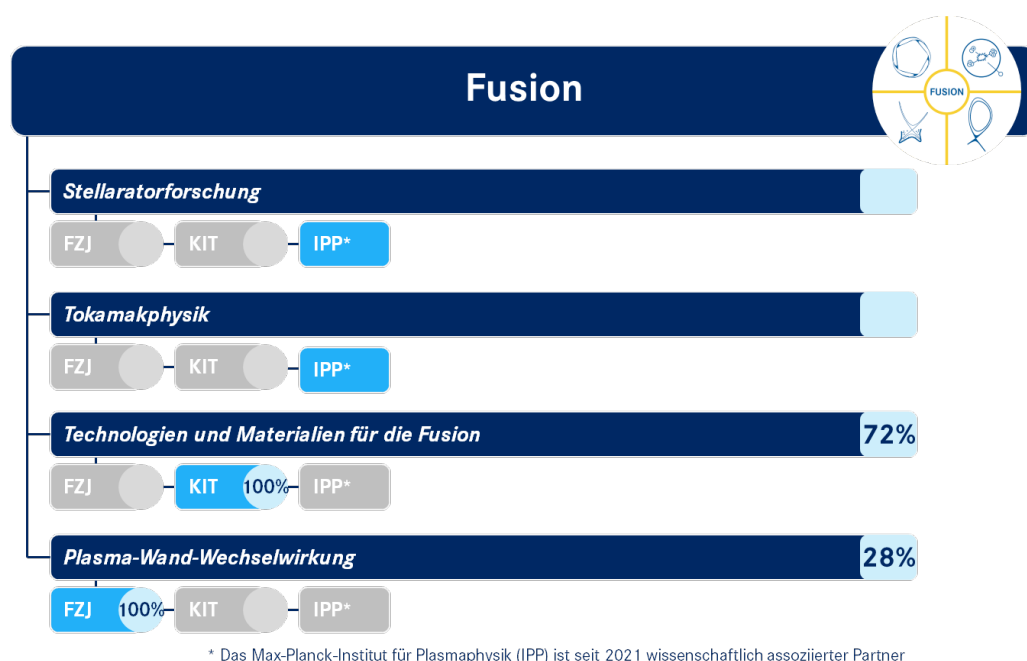


Abbildung 4: Programmstruktur Fusion

Das Programm gliedert sich in:

- Topic 1: Stellaratorforschung
(Sprecher: Prof. Dr. Thomas Klinger, IPP)
- Topic 2: Tokamak Physics (Sprecher: Prof. Dr. Rachael McDermott, IPP)
- Topic 3: Technologien und Materialien für die Fusion
(Sprecher: Dr. Klaus Hesch, KIT)
- Topic 4: Plasma-Wand-Wechselwirkung
(Sprecher: Prof. Dr. Christian Linsmeier, FZJ)

Das KIT ist nur in Topic 3 aktiv.

Technologien und Materialien für die Fusion

Das Topic umfasst sämtliche technologische Entwicklungen, die für die Realisierung großer Plasmaphysik-Experimente wie Wendelstein 7-X und Fusionsanlagen wie ITER bis hin zu einem Fusionskraftwerk, insbesondere dem europäischen Fusionsdemonstrationskraftwerk DEMO, notwendig sind. Dies schließt die Entwicklung, Charakterisierung und Qualifizierung der benötigten Materialien ein, die die schädigende Wirkung der Neutronenflüsse eines Fusionsplasmas hinreichend lange aushalten müssen, um einen wirtschaftlichen Kraftwerksbetrieb zu erlauben, ohne dabei langlebige Aktivierungsprodukte zu erzeugen.

Querschnittsthema „The route to a Fusion Power Plant“

In diesem Querschnittsthema wird die Koordination der Untersuchungen zu den Anforderungen in Physik und Technologie zum Bau eines Fusionskraftwerks durchgeführt. Neu gestartet wurde im Berichtsjahr das Projekt Reaktorstudien am IPP, dessen Kern die neue Gruppe Stellarator-Reaktorstudien am IPP Greifswald bildet. Weitere Beiträge kommen aus dem IPP Garching und bringen die Arbeiten auf dem Gebiet der Tokamak-Reaktoren ein. Arbeiten des FZJ und KIT fließen in diese Aktivität über die gemeinsamen Diskussionen im Querschnittsthema ein (Deutsche DEMO Working Group). Ein Koordinationstreffen dieser Gruppe, auf dem auch die Arbeiten des neuen Projekts besprochen werden sollen, ist für Mitte 2025 geplant. Den Kern der Arbeit bildet momentan ein BMBF-Pilotprojekt des Förderprogramms Fusion 2040. Um den Weg zu einem Fusionskraftwerk zu ebnen und zu beschleunigen, wird hier insbesondere auf Modellierung mit zwei komplementären Ansätzen gesetzt. Zum einen entwickelt die Gruppe einen digitalen Zwilling, um das Design eines Fusionskraftwerks besser zu verstehen, zum anderen einen sogenannten Flugsimulator, der Plasmaphysik und Kontroll-Algorithmen verbindet, um ein zukünftiges Fusionskraftwerk effektiv und sicher zu steuern. Letzterer war bereits für einen Tokamakreaktor entwickelt worden und wird nun in Zusammenarbeit zwischen den Institutsteilen in Garching und Greifswald für den Stellarator adaptiert.

A.2.1.5.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms

Highlight 1: Erste Ergebnisse im KIT-BOR60-Neutronenbestrahlungsprojekt

Das 2022 gestartete KIT-BOR60-Bestrahlungsprojekt stellt ein weltweit einzigartiges Vorhaben dar. Ziel ist die umfassende Charakterisierung aller für die Konstruktion eines Fusionskraftwerks relevanten mechanischen Eigenschaften des EUROFER97-3-Stahls, insbesondere Festigkeit, Kriechen, Ermüdung, Bruchmechanik, Kerbschlagzähigkeit, Schwellenverhalten und Härte. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf zwei extreme Materialzustände: einer mit maximaler Zähigkeit bzw. Duktilität und einer mit maximaler Festigkeit. Die Bestrahlung erfolgt bei 325°C und 550°C, um sowohl die untere als auch die maximale Blanket-Betriebstemperatur abzudecken. Die Proben werden auf zwei Neutronendosisniveaus bestrahlt: 20 dpa, entsprechend der Betriebsdauer eines „Starter-Blankets“, und 40 dpa, was dem Ende der zweiten Betriebsphase eines „Advanced Blankets“ entspricht.

Bei 20 dpa und 550°C tritt keine signifikante Entfestigung des Werkstoffs auf. Hingegen erleiden EUROFER97-Proben im hochfesten Zustand bei 325°C (20 dpa) einen nahezu vollständigen Zähigkeitsverlust, wobei die Kerbschlagenergie von über 9 Joule (unbestrahlt) auf 2 Joule absinkt. Zudem konnte erstmals das Bestrahlungskriechen von EUROFER97 in situ quantifiziert werden. Die Ergebnisse des Projekts werden entscheidende Erkenntnisse zur Strahlenresistenz von EUROFER97-3 liefern und somit einen wichtigen Beitrag zur Konstruktion und Lizenzierung zukünftiger Fusionsreaktoren leisten [1].

[1] V. Chakin, C. Bonnekoh, R. Ziegler, R. Gaisin, M. Duerrschnabel, M. Klimenkov, M. Rieth, B. Gorr, M. Toloczko, *Creep behavior of EUROFER97-3 steel after neutron irradiation at 325°C and 550°C to 18-24 dpa, presented at the SOFT 2024 in Dublin, submitted to Fusion Engineering and Design*

Highlight 2: Industrielle Produktion und Charakterisierung von Titanberyllid für das DEMO-Brutblanket

Titanberyllid wird als Neutronenmultiplikator für das Helium-Cooled Pebble Bed (HCPB) Blanket in DEMO untersucht. Erstmals wurden vollformatige Beryllid-Blöcke mehr als 25 Mal mittels Vakuum-Heißpressen unter industriellen Bedingungen hergestellt, was die Skalierbarkeit für zukünftige Anwendungen sichert. Eine umfassende Studie wurde durchgeführt, die die Produktion im industriellen Maßstab, vollständige Materialcharakterisierung und Recyclingstrategien abdeckt. Die Struktur, mechanischen Eigenschaften und Korrosionsbeständigkeit wurden in Abhängigkeit von der Zusammensetzung systematisch analysiert und so die optimale Beryllid-Zusammensetzung ermittelt [2]. Das Material wurde unter Bedingungen getestet, die den realen Betriebsbedingungen eines Blankets entsprechen, einschließlich schneller Heiz- und Kühlzyklen zwischen 420°C und 1.000°C. Titanberyllid überstand erfolgreich 2.000 Thermozyklen, wobei es seine Integrität und Dichte beibehielt, mit lediglich geringfügigen Absplitterungen an den äußeren Kanten.

Außerdem wurden zwei Recycling-Methoden mit Beryllid-Resten erfolgreich demonstriert. Diese Methode kommt auch für bestrahlte Beryllide in Betracht, um die Wiederverwendung des Materials zu ermöglichen. Dieses Ergebnis bestätigt Titanberyllid als vielversprechenden Neutronenmultiplikator, mit einer skalierbaren Produktionsroute, optimierter Materialauswahl, robusten Eigenschaften und Recycling-Fähigkeit für zukünftige DEMO-Brutblanket-Anwendungen.

[2] R. Gaisin, Y. Frants, M. Kolmakov, B. Zorin, M. Kylyshkanov, M. Podoinikov, S. Udartsev, A. Vechkutov, V. Chakin, P. Vladimirov, *Beryllium intermetallics: Industrial experience on development and manufacture, Nuclear Materials and Energy 35 (2023) 101444, <https://doi.org/10.1016/j.nme.2023.101444>*.

A.2.1.5.3 *Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen*

Durch eine enge Zusammenarbeit mit ITER sollten wissenschaftliche und technische Schlüsselfragen angegangen werden, um den Erfolg des ITER-Projekts sicherzustellen.

Führende Experten aus dem Helmholtz-Fusionsprogramm (Prof. Dr. Hans-Stephan Bosch, Leiter des Betriebs von Wendelstein 7-X, Dr. Ion Cristescu, Experte für den Fusionsbrennstoffkreislauf aus dem Tritium Labor Karlsruhe am KIT, und Dr. Wolfgang Treutterer, Experte für Plasmaregelung am IPP) sind bzw. waren Mitglieder des ITER Operations Network, einem Beratungsgremium zur Vorbereitung des ITER-Betriebs. Prof. Dr. Sebastijan Brezinsek ist Mitglied des ITER STAC, der den ITER-Rat in wissenschaftlichen und technologischen Fragen berät. Prof. Dr. Wolfgang Biel ist Chair des F4E Technical Advisory Panel, das den Verwaltungsrat und den Direktor in technischen, wissenschaftlichen und technologischen Fragen zu ITER unterstützt. Fünf Wissenschaftler aus dem IPP beteiligten sich 2024 am ITER Scientists Fellow Network, einem Netzwerk aus führenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in den Bereichen Simulation und Theorie.

Innerhalb des Rahmenvertrags zwischen dem KIT und ITER-IO über die Wasserstoff-Isotopen-Analysetechnologie, der 2022 geschlossen wurde, werden die Arbeiten an den drei im Dezember 2023 unterzeichneten Task Orders gemäß den jeweiligen technischen Spezifikationen detailliert in Qualitätsplänen durchgeführt. Im Dezember 2024 wurde eine weitere Task Order zum Isotopenseparationssystem (ISS) zu den Themen „special components and installation“ unterzeichnet.

Darüber hinaus qualifiziert das KIT innerhalb eines Rahmenvertrags mit F4E die Diamant-Mikrowellenfenster für die ITER-Elektronenzyklotron-Resonanzheizung. Im November wurde ein weiterer Rahmenvertrag zwischen KIT und F4E über „Electron Cyclotron Engineering Support Services“ abgeschlossen; der erste Specific Contract über „Engineering Support for the EC Gyrotrons“ folgte im Dezember.

A.2.1.5.4 *Strategische Themen*

Talentmanagement

Gefördert durch EUROfusion nahmen im Berichtsjahr 2024 sechs 6 Nachwuchsstipendiatinnen und -stipendiaten (IPP: 2 ERG, 1 EEG; KIT: 1 ERG, 2 EEGs) ihre Tätigkeit an einem der Zentren auf: Mit den „Engineering Grants (EEGs)“ und „Bernard Bigot Researcher Grants (ERGs)“ sollen exzellente promovierte junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler einen Anschlag für eine Karriere in der Fusionsforschung erhalten.

Am KIT wurde die „16th Karlsruhe International School on Fusion Technologies“, ein sieben-tägiger Intensivkurs, der einen Überblick über sämtliche Gebiete der Fusionstechnologie vermittelt, mit 40 Teilnehmenden aus sieben Ländern durchgeführt. Die Veranstaltung richtet sich vor allem an Promovierende, regelmäßig senden aber Institutionen wie F4E oder UKAEA größere Kontingente an Mitarbeitenden, um diese auf Aufgaben in der Fusion vorzubereiten.

Vernetzung

Die Zentren IPP, FZJ und KIT sind integraler Bestandteil des von der Europäischen Kommission geförderten EUROfusion-Konsortiums, in dem seit 2014 alle europäischen Fusionslabore sowie zahlreiche Universitäten aus 28 europäischen Ländern zusammengeschlossen sind. Das IPP fungiert als Koordinator des Konsortiums und auch des 2021 für FP9 neu abgeschlossenen Grant Agreements mit der Europäischen Kommission, mit der Besonderheit, dass Deutschland mit IPP, FZJ und KIT drei Mitglieder aus einem Land hat. Die Zentren beteiligen sich an allen Missionen der EUROfusion-Roadmap und übernehmen in vielen Projekten eine führende Rolle. Dr. Marco Wischmeier ist seit 2024 neuer Leiter des Bereichs „Plasma Science for ITER, DEMO, and Stellarators“. Auf internationaler Ebene tragen die deutschen Zentren zur Fertigstellung und Inbetriebnahme von ITER, dem weltweit größten Energieforschungsprojekt, bei, sowohl direkt über Verträge mit ITER als auch über die europäische Agentur Fusion for Energy (F4E), einschließlich Kooperationen mit der Industrie.

Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

Die Zentren haben weitere Rahmenkooperationsverträge und Absichtserklärungen (MoU) mit mehreren Fusions-Start-ups sowie anderen, in der Kommerzialisierung der Fusion tätigen Einrichtungen unterschrieben: KIT mit Gauss Fusion und den Canadian Nuclear Laboratories, das IPP mit Stellarex sowie Thea Energy. Vor allem aber haben sich die drei Zentren intensiv an den Ausschreibungen des BMBF zu „Basistechnologien“ und „Infrastrukturen“ in der Fusion beteiligt. Es wurden insgesamt bis Ende 2024 11 Projekte genehmigt, an denen eines oder mehrere Zentren beteiligt sind (FZJ an 5, KIT an 4, IPP an 2). Hierbei sind insgesamt 20 Firmen beteiligt (IPP kooperiert mit 3, KIT mit 4, FZJ mit 15) darunter die Fusions-Startups Gauss Fusion und Proxima Fusion. Aufbauend auf zusätzlichen Ressourcen wird dies die Grundlage für gemeinsame Entwicklungen im Bereich der Fusionstechnologie bilden, die das Potenzial haben, die Fusion schneller zur kommerziellen Nutzung zu bringen.

Des Weiteren ist am KIT das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt „Fusion Industrial Liaison Office“ angesiedelt, das damit die operative Basis für den deutschen ITER Industrial Liaison Officer bildet sowie für das Verbindungsbüro in Aix-en-Provence und das „Forum Fusion Deutschland“, das regelmäßige Austauschtreffen zwischen der deutschen Industrie und den deutschen Fusionszentren organisiert. Im Berichtszeitraum fand ein solches Treffen unter breiter Beteiligung von Industrie und Fusions-Start-ups, Forschungseinrichtungen und Politik in Berlin statt.

Drittmittelinwerbung

Im Rahmen von EUROfusion haben die drei Zentren im Jahr 2024 eine Gesamtfördersumme von 43,5 Mio Euro eingeworben (IPP: 23,9 Mio. Euro, KIT: 14,6 Mio. Euro, FZJ: 5 Mio. Euro; ohne Unteraufträge: IPP: 23,5 Mio. Euro, KIT: 9,9 Mio. Euro, FZJ: 5 Mio. Euro). Die drei Zentren sind an allen 26 Work Packages (IPP: 21, KIT: 20, FZJ: 12) des EUROfusion-Arbeitsprogramms beteiligt und stellen dabei 7 der 20 Projektleitenden (IPP: 2, KIT: 2, FZJ: 3).

Im Rahmen der oben genannten BMBF-Ausschreibung „Basistechnologien für die Kernfusion – auf dem Weg zum Fusionskraftwerk“ wurden insgesamt 30,98 Mio. Euro eingeworben (KIT: 13,09 Mio. Euro, FZJ: 12,97 Mio. Euro, IPP: 4,91 Mio. Euro).

Innerhalb des Rahmenvertrags zwischen KIT und Fusion for Energy (F4E) zur Qualitätssicherung der Diamantfenster für die ITER-Mikrowellenplasmaheizung wurden die Arbeiten unter dem dritten „Specific Contract“ (bis max. 680.000 Euro) zur Charakterisierung und Qualifizierung der von Diamond Materials GmbH & Co. KG hergestellten Diamantscheiben fortgesetzt.

Bis Ende 2024 konnten die Messungen für 38 der insgesamt 62 Diamantscheiben erfolgreich durchgeführt und gemäß den Anforderungen von F4E und ITER-IO dokumentiert werden.

Innerhalb des Rahmenvertrags zwischen KIT und ITER-IO zur Wasserstoff-Isotopen-Analyse-Technologie wurden Arbeiten an den drei im Dezember 2023 unterzeichneten Task Orders (Gesamtvolumen 220.000 Euro) gemäß den jeweiligen technischen Spezifikationen (detailliert in Qualitätsplänen) durchgeführt. Im Dezember 2024 wurde eine weitere Task Order zu „ISS-X special components and installation“ unterzeichnet.

Im Jahr 2024 wurde ein weiterer Rahmenvertrag zwischen KIT und Fusion for Energy (F4E) über „Electron Cyclotron Engineering Support Services“ vorbereitet und im November 2024 unterzeichnet. Bei diesen Unterstützungsleistungen liegen die Expertise und das Interesse des KIT hauptsächlich im Bereich Gyrotrons und Upper Launcher für die Mikrowellen-Plasmaheizung. Der Rahmenvertrag hat eine Laufzeit von 80 Monaten, mit einem maximalen Budget für alle „Specific Contracts“ in Höhe von ca. 4,9 Mio. Euro. Mitte Dezember 2024 wurde der erste „Specific Contract“ über „Engineering Support for the EC Gyrotrons“ mit einer erwarteten Laufzeit von sieben Jahren unterzeichnet (Gesamtbudget ca. 1,9 Mio. Euro).

Forschungsinfrastrukturen

Im Berichtsjahr wurde seitens des KIT ein detaillierter Zuwendungsantrag für die Beteiligung an dem internationalen IFMIF-DONES-Projekt für die Errichtung einer beschleunigergetriebenen Neutronenquelle mit fusionsrelevantem Energiespektrum erarbeitet. Damit sollen Strukturmateriale für Fusionsreaktoren für die nachfolgende Charakterisierung exponiert werden, um so ihre Qualifizierung und Lizenzierung zu erreichen. Die erste Stufe des Projekts, die Errichtung der Gebäudeinfrastruktur, ist bereits im Gang; für die vollständige Realisierung werden noch Partnerbeiträge benötigt. Die deutsche Beteiligung soll insbesondere die Komponenten Hochflusstestmodul und „Start-Up Measuring Module“ (STUMM) abdecken sowie die am KIT vorhandene Infrastruktur für die Nachbestrahlungsuntersuchungen, das Fusionsmateriallabor, bei Messtechnik und Durchsatzkapazität auf den erforderlichen Stand bringen. Auf der Basis der technischen Inhalte des Antrags führt das BMBF Gespräche mit der spanischen Regierung.

A.2.1.5.5 Senatsempfehlungen

Der Senat macht sich den ihm vorliegenden Vorschlag zur Bewertung des Programmfortschritts im Jahr 2024 zu eigen und beschließt ihn als seine Bewertung zum Programmfortschritt 2024. Er bestätigt damit den vorliegenden Controllingbericht des Präsidenten für das Jahr 2024.

A.2.1.6 Programmanteil Nuclear Waste Management, Safety and Radiation Research (NUSAFE)

A.2.1.6.1 Das Programm im Überblick

Ziele und Einbettung in den Forschungsbereich

Die Entsorgung radioaktiver Abfälle, die Sicherheit der Kernreaktoren und die Strahlenforschung sind wesentliche Aspekte der gesellschaftlichen Vorsorgeforschung, die die Helmholtz-Gemeinschaft maßgeblich durchführt und ein Beitrag zum deutschen Gemeinschaftsprojekt „Energiewende“ ist. Die Stromerzeugung aus Kernenergie wurde im April 2023 vom Netz genommen. Der Rückbau der kerntechnischen Anlagen sowie die sichere Entsorgung der radioaktiven Abfälle einschließlich der tiefengeologischen Endlagerung werden in Deutschland bis mindestens zum Ende des Jahrhunderts andauern. Gleichzeitig hat die Stromerzeugung aus Kernenergie weltweit einschließlich einiger Nachbarstaaten Deutschlands eine langfristige Perspektive.

Bei der Suche nach einem Standort für ein tiefengeologisches Endlager für hoch-radioaktive Abfälle wurde 2020 ein erster Meilenstein erreicht (Zwischenbericht Teilgebiete, BGE). In einem wissenschaftsbasierten und transparenten Verfahren soll durch den Vergleich mehrerer Standorte in unterschiedlichen Wirtsgesteinsformationen der Endlagerstandort mit der bestmöglichen Sicherheit für einen Zeitraum von einer Million Jahren ausgewählt werden. Die am NUSAFE beteiligten Helmholtz-Zentren fokussieren auf anwendungsorientierte Grundlagenforschung zur Endlagersicherheit. Hierbei wurden der Dialog mit den relevanten Organisationen (BGE, BGZ, BASE) fortgesetzt und Beiträge in die gesellschaftliche Diskussion mit der Öffentlichkeit eingebracht, z.B. im Rahmen der aktuellen Fachkonferenz Teilgebiete.

Die Sicherheitsstandards beim Betrieb deutscher Kernkraftwerke befinden sich seit Jahrzehnten auf einem sehr hohen Niveau, nicht zuletzt durch die Beiträge der Helmholtz-Gemeinschaft. Neben der Bewertung der Sicherheit deutscher Anlagen wurde auch in der Vergangenheit die Sicherheit ausländischer Anlagen untersucht. Nicht erst nach dem Reaktorunfall in Fukushima ist die Notwendigkeit der Verfügbarkeit kerntechnischer Kompetenz für die Bewertung derartiger Ereignisse deutlich geworden.

Vor diesem Hintergrund bearbeitet das Programm NUSAFE ein breites Spektrum an Themen zu diesen Aspekten in enger Zusammenarbeit mit den Universitäten in Deutschland und auch im internationalen Kontext. Des Weiteren leisten NUSAFE und die daran beteiligten Helmholtz-Zentren einen substanziellen Beitrag zu Aufbau, Weiterentwicklung und Erhalt der wissenschaftlich-technischen Kompetenz und zur Nachwuchsförderung im Bereich der nuklearen Sicherheitsforschung in Deutschland. NUSAFE adressiert die Vorstellungen der Bundesregierung zur Kompetenz- und Nachwuchsentwicklung für die nukleare Sicherheit mit spezifischen Aufgaben für die Helmholtz-Gemeinschaft.

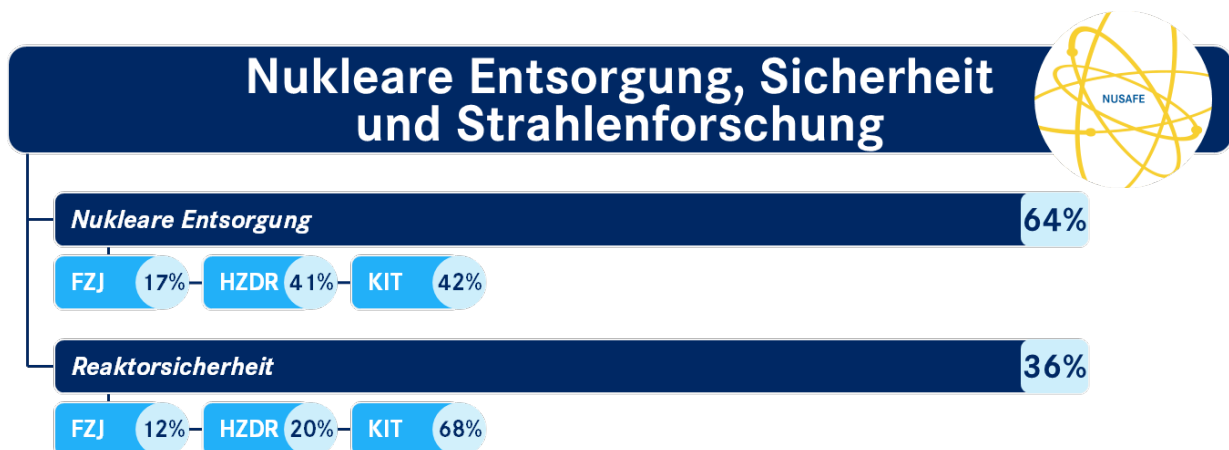


Abbildung 5: Programmstruktur NUSAFE

Das Programm gliedert sich in

Topic 1: Nukleare Entsorgung
(Sprecher: Prof. Dr. Horst Geckeis, KIT)

Dieses Programmthema umfasst grundlegende und angewandte Forschung zu allen geo-/bio-chemischen und insbesondere radiochemischen Fragestellungen, die mit der sicheren Endlagerung radioaktiver Abfälle in geologischen Formationen sowie mit der Standortauswahl verbunden sind. Ziel ist die Erarbeitung eines fundamentalen Verständnisses der in einem Endlagersystem ablaufenden Prozesse und der Ableitung entsprechender quantitativer Daten unter Anwendung einzigartiger Infrastrukturen in den beteiligten Helmholtz-Zentren. Hierzu gehören auch grundlegende Untersuchungen z.B. zur Natur der chemischen Bindungen von endlagerrelevanten Radioelementen wie den Actiniden. Weitere Arbeiten dienen der Entwicklung innovativer Technologien und Strategien sowohl für den Rückbau kerntechnischer Anlagen als auch für die Behandlung und Konditionierung radioaktiver Abfälle, die aus verschiedenen Abfallstoffströmen stammen. Gezielte Studien befassen sich mit der möglichen Degradation von bestrahltem Kernbrennstoff bei einer möglichen verlängerten Zwischenlagerung weit über den geplanten Zeitraum von derzeit 40 Jahren hinaus. Außerdem werden Konzepte, Methoden und Techniken zur internationalen Kernmaterialüberwachung weiterentwickelt.

Topic 2: Reaktorsicherheit
(Sprecher: Dr. Sören Kliem, HZDR)

Das Programmthema befasst sich mit sicherheitsrelevanten Phänomenen und Prozessen bei Auslegungs- und auslegungsüberschreitenden Störfällen. Schwerpunkte liegen dabei auf der Entwicklung und Validierung von neutronenkinetischen und thermohydraulischen (hier zunehmend CFD) Modellen sowie auf der Schaffung wissenschaftlicher Konzepte für die Bewertung des Werkstoffverhaltens unter reaktortypischen Bedingungen. Ein weiteres Thema ist die Verbesserung des externen Notfallschutzes mit Bezug zu radiologischen Folgen von kerntechnischen Unfällen. Mit seinen großskaligen Versuchsanlagen besitzt das Programmthema eine einzigartige Infrastruktur und Expertise, die international stark nachgefragt wird.

Neue strukturelle Entwicklungen und veränderte Rahmenbedingungen

Die Helmholtz-Reaktorsicherheitsforschung im Programm Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung (NUSAFE) ist eine treibende Kraft für die Bewertung und Verbesserung der Sicherheit von Kernreaktoren. Sie spielt eine entscheidende Rolle bei der gesellschaftlichen Vorsorgeforschung und trägt maßgeblich zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik bei. Die Forschungsergebnisse sind nicht nur national von Bedeutung, sondern haben auch einen großen Einfluss auf internationale Sicherheitsstandards. Die Sicherheitsbewertung neuer Reaktorkonzepte, die weltweit entwickelt werden und innovative Ansätze für eine sichere und nachhaltige Kernenergienutzung bieten, stellt eine neue Herausforderung dar. Die Helmholtz-Zentren verfügen über erstklassige Infrastrukturen und setzen ihre Expertise in internationalen Kooperationen ein. Damit können sie aktiv die Zukunft der Reaktorsicherheitsforschung gestalten und zu einer hohen Sicherheitskultur beitragen. Dazu gehört auch die stetige Weiterentwicklung des Entscheidungshilfesystems RODOS (Realtime Online Decision Support System) für den Katastrophenschutz, das u.a. in der Ukraine eingesetzt wird. Die Forschung befasst sich aber auch mit neuen Fragen im Zusammenhang mit der Langzeit-Zwischenlagerung von Brennelementen.

A.2.1.6.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms

Topic 1: „Putting Science into Application“ – Transferprojekte für BGE

Im Berichtszeitraum kooperierten die drei an NUSAFE beteiligten Zentren intensiv und erfolgreich im Rahmen des Projekts Parameter der Freisetzung, Sorption und Löslichkeit (PARFREI) im Auftrag der deutschen Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE). Ziel der Forschungsarbeiten in PARFREI ist die Bereitstellung belastbarer und robuster quantitativer Daten im Rahmen des deutschen Standortauswahlverfahrens. Für die hier vorgesehenen repräsentativen vorläufigen Sicherheitsanalysen (rvSU) liefert PARFREI umfangreiche Parametersätze hinsichtlich der Freisetzung, Löslichkeit und Sorption von Radionukliden, sowie die transparente Darstellung des jeweiligen zugrundeliegenden Prozessverständnisses für die Ableitung der Daten auf Basis des internationalen Stands von Wissenschaft und Technik. Im Jahr 2024 wurden verschiedene Zwischenberichte erstellt, der Abschlussbericht ist für 2025 geplant. In PARFREI bestehen Bezüge zu weiteren Projekten, die von NUSAFE-Partnern für BGE durchgeführt werden, namentlich das Projekt Nuklidschema (Bestimmung eines vereinfachten Nuklidschemas für die Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen) und THEREDA (Thermodynamische Referenzdatenbasis). Durch Projekte wie PARFREI oder Nuklidschema fließen die in NUSAFE vorhandenen wissenschaftlichen Kompetenzen, Erfahrungen und Synergien wesentlich in die stark anwendungsbezogenen Arbeiten der BGE ein, etwa im Rahmen der Standortauswahl für ein nukleares Endlager in Deutschland. NUSAFE hat somit einen direkten positiven Einfluss auf die Lösung eines großen gesellschaftlichen Problems

(https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Forschung/20231215_Forschungssteckbrief_PARFREI_barrierefrei.pdf).

Topic 2: Weiterentwicklung und Anwendung des SIMMER-Codes für Sicherheitsstudien zu innovativen Reaktorkonzepten, einschließlich eines Pu-Transmuter, MYRRHA und Flüssigsalzreaktoren (Molten Salt Reactor, MSR)

Der Pu-Transmuter ist eine modifizierte Version des ESFR (European Sodium Fast Reactor) mit erhöhtem Pu-Gehalt, reduziertem Kernvolumen und reduzierter Leistung. Die Studien zeigen, dass das ESFR-Design ein hohes Sicherheitspotenzial hat und je nach den aktuellen Prioritäten an Energieerzeugung oder Pu-Transmutation angepasst werden kann [1]. MYRRHA-3D-Simulationen zu einem Steuerstabsausfahren wurden zur Unterstützung der Qualifizierung von Codes durchgeführt, die keine räumlichen Neutronenkinetik-Modelle enthalten, aber für die Zulassung von MYRRHA und bleigekühlten AMR (Advanced Modular Reactor) in Betracht gezogen werden.

MSR-Aktivitäten betrafen die Simulation spezifischer Phänomene, wie die Bewegung von Vorläufern verzögerter Neutronen, und die Ausweitung der Anwendung von Codes auf verschiedene MSR-Typen [2]. Starke negative Reaktivitätsrückkopplungen in dem bisher untersuchten europäischen Referenz-Design führen unter hypothetischen Unfallbedingungen zur Reaktorabschaltung. Die negativen Rückkopplungen können aber aufgrund von Brennstoffbewegungen bei annähernd nominalen Bedingungen zu Reaktivitätsinstabilitäten führen; dies muss in künftigen Studien zur MSR-Auslegung berücksichtigt werden.

[1] **Y. Tobita, X.-N. Chen, A. Rineiski**, submitted to *Progress in Nuclear Science and Technology*, 7, 2025

[2] **B. Kędzierska, A. Rineiski, Y. Tobita, X.-N. Chen**, *Preliminary Studies for a Molten-Salt Reactor with Fuel Elements*, submitted to *Progress in Nuclear Science and Technology*, 7, 2025

A.2.1.6.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen

Nach dem Ausstieg aus der Kernenergieproduktion hängt der Erfolg von NUSAFE mit all seinen Themen entscheidend vom erfolgreichen Zusammenspiel zwischen (1) einem starken Engagement der Regierung, (2) der Aufrechterhaltung wissenschaftlicher Qualität von Weltrang und Investitionen in erstklassige Infrastruktur wie HOVER, (3) strategischer Planung, (4) der Rekrutierung und Bindung junger Talente und Lehrkräfte ab.

In Abstimmung mit den zuständigen Ministerien hat das Helmholtz-Team ein Konzept entwickelt und umgesetzt, das diesen vier Anforderungen gerecht wird. Dabei wurden insbesondere folgende Aspekte berücksichtigt:

Entwicklung einer eigenen, auf die Regierungspolitik abgestimmten Forschungsstrategie zur Bewältigung der spezifischen Herausforderungen in Deutschland im internationalen Kontext auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit einschließlich der Herausforderungen der längerfristigen Zwischenlagerung

Im Berichtszeitraum haben die NUSAFE-Partner die deutsche Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) intensiv im Rahmen des Standortauswahlverfahrens wissenschaftlich unterstützt und in diesem Kontext drei zukunftsweisende Projekte bearbeitet. Im Rahmen dieser Projekte erfolgt eine intensive Zusammenarbeit, in deren Zuge ein Wissens- und Datentransfer in das laufende Standortauswahlverfahren stattfindet. Behandelte Themen betreffen die Zusammenstellung relevanter Radionuklidlisten und generische Daten zu Radionuklidquelltermen, die für Sicherheitsuntersuchungen relevant sind. Ein weiteres Projekt befasst sich mit Anforderungen an Endlagerkonzepte, bei denen schwach- und mittelfradioaktive Abfälle am gleichen Standort eines Lagers für hochradioaktive Abfälle vorgesehen sind.

Teile der Forschungsinfrastruktur HOVER, bei denen keine Baumaßnahmen erforderlich waren (μ -Spektromikroskopielabor, FIB-Labor, Laboreinrichtung zur Untersuchung des Versprödungsverhaltens von Brennstoffhüllrohren unter Zwischenlagerbedingungen), konnten mittlerweile realisiert und in Betrieb genommen werden. Erhebliche Steigerungen im Finanzbedarf und zeitliche Verzögerungen traten bei der Realisierung des HOVER BIM-Labors (Building Information Modelling) als virtuelles Labor zur Optimierung des Rückbaus kerntechnischer Anlagen auf. Durch Finden einer Kompromisslösung konnten aber Teile des BIM-Labors im Jahr 2024 in Betrieb gehen.

Bei allen Einrichtungen, für die Baumaßnahmen erforderlich sind, traten enorme Kostensteigerungen auf, wodurch teilweise eine Realisierung in absehbarer Zeit in Frage gestellt ist. Es ist darauf hinzuweisen, dass nur mit dem Aufbau der gesamten innovativen Infrastrukturen des HOVER Projekts in allen drei beteiligten Zentren KIT, FZJ, HZDR sichergestellt werden kann, dass in NUSAFE strategisch wichtigen Themenfelder weiterhin mit hoher wissenschaftlicher Qualität und auf internationalem Niveau weiterbearbeitet und junge Talente sowie Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler rekrutiert werden können.

Die Rekrutierung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern in NUSAFE ist weiterhin stabil, ebenso die Zahl der Promovierenden (125).

Hinsichtlich der Bindung junger Talente und Lehrkräfte kann Tonya Vitova als gelungenes Beispiel genannt werden, die nach ihrer Promotion im Jahr 2008 als Postdoc ans KIT kam, zunächst über das EU-Projekt ACTINET finanziert wurde, im Jahr 2011 eine Helmholtz Nachwuchsgruppe (VH-NG-734), im Jahr 2020 einen ERC Consolidator Grant einwerben konnte und Anfang 2025 eine W3-Professur am KIT erhalten hat.

Die Abstimmung der Forschungsstrategie erfolgte im Berichtszeitraum vorrangig über Gremienarbeit und direkte Kontakte zu den Ministerien (BMBF, BMUV) sowie zu den zuständigen Organisationen BGE, BASE und BGZ in starker Anlehnung an internationale Netzwerke europäischer Forschungseinrichtungen, z.B. EuradScience und die Technologieplattformen SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform) und IGDTP (Implementing Geological Disposal of radioactive waste Technology Platform). Träger waren dabei die NUSAFE-Partner selbst, die Einzelinstitutionen sowie die DAEF (Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung). Die existierende sehr gute Vernetzung der NUSAFE-Partner in der europäischen Community kann zukünftig genutzt werden, vermehrt entsprechende EURATOM-Forschungsprojekte einzuwerben.

Das BMUV hat im Hinblick auf die europäische Forschungsförderung einen EURAD-Steuerkreis unter Beteiligung von NUSAFE eingerichtet.

Ein regelmäßiger Austausch sowie eine Abstimmung der strategischen Planung erfolgt durch die Mitwirkung von NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -wissenschaftler im Kompetenzverbund Kerntechnik, in dem die wichtigsten Akteure der Reaktorsicherheitsforschung in Deutschland mitarbeiten, die Hochschulen, Helmholtz-Zentren, die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) sowie Vertreterinnen und Vertreter der Ministerien und der Industrie.

Klare Vision für die Allokation von Personalressourcen

Durch erneutes Einwerben von Projekten auch im Jahr 2024 konnte neues Personal (Promovierende, Postdocs) eingestellt werden. Allerdings stellen zusätzlich zu dem hohen wissenschaftlichen Anspruch des Programms NUSAFE die Kostensteigerungen im Personalbereich für die Allokation von Personalressourcen eine große Herausforderung dar.

Auswahl der wichtigsten langfristigen strategischen Partner in Ländern mit einem langfristigen Engagement in der Kernenergie

Als die wichtigsten internationalen strategischen Kooperationspartner sind im europäischen Rahmen das PSI, Villigen (Schweiz), SCK CEN, Mol (Belgien), CEA (Frankreich), Nuclear Research Institute (ÚJV), Řež (Tschechien), VTT (Finnland), University of Cambridge (GB), University of Manchester (GB), Subatech, Nantes (Frankreich), University of Helsinki (Finnland) und das Institut Jožef Stefan, Ljubljana (Slowenien) zu nennen. Aus Übersee sind das Glenn T. Seaborg Institute, Livermore (USA), verschiedene nationale Einrichtungen des DOE (Department of Energy) der USA (Argonne-, Idaho-, Oak Ridge -, Pacific Northwest- und Savannah River National Laboratory) sowie die Tokyo University (Japan) herauszuheben.

A.2.1.6.4 Strategische Themen

Talentmanagement

Zahlreiche Forschende des Programms NUSAFE engagieren sich bei der Qualifizierung junger Mitarbeitenden, durch die intensive Betreuung von Promovierenden sowie die Beteiligung an der Lehre. Die Vorlesungen und sonstigen Lehrveranstaltungen decken das gesamte Spektrum an Arbeitsthemen des Helmholtz-Programms ab und werden hauptsächlich an den Helmholtz-Zentren oder assoziierten Universitäten erteilt, aber auch an verschiedenen weiteren Universitäten sowie an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg.

Im Jahr 2024 gab es 125 betreute Promovierende im Programm NUSAFE, darunter sehr viele internationaler Herkunft. Nahezu alle dieser Promovierenden wurden aus verschiedenen Drittmittel-Quellen finanziert, zum größten Teil aus europäischer und nationaler Projekt-Förderung, aber auch aus Industriemitteln oder durch Stipendien.

Das Karlsruhe House of Young Scientists (KHYS), die zentrale Einrichtung für Nachwuchsförderung am KIT, erhielt im Jahr 2024 einen Teil der Kondolenzspenden anlässlich des Todes von Prof. Robert Stieglitz. Das Geld wird in Form von Stipendien direkt dem wissenschaftlichen Nachwuchs zugutekommen. Diese Widmung der Spenden war im Sinne des Verstorbenen, dem zu Lebzeiten die Förderung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein großes Anliegen war.

Junge NUSAFE-Wissenschaftlerinnen nahmen im Berichtszeitraum am Helmholtz Energy Women Career Workshop teil.

Chen Zhen bewarb sich als Doktorand erfolgreich um ein Forschungsstipendium im Lawrence Berkeley National Laboratory im Rahmen des INGENUITY Next-Gen Nuclear Waste Disposal Internship program.

Dr. Carla-Olivia Krauß wurde im November 2024 als KIT-Nachwuchsgruppenleiterin ausgezeichnet. Dr. Bianca Schacherl wurde Junior Group Leader im SFB „4f for Future“ der DFG.

Dr. Stephan Gabriel und Wilson Heiler aus dem Programm NUSAFE betreuen am KIT Studierende der Dualen Hochschule Baden-Württemberg (DHBW). Die Studierenden können innerhalb der dreijährigen Studienzeit den Bachelor of Engineering in den Fachrichtungen Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Elektrotechnik erwerben. In den alternierenden Praxisphasen stehen sie als Mitarbeitende dem KIT zur Verfügung und sammeln so bereits im Rahmen ihres Studiums praktische Erfahrungen, u. a. auch an den einzigartigen NUSAFE-Versuchsanlagen wie z.B. COSMOS. Derzeit werden sieben DHBW-Studierende der Fachrichtungen Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Elektrotechnik ausgebildet.

Habilitationen und Berufungen

Nach Abschluss des Berufungsverfahrens im Jahr 2024 wurde Prof. Dr. Tonya Vitova mit Wirkung zum 1. Januar 2025 am KIT auf die neu eingerichtete W3-Professur für „Advanced X-Ray Spectroscopy in f-element chemistry“ berufen. Dr. Xavier Gaona bereitet sich auf seine Habilitation zum Thema „Aquatic chemistry of radionuclides in cement systems“ vor.

Ausrichtung von Workshops, Konferenzen usw. zur Qualifizierung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler

Die NUSAFE-Partner haben sich im Berichtsjahr durch die Organisation und Ausrichtung von Konferenzen und Workshops bei der Qualifizierung von jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern engagiert:

Die Jahrestagung der Fachgruppe Nuklearchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker wurde 2024 in Karlsruhe abgehalten und von KIT mitorganisiert. Die dreitägige Veranstaltung basierte stark auf Beiträgen junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie auf ausgewählten eingeladenen Vorträgen und stellte ein wichtiges Diskussionsforum zu radiochemischer Forschung innerhalb Deutschlands dar. NUSAFE-Mitarbeitende lieferten hierbei zahlreiche wissenschaftliche Beiträge.

Im März 2024 fand am KIT die HERCULES - European School on Neutrons and Synchrotron Radiation Science statt, an der u.a. zwölf junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT teilnahmen und dabei durch Vorlesungen, praktische Übungen, Tutorials und Anlagenbesuche ihr Wissen zu diesem Themenfeld erweitern konnten.

NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler haben im Oktober 2024 den 2. kombinierten ATAS – AnXAS Workshop („ATAS – AnXAS 2024: 6th International Workshop on Advanced Techniques in Actinide Spectroscopy and 10th International Workshop on Speciation, Techniques, and Facilities for Radioactive Materials at Synchrotron Light Sources“) in Karlsruhe ausgerichtet. Die fünftägige Veranstaltung hat mit ihrem spezifischen Fokus auf Weiterentwicklung und Anwendung von Methoden zur spektroskopischen Charakterisierung radioaktiver Probensysteme 94 Teilnehmenden – darunter zahlreiche Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler – aus zehn Ländern einen intensiven Erfahrungsaustausch ermöglicht.

An der International Frédéric Joliot / Otto Hahn Summer School on Nuclear Reactors, die jährlich gemeinsam von CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Frankreich) und KIT organisiert und ausgerichtet wird, nahmen 2024 insgesamt 47 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus zehn Ländern teil. Die Veranstaltung stand 2024 unter dem Thema „Innovative Approaches for Streamlining the Design, Deployment, and Operation of Near-term and Emerging Reactors“. Unter den internationalen Referentinnen und Referenten waren auch NUSAFE-Expertinnen und -Experten von KIT und FZJ.

Im November 2024 fand am KIT der 29. Internationale QUENCH Workshop mit ca. 60 Teilnehmenden statt. Schwerpunkte der Vorträge und Diskussionen waren unfalltolerante (ATF) Hüllrohrmaterialien und Wasserstoffverhalten in Hüllrohren während der Trockenzwischenlagerung von Brennelementen über lange Zeit.

Am 12. Juni 2024 fand am KIT der Innovationstag statt. NUSAFE war mit Arbeiten zum Rückbau beteiligt. Es wurden die beiden Projekte NaMaSK/KoMaSi präsentiert sowie ein Demonstrator gezeigt.

Im September 2024 besuchten zehn Teilnehmende des Fortbildungskurses „Stilllegung – Abbau kerntechnischer Anlagen“ die Versuchshalle des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) des KIT. Inhalte des Kurses seitens des TMB waren die Möglichkeiten und Limitierungen beim Einsatz von Robotersystemen im kerntechnischen Bereich,

speziell bei der Erfassung, Dekontamination und Freimessung der Betonstruktur kerntechnischer Anlagen.

Im Rahmen des thermochemischen Datenbankprojekts der OECD (NEA-TDB) wurde auch in 2024 ein Training Course veranstaltet. Zu dieser 2024 per Videostream durchgeführten Veranstaltung registrierten sich ca. 100 Personen, um einen Überblick zu grundlegenden Methoden und Anwendungsmöglichkeiten chemischer Thermodynamik und des NEA-TDB Projekts zu erhalten.

Im Mai 2024 führten NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler des KIT in Paris einen Training Course zum SIMMER-Code durch: Simulation of Accidents in Advanced Nuclear Reactors, Zielgruppe waren Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler sowie Praktikantinnen und Praktikanten von CEA und EdF.

NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler richteten, teilweise gemeinsam mit weiteren Projektpartnern, verschiedene weitere Workshops und Trainingskurse im Rahmen von EU-Projekten aus, z.B. einen INNUMAT-Workshop über Strukturwerkstoffe und Beschichtung für fortgeschrittene kerntechnische Systeme: Von der Forschung zur Industrie, weiterhin das ASSAS 2nd Annual Meeting, und zusammen mit der IAEA (International Atomic Energy Agency) den Abschlussworkshop des EU-Projekts McSAFER mit mehr als 150 Teilnehmenden (vor Ort in Wien und online). Das EURAD Projekt CORI (mit Beteiligung aller NUSAFE-Partner, koordiniert vom KIT) hatte seinen Abschlussworkshop im Jahr 2024. Während des von ANDRA und vom KIT in Paris organisierten Treffens wurden wesentliche Projektergebnisse zusammengefasst und mit Vertreterinnen und Vertretern europäischer Waste Management Organisationen diskutiert.

Preise

NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler haben im Berichtsjahr erneut einige Preise erzielt:

Bei der KERNTECHNIK 2024 in Leipzig wurde Eric Rentschler mit dem zweiten Preis für die beste Präsentation ausgezeichnet.

Posterpreise erhielten Emily Reynolds beim ATAS-AnXAS Workshop 2024 in Karlsruhe und Siavash Kazemi auf der KERNTECHNIK 2024 in Leipzig.

Die Maschinenbau-Studentin an der DHBW und ausgebildete Produktdesignerin Carolina Paul erreichte den 2. Platz bei World Skills Germany, der deutschen Meisterschaft der Produktdesigner.

Daniel Gubert war jahgangsbester Absolvent der Fakultät Maschinenbau an der DHBW Karlsruhe.

Marco Seifermann schloss seine Ausbildung zum Chemielaboranten mit dem Prädikat „mit ausgezeichnetem Erfolg“ ab.

Chancengleichheit

NUSAFE-Wissenschaftlerinnen engagierten sich im Berichtsjahr 2024 auch wieder bei Women in Nuclear (WiN) Germany und förderten so das Netzwerken von Frauen, die auf den Gebieten Kernenergie, Strahlenschutz, Nuklearmedizin und nukleare Wissenschaften arbeiten.

NUSAFE-Mitarbeitende beteiligten sich am Girls Day 2024. Die jungen Teilnehmerinnen erhielten durch Vorträge, Besuche in Versuchshallen und Vorstellung aktueller Forschungsprojekte Einblicke in die nukleare Entsorgung.

Im Programm NUSAFE liegt der durchschnittliche Anteil der Mitarbeiterinnen insgesamt bei ca. 30 %.

Vernetzung

Aufgrund der umfangreichen Expertise sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Programms NUSAFE aus den drei beteiligten Zentren Mitglied des Kompetenzverbundes Kerntechnik (KVKT), des Kompetenzverbundes Strahlenforschung (KVSF) und der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF, Vorsitzender bis November 2024: Prof. Dr. Dirk Bosbach). Die DAEF ist eine unabhängige Plattform der führenden Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Langzeitsicherheitsforschung der Endlagerung. Ihr Ziel ist es, einen Beitrag zur sicheren Endlagerung radioaktiver Abfälle zu leisten, Forschungsaktivitäten effektiver zu gestalten sowie entsprechende faktenbasierte Informationen bereitzustellen und an die Gesellschaft sowie politische Entscheidungsträger zu kommunizieren.

NUSAFE-Wissenschaftler sind auch berufene Mitglieder der Entsorgungskommission (ESK) des BMUV und deren Ausschüsse. Prof. Dr. Horst Geckeis ist stellvertretender Vorsitzender der ESK sowie Vorsitzender des Ausschusses Endlagerung radioaktiver Abfälle, Volker Metz ist Mitglied des Ausschusses Endlagerung radioaktiver Abfälle. Des Weiteren ist Wolfgang Raskob für das KIT Mitglied im Ausschuss Notfallschutz der Strahlenschutzkommission (SSK) des BMUV sowie im SSK-Krisenstab.

Die Beteiligung der Helmholtz-Zentren im Programm NUSAFE an zahlreichen nationalen, EU- und internationalen Projekten fördert die starke Vernetzung und Kooperation mit Forschungszentren und Universitäten weltweit. Das European Joint Programme on Radioactive Waste Management (EURAD und EURAD-2) und viele weitere Projekte zu allen NUSAFE-Themengebieten führen zu einer außerordentlich großen europäischen Forschungsintegration und einem hohen Anteil internationaler Promovierenden, die zum Teil durch Stipendien ihres Heimatlandes finanziert werden.

NUSAFE-Partner sind weiterhin im europäischen Zusammenschluss wissenschaftlicher Einrichtungen in „EuradScience“ aktiv, derzeit ist Dr. Marcus Altmaier Chairperson.

NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler sind ebenso in den Lenkungsorganen weiterer europäischer Forschungs- und Technologie-Plattformen vertreten, etwa im Management Board und Steering Committee des EERA Joint Programme on Nuclear Materials (JPNM) und im Management Board der European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery (NERIS) sowie in der Multidisciplinary European Low Dose Initiative (MELODI) und der European Radiation Dosimetry Group (EURADOS). Dr. Angelika Bohnstedt ist Mitglied des MB JPNM und NERIS sowie Vice Chair der General Assembly der Co-funded European Partnership on Nuclear Materials – Coordination of the European Research Community on Nuclear Materials for Energy Innovation (CONNECT-NM), Dr. Alfons Weisenburger Research Line Advisor bei CONNECT-NM. Auch die Mitgliedschaft von Dr. Walter Tromm im High Scientific Council (HSC) der European Nuclear Society (ENS) ist ein Beleg für die äußerst gute Vernetzung des Programms NUSAFE.

Gemeinsame Doktorarbeiten zwischen NUSAFE-Partnern und Université de Lille bzw. Université Grenoble Alpes, CNRS Orléans und IRSN Fontenay-aux-Roses (bzw. dessen Nachfolgeorganisation Nuclear Safety and Radiation Protection Authority (ASNR)) intensivieren die deutsch-französische Zusammenarbeit. Eine weitere Promotion läuft sogar trinational (University of Granada und SUBATECH/Nantes).

NUSAFE-Expertinnen und -Experten sind im Vorstand der GDCh Fachgruppe Nuklearchemie (Dr. Marcus Altmaier, Prof. Dr. Petra Panak), stellvertretender Vorsitzender der Kerntechnischen Gesellschaft KTG (Dr. Walter Tromm) und als Vorsitzender des Fachausschusses Kraftwerkstechnik des VDI (Dr. Walter Tromm) tätig.

NUSAFE ist auch gut mit der United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC) vernetzt. Hier besteht eine Zusammenarbeit im Rahmen des Code Application and Maintenance

Program (CAMP) mit dem Ziel der Entwicklung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit von thermohydraulischen Referenz-Rechenprogrammen für Sicherheitsanalysen von Leichtwasserreaktoren, sowie im Rahmen des Cooperative Severe Accident Research Program (CSARP) mit dem Ziel des Erfahrungsaustauschs über sicherheitsrelevante Analysen von Kraftwerken im Originalmaßstab, die mit speziellen Simulationscodes, z.B. MELCOR, durchgeführt werden. Die Zusammenarbeit zielt auch darauf ab, Erfahrungen über die Grenzen des Codes und mögliche Modellierungsverbesserungen auszutauschen und bei der Behebung von Mängeln und der Aufrechterhaltung einer international anerkannten Code-Version zusammenzuarbeiten.

Die Zusammenarbeit mit dem französischen Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) bzw. dessen Nachfolgeorganisation Nuclear Safety and Radiation Protection Authority (ASNR) hat das Ziel des Erfahrungsaustauschs über sicherheitsrelevante Analysen von Kraftwerken im großen Maßstab, die mit dem ASTEC-Code durchgeführt werden.

Im Rahmen des europäischen CEN-Workshops 64 (CEN = European Committee for Standardization) beteiligen sich NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler an der Ausarbeitung und Begutachtung von Code-Evolution-Proposals für die Modifikation der Auslegungsregeln von RCC-MRx hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf flüssigmetallgekühlte Reaktorkomponenten.

2024 startete das DFG und ANR gemeinsam geförderte Projekt „ActiDecorp“ unter Beteiligung der französischen Universitäten Bourgogne-Dijon und Strasbourg, sowie der Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR, vormals IRSN), das die Entwicklung und Untersuchung neuartiger Liganden für die Dekorporation von Actiniden zum Ziel hat.

Mit dem Tritiumlabor Karlsruhe am KIT wurde ein Kooperationsvertrag abgeschlossen, um die Zusammenarbeit bzgl. tritierter Materialien und spektroskopischer Analysen zu vertiefen.

Zusammenarbeit mit IAEA

Im Berichtsjahr wirkten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Programms NUSAFE wieder in verschiedenen IAEA-Gremien wie z.B. Vorsitz Standing Advisory Board on Safeguards Implementation (SAGSI), Mitglied des Network of Analytical Laboratories (NWAL), Technical Working Group on Fast Reactors oder Technical Working Group Light Water Reactors mit, teilweise auch in leitender Funktion, und nahmen an Expertentreffen zu verschiedenen Themen teil. Die IAEA Division on fuel cycle and waste management bat NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler gezielt um Unterstützung bei der Simulation von Brennstoffkreisläufen zu Salzschnmelzereaktoren. Darüber hinaus waren NUSAFE-Mitarbeitende an IAEA Coordinated Research Projects (CRPs) beteiligt, z.B. in leitender Funktion (Work Package Leader von zwei Work Packages) am Coordinated Research Project Testing and Simulation for Advanced Technology and Accident Tolerant Fuels (CRP ATF-TS).

NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler spielen eine führende Rolle in der IAEA-ONCORE-Initiative „Open-Source Codes for Nuclear Reactor Analysis“.

Zusammenarbeit mit OECD/NEA

NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler sind in die Aktivitäten der OECD/NEA zum Teil in Führungsfunktionen eingebunden. Sie repräsentieren Deutschland z. B. im Nuclear Science Committee (NSC) und im Management Board for the Development, Application and Validation of Nuclear Data and Codes (MBDAV), sowie in verschiedenen Arbeits- und Expertengruppen, etwa der Expert Group on Reactor Coolants/Components Technology (EGCo-CoT), der Expert Group on Small Modular Reactors (EGSMR) und der Expert Group on Innovative Structural Materials (EGISM). Sie sind zudem am NEA Project on the Thermodynamic Characterisation of Fuel Debris and Fission Products Based on Scenario Analysis of Severe

Accident Progression, Phase-2 (TCOFF-2) beteiligt. Das KIT ist Operating Agent des OECD-NEA Joint Undertaking QUENCH-ATF. Die NUSAFE-Versuchsanlagen COSMOS-H, COSMOS-L und QUENCH sind in einer Zusammenstellung der OECD/NEA Expert Group on Small Modular Reactors zu weltweit existierenden Versuchsanlagen zu sicherheitsrelevanten Aspekten von SMRs enthalten.

Im Rahmen des thermochemischen Datenbankprojekts der OECD-NEA (NEA-TDB) ist das KIT in Führungsfunktionen (Management Board und Executive Group) und als Co-Initiator zweier neuer Projekte aktiv involviert. Zudem ist NUSAFE am KIT stark an Aktivitäten des NEA Salt Club beteiligt.

Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

Technologietransfer

Innerhalb des BMBF-geförderten Projektes EKONT-2 (Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen) konnte ein Prototyp zur Eckendekontamination entwickelt werden. Vorteile des Prototyps gegenüber aktuellen Verfahren sind u.a. Verbesserung der Arbeitssicherheit, Verringerung der Staubbelastung durch eine Werkzeugeinhausung mit integrierter Absaugung sowie ein geringerer Zeitbedarf. Zusätzlich kann der Sekundärabfall durch millimetergenauen Abtrag kontaminierter Störstellen reduziert und eine zur Freimessung geeigneten Oberflächenrauigkeit erzeugt werden. Der Prototyp wird u.a. durch die SPIE SAT GmbH im Kernkraftwerk Obrigheim eingesetzt.

Auf Basis und mit Hilfe der einzigartigen experimentellen Daten der Thermohydraulik-Experimente COSMOS-L und COSMOS-H wurden im Berichtszeitraum Datensätze für die Entwicklung und Validierung von Zweiphasen CFD-Codes entwickelt, mit deren Hilfe leistungsfähige Wärmeübertragungsmechanismen siedender Strömungen auch in nicht-nuklearen Anwendungen betrachtet und übertragen werden können. Mögliche Anwendungen sind Technologien, die eine Kühlung bei extremen Wärmestromdichten benötigen oder chemische Reaktoren, die für den effizienten Betrieb eine möglichst konstante Temperatur halten müssen.

Wissen für Entscheiderinnen und Entscheider

Im Kontext der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle leiten bzw. beteiligen sich NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler an den nationalen Sachverständigengruppen, sind für Ministerien und Bundesbehörden als Gutachtende in verschiedenen Projektkomitees tätig (Projektkomitee Zwischenlagerung/Abfallbehandlung, Projektkomitee Endlagerung, Projektkomitee Entsorgungsforschung, Projektkomitee Komponentenverhalten) und beraten die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) im Zusammenhang mit der Schließung der Schachtanlage Asse II zu geochemischen und radiochemischen Themen. Im Berichtszeitraum unterstützten NUSAFE-Partner die BGE wissenschaftlich im Rahmen von drei Projekten. Sie stellen ihre Expertise auch staatlichen Abfallentsorgungsorganisationen im Ausland (Belgien, Frankreich, Schweden, Südkorea) zur Verfügung.

Darüber hinaus sind NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler in verschiedenen Beiräten von Forschungseinrichtungen und Großprojekten vertreten, z. B. im International Advisory Committee (IAC) für den geplanten belgischen MYRRHA-Reaktor (Multi-purpose HYbrid Research Reactor for High-tech Applications). Zudem stellt NUSAFE Mitglieder in den folgenden Fachausschüssen und Beiräten: ESK-EL, KVSF, DAEF, SCK CEN (Mol, Belgien).

Das JRODOS-System simuliert und bewertet die Effektivität von Katastrophenschutzmaßnahmen und ist in nahezu 50 Ländern, einschließlich der Ukraine, weltweit zur Unterstützung von Entscheiderinnen und Entscheidern im Einsatz.

Dr. Walter Tromm war im Berichtsjahr zu einer Gesprächsrunde der Arbeitsgruppe Umwelt der CDU/CSU-Bundestagsfraktion zu Gen-IV-Reaktoren und SMR eingeladen. Auch einzelne Politikerinnen und Politiker auf Bundes- und Landesebene wendeten sich zu diesem Themengebiet an NUSAFE-Expertinnen und -Experten.

Zur Information über aktuelle Themen und Entwicklungen im Bereich der Nuklearen Sicherheitsforschung und Radioökologie wurden Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger an den Zentren empfangen, so z.B. Frau RDir'in Neveling und Frau Mrugalla (BMUV) am HZDR sowie Herr MinDir Stefan Müller (BMBF) am KIT.

Wissen für Betroffene

Im Rahmen der NUSAFE-Forschung erarbeitete Daten für Endlagersicherheitsuntersuchungen werden kontinuierlich in Datenbanken (z.B. THEREDA, OECD/NEA-TDB) eingespeist und damit öffentlich zugänglich gemacht. NUSAFE-Partner wirken an der Weiterentwicklung und Pflege der thermodynamischen Referenzdatenbank THEREDA (gefördert von der BGE) mit, welche über <https://www.thereda.de> frei zugänglich ist.

Außerdem sind NUSAFE-Mitarbeitende am Verbundvorhaben „Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland, TRANSENS“ beteiligt und stellen dadurch eine Verbindung zwischen Wissenschaft und Gesellschaft her.

NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler wurden im Berichtsjahr wieder sehr häufig von den verschiedensten Medien (Printmedien, Rundfunk und TV, aber auch Betreibern von Podcasts und YouTube-Kanälen) um Interviews und Stellungnahmen angefragt, etwa zur aktuellen Entwicklung der Kernenergienutzung weltweit und zur Einschätzung neuer Reaktorkonzepte, aber auch zu Fragen des Rückbaus von Kernkraftwerken. Die daraus resultierenden Beiträge erschienen u.a. in der Süddeutschen Zeitung, der Frankfurter Allgemeinen Sonntagszeitung, im Handelsblatt und bei Spiegel online und wurden im öffentlich-rechtlichen Rundfunk gesendet, z.B. bei hr-INFO, SWR aktuell, im ZDF oder bei 3SAT.) NUSAFE-Mitarbeitende trugen so mit ihrer Expertise zur Information der breiten Öffentlichkeit bei, und dies nicht nur in Deutschland, sondern auch im Ausland (Artikel mit NUSAFE-Input des Tagesanzeigers Zürich zum geplanten Salzschnmelzereaktor von Copenhagen Atomics, Beitrag im ORF anlässlich des Jahrestags der Abschaltung der letzten drei Atomkraftwerke in Deutschland, Dokumentation bei Channel News Asia über die Zukunft der Kernenergie). NUSAFE-Expertinnen und -Experten waren auch an verschiedenen Podiumsdiskussionen beteiligt, z.B. Podiumsdiskussion veranstaltet vom Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) zu alternativen Reaktorkonzepten, oder Podiumsdiskussion des VDI zu Kernkraft – Risiko und Nutzen, Pro und Contra einer Wiederkehr der Kernkraft zur Energieversorgung. Des Weiteren haben Schulen und Verbände (z.B. Mittelstand und Handwerk e.V., Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V.) NUSAFE-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler für Vorträge zu nuklearen Themen eingeladen. Bei derartigen Veranstaltungen mit NUSAFE-Beteiligung ging es zunehmend auch um die Frage, welche Rolle Kernenergie im globalen Kampf gegen den Klimawandel spielen kann.

Drittmittleinwerbung

Im Berichtsjahr konnten verschiedene neue nationale und internationale Drittmittelverträge abgeschlossen werden. Unter anderem wurde eine Reihe von Projektanträgen aus dem Call HORIZON-EURATOM-2023 positiv evaluiert und bewilligt; diese Projekte starteten im zweiten Halbjahr 2024.

- *Förderung aus EU-Mitteln:*
 - EURAD-2 – European Partnership on Nuclear Waste Management. Hier ist das KIT an vier Arbeitspaketen beteiligt:
 - RAMPEC - Radionuclide mobility under perturbed conditions (KIT WP lead)
 - DITUSC - Development and Improvement of Quality Assured Thermodynamic Understanding for use in Nuclear Waste Disposal Safety Case
 - INCOMMAND - Innovative and new container/canister materials under disposal fields conditions: manufacturing feasibility and improved durability
 - SAREC - Release of safety relevant radionuclides from spent nuclear fuel under deep disposal conditions
 - CONNECT-NM - Coordination of the European Nuclear Materials Community for Energy Innovation (KIT)
 - MAP-NM - Towards accelerated nuclear materials development – The potential of Nuclear Material Acceleration Platforms and additive manufacturing (KIT, HZDR)
 - EASI-SMR - Ensuring Assessment of Safety Innovations for SMR (KIT, FZJ, HZDR)
 - ENDURANCE - EU kNowleDge hUb foR enAbiling MolteN Salt ReaCtor safety development and dEployment (KIT)
 - LESTO - LEad fast reactor Safety design and Tools (KIT)
 - SANE - Safety Assessment of Non-Electric Uses of Nuclear Energy (KIT)
 - TRANSPARANT - Technological Research Action Necessary for Safe PARtitioning And Nuclear Transmutation (KIT, FZJ)
 - TREASURE - Towards Reliable And Safe GFR (KIT)
 - DORADO - Digital Twins and Ontology for Robot Assisted Decommissioning Operations (KIT)
 - OFFERR - eurOpean platForm For accEssing nucleaR R&d facilities
 - ACCURATE; Advanced CFD-Code development for boiling Under forced convection at ReActor Typical condition during Experiments (KIT)
 - COATED - Critical heat flux On Accident TolErant fuels under reactor typical conditions (KIT)
 - PIANOFORTE - Research and education for radiation protection
 - PREDICT - ImPRovements in atmospheric dispErsion moDeLLIng and proteC-Tive action strategies in case of nuclear detonations (KIT)
 - RRADEW - Resilience to radiological events in wartime (KIT)
- *Förderung aus Mitteln der Bundesministerien für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Bildung und Forschung (BMBF), Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV):*
 - KoMaSi - Validierung eines kontinuierlichen Magnetfilters und Siebsystems zur Behandlung von Partikelgemischen (BMBF; KIT)
 - RULET - Rückhaltung und Löslichkeit dosisrelevanter Radionuklide unter den reduzierenden Nahfeldbedingungen eines Endlagers im Ton- oder Kristallingestein (BMUV; HZDR, KIT, FZJ)

- *Förderung aus Mitteln der Industrie, TSO und Sonstigen:*
 - BGE-Asse / RV Fachliche Begleitung im radiochemischen und chemotoxischen Themenkomplex (KIT)
 - Data transfer project providing results of the CORA/QUENCH bundle experiments (CNPRI, China; KIT)
 - Barriers - Breitbandige dielektrische und geochemische Charakterisierung von Tonmaterialien für Unterspeicherung (DFG; KIT)

Forschungsinfrastrukturen

Im Programm NUSAFE ist für die Aktivitäten zur nuklearen Entsorgung die im Aufbau befindliche Helmholtz Forschungs- und Versuchsplattform zur Entsorgung radioaktiver Abfälle und zum Rückbau kerntechnischer Anlagen (HOVER) von zentraler Bedeutung.

Die Umsetzung stellt die beteiligten Helmholtz-Zentren weiterhin vor große Herausforderungen bedingt durch enorme Kostensteigerung. Näheres dazu siehe Kapitel „Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen“.

A.2.1.6.5 Senatsempfehlungen

Der Senat macht sich den ihm vorliegenden Vorschlag zur Bewertung des Programmfortschritts im Jahr 2024 zu eigen und beschließt ihn als seine Bewertung zum Programmfortschritt 2024. Er bestätigt damit den vorliegenden Controllingbericht des Präsidenten für das Jahr 2024.

A.2.1.7 Strategische Initiativen

A.2.1.7.1 Energy Lab

Das Energy Lab dient der Erforschung des Zusammenwirkens der Komponenten zukünftiger, überwiegend auf erneuerbaren Energien basierter intelligenter Energienetze hin zu einem integrierten und sektorgekoppelten Energiesystem. Dazu verbindet die Infrastruktur experimentelle Versuchsanlagen mit einer leistungsfähigen multiskaligen Simulationsumgebung zu einer virtuellen Plattform für die Energiesystemforschung. Zu den Forschungsfragen zählen die Integration elektrochemischer, chemischer und thermischer Speichertechnologien – unidirektional und bidirektional – im Verbund mit verschiedenen Stromerzeugern und Energieverbrauchern, der Übergang zu einer flexibleren Stromerzeugung im Hinblick auf Last und Brennstoff sowie die Verknüpfung von Strom-, Wärme- und Gasnetzen unter Einbeziehung relevanter Aspekte wie Big Data, Netzsicherheit und Privatsphäre der Daten. Diese wissenschaftlichen Arbeiten sind in den Programmen Energiesystemdesign (ESD) und Materialien und Technologien für die Energiewende (MTET) im Forschungsbereich Energie verortet.

Um Steuerungs- und Regelungsaufgaben im Kontext moderner energietechnischer Anlagen und neuer Regelalgorithmen möglichst realitätsnah simulieren und studieren zu können, wurde im Rahmen des Energy Labs das Smart Energy System Simulation and Control Center (SEnSSiCC) realisiert, welches im Jahr 2021 aufgebaut wurde. Seither dient das SEnSSiCC

u.a. als Microgrid-Testlabor, in dem neuartige Netzalgorithmen in Hardwareexperimenten evaluiert wurden.

SEnSSiCC ist gewissermaßen das Gehirn des Energy Labs. Es verarbeitet Informationen aus dem Photovoltaikfeld, das nicht nur Strom, sondern auch wertvolle Daten zur Energieerzeugung liefert. Die Großbatteriespeicher bieten Einblicke in effiziente Speichertechnologien. Die Wohnhauskomplexe tragen mit Erkenntnissen über Energiegewinnung, -verbrauch und -einsparung bei. In den Laboren SESCL, EGSAL, CMVC und PHIL werden Messströme gespeichert, überwacht und für die Entwicklung zukünftiger Energiesysteme analysiert. Das SEnSSiCC verbindet die reale mit der virtuellen Energiewelt und beherbergt zudem zwei Security Labs, das höchste Sicherheitsstandards sicherstellt.

Das SEnSSiCC ist sowohl physisch als auch virtuell mit den Forschungsinfrastrukturen HIP, Power-to-X, CCLab und HPGL verbunden und wird von der Research Platform Energy als Teil des Instituts für Automation und angewandte Informatik betrieben.

Im Power-to-X-Teil des Energy Lab wurde die Integration eines 250 kW Co-Elektrolyseurs in die Systemumgebung abgeschlossen. Der Elektrolyseur wurde mit dem Synthesegas-Kompressor und mit dem Fischer-Tropsch-Teil der zweistufigen Power-to-Liquid-Anlage (PtL) verbunden und die Rückgasleitung zur Rückführung des off-gases der Syntheseanlage zur Elektrolyse angebunden. Die Inbetriebnahme der einzelnen Anlagen wurde erfolgreich durchgeführt. Der Realbetrieb wird im Januar 2025 im Rahmen des Kopernikus-Projekt P2X aufgenommen.

Der Aufbau einer Syntheselinie ausgehend von CO₂ und Wasserstoff bis zu synthetischem paraffinischem Kerosin in der e-XPlore-Containeranlage des KIT sowie deren Ertüchtigung für den Betrieb auf einer schwimmenden Offshore-Plattform im Kontext des Wasserstoff Leitprojekts H2Mare wurde in weiten Teilen abgeschlossen, es wurden Anpassungen an die Erfordernisse des Betriebs auf See durchgeführt. Die Containeranlage zur kombinierten CO₂-Abscheidung aus Punktquellen und Synthese von e-Methanol wurde fertiggestellt, die Inbetriebnahme durchgeführt und erfolgreich 100l Methanol produziert. Die Anlage wurde im November zu Versuchen im Realbetrieb mit Biogas zum Klärwerk der Stadt Mannheim transportiert, die Integration in die Infrastruktur des Klärwerks und einer Biogasreinigungsanlage laufen. Im Testfeld für gebäudeintegrierte CO₂-Gewinnung und –Umwandlung wurden eine DAC-Anlage der Firma Climeworks auf dem Gebäudedach des IMVT in den Abluftstrang der Lüftungsanlage integriert, und die Vorbereitungen für die Einbindung der zweiten DAC-Anlage der Firma DACMA laufen.

Der Umbau der Waben-Methanisierungsanlage wurde fortgesetzt und die benötigten Fundamente wurden fertiggestellt. Die Hauptkomponenten der 100 kW-Versuchsanlage, Verflüssigungscontainer samt Anlage, Gaswäsche und Luft-LNG-Wärmetauscher sind aufgestellt sowie die dazugehörigen Hauptprozessleitungen im Prozessraum der Waben-Methanisierung installiert. Die Finalisierung der Anbindung der verschiedenen Anlagenkomponenten an die Energy Lab-Infrastruktur wird weiter fortgeführt.

Der Betrieb der bioliq[®]-Pilotanlage wurde Ende 2024 eingestellt. Mit dieser Anlage wurde erfolgreich die gesamte Prozesskette von Biomass-to-Liquid bei TRL6 in den Bereichen Schnell-Pyrolyse, Hochdruck-Flugstromvergasung, Synthesegasreinigung und Kraftstoffsynthese demonstriert, wobei in der letzten Kampagne durch erstmalige Umwandlung von Kunststoffölen in Synthesegas der MTET Milestone M1.2 erreicht wurde.

Basierend auf der umfassenden Expertise mit den bioliq[®]-Anlagen, integriert das Carbon Cycle Lab (CCLab) neue, vielseitige Module, darunter eine skalierbare Kunststoffpyrolyse, eine flexible Biomassepyrolyse und die Hydrierung von Zwischenprodukten. Diese Ergänzungen erweitern die Fähigkeiten des CCLab auf den TRL 4-5 und erleichtern die Integration mit anderen

Modulen innerhalb des Energy Labs, um umfassende Forschung und Entwicklung zu ermöglichen. Die neuen Anlagen befinden sich derzeit in der Planung bzw. im Aufbau.

Dezentrale Einspeisungen von Strom aus erneuerbaren Quellen ersetzen vermehrt zentrale Kraftwerke. Dies verändert die Anforderungen an die Stromnetze. Am High Power Grid Lab (HPGL) werden künftig neue Netztechnologien in einer Testumgebung untersucht, die das reale Stromnetz so präzise wie möglich nachbildet. Im Fokus stehen Nieder- und Mittelspannungsnetze zur regionalen Stromverteilung. Ziel des HPGL ist es, das Systemverhalten neuartiger Netzbetriebsmittel wie Stromrichter für Mittelspannungs-Gleichstromnetze in ihrer möglichst realen Netzumgebung zu erforschen. Die Testplattform ist gerade in der Planungsphase und soll im Jahr 2030 als Teil des Energy Lab in Betrieb gehen. Ihr Bau wird mit 32,8 Mio. Euro aus Mitteln für strategische Ausbauinvestitionen der Helmholtz-Gemeinschaft finanziert.

A.2.1.7.2 Querschnittsthema: Bioeconomy meets Energy

Ansätze zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse und Kenntnisse über biologische Systeme stellen einen wichtigen Baustein zur Entwicklung von einem geschlossenen anthropogenen Kohlenstoffkreislauf dar. Diese werden in einem integrierten Bioökonomie-Ansatz gemeinsam von Helmholtz Energy und dem FB Erde und Umwelt vorangetrieben. Der Fokus liegt auf der Forschung zu neuartigen Prozessen, Prozessketten und Produkten, die hybride Ansätze nutzen, indem z.B. in der nachhaltigen Produktion von Kohlenstoff- und Energieträgern biochemische, (bio-)elektrochemische, katalytische, thermo- und/oder photochemische Prozesse kombiniert werden. Auf diese Weise kann es gelingen, Sektoren auf effiziente Weise zu koppeln. Zum Beispiel erlaubt die Nutzung von biogenem Kohlenstoff und erneuerbarer elektrischer Energie zur Herstellung von Proteinen als Lebensmittelbestandteile die Kopplung des Lebensmittelsektors mit dem Energiesektor.

Im Jahr 2024 wurde das Themenfeld Agri-PV Entwicklungen und Forschung fortgeführt: Die ersten Versuche im Themenfeld Biodiversitäts-PV fanden mit der Integration von Blühstreifen und Brutkästen statt, sodass neben der Biomassen-Produktion auch Ökosystem-relevante Aspekte und Einflüsse von erneuerbaren Energiesystemen untersucht wurden. Weiterhin wurden erste Messungen zur Homogenität des Pflanzenwachstums in großskaligen, agrarwirtschaftsrelevanten Systemen mit vertikalen Agri-PV Systemen und PV-Trackern durchgeführt, welche zur praxisnahen Forschung und als Demo für Großlandwirtschaftsbetriebe beitragen. Auch wurden die Effekte von PV in Folientunneln auf das Pflanzenwachstum untersucht, welches gerade in südlichen Regionen Europas durch großflächige Installationen zu einem bedeutenden Marktsegment heranwachsen kann. Schwerpunkt der Arbeiten war die Entwicklung eines Bioraffineriekonzepts aufbauend auf einem Verbund einer Schnellpyrolyse von Biomassereststoffen. Die gewonnene Biokohle soll zur Erzielung negativer Emissionen genutzt werden. Eine Fraktionierung der Pyrolyseölfraction soll die Basis einer stofflichen Nutzung darstellen. Des Weiteren wurde die Entwicklung von Prozessen zur Fixierung von Kohlenstoff aus biobasierten Quellen vorangetrieben, um negative CO₂-Emissionen zu erzielen, die z.B. für den Ausgleich von unvermeidbaren Emissionen aus der Landwirtschaft dauerhaft erforderlich sind (CO₂-Sequestrierung und Biokohle). Hierbei wird der Fokus insbesondere auf eine effiziente Kopplung mit anderen Produkten für die chemische Industrie und den Energiesektor gelegt. In diesem Zusammenhang wurde das HGF-Transferprojekt ReGenFarm mit der Firma Bayer gestartet.

A.2.1.7.3 GeoLaB

GeoLaB – Forschungslabor Geothermie hat das Ziel, den ersten umfassenden geothermische Reservoirsimulator für Reservoirtechnologie und Bohrlochsicherheit zu errichten. Angesichts des bedeutenden geothermischen Potenzials im kristallinen Grundgebirge widmet sich GeoLaB der Erforschung und Entwicklung umweltverträglicher Nutzungsstrategie dieser Ressource, indem neue und wissenschaftlich fundierte Strategien und Technologien entwickelt und erprobt werden.

Geplante Experimente sollen das grundsätzliche Verständnis der Reservoirprozesse unter realen Betriebsbedingungen vertiefen und Risiken minimieren. Der Einsatz und die Weiterentwicklung modernster Analyse- und Überwachungswerkzeuge wird grundlegende Erkenntnisse für eine sichere und ökologisch nachhaltige Geothermienutzung liefern. GeoLaB ist als interdisziplinäre und internationale Forschungsplattform konzipiert und fördert auf vielfältige Weise Zusammenarbeit und Synergien für den wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt und technologische Innovationen. Initiativen auf DFG-Ebene hatten zum Ziel, Universitäten in die GeoLaB-Forschung einzubinden. Das GeoLaB-Projekt gliedert sich in eine Erkundungsphase, eine Errichtungsphase und den anschließenden Forschungsbetrieb. Im Berichtsjahr wurden die ersten wichtigen Schritte für die laufende Erkundungsphase erfolgreich umgesetzt, darunter die Kommunikation mit Stakeholdern und Bürgern, die Genehmigung der Betriebspläne durch die zuständigen Behörden sowie die Umsetzung bzw. Vorbereitung der wissenschaftlich-technischen Erkundungsmaßnahmen.

Angesichts des Umfangs des GeoLaB-Projekts und die Vielzahl der beteiligten Akteure war eine wirksame Kommunikation von Beginn an entscheidend. Ein umfassendes, mehrstufiges Kommunikationskonzept mit Stakeholder-Gesprächen, Dialogveranstaltungen und Informationsmaterialien wurde entwickelt und zielgerichtet angepasst. Der Genehmigungsprozess wurde beispielsweise durch Gespräche mit Gemeinderäten und Behörden eng begleitet und eine Exkursion zur „Seismik in Action“, bei der die häufig durch Bürgerinnen und Bürger kritisch betrachteten Erschütterungsmessungen live vorgeführt und erklärt wurden, durchgeführt.

Die folgenden Explorationsmaßnahmen wurden mit dem Hauptbetriebsplan „Erkundung“ beantragt und im September 2024 genehmigt: a) Aufbau eines seismischen Monitorings, b) Aufbau des hydrogeologischen Monitorings, c) Durchführung einer Seismik-Messkampagne, d) Durchführung einer Geophysik-Messkampagne mit Gravimetrie, Geoelektrik und Geomagnetik-Messungen und e) Durchführung von Erkundungsbohrungen.

Ein Schwerpunkt der Arbeiten lag auf der Durchführung geophysikalischer Vorerkundungen zur Detektion potenzieller Kluftzonen im mitteltiefen Kristallin. In der Zeit von Oktober 2024 bis Februar 2025 wurden durch spezialisierte Dienstleister gravimetrische, geoelektrische und geomagnetische Messungen durchgeführt. Im September 2024 wurde im Umfeld der Ortschaft Tromm eine 2D-seismische Pilotmesskampagne durchgeführt. Ziel war es, den geologischen Übergang vom zentralen, ungestörten Bereich des Tromm-Plutons über eine östlich angrenzende, stark geklüftete „Damage Zone“ bis in den Buntsandstein mit hoher seismischer Auflösung abzubilden. Die erste Erkundungsbohrung GeoLaB-1 wurde geplant und der Bohrplatz eingerichtet.

Ziel aller Explorationsmaßnahmen ist die Charakterisierung der geologisch-tektonischen Struktur der Tromm und die Prüfung der Eignung des kristallinen Untergrunds für GeoLaB. Die Eignungsbewertung erfolgt im kommenden Jahr.

Zur Entwicklung eines digitalen Zwillings von GeoLaB wurde mit den Projektpartnern UFZ und GFZ das BMBF-Verbundprojekt GeoDT eingeworben.

A.2.1.7.4 Innovationspool

Der Innovationspool von Helmholtz Energy in der PoF IV gliedert sich in eine strukturelle und eine inhaltlich-thematische Förderlinie. In der strukturellen Förderlinie werden die Plattform „Helmholtz Energy“ sowie die „Helmholtz Energy Transition Roadmap (HETR)“ für die gesamte PoF IV gefördert. Die inhaltlich-thematische Förderlinie wird durch die Förderung dynamischer Entwicklungsfelder die thematische Weiterentwicklung des Forschungsbereichs unterstützen. Für 2021-2024 wurden in der inhaltlich-thematischen Linie drei Projekte gefördert: 1. Energiewende und Kreislaufwirtschaft, 2. Solarer Wasserstoff, 3. Modulare Reaktoren.

Strukturelle Förderlinie

Helmholtz Energy Transition Roadmap (HETR) und Plattform Helmholtz Energy

Die Helmholtz Energy Transition Roadmap (HETR) als Roadmap für die Energieforschung wurde im Juli 2024 veröffentlicht (<https://energy.helmholtz.de/helmholtz-energy-transition-roadmap/>). Die HETR vermittelt ein umfassendes Verständnis der Herausforderungen, die mit der Energiewende verbunden sind, und liefert wertvolle Anhaltspunkte, wie die Energieforschung den erfolgreichen Umbau des Energiesystems kurz-, mittel- und langfristig in allen Disziplinen unterstützen kann. Die Roadmap zeigt eine Vielzahl von Technologien, Materialien und Methoden auf, die bei der Bewältigung dieser Herausforderungen eine Rolle spielen werden oder spielen könnten. In diesem Sinne bietet sie Helmholtz Energy Orientierung bei der strategischen Forschungsplanung. Darüber hinaus kann die Roadmap externen Stakeholdern aus Wissenschaft, Industrie und Politik als Wegweiser dienen.

Nach den erfolgten Feedbackschleifen durch die Programme ESD, MTET und Fusion wurde im Juni 2024 zu HETR ein -Feedback der Stakeholder mit Beteiligung weiterer Forschungsorganisationen, Verbände und Ministerien durchgeführt. Die HETR wurde daraufhin im Juli 2024 veröffentlicht. Für den PoF V-Strategieprozess in Helmholtz Energy, zum Beispiel für die Erstellung des Strategiepapiers für die PoF V, stellt die HETR einen von mehreren Inputs dar. Ebenso bildete sie die Grundlage für die Ausarbeitung von Positionspapieren, die seit Ende 2024 für den politischen Dialog im Vorlauf der Bundestagswahl am 23. Februar 2025 erstellt wurden. Für HETR ist zukünftig eine Aktualisierung in regelmäßigen Abständen als „living document“ vorgesehen.

Die Plattform Helmholtz Energy widmet sich der programm- und zentrenübergreifenden Vernetzung, dem Talentmanagement und dem Wissenstransfer von Helmholtz Energy.

Die durch das Helmholtz Energy Office betreute Helmholtz Energy Webseite (<https://energy.helmholtz.de/>) hat sich als öffentlichkeitswirksames Medium für den Wissenstransfer im Forschungsbereich etabliert. Die Zahl der Follower auf LinkedIn wuchs organisch auf über 800, wobei Follower aus dem Bereich Forschung mit über 40 % die größte Gruppe bilden. (Helmholtz Energy | LinkedIn).

Um gezielt Nachwuchswissenschaftlerinnen zu fördern, organisierte das Helmholtz Energy Office erstmalig einen Helmholtz Energy Women Career Workshop. Der zweitägige Workshop mit dem Thema „Communicating and negotiating successfully in academia“, der im Mai 2024 durchgeführt wurde, fand so großen Anklang, dass er im November 2024 wiederholt wurde. Als weiteres Workshopangebot für den wissenschaftlichen Nachwuchs fanden die Young Scientist Networking Days im Oktober 2024 statt. Unter dem Thema „Energize the World: Create Impact with Your Research“ lernten die Teilnehmenden Ansätze kennen, wie sie selbst Wissenstransfer aus ihrer Forschung gestalten können.

Außerdem führte Helmholtz Energy zusammen mit der SynCom Erde und Umwelt im Mai 2024 erfolgreich ein Parlamentarisches Frühstück zum Thema „Klimaneutralität 2045 – Chancen und Herausforderungen von DACCS und BECCS“ durch. Im Vorfeld der Bundestagswahl wurde im Dezember 2024 das Positionspapier „Die Energiewende durch Innovation vorantreiben und nachhaltig sichern“ veröffentlicht.

Aus dem Innovationspool wurden der HETR Officer und die Workshops finanziert. Der Eigenanteil wurde durch zwei grundfinanzierte Vollzeitäquivalente (VZÄ) erbracht.

Inhaltlich-thematische Förderlinie

Energie und Kreislaufwirtschaft (EuK)

Das Innovationspoolprojekt „Energiewende und Kreislaufwirtschaft: Dekarbonisierung und Flexibilisierung energieintensiver Recyclingprozesse“ befasst sich mit der Entwicklung von Methoden und Modellen für das Design und den Betrieb energieintensiver Recyclingprozesse und der damit verbundenen Netzintegration sowie der (stofflichen) Wertschöpfungskettenintegration. Die Koordination liegt mit Prof. Dr. Hagenmeyer als koordinierendem Sprecher beim KIT. Das Projekt ist eine programmübergreifende Kooperation der Helmholtz-Programme ESD und MTET unter der Beteiligung der Helmholtz-Zentren KIT, FZJ und HZDR.

Im Rahmen des Arbeitspakets „Ressourceneffizienz, Dekarbonisierung und Lastmanagement“ wurde die theoretische Fähigkeit von Prozessen, die für die Verarbeitung von Primär- und Sekundärrohstoffen typisch sind und ein hohes Elektrifizierungspotenzial aufweisen, zur Bereitstellung von nachfrageseitiger Flexibilität (Demand Side Flexibility) im Stromnetz bewertet. Im Kontext der Zementproduktion aus Sekundärrohstoffen wurde die Bewertung des Demand-Response-Potenzials der Belite-Zementproduktion mit Hilfe einer Resource Task Network (RTN)-Simulation weiterentwickelt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Kombination von kurzfristigen (stündlichen) und langfristigen (monatlichen) Planungsstrategien das Gesamtpotenzial des Demand Response erhöhen würde. Im Allgemeinen ist die Zementproduktion mit einem enormen Energiebedarf verbunden, der auf elektrische Quellen verlagert wird. Abgesehen vom Anstieg des Strombedarfs (und dem damit verbundenen Flexibilisierungspotenzial) sind riesige Massenströme auf kontinuierliche Prozesse angewiesen, sowohl für das Handling der Mengen als auch für die Herstellung eines standardisierten Produkts, z.B. Zement, und schließlich Beton. Der Betrieb begünstigt also keine Abschaltungen, insbesondere nicht in Zeiträumen, die kürzer als Tage sind, und ist immer mit Kosten für Pufferkapazitäten und Risiken für die Produktqualität verbunden, was die von der RTN-Simulation prognostizierten Vorteile einschränkt. Da sich der Belite-Prozess jedoch noch in der Aufbauphase befindet, sind Optionen wie Hybridheizungen oder Rohstoffoptimierungen in Betracht zu ziehen, die die von der Rohstoffindustrie bereitgestellte Flexibilität weiter erhöhen werden. Die Quantifizierung dieser Wechselwirkungen erfordert einen Blick darauf, wie ein bestimmter Prozess mit den Stromnetzen verbunden werden kann. Auch müssen die Prozessschritte noch weiter reifen, um einen angemessenen Maßstab zu erreichen und Flexibilität zu bieten.

Im Arbeitspaket „Netzintegration“ wurde ein Ansatz zur Optimierung der Blindleistungsplanung entwickelt und die Auswirkung der Bereitstellung von Blindleistung durch eine Kupferproduktion auf die Spannungsstabilität des deutschen Übertragungsnetzes untersucht, wodurch das Potenzial industrieller Prozesse zur Entschärfung lokaler Spannungsprobleme demonstriert wurde. Im Hinblick auf Regelungsstrategien für Stromrichter wurde ein neuer Regelalgorithmus entwickelt, um die Energieniveaus zwischen den Zellen eines Modulen Multilevel Converters (MMC) auszugleichen.

Der Eigenanteil der dargestellten Arbeiten wurde durch ca. 1,4 grundfinanzierte Vollzeitäquivalente (VZÄ) erbracht.

Solarer Wasserstoff – hochrein und komprimiert

Das Innovationspool-Projekt „Solarer Wasserstoff - hochrein und komprimiert“ zielt darauf ab, grundlegende wissenschaftliche Erkenntnisse und tragfähige Technologien für die Umwandlung von Solarenergie in grünen Wasserstoff bereitzustellen. Dazu werden verschiedene Typen von Elektrolysezellen oder Verfahren auf Basis thermochemischer und pyrolytischer Prozesse entwickelt und getestet, wobei der Schwerpunkt auf Materialien, Effizienz und Lebensdauer liegt. Wesentliche Anforderungen sind der bereitzustellende Druck und die erforderliche Reinheit. Im Projekt werden die besonderen Kompetenzen und Werkzeuge hinsichtlich Materialfragen, Simulation mittels Computational Fluid Dynamics (CFD) und Katalyse in Abstimmung mit den Helmholtz-Partnern genutzt und weiterentwickelt.

Das Institut für Katalysatorforschung und -technologie (IKFT) untersucht, wie Verunreinigungen bei Verwendung von solar erzeugtem Wasserstoff die nachfolgende Methanolsynthese beeinträchtigen. Eine Langzeitdeaktivierungsstudie über 6 Wochen sowie eine redundante analytische Charakterisierung zeigen die wichtigsten Deaktivierungsmechanismen auf. Demnach fördern O₂-Verunreinigungen, die im elektrolytisch erzeugten H₂ vorhanden sein können, die Versinterung von Zn-Spezies im Katalysatormaterial, während sie das Wachstum von Cu-Partikeln reduzieren [1, 2].

- [1] L. Warmuth, M. Steurer, D. Schild, A. Zimina, J.-D. Grunwaldt, S. Pitter, *Regenerativ erzeugter Wasserstoff – Perspektiven in chemischen Wertschöpfungsketten [Regeneratively Produced Hydrogen – Perspectives in Chemical Value Chains]*, ACS Appl. Mater. Interfaces 2024, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.3c17383>
- [2] G. R. Niquini, P. Münzer, M. Ebrahim-Moghaddam, L. Warmuth, K. Herrera Delgado, S. Pitter, N. Dahmen, J. Sauer, *Regenerativ erzeugter Wasserstoff – Perspektiven in chemischen Wertschöpfungsketten [Regeneratively Produced Hydrogen – Perspectives in Chemical Value Chains]*, Chem. Ing. Tech. 2024, <https://doi.org/10.1002/cite.202300221>

Am Institut für Angewandte Materialien – Elektrochemische Technologien (IAM-ET) wurde am Druckbetrieb der Hochtemperaturelektrolyse gearbeitet, welcher die Gesamteffizienz einer Power-to-X Prozesskette steigern soll. Hierzu wurde ein Prüfstand für den Überdruckbetrieb bis 10 barg entwickelt und dessen Funktionalität mit state-of-the-art Zellen der Sunfire GmbH demonstriert und veröffentlicht [3].

- [3] C. Gosselindemann et al., *Pressurized single cell testing of solid oxide cells*, J. Power Sources 2024, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.234963>

Das Karlsruher Flüssigmetall-Labor KALLA am Institut für Thermische Energietechnik und Sicherheit (ITES) hat seine Flüssigmetall-Blasensäulenteknologie konzeptionell weiterentwickelt, um aus Biogas durch Pyrolyse/Trockenreformierung Wasserstoff und Synthesegas zu erzeugen. Für das Jahr 2024 wurden Konzepte für den Betrieb der Anlage mit Solarenergie – sowohl thermisch über Concentrated Solar Power (CSP) als auch elektrisch über Photovoltaik (PV) – fertiggestellt. Diese Konzepte beinhalten auch Optionen zur Steigerung der Systemeffizienz, wie z.B. Wärmerückgewinnung.

Für die Sicherheit von solarem H₂ aus Methanpyrolyse oder Dampfreformierung sind Wasserstoff- und Methanstrahlbrände von entscheidender Bedeutung. Ein Eddy-Dissipationsmodell für H₂/CH₄-Jetflammen und eine mehrstufige Simulation der chemischen Mechanismen unter Verwendung des CHEMKIN-Formats wurden entwickelt. Ihre zukünftige Kopplung wird instationäre Simulationen von Jetflammen unter Berücksichtigung von Turbulenz und chemischen Reaktionen ermöglichen [4].

- [4] F. Wang, et al. *Deterministic risk assessment of hydrogen leak from a fuel cell truck in a real-scale hydrogen refueling station*, Int. J. Hydrogen Energy, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.09.114>

Das Institut für Angewandte Materialien – Werkstoffkunde (IAM-WK) erforschte, dass die Länge, Dichte und gute kristalline Verbindung zwischen den festen Phasen der Dreifachphasengrenze (TPB) - Ni/Festelektrolyt/Gasphase – entscheidend für die Leistung einer Festoxidzelle sind. Zum ersten Mal wurde die Bildung von TPBs während der Reduktion von NiO/YSZ oder NiO/BZCY in Wasserstoff in Echtzeit bei relevanten Temperaturen und Drücken mittels in-situ TEM mit nanoskaliger Auflösung beobachtet. Höhere Reduktionstemperaturen sind nachteilig, um eine bessere Qualität der Ni/Festelektrolyt-Grenzfläche und damit eine höhere Anzahl elektrochemisch aktiver TPBs zu erreichen [5].

[5] S. Korneychuk et al., *In-situ TEM reduction of a solid oxide cell with NiO/YSZ fuel electrode*, J. Power Sources, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.235626>

Der Preis für die beste mündliche Präsentation während des Festoxidbrennstoffzellen-Forums EFCF2024 in Luzern ging mit dem Vortrag „In-situ TEM reduction of a solid oxide cell with NiO/YSZ and NiO/BZCY materials for fuel electrode“ an S. Korneychuk, C. Grosselindemann, L.-A. Schäfer, M. Ivanova, N.H. Menzler, A. Weber und A. Pundt.

Der Eigenanteil der dargestellten Arbeiten wurde durch projektunterstützende zwei grundfinanzierte Vollzeitäquivalente (VZÄ) erbracht.

Modulare Reaktoren

Das Innovationspool-Projekt „Sicherheitsbewertung von generischen kleinen modularen Reaktoren (SMR)“ zielt darauf ab, fortschrittliche rechnergestützte Werkzeuge bereitzustellen, die in der Lage sind, Sicherheitsanalysen für SMRs durchzuführen, die in Europa gebaut werden sollen.

TWOPORFLOW wurde im Berichtszeitraum anhand von Daten aus der MOTEL-Anlage (LUT) zum Queraustausch zwischen benachbarten Brennelementen erfolgreich validiert. Die Ergebnisse wurden in der GLOBAL Konferenz in Tokyo präsentiert. Des Weiteren wurde die Multiskalen-Kopplung zwischen TRACE und TWOPORFLOW optimiert und hinsichtlich der numerischen Stabilität getestet. Sie basiert auf der modularen ICoCo-Methode. Dadurch eröffnet sich die Möglichkeit, Transienten von wassergekühlten SMRs genauer zu untersuchen.

Die Entwicklung und Verifikation des eigenen KANECS (Karlsruhe Neutronics Core Simulator) wurde vorangetrieben. Es basiert auf der SPN-Methode und verwendet open source PETSc- und SLEPc-Bibliotheken zusammen mit der Finite-Elemente-Methode, die von der deal.II-Bibliothek bereitgestellt wird. Diese Bibliothek ermöglicht die Verwendung von unstrukturierten Netzen für quadratische und hexagonale Brennelemente. Die Verifizierung wurde anhand internationaler Benchmarks vorgenommen mit sehr guten Ergebnissen. Der Entwicklungsstand von KANECS und dessen Validierung wurde in der Zeitschrift Frontiers in Energy Research veröffentlicht. Die Verifizierung basierte auf der Analyse des NuScale-Kerns (quadratisch) und CAREM-Kerns (hexagonal). Es wurden sehr gute Übereinstimmungen wichtiger Parameter, berechnet mit KANECS und SERPENT, erzielt.

Der Eigenanteil der dargestellten Arbeiten wurde durch rund 3 grundfinanzierte Vollzeitäquivalente (VZÄ), d.h. die anteilige Mitwirkung von 9 Forschenden mit insgesamt 2,96 VZÄ erbracht.

A.2.1.7.5 Initiativen aus weiteren Pakt-Mitteln bis 2025

A.2.1.7.5.1 Zeitenwende Energieversorgungssicherheit

Beschleunigter Transfer der nächsten Generation von Solarzellen in die Massenfertigung

Die Forschung und Entwicklung zur Perowskit/Si-Tandemphotovoltaik am KIT durch das Helmholtz-geförderte Projekt „Zeitenwende Energieversorgungssicherheit – Beschleunigter Transfer der nächsten Generation von Solarzellen in die Massenfertigung“ wird in Zusammenarbeit mit dem FZJ und dem HZB vorangetrieben (Laufzeit Q4/2022-Q3/2025). Das Projekt ist Ausgangspunkt einer Reihe von Transferinitiativen, Innovationen und Verbundprojekten.

Das Zeitenwende-Beschleunigungsprogramm zielt darauf ab, die Forschung und Entwicklung (F&E) im kritischen Bereich der Technology Readiness Level (TRL) Skala 4-6 innerhalb der Wertschöpfungskette gezielt zu stärken. Ziel des Projekts ist es, den Übergang von kleinen, aber hocheffizienten Tandemsolarzellen aus dem Labor auf industrielle Maßstäbe (M10 Wafer) zu ermöglichen und deren Stabilität weiter zu verbessern. Darüber hinaus sollen industrielle Hochgeschwindigkeits-Herstellungsprozesse sowie In-situ- und In-line-Charakterisierungsverfahren zur Prozesssteuerung entwickelt werden.

Das KIT konzentriert sich im Forschungsprojekt auf folgende Themen:

- Herstellung von Perowskit-Top-Solarzellen mittels Tintenstrahldruck für Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen,
- Herstellung von Perowskit-Top-Solarzellen mittels Dampfphasenabscheidung für Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen,
- In-situ-Diagnostik für die skalierbare Fertigung von Perowskit-Top-Solarzellen in Tandems,
- Hochratenprozesse zur Abscheidung und neue Pilotanlage für Perowskit-Top-Solarzellen in Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen,
- Untersuchungen zur Stabilität von Perowskit-Top-Solarzellen und Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen.

Wissenschaftliche und technologische Highlights aus dem Jahr 2024, die dem Projekt zugeordnet werden können:

- *Entwicklung eines innovativen und skalierbaren Herstellungsprozesses für Perowskit-Solarzellen*, der eine Hybrid-Zwei-Schritt-Methode verwendet und verdampftes PbI₂ mit inkjet-gedruckten organischen Vorläufermaterialien kombiniert (R. Pesch et al., Solar RRL 2024). Durch eine Optimierung der Druckparameter werden hohe Wirkungsgrade (PCEs) und hohe Reproduzierbarkeit erreicht, wie sie für die industrielle Skalierung der Tandem-Photovoltaik erforderlich sind. Die Perowskit-Filme sind frei von makroskopischen Trocknungseffekten und die Prozessroute verzichtet auf toxische Lösungsmittel. Wirkungsgrade von bis zu 18,2 % wurden in Einfachsolarzellen gezeigt und die Beschichtung auf texturierten Si-Bottom-Solarzellen wurde nachgewiesen.
- *Deep Learning zur erweiterten Prozessüberwachung der skalierbaren Herstellung von Perowskit-Dünnschichten* (F. Laufer et al., Energy & Environmental Science 2024). Forschende des KIT berichten über den Einsatz von Deep Learning (DL) zur Überwachung und Optimierung der Herstellung großflächiger Perowskit-Dünnschichten. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass DL in der Lage ist, komplexe experimentelle In-situ-Daten aus der Abscheidung der Perowskit-Halbleiterschichten zu analysieren und

dabei drei wesentliche Anwendungsfälle zu unterstützen: (1) Materialzusammensetzung der Perowskit-Halbleiterschichten überwachen, (2) Frühe Qualitätsbewertung der Perowskit-Dünnschichten und (3) Prozesssteuerung optimieren. Dies ist besonders wertvoll für die großflächige und reproduzierbare Herstellung von Perowskit-Photovoltaik, die für die Kommerzialisierung dieser Technologie entscheidend ist.

- *Fortschrittliche Charakterisierungsverfahren zur Bestimmung der Schichtqualität von Perowskit-Halbleitern (J. Petermann et al., im Review 202%).* Photolumineszenzbasierte Charakterisierungstechniken bieten eine nicht-invasive und kontaktlose Methode zur Bestimmung der Qualität von Perowskit-Absorbern. In dieser Arbeit wurde eine intensitätsabhängige Photolumineszenz-Methode für Perowskit/Si-Tandemsolarzellen weiterentwickelt, die eine lokale Qualitätsbewertung der Perowskit-Dünnschichtabsorber mit hoher räumlicher Auflösung ermöglicht.

Geotechnologien für die zukünftige klimaneutrale Energieversorgung (GEOZeit)

Das Zeitenwende-Projekt „Geotechnologien für eine Zeitenwende in der Energieversorgung in Deutschland (GEOZeit)“ zielt darauf ab, großvolumige Potenziale zur energetischen und stofflichen Speicherung im tiefen Untergrund zu identifizieren und für die erneuerbaren Energieträger nutzbar zu machen. Ein wesentlicher Aspekt dabei ist die Beschleunigung der Energie- wende durch Wissens- und Technologietransfer aus der fossilen Nutzung des Untergrundes sowie durch den direkten Wissenstransfer aus den Forschungsinfrastrukturen der Helmholtz-Gemeinschaft zu industriellen und kommunalen Versorgern und die Hochskalierung der Forschungsdemonstratoren.

Durch die Beschaffung und Analyse historischer Daten aus der Erdölindustrie, einschließlich Kernmaterial, Bohrlochmessungen und seismischer Untersuchungen, wurde der Transfer des Wissens aus der Kohlenwasserstoffexploration für die nachhaltige Nutzung geothermischer Energiespeicherung vorangetrieben. Die Interpretation und Neubewertung dieser Daten ermöglichte die Entwicklung eines grundlegenden Strukturmodells, das bessere Einschätzungen zur geologischen Eignung des Gebietes nördlich Karlsruhes für die Wärmespeicherung liefert. Aufgrund der Verzögerung der DeepStor-Forschungsbohrung konnten bislang keine neuen Messdaten erhoben werden. Daten sowie Gesteinsmaterial benachbarter Altbohrungen machten jedoch wichtige Permeabilitäts- und Porositätsuntersuchungen an Kernmaterial möglich. Die historischen Messungen zur Permeabilität der Meletta-Sandsteine, die als Speicherschicht in Frage kommen, konnten damit weitestgehend bestätigt werden, die Permeabilitäten der Niederrödern-Schichten – ebenfalls potenzielle Speicherformationen – konnten erstmalig ermittelt werden. Insbesondere aus der Neubewertung der seismischen Daten mittels Spektralanalyse, die vornehmlich in der Erdölindustrie Anwendung findet, folgen wichtige Erkenntnisse. Die Analysen lassen die Identifikation von Lokalisationen zu, die für die Wärmespeicherung zukünftig bevorzugt betrachtet werden sollten.

Für die regionale Abschätzung des Speicherpotenzials wurden gravimetrische Messdaten ausgewertet und interpretiert. Damit konnten die für die effiziente Speicherung maßgeblichen geologischen Strukturen kartiert werden. Die Lage dieser Strukturen ist für die Zuordnung des Teufenbereichs potenzieller Speicherformationen notwendig. Eine Koppelung des Potentials mit dem Wärmebedarf wurde am Standort des Campus Nord des KIT durchgeführt und liefert die Möglichkeit, eine Hochskalierung, insbesondere in Verbindung mit dem Fernwärmenetz der Stadt Karlsruhe, durchzuführen.

Für die Stakeholder-Dialoge und die Vermittlung der geothermischen Wärmespeicherung mit Bürgerinnen und Bürgern wurden erste Prototypen für Exponate zu den Themen geologischer Untergrund und seine Nutzung mittels einer Virtual Reality Umgebung entwickelt. Die Wirkung

der Exponate wird in Ausstellungen zum Thema Wärmespeicherung mit sozialwissenschaftlichen Methoden evaluiert werden. Dies ermöglicht die Weiterentwicklung der Exponate für weitere Stakeholder-Formate.

Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung (RESUR)

Zur Verbesserung der Modellkopplung wurden in fünf projektweiten Workshops Simulationsworkflows entwickelt und erste automatisierte Kopplungen zwischen Modellen umgesetzt. In den Workshops wurden zudem sogenannte „Data-Provisioning“-Blöcke zwischen den Modellen definiert und implementiert. Dadurch können Top-Down- und Bottom-Up-Modelle mit unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Granularitäten gekoppelt werden, um komplexe Analysen schneller bereitzustellen.

Am KIT wurden arbeitspaketspezifisch folgende Aktivitäten durchgeführt:

In AP 1 wurde die vollständige Modellierung der 110 kV Spannungsebene für Deutschland abgeschlossen und das europäische Stromnetzmodell durch Daten von ENTSO-E um dynamische Modelle erweitert, sodass nun transient dynamische Simulationen (z.B. nach Kraftwerksausfällen oder Kurzschlüssen) möglich sind. Für die Gasversorgung wurden das Erdgastransportnetz abgebildet und mit dem Stromnetz über Sektorkopplungsoptionen, wie u.a. Kraftwerke, PtG-Anlagen und BHKW, gekoppelt. Hierbei wurde schon das Wasserstoffkernnetz eingeplant und somit schon bei zukunftsorientierten Analysen umgestellte Leitungen mit beachtet.

In AP 2 wurde die Co-Simulationsplattform eASiMOV-eCoSim weiterentwickelt und ermöglicht mit der Kopplung an den Workflowmanager (AP6) die HS-Netzsimulation (AP1) mittels Lastdaten der Regelzone D76 (Allgäu), die mit einem neuen Optimierungsansatz ermittelt werden. Die Kopplung von generischen Gas-, Wärme- und Stromnetzen mit multi-physikalischen Gebäudemodellen eingebettet in ein Energiesystemmodell zur Einbindung von u.a. Sektorkopplungsoptionen und Speichern in einem realen Wohngebiet auf Verteilnetzebene wurde erfolgreich durchgeführt.

In AP 3 wurde die Modellierung des Hitzewellenszenarios mit einer stark weiterentwickelten Tool-Chain – von disaggregierten Wetterdaten über die Analyse einzelner Kraftwerke bis hin zu Strommarkteffekten – vertieft und eine Modellkopplung integriert. Die Entwicklung einer helmholtzweit einsetzbaren Methode wurde gestartet, die das lizenzkonforme Vorhalten von einheitlichen Planungsdaten für die Analyse disruptiver Ereignisse in der Energiesystemmodellierung bereitstellt.

Im AP 4 wurden die Arbeiten für eine Bewertung der Szenarien auf Basis der MCDA weiterverfolgt. Die relevanten Indikatoren für eine Bewertung wurden in mehreren Interviews mit Experten und Stakeholdern identifiziert. Aktuell werden diese in den Kontext der zu erwartenden Szenarien gesetzt. Ebenfalls wurde das sozio-technische System aktualisiert und umstrukturiert. In diesem Zusammenhang wurde ein Arbeitsablaufkonzept für einen raschen Einsatz des Modells bei kurzfristigen Anfragen entwickelt.

In AP 5 wurde das Multienergiesystemmodell PERSEUS-gECT geografisch weiterentwickelt und dessen Einsatz im Kontext verschiedener Extremszenarien validiert. In Abstimmung mit den Projektpartnern laufen aktuell die Anpassungen zur Berechnung des Basis- und Hitzewellenszenarios und die Integration der Ergebnisse in die Toolchain der Modellkopplung.

In AP 6 wurden für einen ersten Demonstrator geeignete Modelle (Bedarfs-, Wirtschafts-, Gas- und Stromnetzmodelle) für ein räumlich beschränktes Gebiet im Bereich der Regelzone D76 (Allgäu), und in einem hybriden Ansatz eng bzw. lose im Sinne einer verteilten Co-Simulation, u.a. auf Basis der am KIT entwickelten Plattformen eASiMOV und PROOF, gekoppelt.

Rohstoffsicherung durch flexible und nachhaltige Schließung von Stoffkreisläufen

Ansatzpunkt des Projekts ist die flexible Optimierung von Recyclingprozessen zur nachhaltigen Schließung von Stoffkreisläufen. Dazu werden Sensorsysteme, Simulationssysteme und modellbasierte Regelungsmechanismen für relevante Aufbereitungsprozesse entwickelt und im Pilotmaßstab demonstriert. Mehrere Sensorsysteme zur Beobachtung von Mehrphasenprozessen sind teils nach Tests bei Partnern nun im Industriemaßstab einsatzbereit (MS2.2): Basierend auf der Frequenzabhängigkeit des Echsignals der verschiedenen Phasen erlaubt ein Ultraschall-Spektroskop nun die Quantifizierung des Gas- und Feststoffanteils im Mehrphasensystem (AP2.3). Ein tragbarer Gittersensor erlaubt nun die Bestimmung von Phasenteilen in dynamisch bewegten Mehrphasensystemen und wurde erfolgreich an einem hochturbulenten jetbetriebenen Schaumflotationsabscheider getestet (AP2.4). Ein Laserlinienscanner erlaubt die Bestimmung von Schauhöhen bei mit dunklen Partikeln beladenen Flotationschäumen (AP2.6). Weitere Sensorsysteme (AP2.5) sind auf dem Weg. Modellseitig (AP3.3) gab es wesentliche Fortschritte bei der Simulation von Partikelpopulationen in Zerkleinerungs- und Trennprozessen für die Einkopplung in die modellbasierte Regelung: Mehrere Ansätze zur flexiblen Modellierung von Mikrostrukturmodellierung (SRFs, pluri-Gauss Felder, punktprozessbasierte Mosaikgeneration,...) wurden implementiert, auf Performanz getestet, sowie Al-basierte-Methoden zur Anpassung an beobachtete Partikelpopulationen entwickelt und mittels SiL (Software in the loop) getestet. Eine Methode zur Anpassung von Trennprozessmodellen an Beobachtungsdaten wurde erfolgreich an Rezyklaten getestet (MS3.2). Ein gamefizierter auf solchen Modellen basierender Prozesssimulator erlaubt es bereits jetzt die Vorteile flexibler Verarbeitung zur Schließung zusätzlicher Wertstoffkreisläufe auch nichttechnischen Stakeholdern zu demonstrieren (AP3.4). Der nächste Schritt ist die Umsetzung im Pilotmaßstab: Die Komponenten der noch aufzubauenden Anlagen im Pilotmaßstab (Demonstrator und W2C) wurden ausgelegt (z.B. Anlagen, Transportsystem, Katalysatoren (MS2.3), ...) und bestellt. Für den „Demonstrator“ (AP1.1) konnten Mittel für zusätzliche Subsysteme eingeworben werden (Projekt WEEE2REE), sodass für die Praxis relevantere Experimente zur Rückgewinnung strategischer Metalle möglich sein werden. Leider verzögert sich dadurch die Fertigstellung des Gesamtsystems, da ein neuer Standort für die größere Anlage gefunden werden musste. Mit Wiederaufnahme des Teilbetriebs ist im 3. Quartal 2025 zu rechnen, mit Fertigstellung im 4. Quartal 2026. Der Laboraufbau für Hydrierungen im Batchmodus wurde für Pyrolyseöle aus Biomasse und aus Kunststoff aufgebaut (AP1.3) und ist erfolgreich in Betrieb (MS1.4). Aufgrund der Liefersituation werden die Komponenten der W2C-Anlagen (AP1.3) erst bis zum 3. Quartal 2025 erwartet und die Inbetriebnahme am KIT wird erst nach Montageabschluss im 1. Quartal 2026 erfolgen.

A.2.1.7.5.2 Innovationsplattform Solar TAP

Die Innovationsplattform Solar TAP (TAP: Technology Acceleration Platform) wurde 2023 in Zusammenarbeit der Forschungszentren HZB, KIT und FZJ gegründet. Im Jahr 2024 hat sich Solar TAP erheblich weiterentwickelt. Ziel von Solar TAP ist es, den Technologietransfer im Bereich der Photovoltaik zu beschleunigen, insbesondere bei gedruckten „Emerging PV“ Technologien auf Basis von Perowskiten und organischen Halbleitern, für die Integration in Multi-Benefit PV-Anwendungen wie Agrivoltaik, gebäudeintegrierte Photovoltaik und mobile Anwendungen.

Nach Abschluss eines Kooperationsvertrags zwischen den beteiligten Zentren können die bestehenden Forschungsinfrastrukturen der Zentren als gemeinsame Plattform für Transferprojekte mit Industriepartnern im Bereich der Multi-Benefit PV genutzt werden. Ergänzend dazu wurde ein Industrienetzwerk gegründet, dem mittlerweile fast 30 Unternehmen aus verschiedenen Abschnitten der Wertschöpfungskette angehören. Innerhalb des Industrienetzwerks wurde ein neues Kooperationsmodell, die „Sondierenden Innovationsaktivitäten“ (EIA), entwickelt, das von allen Zentren zu gleichen Bedingungen für die Zusammenarbeit mit den Netzwerkpartnern angeboten wird. Dies erleichtert den schnellen Start von Kooperationsprojekten erheblich.

Um den Transfer gezielt zu gestalten und die Unternehmen einzubeziehen, wurde gemeinsam mit den industriellen Partnern eine Roadmap für die Entwicklung der Anwendungen erstellt. Gleichzeitig wurden übergreifend gemeinsame „Baselines“ für aktuelle Technologien entwickelt, um die Transferierbarkeit und Reproduzierbarkeit von Prozessen und Gerätearchitekturen zu demonstrieren und zu erleichtern. Ein Stage-Gate-Prozess wurde ausgearbeitet, mit dem sich die Technologiereife der Technologien transparent einordnen lässt. Darüber hinaus wurden im Rahmen von Solar TAP mehr als 30 Projekte mit unterschiedlichen Partnerkonstellationen und Themen initiiert.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit von Solar TAP ist die Öffentlichkeitsarbeit. Durch eine Vielzahl an aktiven Beiträgen zu Ausstellungen auf Messen (>8), Konferenzen (>40), Netzwerktreffen und Workshops (>10) sowie Trainings kam es zum Austausch mit weit über 100 Unternehmen. Hervorzuheben sind insbesondere die vier durch die Plattform organisierten Industry Days. Diese Veranstaltungen bieten wertvolle Möglichkeiten für Networking und Zusammenarbeit mit Branchenführern. Über die Internetpräsenz und den Social-Media-Kanal auf LinkedIn werden regelmäßig mehr als 1.000 Kontakte über die Aktivitäten des Netzwerks informiert.

A.2.2 Überblick zu Helmholtz Information

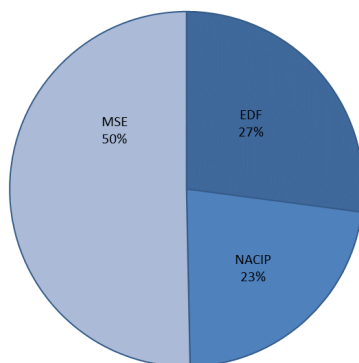
A.2.2.1 Bericht der Forschungsbereichsordinatorin an den Senat

Siehe Anhang.

A.2.2.2 Rolle des Zentrums im Forschungsbereich

Helmholtz Information ist eingeteilt in drei Programme mit 14 Topics unter Beteiligung der Zentren FZJ, KIT, Hereon und HZB. Die Programme Engineering Digital Futures (EDF), Natural, Artificial and Cognitive Information Processing (NACIP) und Materials Systems Engineering (MSE) arbeiten an den Prinzipien der Informationsdarstellung, -übertragung, -speicherung und -verarbeitung. Das KIT ist an allen drei Helmholtz-Programmen (in zwölf Topics) beteiligt und in Federführung des Programms MSE.

Programmanteile des KIT in Helmholtz Information



Anteile des KIT an Helmholtz Information

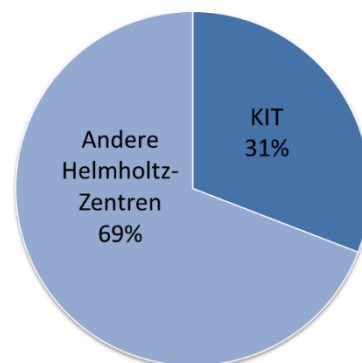


Abbildung 6: Programmanteile des KIT in Helmholtz Information

Die Kompetenzen des KIT liegen in den Gebieten des datenintensiven Rechnens, des Daten-Managements, der IT-Sicherheit, der Technikfolgenabschätzung, der Bio- und Quantentechnologie, der Mikro- und Nanoelektronik, der Optik und Photonik sowie der Materialwissenschaften. Zudem betreibt das KIT in diesem Forschungsbereich die Forschungsinfrastruktur Karlsruhe Nano Micro Facility for Information (KNMFi), die einen offenen Zugang zu einem breiten Portfolio von wichtigen und wesentlichen High-End-Geräten, komplexen Prozessketten zur Strukturierung und Charakterisierung von funktionalen Materialien, Komponenten und Systemen im Mikro- und Nanobereich anbietet.

Zur Stärkung der Querverbindungen zwischen den Programmen und z.T. auch mit anderen Forschungsbereichen wurden vier Joint Labs (JL) eingerichtet: Virtual Materials Design (VMD), Model and Data Driven Material Characterization (MDMC), Exascale Earth System Modelling (ExaESM) und Supercomputing and Modeling for the Human Brain (SMHB). Letzt-genanntes ist ohne Beteiligung des KIT, wohingegen die Aktivitäten von VMD unter Federführung des KIT laufen und den Forschungsansatz der schon in der PoF III am KIT gestarteten VirtMat-Initiative aufgreifen, die auch in der PoF IV als Beitrag des KIT des JL weitergeführt wird. Hinzu

kam ein sogenanntes flexibles Joint Lab, das im Berichtsjahr aus dem Innovationspoolprojekt „Helmholtz Platform for Research Software Engineering – Preparatory Study“ (HiRSE_PS) für die restliche PoF IV etabliert wurde. Alle Joint Labs erhalten über den Innovationspool eine Anschubfinanzierung.

Im Rahmen des Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft werden derzeit verschiedene Projekte aus dem Helmholtz-Inkubator „Information & Data Science“ für insgesamt drei Jahre gefördert. Im Rahmen der FB-übergreifenden Plattformen Helmholtz Imaging Plattform (HIP), Helmholtz Metadata Collaboration (HMC) und Helmholtz AI gab es die Ausschreibungen zum jährlichen Call zur Förderung disruptiver und kollaborativer Projekte (high-risk-high-gain). Helmholtz-weit wurden 2024 für HMC 21 und für HIP 19 Projekte eingereicht, davon acht bzw. drei mit Beteiligung des KIT. In dieser Ausschreibungsrunde konnten sich von insgesamt acht (HMC) bzw. fünf (HIP) geförderten Projekten zwei Anträge bzw. ein Antrag mit Beteiligung des KIT durchsetzen. Damit erhält das KIT für seine Beteiligung an der Ausschreibung insgesamt eine Fördersumme in Höhe von ca. 286.000 Euro aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds. Das Ergebnis der Ausschreibung von Helmholtz AI steht noch nicht fest. Das KIT ist an 14 Anträgen beteiligt.

Das multidisziplinäre Karlsruhe Center of Optics und Photonics (KCOP) am KIT soll eine international herausragende Forschungsplattform auf dem Gebiet der Optik und Photonik bilden. Das Budget für das Projekt KCOP wurde von 49,88 Mio. Euro auf 53,35 Mio. Euro erhöht und wird am KIT als strategische Ausbauinvestition (> 15 Mio. Euro) seit 2019 realisiert. Am 1. Dezember 2023 fand das Richtfest von KCOP statt, und im Berichtsjahr ist der Bau zeitplangemäß fortgeschritten. Die Bauphase soll Mitte 2025 beendet sein und die Inbetriebnahme zu Beginn des Jahres 2026 erfolgen. Das KCOP wird fortgeschrittene (Reinraum-)Infrastruktur für Forschungsaktivitäten von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung in den Feldern Quantitative Lebenswissenschaften, Nanophotonik für die Energiewandlung, Teratronik, hoch entwickelte Detektor- und Sensorsysteme und photonische Nanofabrikation zur Verfügung stellen. Die geplante Forschungsinfrastruktur unterstützt so die Forschung an den Schnittstellen verschiedener Disziplinen und entlang von Wertschöpfungsketten.

Engineering Digital Futures (EDF)

Das Hauptziel des Programms besteht darin, Lösungen für die methodologischen, technischen, instrumentellen, organisatorischen und gesellschaftlichen Herausforderungen zu entwickeln, mit denen moderne Wissenschaft, Technik, Industrie und Gesellschaft im Zeitalter der digitalen Transformation konfrontiert sind. Das KIT bearbeitet zusammen mit dem FZJ Topic 1 „Enabling Computational- & Data-Intensive Science and Engineering“ und in Federführung das Topic 3 „Engineering Secure Systems“ und das Topic 4 „Knowledge for Action“. Das KIT bringt im Topic 1 seine interdisziplinäre Simulation & Data Life Cycle Labs sowie Algorithmen- und Methodengruppen ein, wobei Forschungsdatenmanagement, föderierte Dateninfrastrukturen, skalierbare Algorithmen, Künstliche Intelligenz, Maschinelles Lernen und Datenanalyse eingesetzt werden, um aus großen und heterogenen wissenschaftlichen Daten und datengestützter Modellierung Mehrwerte für Wissenschaft, Technologie und Gesellschaft zu schaffen. Im Rahmen der Umstrukturierung des Forschungsbereichs Information wurde am KIT das Kompetenzzentrum KASTEL mit seinen Aktivitäten als eigenständiges Topic 3 in das Programm integriert, um sich mit der Entwicklung sicherer Systeme für kritische Infrastrukturen auseinanderzusetzen. Dazu existieren am KIT drei methodenfokussierte Forschungsgruppen und drei domänenspezifische Security Labs. Die Arbeiten des Topics 4 waren in der PoF III innerhalb des Programms Technology, Innovation and Society (TIS) zu finden. Das Topic beschäftigt sich mit der Untersuchung der digitalen Transformation mittels Technikfolgenabschätzung (TA) und Responsible Research and Innovation (RRI). Dazu wird fallstudienbasierte thematische sowie

methodenorientierte Forschung durchgeführt, um geeignete Handlungs-strategien durch Dialog mit und Wissenstransfer in Politik und Gesellschaft zu ermöglichen.

Natural, Artificial and Cognitive Information processing (NACIP)

Dieses Programm befasst sich mit der Erforschung grundlegender Prinzipien der Informationsverarbeitung mit dem Ziel, diese in der Entwicklung neuer Technologien sowie neuer Methoden in Forschung und Medizin einzusetzen. Das Programm gliedert sich in fünf Topics mit interdisziplinären Ansätzen, die von der Quantentechnologie über biologische Systeme bis hin zu neuromorphen Prozessen des Gehirns reichen. Das KIT ist an drei der fünf Topics beteiligt: „Quantum Materials“, „Quantum Computing“ und „Molecular and Cellular Information Processing“. Die Kompetenzen des KIT reichen von der Grundlagenforschung zum tiefen Verständnis von emergenten Quantenphänomenen bei Materialien und Molekülen über die Erforschung von Qubits zur Entwicklung neuartiger Quantencomputer bis hin zur Entschlüsselung der Mechanismen des molekularen und zellulären Rechnens und der kooperativen Informationsverarbeitung in zellulären Netzwerken. Zur Stärkung der Programmaktivitäten unterstützt NACIP die Initiative VirtMat, die als Grundlage des Joint Labs VMD angesehen werden kann.

Materials Systems Engineering (MSE)

Übergeordnetes Ziel des Programms MSE ist die Entwicklung und Integration informationsgestützter Techniken in Materialdesign, -entwicklung und -verarbeitung. Das KIT ist an allen fünf Topics beteiligt, an vieren davon mit (Co-)Verantwortlichkeit des KIT. Die Arbeiten in den Topics „Functionality by Information-Guided Design: From Molecular Concepts to Materials“, „Optics & Photonics: Materials, Devices, and Systems“, „Adaptive and Bioinstructive Materials Systems“, „Scale-Bridging Designed Materials: From Fundamentals to Systems“ und „Materials Information Discovery“ reichen von der Grundlagenforschung bis zu Hochtechnologien und integrierten Systemen. Die Forschungsstrategie besteht darin, mittels Funktionalität durch computergestütztes Design, informationsgetriebenes Materialgrenzflächen- und Prozessdesign, Kombination von biologischen und künstlichen Werkstoffen sowie eine skalenübergreifende Fertigung unter Berücksichtigung von Lebenszyklusaspekten neue Materialien und Materialkonzepte zu entwickeln. Zur Stärkung der Forschung am virtuellen Materialdesign betreibt MSE die Initiative VirtMat, die Keimzelle des Joint Labs VMD.

A.2.2.3 Programmanteil Engineering Digital Futures (EDF)

A.2.2.3.1 Das Programm im Überblick

Ziele und Einbettung in den Forschungsbereich

Das Programm „Engineering Digital Futures (EDF): Supercomputing, Data Management and Information Security for Knowledge and Action“ bildet einen Kern von Helmholtz Information. Das Hauptziel des Programms besteht darin, Lösungen für die methodologischen, technischen, instrumentellen, organisatorischen und gesellschaftlichen Herausforderungen zu entwickeln, mit denen moderne Wissenschaft, Technik, Industrie und Gesellschaft im Zeitalter der digitalen Transformation konfrontiert sind. Die schiere Menge an realen und simulierten Daten sowie die rasant wachsende Komplexität der Informationssysteme erfordern vollkommen neue

Herangehensweisen an das Management und die Verarbeitung dieser Forschungsdaten. Aus einem tieferen Verständnis von Daten und Modellen, wie es durch Analyse und Simulation möglich wird, ergeben sich vielfältige neuartige Nutzungsmöglichkeiten. Dieser Ansatz ist heute Haupttreiber für Innovation und Wertschöpfung. Sichere Informationssysteme sowie die Vertrauenswürdigkeit in und die Überprüfbarkeit von digitalen Informationen, wie sie innerhalb des Programms erforscht werden, bilden die Basis für einen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Nutzen der digitalen Transformation sowie zur Absicherung und Abwehr von Gefahren für unsere Infrastruktur. Vor diesem Hintergrund ist eine wissenschaftliche und technologische Führungsrolle in den Bereichen Big Data, IT-Sicherheit, Künstlicher Intelligenz und Supercomputing anzustreben. Ziel des Programms ist es, die technischen Voraussetzungen für den Zugang zu kommenden modularen Exascale-Rechnern und europaweit förderierter Dateninfrastrukturen sowie für die Unterstützung bei deren Nutzung zu schaffen. Darüber hinaus soll mit neuromorphen Rechnern und Quantencomputern *terra incognita* für das Computing der Zukunft erschlossen werden. Neue Konzepte für die Technikfolgenabschätzung bilden die Grundlagen, um Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft auf die zukünftigen Herausforderungen in der digitalen Transformation vorzubereiten. Integraler Bestandteil aller Vorhaben sind interdisziplinäre Partnerschaften sowohl zwischen den Topics des Programms als auch mit den weiteren Programmen im Helmholtz Information sowie forschungsbereichsübergreifend und darüber hinaus der Wissens- und Technologietransfer in Forschung, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft.

Programmstruktur

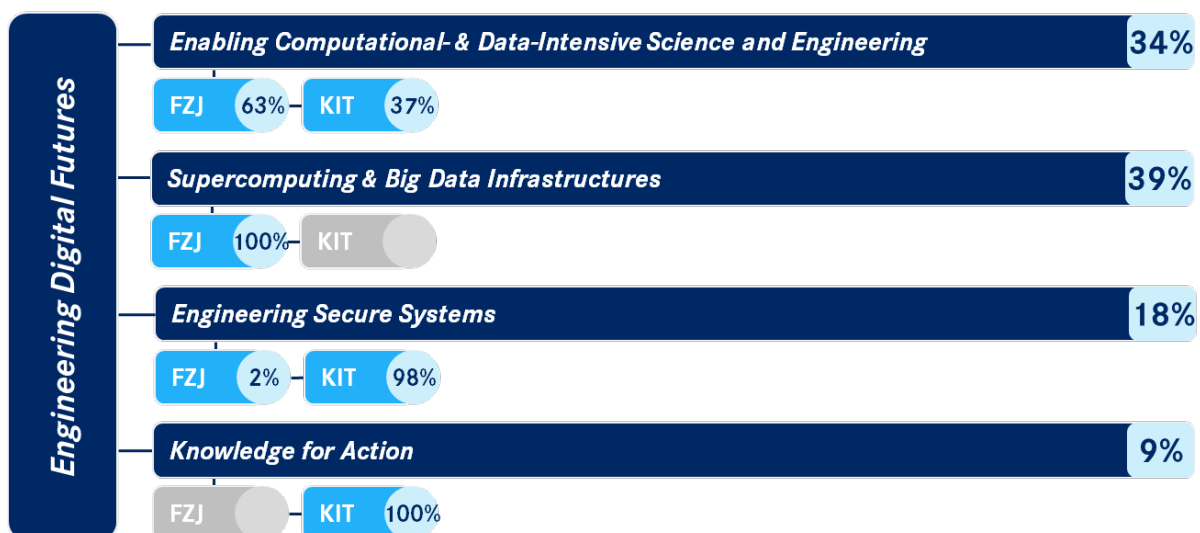


Abbildung 7: Programmstruktur EDF

Das Programm gliedert sich in:

Topic 1: Enabling Computational- & Data-Intensive Science and Engineering
(Sprecherin des Topic-Boards: Prof. Dr. Kristel Michielsen, FZJ)

Das Hauptziel des Topic 1 besteht darin, aus großen und heterogenen wissenschaftlichen Daten, datengestützter Modellierung und komplexen Theorien einen Mehrwert für Wissenschaft, Technologie und Gesellschaft zu schaffen, wobei Forschungsdatenmanagement, Dateninfrastrukturen, skalierbare Algorithmen hin zu Exascale, Maschinelles Lernen und Datenanalyse eingesetzt und neue bahnbrechende Technologien wie Quantencomputing und neuromorphes Rechnen einbezogen werden.

Topic 2: Supercomputing & Big Data Infrastructures
(Sprecherin des Topic-Boards: Prof. Dr. Estela Suarez, FZJ)

Die Arbeiten im Topic 2 zielen darauf ab, Simulations- und Dateninfrastrukturen der höchsten Leistungsklasse zu entwickeln, zu beschaffen, zu betreiben und zu unterstützen sowie die wissenschaftsgeleitete Bereitstellung zu gewährleisten. Exascale-Dateninfrastrukturen werden auf nationaler und europäischer Ebene gebündelt, und Exascale-basierte Technologien werden mit führenden Herstellern entwickelt und in die innovative Modulare Supercomputerarchitektur (MSA) integriert. Auch Quantencomputerarchitekturen und künftige neuromorphe Systeme sollen mit eingebunden werden und werden so die Vision eines hybriden Supercomputers verwirklichen.

Topic 3: Engineering Secure Systems
(Sprecher des Topic-Boards: Prof. Dr. Jörn Müller-Quade, KIT)

Das Topic 3 befasst sich mit der ingenieurwissenschaftlich geprägten Entwicklung sicherer Systeme für kritische Infrastrukturen. Um dieses Ziel zu erreichen, betreibt das Topic drei methodenfokussierte Forschungsgruppen (zu sicheren Berechnungen und sicherer Kommunikation, zu menschlichen und gesellschaftlichen Faktoren sowie zur Quantifizierung von Sicherheit) und drei domänenspezifische Security Labs zu den Anwendungsgebieten Energie, Mobilität der Zukunft und industrielle Produktion. Der stark interdisziplinär geprägte Transfer aus der Methodenentwicklung in praktische Anwendungen der kritischen Infrastruktur stellt dabei ein Alleinstellungsmerkmal des Topics dar.

Topic 4: Knowledge for Action
(Sprecher des Topic-Boards: Prof. Dr. Armin Grunwald, KIT)

Im Topic 4 werden Digitalisierung und digitale Transformation als technowissenschaftliche und soziale Phänomene unter Anwendung fortgeschrittener Konzepte von Technikfolgenabschätzung (TA) und Responsible Research and Innovation (RRI) untersucht. Dazu werden fallstudienbasierte thematische sowie methodenorientierte Forschung durchgeführt, mit deren Resultaten Innovationsakteure die digitale Transformation in verschiedenen Anwendungsfeldern besser verstehen, gestalten und geeignete Handlungsstrategien entwickeln können. In diesem Sinne sind Wissenstransfer an und Dialog mit Politik und Gesellschaft inhärent zum Topic und eng mit seiner Forschung verwoben.

Neue strukturelle Entwicklungen und veränderte Rahmenbedingungen

Am 1. August 2024 wurde am SCC des KIT eine neue Forschungsgruppe „Methods for Big Data“ (mit einer W3-Professur für Informatik) an der Schnittstelle von Statistik und Informatik in Topic 1, Subtopic 2, eingerichtet, wie im PoF-Antrag vorgeschlagen.

Das Innovationspool-Projekt zum Thema „Research Software Engineering“ (HiRSE_PS) wurde in ein flexibles Joint Laboratory umgewandelt, das unter dem Namen „Helmholtz Information - Research Software Engineering“ (HiRSE) firmiert. Weitere Informationen sind in Kapitel A.2.2.3.4, Unterpunkt „Vernetzung“ zu finden.

A.2.2.3.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms

Highlight Topic 1: Effiziente datengesteuerte Modelle für wissenschaftliche Anwendungen

Die Nutzung datengesteuerter Modelle für wissenschaftliche und technische Anwendungen, insbesondere für die Energieforschung und die Erdsystemwissenschaften, ist zunehmend von Interesse und vielversprechend. Eine Reihe innovativer Modelle unterstützt die Umsetzung der Energiewende hin zu erneuerbaren Energiequellen [1, 2], verbessert die Atmosphärenwissenschaften durch schnelle und effiziente Wettervorhersagen [3] oder verbessert sogar die Möglichkeiten der medizinischen Bildgebung [4]. Diese Fortschritte gehen jedoch mit einem steigenden Bedarf an Rechenressourcen einher, insbesondere während der Entwicklungs- und Trainingsphase. In diesem Zusammenhang muss eine nachhaltige und effiziente Entwicklung dieser wissenschaftlichen datengesteuerten Modelle betont werden. Daher generieren die neuen Modelle nicht nur tiefgreifende Erkenntnisse mit hoher Vorhersagegenauigkeit, sondern überwachen auch die Nutzung von (Rechen-)Ressourcen und optimieren die damit verbundenen Auswirkungen.

- [1] D. A. To, J. Quinting, G. A. Hoshyaripour, **M. Götz, A. Streit, C. Debus**,. *Architectural Insights and Training Methodology Optimization of Pangu-Weather*. *EGUsphere*, 2024, (pp. 1-15), (2024), <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-1714>
- [2] M. Pargmann, **J. Ebert, M. Götz, D. Maldonado Quinto, R. Pitz-Paal, S. Kesselheim**, *Automatic heliostat learning for in situ concentrating solar power plant metrology with differentiable ray tracing*. *Nature Communications*, 15(1), 6997, (2024), <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51019-z>
- [3] J. Debus, **C. Debus, G. Dissertori, M. Götz**, *PETNet – Coincident Particle Event Detection using Spiking Neural Networks*, In *2024 Neuro Inspired Computational Elements Conference (NICE)* (pp. 1-9). IEEE, (2024), <https://doi.org/10.1109/NICE61972.2024.10549584>
- [4] A. Weyrauch, T. Steens, O. Taubert, B. Hanke, A. Egbal, E. Götz, A. Streit, M. Götz, C. Debus, *ReCycle: Fast and Efficient Long Time Series Forecasting with Residual Cyclic Transformers*. In *2024 IEEE Conference on Artificial Intelligence (CAI)*, (pp. 1187-1194), (2024), <http://dx.doi.org/10.1109/CAI59869.2024.00212>

Highlight 1 Topic 3: Adversarial Attacks und robuste Perzeptionsmethoden für autonomes Fahren

Eine effektive Ampelerkennung ist eine entscheidende Komponente der Perzeption in autonomen Fahrzeugen. Im Rahmen des Sicherheitslabors für Mobilitätssysteme entwickeln Forschende ein neuartiges Deep-Learning-Perzeptionsmodul und testen es ausgiebig im realen Straßenverkehr [5]. Leider sind aktuelle Lösungen oft nicht robust gegen Angriffe, und bestehende Verteidigungsmaßnahmen, die auf erklärbarer KI (explainable AI; XAI) basieren, sind nicht so effektiv wie ursprünglich angenommen [6]. Daher werden am KIT Mittel und Methoden

untersucht, die die Sicherheit der Ampelerkennung erhöhen können. So zeigen die Forschenden beispielsweise, dass „Mixture of Expert“-Modelle (MoE) für die semantische Segmentierung von Verkehrsszenen robuster gegenüber instanzbezogenen und universellen White-Box-Eingabemanipulationsangriffen und Übertragungsangriffen sind [7]. Darüber hinaus entwickelt das Forschungsteam Ansätze, um Modellmanipulationsangriffen zu widerstehen, die während des Modelltrainings durch Datenvergiftung eingeführt werden [8]. In Kombination verschieben diese Techniken die Grenzen für eine zukünftige, gegenüber Adversarial Attacks robuste Perzeption des autonomen Fahrens.

- [5] **N. Polley, S. Pavlitska, Y. Boualili, P. Rohrbeck, P. Stiller, A.K. Bangaru, J.M. Zöllner**, TLD-READY: Traffic Light Detection. – Relevance Estimation and Deployment Analysis. *IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, in press (2024), <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.07284>
- [6] **M. Noppel, C. Wressnegger**, SoK: Explainable Machine Learning in Adversarial Environments, *2024 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, 2441–2459, (2024), <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/SP54263.2024.00021>
- [7] **S. Pavlitska, E. Eisen, J.M. Zöllner**, Towards Adversarial Robustness of Model-Level Mixture-of-Experts Architectures for Semantic Segmentation, *IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, in press (2024), <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.11608>
- [8] Q. Zhao, **C. Wressnegger**, Two Sides of the Same Coin: Learning the Backdoor to Remove the Backdoor, *Proceedings of the 39th Annual AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI)*, in press (2024)

Highlight 2 Topic 3: Veröffentlichungen auf der ICSE 2024, der führenden Konferenz für Softwareentwicklung

Auf der renommierten ICSE-Konferenz (IEEE/ACM International Conference on Software Engineering), dem wichtigsten Treffpunkt für Software-Engineering-Forschung, die im Jahr 2024 in Lissabon stattfand, wurden drei herausragende Publikationen [9, 10, 11] vorgestellt, die innovative Beiträge zur Software-Engineering-Forschung präsentierten. Die Forschung präsentiert neuartige Ansätze zur Plagiatserkennung in der Softwareentwicklung und Ausbildung. Eine sprachunabhängige Methode verhindert effektiv automatisierte Verschleierungsangriffe von Plagiatsgeneratoren und hält gleichzeitig die Falsch-Positiv-Rate niedrig. Ein weiterer Ansatz kombiniert die automatisierte Analyse mit menschlicher Überprüfung, um Plagiate in modellbasierten Artefakten wie Diagrammen zu erkennen, selbst wenn diese mit KI-Tools wie ChatGPT verschleiert wurden. Beide Methoden weisen im Vergleich zum Stand der Technik deutlich höhere Erkennungsraten und eine höhere Widerstandsfähigkeit gegen automatisierte Angriffe auf.

- [9] **T. Sağlam, M. Brödel, L. Schmid, S. Hahner**, Detecting Automatic Software Plagiarism via Token Sequence Normalization, *2024 IEEE/ACM 46th International Conference on Software Engineering (ICSE)*, 1384–1396 (2024), <https://doi.org/10.1145/3597503.3639192>.
- [10] J. Keim, **S. Corallo, D. Fuchß, T. Hey, T. Telge, A. Koziol**, Recovering Trace Links between Software Documentation and Code, *2024 IEEE/ACM 46th International Conference on Software Engineering (ICSE)*, 2655–2667 (2024), <https://doi.org/10.1145/3597503.3639130>.
- [11] **T. Sağlam, L. Schmid, S. Hahner, E. Burger**, Automated Detection of AI-Obfuscated Plagiarism in Modeling Assignments, *ICSE-SEET '24: Proceedings of the 46th International Conference on Software Engineering: Software Engineering Education and Training*, 297–308 (2024), <https://doi.org/10.1145/3639474.3640084>.

Highlight 1 Topic 4: Umfassender Überblick über Praktiken, Theorien, Methoden und Kulturen der Technikfolgenabschätzung veröffentlicht

Im November 2024 wurde das „Handbook of Technology Assessment“ veröffentlicht [12], das vom Koordinator des Topic 4 herausgegeben wurde und zahlreiche Beiträge von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Topic 4 enthält. Es bietet einen umfassenden Überblick über die Praktiken, Theorien, Methoden und Kulturen der Technikfolgenabschätzung (TA) auf der ganzen Welt. Es hebt den bedeutenden Einfluss der sich schnell verändernden Technologie auf das menschliche Leben und die menschliche Entwicklung hervor und untersucht

verschiedene Perspektiven, wie die TA weiterentwickelt werden kann, um den Herausforderungen der Zukunft besser zu begegnen.

Expertinnen und Experten aus Europa und der ganzen Welt analysieren sowohl die Theorie als auch die Methodik und untersuchen die tiefgreifenden Veränderungen, die durch technologische Fortschritte auf individueller, kollektiver und globaler Ebene verursacht werden. Sie identifizieren Ansätze und Methoden, die zu fundierten, durchdachten Entscheidungen über Technologie und den verantwortungsvollen Umgang mit ihren Folgen führen können. In weiteren Kapiteln werden eine Vielzahl von TA-Anwendungen in unterschiedlichen kulturellen Kontexten sowie in verschiedenen Bereichen untersucht, darunter KI, Klimatechnik, Gesundheitswesen und Arbeitswelt. Das Handbuch ist nicht nur eine wertvolle Ressource für Forschende und Praktizierende der Technikfolgenabschätzung, sondern auch ein wichtiger Leitfaden für Studierende der Wissenschafts- und Technikforschung, der Technikethik, der Risikobewertung und der Responsible Research and Innovation.

[12] **A. Grunwald** (Ed.), *Handbook of Technology Assessment 2024*, Edward Elgar Publishing, <https://doi.org/10.4337/9781035310685>.

Highlight 2 Topic 4: Neuartige soziotechnische Perspektive auf Sicherheitsdesign-Prinzipien der KI

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Topics 1 und 4 untersuchten gemeinsam autonome Systeme, die durch KI ermöglicht werden, und wie sie mit Blick auf die Sicherheitsaspekte gestaltet werden können. Bestehende Gestaltungsprinzipien sind in der Regel sehr abstrakt und konzentrieren sich auf KI-Systeme in Isolation. Sie berücksichtigen selten die negativen Auswirkungen auf die Sicherheit, die sich aus soziotechnischen Interaktionen ergeben können.

In einer neuen Open-Access-Publikation [13] präsentierte das Forschungsteam die Ergebnisse einer explorativen Schreibtischstudie von Originalforschungs- und Review-Artikeln, die in einem Peer Review unterzogen wurden. Die Analyse wurde in einen kontinuierlichen Dialog zwischen den drei Soziologinnen und Soziologen und zwei Informatikern/KI-Beratern integriert. Sie schlugen fünf Deskriptoren zur Identifizierung struktureller Schwachstellen vor und stützten sich dabei auf die Ergebnisse ihrer gemeinsamen Analyse sowie auf Organisationstheorien. Sie wandten diese Deskriptoren auf den Fall von Mikronetzen an, die von KI-Steuerungen betrieben werden sollen, und reflektierten über die Rolle von KI-Praktikerinnen und Praktikern sowie Fachexpertinnen und -experten bei der sorgfältigen Gestaltung einer solchen Veränderung.

Der Artikel schließt mit einer Vorlage zur Überprüfung und Reflexion sicherer Designentscheidungen und schlägt Gegenmaßnahmen vor, die dazu beitragen, strukturelle Schwachstellen zu vermeiden. Letztendlich kann dieser Ansatz als Orientierung für Beratungen zwischen mehreren Interessengruppen mit interdisziplinärem Hintergrund dienen und bietet eine Anleitung für die Gestaltung von Systemen, die durch KI-Steuerungen verbessert werden, um den Prozess für die Sicherheit zu organisieren.

[13] **A. Gazos, J. Kahn, I. Kusche, C. Büscher, M. Götz**, *Organising AI for safety: Identifying structural vulnerabilities to guide the design of AI-enhanced socio-technical systems*, *Safety Science* 184 (2025), 106731, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106731>.

A.2.2.3.3 *Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen*

Die Ziele des vorgeschlagenen Programms sind eine starke Basis für die rechnergestützte Arbeit in Helmholtz Information und darüber hinaus. Es soll zum Wissenszentrum im Bereich Supercomputing für die Helmholtz-Gemeinschaft insgesamt und vorzugsweise für Deutschland werden. Es ist wichtig, in verschiedenen Bereichen Wirkung zu erzielen.

Wie in den Programmfortschrittsberichten 2021, 2022 und 2023 erwähnt, kann diese Empfehlung als Anerkennung der potenziell großen und translationalen Wirkung des einzigartigen interdisziplinären Ansatzes von Topic 1 gesehen werden. Der Ansatz, in verschiedenen (wissenschaftlichen) Bereichen Wirkung zu erzielen, motiviert die breite Palette der unterstützten Anwendungswissenschaften und verwirklicht das entsprechende Element der Helmholtz-Mission auf sinnvolle und sichtbare Weise als eine der Stärken von Topic 1.

Weitere wichtige Aspekte des Community-Engagements sind auch Bemühungen im Zusammenhang mit Talentmanagement, Vernetzung und Kooperation sowie Kooperationen mit der Industrie und Nutzenden. Helmholtz Information ist ein zentrales Element, das Forschenden aus allen Forschungsbereichen und Industriekunden Ressourcen, Unterstützung und Wissen zur Verfügung stellt und mit ihnen auch in gemeinsamen Projekten zusammenarbeitet.

Die Aktivität zur Cybersicherheit soll den Fokus auf nutzbare Sicherheit verstärken und die Interaktion mit der Industrie stärken. Eine Integration des neuen Zentrums für Cyber-Sicherheitsforschung in das Programm kann die Bemühungen weiter fördern.

Im Rahmen des Programms EDF lag der Schwerpunkt von Topic 3 auf „nutzbarer Sicherheit“, indem bei allen Aktivitäten der Ansatz „Human-Centered Security by Design“ verfolgt wurde. Dieser Schwerpunkt wird interdisziplinär mit dem Fachwissen der beteiligten Disziplinen Informatik, Ingenieurwesen und Rechtswissenschaften umgesetzt. Wesentlich ist dabei, dass unterschiedliche Zielgruppen angesprochen werden, die mit Problemen der Datensicherheit konfrontiert sind.

Mit dem FZI Forschungszentrum Informatik und dem Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB) verfügt Topic 3 zudem über wichtige Kooperations- und Transferpartner mit engen Industriekontakten. Die Kooperationsprojekte mit SAP SE (Secure Federated Machine Learning, Security & Compliance Automation), IBM Research, Zürich (Group Verifiable Random Functions) und NEC Laboratories Europe (Repliable Onion Routing) wurden fortgesetzt. Die bestehenden Kooperationen mit der Industrie wurden ebenfalls weiter ausgebaut, wie die unter der Überschrift „Technologietransfer“ in Kapitel A.2.2.3.4 näher beschriebene Zusammenarbeit mit der Mercedes AG oder der ABB Asea Brown Boveri Ltd, Zürich, zeigt.

Die Zusammenarbeit mit dem CISP – Helmholtz-Zentrum für Informationssicherheit dauert an. Derzeit liegt der Schwerpunkt auf der Nutzung von Quantenzuständen in der Kryptographie, um starke Sicherheitsgarantien auf der Grundlage physikalischer Eigenschaften zu erreichen. Darüber hinaus werden auf Arbeitsebene mehrere Forschungsprojekte mit Schwerpunkt auf IT-Sicherheit in Zusammenarbeit zwischen dem KIT und dem CISP durchgeführt.

Das Programm soll die einzelnen Themen enger mit übergreifenden Aktivitäten wie Ethik/Technikfolgenabschätzung und Sicherheit verbinden. Nahezu alle Themen haben entsprechende Fragestellungen.

Wie im Programmfortschrittsbericht 2023 dargelegt, wird diese Empfehlung als vollständig umgesetzt angesehen, soweit dies unter den gegebenen Einschränkungen möglich ist.

Helmholtz könnte zu einem nationalen Think Tank für digitale Fragen werden und die Führung in Daten-einbeziehenden Konzepten übernehmen. Die Gruppe soll sich mit grundlegenden Fragen wie dem Dateneigentum befassen. Die Verbindung zu Gesundheitsdaten sollte etabliert/verstärkt werden.

Das Programm EDF begrüßt diese Empfehlung sehr, da sie alle vier Topics gleichermaßen anspricht und einbezieht. Wie im Programmfortschrittsbericht 2023 erläutert, kann dieses Programm allein nicht dafür sorgen, noch ehrgeiziger zu sein und neue Organisationsstrukturen aufzubauen. Um das ehrgeizige Ziel der Einrichtung eines „nationalen Think Tanks“ zu erreichen, müsste der organisatorisch-kontextuelle Rahmen unseres Erachtens höher angesetzt werden – zumindest auf der Ebene der gesamten Helmholtz-Gemeinschaft. Daher sollte die Empfehlung als vollständig umgesetzt innerhalb der Möglichkeiten innerhalb einer laufenden Programmperiode betrachtet werden.

Die Bindung von Talenten erfordert höchste Aufmerksamkeit, und das Programm soll sich dem internationalen Wettbewerb um Expertinnen und Experten auf diesem Gebiet bewusst sein. Es sollen Mechanismen zur Honorierung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie zur Anerkennung des Stellenwerts des „Services“ bei Bewertungen und Belohnungsprozessen eingerichtet werden.

Diese Empfehlung wurde in den Programmfortschrittsberichten 2021, 2022 und 2023 ausführlich kommentiert, und die etablierten Formate werden erfolgreich fortgeführt, ständig überwacht und angepasst. Mit allen in der Vergangenheit gemeldeten Angeboten, Möglichkeiten und Maßnahmen gilt diese Empfehlung als vollständig umgesetzt, wie im Programmfortschrittsbericht 2023 dargelegt.

A.2.2.3.4 Strategische Themen

Talentmanagement

Das „Computational and Mathematical Modeling Program“ (CAMMP) am KIT bietet eine Vielzahl von Aktivitäten für Schülerinnen und Schüler sowie für Lehrkräfte an und ist auch in der Bildungsentwicklungsforschung tätig. Im Jahr 2024 konnte die Zahl der Schülerinnen und Schüler, die mit eintägigen Workshops („CAMMP-Tage“) erreicht wurden, um mehr als 100 auf 441 erhöht werden. Während der zwei „CAMMP-Wochen“ arbeiteten insgesamt 60 Schülerinnen und Schüler an realen Simulationsproblemen. Darüber hinaus wurden über 50 Lehrkräfte in Schulungen und Seminaren fortgebildet. Weitere 14 Studierende machten Praktika und nahmen am Stipendienprogramm im CAMMP-Team teil, zusammen mit beteiligten Mathematikerinnen und Mathematikern sowie HPC-Spezialistinnen und -Spezialisten. Darüber hinaus wurden die CAMMP-Materialien und damit zusammenhängende Forschungsergebnisse in verschiedenen Publikationen veröffentlicht, beispielsweise in „Mathematik lehren“.

Im Rahmen der Aktivitäten zu Topic 1 wurden vom Scientific Computing Center (SCC) des KIT zwei Sommerschulen zum Thema Forschungsdatenmanagement mitorganisiert. Die NFDI-MatWerk Summer School on Research Data Management in Materials Science and Engineering fand in Bremen statt und konzentrierte sich darauf, Forschende bei der Umsetzung der

FAIR-Prinzipien in die Praxis anzuleiten. Die NFFA-Europe Summer School on Data Management and Virtual Access fand in Heraklion statt und konzentrierte sich ebenfalls auf die Umsetzung der FAIR-Prinzipien in die Praxis sowie auf Virtual Access Services, eine Reihe neuartiger Cloud-Dienste, die von NFFA-Europe angeboten werden.

Für Nachwuchsforschende unterstützt das Programm EDF aktiv dynamische und unterstützende Maßnahmen zur Durchführung von Forschung und zur Entwicklung essenzieller Fähigkeiten. Promovierende profitieren vom Zugang zu Graduiertenschulen und strukturierten Programmen, die sich nicht nur auf die technische Ausbildung und den Erwerb übertragbarer Fähigkeiten konzentrieren, sondern auch die interdisziplinäre Vernetzung fördern. Einige beeindruckende Beispiele sind: Die KIT Graduate School Cyber Security (CyberSec) dient als Schnittstelle für Promovierende aus verschiedenen Fachrichtungen, die sich mit unterschiedlichen Aspekten der Cybersicherheit befassen, indem sie alle am KIT vertretenen verwandten Disziplinen und Anwendungsbereiche zusammenbringt. Der Sonderforschungsbereich SFB 1608 Convide erforscht Lösungen zur Verbesserung der Entwicklung aktueller und zukünftiger cyber-physischer Systeme. Aufgrund des interdisziplinären Charakters des SFB sind die internen Forschungsgruppen so konzipiert, dass sie Promovierenden Zugang zu Weiterbildungsangeboten bieten, die es ihnen ermöglichen, mit Forschenden aus anderen Fachgebieten zusammenzuarbeiten und sich in den Bereichen Professionalisierung und Innovation, Soft Skills und Karriereentwicklung weiterzubilden. Die Helmholtz Information and Data Science School for Health (HIDSS4Health) integriert Datenwissenschaften mit Gesundheitswissenschaften und schafft so eine interdisziplinäre Plattform für Promovierende in Bereichen wie Bioinformatik und computergestützter Biologie.

Tim Niklas Uhl (Institut für Theoretische Informatik – ITI) gewann den Golden Spike Award 2024 für seine Arbeit zum Thema „Scalable Discrete Algorithms for Big Data Applications“ im Rahmen seiner Doktorarbeit in Topic 1.

Katharina Flügel (SCC) gewann auf der 31st International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2024) den Best Paper Award für ihre Arbeit über „Feed-Forward Optimization with Delayed Feedback for Neural Network Training“ als Teil ihrer Doktorarbeit in Topic 1.

Tenure-Track-Prof. Dr. Sebastian Krumscheid erhielt den Lehrpreis des KIT für Mathematik für seine innovativen und praxisorientierten Lehrkonzepte zu hochkomplexen mathematischen Methoden. Er leitet die Forschungsgruppe Uncertainty Quantification (UQ) am SCC im Topic 1.

Vernetzung

Das Innovationspool-Projekt Research Software Engineering (RSE) – HiRSE_PS – führt alle Programme und Zentren im Forschungsbereich zusammen, um in einer vorbereitenden Studie die Einrichtung zentraler RSE-Aktivitäten und die gezielte nachhaltige Förderung strategisch wichtiger Codes durch dezentrale Community Software Infrastructure (CSI)-Gruppen als zwei sich gegenseitig unterstützende Aspekte zu fördern. Die erfolgreiche HiRSE-Seminarreihe wurde als einzigartige Austauschplattform für RSE-Themen mit nationaler und internationaler Reichweite fortgesetzt, was sich auch in der internationalen Zusammensetzung der Referentinnen und Referenten und Teilnehmenden des Seminars widerspiegelt. Im Jahr 2024 organisierten das KIT und das FZJ die bundesweit erste RSE-Sommerschule, die im September am KIT stattfand. 45 Teilnehmende aus Institutionen in ganz Deutschland informierten sich über RSE-Themen wie kollaborative Programmierung, Continuous Integration, Programmdokumentation und Lizenzierung. Die Veranstaltung erhielt sehr gutes Feedback und steigerte die

Sichtbarkeit und das Ansehen von HiRSE_PS und seinen treibenden Teammitgliedern erheblich. Dies wurde durch die HiRSE Code Promotion, eine nationale Initiative zur Hervorhebung von in Deutschland entwickelter Forschungssoftware, noch verstärkt.

Im Jahr 2024 wurde die HiRSE_PS-Initiative in ein flexibles Joint Lab umgewandelt, das nun unter dem Namen „Helmholtz Information – Research Software Engineering“ (HiRSE) firmiert. Aufgrund der anhaltenden Erfolge wurde die Finanzierung durch den Innovationspool bis Ende 2027 verlängert. Darüber hinaus haben sowohl das KIT als auch das FZJ im Jahr 2024 ihre lokalen RSE-Aktivitäten ausgeweitet: Im Rahmen einer internen KIT-Initiative zur Etablierung von RSE am KIT wurden mehrere Maßnahmen zum Aufbau einer Community (KIT-interne RSE-Community-Webseite, Mailingliste, Matrix-Chat-Kanal) etabliert.

Die EUDAT-Konferenz 2024 fand in Karlsruhe statt und brachte mehr als 110 Teilnehmende aus 20 Ländern zusammen, die an Diskussionen über die Verbesserung von Dienstleistungen und die Entwicklung des Forschungsdatenmanagements teilnahmen. Redner und Rednerinnen der E-Infrastrukturen EGI, EUDAT, GÉANT, OpenAire, der wissenschaftlichen Gemeinschaften EBRAINS, Helmholtz AI, ENVRI-Hub NEXT, OSCARS, eLTER und weiterer, unterstützt durch EOSC EU Node, Base4NFDI, FAIRCORE4EOSC und EOSC-Beyond, trafen auf ein interessiertes Publikum in den Räumlichkeiten des Zentrums für Kunst und Medien Karlsruhe, ZKM. KIT und FZJ sind Mitglieder von EUDAT CDI, einer der führenden europäischen Dateninfrastrukturen, die Dienstleistungen für über 100 Gemeinschaften und Gruppen anbietet.

Das SCC organisierte im September 2024 in Karlsruhe das „International User Forum for the High Performance Storage System (HPSS)“. 60 Teilnehmende aus 26 HPSS-Einrichtungen in Europa, Nordamerika und Asien nahmen daran teil. Auf dem Anwenderforum berichteten sowohl die Entwicklerinnen und Entwickler über die nächsten Innovationen als auch über die Nutzung ihrer Installationen und die damit verbundenen Besonderheiten. Es gab auch Berichte darüber, wie und mit welchen Tools die Installationen überwacht werden. Die HPSS-Speicher-Software erfüllt die höchsten Ansprüche an langfristig skalierbare Speicheranforderungen. Magnetbänder sind die wirtschaftlichste Speicherlösung für Daten, auf die nur selten zugegriffen wird, und werden oft als „Null-Watt-Speicher“ bezeichnet.

Jedes Jahr treffen sich Vertreterinnen und Vertreter der nationalen Forschungsgemeinschaft, die die HPC-Ressourcen des Höchstleistungsrechenzentrums Stuttgart (HLRS) und die NHR-Systeme am KIT nutzen, zum jährlichen Results and Review Workshop. Im Jahr 2024 fand die Veranstaltung in Karlsruhe statt. Während des zweitägigen Workshops präsentierten und diskutierten die Teilnehmenden die neuesten Ergebnisse ihrer Forschungsprojekte der letzten zwölf Monate, die mithilfe von umfangreichem wissenschaftlichem High-Performance Computing erzielt wurden.

Durch die Begutachtung von Start-up-Projekten mit Schwerpunkt auf IT-Sicherheit leisten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Topic 3 einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg der BMBF-Förderinitiative StartUpSecure KASTEL. Expertinnen und Experten aus Topic 1 und die StartUpSecure-Inkubatoren CISP (Saarbrücken), Cube 5 (Bochum) und ATHENE (Darmstadt) sowie zahlreiche Forschungseinrichtungen in Deutschland unterstützten den Begutachtungsprozess ebenfalls mit ihrer Expertise.

Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

Technologietransfer

Die folgenden ausgewählten Beispiele für eine fruchtbare Zusammenarbeit mit der Industrie im Bereich Informatik spiegeln das breite Spektrum der angewandten Forschung und deren

Auswirkungen auf die Industrie in Helmholtz Information wider: Kooperationsprojekte mit SAP SE mit unterschiedlichen Schwerpunkten wie „Secure Federated Machine Learning for IoT Systems“ und „Security & Compliance Automation“. Eine Plattform für die Forschung und Entwicklung im Bereich Smart Grid Cybersecurity wird gemeinsam mit dem Illinois Advanced Digital Sciences Center in Singapur entwickelt. In einer Kooperation zwischen dem KIT, dem FZI und Mercedes-Benz wurde eine Methode zur Pseudonymisierung von Fahrzeugidentifikationsnummern (Vehicle Identification Numbers; VINs) entwickelt. Die VIN ist eine eindeutige Kennung, die die mit dem Fahrzeug verbundenen Daten speichert, die nicht an Dritte weitergegeben werden sollte. Dieses Datenschutzproblem wird mit der neuen Entwicklung gelöst. Darüber hinaus werden in enger Zusammenarbeit mit ABB Asea Brown Boveri, Zürich, Entwurfsmethoden für Cloud-native Systeme im Kontext der industriellen Automatisierung entwickelt.

Wissen für Entscheiderinnen und Entscheider

Im Jahr 2024 sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Topic 3 aktiv in Arbeitsgruppen der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) eingebunden, auch auf Führungsebene. Zu den nennenswerten Beteiligungen gehören „Lernende Systeme – Die Plattform für Künstliche Intelligenz“, die Themennetzwerke „Sicherheit“ und „Gesundheitstechnologien“, die Initiative „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) von acatech, der Leopoldina (Nationale Akademie der Wissenschaften) und der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften. Weitere Aktivitäten werden im Rahmen der Wissenschaftlichen Arbeitsgruppe des Nationalen Cyber-Sicherheitsrates des Bundesministeriums des Innern (BMI) und des BMBF sowie des Expertenkreises zur Transformation der Automobilwirtschaft des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) durchgeführt. Demonstratoren aktueller Forschungsergebnisse wurden bereits an das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) übergeben und werden dort eingesetzt.

Im Rahmen des Programms EDF findet der Wissenstransfer an Entscheidungsträger unter anderem durch institutionalisierte, projektbasierte und Ad-hoc-Politikberatung, durch die Teilnahme von Programmmitgliedern in Beratungsgremien und durch zielgruppenspezifische Informationsdienste statt.

Im Rahmen der parlamentarischen Politikberatung des Deutschen Bundestags (Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag - TAB) und der Lenkungsgruppe zur Zukunft von Wissenschaft und Technologie (Scientific Technology Options Assessment; STOA) des Europäischen Parlaments wurden 2024 mehrere Studien veröffentlicht. Mit direktem Bezug zu den Themen des EDF-Programms oder Helmholtz Information sind hier insbesondere Studien zur Cybersicherheit in der Lebensmittelversorgung, zu den gesellschaftlichen Auswirkungen des Homeoffice und zu Gene Drives – Technologien zur Verbreitung genetischer Veränderungen in der Bevölkerung – zu nennen. Darüber hinaus wurde ein Bericht über den Status quo und die Perspektiven der Telemedizin fertiggestellt, der jedoch noch der Zustimmung des Parlaments bedarf. Diese umfangreichen Studien werden durch eine Reihe sogenannter „Themenkurzprofile“ ergänzt, die als Ergebnis eines systematischen Horizon Scannings einen kompakten Überblick über ausgewählte wissenschaftliche und technologische Trends und ihre Relevanz für Politik und Gesellschaft bieten. Im Jahr 2024 wurden fünf solcher Dokumente veröffentlicht, darunter Papiere zu KI in der Kreativwirtschaft, zu den Perspektiven von KI bei der Diagnose und Therapie seltener Krebserkrankungen, sowie zu Big Data und KI im Profifußball.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) wurde ein kontinuierlicher Prozess zur Beobachtung

sozio-technischer Entwicklungen für das österreichische Parlament eingerichtet. Zu den Ergebnissen dieser Tätigkeit gehören halbjährliche Berichte, die Parlamentsangehörigen und der Öffentlichkeit wissenschaftlich fundierte Informationen über laufende technologische Entwicklungen und ihre möglichen Auswirkungen auf die Gesellschaft liefern. Die beiden jüngsten Berichte wurden im Juni und November 2024 vorgestellt.

Im November 2024 veröffentlichte der norwegische Teknologirådet (The Norwegian Board of Technology, NBT) im Auftrag des European Parliamentary Technology Assessment Network (EPTA) den aktuellen Bericht über die Auswirkungen von KI-Tools auf die Demokratie, der auch einen Beitrag von Forschenden aus Topic 4 enthält. Sie bewerteten u. a. KI in politischen Kampagnen und öffentlichen Debatten, KI in Parlamenten und im öffentlichen Sektor sowie die demokratische Kontrolle und Steuerung von KI. Die Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger und Entscheidungsträgerinnen fasst übergreifende Themen, Unterschiede und Ähnlichkeiten in den politischen Ansätzen der Mitgliedsländer in Bezug auf KI und Demokratie zusammen.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Topic 4 beteiligten sich an der Organisation und Bereitstellung von Beiträgen zur NTA11-Konferenz im November 2024 in Berlin, die teilweise vom BMBF ausgerichtet wurde. Auf dieser Konferenz diskutierten Expertinnen und Experten aus dem Bereich der Technikfolgenabschätzung, Beraterinnen und Berater sowie politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger darüber, wie Politikberatung in Zeiten von KI und gesellschaftlichen Umbrüchen transparent, unabhängig und effizient bleiben kann. Die Konferenz markierte auch das 20-jährige Jubiläum des Netzwerks Technikfolgenabschätzung.

Darüber hinaus kuratieren und veröffentlichen Forschende des Programms EDF die (Diamond-) Open-Access-Zeitschrift „Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis“ (TATuP), die u. a. in Scopus und Web of Science indexiert ist. Neben im Peer-Review-Verfahren begutachteten wissenschaftlichen Artikeln sieht das Konzept der Zeitschrift vor, auch andere Arten von Texten zu veröffentlichen, die in besonderer Weise ein breiteres, an TA interessiertes Publikum ansprechen. Im Jahr 2024 wurden drei Schwerpunktausgaben von TATuP veröffentlicht, von denen sich zwei auf Themen von Helmholtz Information beziehen: „AI for decision support: What are possible futures, social impacts, regulatory options, ethical co-nundrums and agency constellations?“ und „Malevolent creativity and civil security: The ambivalence of emergent technologies“.

Wissen für Betroffene

Die am KIT entwickelten Forschungsansätze und -ergebnisse werden direkt im „Cybersecurity Training Lab“ der Fraunhofer Academy eingesetzt. Der Dozent dieses Kurses ist sowohl dem Fraunhofer IOSB als auch dem KIT angegliedert und hält auch Seminare zum Thema „Cybersicherheit nach IEC 62443“ für den Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) ab. Dieses Schulungsprogramm richtet sich in erster Linie an Unternehmen, insbesondere an Fach- und Führungskräfte aus produzierenden Unternehmen in Deutschland, und stellt somit einen direkten Transfer von der Forschung zur Industrie dar.

Die Relevanz der Forschungsergebnisse spiegelt sich auch in der aktiven Mitarbeit bei Standardisierungsinitiativen zur Cybersicherheit wider. Beispiele für Beiträge auf nationaler Ebene sind die aktive Mitarbeit im Expertenrat im Richtlinienausschuss (VDI-EE 4603 Teil 3 – Projekt „IT-Sicherheit und Informationssicherheit für Betriebsführungssysteme in der Energiewirtschaft“) und in der Arbeitsgruppe Sicherheit der Industrial Digital Twin Association e.V. (IDTA) sowie die Unterstützung der Arbeitsgruppe Energie/Umwelt des DKE/AK 901.0.42 „KI in der Energiewirtschaft“. Weitere Beiträge wurden in internationalen Gremien des ISA99 Standards

Committee, der OPC UA-Arbeitsgruppe Secure Elements und des Ausschusses für den kanadischen Standard CAN/DGSI 111-1 „Online Electoral Voting – Part 1: Implementation of Online Voting in Canadian Municipal Elections“ geleistet. Ein Programmforscher wurde als Mitglied des IEC/TC 57-Ausschusses „Power Systems Management and Associated Information Exchange - Data and Communication Security“ nominiert.

Wissenstransfer kann auch über Apps erfolgen. Die mehrfach ausgezeichnete Phishing-Erkennung „NoPhish“ oder verschiedene „Privacy-Friendly Apps“ für einen verbesserten Datenschutz sind herausragende Beispiele.

Drittmittleinwerbung

Datenwissenschaften

Eine dritte Förderperiode für den weiteren Ausbau der Speicherkapazität (sowohl online als auch offline) der Large-Scale Data Facility am KIT wurde bewilligt (900.000 Euro; DFG und MWK).

Das übergeordnete Ziel des EOSC-Beyond-Projekts (472.462 Euro für KIT und 256.387 Euro für FZJ, EU) besteht darin, Open Science und Innovation in der Forschung im Rahmen der European Open Science Cloud (EOSC) voranzutreiben, indem neue EOSC-Kernfunktionen bereitgestellt werden, die es wissenschaftlichen Anwendungen ermöglichen, mehrere Open-Science-Ressourcen zu finden, zusammenzustellen und darauf zuzugreifen und sie Forschenden als integrierte Funktionen anzubieten.

Das Projekt bwJupyter (650.675 Euro; MWK) zielt darauf ab, einen landesweiten JupyterHub für die Lehre in Baden-Württemberg bereitzustellen, der die HPC-Systeme am KIT nutzt.

Das Teilprojekt „P5: Structured explainability for interactions in deep learning models applied to pathogen phenotype prediction“ im FOR 5363 (375.600 Euro; DFG) entwickelt Methoden zur Variablenselektion und strukturierten Erklärbarkeit in genomischen Daten. Das Teilprojekt „P6: Probabilistic learning approaches for complex disease progression based on high-dimensional MRI data“ im selben FOR 5363 (375.600 Euro; DFG) schlägt fundierte, datengesteuerte Methoden vor, um pathologische Verläufe auf der Grundlage hochdimensionaler medizinischer Daten aus der Magnetresonanztomographie (MRT) aufzudecken.

Mathematik und Statistik

Das Teilprojekt „Distributional Copula Regression for Space-Time Data“ im TRR 391 (274.012 Euro; DFG) entwickelt neuartige Modelle für multivariate raum-zeitliche Daten unter Verwendung der Verteilungs-Copula-Regression.

Das Projekt „Boosting Copulas - Multivariate Distributional Regression in Digital Medicine“ (195.000 Euro; DFG) entwickelt die verteilungsbasierte Copula-Regression im Kontext moderner biomedizinischer Anwendungen weiter.

Künstliche Intelligenz

Die zweite Förderperiode des Schwerpunktprogramms SPP 2298 (254.614 Euro; DFG) „Theoretische Grundlagen des Deep Learning“ zielt darauf ab, neuartige Deep-Learning-basierte Ansätze zur Lösung inverser Probleme und partieller Differentialgleichungen zu entwickeln und theoretisch zu analysieren.

Das Projekt „CausalNet – Ein Framework für Integration von Kausalität für flexible, robuste, und effiziente Machine-Learning-Modelle“ (410.091 Euro; BMBF) fördert kausales Machine Learning in Richtung Flexibilität, Effizienz und Robustheit.

Die Emmy Noether-Forschungsgruppe „Regression Models beyond the Mean – A Bayesian Approach to Machine Learning“ (274.000 Euro; DFG) entwickelt neuartige verteilungsbasierte Regressionsmodelle, die skalierbar und dünn besetzt sind.

Cyber Security

Das Hauptziel des Projekts DigiT4TAF (1,9 Mio. Euro; Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg) ist die Erstellung eines digitalen Zwillings für das Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF-BW), der als Grundlage für zukünftige Entwicklungen im Bereich autonomer Fahrzeuge dienen soll. Durch die Veröffentlichung der entwickelten Testumgebung für Aspekte der Verkehrsplanung über Open Source und Open Data soll kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) der Zugang so einfach wie möglich gemacht werden.

Technikfolgenabschätzung und Ethik

Im interdisziplinären Projekt „Systemische und existenzielle Risiken der KI (SERI)“ (953.549 Euro; BMBF) werden in zwei Teilprojekten mögliche systemische und existenzielle Risiken von KI theoretisch und empirisch untersucht. Das erste Teilprojekt analysiert die verschiedenen Ursachen, spezifischen Mechanismen und Schadensformen systemischer Risiken von KI, um geeignete Formen der Steuerung abzuleiten. Das andere Teilprojekt befasst sich mit der Frage, ob KI in Zukunft außer Kontrolle geraten und somit ein existenzielles Risiko für die Menschheit darstellen könnte.

Das Projekt „Country to City Bridge – Analysis and solution concepts (C2CBridge)“ ist eine wichtige Aktivität am KIT, die in das Deutsche Zentrum Mobilität der Zukunft (DZM) eingebettet ist. C2CBridge zielt darauf ab, Alternativen zum privaten Pkw für den Pendelverkehr zwischen städtischen und ländlichen Gebieten mit einem nutzerzentrierten öffentlichen Verkehr zu erforschen, wobei der Schwerpunkt auf Diensten mit autonomen, kooperativen und elektrisch betriebenen On-Demand-Fahrzeugen liegt. Die Aktivitäten im Kontext von Topic 4 (627.767 Euro; BMDV) konzentrieren sich auf die Erforschung von Nachfrage, Akzeptanz und Auswirkungen.

Konfliktlösungsansätze bei der Entsorgung von Atommüll sind das zentrale Forschungsinteresse im Rahmen des KonE-Projekts (781.239 Euro; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz – BMUV). Dabei werden drei Hauptziele verfolgt: die Entwicklung und Vertiefung eines differenzierten und systematisierten Verständnisses soziotechnischer Konflikte in der nuklearen Entsorgung im interdisziplinären Austausch, die Analyse soziotechnischer Konflikte in der nuklearen Entsorgung und die Entwicklung von Bewertungskriterien für Ansätze des informellen Konfliktmanagements sowie die Entwicklung von Handlungsoptionen und Gestaltungsvorschlägen, die Akteurinnen und Akteure bei der praktischen Umsetzung von Konfliktmanagementformaten nutzen können.

Helmholtz-finanzierte Projekte

EDF war erfolgreich an der Einwerbung mehrerer Helmholtz-finanzierter Projekte beteiligt, die in der Regel rund 50 % institutionelle Ko-Finanzierung erfordern und daher eng mit den Zielen und Aktivitäten dieses Programms verknüpft sind.

Die Helmholtz Foundation Model Initiative (HFMI) zielt darauf ab, in assoziierten Pilotprojekten eine neue Generation von KI-Foundation Models für die Wissenschaft aufzubauen. Das KIT ist am Projekt Sol-AI (313.250 Euro) zur Entwicklung und Optimierung von Photovoltaik-Materialien beteiligt

Erfolgreiche Innovationspool-Projekte wurden verlängert. Alle Joint Labs (VMD, MDMC, Exa-ESM) wurden bis Ende 2027 verlängert. Das Projekt zum Research Software Engineering

(HiRSE_PS) wurde in ein flexibles Joint Lab umgewandelt, das nun unter dem Namen „Helmholtz Information - Research Software Engineering“ (HiRSE) firmiert, und dessen Finanzierung durch den Innovationspool bis Ende 2027 verlängert wurde; siehe Kapitel A.2.2.3.4, Unterpunkt „Vernetzung“ für weitere Einzelheiten.

Das neue Helmholtz-KI-Projekt ZebraTwin (Leveraging AI and Spatial Transcriptomics for the Creation of a Digital Twin of Zebrafish Embryogenesis; 125.000 Euro nutzt maschinelles Lernen, um räumliche Transkriptomik und Live-Mikroskopie mit groß angelegten Gewebesimulationen zu kombinieren.

A.2.2.3.5 *Senatsempfehlungen*

Der Senat macht sich den ihm vorliegenden Vorschlag zur Bewertung des Programmfortschritts im Jahr 2024 zu eigen und beschließt ihn als seine Bewertung zum Programmfortschritt 2024. Er bestätigt damit den vorliegenden Controllingbericht des Präsidenten für das Jahr 2024.

A.2.2.4 *Programmanteil Natural, Artificial and Cognitive Information Processing (NACIP)*

A.2.2.4.1 *Das Programm im Überblick*

Ziele und Einbettung in den Forschungsbereich

NACIP widmet sich der Untersuchung von grundlegenden Prinzipien der natürlichen, künstlichen und kognitiven Informationsverarbeitung mit dem Ziel, diese auf die Entwicklung neuer Technologien für die Informationstechnologie sowie neuer Methoden in Forschung und Biomedizin anzuwenden. Es werden neue Materialien und Geräte erforscht, die in der Lage sind, den extremen Anforderungen von Quantencomputern und neuromorpher Datenverarbeitung gerecht zu werden. Darüber hinaus werden biologische Systeme, insbesondere das Gehirn, als in der Natur vorkommende Informationsverarbeitungssysteme erforscht.

Um dies zu erreichen, ist ein hochgradig interdisziplinärer Ansatz entscheidend, der die Zusammenarbeit und Koordination zwischen Partnern aus sehr unterschiedlichen wissenschaftlichen Bereichen erfordert. Dies schafft Synergien an den jeweiligen Schnittstellen verschiedener wissenschaftlicher Domänen und eröffnet die Möglichkeit neuer Informationsverarbeitungssysteme und -ansätze. Quantenphänomene haben Einzug in die Entwicklung von Computern jenseits der von-Neumann-Architektur gehalten und tragen dazu bei, die Kommunikation sicherer zu machen und effiziente Lösungen für Optimierungsprobleme zu finden. Dieser Ansatz hilft, bestehende Einschränkungen in der Halbleitertechnologie zu überwinden und die Entwicklung von komplementären Metall-Oxid-Halbleitern (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, CMOS) und Green IT voranzutreiben.

Im Laufe von Millionen Jahren der Evolution hat die Natur hochentwickelte, energieeffiziente Informationssysteme hervorgebracht. Die Erfassung, Verarbeitung, Analyse und Speicherung von Informationen ist zentral für alle Lebensformen, von einzelligen Organismen bis hin zu

Zellnetzwerken und Organen. Das Gehirn mit seinen zugrunde liegenden Mechanismen des Lernens, des Gedächtnisses und der Plastizität bietet nicht nur ein anspruchsvolles Forschungsziel, sondern auch Organisationsprinzipien, die als Blaupause für neue Lösungen wie die neuromorphe Datenverarbeitung dienen und die Entwicklung innovativer künstlicher neuronaler Netzwerke und Methoden des maschinellen Lernens ermöglichen. Gleichzeitig ist ein umfassendes Verständnis der Funktionsweise des Gehirns eine Voraussetzung für die gezielte Entwicklung neuer Methoden in den Bereichen Diagnostik, Therapie, Prävention und Rehabilitation.

Programmstruktur

Das Programm besteht aus 5 Topics, an denen 3 Helmholtz-Zentren beteiligt sind:

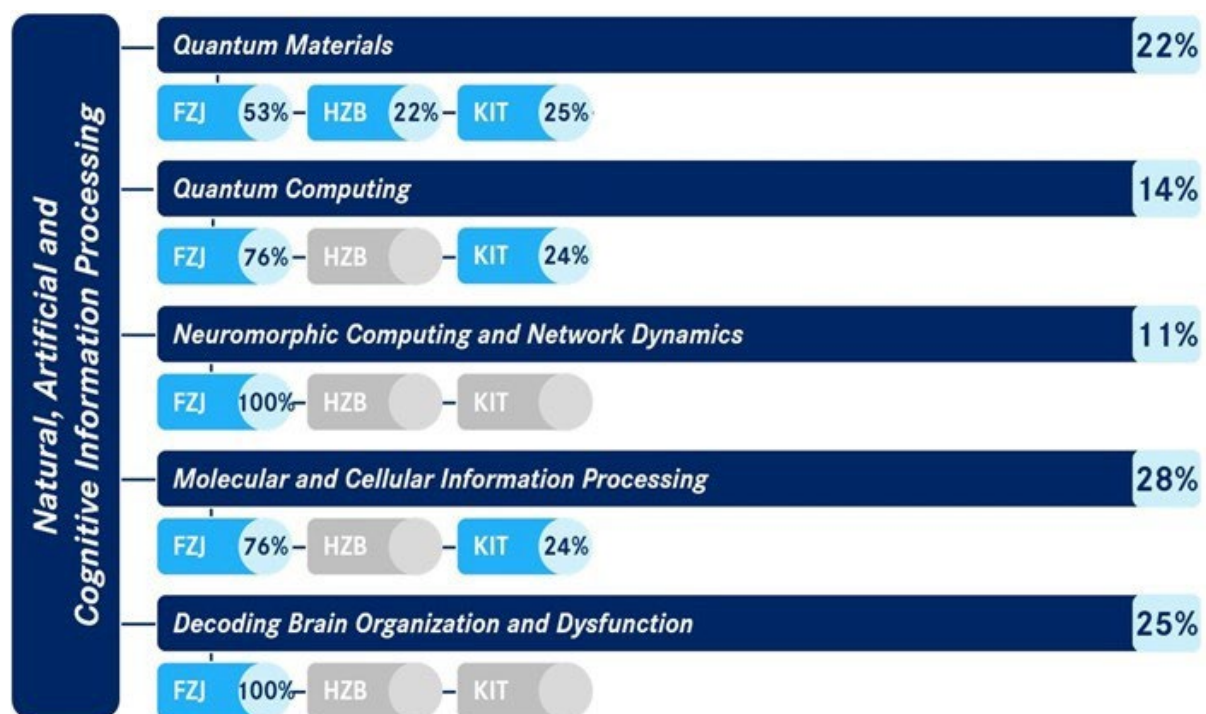


Abbildung 8: Struktur des Programms Natural, Artificial and Cognitive Information Processing (NACIP) mit Beteiligung der folgenden Helmholtz-Zentren: Forschungszentrum Jülich (FZJ), Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) und Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Das Programm ist wie folgt aufgebaut:

Topic 1: Quantum Materials

(Sprecher des Topic Boards: Prof. Matthieu Le Tacon, KIT)

Herkömmliche Informationsverarbeitungstechnologien stoßen in Bezug auf Kapazität, Geschwindigkeit und Energieverbrauch an ihre Grenzen. Ziel dieses Topics ist die Erforschung neuer Paradigmen auf der Grundlage von Spin, Topologie, Konfigurationen und Korrelationen als mögliche Alternativen für die Informationsverarbeitung. Dies erfordert ein tiefes Verständnis der neu entstehenden Quantenphänomene in einem breiten Spektrum von Materialien und Molekülen, um neue Funktionalitäten zu erzeugen und Architekturen mit potenziell überlegener Leistung zu entwickeln.

Topic 2: Quantum Computing

(Sprecher des Topic Boards: Prof. David DiVincenzo, FZJ)

Die Quanteninformationsverarbeitung verspricht eine exponentielle Beschleunigung für eine Reihe von wichtigen Rechenaufgaben und für physikalisch sichere Kommunikationskanäle. In diesem Topic kombinieren Quantenwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler sowie Quanteningenieurinnen und -ingenieure ihr komplementäres Fachwissen, um den Stand der Technik bei Informationsverarbeitungsgeräten zu verbessern, fortschrittliche Qubit-Steuer-elektronik zu entwickeln und neue physikalische Realisierungen von Qubits zu erforschen. Das übergreifende Ziel besteht darin, den Quantenvorteil in realen Anwendungen zu demonstrieren.

Topic 3: Neuromorphic Computing and Network Dynamics

(Sprecher des Topic Boards: Prof. Markus Diesmann, FZJ)

Topic 3 untersucht das Gehirn auf der Ebene der einzelnen Neuronen und nutzt dieses Wissen zur Entwicklung neuromorpher Hardware. Die Gehirnaktivität wird mit elektro- und optophysiologischen Methoden beobachtet und mit zeitaufgelösten statistischen Methoden für massiv parallele Daten, Netzmodellierung, Simulationstechniken und analytische Theorie interpretiert. Alle Ebenen der neuromorphen Computertechnik werden berücksichtigt, von den Materialien über das Schaltungsdesign und die Systemintegration bis hin zum Aufbau einer Gemeinschaft.

Topic 4: Molecular and Cellular Information Processing

(Sprecher des Topic Boards: Prof. Andreas Offenhäusser, FZJ)

Biologische Moleküle und Zellen stellen bereits hochentwickelte Rechenmaschinen dar. Ziel dieses Topics ist die Entschlüsselung der Mechanismen der molekularen und zellulären Berechnung und der kooperativen Informationsverarbeitung in zellulären Netzen. Diese Arbeit wird die molekulare und zelluläre Grundlage für das Verständnis und die Nutzung der bemerkenswerten Eigenschaften u. a. des menschlichen Gehirns bilden. Sie wird auch zur Entwicklung neuer, von der Natur inspirierter Algorithmen und neuer Generationen von Rechensystemen beitragen.

Topic 5: Decoding Brain Organization and Dysfunction

(Sprecher des Topic Boards: Prof. Katrin Amunts, FZJ)

Das Gehirn kann als hochentwickeltes System betrachtet werden, das Informationen wahrnimmt, verarbeitet und generiert. Dieses Topic untersucht, wie das Gehirn Informationen verarbeitet, um ein tieferes Verständnis seiner Organisation auf mehreren Ebenen zu erlangen - vom Molekül bis zum gesamten Organ. Die Forschenden nutzen und entwickeln Methoden für Atlanten, Simulationen, bildgebende Verfahren sowie KI- und HPC-gestützte Analysen, um die Zusammenhänge zwischen Struktur und Funktion des Gehirns zu entschlüsseln, alters- und krankheitsbedingte Veränderungen zu erkennen und den Transfer solcher Erkenntnisse in Anwendungen in der Medizin und in Computersystemen zu erleichtern.

A.2.2.4.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms

Highlight Topic 2: Mikrowellenkontrolle von Zinn-Fehlstellen-Zentrum-Spin-Qubits

Optisch adressierbare Spins sind eine Schlüsselkomponente für Quantennetzwerke und verteilte Quantencomputer. Das Zinn-Fehlstellen-Zentrum (SnV) in Diamant hat sich als vielversprechendes Material erwiesen, das die Adressierung und das Auslesen von Einzelspin-Qubits über kohärente optische Übergänge kombiniert. Die für die Mikrowellen-Spin-Kontrolle erforderlichen magnetischen Dipolübergänge sind jedoch unterdrückt, sodass eine Dehnung erforderlich ist, um diese Übergänge zu ermöglichen, sowie eine erhöhte Mikrowellenleistung für eine schnelle Ansteuerung. Die Forschenden im Topic 2 verwenden einen supraleitenden komplanaren Wellenleiter, der ohmsche Erwärmung vermeidet. Damit wird eine hochgenaue Spin-Kontrolle erreicht: Schnelle Rabi-Oszillationen werden nachgewiesen, eine Hahn-Echo-kohärenzzeit von bis zu 0,4 ms wird beobachtet und die Kohärenz durch dynamische Entkopplung auf 10 ms verlängert. Zudem beobachtet das Forschungsteam eine Kopplung mit einem nahegelegenen ^{13}C -Kernspin, der als langlebiger Quantenspeicher dienen kann, was das Potenzial von SnV-Zentren in Diamant für Quantenverarbeitungsknoten untermauert [1].

[1] **I. Karapatzakis, J. Resch, M. Schrodin, P. Fuchs, M. Kieschnick, J. Heupel, L. Kussi, C. Sürger, C. Popov, J. Meijer, C. Becher, W. Wernsdorfer, D. Hunger** (2024), *Microwave Control of the Tin-Vacancy Spin Qubit in Diamond with a Superconducting Waveguide*. *Phys. Rev* **14**, 031036, <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.14.031036>

Highlight Topic 4: Parenchymale Anhaltspunkte bestimmen die Vegfa-gesteuerte venöse Angiogenese durch Aktivierung eines sprossenden gemeinsamen venösen Endothel-Subtyps

Ein großes Netzwerk von Blutgefäßen verteilt das Blut in unseren Organen und stellt sicher, dass die Zellen mit ausreichend Sauerstoff und Nährstoffen versorgt werden, um zu funktionieren. Da jedes Organ eine andere physiologische Funktion erfüllt, unterscheiden sich die Gefäßverzweigungsmuster zwischen den Organen. Es war lange ein Rätsel, wie sich solche einzigartigen, sogenannten organotypischen Gefäßstrukturen entwickeln. Aus therapeutischer Sicht wird angenommen, dass das Verständnis der organspezifischen molekularen Kontrolle des Gefäßwachstums und der Musterbildung die Türen für die Entwicklung personalisierter Medizinstrategien zur Bekämpfung von Herz-Kreislauf- und neurodegenerativen Erkrankungen sowie Krebs öffnen könnte.

Die Forschenden haben entdeckt, dass ein entscheidendes Element, das zur organabhängigen Variabilität der Gefäßverzweigung beiträgt, die Aktivierung eines neuartigen Gefäßzelltyps ist, der als endotheliale L-Spitzenzelle oder Pionierzelle bezeichnet wird. Pionierzellen befinden sich in der inneren Schicht, die die Blutgefäße auskleidet, dem sogenannten Endothel. Mit Hilfe hochmoderner Bildgebungstechniken wurde gezeigt, dass sich Pionierzellen in der Gefäßwand bewegen. Sobald sie mit spezifischen Signalen in Kontakt kommen, die von Zellen im umliegenden Organ produziert werden, beginnen Pionierzellen, neue Blutgefäße zu bilden. Um zu klären, welche Zellen solche Signale produzieren und wie diese Signale wahrgenommen werden, um die Differenzierung der Pionierzellen zu fördern, haben die Forschenden des Topics Einzelzellsequenzierung in Kombination mit bioinformatischen Analysen verwendet. So wurde die präzise Identifizierung von Zellsubtypen und der Moleküle, die diese Zellen für die Zell-zu-Zell-Kommunikation produzieren, ermöglicht. Mit dieser Technik haben sie gezeigt, dass die Gefäßmusterbildung durch eine spezifische Gruppe von Molekülen kodiert wird, die nur von einer Untergruppe von Endothelzellen wahrgenommen werden können, um das Gefäßwachstum zu fördern. Die Zellen im Gewebe produzieren eine organspezifische Gruppe

von Molekülen, die die Anweisung kodieren, wie an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Zeit ein neues Blutgefäß gebildet werden soll. Sobald die zukünftige Pionierzelle diesen spezifischen, gewebestimmenden molekularen Code wahrnimmt und entschlüsselt, wird sie den Prozess des Gefäßwachstums einleiten.

Mehrere organspezifische Moleküle des Gefäßwachstums-codes sind medikamentös ansprechbar, d.h. sie reagieren auf extern zugeführte Chemikalien. Um die therapeutischen Möglichkeiten zu erkunden, arbeiten wir mit Chemikerinnen, und Chemikern, Gewebeingenieurinnen und -ingenieuren sowie Spezialistinnen und Spezialisten für künstliche Intelligenz an der 3ROCKIT-Plattform des im Jahr 2023 am KIT gegründeten KIT-Zentrums Health Technologies zusammen. Ziel ist, neuartige intelligente Moleküle zu identifizieren, die den Gefäßwachstumsprozess gezielt beeinflussen und Patientinnen sowie Patienten mit ischämischen Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Herzinfarkt und Schlaganfall sowie bestimmten Krebsarten zugutekommen könnten [2].

[2] L. Préau, A. Lischke, M. Merkel, N. Oegel, M. Weissenbruch, A. Michael, H. Park, D. Gradl, C. Kupatt, F. le Noble (2024), *Parenchymal cues define Vegfa-driven venous angio-genesis by activating a sprouting competent venous endothelial subtype*. *Nat Communications* **15**, 3118, <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47434-x>

A.2.2.4.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen

Das Topic Molecular and Cellular Information Processing ist sehr breit gefächert und soll seine Aktivitäten fokussieren

Das Ziel von Topic 4 ist es, die biologische Informationsverarbeitung auf molekularer, zellulärer und multizellulärer Ebene zu erforschen und Mechanismen und Prinzipien zu identifizieren, die sich in Zukunft möglicherweise auf die Informationstechnologie übertragen lassen. Zunächst war geplant, ein breites Spektrum unterschiedlicher biologischer Systeme zu analysieren, um zu erforschen, welche Mechanismen und Prinzipien sich für zukünftige Anwendungen besonders gut eignen, um sich dann in der Folge auf die relevantesten Kandidaten zu konzentrieren.

Die Gutachtenden empfahlen, den Fokus von Anfang an auf die biologische Informationsverarbeitung in einem biologischen System zu legen. Um dieser Empfehlung zu folgen, werden am FZJ molekulare und zelluläre Mechanismen der Informationsverarbeitung im Säugetiergehirn untersucht. Am KIT konzentriert man sich verstärkt auf die molekulargenetischen Mechanismen, die die Funktion des Nervensystems bestimmen, und dabei insbesondere die hervorragenden Möglichkeiten der Zebrafischgenetik in Kombination mit anderen nicht-neuronalen zellulären und molekularen Modellsystemen nutzen. Dieser Ansatz, der ein allgemeineres Verständnis der Art und Weise voraussetzt, wie Informationen im Genom gespeichert und verarbeitet werden, erweitert vor allem auch den Bereich der möglichen Anwendungen in der Biomedizin und Biotechnologie. In beiden Helmholtz-Zentren werden eine Multiskalenanalyse und der anschließende Einsatz von Modellierungs- und Simulationsansätzen zur Ermittlung grundlegender Prinzipien der biologischen Informationsverarbeitung angewandt.

Das Programm soll einen Plan aufstellen, wie die Zusammenarbeit mit der Industrie gestaltet oder verstärkt werden kann.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Aspekte und der Relevanz der Forschung für die Industrie in NACIP scheint eine übergreifende Strategie, die für alle passt, ungeeignet. Daher betrifft dies unserer Auffassung nach hauptsächlich die Themen 2 und 3 des Programms. Im Bereich Quantencomputing haben die Mitglieder des Topics in den letzten Jahren die Zusammenarbeit mit der Industrie erheblich ausgeweitet. Dies umfasst eine Vielzahl von Maßnahmen, die eng miteinander verknüpft und in einen nationalen Ansatz integriert sind. Die PIs des Topics waren aktiv an der Gestaltung und Formulierung der nationalen und europäischen Agenda und Strategie für Quantentechnologien und Quantencomputing beteiligt. „Helmholtz Quantum“ wurde als Austauschplattform mit Vertretungen aller relevanten Zentren, Forschungsbereiche und Programme initiiert. In diesem Zusammenhang wurde auch das Helmholtz-Strategiepapier zur Quantentechnologie entwickelt und veröffentlicht. Gleichzeitig wurde die Gründung von QUIC, dem European Quantum Industry Consortium, koordiniert, um eine Schnittstelle zwischen Forschung und Industrie zu schaffen und ein gemeinsames Verständnis der Technologieanforderungen in Europa zu fördern. Diese Bemühungen fielen mit dem Technologieentwicklungsschub durch die Bundesministerien und den Förderprogrammen für große Demonstrationsprojekte und mehrere Forschungsprojekte mit Industriepartnern zusammen. Dies führt auch zu einer zunehmenden Anzahl von industriellen Promovierenden. Diese Aktualität war nur durch eine gut vernetzte und organisierte nationale und europäische Forschungsgemeinschaft möglich, die alle Aspekte von den Grundlagen bis zu den Anwendungen integriert. Derzeit laufen Bemühungen, die großen nationalen Forschungs- und Technologieorganisationen (Research and Technology Organizations, RTOs) und die akademische Forschung zu koordinieren, um die Herausforderung des Fachkräftemangels anzugehen und eine langfristige Perspektive sowie eine klare Schnittstelle zur Industrie zu bieten. Eines der von Helmholtz vorangetriebenen Projekte ist das Strukturwandelprojekt in Nordrhein-Westfalen CQSE – zur Einrichtung eines Innovationszentrums für Quantentechnologien zusammen mit Fraunhofer.

Im Rahmen von Topic 2 haben Forschende des KIT bedeutende Fortschritte bei der Entwicklung von Spin-Qubits unter Verwendung industrieller Halbleiterfertigungstechniken erzielt. Die gesamte Produktion und Integration der Spin-Qubits wurde in Zusammenarbeit mit dem Interuniversity Microelectronics Center (imec) in Belgien durchgeführt. Diese Zusammenarbeit demonstriert das Potenzial für industrielle Anwendungen und die Integration von Quantencomputertechnologien in bestehende Halbleiterfertigungsprozesse.

Im Rahmen von Topic 4 hat die Investition des KIT in das Forschungsgebiet der Biophotonik, insbesondere durch die Einrichtung einer Professur am KIT, zur Aufnahme wichtiger Industriekooperationen geführt. Insbesondere konzentriert sich das Forschungsteam auf den Einsatz thermoviskoser Strömungen für eine Reihe feiner Mikromanipulationen, wie z.B. die Bewegung des Zytoplasmas von Zellen und sich entwickelnden Embryonen, intrazelluläre Rheologie und Kraftmessungen im Femtonewton-Bereich. Diese Strömungen, die auch als fokussierte Licht-induzierte zytoplasmatische Strömungen (FLUCS) bezeichnet werden, werden durch das Scannen eines Temperaturpunktes durch die Probe mit einem Laser im mittleren Infrarotbereich ausgelöst. Die FLUCS-Technologie wurde in Zusammenarbeit mit unserem industriellen Partner Rapp Optoelectronic GmbH entwickelt und ist nun kommerziell verfügbar. Die Technologie wurde zum internationalen europäischen Patent angemeldet (Anmeldenummer PCT/EP2021/071437) [<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01406-4>].

A.2.2.4.4 Strategische Themen

Talentmanagement

NACIP ist bestrebt, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler während ihrer gesamten Karriere zu fördern und zu rekrutieren – unabhängig von Geschlecht, Weltanschauung oder ethnischer Herkunft. Einige der Maßnahmen aus dem Berichtsjahr sind im Folgenden aufgeführt. Die Graduiertenschule FINEST, Teil des Helmholtz Sustainability Challenge Core Project FINEST, betreut vier Promovierende aus Topic 4 (Institute IBCS-BIP, ITC und IIP). Das KIT war Gastgeber für die gesamte FINEST-Graduiertenschule für einen zweitägigen Workshop zum wissenschaftlichen Schreiben und Präsentieren.

Mitarbeitende aus Topic 4 bieten einen von der Federation of European Laboratory Animal Science Associations (felasa) zertifizierten Schulungskurs für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie technisches Personal an, der biologische, technische und rechtliche Informationen über Zebrafische und Medaka als Modellsysteme für die biologische Forschung vermittelt. In dem 4-tägigen Kurs „International Zebrafish and Medaka Course (IZMC)“ werden Zucht und Haltung, Tierschutzbestimmungen und Versuchsmethoden in Theorie und Praxis vermittelt. Die Teilnehmenden des Kurses kommen aus der universitären Forschung und der Industrie. Der Kurs wird durch Beiträge finanziert. Die Kurse sind sehr beliebt und bereits lange im Voraus ausgebucht (<https://izmc.ezrc.kit.edu/index.php>).

Dr. Ewa Anna Oprezska-Zingrebe hat erfolgreich ein YIG-Prep Pro Fellowship am IBCS-BIP eingeworben. Die Arbeiten auf dem Gebiet der „synthetischen Genomik“ werden durch die Entwicklung und Untersuchung von DNA-Systemen mit computergestützten Methoden, wie sie in den modernen Materialwissenschaften üblich sind, weiter verstärkt. Die DNA-Nanotechnologie ist ein schnell wachsendes Gebiet an der Schnittstelle von Biologie, Chemie und Materialwissenschaft, in dem die Selbstorganisation und Programmierbarkeit von DNA-Molekülen zur Konstruktion von Geräten im Nanomaßstab genutzt wird.

Nataliia Petlovana erhielt ein Promotionsstipendium vom Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD). Xinru Liu erhielt ein Promotionsstipendium vom China Scholarship Council (CSC).

Vernetzung

Die Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Partnerinstitutionen aus Industrie und Wissenschaft ist ein wesentlicher Bestandteil des Programms zur Erreichung seiner wissenschaftlichen Ziele. Die wichtigsten Beteiligungen an Konsortien und Großprojekten, die im Berichtsjahr etabliert wurden, werden hier vorgestellt.

Das Center für Synthetische Genomik (Center SynGen, gefördert von der Carl-Zeiss-Stiftung), eine gemeinsame Initiative des KIT, der Universität Heidelberg und der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, konzentriert sich auf die Entwicklung synthetischer Genomiktechnologien. Das Zentrum kombiniert KI-basierte Technologien mit DNA-Synthese und -Simulation und positioniert sich damit an der Spitze von High-Content-Screening, Wirkstoffforschung und synthetischer Biologie.

Im Rahmen eines gemeinsamen EURIZON-Projekts hat das IBG 2 etwa zehn ukrainische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und ihre Forschungsinfrastrukturen in der Ukraine unterstützt, z.B. am Palladin Institute of Biochemistry NAS of Ukraine, V. N. Karazin Kharkiv National University und National Cancer Institute of Ukraine.

Ende Mai 2024 fand am KIT ein Vernetzungs- und Kooperationstreffen im Rahmen des Verbundprojekts: „KI-basiertes Screening von diagnostischen Peptiden für die serologische Diagnostik“ statt. Das Projekt, an dem unter anderem das NMI Tübingen, das KIT, die HS-Analysis GmbH und die ATG GmbH beteiligt sind, wird durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg im Rahmen des Programms Invest BW gefördert. Im Mittelpunkt des Treffens standen die Erörterung des Projektstandes, die Validierung des Diagnosetests und die Erkundung von Perspektiven für die Kommerzialisierung.

Im November 2024 wurde ein Kooperationsprojekt mit der Industrie im Rahmen des „Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM)“ (KK5145204CR4) gestartet, bei dem es um die Entwicklung eines Modells zur Vorhersage von RNA-Protein-Interaktionen geht. Das Projekt wurde durch Empfehlungen der Universität Wien unterstützt (<https://doi.org/10.3390/life13030796>).

Dank der Zusammenarbeit zwischen der Universität Grenoble Alpes (UGA) und dem KIT wurden bedeutende Fortschritte bei der Entwicklung von protonenleitenden Polymeren für Brennstoffzellen erzielt. Im Jahr 2024 konzentrierte sich die Forschung der UGA auf Peptide, die am Institut für Mikrostrukturtechnik (IMT) mit Unterstützung eines KIT Future Field Projektes ausgewählt wurden und die sich als wirksame Bindemittel für Nafion-Membranen in Brennstoffzellen erwiesen haben. Ziel dieser Zusammenarbeit ist es, die Protonenleitfähigkeit bei höheren Temperaturen zu verbessern und gleichzeitig umweltschädliche Verbindungen durch stabilere Membranmaterialien zu ersetzen.

Das MSCA-Doktoranden-Netzwerk DANIO-ReCODE wurde am IBCS-BIP eingerichtet. DANIO-ReCODE bündelt das multidisziplinäre Fachwissen von 15 Forschungslaboratorien, um die Regulationsmechanismen der Regeneration von Herz, Gehirn und Augen anhand des einzigartigen und äußerst handlichen Zebrafischmodells zu entschlüsseln. Im Gegensatz zum Menschen können Teleostee (Knochenfische) beschädigtes Gewebe reparieren oder sogar ganze Gliedmaßen nachwachsen lassen. Bei Säugetieren ist die Regeneration selten und auf Haut, Leber und Zehen beschränkt. Die regenerative Medizin verspricht jedoch die Wiederherstellung von Gewebefunktionen durch den Einsatz von Stammzellen, Gewebezüchtung und die Herstellung künstlicher Organe, deren Bedeutung als eine der strategischen Aufgaben der EU anerkannt ist.

Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

Das Programm NACIP zielt darauf ab, seine wissenschaftlichen Erkenntnisse auf möglichst vielen Ebenen der Gesellschaft zugutekommen zu lassen, durch die vielfältigen Bildungsangebote und umfangreichen Outreach-Aktivitäten der einzelnen Themen sowie die enge Zusammenarbeit mit der Industrie zur Entwicklung marktfähiger Produkte in verschiedenen Themenbereichen. Die Erfolge des Berichtsjahres sind hier vermerkt.

Technologietransfer

In Zusammenarbeit mit der HS-Analysis GmbH entwickelten Forschende von Topic 4 am IMT fortschrittliche Peptid-Screening-Methoden und -Werkzeuge für die Identifizierung von hochaffinen Bindungssignaturen und konnten dadurch die Präzision bei der Vorhersage von RNA-Protein-Interaktionen verbessern, was direkte Anwendungen in der Entwicklung von RNA-basierten Medikamenten ermöglicht.

Forschende von Topic 4 (Institute IMT des KIT und Naturwissenschaftliches und Medizinisches Institut (NMI) Tübingen) entwickelten eine diagnostische Peptidbibliothek, die auf die Diagnose von Tuberkulose (TBC) auf der Grundlage von Bluttests zugeschnitten ist. Es wur-

den erfolgreich Proof-of-Principle-Tests durchgeführt, die die Machbarkeit des Ansatzes belegen. Die Zusammenarbeit zwischen den Industriepartnern und den beteiligten Forschungsinstituten ist fest etabliert und bildet die Grundlage für künftige Fortschritte bei den Diagnose-technologien.

Gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie haben Forschende aus Topic 4 (Institut für Biologische und Chemische Systeme, Biologische Prozessoptimierung - IBCS-BIP und Institut für Technische Chemie - ITC) eine Patentanmeldung eingereicht, die die Grundlage für das im Berichtsjahr gestartete Technologie-Transfer (TT)-Projekt IMPEDALI bildet. Für die Technologieentwicklung „Online effect measurement on ALI-exposed lung cells using impedance technology“ ist ein umfangreiches Projekt mit zwei Industriepartnern und dem Know-how-Partner Biotechnologisch-Biomedizinisches Zentrum (BBZ) an der Universität Leipzig geplant. Die Industriepartner haben vor der Teilnahme an diesem Projekt einen Proof of Concept gefordert, den die beteiligten Institute mit F&E-Mitteln allein nicht erreichen können. Ziel dieses TT-Projekts ist der Nachweis der Anwendbarkeit von Impedanzmessungen an speziell hergestellten Membranen an der Gas-Flüssigkeits-Grenzfläche. Das Patent wurde am 27. Juni 2024 erteilt (DE 10 2023 203 746).

Wissenstransfer

Am 18. September 2024 fand in der Schweizer Botschaft in Berlin anlässlich des 70-jährigen Jubiläums des CERN eine Veranstaltung zum Thema „Open Science und Biodiversitätsforschung“ statt. Einer der Höhepunkte war eine Präsentation und Live-Demonstration der automatisierten Mikroskope für die Biodiversitätsforschung als Zusammenarbeit zwischen Prof. Rudolf Meier vom Museum für Naturkunde (MfN) Karlsruhe und Prof. Dr. Christian Pylatiuk vom Institut für Automation und Angewandte Informatik (IAI) des KIT.

Studio Quantum ist ein internationales Veranstaltungs- und Residenzprogramm des Goethe-Instituts, das die Rolle der Kunst im Kontext neu aufkommender Quantentechnologien untersucht. Das Programm wird in Zusammenarbeit mit dem Goethe-Institut Irland und dem Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des KIT durchgeführt und umfasst Veranstaltungen und Aufenthalte für Künstlerinnen und Künstler. Forschende aus Topic 1 und 2 nahmen im Jahr 2024 mit Vorträgen teil.

Die „Nacht der Wissenschaft“ am KIT fand am 22. November 2024 statt. Die Veranstaltung umfasste verschiedene Vorträge und Präsentationen, darunter Themen wie die Chemie, die DNA zum Leuchten bringt, und die historischen Perspektiven des Lernens aus der Geschichte. Die Veranstaltung war gut besucht und bot ein breites Spektrum an wissenschaftlichen Diskussionen.

Drittmittleinwerbung

Um die wissenschaftlichen Ziele der PoF zu ergänzen und zusätzlich zu stärken, erwerben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Programms eine Vielzahl von extern geförderten Projekten. Die wichtigsten davon sind hier aufgeführt.

EU-finanzierte Projekte:

- Der Ansatz „Safe and Sustainable by Design“ erfordert die Überwachung der Toxizität von Chemikalien während ihres gesamten Lebenszyklus. Das EU-Projekt TOXBOX (2024-2027) zielt darauf ab, ein Instrument zu entwickeln, das zuverlässige Toxizitätsdaten unter relevanten Bedingungen für jede Chemikalie während ihres Lebenszyklus liefert. Fortgeschrittene In-silico-Modelle für Langzeiteffekte werden iterativ entwickelt. Das KIT beteiligt

sich an Arbeitspaketen zur Bild- und Datenanalyse (IAI, Prof. Ralf Mikut) und Zebrafisch-Assays (IBCS-BIP, Dr. Thomas Dickmeis).

- METSuperQ unter Beteiligung von Prof. Dr. I. Pop, Institut für QuantenMaterialien und Technologien (IQMT). Ziel ist die Entwicklung einer neuen Generation von metrologischen Methoden und Werkzeugen für supraleitende Qubits und deren Anwendung auf moderne Ein- und Zwei-Qubit-Schaltungen.
- ML4Q: Projekt zum maschinellen Lernen für Quanten unter Beteiligung von Prof. Dr. A. Metelmann, Institut für Theorie der Kondensierten Materie (TKM) und Prof. Dr. M. Ruben, Institut für Nanotechnologie (INT). ML4Q bietet zehn Promovierenden eine interdisziplinäre Ausbildung in der Ausweitung der quanten- und klassisch-maschinellen Vorhersage von Material- und Materialeigenschaften auf stark korrelierte Bereiche und in der Weiterentwicklung von Quantentechnologien durch maschinelles Lernen, wodurch neue Ansätze zur Lösung von Problemen ermöglicht werden, die für klassische Computer unerreichbar sind.

Nationale Förderungen:

- Die Fortsetzung des Sonderforschungsbereichs „Elastic Tuning and Response of Electronic Quantum Phases of Matter“ (TRR288 Elasto-Q-Mat), der von Prof. Dr. J. Schmalian (TKM) am KIT mitkoordiniert wird und an dem viele Forschende aus Topic 1 beteiligt sind, wurde von der DFG für den Zeitraum 2024-2028 (11 Mio. Euro) genehmigt.
- Start des Projekts „Screening of Amino Acid Signatures for RNA-Binding Peptides“, das durch das „Zentrale Innovationsprogramm für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimapolitik gefördert wird. Es hat eine Laufzeit von zwei Jahren und wird in Zusammenarbeit mit dem KI-Unternehmen HS-Analysis GmbH durchgeführt.
- Das Projekt „AI-Based Screening of Diagnostic Peptides for Serological Diagnosis“ wird in Zusammenarbeit mit Industriepartnern (NMI Tübingen, KIT, HS-Analysis GmbH und ATG GmbH) durchgeführt. Es wird durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg im Rahmen des Programms Invest BW gefördert.
- Beginn des HMC-Projekts MeSyTo mit Beteiligung des KIT/IBCS-BIP (Dickmeis, Weiss), des UFZ (Busch, Hackermüller, Schubert) und des HZI (Jänsch).
- Kollaboratives Projekt von drei Helmholtz-Forschungsbereichen (Erde und Umwelt, Information und Gesundheit) zur Erstellung eines integrativen Metadatenrahmens für die Annotation von pharmakologischen und toxikologischen Daten und Arbeitsabläufen vom experimentellen Design bis zur Datenspeicherung, einschließlich der Kompatibilität mit anderen Disziplinen.

Interne Förderungen

- Das KIT und die Universität Grenoble Alpes, Frankreich, arbeiten im Projekt „Novel Peptide-Doped Polymer Membranes for Energy Applications“ zusammen, das im Rahmen von KIT Future Fields gefördert wird.

A.2.2.4.5 Senatsempfehlungen

Der Senat macht sich den ihm vorliegenden Vorschlag zur Bewertung des Programmfortschritts im Jahr 2024 zu eigen und beschließt ihn als seine Bewertung zum Programmfortschritt 2024. Er bestätigt damit den vorliegenden Controllingbericht des Präsidenten für das Jahr 2024.

A.2.2.5 Programmanteil Materials System Engineering (MSE)

A.2.2.5.1 Das Programm im Überblick

Langfristiges Ziel des Programms MSE ist die Entwicklung und Integration informationsgestützter Techniken im Materialdesign, in der Materialentwicklung und -verarbeitung. Die zunehmenden Anforderungen an neu designte, effizientere, intelligentere, kostengünstige und nachhaltige Werkstoffe sind Herausforderungen an neue Materialien und Materialsystemkonzepte, denen in MSE mittels Funktionalität durch computergestütztes Design, informationsgetriebenes Materialgrenzflächen- und Prozessdesign, Kombination von biologischen und künstlichen Werkstoffen sowie eine skalenübergreifende Fertigung unter Berücksichtigung von Lebenszyklusaspekten begegnet wird. MSE stellt mit seiner exzellenten materialwissenschaftlichen Grundlage die Voraussetzung für den Entwurf und die Herstellung realer Materialien sowie deren digitaler Zwillinge und ihrer Anwendungen, z. B. in den Bereichen IT, Energie, Trenntechniken und (Daten-)Speicherung, Gesundheitswesen, Robotik oder Verkehr. Hierbei stellt das computergestützte Design die entscheidende Basis für die Schaffung und Integration von (Mehrfach-)Funktionen in komplexen Multimaterialsystemen dar. Das große Potenzial für künftige technologische Anwendungen wird durch das gezielte Tuning von Materialeigenschaften über das Design von Mikrostrukturen, durch die Funktionalisierung von Oberflächen und die Kontrolle von Grenzflächen erschlossen. Vollautomatische Strukturanalyse, datengesteuertes Materialdesign sowie Modellierung und Simulation (*ab initio*, Molekulardynamik, Multiskalensimulation) sind integrale Bestandteile der Materialforschung in MSE und Schlüsselemente für die Dekodierung komplexer Grenzflächen-Struktur-Eigenschafts-Beziehungen.

Als integraler Bestandteil der Helmholtz-Materialforschungsstrategie positioniert sich MSE im Zentrum der Materialforschung der Helmholtz-Gemeinschaft und betreibt Forschungsinfrastrukturen wie die Karlsruhe Nano Micro Facility *for Information-driven Material Structuring and Characterization* (KNMFi) am KIT sowie das Ernst Ruska-Centrum (ER-C) am Forschungszentrum Jülich (FZJ). In den letzten Jahren hat das Konzept der Self-Driving Labs (SDL) in MSE zunehmend an Bedeutung gewonnen. Neue Plattformen werden aufgebaut, die maschinelles Lernen, automatisierte Materialsynthese und -charakterisierung verknüpfen. MSE ist eng vernetzt mit den Partner-Programmen in Helmholtz Information, z. B. im Rahmen der Erarbeitung von Konzepten zu effizienter Datenerfassung, -speicherung, -abfrage und -verarbeitung mit dem Programm EDF (Engineering Digital Futures) oder zu Materialforschungen im Bereich Datenspeicherung und -übertragung mit dem Programm NACIP (Natural, Artificial and Cognitive Information Processing). Die Joint Labs Virtual Materials Design (VMD) und Integrated Model and Data Driven Material Characterization (MDMC) stellen dabei wichtige Plattformen der Zusammenarbeit dar. Das Management von Forschungsdaten wird in MSE themenübergreifend aufgegriffen und kontinuierlich umgesetzt, u.a. durch die Entwicklung von Elektronischen Laborbüchern (ELN: Kadi4Mat, Chemotion/LabIMotion am KIT, Herbie bei Hereon) zukunftsweisend geprägt und findet durch vielfältige und führende Aktivitäten z. B. in den NFDI-Konsortien weitreichende nationale wie auch internationale Vernetzung.

Programmstruktur

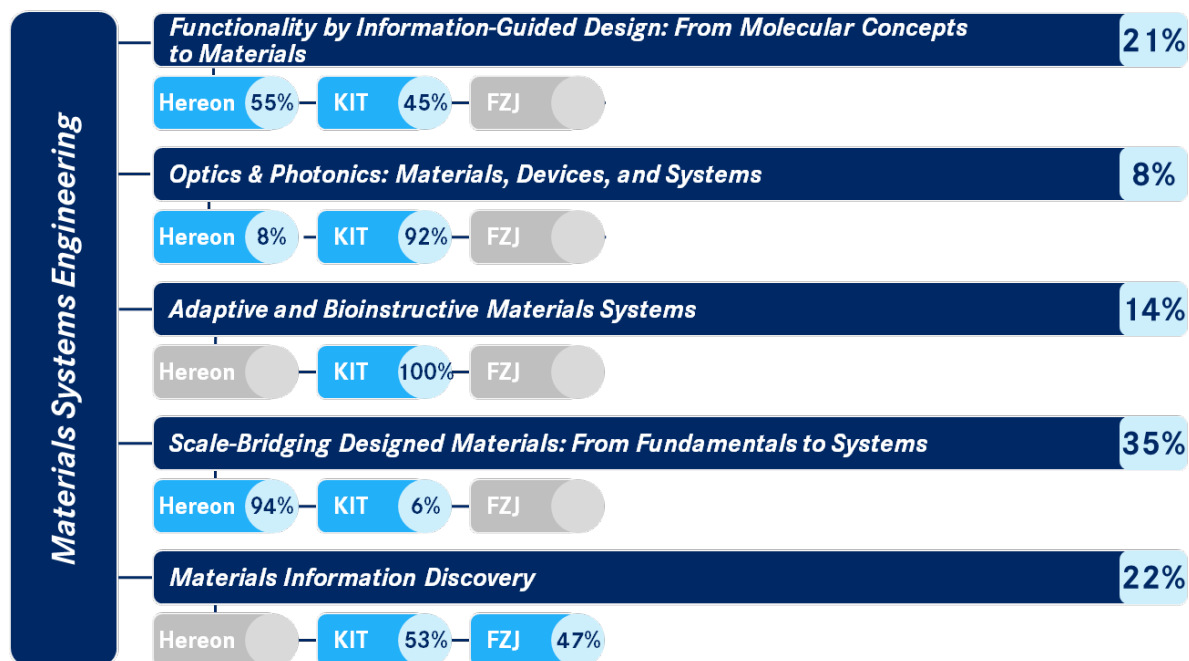


Abbildung 9: Programmstruktur MSE

Das Programm gliedert sich in:

Topic 1: Functionality by Information-Guided Design:
 From Molecular Concepts to Materials
 (Sprecherin und Sprecher des Topic-Boards: Prof. Dr. Jasmin Aghassi-Hagmann, KIT; Dr. Manfred Gossen, Hereon)

Der Forschungsansatz in Topic 1 beruht auf dem Grundprinzip des daten- und informationsbasierten Designs von Materialfunktionen, um anschließend die Translation in innovative Applikationen zu ermöglichen. Hierzu werden im Zusammenspiel von Theorie/Modellierung/Simulation und Experimenten digitale Design-, Herstellungs- und Charakterisierungsmethoden zur Generierung und Integration von Materialfunktionen verfolgt. Die dafür notwendigen intelligenten Bausteine (Devices) sowie die Anwendung der damit realisierbaren Technologien werden in ihrer relevanten Systemumgebung erforscht, wie beispielsweise in der klinischen Verwendung von 3D-gedruckten Medizinprodukten und im Einsatz von elektronischen Sensor- und Sicherheitssystemen.

Topic 2: Optics & Photonics: Materials, Devices, and Systems
 (Sprecher des Topic-Boards: Prof. Dr. Martin Wegener, KIT)

In Topic 2 ist die Verbindung zwischen Informationen und Materialien bidirektional. Zum einen wird das informationsbasierte Design neuartiger optischer Materialien, Komponenten und Systeme sowie deren Herstellung auf Grundlage von rationalem sowie inversem Design und Deep Learning verfolgt. Zum anderen werden neue leistungsstarke optische Sender-Empfänger-Systeme entwickelt, die für den künftigen Fortschritt entscheidend sind, z. B. für die ubiquitäre Konnektivität, das Internet der Dinge und die Digitalisierung von industriellen Prozessen.

Topic 3: Adaptive and Bioinstructive Materials Systems
(Sprecher des Topic-Boards: Prof. Dr. Christof Niemeyer, KIT)

Der Schwerpunkt in Topic 3 ist die informationsbasierte Entwicklung neuartiger chemischer Verfahren, anpassungsfähiger, multifunktionaler und biohybrider Werkstoffsysteme und ihre Integration, z. B. für Anwendungen in den Lebenswissenschaften hauptsächlich in den Bereichen der weißen und roten Biotechnologie. Das gesamte Spektrum der erforderlichen Herstellungs- und Charakterisierungsverfahren wird abgedeckt, einschließlich chemischer Synthese, additiver Fertigung und biologischer Tests.

Topic 4: Scale-Bridging Designed Materials: From Fundamentals to Systems
(Sprecher des Topic-Boards: Prof. Dr. Thomas Klassen, Hereon)

Topic 4 verbindet experimentelles und virtuelles Material- und Prozessdesign vom Atom bis zum Materialsystem für ein breites Spektrum von Anwendungen, wie z. B. Struktur- und Funktionselemente für Medizin-, Automobil- und Flugzeugtechnik, Erzeugung erneuerbarer Energien und nachhaltiger Materialien und Prozesse, Module für die Gastrennung und Wasseraufbereitung oder stationäre und mobile Wasserstofftanksysteme. Es entstehen dynamische digitale Zwillinge, die den realen Lebenszyklus eines Materialsystems durch Einbeziehung der Materialherstellung und -verarbeitung sowie der Betriebsphase oder biologischer Prinzipien widerspiegeln. So können zuverlässige Lebensdauervorhersagen und neue Funktionalitäten implementiert werden wie z.B. patientenspezifische Degradation eines Implantats oder die Entwicklung von Selbstheilungsfunktionen.

Topic 5: Materials Information Discovery
(Sprecher des Topic-Boards: Prof. Dr. Jan Korvink, KIT; Prof. Dr. Joachim Mayer, FZJ)

Die Arbeiten in Topic 5 zielen darauf ab, integrierte und korrelative Kombinationen verschiedener Charakterisierungsmethoden zu entwickeln, zu validieren und anzuwenden, um umfassende Informationen zu Materialien zu gewinnen. Ziel ist die Erstellung einer umfassenden Datenbank für Materialien, die die Grundlage für die Vorhersage und Verbesserung von Materialeigenschaften und die digitale Identifizierung von Synthesewegen bildet. Die Entwicklung neuer und die Optimierung bestehender Operando- und In-situ-Methoden in Kombinationen ist ein entscheidendes Element der Strategie.

Neue strukturelle Entwicklungen und veränderte Rahmenbedingungen

Prof. Dr. Stefanie Dehnen (KIT) hat im März 2024 als Programmsprecherin die Nachfolge von Prof. Dr. Christof Wöll (KIT) angetreten, der im Herbst 2025 emeritieren wird. Der Übergang wurde frühzeitig vollzogen, um schon im Vorfeld der anstehenden Evaluierungen die Verantwortung zu übergeben und somit zukunftsorientiert aufgestellt zu sein. Entsprechend wird auch zum Januar 2025 die Sprecherschaft von Topic 2 von Prof. Dr. Martin Wegener (KIT) auf Prof. Dr. Carsten Rockstuhl (KIT) übertragen werden. Topic 4 wird seit November 2024 von Prof. Dr. Thomas Klassen (Hereon) vertreten, weil Prof. Dr. Regine Willumeit-Römer die Geschäftsführung von Hereon übernommen hat.

A.2.2.5.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms

Highlight Topic 1

Hochentropie-Metallorganische Gerüstverbindungen (HE-MOFs) wurden entwickelt und mittels additiver Fertigungsverfahren zu Memristoren verarbeitet. Diese Materialien spielen eine Schlüsselrolle in neuartigen Rechnerarchitekturen (in-memory computing) und der Entwicklung neuronaler Netzwerke. In einer Studie wurde die Synthese des einphasigen $\text{Na}_{1,4}\text{Mn}_{0,3}\text{Fe}_{0,3}\text{Co}_{0,13}\text{Ni}_{0,13}\text{Cu}_{0,13}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_{0,84}\square_{0,16} \cdot 0,92\text{H}_2\text{O}$ erforscht [1]. Das Material bildet kubische Partikel mit einer Kantenlänge von ca. 200 nm, die sich für den Druckprozess und die Herstellung von Memristoren eignen. Begleitende DFT-Berechnungen zeigten, dass die Leitfähigkeit des HE-MOFs durch die Na^+ -Ionenkonzentration in der Struktur gesteuert werden kann. Beim Anlegen eines elektrischen Potentials wandern Na^+ -Ionen, wodurch Regionen mit variierenden Konzentrationen entstehen. Diese Veränderung beeinflusst die density of states (DOS), was die elektrische Leitfähigkeit des Materials reguliert. Die Stabilität der Na^+ -Positionen nach Spannungseinwirkung sorgt für einen dauerhaft funktionsfähigen Memristor. Der daraus resultierende Memristor zeichnet sich durch einen geringen Stromverbrauch, selbstbegrenzendes Verhalten und formierungsfreie Funktion aus – entscheidende Vorteile für diese Technologie.

- [1] **Y. He, Y.-Y. Ting, H. Hu, T. Diemant, Y. Dai, J. Lin, S. Schweidler, G.C. Marques, H. Hahn, Y. Ma, T. Brezesinski, P.M. Kowalski, B. Breitung, J. Aghassi-Hagmann**, *Printed High-Entropy Prussian Blue Analogs for Advanced Non-Volatile Memristive Devices*, *Advanced Materials* 2410060 (2024), DOI:10.1002/adma.202410060

Highlight Topic 2

Es konnten neuartige Ansätze für eine skalierbare photonische Aufbau- und Verbindungstechnik mit 3D-gedruckten Facetten-Mikrolinsen (FaML) demonstriert werden [2]. Herkömmliche Methoden für Chip-zu-Chip- und Faser-zu-Chip-Verbindungen beruhen häufig auf aktiven Ausrichtungsverfahren, die sowohl technisch komplex als auch kostenintensiv sind und in vielen Anwendungen eine große Herausforderung für die Einführung von Lösungen basierend auf PIC (Photonic Integrated Circuits) darstellen. Im Gegensatz dazu bietet der FaML-Ansatz eine vielversprechende Alternative, indem er passive Verbindung ohne aktive Justage ermöglicht, da die Mikrolinsen die Ausrichtungstoleranzen entspannen. Die Mikrolinsen können mithilfe der 3D-Laserlithographie präzise auf die Facetten optischer Komponenten gedruckt werden und ermöglichen die Formung der emittierten Strahlen durch individuell gestaltete diffraktive oder refraktive Oberflächen. Um die Vielseitigkeit des FaML-Ansatzes zu verdeutlichen, wurde eine Reihe von Experimenten durchgeführt, darunter steckbare Faser-Chip-Schnittstellenverbindungen und die Kombination von PICs mit diskreten mikrooptischen Elementen wie Polarisationsstrahlteilern. Im Juli 2024 wurde die zugehörige Publikation mit dem „Outstanding Paper Award“ der Online-Zeitschrift *Light: Advanced Manufacturing* ausgezeichnet, die zur Nature Publishing Group (NPG) gehört [2]. Die Anerkennung dieser Publikation unterstreicht den bedeutenden Einfluss auf den Fortschritt der skalierbaren photonischen Verbindungstechnik.

- [2] **Y. Xu, P. Maier, M. Trappen, P.-I. Dietrich, M. Blaicher, R. Jutas, A. Weber, T. Kind, C. Dankwart, J. Stephan, A. Steffan, A. Abbasi, P. Morrissey, K. Gradkowski, B. Kelly, P. O'Brien, W. Freude, C. Koos**, *3D-printed facet-attached microlenses for advanced photonic system assembly*, *Light: Advanced Manufacturing* 4, 3 (2023), DOI: 10.37188/lam.2023.003

Highlight Topic 3

Forschende des KIT haben in Kooperation mit dem Indian Institute of Technology Guwahati (IITG) ein Oberflächenmaterial entwickelt, das Wasser fast vollständig abweist [3]. Mit einem völlig neuen Verfahren veränderten sie metallorganische Gerüstverbindungen (MOFs) – künstlich designte Materialien mit neuen Eigenschaften – mithilfe von Kohlenwasserstoffketten. Aufgrund ihrer bürstenartigen Anordnung auf den MOFs entstanden so superhydrophobe, also hochgradig wasserabweisende Eigenschaften. Die Materialien sind für den Einsatz als selbstreinigende Oberflächen, die robust gegenüber Umwelteinflüssen sein müssen, beispielsweise bei Automobilen oder in der Architektur, interessant.

[3] **E. Bogdanova, M. Liu, P. Hodapp, A. Borbora, W. Wenzel, S. Bräse, A. Jung, Z. Dong, P.A. Levkin, U. Manna, T. Hashem, C. Wöll**, *Functionalization of monolithic MOF thin films with hydrocarbon chains to achieve superhydrophobic surfaces with tunable water adhesion strength*, *Mater. Horiz., Advance Article* (2024), DOI: 10.1039/D4MH00899E

Highlight Topic 4

Das ursprünglich für den 3D-Druck reiner Thermoplaste entwickelte additive Fertigungsverfahren Fused Filament Fabrication (FFF) wurde am KIT weiterentwickelt, sodass über eine mehrstufige Prozesskette gesinterte Ti6AlV4-Bauteile unterschiedlicher Größe und unterschiedlicher Komplexität mit hohen Sinterdichten besser, d.h. 96 % der Theorie für Anwendungen im Leichtbau oder in der Medizintechnik, realisiert werden konnten [4]. Durch eine Weiterentwicklung der Ausgangsmaterialien, speziell dem thermoplastischen Binder und einer speziellen Additivierung, konnten erstmals flexible Filamente entwickelt werden, welche sich deutlich leichter im FFF verarbeiten lassen.

[4] **R. Eickhoff, S. Antusch, D. Nötzel, M. Probst, T. Hanemann**, *Development of Flexible and Partly Water-Soluble Binder Systems for Metal Fused Filament Fabrication (MF3) of Ti-6Al-4V Parts*, *Polymers* 16 (17), 2548 (2024), DOI: 10.3390/polym16172548

Highlight Topic 5

Forschende des KIT und der Voxalytic GmbH, eines Spin-offs des KIT, haben eine neue Methode entwickelt, mit der sich erstmals die chirale Struktur eines Moleküls direkt durch NMR-Spektroskopie aufklären lässt [5]. Das Prinzip der Methode basiert auf der Entwicklung der Magnetisierung eines chiralen Moleküls in einer NMR-Umgebung unter der Einwirkung eines gleichzeitig angelegten externen elektrischen HF-Feldes. Die Aufklärung der Chiralität bei der Entwicklung neuer Medikamente war bisher ein zeitaufwändiges Verfahren. Diese Methode hat das Potenzial, ein Standardwerkzeug für die chemische und pharmazeutische Industrie zu werden.

[5] **S. Wadhwa, D. Buyens, J.G. Korvink**, *Direct Chiral Discrimination with NMR*, *Advanced Materials* 36 (40), 2408547 (2024), DOI: 10.1002/adma.202408547

A.2.2.5.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen

Das Programm soll seine Verbindungen zu rechnergestützten Ansätzen stärken, indem es die Bemühungen um Methoden und KI intensiviert, insbesondere durch die Stärkung der Verbindungen und Zusammenarbeit mit anderen starken Gruppen.

Die Ausrichtung der Forschungsarbeiten im Programm MSE hinsichtlich KI, RDM und Digitalisierung wurden in den letzten Jahren stetig intensiviert und in den ZFB dargestellt. Sie umfassen Berufungen (u.a. Prof. Pascal Friederich), Zusammenarbeiten mit den anderen Zentren und Programmen in den entsprechenden Joint Labs und Innopool-Projekten sowie die Eigenentwicklung (Kadi4Mat, Chemotion/LabIMotion am KIT, Herbie bei Hereon) und den Einsatz von Datenmanagementtools und Elektronische Lab Notebooks (ELN).

Die Materialforschung im Programm wird durch den Aufbau von automatisierten und perspektivisch autonomen (selbst-lernenden) Self-Driving Laboratories resilienter, nachhaltiger und vor allem beschleunigt, indem maschinelles Lernen, automatisierte Materialsynthese und -charakterisierung verknüpft werden. Dazu gehören am KIT die Initiative Auto.MAP und RoSyMod (Robot-aided Synthesis of Modular Materials Systems) mit ChemASAP für die voll-automatisierte chemische Synthese organischer Moleküle, RoboCOAT für die automatisierte Synthesen von Dünnschichten und BioCAR die „self-driving“ Prozessoptimierung [6].

Selbstlernende neuronale Netze erleichtern die fortgeschrittene Datenanalyse, indem Methoden zur Automatisierung der Analyse von XRD-Mustern entwickelt wurden, die ein neuronales Netzmodell zur Klassifizierung von Proben in nicht-beugende, einphasige und mehrphasige Strukturen verwendet.

[6] **J. Schuetzke, S. Schweidler, F.R. Muenke, A. Orth, A.D. Khandelwal, B. Breitung, J. Aghassi-Hagmann, M. Reischl**, Accelerating Materials Discovery: Automated Identification of Prospects from X-Ray Diffraction Data in Fast Screening Experiments, *Advanced Intelligent Systems* 6 (3), 2300501 (2024), DOI:10.1002/aisy.202300501

Die Anwendung von graphischen neuronalen Netzen (GNN) bei der Vorhersage von Materialeigenschaften hat bemerkenswerte Fortschritte gemacht und neue Benchmarks in diesem Bereich geschaffen [7]. GNN-Architekturen wurden weiterentwickelt, so dass die Rechenkosten ohne Einbußen bei der Genauigkeit reduziert werden konnten. Die entwickelten Modelle sind führend bei der Vorhersage von Materialeigenschaften.

[7] **R. Ruff, P. Reiser, J. Stühmer, P. Friederich**, Connectivity optimized nested line graph networks for crystal structures, *Digital Discovery*, 3, 594 (2024), DOI: 10.1039/D4DD00018H

Das Programm soll weiter auf dessen starke translationale Expertise aufbauen und die Zusammenarbeit mit klinischen Gruppen stärken sowie mit diesen bereits in der Entwurfsphase von Ansätzen zusammenarbeiten.

Ab Januar 2024 fördert die Carl-Zeiss-Stiftung das Center „Synthetic Genomics: writing the code of life“ (SynGen) am KIT, an der Universität Heidelberg und der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz mit einer Fördersumme von 12 Mio. Euro über zunächst fünf Jahre. Durch die Bündelung standortübergreifender Expertisen bei der DNA-Konzeption und Entwicklung etabliert das Center SynGen ein europäisches Zentrum für Design, Synthese und Anwendung in der genetischen Produktion biologischer Materialien unter Einsatz künstlicher Intelligenz für zukünftige Anwendungen in der Biotechnologie und Medizin. Ziel ist es, die funktionelle Genomanalyse um den umgekehrten Prozess der Genomsynthese zu erweitern. Durch die Herstellung künstlicher Genomabschnitte oder sogar ganzer Genome können ganz neue funktionale Einsichten in die Arbeitsweise von Organismen gewonnen werden, etwa um Bakterien oder Hefen für die Produktion komplexer Therapeutika umzuprogrammieren.

Im Topic 4 arbeitet das KIT eng mit der Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Heidelberg zusammen, um Implantate auf Basis von Ti6AlV4- bzw. ZrO₂-Materialien zu ermöglichen.

Die Aktivitäten auf dem Gebiet der Optik und Photonik sollen mit einer breiteren Gemeinschaft interagieren, stärker in den Mittelpunkt rücken und in die Programme des Forschungsbereichs integriert werden.

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Forschungsthemen erfolgreich initiiert, um die Interaktion der Aktivitäten des Topics Optik & Photonik mit der breiteren Wissenschaftsgemeinschaft zu erhöhen, u.a. mit den MSE Topics 1 sowie 3 und den Programmen NACIP und EDF, worüber bereits in den Programmfortschrittsberichten der letzten Jahre umfassend informiert wurde. Daran konnte aufgezeigt werden, dass die Forschung im MSE-Topic 2 stärker in den Fokus gerückt und nachhaltig in andere Topics des Programms MSE und der anderen Programme in Helmholtz Information integriert wurde. Darüber hinaus findet ein konsequenter Transfer von Erkenntnissen und Wissen in diesem Bereich in die Gesellschaft und Industrie statt, über den bereits ebenfalls berichtet wurde [8].

In Kooperation mit Gruppen des MSE Topic 1 wurde der Laserdruck von Metallen in Zusammenarbeit hinsichtlich der Theorie und photoinduzierten hydrothermalen Synthese von ZnO in Submikrometergröße weiterentwickelt, sodass funktionale lasergedruckte Mikroelektronik realisiert werden konnten. Es wurden vertikale und laterale elektrische Dioden, Pt-ZnO-Ag-Memristoren und ganze Memristor-Arrays realisiert. Letztere wurden als physikalisch nicht klonbare Funktionen (oder „elektronische Fingerabdrücke“) als Sicherheitsmerkmale eingesetzt. Ein 6×6-Memristor-Array zeigte eine Bitfehlerrate von 0 % in 300 Auslesezyklen [9].

[8] **L. Yang, A. Rahimzadegan, V. Hahn, E. Blasco, C. Rockstuhl, M. Wegener**, *In Situ Diagnostics and Role of Light-Induced Forces in Metal Laser Nanoprinting*, *Laser & photonics reviews* 16, 3 (2022), <https://doi.org/10.1002/lpor.202100411>

[9] **L. Yang, H. Hu, A. Scholz, F. Feist, G. Cadilha Marques, S. Kraus, N.M. Bojanowski, E. Blasco, C. Barner-Kowollik, J. Aghassi-Hagmann, M. Wegener**, *Laser printed microelectronics*, *Nature Communications* 14, 1103 (2023), <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36722-7>

Nun konnten zusammen mit Topic 1-Forschenden kristalline ZnO-Strukturen mit Auflösung im Submikrometerbereich gedruckt werden. Dieser Ansatz befähigt uns, Mikroelektronik auf kostengünstige und benutzerfreundliche Weise direkt mit dem Laser zu drucken [10].

[10] **M. Steurer, P. Somers, K. Kraft, L. Grünwald, S. Kraus, F. Feist, B. Weinert, E. Müller, S. Dehnen, C. Feldmann, Y.M. Eggeler, C. Barner-Kowollik, M. Wegener**, *Photothermal Laser Printing of Sub-Micrometer Crystalline ZnO Structures*, *Advanced Science*, 2410771 (2024), <https://doi.org/10.1002/adv.202410771>

Das Programm betreibt hervorragende und weltweit führende Infrastrukturen. Die Wissenschaft soll auf dem Niveau der Einrichtungen gehalten werden.

Die KNMFi zieht Nutzende aus der ganzen Welt an das KIT. Der kollaborative Ansatz für den Nutzerzugang hat über 260 Publikationen (2023/2024, Stand Nov. 24) hervorgebracht, von denen ca. 50 % einen Impact Factor größer 6 aufweisen. Dies dokumentiert das hohe Niveau der Forschung im Nutzer- und Eigenbetrieb. Forschende der KNMFi arbeiten z.B. mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Helmholtz Information und Helmholtz Energy daran, das hohe Potential von Hochentropie-Materialien für Energie- und Elektronikanwendungen zu erschließen [11]. Der Schwerpunkt liegt dabei auf ionischen und kovalenten keramischen Materialien.

[11] **S. Schweidler, M. Botros, F. Strauss, Q. Wang, Y. Ma, L. Velasco, G. Cadilha Marques, A. Sarkar, C. Kübel, H. Hahn, J. Aghassi-Hagmann, T. Brezesinski, B. Breitung**, *High-entropy materials for energy and electronic applications*, *Nat Rev Mater* 9, 266 (2024), DOI: 10.1038/s41578-024-00654-5

Im Jahr 2025 soll der Karlsruhe High Technology Hub (KarlTech) in Betrieb genommen werden, der als eine neue multidisziplinäre KIT-Forschungsinfrastruktur die Karlsruhe Nano Micro Facility (KNMFi), das Karlsruhe Center of Optics & Photonics (KCOP, Start 2026, s.u.) und das Kompetenzzentrum für Hochauflösende Supraleitende Sensoren (HSS) aus Helmholtz Matter integrieren wird. KarlTech wird die Forschung zu Materialien sowie in der Informations- und Kommunikationstechnologie in den Helmholtz-Programmen zusätzlich befördern, die Zusammenarbeit von Helmholtz Information mit Helmholtz Matter und Energy unterstützen und eine international sichtbare Infrastruktur am KIT sein, die den Weg zu weiteren akademischen

und industriellen Nutzergruppen öffnet. Die Nutzenden werden von diesem einzigartigen methodischen und technologischen Portfolio künftig auch von der KI-gestützten Materialsynthese und den neuen KCOP-Reinraum- und Laborflächen (2.000 m²) profitieren, die modernste Nanofabrikationsanlagen für die Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung in den Bereichen Optik & Photonik, Lebenswissenschaften und biomedizinische Technologien bieten.

Zur Erweiterung des Anwendungsspektrums der Forschungsinfrastrukturen für Nutzer und zur Förderung eines fruchtbaren Wissensaustauschs sowie der Weiterentwicklung soll das Programm weltweit die besten Teams rekrutieren, die ihre Infrastrukturen in allen Bereichen nutzen. In der Zukunftsperspektive sollen diese stärker in Richtung Biologie arbeiten.

Über die Rekrutierungen am KIT, u.a. die Professoren Marcel Utz und Moritz Kreysing, wurde in den letzten ZFB ausführlich berichtet. Zusätzlich konnten die Professorinnen Sylvia Erhardt (molekulare Zellbiologie / CZS-Zentrum SynGen) sowie Simone Mayer (zelluläre systemische Neurobiologie) vom KIT in die MSE-Forschung eingebunden werden. Der Start des KIT-Zentrums Health Technologies im Jahr 2023 unterstreicht die Bedeutung der Forschungsthemen Gesundheit und Biologie am Standort Karlsruhe. Biokompatible und bioinstruktive Materialien sind für viele Anwendungen in der Gesundheitstechnologie unverzichtbar, z. B. Biotinten für 3D-Bioprinting oder für Implantate sowie die Erprobung in alternativen Tiermodellen bzw. biologischen Krankheitsmodellen in der neuen Infrastruktur 3ROCKIT. Der Aufbau von Prozesseinrichtungen zur beschleunigten, automatisierten Synthese am KIT zielt u.a. auf die Gewinnung von Biomaterialien ab u.a. unter Berücksichtigung der KI / ML (*Digital Material Twins*). In ihrer Bedeutung nochmals unterstrichen und merklich gefördert werden die Forschungsansätze durch die Einrichtung des Center SynGen (s.o.) und vom 3R-Zentrum 3ROCKIT (s.u.).

A.2.2.5.4 Strategische Themen

Talentmanagement

Im Programm MSE sind im Berichtszeitraum am KIT zwei neue Emmy-Noether-Nachwuchsgruppen gestartet. Dr. Maryna Meretska forscht an optischen Metaoberflächen, um ein optisches Instrument zu entwickeln, das eine um Größenordnungen höhere Modulationsgeschwindigkeit erreicht und einen großen Betrachtungswinkel hat. Einsatzmöglichkeiten liegen z.B. in Automobiltechnologien, der Mikroskopie, der Holografie oder im Quantencomputing.

Dr. Sören Lehmkuhl forscht mit seiner Nachwuchsgruppe daran, die Auflösung eines Kernspinresonanz (NMR)-Spektrums bzw. eines Magnetresonanztomographie (MRT)-Bildes zu erhöhen. Dazu soll ein neuer Hochpräzisionsdetektor entwickelt werden, der PHASER (ParaHydrogen Achieves Super Enhanced Resolution). Dieser beruht sowohl auf dem Prinzip der Hyperpolarisation als auch auf der RASER Technologie, die – verwandt mit dem Laser – auf Radiowellen basiert.

Die Nachwuchsgruppenleiterin Dr. Jingyuan Xu leitet seit 2024 am KIT die von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderte CZS-Nexus-Forschungsgruppe „Emissionsfreie und umweltfreundliche Heiz- und Kühltechnologien“ (ZEco Thermal Lab). Sie wurde durch die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina mit dem Leopoldina-Preis für junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler 2023 geehrt. Im Februar 2024 gab die Hector Fellow Academy (HFA) bekannt, dass die junge Ingenieurin mit dem Hector Research Career Development Award ausgezeichnet wird. Der Förderpreis ist mit 25.000 Euro dotiert und beinhaltet zusätzlich unter anderem Mittel für eine Promotionsstelle. Ab Mai 2025 wird Dr. Xu für fünf Jahre Mitglied der

Global Young Academy (GYA) sein. Die Heidelberger Akademie der Wissenschaften hat Dr. Xu zudem mit dem Ökologiepreis der Viktor & Sigrid Dulger-Stiftung für ihre Forschung zu nachhaltigen thermoakustischen Technologien für Kühlung, Heizung und Stromerzeugung geehrt.

Das KIT-interne Förderprogramm Young Investigator Group Preparation Program (YIG Prep Pro) unterstützt gezielt den wissenschaftlichen Nachwuchs mit eigener Stelle und Ausstattung; so können Forschungsprojekte realisiert und eine eigene drittmittel-geförderte Nachwuchsgruppe in kompetitiven Förderverfahren eingeworben werden. Drei der aktuell sechs MSE-Nachwuchsgruppenleitenden, Dr. Sören Lehmkuhl, Dr. Jingyuan Xu und Dr. Gözde Kabay, haben diese Förderung nutzen können, um ihre eigene Nachwuchsgruppe erfolgreich einzwerben.

Ein im Jahr 2023 gestartetes Trainingsprogramm am KIT für Promovierende des Programms MSE in Zusammenarbeit mit der HECTOR School of Engineering and Management ermöglicht den Teilnehmenden einen zertifizierten Abschluss des MBA Fundamentals Program. 2024 wurden insgesamt 16 Promovierende gefördert, davon neun Doktorandinnen. Das Programm wird auch im Jahr 2025 fortgeführt.

In der von den Programmen MSE und NACIP gemeinsam koordinierten und finanzierten Bio-interfaces International Graduate School (BIF-IGS) wurden am KIT 66 Promovierende gefördert, davon 47 aus MSE.

Vernetzung

Das neue 3R-Zentrum 3ROCKIT des KIT (Replace Reduce Refine Organismal Research by Computational and Cellular Technologies@KIT) arbeitet an computergestützten Methoden und In-vitro-Technologien, die Tierversuche reduzieren bzw. ersetzen sollen. Personalisierte Computermodelle, sogenannte virtuelle humane Zwillinge, sollen bei der Planung individueller Therapien helfen. Ab Januar 2025 wird 3ROCKIT vom Land Baden-Württemberg in das landesweite 3R-Netzwerk aufgenommen und mit 100.000 Euro jährlich für drei Jahre gefördert. Im 3R-Netzwerks Baden-Württemberg sind damit künftig insgesamt acht Einrichtungen zusammengeschlossen, die mit unterschiedlichen Ansätzen an alternativen Versuchsmethoden arbeiten. Neben den Standorten Heidelberg, Mannheim, Stuttgart und Tübingen werden künftig neben dem KIT auch die Hochschule Furtwangen und die Universität Ulm gefördert. 3ROCKIT verfolgt in seinem Konzept ein 6R-Prinzip: Zusätzlich zu den 3R-Vorhaben, Tierversuche zu reduzieren (Reduce), zu ersetzen (Replace) oder zu verbessern (Refine), soll sichergestellt werden, dass alle Versuchspläne statistisch robust sind (Robustness), alle Versuche registriert (Registration) und auch negative Ergebnisse veröffentlicht werden (Reporting). 3ROCKIT ist Teil des KIT-Zentrums Health Technologies (HealthTech), in dem Forschende fachübergreifend an digitalen und technologischen Lösungen für das Gesundheitssystem arbeiten.

Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

Beim Entwickeln von Medikamenten werden immer noch Modelle eingesetzt, die nicht genau die Situation im Menschen wiedergeben. Das im Juli 2024 gegründete Spin-off CAVIGEN des KIT entwickelt fortschrittliche 3D-Zellkultursysteme auf Polymerfolienbasis, die eine realistische Nachbildung menschlicher Organfunktionen in sogenannten Organoiden ermöglichen. Das Unternehmen hat eine Technologie entwickelt, damit Zellen in drei Dimensionen wachsen können. Mithilfe der sauerstoffsensitiven Beschichtung kann so weltweit erstmals optisch und berührungsfrei Sauerstoff in der unmittelbaren Mikroumgebung von Organmodellen gemessen werden. Diese Technologie bietet eine verbesserte Übertragbarkeit von In-vitro-Versuchen auf

den menschlichen Körper und reduziert die Notwendigkeit von Tierversuchen. Die Idee zur Ausgründung entwickelte das Team in der Forschung der Arbeitsgruppe „3D-Zellkultursysteme“ am Institut für Funktionelle Grenzflächen (IFG) des KIT (Topic 3).

Drittmittelinwerbung

Der Europäische Forschungsrat (ERC) fördert das Forschungsprojekt ATHENS der Professoren Dr. Christian Koos und Dr. Stefan Bräse mit einem Synergy Grant. Ziel ist es, optische Kommunikationssysteme leistungsfähiger und energieeffizienter zu machen. Dies ist besonders angesichts steigender Anforderungen an die Übertragung großer Datenmengen durch Anwendungen mit KI relevant. Der ERC fördert ATHENS für sechs Jahre mit insgesamt 14 Mio. Euro.

Im November 2024 startete das EU-Projekt NANO-S-MART zu nachhaltigen Materialkreisläufen in der Stahlproduktion. Über intelligentes Materialdesign und geschlossene Materialkreisläufe sollen Verluste an Material und Wertschöpfung minimiert werden. Zum Forschungsverbund, den die Asociación Centro Tecnológico (CEIT) koordiniert, gehören neben dem KIT das Max-Planck-Institut für Nachhaltige Materialien, das Onderzoekscentrum voor Aanwending van Staal und die Universität Gent. Die EU fördert das Projekt mit rund 3,1 Mio. Euro über vier Jahre, davon 620.000 Euro für das KIT.

A.2.2.5 Senatsempfehlungen

Der Senat macht sich den ihm vorliegenden Vorschlag zur Bewertung des Programmfortschritts im Jahr 2024 zu eigen und beschließt ihn als seine Bewertung zum Programmfortschritt 2024. Er bestätigt damit den vorliegenden Controllingbericht des Präsidenten für das Jahr 2024.

A.2.2.6 Strategische Initiativen

A.2.2.6.1 Inkubator-Plattformen

Das KIT ist an den drei Plattformen Helmholtz Infrastructure for Federated IT Services (HIFIS), Helmholtz Metadata Collaboration (HMC) und Helmholtz AI, die im Rahmen des Helmholtz-Inkubators „Information & Data Science“ entstanden sind, beteiligt.

In HIFIS arbeitet das Scientific Computing Center (SCC) des KIT im HIFIS Backbone Cluster an der Etablierung einer Helmholtz-weiten Infrastruktur zur Authentifizierung und Autorisierung (AAI) für den Zugang von Menschen zu IT-Ressourcen. Im Berichtszeitraum wurden bestehende Werkzeuge zur Authentifizierung und Autorisierung (AAI) wie SSH-oidc/mostley-cue, oidc-agent und mytoken verbessert und der neue ALISE-Dienst für die Verknüpfung von Nutzerkonten entwickelt; der WaTTS-Dienst wurde eingestellt. Diese Entwicklungen wurden in Verbindung mit dem IAM4NFDI Basisdienst durchgeführt.

Im Arbeitspaket FAIR Data Commons der HMC-Plattform zeichnet sich das SCC verantwortlich für die Realisierung von generischen, einfach zu verwendenden technischen Diensten und Werkzeugen zum Umgang mit Forschungsdaten. Besonders auf dem Gebiet der Umsetzung

und Integration von FAIR Digital Objects (FDOs) konnte das SCC im vergangenen Jahr zahlreiche Fortschritte erzielen. Das FDO Konzept wurde als streng formalisiertes Datenmodell auf das NFDI-MatWerk-Rahmenwerk für die Kuratierung und Verteilung von Referenzdatensätzen sowie auf die NFDI-MatWerk-Architektur für gemeinsam genutzte Dienste angewendet. Weiterhin wurde in Verbindung mit NFDI-MatWerk der Data Collection Explorer erweitert.

In der Helmholtz AI-Plattform konzentrierte sich die Forschungseinheit Helmholtz AI Energy@KIT, lokalisiert am SCC und am Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI), im Berichtsjahr 2024 auf die Entwicklung von Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) für zukünftige Energiesysteme, die immer dezentraler und komplexer werden. Die Forschungsziele der Einheit umfassten die Erstellung von erklärbaren KI-Modellen, die Verbesserung von Energievorhersagen sowie die Optimierung bestehender Wärmenahversorgungssysteme. Zu den Erfolgen der Einheit im Jahr 2024 gehören eine Top-10-Platzierung in der Hessian AI Industry Challenge und ein Best-Paper-Award auf der ICONIP Konferenz. Die Einheit hat diverse Software-Tools und Datensätze entsprechend der FAIR(-RS) Prinzipien veröffentlicht, unter anderem die PAINT Datenbank für operationelle Daten konzentrierender Solarkraftwerke. Helmholtz AI Energy@KIT fokussierte sich stark auf Kollaborationen mit anderen Helmholtz-Zentren sowie Industriepartnern und war erfolgreich in der Akquise von Drittmitteln von der DFG, dem BMBF und dem BMWK.

A.2.2.6.2 *Helmholtz Foundation Model Initiative: SolAI*

Koordiniert am Forschungszentrum Jülich ist das Projekt SolAI („A symbiotic modular foundation model for accelerating solar energy materials development“) eines der geförderten Projekte der Helmholtz Foundation Model Initiative (HFMI).

Energiewerkstoffe sind wichtige Voraussetzungen für eine Reihe von Technologien zur Bewältigung einer der großen Herausforderungen der Gesellschaft: die Erzeugung, Verteilung und Speicherung von nachhaltiger grüner Energie. Das maschinelle Lernen (ML) hat bereits zu Durchbrüchen geführt, z.B. bei der beschleunigten Entwicklung und Entdeckung neuer Materialien, die durch große, rechnergestützte Datensätze möglich wurden. Für die experimentelle Gemeinschaft ist dies in der Regel unmöglich; dort werden ML-Ansätze oft durch die Heterogenität, Multimodalität, Unverbundenheit und Kleinheit der Datensätze behindert.

SolAI ist bestrebt, die Materialinformatik auf die nächste Stufe zu heben, und zwar mit einem Foundation Model für die Erforschung nachhaltiger Energiematerialien, insbesondere für Photovoltaikmaterialien. SolAI legt den Grundstein, um die Entwicklung neuer Materialien und Technologien durch ML auf teilweise verknüpften experimentellen Datensätzen zu revolutionieren. Das vorgesehene, hochgradig multimodale Modell wird die Vielfalt der materialwissenschaftlichen Daten einbeziehen. Es wird Datenpaare durch unüberwachtes Lernen verknüpfen und eine gemeinsame Einbettung der wichtigsten verfügbaren Datenmodalitäten schaffen, von Materialien über Verarbeitungsbedingungen bis hin zu Geräteeigenschaften und Leistung. Das Ziel ist eine gemeinsame Darstellung von Datenbeständen über Längen-, Zeit- und Prozessskalen hinweg. Dies ebnet den Weg für ML für wichtige nachgelagerte Aufgaben in der Photovoltaik und darüber hinaus, vom beschleunigten Design und der Optimierung von Geräten bis hin zur Entdeckung neuer Energiematerialien.

SolAI wird Forschenden im PV-Bereich dabei helfen, Daten aus verschiedenen Quellen zu verknüpfen (=Erfahrung), um experimentelle Ergebnisse besser zu interpretieren und zu ver-

werten. Das Foundation Model kann helfen, die Grenzen von Geräten zu erkennen und Verbesserungsvorschläge in Bezug auf die Auswahl und Qualität der Materialien zu machen (z.B. das komplexe Zusammenspiel von optimaler Ladungsextraktion und Lichtabsorption in einem photovoltaischen Material auszugleichen). Weitere nachgelagerte Aufgaben, die mit dem SolAI Foundation Model beantwortet werden können, umfassen die Erkennung von Fehlern, die die Leistung photovoltaischer Materialien beeinträchtigen (z.B. elektronische Defekte, nicht ideale Mikrostrukturen und Löcher in Schichten, die zu elektrischen Nebenschlüssen führen), die Vorhersage der Betriebslebensdauer von Bauelementen und die Identifizierung möglicher Beschränkungen, Verlustmechanismen oder Ausfallmechanismen anhand der grundlegendsten und weltweit verwendeten Charakterisierung der Bauelementleistung (d.h. der Strom-Spannungs-Messungen unter Standardtestbedingungen).

Nicht zuletzt dient SolAI auch als Leuchtturmprojekt und als Vorlage für eine Vielzahl von materialwissenschaftlichen Teilbereichen, da es zeigt, wie man das Problem unvollständiger und dunkler Daten lösen und das Problem der starken Multimodalität in einen Vorteil verwandeln kann.

A.2.2.6.3 *Innovationspool*

Joint Lab „Virtual Materials Design (VMD)” (FZJ, KIT, HZB, HZG)

Koordiniert vom KIT vereint das Joint Lab (JL) „Virtual Material Design” die Arbeiten aller an Helmholtz Information beteiligten Zentren zur Entwicklung von Workflow-Umgebungen, digitalen Zwillingen sowie zur Beschleunigung der Materialsynthese durch wissensbasiertes Materialdesign. Diese hierhin eingebrachten Arbeiten speisen sich aus der VirtMat-Initiative, die gezielt interdisziplinäre Projekte im Umfeld des virtuellen Materialdesigns fördert und die Karlsruher Aktivitäten in 16 stark vernetzten Projekten bündelt (<https://www.materials.kit.edu/298.php>). Am Projekt haben im Jahr 2024 35 Forschende des KIT gearbeitet, mit insgesamt 18 FTE. Davon wurden 2,63 FTE aus Mitteln des Innovationspools direkt finanziert und 15,37 FTE aus Eigenmitteln, aus dem Helmholtz-Programm Materials System Engineering.

Im Zusammenhang mit dem quantitativen Ziel 1, der Entwicklung von Workflow-Umgebungen, wurden verschiedene skalenübergreifende Simulationsmethoden implementiert. Eine Anwendung konzentrierte sich auf zweidimensionale Perowskite als vielversprechende Halbleiter für zukünftige Photovoltaiktechnologien, wodurch signifikante Fortschritte bei der Umwandlung von Solarenergie erzielt werden konnten. Die Untersuchung befasst sich mit der Wirkung alternativer anorganischer BX-basierter Zusammensetzungen (B=Ge oder Sn, X=Br oder I) auf den Energieabstand und die Stabilität, wobei kleinere Ionenradien anisotrope Verzerrungen verursachen und die Einführung von Spacern in dünn-schichtigen Systemen die lokalen Verzerrungen reduziert, jedoch die Bandlücke vergrößert (npj Comp. Mat. 10, 146 (2024); Chem Phys Chem, <https://doi.org/10.1002/cphc.202400118>). Eine weitere Untersuchung fokussierte sich auf die Entwicklung neuer Dotanden: Aufgrund seiner hervorragenden Lochleitfähigkeit wird das p-dotierte spiro-MeOTAD in Perowskit-Solarzellen weitverbreitet eingesetzt, jedoch hat seine kostspielige Synthese die Suche nach preiswerteren Alternativen vorangetrieben. In dieser Studie wurden tetrasubstituierte [2.2] Paracyclophane (PCPs) untersucht, und es wurde gezeigt, dass durch optimierte Dotierungsstrategien – unter Verwendung von FK209, LiTFSI und tBP – Leitfähigkeiten und Solarzeleigenschaften erzielt werden können, die mit denen

des modernsten p-dotierten spiro-MeOTAD vergleichbar sind (Adv. Func. Mat. <https://doi.org/10.1002/adfm.202402110>).

Im Hinblick auf die Beschleunigung der Materialforschung durch Simulationen & KI wurde eine Inverse-Design Strategie entwickelt, um maßgeschneiderte organische Moleküle für Perowskit-Solarzellen zu entwickeln (Science, 386, 1256 (2024)). Hier wurde ein geschlossener Workflow zwischen Experiment und KI implementiert, der die Synthese organischer Halbleiter zur Erstellung großer Datensätze mit Bayes'scher Optimierung kombiniert, um neuartige Hole-Transportmaterialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften für Solarzellenanwendungen zu entdecken. Mithilfe am KIT entwickelter prädiktiver Modelle, die auf molekularen Deskriptoren basieren, konnte der Zusammenhang zwischen der Materialstruktur und deren Leistung hergestellt werden und eine Reihe von Hochleistungsmolekülen identifiziert werden, die in Perowskit-Solarzellen eine Effizienz von bis zu 26,2 % (zertifiziert 25,9 %) erzielen.

Bezüglich des quantitativen Ziels 2, der Entwicklung von digitalen Zwillingen, wurden u.a. photonische Zeitkristalle untersucht. Die Realisierung photonischer Zeitkristalle bietet eine große Chance, geht jedoch auch mit erheblichen Herausforderungen einher. In einer in *Nat. Photonics* veröffentlichten Arbeit wurden signifikanten Fortschritte zur Entwicklung von Materialien mit einer großen Impulsbandlücke gemacht, der möglicherweise größten Herausforderung auf diesem Gebiet (Nat. Phot. 19, 149 (2025)).

Mangelnde Reproduzierbarkeit und Validierung behindern den wissenschaftlichen Fortschritt, insbesondere in der Materialwissenschaft, wo vielfältige experimentelle und theoretische Ansätze sorgfältiges Benchmarking erfordern. In einer weltweit organisierten Studie wurde das JARVIS-Leaderboard als ein offenes, community-getriebenes Tool entwickelt, das benutzerdefinierte Benchmarks ermöglicht und Beiträge in Form von Datensätzen, Code und Metadaten akzeptiert, um eine umfassende Bewertung verschiedener Materialdesign-Kategorien zu realisieren (npj Comp. Mat. 10, 93 (2024)).

Joint Lab „Integrated Model and Data Drive Material Characterization (MDMC)” (FZJ, KIT, HZG)

Das Joint Lab (JL) MDMC zielt darauf ab, die Integration von Multiskalen- und In-situ-Charakterisierung mit Datenverarbeitung in Form eines einheitlichen generischen Workflows für die Materialforschung zu entwickeln. Das Projekt unterstützt die Arbeit mit neuen Instrumenten zur korrelativen Charakterisierung und dazugehöriger Software. In verschiedenen Experimenten wurde die Zusammenarbeit zwischen den Zentren gefördert. Außerdem fand ein Austausch zwischen den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der beteiligten Helmholtz-Zentren auch im Rahmen von regelmäßigen Seminaren statt sowie einem jährlichen Workshop, mit Teilnehmenden des JL MDMC sowie verwandter Helmholtz Programme. Im Jahr 2024 fand der Workshop auf dem Hereon Teltow-Campus statt. 2024 leisteten sechs promovierende bzw. Postdocs einen Beitrag zum InnoPool MDMC am KIT, die sich mit korrelativer Charakterisierung für die Oberflächen- und Volumenanalysen beschäftigten und das dazugehörige Datenmanagement mittels ELNs weiterentwickelten. Komplementäre Arbeiten zur korrelativen Charakterisierung, Methodenentwicklung und Etablierung des FAIR-Datenmanagements werden auch im Rahmen der Helmholtz-Informationsprogramme durchgeführt. Mehr als acht FTE tragen dazu bei.

Das JL MDMC schlägt eine Brücke zwischen den Programmen 1 (EDF), 2 (NACIP) und 3 (MSE) in Helmholtz Information, den Helmholtz Metadaten und Imaging Plattformen sowie den NFDI-Plattformen (NFDI4chem, NFDI4ing). Darüber hinaus wurden 2024 ausgehend von der am KIT geleiteten Meta Data-Arbeitsgruppe neue Kollaborationen aufgebaut, z.B. mit dem

NFDI-MatWerk Konsortium und der italienischen iEntrance (infrastructure for Energy Transition and Circular Economy@EuroNanoLab, <https://www.ientrance.eu/home/>), eine neue technologische Forschungsinfrastruktur, die sich der Erforschung des Übergangs zu sauberer Energie widmet.

Fortschritte wurden insbesondere in unterschiedlichen Richtungen gemacht. Experimentell wurde für die korrelative Charakterisierung ein multimodaler, multiskaliger Arbeitsablauf entwickelt, in dem mittels optischer (OM) und Rasterelektronenmikroskopie (REM) interessante Regionen (ROIs) in einer Bulk Probe identifiziert, gefolgt von Laser- und FIB Strukturierung zur Erzeugung von Referenzmarkern und Extraktion der identifizierten Region auf unterschiedlichen Skalen für weitere Analysen: zuerst für die Mikro-CT und anschließend ausgewählte Subregionen für die Nano-CT und/oder FIB-basierte Bildgebung und Spektroskopie. Der Arbeitsablauf ermöglicht die FIB-Extraktion einer ROI, die sich auf der Probenoberfläche oder deutlich unterhalb der Oberfläche befindet, mit einer räumlichen Genauigkeit von wenigen Mikrometern. Eine weitere Positionsverfeinerung ist auf der Grundlage der Korrelation von Bildmerkmalen möglich. Für den korrelativen Arbeitsablauf wurde ein Transfersystem für die Bulk-Proben zwischen SEM/FIB, OM, Mikro-CT und Laserstrukturierung mit vollständiger Ausrichtung in 3D unter Verwendung globaler Referenzmarker, die für den Probenträger entwickelt wurden, und lokaler Marker, die direkt auf der Probe in der Nähe der ROI für Nano-CT/FIB aufgebracht wurden, realisiert. Die Schritte des Arbeitsablaufes wurden an heterogenen Proben aus der Katalyseforschung und der Metallurgie getestet.

Für die Verknüpfung unterschiedlicher Bildgebungsmodalitäten ist es essenziell, auch in der Datenvisualisierung und -analyse automatisch zwischen Datenformaten und Vergrößerungen wechseln zu können. So wird unter anderem am KIT ein Surface Mapping-Werkzeug entwickelt sowie am KIT und Hereon komplementäre Softwarelösungen für die Bildregistrierung mittels intrinsischer und künstlicher Marker erarbeitet.

Ein großer Bestandteil von AP3 (in enger Zusammenarbeit mit AP2) ist außerdem das optimierte Daten- und Metadatenmanagement, um eine standardisierte Herangehensweise über Modalitäten hinweg zu ermöglichen. Hierzu wurden Schemata und Arbeitsabläufe zur Charakterisierung von komplexen Mikrostrukturen generisch entwickelt und in den ELNs Kadi4Mat bzw. LabIMotion implementiert.

Bezüglich der Entwicklung von Ontologien und Workflows und deren Anwendung auf die umfassende und multiparametrische Charakterisierung von Mikrostrukturen wurden Methoden zur Datenverarbeitung generisch entwickelt, in Software implementiert und über Schnittstellen für die allgemeine Nutzung verfügbar gemacht. Als Anwendung werden poröse 3D-Mikrostrukturen aus Experiment und Simulation auf einer umfangreichen Datenbank ausgewertet. Es werden Morphologie-Eigenschaftskarten im Multiparameterraum erstellt und für das datengetriebene Design neuer Materialstrukturen genutzt. Eine Kombination mit fortgeschrittenen ML- und KI-Methoden sowie eine Integration dieser in die Workflows und Ontologien wurde bereits in der vernetzten Plattform KadiAI geschaffen (<https://gitlab.com/intelligent-analysis/cids>).

Joint Lab „Exascale Earth System Modelling (ExaESM)“ (FZJ, KIT, AWI, DLR)

Das gemeinschaftlich von den beteiligten Zentren koordinierte Joint Lab (JL) ExaESM wird nicht nur durch die Aktivitäten des Programms EDF, sondern auch durch Arbeiten aus dem Forschungsbereichen Erde & Umwelt, sowie Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr unterstützt. Das JL ExaESM koordiniert die Entwicklung neuartiger technologischer Lösungen, um Erdsystemmodelle und deren Daten-Workflows exascale-fähig zu machen und von Methoden der Künstlichen Intelligenz zu profitieren.

2024 wurde im Joint Lab das Drittmittelprojekt ICON-SmART durch Studien zur Ersetzung von klassischem Simulations-Code von Aerosolen durch Maschinelles Lernen unterstützt. Konkret wurde das rechenintensive Aerosol-Thermodynamikmodul ISORROPIA als Teil der ICON-ART Klimasimulation durch ein Neuronales Netz emuliert. Erste Ergebnisse sehen vielversprechend aus und deuten auf einen signifikanten Performancegewinn. Die Ergebnisse wurden Partnern beim Deutschen Wetterdienst vorgestellt.

Am JL hat im Jahr 2024 ein Forscher des KIT gearbeitet, mit insgesamt 0,81 FTE. Davon wurden 0,75 FTE aus Mitteln des Innovationspools direkt finanziert und 0,06 FTE aus Eigenmitteln, aus dem Helmholtz-Programm EDF.

„Helmholtz Platform for Research Software Engineering – Preparatory Study (HiRSE_PS)” (FZJ, KIT, HZB, Hereon)

Das Innovationspoolprojekt HiRSE_PS wird gemeinschaftlich von FZJ und KIT koordiniert und bringt alle Zentren und Programme in Helmholtz Information zusammen. Die Beiträge zu dem Projekt werden in enger Verbindung mit den Programmtopics EDF T1, NACIP T1 und T3 sowie MSE T4 erarbeitet. Das Projekt beschäftigt sich mit der Etablierung zentraler Research Software Engineering (RSE) Aktivitäten und der gezielten Förderung strategisch wichtiger Software durch dezentrale Community Software Infrastructure (CSI)-Gruppen als zwei sich gegenseitig fördernde Aspekte.

Die erfolgreiche HiRSE-Seminarreihe (<https://www.helmholtz-hirse.de/series.html>) wurde als einzigartige Austauschplattform für RSE-Themen mit nationaler und internationaler Reichweite fortgesetzt, was sich auch in der internationalen Zusammensetzung der Referentinnen und Referenten sowie Teilnehmenden des Seminars widerspiegelt. Das 37. HiRSE-Seminar fand im Dezember 2024 statt; insgesamt wurden im Berichtsjahr 14 Seminare durchgeführt. Im Jahr 2024 organisierten das KIT gemeinsam mit dem FZJ die bundesweit erste RSE-Sommerschule, die im September am KIT stattfand. 45 Teilnehmende aus Institutionen in ganz Deutschland informierten sich über RSE-Themen wie kollaborative Programmierung, Continuous Integration, Programmdokumentation und Lizenzierung. Die Veranstaltung erhielt ein sehr gutes Feedback und steigerte die Sichtbarkeit sowie das Ansehen von HiRSE_PS und seinen treibenden Teammitgliedern erheblich. Dies wurde durch die HiRSE Code Promotion, eine nationale Initiative zur Hervorhebung von in Deutschland entwickelter Forschungssoftware, noch verstärkt.

Im Jahr 2024 wurde die HiRSE_PS-Initiative in ein Joint Lab in Helmholtz Information umgewandelt, welches nun unter dem Namen „Helmholtz Information – Research Software Engineering“ (HiRSE) firmiert. Aufgrund der anhaltenden Erfolge wurde die Finanzierung durch den Innovationspool bis Ende 2027 verlängert. Ergänzend wurden am KIT die RSE-Aktivitäten ausgeweitet und insbesondere der Aufbau einer KIT-weiten RSE-Community mittels Webseite, Mailingliste und einem Matrix-Chat-Kanal vorangetrieben.

Am Projekt haben im Jahr 2024 vier Forschende des KIT gearbeitet, mit insgesamt 3,08 FTE. Davon wurden 1,11 FTE aus Mitteln des Innovationspools direkt finanziert und 1,97 FTE aus Eigenmitteln, aus dem Helmholtz-Programm EDF.

Roadmapping und Öffentlichkeitsarbeit

Dieses Pilotprojekt (koordinierender Sprecher: Prof. Dr. Thomas Klassen, Hereon) unter Beteiligung des gesamten Forschungsbereichs befasst sich mit der Entwicklung eines Roadmap-Prozesses und Strategien zur Steigerung der Sichtbarkeit des Forschungsbereichs. 2024 lag der Fokus auf der Öffentlichkeitsarbeit: Rund 75 Beiträge wurden über den Blog „Informationskompass“ (<https://blogs.helmholtz.de/research-field-information/>), die Webseite „Helmholtz

Information“ (<https://information.helmholtz.de/>) und LinkedIn (<https://www.linkedin.com/company/helmholtz-information/>) veröffentlicht. Zudem wurde in mehreren Workshops erarbeitet, wie die Kommunikationsstrategie an die Zielgruppen angepasst und weiterentwickelt werden kann. Die gewonnenen Erkenntnisse bildeten die Grundlage für die Neuausrichtung des Innovationspool-Projekts, das bis 2027 mit Schwerpunkt auf Outreach verlängert wurde. Erste Maßnahmen umfassten die Erstellung eines Konzepts zur Überarbeitung der Webseite sowie eines kompakten Flyers zur anschaulichen Darstellung des Forschungsbereichs.

Hospitationsprogramm

Das Hospitationsprogramm soll Schnittstellen zwischen Zentren von Helmholtz Information identifizieren und deren Austausch fördern. Im Berichtsjahr wurde der Aufenthalt von zwei Kandidaten an gastgebenden Zentren für insgesamt zehn Monate gefördert. Durch den, über das Hospitationsprogramm geförderten Aufenthalt von Xu Wang am KIT wurden die Aktivitäten am Hereon-Standort Teltow (Aerosol-Druck von leitenden Silberstrukturen auf flexiblen Polymeroberflächen) mit den Kompetenzen am KIT (Inkjet-Druck von Halbleitern und Elektrolyten) zum Aufbau von gedruckten, Elektrolyt-gesteuerten Feldeffekt-Transistoren auf weichen Substraten genutzt. Ziel ist es, den gesamten Produktionsprozess (semi-)automatisiert durchzuführen. Das Hospitationsprogramm wird auch zukünftig intensiv beworben, um weitere Interessierte anzuziehen.

A.2.2.6.4 *Initiativen aus weiteren Pakt-Mitteln bis 2025*

KiKIT – Helmholtz-Pilotprogramm Kerninformatik am KIT *(HeCI – Helmholtz Core Research at KIT)*

Im Informationszeitalter ist Computertechnologie ein wesentlicher Treiber in allen Bereichen von Forschung, Technologie, Wirtschaft und Gesellschaft. Daher sind hochwertige Software, Hardware und KI-Systeme (korrekt, zuverlässig, sicher, effizient usw.) notwendig für den Erhalt der digitalen Souveränität und daher von zentraler Signifikanz für die Vorsorgeforschung.

Durch diese strategische Initiative soll die Kerninformatik-Forschung, d.h. die Forschung zu anwendungsübergreifenden Methoden der Informatik, zu einem Schwerpunkt der Helmholtz-Forschung werden. KiKIT startete Mitte 2023 mit einer vorläufigen Laufzeit bis Ende 2025 bei einem Budget von 10 Mio. Euro. Eine Verstetigung über die „Leuchtturm-Initiative: Standortentwicklung“ wird angestrebt. Die Begutachtung hierfür ist in die wissenschaftliche Begutachtung von Helmholtz Information am KIT im Mai 2025 integriert.

KiKIT umfasst die Forschungsgebiete „Algorithmen-Software- und Hardware Engineering“ sowie „Maschinelles Lernen und Data Science“. KiKIT bündelt die Kompetenz von 28 Principle Investigators und ca. 45 Forschenden aus der Informatik und schafft mit den Nachwuchsgruppen einen Inkubator für zukünftige Professorinnen und Professoren. Dabei werden über 38 Projekte zur anwendungsübergreifenden Methodenforschung gefördert und koordiniert.

Mit der Verstetigung in der kommenden PoF V-Periode werden folgende Fokusthemen angestrebt: die Kombination von symbolischer und subsymbolischer künstlicher Intelligenz („Inter-symbolic AI“), Verbesserungen von wissenschaftlicher Evaluation (Benchmarking) sowohl für KI-Systeme als auch Algorithmen, sowie Entwicklung von Methoden des Software-/Hardware-Engineerings für nachhaltigere IT-Systeme (z.B. durch Co-Design von Hardware und Algorithmen).

A.2.3 Überblick zu Helmholtz Matter

A.2.3.1 Bericht des Forschungsbereichskoordinators an den Senat

Siehe Anhang.

A.2.3.2 Rolle des Zentrums im Forschungsbereich

Helmholtz Matter ist eingeteilt in drei Programme mit 9 Topics unter Beteiligung der Zentren DESY, KIT, GSI, HZB, HZDR, FZJ und Hereon. Die Programme Matter and the Universe (MU), From Matter to Materials and Life (MML) und Matter and Technologies (MT) erforschen die Materie von der Untersuchung ihrer Grundbausteine und den fundamentalen Kräften über die Erforschung der kosmologischen Entwicklung des Universums bis hin zur Entschlüsselung der Struktur von neuen Materialien und Wirkstoffen sowie den Prozessen in Nanosystemen und in großen Ensembles von Atomen und Molekülen. Helmholtz Matter erfordert eine komplexe Wissenschaftsinfrastruktur sowie wissenschaftliche Großgeräte, die im Rahmen großer, themenübergreifender und in vielen Fällen internationaler Projekte konzipiert, gebaut und betrieben werden. Seit der dritten Periode der Programmorientierten Förderung (PoF) ist Helmholtz Matter in einer Struktur aufgestellt, die sich nicht an Forschungsanlagen, sondern an Forschungsthemen orientiert. Die Forschungsaktivitäten werden in drei interdisziplinären Programmen koordiniert: Materie und Universum (MU), Von Materie zu Materialien und Leben (MML) und Materie und Technologien (MT). Neben der Forschung (LK I) zu diesen Programmen ist der Bau und Betrieb von Großgeräten (LK II) als nationale und internationale Forschungsinfrastrukturen eine zentrale Aufgabe des Forschungsbereichs.

Das KIT engagiert sich in allen drei Programmen (in sechs Topics) von Helmholtz Matter, betreibt die LK-II Infrastruktur Grid Computing Centre Karlsruhe (GridKa) und ist in Federführung des Programms MU.

In MU hat das KIT eine führende Rolle in der Astroteilchenphysik, insbesondere mit dem Pierre-Auger-Observatorium für kosmische Strahlung und dem Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment (KATRIN).

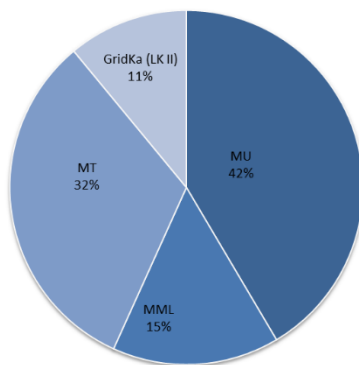
Die LK-II Infrastruktur GridKa ist ein Tier-1-Zentrum des Worldwide LHC Computing Grid (WLCG), welches für die Verarbeitung, Aufbereitung und Archivierung der Rohdaten des LHC und der zukünftigen HL-LHC-Experimente verantwortlich ist. Neben den LHC-Experimenten bedient GridKa weitere Experimente der Teilchenphysik und Astroteilchenphysik mit deutscher Beteiligung, z.B. das Pierre-Auger-Observatorium in Argentinien, IceCube am Südpol und DARWIN/XLZD. GridKa ist eines der Rohdatenzentren für das Belle II Experiment am KEK in Japan.

In MT entwickelt das KIT neue Technologien für Teilchenbeschleuniger und Detektoren von morgen. Die forschungsbereichsübergreifende Accelerator Technology Platform (ATP) am KIT ist eine einzigartige Infrastruktur und Kollaboration für Entwicklung und Test von Konzepten und Komponenten. Eine zentrale Herausforderung für Detektorsysteme ist es, die Grenzen der Auflösung zu erreichen und gleichzeitig die durch solche Detektoren entstehenden enormen Datenmengen zu beherrschen.

In MML wird am KIT ein umfassender Ansatz bei der Anwendung von Synchrotronstrahlung genutzt und entwickelt, um In-situ- und Operando-Charakterisierungen von Nanostrukturen,

Energie-Materialien und technologische Prozesse sowie Hochleistungsdurchsatz und In-vivo-Bildgebung – auch mithilfe neuer Ansätze „Künstlicher Intelligenz“ – von Kleinstlebewesen bis auf Zellebene zu bewerkstelligen.

Programmanteile des KIT in Helmholtz Matter



Anteile des KIT an Helmholtz Matter

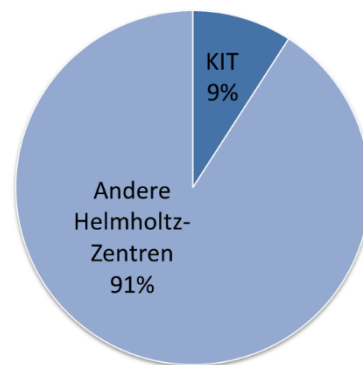


*Abbildung 10: Programmanteile des KIT in Helmholtz Matter.
(Der LK-I-Anteil des KIT an Helmholtz Matter beträgt 20 %.)*

Matter and the Universe (MU)

Das Programm MU adressiert die grundlegenden Zusammenhänge der fundamentalen Bausteine der Materie und deren Wechselwirkungen sowie das komplexe Verhalten von hadronischer Materie und den Einfluss von Elementarteilchen auf die Entwicklung des Universums. Zusammen mit den anderen beteiligten Helmholtz-Zentren DESY und GSI, sowie in enger Kooperation mit Universitäten in Deutschland und wissenschaftlichen Partnern weltweit, bringt das KIT seine Kompetenzen in der Teilchenphysik und der Astroteilchenphysik ein, um die großen Ziele des Programms in ganzheitlicher und strukturierter Weise anzugehen.

Im Topic Fundamental Particles and Forces (MU-FPF) untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT gemeinsam mit DESY die grundlegendsten Bausteine der Welt und ihre Wechselwirkungen sowie ihren Einfluss auf Struktur und Entwicklung des Universums. Damit werden fundamentale Fragen der Natur wie etwa zum Ursprung der Masse, zur Struktur des Vakuums, zum Ungleichgewicht zwischen Materie und Antimaterie im Universum oder zur Natur der Dunklen Materie adressiert. In enger Zusammenarbeit mit GridKa werden am KIT auch Methoden und Werkzeuge zur effizienten Nutzung opportunistischer Rechenressourcen aus der Cloud oder von HPC-Systemen entwickelt.

Im Topic Matter and Radiation from the Universe (MU-MRU) untersuchen die Forschenden des KIT gemeinsam mit DESY die größten Strukturen des Universums und die Eigenschaften der fundamentalen Bausteine, um ein neues und kohärentes Bild des hochenergetischen Universums zu zeichnen, in dem die verschiedenen Informationskanäle wie hochenergetische Strahlung, Neutrinos, kosmische Teilchen, Gravitationswellen sowie Suche nach Dunkler Materie zusammengefasst werden. Nur dieser Multimessenger-Ansatz ermöglicht es, die fundamentalen Fragen über die Struktur und die Entwicklung unseres Universums zu verstehen und zu beantworten. Die Astroteilchenphysik in MU wird an Observatorien an extremen Standorten auf der Erde und an Hochpräzisionsexperimenten in Laboratorien durchgeführt. Unter Führung von oder mit Beteiligung des KIT werden insbesondere das Pierre-Auger-Observatorium ver-

bessert (AugerPrime) und das Experiment IceCube erweitert (IceCube-Gen2). Es werden existierende und zukünftige Daten der Observatorien zu einem gemeinsamen „multimessenger“-Blick auf das Universum bei den höchsten Energien kombiniert. Mit dem Präzisions-Spektrometer KATRIN werden am KIT die Masse der Neutrinos und ihre Rolle als mögliche Kandidaten der dunklen Materie untersucht. Bei XENONnT und dem Nachfolgeprojekt DARWIN/XLZD bringt das KIT seine Kompetenzen bei der Suche nach Dunkler Materie ein. Zudem ist das KIT Gründungsmitglied in der Kollaboration zum Einstein-Teleskop zur Messung von Gravitationswellen.

From Matter to Materials and Life (MML)

Das Programm MML widmet sich der Analyse und Veränderung der Struktur, Dynamik und Funktion von Materie und Materialien unter Nutzung großer Forschungsinfrastrukturen in enger Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen und industriellen Nutzenden. Die drei Forschungsthemen („Research Topics“) bilden das Rückgrat der MML-Forschung und stellen den LK I-Anteil des Programms dar. Das KIT ist an den folgenden zwei Topics beteiligt: „Materialien – Quantum, komplexe und funktionale Materialien“ (RT2) und „Leben – Bausteine des Lebens: Struktur und Funktion“ (RT3).

In RT2 werden Synchrotronstrahlungs-Großgeräte am KIT und weltweit genutzt, um die grundlegenden Eigenschaften von Materialien auf verschiedenen Längenskalen – von der atomaren Ebene bis zum Bauelement – zu erforschen. Hierzu werden auch neuartige methodische Ansätze entwickelt, um insbesondere durch In situ- und Operando-Experimente bisher nicht mögliche Einblicke in die elektronische, atomare und chemische Struktur von Materialien zu gewinnen. Am KIT werden Strahlrohre und ein breites Portfolio an In situ-Probenumgebungen verwendet, die im Rahmen der drei MML-Cluster am KIT (Spectroscopy, Scattering und Imaging) betrieben werden. Die dabei im Fokus stehenden Materialsysteme beinhalten u.a. Nanomaterialien für die Informationstechnik und für Quantendetektoren, Halbleiter für die solare Energieumwandlung, Batteriematerialien und Radionuklide, die im Rahmen der Energiewende eine wichtige Rolle spielen.

In RT3 werden die Synchrotronstrahlungs-Großgeräte am KIT und weltweit genutzt, um Bausteine des Lebens auf den höheren hierarchischen Ebenen (von der einzelnen Zelle bis hin zu kleinen Organismen) zu untersuchen. Mit methodischen Weiterentwicklungen des KIT zur Bildgebung mit multiplen Kontrastmechanismen, auf verschiedenen Längenskalen und für Hochdurchsatz-, In situ- und In vivo-Anwendungen, ist es möglich, für große Vergleichsstudien morphologische Strukturen von Zellen, Geweben, Organen, Organstrukturen und ganzen Organismen dreidimensional abzubilden. Die morphologischen Daten werden morphometrisch ausgewertet und mit genetischen und anderen molekularbiologischen Daten, Umweltdaten und/oder anderen Einflussfaktoren korreliert. Die dabei entwickelten Methoden und Ergebnisse geben u.a. tiefere Einblicke in die genetischen Ursachen von Krankheiten, die Biokompatibilität von Materialien sowie in die morphologische Biodiversität unseres Ökosystems. Sie nutzen dazu gezielt neue Ansätze Künstlicher Intelligenz, z.B. zur Erhöhung des Probendurchsatzes und zur verbesserten Bildauswertung (von der Segmentierung bis hin zur morphometrischen Analyse).

Matter and Technologies (MT)

Die Forschung in Helmholtz Matter ist ohne hochentwickelte Beschleuniger, Detektoren und Computingtechnologien nicht vorstellbar. Mit dem Programm Materie und Technologien (MT) hat Helmholtz Matter ein Programm etabliert, das gezielt in vorausschauende Forschung in die für Helmholtz Matter essenziellen technologischen Grundlagen investiert. Das Forschungsprogramm ist dabei darauf ausgerichtet, das Potenzial für bahnbrechende Entwicklungen zu optimieren und gleichzeitig einen soliden und planbaren Fahrplan für die Weiterentwicklung der in Helmholtz Matter benötigten Technologien zu erstellen und umzusetzen. Eine zentrale Rolle für den gesamten Forschungsbereich im Allgemeinen und MT im Besonderen spielt dabei die enge gegenseitige Wechselbeziehung zwischen den Forschungszielen, die in Helmholtz Matter und in den Programmen Materie und das Universum (MU) und Von Materie zu Materialien und Leben (MML) formuliert werden, und deren Einfluss auf Technologien und Forschung an Technologie.

Das KIT beteiligt sich federführend an den Programmenthemen „Accelerator Research and Development“ (MT-ARD) und „Detector Technology and Systems“ (MT-DTS).

Im Programmenthema MT-ARD dienen der „Karlsruhe Research Accelerator“ (KARA) und das „Ferninfrarot Linac- und Test-Experiment“ (FLUTE) der Erforschung und dem Test neuer Technologien für die nächste Generation von Teilchenbeschleunigern auf verschiedenen Größenskalen. Forschungsschwerpunkte sind supraleitende Magnettechnologien, die Entwicklung neuer, intelligenter und energieeffizienter Beschleunigerkonzepte, unterstützt durch Methoden der künstlichen Intelligenz, die Erzeugung und Diagnose von kurzen Elektronenpaketen sowie die Nutzung der kohärenten Synchrotronstrahlung. Mit dem cSTART-Speicherring (in Aufbau) sollen ultrakurze Elektronenpakete gespeichert und für neuartige Anwendungen erschlossen werden. Seit 2022 steht den Forschenden zusätzlich KITTEN, das KIT-Testfeld für Energieeffizienz und Netzstabilität in großen Forschungsinfrastrukturen, zur Verfügung, das sich in Zusammenarbeit mit Helmholtz Energy der energieeffizienten Gestaltung von großen Forschungsinfrastrukturen widmet.

Das KIT baut mit der Programmbeteiligung in MT-DTS sein Know-how als eines der führenden Zentren für Detektortechnologie, Detektorsysteme, Hochgeschwindigkeitsdatenübertragung und Onlinedatenverarbeitung aus. Anwendungsfelder umfassen physikalische Großexperimente und Beschleunigerinfrastrukturen, aber auch Detektorsysteme in der Industrie und Medizin. Auf dem Gebiet Detektortechnologien stehen einzigartige Infrastrukturen zur Verfügung, wie das KIT ASIC- und Detektorlabor oder das Zentrum für Aufbau- und Verbindungstechnologien für mikroelektronische Systeme. Ein Kompetenzzentrum für hochauflösende supraleitende Sensoren (HSS) befindet sich im Aufbau.

Grid Computing Centre Karlsruhe (GridKa)

Das KIT betreibt mit GridKa eines der größten Tier-1-Zentren des Worldwide LHC Computing Grids (WLCG) und unterstützt als eines von nur vier weltweiten Tier-1-Zentren alle vier LHC-Experimente bei der Datenspeicherung und -prozessierung. GridKa stellt die zentralen Daten- und Analyseressourcen für die LHC-Experimente in Deutschland bereit. In Vorbereitung auf die dritte Datennahmephase des LHC (High-Luminosity LHC) wird an neuen IT-Technologien im Hinblick auf die Evolution des Computing-Modells gearbeitet, um den stark ansteigenden Anforderungen an die Datenspeicherung und -verarbeitung zu begegnen. Die Arbeiten bei GridKa finden in enger Kooperation mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des Topics MU-FPF und des Programms Engineering Digital Futures (EDF) von Helmholtz Information statt.

Das bei GridKa betriebene Global Grid User Support (GGUS) Portal stellt die zentrale technische Infrastruktur für den Nutzenden- sowie Operationssupport im WLCG und darüber hinaus bereit. Des Weiteren werden Workloadmanagement-, Datenmanagement- sowie Monitoringdienste betrieben. Mit der Entwicklung der COBAlD/TARDIS-Software wird opportunistisches Rechnen erfolgreich implementiert. Zusätzlich zu den Rechen- und Speicherressourcen für die LHC-Experimente bietet GridKa auch Ressourcen für weitere Elementar- und Astroteilchenexperimente an. Insbesondere unterstützt GridKa das Belle II-Experiment, das Pierre-Auger-Observatorium, das IceCube-Experiment und DARWIN.

A.2.3.3 Programmanteil Matter and the Universe (MU)

A.2.3.3.1 *Das Programm im Überblick*

Ziele und Einbettung in den Forschungsbereich

Ziele des Programms sind die Identifizierung und Charakterisierung fundamentaler Teilchen und ihrer Wechselwirkungen sowie ihrer Rolle für die Vergangenheit und Entwicklung des Universums, ein genaues Verständnis der Struktur des Vakuums, die Vertiefung des Verständnisses der Struktur und Dynamik von Hadronen, Kernen und Kernmaterie und ihrer Rolle bei der astrophysikalischen Bildung chemischer Elemente, die Aufklärung der Natur Dunkler Materie und Neutrinos sowie die Erforschung des Universums bei hohen Energien.

Das Programm MU zeichnet sich durch eine besondere fachliche Breite und Tiefe mit seinem kohärenten Ansatz zur Förderung des Verständnisses der Elementarteilchenphysik, der Astroteilchenphysik und der Physik der Hadronen und Kerne aus. Die gemeinsame Forschung erfolgt durch experimentelle und theoretische Methoden, durch Modellierung und Beobachtung, durch technologische Entwicklungen und durch den Betrieb und die Messungen mit großen Forschungsinfrastrukturen. Die Forschung in MU erfolgt in besonders großem Umfang im Rahmen internationaler Zusammenarbeit verschiedener Forschungseinrichtungen, die in (teilweise sehr großen) Verbünden organisiert sind. Ermöglicht wird diese Arbeit durch weltweit einzigartige Forschungsinfrastrukturen an den Helmholtz-Zentren und an anderen internationalen Forschungszentren und -einrichtungen.

Programmstruktur

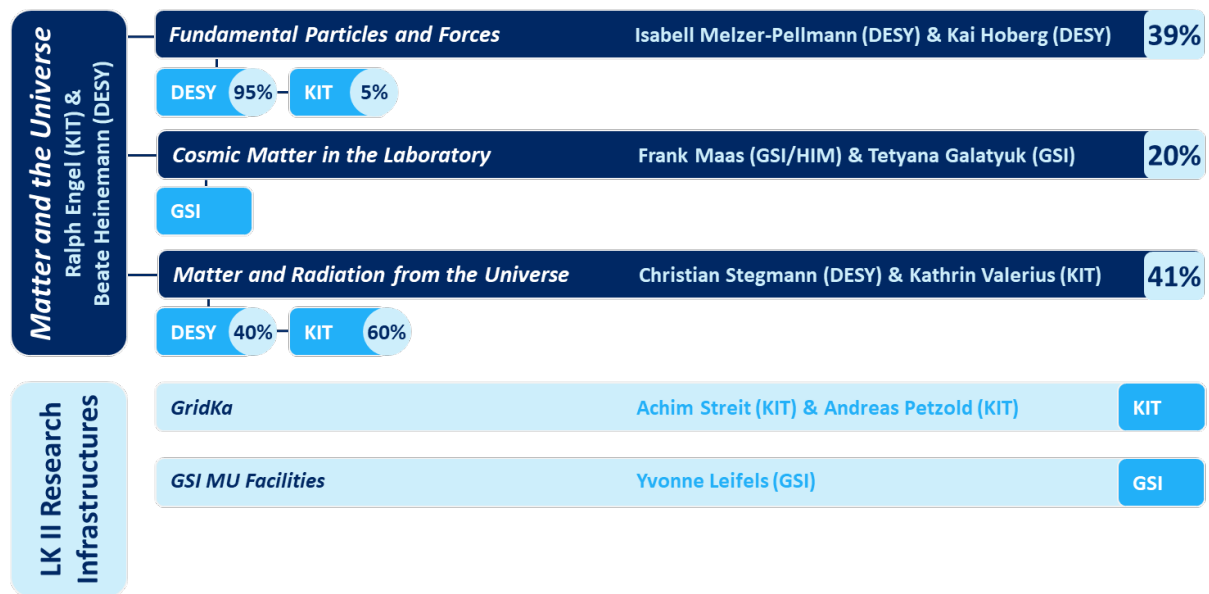


Abbildung 11: Programmstruktur MU

Das Programm Materie und Universum wird von Prof. Dr. Ralph Engel (Sprecher, KIT) und Prof. Dr. Beate Heinemann (Co-Sprecherin, DESY) geleitet. Es ist in drei Programmtopics und zwei sogenannten LK-II Infrastrukturen, GridKa (das in einem nachfolgenden Abschnitt separat beschrieben wird) und GSI MU-Facilities, organisiert.

Das Programm gliedert sich in:

Topic 1: Fundamentale Teilchen und ihre Wechselwirkungen (FPF)

(Sprecherin: Dr. Isabell Melzer-Pellmann, DESY; Co-Sprecher: Dr. Kai Schmidt-Hohberg, DESY)

Das Programmtopic 1 erforscht die grundlegendsten Bausteine der Welt und ihre Wechselwirkungen sowie ihren Einfluss auf die Struktur und Entwicklung des Universums. Dabei geht es um grundlegende Fragen der Natur wie den Ursprung der Masse, die Struktur des Vakuums, das Ungleichgewicht zwischen Materie und Antimaterie im Universum oder die Natur der Dunklen Materie. Die beteiligten Forschungsgruppen sind an großen internationalen Projekten wie den LHC-Experimenten ATLAS und CMS am CERN oder Belle II am SuperKEKB in Japan beteiligt, die breitgefächerte Fragestellungen bearbeiten, und verfolgen ein reichhaltiges Programm kleinerer Experimente, die sich z.B. auf die Suche nach Dunkler Materie am DESY-Standort Hamburg konzentrieren und an denen internationale Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beteiligt sind. Diese experimentellen Aktivitäten werden von einem umfassenden und international führenden Portfolio an theoretischen Aktivitäten begleitet und geleitet. Unterstützt wird das Topic durch experimentennahe Infrastrukturen wie das GridKa (Tier 1) am KIT oder die Interdisciplinary Analysis Facility (IDAF, die teilweise als Tier 2 für den LHC genutzt wird), die Test Beam Facility oder die Detector Assembly Facility (DAF) bei DESY sowie durch das Wolfgang Pauli-Zentrum für Theoretische Physik.

Topic 2: Kosmische Materie im Labor (CML)

(Sprecher: Prof. Dr. Frank Maas, HIM; Co-Sprecherin: Prof. Dr. Tetyana Galatyuk, GSI)

Das Programmtopic 2 konzentriert sich auf das Verständnis des Ursprungs komplexer Phänomene in Materie mit starker Wechselwirkung im nicht-perturbativen Bereich der QCD. Ziel ist es, die Eigenschaften von Hadronen zu entschlüsseln, das QCD-Spektrum zu erforschen und zu verstehen und Systeme mit starker Wechselwirkung unter extremen Temperatur-, Dichte- und Isospin-Bedingungen zu untersuchen. Ein einzigartiges und spannendes Wissenschaftsprogramm, das die modernisierten GSI-Beschleunigeranlagen und die ganz oder teilweise verfügbaren FAIR-Instrumente nutzt. Hinzu kommt die Beteiligung an der physikalischen Analyse und Weiterentwicklung des ALICE-Detektors in Vorbereitung auf die bevorstehenden LHC-Datennahme mit hoher Luminosität. Die an MU-CML beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben aktiv ein Proof-of-Principle-Experiment zur Suche nach einem elektrischen Dipolmoment (EDM) geladener Teilchen mit Hilfe von Speicherringen und zum Nachweis axionartiger Teilchen im ultraleichten Massenbereich durchgeführt und waren an Experimenten zur Untersuchung der Neutrinoeigenschaften beteiligt.

Topic 3: Materie und Strahlung vom Universum (MRU)

(Sprecher: Prof. Dr. Christian Stegmann, DESY; Co-Sprecherin: Prof. Dr. Kathrin Valerius, KIT)

Das Programmtopic 3 hat die größten Strukturen des Universums und die Eigenschaften der fundamentalen Bausteine zum Forschungsthema. Die Astroteilchenphysik in MU wird an Observatorien an extremen Orten auf der Erde und an Hochpräzisionsexperimenten in Laboratorien durchgeführt. Die beteiligten Forschungsgruppen gestalten die Neutrinoastronomie mit IceCube, die Erforschung der hochenergetischen Gammastrahlung mit CTA und die Untersuchung der ultrahochenergetischen kosmischen Strahlung am Pierre-Auger-Observatorium maßgeblich mit. Die Eigenschaften von Neutrinos werden mit der einzigartigen Infrastruktur KATRIN bestimmt, und die gewonnene Expertise wird für die Erforschung der Dunklen Materie in DARWIN/XLZD weitergeführt. Die Forschung liefert Erkenntnisse, um ein neues und kohärentes Bild des Hochenergieuniversums zu zeichnen, das die verschiedenen Informationskanäle wie Hochenergiestrahlung, Neutrinos, kosmische Teilchen, Gravitationswellen sowie die Suche nach Dunkler Materie kombiniert. Mit der Entwicklung neuer und verbesserter Forschungsinfrastrukturen entsteht eine Forschungslandschaft, die das gesamte Spektrum der kosmischen Teilchen und Strahlung abdeckt.

Theoretische Studien und die Entwicklung neuer Technologien für Detektoren, Beschleuniger und Datenverarbeitung ergänzen das experimentelle Portfolio jedes Topics und bilden eine gemeinsame Grundlage für die thematischen Fortschritt in allen drei Programmtopics.

Neue strukturelle Entwicklungen und veränderte Rahmenbedingungen

Der Einmarsch Russlands in die Ukraine hat das internationale Umfeld stark verändert und wird von der deutschen und internationalen Wissenschaftsgemeinschaft scharf verurteilt. Viele langjährige und produktive Kooperationen sind ausgesetzt. Der andauernde Krieg beeinflusst auch die Wirtschaft. Im Falle der großen internationalen Teilchenphysikexperimente am CERN hat der CERN-Rat im Dezember 2023 beschlossen, dass die Zusammenarbeit des CERN mit den beiden Ländern Russland und Weißrussland im Jahr 2024 mit dem Auslaufen der jeweiligen internationalen Kooperationsabkommen (ICAs) endet. Die Zusammenarbeit endete somit am 27. Juni 2024 für die Republik Belarus und am 30. November 2024 für die Russische Föderation. Alle institutionalisierten Beziehungen zwischen dem CERN und den russischen und

belarussischen Institutionen wurden zu diesen Terminen eingestellt. Die Beziehungen zu Forschenden mit russischer oder belarussischer Staatsangehörigkeit, die anderweitig mit dem CERN verbunden sind, werden jedoch fortgesetzt. Nach der Beendigung der ICAs wird die Situation der Autorenschaft von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern mit russischer und weißrussischer Zugehörigkeit am CERN neu diskutiert werden müssen – sie erscheinen derzeit ohne ihre institutionelle Zugehörigkeit in wissenschaftlichen Publikationen. Weitere große Infrastrukturen und Experimente (z.B. FAIR, EU, XFEL) sind ebenfalls durch internationale Verträge gebunden und es werden von Fall zu Fall Lösungen gefunden.

A.2.3.3.2 *Wissenschaftliche Highlights des Programms*

Als herausragende Highlights des Programms MU sind zentrenübergreifend folgende zwei wissenschaftliche Ergebnisse aus den Topics 1 und 3 zu nennen:

Im Programmtopic 1 – Fundamentale Teilchen und ihre Wechselwirkungen – hat das CMS-Experiment kürzlich eine neue Messung der Masse des W-Bosons vorgestellt [1], die die bisher genaueste Messung der W-Masse am LHC ist. Das Ergebnis wurde durch eine Kombination aus experimentellen und theoretischen Fortschritten ermöglicht, darunter die präziseste Rekonstruktion der Myonen im CMS-Detektor, eine neue Methode zur Bestimmung der fehlenden Energie auf der Grundlage von Deep Learning und ein neuer theoretischer Ansatz, der von Dr. Frank Tackmann (DESY) entwickelt wurde [2].

Das W-Boson ist seit langem eine besondere Herausforderung für die Messung. Das CMS-Experiment hat nun mit seiner ersten Messung der Masse des W-Bosons einen Beitrag zu diesem globalen Unterfangen geleistet. Das Ergebnis, 80360,2 MeV mit einer Unsicherheit von 9,9 MeV, hat eine Genauigkeit, die mit der einer Messung des CDF-Experiments am Fermilab in den USA vergleichbar ist, und steht im Einklang mit der Erwartung des Standardmodells und mit allen früheren Messungen außer dem CDF-Ergebnis. Die Analyse ist der erste Versuch, die W-Masse in der harschen Kollisionsumgebung der zweiten Betriebsperiode des LHC zu messen. Die DESY-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Katerina Lipka, Leiterin der Helmholtz-W2/W3-Gruppe „Standard Model at Ultimate Precision“, Simone Amoroso und Federico Vazzoler waren für die Modellierung des Verhältnisses zwischen dem Impuls des W-Bosons und dem Myon, in das es zerfällt, verantwortlich – eine der Hauptquellen der Messunsicherheit. Die enge Zusammenarbeit mit dem DESY-Theoretiker Frank Tackmann bei der Behandlung der Unsicherheiten war entscheidend für die endgültige Präzision des Ergebnisses.

[1] CMS Collaboration, *High-precision measurement of the W boson mass with the CMS experiment at the LHC*, arXiv:2412.13872, submitted to Nature, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.13872>

[2] F. Tackmann, *Beyond Scale Variations: Perturbative Theory Uncertainties from Nuisance Parameters*, arXiv:2411.18606, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.18606>

Im Programmtopic 3 – Materie und Strahlung vom Universum – ist es mit dem XENONnT-Detektor, der sich tief unter der Erde im LNGS (Italien) befindet und in erster Linie für die Suche nach Dunkler Materie konzipiert wurde, gelungen, die Neutrinos nachzuweisen, die von ^8B -Fusionsreaktionen im Sonnenkern stammen. Ermöglicht wurde die Messung durch die hochempfindliche, hintergrundarme Flüssig-Xenon-Zeitprojektionskammer des Experiments und durch innovative maschinelle Analysemethoden [3]. Dieses Ergebnis belohnt die langjäh-

rigen Bemühungen, solare Neutrinos in Xenon-basierten Detektoren durch den Standardmodell-Prozess der kohärenten elastischen Neutrino-Kern-Streuung (CEvNS) nachzuweisen, bei dem ein Neutrino mit allen Nukleonen in Phase wechselwirkt und den Wirkungsquerschnitt der Wechselwirkung effektiv vergrößert. Der CEvNS-Prozess ist eine Blaupause für die Art der kohärenten Streuung, durch die WIMP-Teilchen aus Dunkler Materie voraussichtlich Kernrückstöße im Detektor erzeugen werden. In XENONnT ermöglicht die kohärente Verstärkung den Nachweis schwach wechselwirkender Neutrinos von der Sonne in „nur“ 5,9 Tonnen aktivem Xenon-Target, was im Vergleich zu anderen Neutrinodetektoren, die in der Regel über instrumentierte Targets im Kilotonnen-Maßstab (oder darüber hinaus) verfügen, wenig ist. Diese Leistung stellt drei wichtige Meilensteine dar: die erste Beobachtung elastischer Kernrückstöße, die durch astrophysikalische Neutrinos verursacht werden, die erste Messung des CEvNS-Prozesses mit einem Xenon-Target und der erste Vorstoß eines Experiments zum Nachweis Dunkler Materie in den „Neutrino-Nebel“. Der Erfolg des XENON-Experiments beim Neutrino-Nachweis ebnet den Weg für die nächste Generation an Xenon-basierten Detektoren, wie dem geplanten XLZD-Observatorium für Dunkle Materie und Neutrinophysik, um tiefer in die Mysterien des Universums vorzudringen.

- [3] XENON Collaboration, *First Indication of Solar 8B Neutrinos via Coherent Elastic Neutrino-Nucleus Scattering with XENONnT*, *Phys.Rev.Lett.* 133 (2024) 191002, DOI: 10.1103/PhysRevLett.133.191002
- [4] COHERENT Collaboration, *First detection of coherent elastic neutrino-nucleus scattering on germanium*, *arXiv.2406.13806*, DOI: 10.48550/arXiv.2406.13806

Darüber hinaus haben die Arbeitsgruppen im Programm MU am KIT im Berichtsjahr 2024 weitere wissenschaftliche Fortschritte in den Topics erzielen können.

Im Gebiet der Hochpräzisionsstudien der Higgs-Eigenschaften und fundamentalen Wechselwirkungen wurde an sogenannten gemischten QCD-elektroschwachen Korrekturen für die Produktion von zwei Leptonen bei hochinvarianten Massen am LHC gearbeitet. Eine Berechnung widmete sich den Korrekturen der nächsten bis übernächsten führenden Ordnung für die Higgs-Boson Paarproduktion, ein Prozess, der in den kommenden Jahren für ATLAS und CMS von großem Interesse sein wird [5]. Neuartige Methoden zur Berechnung von Multiloop-Integralen mit mehreren Massenskalen haben die Untersuchung von Topquark-Masseneffekten in der Higgs+Jet- und Higgs+2-Jet-Produktion ermöglicht [6]. NNLO-QCD-Korrekturen zu ausgewählten Operatoren der effektiven SM-Feldtheorie (SMEFT) (einschließlich CP-verletzender Effekte) in der WH-Produktion wurden fortgeführt und phänomenologische Studien zum Zusammenspiel von Korrekturen höherer Ordnung und höherdimensionalen Operatoren durchgeführt. Der quark-initiierte Beitrag zur $t\bar{t}$ H-Produktion wurde zu zwei Schleifen-Korrekturen berechnet [7]. Es wurde eine Methode entwickelt, um die weiche N-Jet-Funktion in der Soft-Collinear Effective Theory (SCET) für generische Prozesse mit N-Jets in den Endzuständen in Hadron Kollisionen zu berechnen, wobei zum ersten Mal das Wissen über generische Subtraktionsschemata in der Berechnung der weichen Funktion genutzt wurde [8]. Darüber hinaus wurde die Schnittstelle von Störungstheorie und Gittereichtheorie im sogenannten Gradientenfluss-Formalismus weiter untersucht [9].

Bei der Suche nach neuen Teilchen und Phänomenen wurde das 2-Higgs-Doublet-Modell, das um Yukawa-Wechselwirkungen der Dimension 6 erweitert wurde [10], im Hinblick auf die Möglichkeit eines starken elektroschwachen Phasenübergangs erster Ordnung im frühen Universum untersucht. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf Anwendungen des maschinellen Lernens bei der Suche nach physikalischen Phänomenen jenseits des Standardmodells in Beschleunigerexperimenten, um exotische Signale vom Hintergrund zu trennen. Eine besonders vielversprechende Methode ist die simulatorbasierte Inferenz (SBI), bei der ein neuronales Netz trainiert wird, um niedrige Merkmale eines Ereignisses mit Modellparametern zu assoziieren,

ohne dass explizit komplizierte Observablen oder Likelihood-Funktionen konstruiert werden müssen. Zusammen mit Kolleginnen und Kollegen aus den experimentellen Gruppen wurde festgestellt, dass die Methode bei der Suche nach langlebigen Teilchen in Beam-Dump-Experimenten gut funktioniert [11]. SBI-Methoden sind auch das Thema des Helmholtz-KI-Projekts Neural-based Diffusion Likelihood-free Estimations (NEEDLE) des KIT und von Experimentatoren bei DESY.

Im Bereich der Kosmologie und dem dunklen Sektor des Universums wurde die Möglichkeit des konversionsgetriebenen Einfrierens zusätzlich zum Standard-Szenario des Einfrierens im thermischen Gleichgewicht (Ko-Annihilation) untersucht [12]. In einem anderen Projekt wurde an der Suche nach dunklen Photonenmodellen mit Gravitationswellenobservatorien gearbeitet [13, 14].

Im Bereich des Computing wurde weiter an COBaID/TARDIS gearbeitet und die Software veröffentlicht [15]. COBaID/TARDIS ist ein Mehrzweck-Ressourcen-Meta-Scheduler, der von der HEP-Gemeinschaft und darüber hinaus weithin genutzt wird und eine dynamische, transparente und bedarfsgerechte Integration von z. B. Nicht-HEP-Rechenressourcen wie HPC und Clouds in die WLCG-Rechenumgebung ermöglicht.

- [5] J. Davies, K. Schonwald, M. Steinhauser, and M. Vitti, *Three-loop corrections to Higgs boson pair production: reducible contribution*, arXiv:2405.20372 [hep-ph].
- [6] K. Becker et al., *Precise predictions for boosted Higgs production*, SciPost Phys. Core 7 (2024) 001, arXiv:2005.07762 [hep-ph].
- [7] B. Agarwal et al., *Two-loop amplitudes for ttH production: the quark-initiated Nf -part*, JHEP 05 (2024) 013, arXiv:2402.03301 [hep-ph]. [Erratum: JHEP 06, 142 (2024)].
- [8] P. Agarwal, K. Melnikov, and I. Pedron, *N-jettiness soft function at next-to-next-to-leading order in perturbative QCD*, JHEP 05 (2024) 005, arXiv:2403.03078 [hep-ph].
- [9] J. Borgulat, R. V. Harlander, J. T. Kohnen, and F. Lange, *Short-flow-time expansion of quark bilinears through next-to-next-to-leading order QCD*, JHEP 05 (2024) 179, arXiv:2311.16799 [hep-lat].
- [10] Anisha, D. Azevedo, L. Biermann, C. Englert, and M. Mühlleitner, *Effective 2HDM Yukawa interactions and a strong first-order electroweak phase transition*, JHEP 02 (2024) 045, 2311.06353 [hep-ph].
- [11] A. Morandini, T. Ferber, and F. Kahlhoefer, *Reconstructing axion-like particles from beam dumps with simulation-based inference*, Eur. Phys. J. C 84 no. 2, (2024) 200, arXiv:2308.01353 [hep-ph].
- [12] H. Acaroglu, M. Blanke, J. Heisig, M. Krämer, and L. Rathmann, *Flavoured Majorana Dark Matter then and now: from freeze-out scenarios to LHC signatures*, JHEP 06 (2024) 179, arXiv:2312.09274 [hep-ph].
- [13] J. Frerick, J. Jaeckel, F. Kahlhoefer, and K. Schmidt-Hoberg, *Riding the dark matter wave: Novel limits on general dark photons from LISA Pathfinder*, Phys. Lett. B 848 (2024) 138328, arXiv:2310.06017 [hep-ph].
- [14] T. Bringmann, T. E. Gonzalo, F. Kahlhoefer, J. Matuszak, and C. Tassilo, *Hunting WIMPs with LISA: correlating dark matter and gravitational wave signals*, JCAP 05 (2024) 065, arXiv:2311.06346 [astro-ph.CO].
- [15] M. Giffels et al., *MatterMiners/tardis: 0.8.2*, May, 2024, <https://doi.org/10.5281/zenodo.11261058>.

Im Programmtopic 3 – Materie und Strahlung vom Universum – konnte mit den Daten von KATRIN eine obere Grenze von 0,45 eV/c² (90% CL) aus den ersten fünf wissenschaftlichen Messperioden (ca. 20% des gesamten erwarteten Datensatzes) bestimmt werden [16]. Eine m_v Empfindlichkeit von besser als 0,3 eV/c² (90 % CL) wird nach den vollen 1.000 Tagen der Messungen erwartet. Die Gesamtunsicherheit setzt sich aus einer dominanten statistischen Unsicherheit von $\sigma_{\text{stat}} = 0,108 \text{ eV}^2/\text{c}^4$ und einer systematischen Unsicherheit von $\sigma_{\text{syst}} = 0,072 \text{ eV}^2/\text{c}^4$ zusammen. Im Berichtsjahr 2024 konnte das Verständnis der experimentellen Apparatur weiter durch genaue Kalibrierung und systematische Messungen zwischen den β -Spektrums-Scans verbessert werden. Die wichtigsten jüngsten Fortschritte sind:

- Die Hintergrundrate wurde nach der dritten Kampagne durch eine umfassende Neugestaltung der elektromagnetischen Feldkonfiguration des Hauptspektrometers um den Faktor zwei reduziert [17].
- Bedeutende Fortschritte wurden beim Verständnis der Tritiumakkumulation an der Rückwand, die das Quellenvolumen abschließt und ihre systematische Auswirkung auf das β -Spektrum durch gezielte Studien erzielt. Eine wirksame UV/Ozon-Reinigungsmethode zur Entfernung von Resttritium wurde ebenfalls entwickelt [18].

- Eine spezielle quantenchemische Bewertung der systematischen Unsicherheiten im Zusammenhang mit den molekularen Endzuständen im T_2 β -Zerfall bestätigte, dass die für die frühen KATRIN-Kampagnen angenommene Unsicherheitsschätzung sehr konservativ war. Für die laufenden Neutrinomassen-Analysen wird daher eine viel kleinere systematische Unsicherheit auf der Grundlage von First-Principle-Rechnungen verwendet [19].

Bei der direkten Suche nach Dunkler Materie leitet die Forschungsgruppe des KIT die Vernetzung von Xenon-basierten Detektoren für Dunkle Materie im SNEWS Netzwerk zum Nachweis von Supernova-Neutrinos [20]. Die Forschungstätigkeit der theoretischen Astroteilchengruppe am Institut für Astroteilchenphysik (IAP) deckt ein sehr breites und vielfältiges Spektrum von Themen ab. Zentral ist die Phänomenologie der Neutrino-Oszillationen, wobei ein herausragendes Ergebnis im Rahmen der NuFit-Kollaboration zu einer globalen Analyse von Drei-Flavor-Neutrino-Oszillationen veröffentlicht wurde [21]. Bedeutende Forschungsergebnisse wurden auch bei der Suche nach exotischen Teilchen im GeV-Bereich erzielt. Solche Teilchen können als Boten aus einem sogenannten dunklen Sektor des Universums fungieren, mit möglichen Auswirkungen auf die Astroteilchenphysik und Kosmologie. Verschiedene Methoden für die Suche nach dieser Art von neuer Physik in kommenden Experimenten wurden aufgezeigt [22–25]. Im Zusammenhang mit der Dunklen Materie wurde die Auswirkungen und mögliche Signaturen von Axion- und axionähnlichen Teilchenkandidaten für Dunkle Materie untersucht [26]. In [27] wurde ein spezielles Modell für die sogenannte WIMP-Dunkle Materie diskutiert und es wurden spezifische Vorhersagen für die Experimente Belle-II und XENONnT/DARWIN gemacht.

Im Bereich des Hochenergie-Universum und der Multi-Messenger-Astroteilchenphysik wurden beim Pierre-Auger-Observatorium zum ersten Mal in der UHECR-Physik Techniken des maschinellen Lernens verwendet, um bisher unbekannte Strukturen in der Elongationsrate des sog. Schauer-Maximums aufzuzeigen, deren Ursprung auf die sich mit der Energie ändernde Elementzusammensetzung zurückzuführen sein dürfte [28]. Dank der Kompositionsempfindlichkeit des Auger-Observatoriums werden diese Erkenntnisse durch eine Reihe von Suchen nach Photonen und Neutrinos ergänzt und auch Rückschlüsse auf die Physik jenseits des Standardmodells (BSM) ermöglicht [29]. Außerdem wurde an der Modellierung von Vorhersagen für die Neutronenkomponente ausgedehnter Luftschauer gearbeitet [30]. Diese Neutronenkomponente stellt ein unerforschtes Fenster zu hadronischen Wechselwirkungen bei höchsten Energien dar und wird zum ersten Mal mit den Szintillator-Detektoren des Auger-Prime-Upgrades gemessen. Die Analysen der Auger- und AugerPrime-Daten werden außerdem durch phänomenologische Studien der Ausbreitung kosmischer Strahlung in ihren Quellen, Multimessenger Signaturen von kosmischen Strahlungsbeschleunigern und die Ablenkung kosmischer Strahlung im galaktischen Magnetfeld unterstützt [31–33]. Im Berichtsjahr 2024 wurden zudem die Open-Access-Strategie und ein Update des Datensatzes des Pierre-Auger-Observatoriums veröffentlicht [34]. Darüber hinaus hat die Arbeitsgruppe am KIT weiter an Verbesserungen zum Luftschauer-Simulations-Paket CORSIKA gearbeitet. Eine verbesserte Version von CORSIKA 7 konnte veröffentlicht und die technisch-überarbeitete Version CORSIKA 8 zu fortgeschrittenerer Reife gebracht werden [35]. Diese Arbeiten werden durch Weiterentwicklungen von hadronischen Wechselwirkungsmodellen komplementiert und im Berichtszeitraum wurden hierzu Weiterentwicklungen von Sibyll publiziert [36].

[16] M. Aker et al., KATRIN Collaboration, Direct neutrino-mass measurement based on 259 days of KATRIN data, arXiv:2406.13516 [nucl-ex].

[17] M. Aker et al., Measurement of the electric potential and the magnetic field in the shifted analysing plane of the KATRIN experiment, arXiv:2408.07022 [physics.ins-det].

- [18] M. Aker et al., *In situ tritium decontamination of the KATRIN rear wall using an ultraviolet/ozone treatment*, *Fusion Science and Technology* 80 no. 3-4, (2024) 303–310, <https://doi.org/10.1080/15361055.2023.2214695>.
- [19] S. Schneidewind, J. Schürmann, A. Lokhov, C. Weinheimer, and A. Saenz, *Improved treatment of the T2 molecular final-states uncertainties for the KATRIN neutrino-mass measurement*, *Eur. Phys. J. C* 84 no. 5, (2024) 494, [arXiv:2310.12634 \[physics.data-an\]](https://arxiv.org/abs/2310.12634).
- [20] M. Kara et al., *The sneus 2.0 alert software for the coincident detection of neutrinos from core-collapse supernovae*, *Journal of Instrumentation* 19 no. 10, (2024) Art.–Nr.: P10017. 51.13.01; LK 01.
- [21] I. Esteban et al., *NuFit-6.0: Updated global analysis of three-flavor neutrino oscillations*, [arXiv:2410.05380 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/2410.05380).
- [22] M. Ferrillo, M. Ovchinnikov, F. Resnati, and A. De Roeck, *Improving the potential of BDF@SPS to search for new physics with liquid argon time projection chambers*, *JHEP* 02 (2024) 196, [arXiv:2312.14868 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/2312.14868).
- [23] M. Ovchinnikov, J.-L. Tastet, O. Mikulenko, and K. Bondarenko, *Sensitivities to feebly interacting particles: public and unified calculations*, *PoS EPS-HEP2023* (2024) 456, [arXiv:2311.00507 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/2311.00507).
- [24] G. Dalla Valle Garcia, F. Kahlhoefer, M. Ovchinnikov, and A. Zaporozhchenko, *Phenomenology of axionlike particles with universal fermion couplings revisited*, *Phys. Rev. D* 109 no. 5, (2024) 055042, [arXiv:2310.03524 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/2310.03524).
- [25] V. Gorkavenko et al., *LHCb potential to discover long-lived new physics particles with lifetimes above 100 ps*, *Eur. Phys. J. C* 84 no. 6, (2024) 608, [arXiv:2312.14016 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/2312.14016).
- [26] V. Dandoy, J. Jaeckel, and V. Montoya, *Using axion miniclusters to disentangle the axion-photon coupling and the dark matter density*, *JCAP* 05 (2024) 035, [arXiv:2307.11871 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/2307.11871).
- [27] G. D. V. Garcia, F. Kahlhoefer, M. Ovchinnikov, and T. Schwetz, *Not-so-inelastic Dark Matter*, [arXiv:2405.08081 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/2405.08081).
- [28] A. Abdul Halim et al., *Pierre Auger Collaboration, Inference of the Mass Composition of Cosmic Rays with energies from $10^{18.5}$ to 10^{20} eV using the Pierre Auger Observatory and Deep Learning*, [arXiv:2406.06315 \[astro-ph.HE\]](https://arxiv.org/abs/2406.06315).
- [29] A. Abdul Halim et al., *Pierre Auger Collaboration, Constraints on metastable superheavy dark matter coupled to sterile neutrinos with the Pierre Auger Observatory*, *Phys. Rev. D* 109 no. 8, (2024) L081101, [arXiv:2311.14541 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/2311.14541).
- [30] M. Schimassek et al., *Neutron production in simulations of extensive air showers*, 2024. <https://arxiv.org/abs/2406.11702>.
- [31] M. S. Muzio, L. A. Anchordoqui, and M. Unger, *Peters cycle at the end of the cosmic ray spectrum?*, *Phys. Rev. D* 109 no. 2, (2024) 023006, [arXiv:2309.16518 \[astro-ph.HE\]](https://arxiv.org/abs/2309.16518).
- [32] M. Unger and G. R. Farrar, *The Coherent Magnetic Field of the Milky Way*, *Astrophys J.* 970 no. 1, (2024) 95, [arXiv:2311.12120 \[astro-ph.GA\]](https://arxiv.org/abs/2311.12120).
- [33] M. Unger and G. R. Farrar, *Where did the Amaterasu Particle Come From?*, *Astrophys. J. Lett.* 962 no. 1, (2024) L5, [arXiv:2312.13273 \[astro-ph.HE\]](https://arxiv.org/abs/2312.13273).
- [34] Pierre Auger Collaboration, *Pierre Auger Observatory Open Data*, Mar., 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10488964>.
- [35] J. M. Alameddine et al., *Simulating radio emission from particle cascades with CORSIKA 8*, [arXiv:2409.15999 \[astro-ph.HE\]](https://arxiv.org/abs/2409.15999).
- [36] F. Riehn, A. Fedynitch, and R. Engel, *Sibyll**, *Astropart. Phys.* 160 (2024) 102964, [arXiv:2404.02636 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/2404.02636).

A.2.3.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen

Der Senat der Helmholtz-Gemeinschaft hat folgende Empfehlungen auf Ebene des Forschungsprogramms in der LK I verfasst:

Die starke Führungsposition der Helmholtz-Gemeinschaft in dem globalen Feld sollte voll unterstützt werden.

Mitglieder des Programms MU sind auf allen Ebenen (national, EU, international) in führenden Positionen und arbeiten in relevanten Strategiegremien und Roadmap-Prozessen mit (national: KET, KAT, KHuK, ErUM-Data, NFDI; Europa: Aktualisierung der Europäischen Strategie für die Teilchenphysik, ECFA Detector Roadmap, Future Colliders Forum, APPEC, NuPPEC;

international: ICFA, IUPAP-C4, P5). Bei allen wichtigen internationalen, laufenden und zukünftigen Collider-Projekten, z.B. bei den LHC-Experimenten oder Studien zu zukünftigen Higgs-Anlagen, sind zentrale Management- und Beratungspositionen mit MU-Mitgliedern besetzt. Daneben sind Mitglieder von MU (Co-)Sprecherinnen und (Co-)Sprecher (z.B. Auger-Observatorium, KATRIN, CBM oder ALICE) oder haben andere Schlüsselpositionen in vielen internationalen Kollaborationen der Experimente und Observatorien, an denen das Programm beteiligt ist. Aufgrund dieser Positionen und des Einflusses der wissenschaftlichen Beiträge von Helmholtz ist der konstitutive Einfluss von Helmholtz gewährleistet.

Ein gewisses Maß an Flexibilität für programmatische Anpassungen während der Laufzeit der PoF IV ist beizubehalten.

Das Programm MU ist geprägt von vielen langjährigen Aufgabenstellungen und Projekten, die nur mit Ausdauer bewältigt werden können. Dennoch bieten die Themenfelder viele neue Entwicklungen, neu aufkeimende Fragestellungen oder technologische Innovationen, die neue Ansätze für unsere Forschung eröffnen. Diese möglichen Chancen werden erwogen und gegebenenfalls aufgegriffen und in die kontinuierliche Gestaltung unserer programmorientierten Forschung integriert.

Im Bereich der Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik sind wichtige Strategieprozesse (Nationaler Priorisierungsprozess des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Europäische Strategie, US-amerikanischer „Decadal Survey on Astronomy and Astrophysics“ und „Snowmass P5“-Prozess) kürzlich abgeschlossen worden bzw. im Gange, die z.B. die Fragen nach den nächsten internationalen Collider-Projekten und zukünftigen Observatorien für Neutrinos, ultrahochenergetische kosmische Strahlung, Gammastrahlen und Gravitationswellen behandeln. Im Bereich der Elementarteilchenphysik hat der Aktualisierungsprozess für die europäische Strategie für Teilchenphysik unter der Federführung des CERN begonnen. Hier sind insbesondere die Fragen nach einem zukünftigen Collider nach dem LHC und nach der Rolle der nationalen Labore für den Erhalt der wissenschaftlichen Vielfalt in diesem Bereich von Bedeutung. DESY-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler sind an zentralen Stellen in diesen Prozess eingebunden, und das Labor hat den Ehrgeiz, die zukünftige Strategie des CERN und der europäischen Teilchenphysik maßgeblich mitzugestalten.

Die Idee einer „Higgs-Fabrik“ für hochpräzise Messungen dieses Teilchens wird weiterverfolgt, aber auch Studien und technologische F&E für noch weitergehende Projekte, die Teilchenkollisionen bei noch höheren Energien ermöglichen könnten, werden untersucht. Helmholtz und insbesondere DESY als nationales Labor und Drehscheibe sind von zentraler Bedeutung für deutsche Beiträge zu internationalen Projekten auf diesem Gebiet. Komplementäre Ideen erweitern das DESY-Axionprogramm um die Suche nach hochfrequenten Gravitationswellen.

Darüber hinaus werden in den 2020er Jahren die Weichen für Observatorien in der Multi-Messenger-Astroteilchenphysik der nächsten 30 bis 40 Jahre gestellt. Die Pläne der Anträge Einstein-Teleskop, IceCube-Gen2, GCOS und DARWIN/XLZD sind wichtige Beiträge, und Deutschland kann die Forschung und Entwicklung und das Design dieser Infrastrukturen mitgestalten. Mitglieder des Programms MU sind entweder federführend oder aktiv an den jüngsten Entwicklungen beteiligt, die es dem Bereich ermöglichen, die geplanten Projekte zu realisieren. Eine dieser jüngsten Entwicklungen ist der Zusammenschluss der Gruppen XENON, LUX-ZEPLIN und DARWIN zu XLZD. Die Projekte IceCube-Gen2, DARWIN und Einstein-Teleskop sind Teil der Helmholtz-Roadmap für große Infrastrukturen. Im Jahr 2024 veröffentlichte das BMBF einen Aufruf für ein Nationales Priorisierungsverfahren, in dem die Träger großer Forschungsinfrastrukturen mit einem deutschen Beitrag von mehr als 50 Mio. Euro aufgefor-

dert wurden, in einem zweistufigen Auswahlverfahren Konzepte einzureichen. Mit MU-Beteiligung reichte das KIT als Trägereinrichtung von XLZD ein Konzept ein, DESY und KIT reichten ein Konzept als Trägereinrichtungen von IceCube-Gen2 ein, und das KIT unterzeichnete als Partnereinrichtung die Konzepte für das Einstein-Teleskop und das Square Kilometer Array (SKA).

Darüber hinaus finden am KIT im Tritiumlabor Karlsruhe (z.B. für KATRIN++) und bei DESY in Zeuthen im Rahmen von UltraSat vorbereitende Arbeiten für zukünftige experimentelle Ansätze statt, allerdings in etwas kleinerem Umfang.

Eine Teilnahme seitens Helmholtz an künftigen internationalen Forschungsinitiativen zur experimentellen Bestimmung von Gravitationswellen, wie z. B. dem Einstein-Teleskop (ET), ist zu erwägen.

Topic 1 befasst sich intensiv mit den Aspekten der Gravitationswellenphysik, die für die Aufgabe der Teilchenphysik relevant sind. Es werden Konzepte entwickelt, die sich besonders für die Untersuchung von Gravitationswellen kosmologischen Ursprungs bei hohen Frequenzen (> 1 MHz) eignen, wobei die auf dem DESY-Campus vorhandenen Kompetenzen und Infrastrukturen genutzt werden. Diese Studien werden sowohl von Experimentalphysikerinnen und -physikern als auch von Theoretikerinnen und Theoretikern vorangetrieben und konzentrieren sich insbesondere auf Erkenntnisse über das frühe Universum (z.B. Inflatonen, Higgs-Potential etc.).

In Topic 2 werden kernphysikalische Aspekte der Gravitationswellenforschung theoretisch untersucht. Dieses wichtige Projekt ist mit den GSI/FAIR-Forschungsaktivitäten verknüpft. Die GSI-Theoriegruppe ist führend bei der Untersuchung der Dynamik der Verschmelzung von binären Neutronensternen, wobei hochentwickelte numerische Simulationen der allgemeinen Relativitätstheorie für präzise Vorhersagen eingesetzt werden. Das erwartete Signal von Gravitationswellen und das damit verbundene Signal im elektromagnetischen Spektralbereich als Fingerabdruck der Nukleosynthese schwerer Elemente wurde sehr detailliert vorhergesagt und ermöglicht die Formulierung von Zustandsgleichungen der Materie bei hohen Dichten. Dieses Projekt eröffnet neue Möglichkeiten für topic- und programmübergreifende Aktivitäten in der Theorie, für die Analyse von Big Data und für neue Detektortechnologien.

DESY und KIT haben mit ihren Aktivitäten in Topic 3 ihre führende Rolle auf dem Gebiet der Multi-Messenger-Astronomie ausgebaut, den deutschen Beitrag zum Einstein-Teleskop (ET) gestärkt und eine mögliche Beteiligung der Helmholtz-Gemeinschaft am Projekt vorbereitet. Die Aktivitäten der beiden Helmholtz-Zentren reichen von der direkten experimentellen Beteiligung, insbesondere bei der Entwicklung innovativer und nachhaltiger Kryo- und Vakuumtechnik, über die Umsetzung des Projekts in der Helmholtz-Gemeinschaft bis hin zur Koordination der deutschen ET-Community und der Unterstützung der Konsolidierung der Gravitationswellenastronomie in Deutschland. Beide Zentren konnten gemeinsam mit dem HZDR das ET in der Helmholtz-Roadmap für zukünftige große Infrastruktureinrichtungen erfolgreich implementieren. Beide Gruppen bei DESY und am KIT sind „Research Units“ der Einstein-Teleskop-Kollaboration mit Sitzen im Collaboration Board. DESY ist zusammen mit Partnern aus der Astronomie und Astroteilchenphysik in Deutschland stark in das Deutsche Zentrum für Astrophysik (DZA) eingebunden, das für die Vorbereitung des Low Seismic Lab, einem Untergrundlabor des DZA mit einzigartigen seismischen Eigenschaften, und für die Untersuchung der Lausitz als Standort für das Einstein-Teleskop verantwortlich ist. DESY-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind im Observational Science Board zur Vorbereitung des Physikprogramms von ET und im Site Preparation Board zur Durchführung von Studien am Standort

Lausitz aktiv. Die Forschungsgruppe des KIT ist stark in das Site Preparation Board mit seismischen Messungen an allen möglichen Standorten sowie in das Instrument Science Board mit der Leitung der Vacuum & Cryogenics Division, das E-Infrastructure Board und in die Aktivitäten an der Einstein Telescope Pathfinder-Anlage in Maastricht involviert. Darüber hinaus tragen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT auch zum wissenschaftlichen Portfolio des DZA bei. Im Herbst 2024 unterstützten DESY und KIT die Einreichung eines ersten Konzepts für die Nationale Roadmap des BMBF.

Die Koordination von theoretischen und experimentellen Ansätzen im gesamten Programm soll gestärkt werden.

In allen Topics des Programms MU ist eine enge Zusammenarbeit zwischen experimenteller und theoretischer Forschung unerlässlich. An allen Zentren und zu allen Themen werden Kooperationen vertieft, was sich beispielsweise in vielen gemeinsamen Publikationen von eher theoretisch und eher experimentell arbeitenden Gruppen niederschlägt.

In Topic 1 ist die enge Zusammenarbeit zwischen Theorie und Experiment gut etabliert; beide Aktivitäten befruchten sich gegenseitig und behandeln gemeinsame Forschungsfragen. Dies führt regelmäßig zu gemeinsamen Publikationen und neuen Ideen für experimentelle Analysen oder Aktivitäten (z.B. LUXE, Axion-Experimente, Gravitationswellen, DELight, Beam-Dump-Experimente). In dem von der Helmholtz-Gemeinschaft geförderten Projekt NEEDLE entwickelt ein Team aus experimentellen und theoretischen Physikerinnen und Physikern simulationsbasierte Inferenzmethoden, um Daten vollständig auszunutzen und die Ergebnisse sowohl in phänomenologischen Studien als auch in der LHC-Datenanalyse anzuwenden.

Die Zusammenarbeit zwischen Theorie und Experiment hat bei der GSI eine lange Tradition. Theoretische Kernphysik, Hadronenphysik und nukleare Astrophysik spielen eine Schlüsselrolle bei der Klärung kritischer Fragen auf diesem Gebiet, bei der Unterstützung von Experimenten und der Interpretation ihrer Ergebnisse. Bemerkenswerte Beispiele sind die von theoretischen und experimentellen Gruppen gemeinsam entwickelten Experimentiervorschläge sowie zahlreiche Veröffentlichungen, die theoretische Modelle zur Erklärung experimenteller Ergebnisse verwenden.

Auch in der Astroteilchenphysik (Topic 3) können grundlegende wissenschaftliche Ergebnisse nur in Verbindung von Experiment und Theorie validiert werden. Mehrere phänomenologische Studien, z.B. in der Neutrinophysik, der Dunklen Materie oder der Astroteilchenphysik mit mehreren Teilchenmassen, stellen ein wichtiges Bindeglied zwischen der Theorie und dem experimentellen Astroteilchenportfolio dar und bieten Interpretationen der Ergebnisse sowie Signalvorhersagen innerhalb der breiten Physiklandschaft.

A.2.3.3.4 Strategische Themen

Zur strategischen Weiterentwicklung der Verbundaktivitäten im Forschungsprogramm und im Forschungsbereich werden derzeit drei innovative Projekte im Programm MU durch den sogenannten Innovationspool gefördert: „LUXE-QED – LUXE-Quantum-computing and advanced Experimental Detectors“ – (DESY, HZDR, GSI (HI Jena)); „ADC-MAPP – Analysis and Data Centre for Multi-Messenger Astroparticle Physics“ – (KIT, DESY); „VQCS - Variational Quantum Computer Simulations for complex quantum systems and optimization problems“ – (DESY).

Eine ausführliche Beschreibung der Aktivitäten zum ADC-MAPP-Projekt am KIT im Jahr 2024 ist im Abschnitt A.2.3.7.1 zu finden.

Talentmanagement

Dr. Yanina Biondi konnte ihr vom KIT finanziertes YIG Prep Pro-Stipendium „R&D for Dark Matter searches with the DARWIN experiment“ mit einer Laufzeit von zwei Jahren von März 2023 bis März 2025 erfolgreich abschließen. Im November 2024 hat sie die Zusage für eine Helmholtz-Forschungsgruppe erhalten, welche sich ab März 2025 mit den HV-bezogenen technologischen Herausforderungen an der „Large-Scale Frontier of Xenon Detectors for Dark Matter“ beschäftigen wird.

Das KIT organisierte 2024 im Rahmen der „International School on Astroparticle Physics“ (ISAPP) eine Sommerschule zum Thema „Neutrinos and Dark Matter – in the Lab and in the Universe“. Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler aus 11 Ländern nahmen an der Veranstaltung mit Dozentinnen und Dozenten aus Astroteilchenphysik-Instituten in Deutschland und Europa teil.

Prof. Dr. Ralph Engel wurde auf der 33. IUPAP-Generalversammlung für die Amtszeit von Januar 2025 bis Dezember 2027 zum Vorsitzenden der C4-Kommission gewählt.

Der ehemalige Postdoc Dr. Teppei Kitahara (MU Topic 1) wurde zum Associate Professor in der Elementarteilchentheorie-Gruppe am Department of Physics der Chiba University in Japan ernannt.

Prof. Dr. Kathrin Valerius wurde zusammen mit Prof. Dr. Susanne Mertens für zwei weitere Jahre als Sprecherin der KATRIN-Kollaboration wiedergewählt.

Dr. Fahim Varsi, seit Mai 2024 Postdoc am KIT in der IceCube-Kollaboration, erhielt den Rahul Basu Memorial Award for best thesis in High Energy Physics der Indian Physics Association für seine Doktorarbeit „Measurement of the energy spectrum and composition of cosmic rays by the GRAPES-3 experiment“, die er im Dezember 2024 auf dem DAE-Symposium für Hochenergiephysik in Varanasi, Indien, vorstellte.

Dr. Emanuele Michielin begann sein zweijähriges MSCA-Postdoktorandenstipendium am KIT und SNOLAB für „Understanding the nature of the low energy excess in cryogenic detectors to discover light dark matter“ (LEGENDRE).

Im Jahr 2024 arbeiteten rund 65 Promovierende der KIT-Graduiertenschule KSETA „Karlsruhe School of Elementary Particle and Astroparticle Physics: Science and Technology“ an ihren Dissertationen zu Themen des Programms MU. Höhepunkte im Jahr 2024 waren der große Plenarworkshop und die „Wess-Vorlesung“ von Prof. Belén Gavela, der Julius-Wess-Preisträgerin des Jahres 2023, von der Universidad Autonoma de Madrid, Spanien. Ein Praktikumsprogramm mit dem IIT Bombay in Mumbai, Indien, bot zwei Doktorandinnen des Programms MU, Topic 3, die Möglichkeit, erste Erfahrungen in der Betreuung internationaler Masterstudierender zu sammeln. Mit mehr als 30 % weiblichen Forscherinnen und 50 % internationalen Forschenden mit mehr als 15 verschiedenen Nationalitäten bietet die Gruppe der MU-Promovierenden in KSETA ein multikulturelles Arbeitsumfeld.

Die KSETA-Schule ist mit der Helmholtz International Research School for Astroparticle Physics and Enabling Technologies (HIRSAP) verflochten, die zwei spezielle Doppelpromotionsstudiengänge zwischen dem KIT und der UNSAM in Buenos Aires, Argentinien, anbietet: Den Doppelpromotionsstudiengang in Astrophysik (DDAp) und den Doppelpromotionsstudiengang in Elektrotechnik und Informationstechnik (DDEIT). Im Jahr 2024 arbeiteten 15 Promovierende der HIRSAP in den Themen der beiden Forschungsprogramme MU und MT.

Vernetzung

Das PUNCH4NFDI-Konsortium bindet die deutschen Communities der Teilchenphysik, Astroteilchenphysik, Astronomie sowie der Hadronen- und Kernphysik fest in die Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI e.V.) ein. Das Konsortium mit DESY als Koordinator und

dem Wissenschaftler Dr. Andreas Haungs vom KIT als satzungsgemäßem Sprecher konnte große Schritte zur Erreichung seiner Hauptziele einer wissenschaftlichen Datenplattform, der Definition eines digitalen Forschungsprodukts für seine Communities und einer abschließenden Diskussion über Metadatenschemata vorweisen. Immer mehr Anwendungsfälle können nun umgesetzt werden. Das Konsortium wird somit für einen immer breiteren Kreis von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern geöffnet, die in diesem Bereich arbeiten. Zudem werden die Aktivitäten über ESCAPE auch fest mit der europäischen Ebene verbunden. Mit der Base4NFDI-Initiative wurde ein Instrument geschaffen, das konkrete Aktivitäten und Dienste unterstützt, die allen Teilen der NFDI zugutekommen und Querverbindungen zwischen immer mehr Forschungsbereichen herstellen.

Im März 2024 war das KIT Gastgeber der DPG-Frühjahrstagung auf dem Campus Süd. MU-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler waren an der Organisation und Durchführung dieser großen Tagung beteiligt, boten Laborführungen zu den MU-Einrichtungen am Campus Nord an, und Prof. Dr. Kathrin Valerius KIT hielt den öffentlichen Abendvortrag „Dem unsichtbaren Universum auf der Spur: Neutrinos und Dunkle Materie“. Die Tagung wurde unter besonderer Berücksichtigung ökologischer Aspekte durchgeführt und bot Angebote zur Kinderbetreuung und ein eigenes „Care and Awareness Team“. Ein ganz besonderer Höhepunkt war die Festsitzung für Prof. Dr. Herwig Schopper, bei der Schoppers 100. Geburtstag mit einem Festvortrag von Prof. Dr. Beate Heinemann, DESY, über „Particle Physics Through the Ages: Ein Jahrhundert der Entdeckungen und der Weg in die Zukunft“.

Im Oktober 2024 organisierte das KIT den „International Workshop on Baryon and Lepton Number Violation (BLV2024)“ mit fast 70 Teilnehmenden aus etwa 40 internationalen Forschungsinstituten, die ein breites Spektrum der BSM-Physik mit theoretischen und experimentellen Komponenten abdeckten.

Die sich abzeichnenden Pläne für ein Tritium-basiertes Neutrino-Massenexperiment der nächsten Generation (KATRIN++) fördern neue Kooperationen. Dazu gehören Synergien innerhalb von Helmholtz Matter, wie z.B. die MU- und MT-Aktivitäten am KIT und die zentrenübergreifenden Bemühungen im InnoPool-Projekt QS4Physics, das 2025 startet und darauf abzielt, modernste Quantensensortechnologien für die Grundlagenforschung nutzbar zu machen. Darüber hinaus bilden sich externe Partnerschaften, wobei sich eine gemeinsame Arbeitsgruppe der Verbünde KATRIN, Project8 und QTNM auf die Entwicklung einer atomaren Tritiumquellentechnologie konzentriert.

Das XLZD-Konsortium, das im Jahr 2021 gegründet wurde, ist im Sommer 2024 zu einer vollständigen Zusammenarbeit übergegangen. Die Zusammenarbeit umfasst mehr als 70 Institutionen aus 15 Ländern. Prof. Dr. Kathrin Valerius wurde in den Vorstand des XLZD-Konsortiums gewählt, nachdem sie in den ersten Jahren der Zusammenarbeit im Lenkungsausschuss des Konsortiums mitgearbeitet hatte.

Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

Helmholtz Matter verfolgt mit seinen Wissenstransfer-Aktivitäten das Ziel, gesellschaftlich relevante wissenschaftliche Themen und Erkenntnisse über nicht-monetäre Kanäle zugänglich zu machen und in die Anwendung zu bringen. Dadurch werden gesellschaftliche Akteurinnen und Akteure in die Lage versetzt, fundierte und evidenzbasierte Entscheidungen zu treffen, sich an wissenschaftlichen Dialogen zu beteiligen oder selbst eine wissenschaftliche Karriere zu verfolgen. Darüber hinaus verfolgt Helmholtz Matter den Wissenstransfer auch als Bereicherung für die Gesellschaft, um die Neugier an fundamentalem Wissen zu befriedigen – das Interesse an dem, „was die Welt ... zusammenhält“. Das Webportal matter.helmholtz.de, das

jeden einlädt, die Wissenschaft des Forschungsbereichs und die Infrastrukturen virtuell zu erleben, konnte kontinuierlich ausgebaut werden. Das Webportal bietet viele Einblicke in die Forschung des Forschungsbereichs, der sich durch seine besondere Vielfalt an internationalen Kooperationen auszeichnet, die zu einer generellen „Open Access“-Verfügbarkeit von Publikationen, Forschungsdaten, Medien und Software führen. Das Webportal ist der Ausgangspunkt, um verschiedene Forschungsinfrastrukturen virtuell in 360°-Ansichten zu besichtigen, um an öffentlichen Daten internationaler Experimente samt Analysen und Softwaretools teilzunehmen und diese zu nutzen, oder um spezielle Veranstaltungen und praktische Erfahrungen für Studierende und Schulklassen zu finden.

Das ganze Jahr über werden bei DESY und am KIT regelmäßig Schülerlabore und Masterclasses angeboten. MU-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler stellen ihre Arbeit regelmäßig in Schulen oder bei Veranstaltungen vor. Im Jahr 2024 wurde die langjährige Kooperation zwischen dem KIT und einem örtlichen Gymnasium mit einer dreitägigen Exkursion zum CERN fortgesetzt. Darüber hinaus beteiligen sich GSI, DESY und das KIT jedes Jahr am Girls' Day, um junge Mädchen für MINT-Fächer zu begeistern, z.B. mit Laborbesuchen, praktischen Erfahrungen bei der Datenanalyse oder mit Live-Gesprächen mit internationalen Forscherinnen an unseren Forschungsinfrastrukturen in aller Welt. Im August veranstaltete das KIT ein Science Camp für Gymnasiastinnen und Gymnasiasten zum Thema Teilchen- und Astroteilchenphysik, das von 21 Schülerinnen und Schülern aus ganz Deutschland besucht wurde.

Drittmittelinwerbung

Eine Gruppe am Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) hat im Kooperationsprojekt „Inertial Fusion Energy (IFE) Targetry HUB für die DT-Trägheitsfusion (IFE-Targetry-HUB)“ vom BMBF ein Projekt „Tritium-Phasenraum-Navigation (TriPaN)“ mit einem Volumen von 3,2 Mio. EUR für das KIT bewilligt bekommen.

A.2.3.3.5 Senatsempfehlungen

Der Senat macht sich den ihm vorliegenden Vorschlag zur Bewertung des Programmfortschritts im Jahr 2024 zu eigen und beschließt ihn als seine Bewertung zum Programmfortschritt 2024. Er bestätigt damit den vorliegenden Controllingbericht des Präsidenten für das Jahr 2024.

A.2.3.4 Programmanteil From Matter to Materials and Life (MML)

A.2.3.4.1 Das Programm im Überblick

Ziele und Einbettung in den Forschungsbereich

Das Programm Von Materie zu Materialien und Leben (MML) verfolgt als wesentliches strategisches Ziel, einzigartige Einblicke in die Eigenschaften von Materie und Materialien zu gewinnen, um hiermit wesentlich zur Lösung der großen Herausforderungen unserer Gesellschaft beizutragen. Dies wird durch international herausragende, anlagenorientierte Forschung erreicht, die sich über einen großen Bereich von Längen, Zeit, Energie und Hochfeldern erstreckt, wie er im konventionellen Labormaßstab nicht zugänglich ist. Zudem werden neue

Anwendungsfelder und Möglichkeiten für heutige und zukünftige Nutzende erschlossen. Das Programm entwickelt und betreibt hierzu Großgeräte der Forschung mit Photonen, Neutronen, Ionen und höchsten elektromagnetischen Feldern. Es ermöglicht breiten nationalen und internationalen Wissenschafts-Communities, vorwiegend aus den Naturwissenschaften, Lebenswissenschaften und den Ingenieurwissenschaften, die Forschung an diesen Anlagen. Die wissenschaftsgetriebenen Entwicklungen von Technologien und Instrumentierungen (enabling technology) innerhalb des Programms sind eine unverzichtbare Voraussetzung für international herausragende Wissenschaft. Die Forschung ist hierbei auf aktuelle wissenschaftliche Themen fokussiert und strukturell über die beteiligten Zentren hinweg organisiert. Dabei spielen enge Kollaborationen und Partnerschaften mit benachbarten Universitäten eine wichtige Rolle. Die Forschung deckt eine Vielzahl von wissenschaftlichen Gebieten ab, sie erstreckt sich von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung und untersucht dabei Struktur und Dynamik und Funktion von Materie. Das Programm erfüllt damit eine Brückenfunktion zwischen den Großgeräten von Helmholtz Matter und den übrigen Forschungsbereichen der Helmholtz-Gemeinschaft.

Programmstruktur

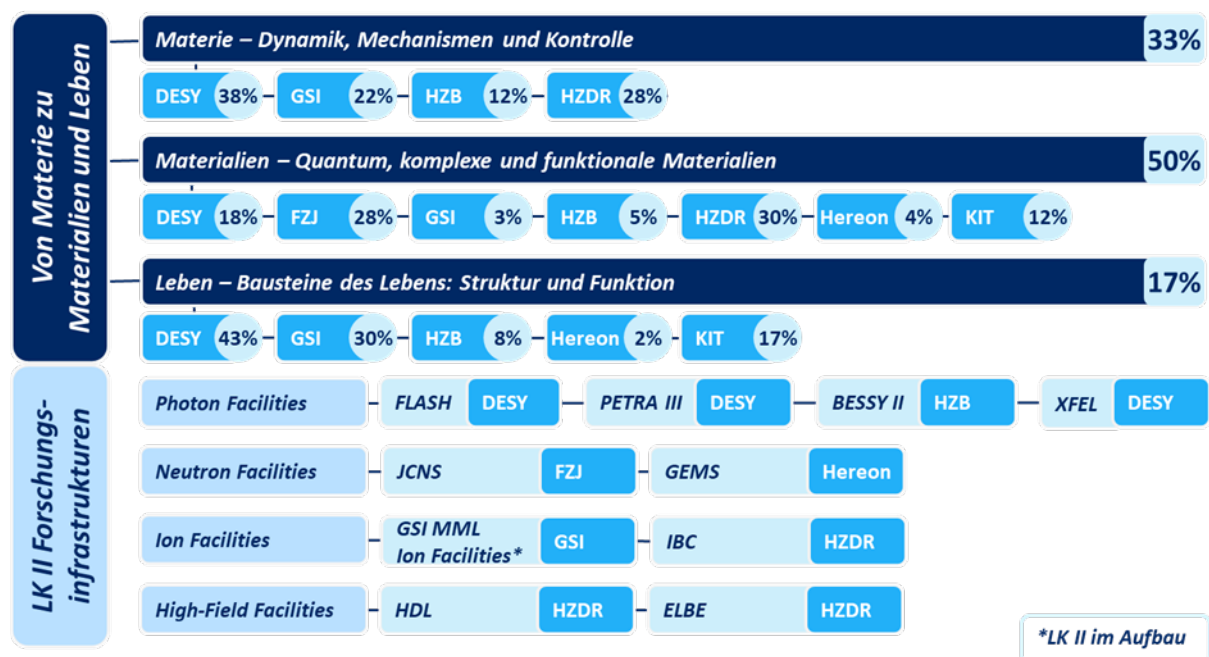


Abbildung 12: Programmstruktur MML

Das KIT ist an den folgenden Topics beteiligt:

Topic 2: Materialien – Quantum, komplexe und funktionale Materialien
(Sprecher: Prof. Dr. Joachim Wosnitza, HZDR)

Im Topic MML-Materialien entwickeln und nutzen die Forschenden das unikale Portfolio der Großgeräte, um die grundlegenden Eigenschaften kondensierter Materie zu untersuchen. Ziel ist dabei, ein tiefgreifendes Verständnis auf atomarer Ebene zu erlangen und auf der Grundlage dieses Verständnisses das rationale Design neuartiger funktioneller Materialien und deren Einsatz in noch nie dagewesenen Anwendungen zu ermöglichen. Die Entwicklung maß-

geschneiderter moderner Werkstoffe ist der Schlüssel zur Lösung vieler großer gesellschaftlicher Herausforderungen, angefangen bei Konzepten für erneuerbare Energien über Quantenmaterialien für die Informationstechnologie bis hin zu biokompatiblen Materialien für medizinische Anwendungen.

Topic 3: Leben – Bausteine des Lebens: Struktur und Funktion
(Sprecherin: Prof. Dr. Meytal Landau, DESY)

Mit Hilfe modernster Röntgen- und Teilchenstrahltechnologien erforscht diese Initiative Struktur und Dynamik auf molekularer und subzellulärer Ebene mit bedeutenden Auswirkungen auf die Arzneimittelentdeckung, sowie Morphologie und Physiologie auf der Ebene von Zellen, Geweben, Organen bis hin zu ganzen Organismen. Sie untersucht neue Ansätze für Biomaterialien, Bioengineering und Strahlentherapien. Das Topic hat vielversprechende Wege für COVID-19-Behandlungen, innovative Insektizide und Strategien zur Bekämpfung mikrobieller Arzneimittelresistenzen aufgezeigt. Biodiversität wurde mit Genetik und Umwelt korreliert, u.a. als Grundlage für Resilienz-Strategien. Es wurden Erkenntnisse über zelluläre Reparaturmechanismen gewonnen, Methoden für enzymatischen Abbau von Kunststoffen eingeführt und Auswirkungen von Implantaten auf Basis von Magnesium und Titan auf die Knochenheilung verglichen. Pionierarbeit für neuartige Krebsbehandlungsstrategien betrifft die Verknüpfung von Partikeltherapie mit Immuntherapie, z.B. mit mRNA-Impfstoffen. Diese multidisziplinäre Strategie nutzt technologische Innovation an Großgeräten als Beitrag zur Adressierung gesellschaftlicher Herausforderungen von Gesundheit über Biodiversität & Umwelt zu Biotechnologie.

A.2.3.4.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms

Topic Materialien (RT2): Quantum, komplexe und funktionale Materialien

Bestimmung der lokalen und symmetrieaufgelösten elektronischen Struktur von flüssigem Dimethylsulfoxid mittels resonanter inelastischer weicher Röntgenstreuung

Dimethylsulfoxid (DMSO) ist ein wichtiges polares Lösungsmittel, das seine einzigartigen Eigenschaften vom freien Elektronenpaar und der starken polaren Bindung an der Sulfinyl-Funktionsgruppe ableitet. Durch die Verwendung von Karten mit resonanten inelastischen weichen Röntgenstreuungsdaten („RIXS maps“) an den S $L_{2,3}$, C K und O K Kanten konnten Forschende am KIT die lokale und symmetrieaufgelöste elektronische Struktur von flüssigem DMSO ableiten. Die experimentellen Daten werden mit Berechnungen von Spektren auf der Grundlage der Dichtefunktionaltheorie verglichen, was eine detaillierte Analyse der Molekülorbitale im gesamten Molekül ermöglicht [1].

[1] L. Weinhardt et al., *Local and Symmetry-Resolved Electronic Structure of Liquid Dimethyl Sulfoxide from Resonant Inelastic Soft X-ray Scattering*, *J. Phys. Chem. Lett.* 15, 10576 (2024). DOI: 10.1021/acs.jpclett.4c02329.

Atomistisches Verständnis der ultraschnellen Laserfragmentation

Laserfragmentierung in Flüssigkeiten wird verwendet, um ultrakleine metallische Nanopartikel zu erzeugen, die photonische oder katalytische Aktivität zeigen. Mit einer Kombination aus pikosekundenaufgelösten Röntgenstreuexperimenten und großskaligen Molekulardynamiksimulationen konnte der Prozess der Phasenexplosion aufgeklärt werden, der durch gepulste Laserbestrahlung zu einer vollständigen Fragmentierung von Goldpartikeln zu 2-3 nm großen

Clustern führt. Insbesondere konnte die Energieskala der Simulationen mit der experimentell einstellbaren Laserbestrahlungsdichte relativ zur Schmelzschwelle in Übereinstimmung gebracht werden, um die korrespondierende Strukturentwicklung gut zu korrelieren [2].

[2] A. Plech et al., *Physical Regimes and Mechanisms of Picosecond Laser Fragmentation of Gold Nanoparticles in Water from X-ray Probing and Atomistic Simulations*, *ACS Nano* 18, 10527 (2024) DOI: 10.1021/acsnano.3c12314.

Topic Leben (RT 3) – Bausteine des Lebens: Struktur und Funktion

Neuer Phasenrekonstruktions-Algorithmus für dosiseffiziente Messungen

Propagationsbasierter Röntgen-Phasenkontrast ist wichtig für hochauflösende morphologische Bildgebung von biologischem Gewebe bis hin zu kleinen Organismen. Dies ermöglicht sogar hochauflösende In vivo-Studien, z.B. zur Morphodynamik von Insekten oder zur Embryogenese bei Wirbeltiermodellorganismen. Es wurde ein leistungsfähiger Algorithmus zur Phasenrekonstruktion entwickelt, der sog. Intensitätskontrasttransfer (ICT). Bei der Nahfeld-Röntgenbildgebung können zwei Messregime – das sogenannte Edge-Enhancement-Regime und das holografische Regime – unterschieden, welche bisher zwei verschiedene Phasenrekonstruktionsalgorithmen erforderten. Der ICT-Ansatz vereinheitlicht und erweitert die Anwendbarkeit dieser Algorithmen, indem er sie als Grenzfälle eines verallgemeinerten Algorithmus betrachtet, welcher weit über ihre jeweiligen Grenzen hinaus anwendbar ist. So reproduziert er die Ergebnisse der beiden Grenzfälle, wenn deren jeweilige Zusatzannahmen erfüllt sind. Wenn dies nicht der Fall ist, übertrifft er sie deutlich, was anhand synthetischer und gemessener Daten nachgewiesen wurde. Der ICT bietet ein einfaches und schnelles Verfahren zur Phasenbestimmung, das sowohl für Einzel- als auch für Mehrfachdistanzszszenarien direkt anwendbar ist und sich somit für ein breites Spektrum von Anwendungen eignen [3].

[3] T. Faragó et al., *Phase retrieval in propagation-based X-ray imaging beyond the limits of transport of intensity and contrast transfer function approaches*, *Optics Letters* 49, 5159 (2024), DOI: 10.1364/OL.530330.

A.2.3.4.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen

Der Senat der Helmholtz-Gemeinschaft hat folgende für das KIT relevante Empfehlungen auf Ebene des Forschungsprogramms in der LK I verfasst:

Machen Sie deutlich, was die großen Herausforderungen sind, die MML mit ihren Einrichtungen und ihrer Kompetenz bewältigen können, und wo die Helmholtz-Gemeinschaft eine führende Rolle spielen wird.

Die anlagenorientierte Forschung des Gesamtprogramms MML erstreckt sich über einen großen Längen-, Zeit- und Energiebereich, wie er im konventionellen Labormaßstab nicht zugänglich ist. Sie ermöglicht räumlich und zeitlich aufgelöste Beobachtung und Steuerung mikroskopischer Vorgänge in Materie, die selbst die Erforschung von Materialeigenschaften unter ungewöhnlichen und schwer zugänglichen Bedingungen (z.B. im Inneren von Planeten) miteinschließt. So liefern Forschende von MML wesentliche Beiträge zu den europäischen Konsortien LEAPS (Photonen), LENS (Neutronen), EMFL (hohe Felder) und LaserLab-Europe, bei denen aktuelle Fragen u.a. in den Bereichen der Energie-, Gesundheits- und Materialforschung aber auch zu den Informations- und Quantentechnologien im Zentrum stehen.

Zudem sei hier auf die Beiträge zu Green Deal-Fragen in Horizon Europe, dem Strategiepapier der Helmholtz-Gemeinschaft zur Quantentechnologie wie auch zur Materialforschungsstrategie hingewiesen.

MML-Materials liefert den Schlüssel zur Lösung vieler großer gesellschaftlicher Herausforderungen, angefangen von Konzepten für erneuerbare Energien über Quantenmaterialien für die Informationstechnologie bis hin zu biokompatiblen Materialien für medizinische Anwendungen. Die Hauptaktivitäten für PETRA IV konzentrierten sich auf die Erstellung eines Antrags für das Priorisierungsverfahren für großangelegte wissenschaftliche Forschungsinfrastrukturen (FIS), das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ausgeschrieben wurde. Dieser Antrag wurde im Oktober 2024 erfolgreich eingereicht. Er hat alle technischen Kriterien erfüllt und befindet sich nun im wissenschaftlichen Evaluierungsprozess. Parallel dazu wurde das PETRA IV-Vorbereitungsprojekt bei DESY mit einem Finanzierungsrahmen von 44,4 Mio. Euro gestartet, der vom BMBF und der Stadt Hamburg bereitgestellt wird. Für alle 31 PETRA IV-Strahlführungen wurden konzeptionelle Entwurfsberichte erstellt, von denen die 19 Phase-I-Strahlführungen im Frühjahr 2025 von Strahltechnologie-Experten des Technischen Beratungsausschusses (TAC) geprüft werden.

Verbessern Sie die Koordination zwischen Material- und Geräteforschung und Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen an den Großgeräten weiter.

Im Topic „Materials“ wird die Zusammenarbeit der an den Großgeräten beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler durch regelmäßige, zentrumsübergreifende und thematisch orientierte Workshops unter Beteiligung von Materialwissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern sowie Geräteforscherinnen und -forschern gefördert. Darüber hinaus ist der komplementäre Ausbau und die koordinierte Nutzung der Helmholtz-weiten Großgeräte und Forschungsinfrastrukturen für die Materialforschung eines der wichtigsten Ziele der Helmholtz-Materialforschungsstrategie, die im Jahr 2021 veröffentlicht wurde.

Unterstützen Sie die Helmholtz-Mission sowie die Helmholtz-Wissenschaft weiter durch Bereitstellung neuer Messmöglichkeiten an Großgeräten für die Nutzerschaft.

Die Hauptaktivitäten für PETRA IV konzentrierten sich auf die Erstellung eines Antrags für das Priorisierungsverfahren für wissenschaftliche Forschungsinfrastrukturen (FIS) des deutschen Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) für PETRA IV, der im Oktober 2024 erfolgreich eingereicht wurde. Der Antrag hat alle technischen Kriterien bestanden und befindet sich nun in der wissenschaftlichen Begutachtung. Parallel dazu wurde das PETRA IV-Vorbereitungsprojekt mit einer Fördersumme von 44,4 Mio. Euro vom BMBF und der Stadt Hamburg gestartet. Für alle 31 PETRA IV-Strahlführungen wurden Entwürfe von Konzeptionsberichten erstellt, die im Frühjahr 2025 von Expertinnen und Experten im Technical Advisory Committee (TAC) begutachtet werden (Phase I-Strahlführungen).

Verfolgen Sie die herausragende, wissenschaftlich breit angelegte Life Science in dem Programm in der ersten Phase der Programmperiode wie vorgeschlagen, und stellen Sie dabei sicher, dass die wertvolle Kohärenz der biologischen Forschung während des PoF IV durch gemeinsame Abstimmungstreffen aufrechterhalten wird.

Im Topic MML-Life (RT3) wird die Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern an den Großgeräten durch regelmäßige zentrumsübergreifende und thematisch orientierte Workshops gefördert.

Im November 2024 organisierten DESY-Forschende den Helmholtz-RT3-Workshop mit dem Titel „Life Science Research within MML“. Der Workshop brachte Wissenschaftlerinnen und

Wissenschaftler zusammen, die an Life-Science-Projekten im Rahmen des Helmholtz-Forschungsprogramms From Matter to Materials and Life (MML) beteiligt sind. Die Veranstaltung diente als Plattform für den Austausch von Ideen, die Festlegung von Forschungszielen und die Förderung der Zusammenarbeit über Helmholtz-Infrastrukturen hinweg, um gemeinsame Herausforderungen in der Life-Science-Forschung zu bewältigen. Der Workshop hat erfolgreich gemeinsame Ziele und Herausforderungen innerhalb der Helmholtz-Life-Science-Gemeinschaft aufgezeigt. Er unterstrich die Notwendigkeit, die Infrastruktur zu erweitern und zu vereinheitlichen, Datenbanken und Strahlführungen zu integrieren und zu indizieren, Protokolle zu standardisieren, die Zusammenarbeit zu verbessern und innovative Forschungsansätze über Skalen hinweg zu entwickeln.

A.2.3.4.4 Strategische Themen

Talent Management

Die HERCULES European School in Grenoble, Frankreich, ist ein fünfwöchiger Kurs zur Ausbildung von Studierenden sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus europäischen Universitäten und Laboratorien auf dem Gebiet der Neutronen- und Synchrotronstrahlungsforschung. Im Rahmen dieser Schule verbringen die Teilnehmenden eine Woche an einer der Partnerinstitutionen. Zwölf der Teilnehmenden wählten das KIT aus, um ihr Praktikum im März 2024 unter Koordination und Mitwirkung von MML-Forschenden zu absolvieren.

Im Rahmen des Exzellenzuniversitätsvorhabens Research Infrastructures in Research-Oriented Teaching (RIRO) waren Forschende aus MML mit Vorlesungen und Praktika am Kompaktkurs „Beschleuniger und Synchrotronstrahlung für die Materialforschung“ beteiligt. Das Vorhaben RIRO schließt die Lücke zwischen Wissensvermittlung in Spezialvorlesungen und der Praxis an den Strahlrohren auf dem Stand der aktuellen Forschung.

Vernetzung

Im Rahmen der strategischen Langzeit-Kooperation mit der University of Nevada Las Vegas (UNLV) hat ein Doktorand (Stephen Faussett) einen mehrwöchigen Forschungsaufenthalt am KIT durchgeführt. Weiterhin hat Mary Blankenship, die bereits im Vorjahr für einen Forschungsaufenthalt am KIT war, im Februar 2024 als Doktorandin am KIT und in MML angefangen. Zwischen KIT und UNLV existiert bereits seit Jahren eine enge Kooperation auf dem Gebiet der Forschung an energierelevanten Materialien, inklusive für Photovoltaik, solares Wasserspalten und Katalyse.

Seit mehreren Jahren kooperiert das KIT mit der Universität Poitiers auf dem Gebiet der Sputterdeposition ultradünner Schichten. Siméo Serreau von der Universität Poitiers hat im Rahmen der Zusammenarbeit sein Master Internship am KIT durchgeführt.

Daneben entwickelten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Promovierende sowie Postdocs des KIT kontinuierlich neue Methoden und Experimentierstationen an weltweit führenden Photonen-Großgeräten in Hamburg, Grenoble und Berkeley.

Drittmittleinwerbung

In einem KIT-internen strategischen Wettbewerb konnte das Projekt ROXS zur Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten der X-SPEC Beamline unter Verwendung einer neuen Experimentierstation eingeworben werden. Diese Station wird Untersuchungen mit weicher Röntgenstrahlung an radioaktiven Proben mittels eines neuartigen Quantendetektor-basierten Röntgenspektrometers in Gas-, Flüssigkeit-, In situ- und Operando-Umgebungen ermöglichen.

Dr. Dirk Hauschild hat im Rahmen des „Programms des Projektbezogenen Personenaustauschs“ des Deutschen Akademischen Austauschdiensts (DAAD) eine Finanzierung eines Forschungsaufenthalts am Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) / Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) in Argentinien erhalten. Im Rahmen des Forschungsaufenthalts sollen die elektronische und chemische Struktur von Co-TPP/Fe₃O₄-Grenzflächen für die Elektrokatalyse untersucht werden.

A.2.3.4.5 Senatsempfehlungen

Der Senat macht sich den ihm vorliegenden Vorschlag zur Bewertung des Programmfortschritts im Jahr 2024 zu eigen und beschließt ihn als seine Bewertung zum Programmfortschritt 2024. Er bestätigt damit den vorliegenden Controllingbericht des Präsidenten für das Jahr 2024.

A.2.3.5 Programmanteil Matter and Technologies (MT)

A.2.3.5.1 Das Programm im Überblick

Ziele und Einbettung in den Forschungsbereich

Die Mission des Programms Materie und Technologien (MT) ist es, Technologien zu konzipieren und zu erforschen, die für Forschungsarbeiten in Helmholtz Matter relevant sind. Die wissenschaftlichen Fragen in Materie inspirieren dabei die technologische Entwicklung – aber auch umgekehrt führt der Zugriff auf neueste und eventuell auch disruptive Technologien zur Erschließung von neuen Möglichkeiten in der Forschung. MT will Technologie nicht als Hilfswissenschaft verstanden wissen, sondern dazu beitragen, dass Technologieforschung als gleichberechtigtes Forschungsfeld in Helmholtz Matter noch stärker etabliert wird.

MT nutzt die sehr enge gegenseitige Wechselbeziehung mit den Forschungszielen, die in Helmholtz Matter und in den Programmen Materie und das Universum (MU) und Von Materie zu Materialien und Leben (MML) formuliert worden sind.

In den drei Themenfeldern von MT, Beschleunigerforschung, Forschung an und mit Detektoren sowie Forschung zu Datenmanagement und -analyse ist es der Anspruch von MT, exzellente Forschung zu betreiben, die international führend ist, einen Beitrag zur technologischen Souveränität in Schlüsseltechnologien leistet und entscheidend zur Beantwortung der übergreifenden Ziele und Fragestellungen beiträgt.

Im Programm MT arbeiten die Zentren DESY, Hereon, HZB, HZDR, GSI (mit den Helmholtz-Instituten Jena und Mainz), KIT und FZJ zusammen. MT bündelt und koordiniert die Forschungsarbeiten an Beschleunigern, Detektoren sowie Daten und Datenmanagement. Diese Themen und Technologieentwicklungen haben zentrale Bedeutung für Helmholtz Matter, wo

ein Großteil der Forschung mit oder an Beschleunigern unter dem Einsatz modernster Detektoren und unter Produktion großer Mengen komplexer Daten stattfindet. Sprecher und Sprecherin des Programmes MT sind Dr. Ties Behnke (DESY) und Prof. Dr. Anke-Susanne Müller (KIT).

Programmstruktur

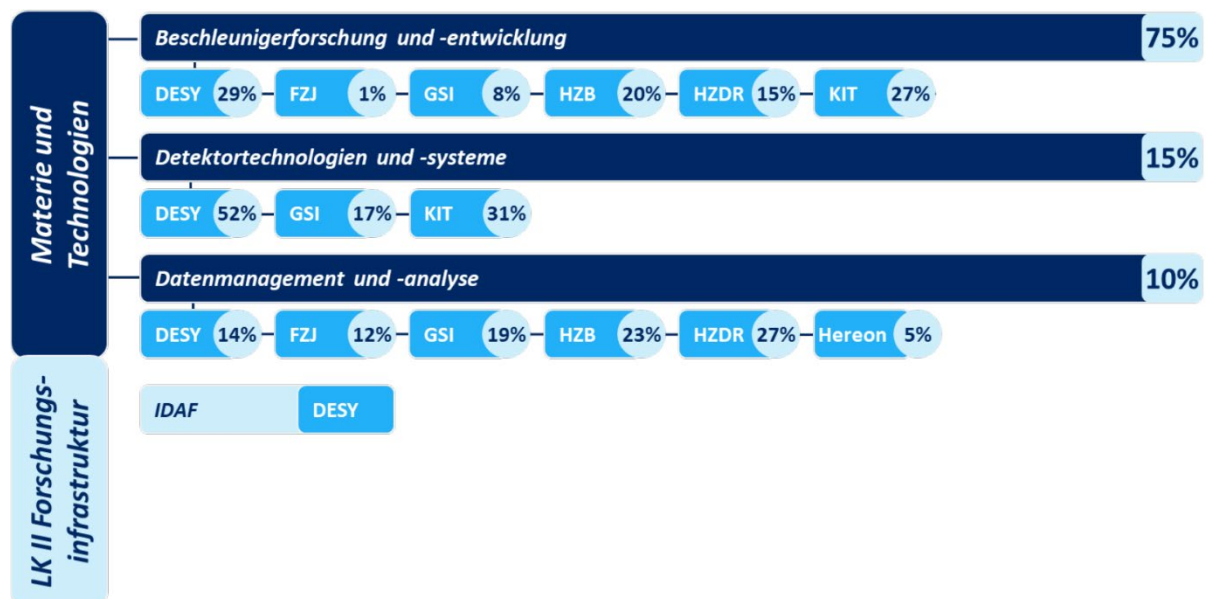


Abbildung 13: Das Programm Materie und Technologien mit Topics und assoziierter LK II Infrastruktur

Am KIT werden im Programm Materie und Technologien folgende Themen bearbeitet:

Topic 1: Beschleunigerforschung und -entwicklung, ARD
(Sprecher Dr. Andreas Jankowiak, HZB; Dr. Hans Weise, DESY)

Sechs Helmholtz-Zentren und zwei Helmholtz-Institute aus Jena und Mainz schließen sich, gemeinsam mit nationalen und internationalen Partnern aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und Industrie, im Topic Accelerator Research and Development zusammen. Ziel ist eine kontinuierliche Verbesserung und Erweiterung der Möglichkeiten der großen beschleunigerbasierten Forschungsinfrastrukturen in Helmholtz Matter unter Berücksichtigung der Aspekte von Nachhaltigkeit und Energieeffizienz auf allen Ebenen, von einzelnen Komponenten bis hin zum System. Dazu werden sowohl die Entwicklung und Erprobung neuer Technologien verfolgt, als auch fundamental neue Konzepte entwickelt. Die Forschung und Entwicklung im Bereich der Beschleunigerwissenschaft und Technologie ist die Grundlage für die Realisierung innovativer neuer Konzepte und bahnbrechender neuer Ideen. ARD adressiert international führend vier Themenbereiche in den gleichlautenden Topics: 1. Advanced CW SRF Systems, 2. New Concepts and Prototypes for Maximizing the Performance of Hadron and Electron Accelerators, 3. Advanced Beam Control, Diagnostics and Dynamics und 4. Ultra-Compact, Novel Accelerators and their Application. Zusammen mit den beiden weiteren Topics DMA und DTS spielt ARD eine zentrale Rolle für den Erhalt der wissenschaftlichen Führungsrolle von

Helmholtz Matter bei der Erforschung der Struktur und Funktion von Materie, Materialien und biologischen Systemen.

Topic 2: Detektortechnologien und -systeme, DTS
(Sprecher/Sprecherin: Prof. Dr. Marc Weber, KIT; Prof. Dr. Sylvia Masciocchi, GSI)

Das Programmthema Detector Technologies and Systems beschäftigt sich mit der Entwicklung von Detektortechnologien und Auslesesystemen mit einzigartigen Eigenschaften für die teilweise extremen Anforderungen im Forschungsbereich und darüber hinaus. DTS demonstriert neuste Technologien in Prototypen und erforscht Methoden zur Online-Verarbeitung von mit der steigenden Auflösung explodierenden Detektordatenraten. DTS entwickelt Sensoren für großflächige Detektoren und evaluiert kontinuierlich neue Technologien zum Teilchen- und Strahlungsnachweis. Intelligente Konzepte und leistungsfähige heterogene Prozessorsysteme stellen sicher, dass aus riesigen Datenmengen die enthaltene Information extrahiert werden kann. Die enormen Fortschritte in DTS werden es auch in Zukunft erlauben, die Möglichkeiten der großen Forschungsinfrastrukturen, an denen der Forschungsbereich führend beteiligt ist, die er betreibt und die sich in der Entwicklung befinden, zu steigern. Regelmäßig erweisen sich Matter-Technologien auch für andere Anwendungsbereiche, insbesondere für die Medizin, als wegweisend. Das Thema DTS profitiert von der engen Vernetzung, Abstimmung und der Nutzung von Synergien der drei an DTS beteiligten Helmholtz-Zentren DESY, GSI und KIT sowie der Helmholtz-Institute in Mainz und Jena. Die Arbeiten sind untergliedert in drei Bereiche: „Detection and Measurement“ (ST1), „System Technologies“ (ST2) und „Science Systems“ (ST3).

Topic 3: Data Management and Analysis, DMA
(Sprecher: Dr. Michael Bussmann, HZDR; Prof. Dr. Philipp Neumann, DESY)

Gegenstand der Forschung im Programmthema DMA (Data Management and Analysis) sind digitale Methoden und Infrastrukturen, um die komplexen Daten, die in großer Menge an den Infrastrukturen in Helmholtz Matter anfallen, zu verarbeiten und in Erkenntnisse zu transformieren. DMA hat den Anspruch, Daten über ihren kompletten Lebenszyklus zu bearbeiten, und eine nahtlose Schnittstelle zwischen den Daten und den Nutzenden herzustellen. DMA bedient sich dabei neuester Technologie und entwickelt aktiv neue Methoden weiter, wie z.B. die Datenanalyse mittels künstlicher Intelligenz. DMA entwickelt aktiv die Vernetzung dieser Themen in Helmholtz Matter und darüber hinaus. Eine besondere Wichtigkeit hat die enge Zusammenarbeit mit Helmholtz Information sowie dem Helmholtz Inkubator for Information & Data Science. DMA ist unterteilt in die drei Subtopics „The Matter Information Fabric“, „The Digital Scientific Method“ und „The Digital Experiment and Machine“. An DMA beteiligen sich sechs Zentren aus Helmholtz Matter. Ein enger Bezug besteht auch zu den Datenzentren im Forschungsbereich, insbesondere zu der mit MT assoziierten Interdisciplinary Data and Analysis Facility (IDAF).

A.2.3.5.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms

Impakt von maschinellem Lernen auf die Beschleunigerforschung und-entwicklung

DESY, GSI und KIT haben in enger Kooperation von ARD und DMA an maschinellen Lernalgorithmen für Teilchenbeschleuniger gearbeitet, die zum Meilenstein ARD.01 beitrugen. Der Hochgeschwindigkeitscode Cheetah ermöglicht eine schnelle Datenerzeugung bei Strahldynamiksimulationen für maschinelles Lernen (ML) und hat optimierte Schnittstellen zu gängigen ML-Werkzeugen wie PyTorch [1]. Eine Kooperation aus internationalen Forschungszentren entwickelt Cheetah nun weiter. Ein 42-seitiger Übersichtsartikel zur Bayes'schen Optimierung (BO) wurde veröffentlicht [2]. Das komplexe Online-Tuning von Teilchenbeschleunigern, das manuelle Eingriffe erfordert, kann durch den Einsatz von BO und Verstärkungslernen (RL) als autonomer Prozess in wesentlich kürzerer Zeit erfolgen. Eine Fallstudie verglich gängige Methoden und analysierte deren Vorteile sowie Herausforderungen in realen Anlagen [3]. Im Rahmen von EURO-LABS entwickelt GSI zusammen mit CERN Geoff (Generic Optimization Framework & Frontend), das zur automatischen Optimierung von Strahlmanipulationen wie der Multiturn-Injektion und der langsamen Extraktion verwendet wird. Geoff wurde erfolgreich zur Strahlzentrierung und -fokussierung getestet [4].

- [1] Kaiser, J.; Xu, C., Eichler, A., Santamaria Garcia, A., Stein, O., Bründermann, E., Kuropka, W., Dinter, H., Mayet, F., Vinatier, T., Burkart, F., Schlarb, H.; Reinforcement learning-trained optimizers and Bayesian optimization for online particle accelerator tuning; 2024. *Scientific Reports*, 14 (1), Artkl.Nr.: 15733, DOI: 10.1038/s41598-024-66263-y
- [2] Roussel, R., Edelen, A. L., Boltz, T., Kennedy, D., Zhang, Z., Fuhao, J., Huang, X., Ratner, D., Santamaria Garcia, A.; Bayesian optimization algorithms for accelerator physics; 2024. *Physical Review Accelerators and Beams*, 27 (8), Art.-Nr.: 084801, DOI: 10.1103/PhysRevAccelBeams.27.084801
- [3] Kaiser, J.; Xu, C., Eichler, A., Santamaria Garcia, A.; Bridging the gap between machine learning and particle accelerator physics with high-speed, differentiable simulations; 2024. *Physical Review Accelerators and Beams*, 27 (5), Art.-Nr.: 054601, DOI: 10.1103/PhysRevAccelBeams.27.054601
- [4] Appel, S., Oeftiger, A., Weick, H., Madysa, N., Pietri, S.; Automated optimization of accelerator settings at GSI, DOI: 10.18429/JACoW-IPAC2024-MOPS68, IPAC 2024

Magnetic Microcalorimeter (MMCs) erreichen die weltbeste Energieauflösung von 1,25 eV für hochauflösende Röntgenemissionsspektroskopie (XES)

Kryogene supraleitende Sensoren, wie magnetische Mikrokalorimeter (MMCs), bieten eine Zeit- und Energieauflösung, die die aller verfügbaren Alternativen übertrifft. MT-Forschende stellen ein Sensordesign für ein magnetisches Mikrokalorimeter mit paramagnetischen Temperatursensoren und integrierter dc-SQUID-Auslesung für hochauflösende Röntgenemissionsspektroskopie vor. Der Aufbau verwendet zwei überhängende Goldabsorber mit einer empfindlichen Fläche von $150\text{ }\mu\text{m} \times 150\text{ }\mu\text{m}$ und einer Dicke von $3\text{ }\mu\text{m}$, wodurch eine Quanteneffizienz von 98 % für Photonen bis zu 5 keV und 50 % für Photonen bis zu 10 keV erreicht wird. Der Sensor liefert eine Energieauflösung von $\Delta\text{EFWHM} = 1,25(18)\text{ eV}$ und bietet damit die derzeit beste Energieauflösung aller existierenden energiedispersiven Detektoren für weiche Röntgenstrahlung [4,5]. Im Programm MT entsteht derzeit ein Forschungs-, Entwicklungs- und Produktionszentrum für diese hochempfindlichen Teilchen- und Strahlungsdetektoren. Diese neue Infrastruktur trägt der Bedeutung von kryogenen supraleitenden Sensoren Rechnung: Das Spektrum der Anwendungen deckt viele Aspekte von Helmholtz Matter ab, geht aber weit darüber hinaus und ist gleichermaßen relevant für die Materialwissenschaften, die nukleare Forensik, die Metrologie oder die Atom- und Quantenphysik.

- [4] Krantz, M., Toschi, F., Maier, B., Heine, G., Enss, C., Kempf, S.; Magnetic microcalorimeter with paramagnetic temperature sensors and integrated dc-SQUID readout for high-resolution x-ray emission spectroscopy, *Applied Physics Letters* 124.3 (2024), DOI : 10.1063/5.0180903

- [5] Toschi, F., Maier, B., Heine, G., Enss, C., Kempf, S., *Optimum filter-based analysis for the characterization of a high-resolution magnetic microcalorimeter*, *Physical Review D* 109.4 (2024), 043035, DOI: 10.1103/PhysRevD.109.043035

Einsatz von Reinforcement Learning (RL) zur Regelung von Teilchenbeschleuniger erweitert den Parameterraum um instabile Arbeitspunkte

Das interdisziplinäre Team aus Beschleuniger- und Detektorexpertinnen und -experten in MT hat gezeigt, dass Reinforcement Learning (RL) zur Optimierung und Steuerung in Teilchenbeschleunigern eingesetzt werden kann. Insbesondere die Beherrschung von Instabilitäten erfordert Echtzeitreaktionen im Mikrosekundenbereich. Basierend auf der AMD-Xilinx Versal-Familie mit seinen eingebetteten Prozessoren und AI-Cores erfüllt das am KIT entwickelte KINGFISHER-System diese hohen Anforderungen. Erste Ergebnisse bei KARA zeigen, dass Mikrobunching-Instabilitäten erfolgreich durch Online-Training mit RL gesteuert werden können [6,7]. Das System ist vielseitig einsetzbar und selbstlernend und somit geeignet für verschiedene Regelungsaufgaben in Forschung und Industrie.

- [6] Scomparin, L.; Caselle, M.; Garcia, A. S.; Xu, C.; Blomley, E.; Dritschler, T.; Mochihashi, A.; Schuh, M.; Steinmann, J. L.; Bründermann, E.; Kopmann, A.; Becker, J.; Müller, A.-S.; Weber, M., *Microsecond-Latency Feedback at a Particle Accelerator by Online Reinforcement Learning on Hardware* ; 2024. arxiv. DOI: 10.48550/arXiv.2409.16177
- [7] Scomparin, L.; Santamaria Garcia, A.; Kopmann, A.; Mueller, A.-S.; Xu, C.; Blomley, E.; Bründermann, E.; Steinmann, J. L.; Becker, J.; Schuh, M.; Schuh, M.; Caselle, M.; Dritschler, T.; Mochibashi, A.; Weber, M. ; *Preliminary results on the reinforcement learning-based control of the microbunching instability*, 2024. *IPAC'24, Nashville, Tennessee: JACoW Publishing*, DOI: 10.18429/JACoW-IPAC2024-TUPS61

A.2.3.5.3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen

Die „Forschungspolitischen Ziele des Forschungsbereichs Materie der Helmholtz-Gemeinschaft für die IV. Periode der programmorientierten Förderung“ des Zuwendungsgebers setzen den Rahmen der Programme und des Forschungsbereichs. Sie sind in einem Dokument gleichlautenden Titels beschrieben.

Die Empfehlungen des Senats der Helmholtz-Gemeinschaft knüpfen daran an. Der Senat unterstützt die Programmplanung von Helmholtz Matter und gibt folgende spezifischen Empfehlungen auf Ebene des Forschungsprogramms in der LK I:

Die starke Führungsposition der Helmholtz-Zentren im Bereich der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten (FuE) von Teilchenbeschleunigern sollte nachdrücklich und voll unterstützt werden; das Programmthema ist entlang der vorgeschlagenen Meilensteine fortzusetzen.

Die an ARD beteiligten Zentren und Institute der Helmholtz-Gemeinschaft unterstützen die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten weiterhin nachdrücklich und nachhaltig. Dies drückt sich insbesondere durch die im Jahr 2024 erzielten wissenschaftlichen Ergebnisse der Forschung und Entwicklung zu disruptiven Konzepten und neuen Technologien sowie zur Weiterentwicklung der Leistungsfähigkeit bestehender Teilchenbeschleuniger aller Größenordnungen aus. In allen vier Subtopics von ARD wurden beeindruckende Ergebnisse erzielt sowie die Arbeit an den definierten Meilensteinen erfolgreich fortgeführt bzw. diese abgeschlossen. Die Verstärkung der Aktivitäten in Bezug auf Forschung und Entwicklung für energieeffiziente und nachhaltige Beschleunigertechnologien und -konzepte zeigt sich in der wesentlichen Beteiligung von ARD-Partnern in erfolgreichen Anträgen zu Förderlinien der EU.

Ein Meilenstein hinsichtlich energieeffizienter FuE soll aber für zukünftige technische Infrastrukturen und Beschleunigerprojekte hinzugefügt werden.

Das Innovationspool-Projekt InnovEEA wurde Ende 2024 erfolgreich abgeschlossen. Im Rahmen des Projekts wurden energieeffiziente Technologien und Konzepte im Bereich Kryo-, Hochfrequenz- und Magnettechnik, aber auch zu Lastmanagement unter Verwendung von KI entwickelt. Im Januar 2024 startete das durch das KIT koordinierte EU-Projekt „Research Facility 2.0: Towards a more energy-efficient and sustainable path“ im Rahmen von Horizon-INFRA. DESY und HZB leiten Arbeitspakete. Die mit Helmholtz Energy gemeinsame Infrastruktur KITTEN (KIT Testfeld für Energieeffizienz und Netzstabilität) konnte 2024 eine deutliche Energieeinsparung von 30 % am Beschleuniger KARA berichten. Das Thema Energie Verantwortung und Nachhaltigkeit ist in die Forschungsaktivitäten aller Subtopics (ST) verankert und wird bei der Entwicklung neuer Konzepte und Technologien stets mitgedacht.

Nachhaltige Karrierestrategien in dem Programm, die auch die Verfügbarkeit von Schlüsseltechnologien (zum Beispiel von ASIC-Ingenieuren) garantieren, sind sicherzustellen.

Alle an MT beteiligten Zentren haben Strategien entwickelt, um eine nachhaltige Personalentwicklung, insbesondere auch im Bereich von Schlüsseltechnologien, sicherzustellen. Diese Strategie zeigt Erfolge, wie in der steigenden Anzahl von leitenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die dem Programm MT zugeordnet sind, zu sehen ist. Am KIT nutzt das Programm MT die Möglichkeiten, die sich durch die besondere Verbindung von Universität und Großforschung in einer Institution ergeben. Bislang ist es gelungen zwei Technologieexperten als Professoren zu berufen und gleichzeitig in die Programmaufgaben einzubinden. Mit dem Mikrochipdesign (ASICs) und supraleitenden Quantensensoren werden Schlüsseltechnologien für die zukünftige Entwicklung von Helmholtz Matter besetzt. Auf der Programmebene bietet MT dem wissenschaftlichen Nachwuchs in der Physik und in den Ingenieurwissenschaften eine Plattform zum Austausch und zur Vernetzung mit Personen aus anderen Helmholtz-Zentren. Dazu trägt auch der jährlich stattfindende MT Student Retreat bei, bei dem sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie wissenschaftsnahe Ingenieurinnen und Ingenieure aus den naturwissenschaftlichen Fächern treffen, ihre Projekte diskutieren und Erfahrungen austauschen. Das Programm MT trägt außerdem dazu bei, die Technologie-Forschung sichtbarer und damit für den wissenschaftlichen Nachwuchs attraktiver zu machen. Das KIT als Universität in der Helmholtz-Gemeinschaft zeichnet sich durch einen überproportional hohen Anteil an jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in Ingenieurdisziplinen aus, die sich für eine Promotion in der Helmholtz-Programmatik entscheiden.

A.2.3.5.4 Strategische Themen

Talentmanagement

An allen an MT beteiligten Zentren gibt es organisierte Strukturen und Maßnahmen, um die Karriere von jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zu unterstützen. Die Promovierenden in Helmholtz Matter werden am KIT durch die zentrale Einrichtung KHYS und in verschiedenen Graduiertenschulen wie der Karlsruhe School of Elementary Particle and Astroparticle Physics: Science and Technology (KSETA) gefördert. Das Programm MT spielt eine entscheidende Rolle zur Erhöhung der Sichtbarkeit der Forschung in den Bereichen Be-

schleuniger-, Detektor- und Computingtechnologien, gerade auch für Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern. Zusätzliche MT-spezifische Aktivitäten finden beim MT-Jahrestreffen und dem im Anschluss stattfindenden von Studierenden organisierten MT Student Retreat (2024 mit ca. 20 Studierenden, Promovierenden und jungen PostDocs) statt, so z.B. Beratungen und Vorträge zur Karriereentwicklung, Möglichkeiten zur Vernetzung und zur Präsentation von Forschungsergebnissen.

Dr. Martin Angerer hat den Helmholtz Promotionspreis (Helmholtz Matter) für missionsorientierte Forschung bekommen. Er promovierte über neuartige Ultraschall-Wandlersysteme zur 3D-Bildgebung für die Brustkrebs-Frühdagnostik.

Im Rahmen des Doppelpromotionsprogramms zwischen der KIT-Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik und der UNSAM, Universidad Nacional de San Martín (Buenos Aires, Argentinien) hat Luciano Pablo Ferreyro als erster Doktorand seine Promotion erfolgreich abgeschlossen. Die Arbeit „Back-end Design of the Readout System for Cryogenic Particle Detectors“ wurde von der UNSAM als beste Promotion ausgezeichnet.

Matthias Nabinger wurde mit dem „Best Talk Award“ für seinen Vortrag „Characterization and Optimization of Laser-Generated THz Beam for THz Based Streaking“ auf dem 14. Terahertz Young Scientists Meeting am Fraunhofer ITWM in Kaiserslautern ausgezeichnet. Lennard Busch hat den Posterpreis auf dem Einstein Telescope Symposium XIV in Maastricht erhalten. Friederike Boehm wurde mit dem „Best Student Presentation Award“ auf der Konferenz IWC-HTS in Matsue, Japan ausgezeichnet.

Vernetzung

Das Programm trägt entscheidend zur Vernetzung der an MT beteiligten Zentren, aber auch darüber hinaus, bei. Ein wichtiges Element hierfür sind die oben bereits erwähnten MT-Jahrestreffen und MT Student Retreats. Das MT-Jahrestreffen 2024 am KIT war mit knapp 200 Teilnehmenden gut besucht. Neben Vorträgen von hochkarätigen externen Sprecherinnen und Sprechern gab es die Möglichkeit zum MT-internen Austausch.

Zwischen den Zentren haben neben den normalen Aktivitäten im Rahmen des Programms die MT-geführten Innovationspool-Projekte der zweiten Runde (ACCLAIM, TANGERINE, InnovEEA) weitere Vernetzungsimpulse geliefert. Im Projekt InnovEEA werden Möglichkeiten für energieeffiziente Beschleuniger untersucht. Bei ACCLAIM geht es um den Einsatz von künstlicher Intelligenz bei dem Betrieb von Beschleunigerinfrastrukturen. Im Projekt TANGERINE werden neue Technologien für Silizium-Pixel-Detektoren entwickelt. Der Stand der Projekte wird ausführlicher im Koordinatorenbericht und im Kapitel „Strategische Initiativen“ dargestellt.

Die an MT teilnehmenden Zentren sind darüber hinaus in einer Vielzahl von Kooperationen und Projekten national und international vernetzt. In den nächsten Abschnitten finden sich einige besonders wichtige Aktivitäten des Jahres 2024:

Das EU-Projekt RF2.0 zur Entwicklung von Systemen und Komponenten für nachhaltige und energieeffiziente Beschleunigeranlagen startete im Januar mit einem Kick-off-Meeting am KIT. An RF2.0 sind sechs europäische Teilchenbeschleunigerzentren und vier Industriepartner beteiligt.

Der Workshop „Cryo-electronic devices“ (KRYO2024) wurde am KIT durchgeführt, wobei die Teilnahme von Studierenden des KIT durch die Graduiertenschule KSETA gefördert wurde.

Im Rahmen des EU-Projekts iFAST wurden zwei Workshops am KIT veranstaltet. Als Besonderheit konnten die Teilnehmenden im Rahmen der Workshops Messungen an KARA, der Beschleuniger-Testanlage des KIT, z.B. zu Elektronenstrahlstabilisierung durchführen.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT nehmen international Verantwortung in einer Vielzahl von Gremien wahr. 2024 wurde Prof. Dr. Frank Simon als Mitglied des STFC Technology Department Reviews berufen, Prof. Dr. Anke-Susanne Müller von der Canada Foundation for Innovation ins CLS Standing Advisory Committee der Canadian Light Source.

Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

Für das Programm MT sind Technologie- und Wissenstransfer sowohl in Wirtschaft als auch in Gesellschaft ein integraler Bestandteil des Programmkonzepts. Beispiele für Transferaktivitäten aus dem Berichtsjahr sind:

Im Technologie-Transfer-Projekt QUSTom, gefördert im Rahmen eines PATHFINDER-Projekts von Horizon Europe, werden neuartige Bildgebungsverfahren entwickelt und validiert, die die Bildgebung zur Brustkrebsfrüherkennung revolutionieren. Der vom KIT entwickelte 3D-Ultraschall-Computertomograph wurde in einer klinischen Studie an 58 Patientinnen getestet. Das Projekt war unter anderem auf der international anerkannten Bled eConference mit einem KeyNote-Beitrag vertreten.

In einem supraleitenden Undulator für Freie-Elektronen-Laser (FELs) wurde ein Weltrekord-Magnetfeld erreicht. Eine Zusammenarbeit von KIT und Bilfinger Nuclear & Energy Transition ermöglichte die Entwicklung der supraleitenden Undulatorsulen. Die Ergebnisse sind ein Meilenstein für die Anwendung von supraleitenden Undulatoren in FELs, um die Leistung, Effizienz und Nachhaltigkeit dieser Beschleuniger in Zukunft zu verbessern.

In verschiedene Veranstaltungen wurden Forschungsthemen der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht, zum Beispiel im Rahmen der Jubiläumsveranstaltung CERN70 mit Podiumsdiskussion zum Thema „Die Grundlagenforschung und ihre gesellschaftliche Relevanz“, aber auch in Veranstaltungen für „Nachwuchsforscher“ wie „Türen auf mit der Maus“ mit Experimenten für Kinder zum Thema Teilchenbeschleuniger und deren Anwendung als Strahlungsquelle.

Drittmittelinwerbung

Die starke Relevanz von MT-Forschung wird auch in der erfolgreichen Einwerbung von Drittmitteln deutlich. Hier ist eine Auswahl der neu eingeworbenen Projekte aus dem Berichtsjahr gelistet:

Prof. Dr. Steffen Grohmann hat einen ERC Advanced Grant für das Projekt GRAVITHELIUM zur Entwicklung von Kryosystemen als Schlüsseltechnologie für das Einstein-Teleskop (ET) erhalten. GRAVITHELIUM zielt darauf ab, mit suprafluidem Helium die Empfindlichkeit kryogener Laser-Interferometer bis an fundamentale Grenzen auszuschöpfen. Diese Technologieentwicklung soll eine zentrale Herausforderung lösen, um Gravitationswellen des gesamten Universums mit dem Einstein-Teleskop zu observieren.

Prof. Dr. Anke-Susanne Müller und Prof. Dr. Matthias Fuchs haben für das Projekt UCART zur Entwicklung einer neuen Methode in der Strahlentherapie eine Förderung durch das Programm „CZS Wildcard“ der Carl-Zeiss-Stiftung erhalten. Im Projekt UCART wird eine neue Methode der Strahlentherapie entwickelt, bei der Tumore mit einem Elektronenbeschleuniger direkt im Körper bestrahlt werden.

Im DFG-ANR-Projekt CALO5D mit Partnern in Deutschland und Frankreich wird das Potenzial von 5-dimensionalen Daten hochgranularer Kalorimeter mit hoher Orts- und Zeitauflösung untersucht, wodurch unter anderem auch die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit solcher Detektoren für den Einsatz in zukünftigen Collider-Experimenten bestimmt wird.

Im Rahmen der BMBF-Verbundforschung wurden am KIT verschiedene Projekte eingeworben: Im Projekt HTS-ES in Zusammenarbeit mit der TU Darmstadt werden Verbindungs- und

Wickeltechniken für Hochtemperatur-Supraleiterspulen in Simulation und Experiment mit dem Ziel hoher mechanischer und elektromagnetischer Stabilität entwickelt. Der Verbund SI-D entwickelt Siliziumdetektoren für zukünftige Experimente in der Hochenergiephysik im Rahmen der DRD3- und DRD7-Kollaborationen. MT-DTS am KIT beteiligt sich an der Entwicklung von Siliziumphotonik zur Datenübertragung, der direkten Verbindung der photonischen Komponenten mit dem Sensor sowie an der Untersuchung von Strahlenhärte. Im Rahmen des LHCb-Verbunds zum Betrieb, zur Datenanalyse sowie zum Upgrade des LHCb-Experiments entwickelt das KIT Sensor-ASICs für das zukünftige Upgrade des LHCb Spurdetektors. Im Belle II-Verbund zum Betrieb, zur Datenanalyse sowie zur Konsolidierung und zur Entwicklung zukünftiger Upgrades des Belle II-Experiments am KEK in Japan übernimmt das KIT eine zentrale Komponente in der Datenerfassung des von Deutschland verantworteten Pixeldetektors und arbeitet an der Weiterentwicklung des Datenerfassungssystems in Vorbereitung auf höhere Luminositäten. Der Verbund HighDCalo entwickelt ein hochgranulares Hadronkalorimeter für den zukünftigen FCCee am CERN im Rahmen der DRD6-Kollaboration. Das KIT beteiligt sich an der Entwicklung der Ausleseketten des Detektors.

Forschungsinfrastrukturen

Zusätzlich zu den LK II Forschungsinfrastrukturen sind für das Programm MT einige Infrastrukturen von zentraler Bedeutung für die Forschungsaktivitäten, auch wenn sie nicht unter die LK II-Systematik fallen. Zentrale LK I-Infrastrukturen aus KIT-Sicht in MT sind insbesondere die Accelerator Technology Plattform (ATP) und das im Aufbau befindliche Kompetenzzentrum für Hochauflösende Supraleitende Sensoren (HSS). Bei beiden Einrichtungen sind signifikante Weiterentwicklungen im Berichtsjahr zu erwähnen:

Der Technische Design-Report des cSTART-Speicherrings wurde abgeschlossen. Mit dem Industriepartner RI wird in den nächsten Jahren der kompakte Speicherring installiert werden, der für ultra-kurze Elektronenpakete (engl. Bunches) mit hoher Energiebandbreite ausgelegt ist. Für die Forschenden der Accelerator Technology Plattform (ATP) am KIT und deren Partner aus Wissenschaft und Industrie wird eine einzigartige Beschleuniger-Testanlage mit ultra-kurzen Elektronenpaketen im Nicht-Gleichgewichtszustand zur Verfügung stehen.

Im Rahmen von KITTEN, dem Testfeld für Energieeffizienz und Netzstabilität für große Forschungsinfrastrukturen des KIT, konnte im Berichtsjahr eine Stromeinsparung von 30 % beim Betrieb des Speicherrings KARA berichtet werden.

Am KIT entsteht mit dem Kompetenzzentrum für Hochauflösende Supraleitende Sensoren (HSS) eine weltweit einzigartige Forschungsinfrastruktur für kryogene Quantensensoren. Bereits in der Aufbauphase bewähren sich die mikromechanischen Fertigungsmethoden auch über das Gebiet der Quantensensoren hinaus. So sind Strukturen für einen KATRIN-Detektor und das KARA-Forschungssynchrotron produziert worden. Eine Zusammenarbeit zur Produktion von supraleitenden Qubits für das Quantencomputing wird diskutiert.

A.2.3.5.5 Senatsempfehlungen

Der Senat macht sich den ihm vorliegenden Vorschlag zur Bewertung des Programmfortschritts im Jahr 2024 zu eigen und beschließt ihn als seine Bewertung zum Programmfortschritt 2024. Er bestätigt damit den vorliegenden Controllingbericht des Präsidenten für das Jahr 2024

A.2.3.6 Nationale und Internationale Wissenschaftsinfrastruktur (Großgeräte der Leistungskategorie II)

Forschungsinfrastruktur GridKa

Im Berichtszeitraum wurden die GridKa-Rechen- und Speicherdienste für alle unterstützten Experimente reibungslos bereitgestellt. Alle technischen Entwicklungen fanden in enger Abstimmung mit dem GridKa Overview Board (OB) und dem Technical Advisory Board (TAB) statt. Die Batch-Compute-Farm wurde mit 3.840 ARM-CPU-Kernen erweitert, die im Vergleich zu Standard-x86-CPU ein um ca. 20 % besseres Verhältnis von Leistung zu Watt bieten. Häufige Sicherheitsupdates sind Teil der Betriebsroutine, um den bestmöglichen Schutz vor Cybersecurity-Angriffen zu gewährleisten. Ein neues Buchhaltungssystem auf der Grundlage der AUDITOR-Software und Upgrades für HTCondor/CE 23 wurden in Betrieb genommen. Der Online-Speicher wurde rechtzeitig für die Zusagen für 2024 erweitert, und die experimentenspezifischen Datenverwaltungssoftwarelösungen dCache und xrootd wurden auf die neuesten Versionen aktualisiert; Leistungsprobleme in diesen neuesten Softwareversionen wurden erkannt und behoben. 2,4 PB zusätzlicher Speicherplatz für das LHCb-Experiment und 0,5 PB zusätzlicher Speicherplatz für ALICE wurden im Vorfeld der Zusagen für 2025 hinzugefügt. Eine größere Speicherbeschaffung von 30 PB für 2025 wurde in Angriff genommen. In der Bandspeicherinfrastruktur wurde das Bandsystem um 1 PB zusätzlichen Pufferspeicher auf der Grundlage der ultraschnellen NVMe-Technologie erweitert, um seine Gesamtleistung zu erhöhen. Mit der Beschaffung von Bändern für 2025 wurde begonnen. GridKa hat sehr erfolgreich an der Data Challenge 2024 des Worldwide LHC Computing Grid (WLCG) teilgenommen, bei der 25 % der LHC Run4 Anforderungen erreicht werden mussten. Für diesen Test wurde vorübergehend eine zusätzliche 100 Gb/s-Verbindung zum CERN angemietet, wodurch sich die externe Gesamtbandbreite von GridKa auf 0,5 Tb/s erhöhte. Das GridKa-interne Netz wird schrittweise auf 400 Gb/s aufgerüstet. Für 2025 wird das DFN die 2x100 Gb/s-Verbindungen zum LHCONE-Netz kostenneutral auf 2x200 Gb/s aufrüsten.

Stand der Umsetzung der Senatsempfehlungen

Der Senat der Helmholtz-Gemeinschaft spricht die folgende konkrete Empfehlung aus:

Der Senat stimmt mit den sehr positiven Begutachtungsergebnissen der LK II Forschungsinfrastruktur Tier-1-Rechen- und Datenzentrum GridKa überein und bestätigt deren Finanzierung entsprechend der auf eine Steigerung von 2 % angepassten Vollkostenplanung.

GridKa LK II ist für diese Empfehlung sehr dankbar, da sie eine wichtige Grundlage für den Betrieb der GridKa-Rechen- und Datenressourcen für den LHC Run3 sowie für die HL-LHC-Phase für die internationale Nutzendengemeinschaft darstellt. Nach einer längeren Periode steigender Energiepreise für die kWh jenseits der 2 % pro Jahr scheinen die Stromkosten in absehbarer Zeit wieder leicht zu sinken, obwohl (oder weil) das KIT auf erneuerbare/grüne elektrische Energie umstellt. Dennoch wird GridKa seine Maßnahmen und Aktivitäten fortsetzen, um energieeffizienter zu werden und weniger Energie zu verbrauchen, während die bereitgestellte Rechen- und Datenleistung für seine Experimentalgemeinschaften erhöht wird.

A.2.3.7 Strategische Initiativen

A.2.3.7.1 Innovationspool

Accelerating Science with Artificial Intelligence and Machine Learning (ACCLAIM)

Das KIT befasst sich im Projekt ACCLAIM mit Techniken der künstlichen Intelligenz (KI) sowie des maschinellen Lernens (ML), um Herausforderungen der effizienten Verarbeitung und Auswertung von großen Datenmengen in den Bereichen Photonenwissenschaft, Teilchenphysik sowie Beschleunigerforschung zu meistern. Durch Einsatz von KI sollen der autonome Betrieb und die Kontrolle von Beschleunigern ermöglicht werden. Durch Anomalieerkennung und vorausschauende Wartung wird der laufende Betrieb optimiert.

Die Echtzeitorientierung und Kontrolle von transversalen und longitudinalen Strahlprofilen, Phasenräumen und Instabilitäten konnte weltweit erstmals mit Reinforcement Learning auf Hardware mit niedriger Latenz, weniger als 3 μ s, in Kooperation von MT-ARD (Institut für Beschleunigerphysik und Technologie - IBPT) und MT-DTS (Institut für Prozessdatenverarbeitung und Elektronik - IPE) am KIT demonstriert werden [8]. Diese Methodik ist auf Lasersysteme und damit auch auf Plasmabeschleuniger übertragbar. Das KIT konnte in Kooperation mit DESY die Anwendungen von KI zum Tuning und zur Kontrolle von Beschleunigern sowie die Vor- und Nachteile verschiedener KI-Methoden systematisch untersuchen [9].

Am IBPT und IPE trugen vier Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu dem Projekt bei. Im Jahr 2024 wurden im Innovationspool Arbeiten von 0,4 FTE vom BMBF gefördert und 0,5 FTE aus Eigenmitteln des Zentrums erbracht.

- [8] Scomparin, L.; Santamaria Garcia, A.; Kopmann, A.; Mueller, A.-S.; Xu, C.; Blomley, E.; Bründermann, E.; Steinmann, J. L.; Becker, J.; Schuh, M.; Schuh, M.; Caselle, M.; Dritschler, T.; Mochibashi, A.; Weber, M., *Preliminary results on the reinforcement learning-based control of the microbunching instability*, 2024, 15th International Particle Accelerator Conference: May 19-24, 2024, Nashville, Tennessee, USA: proceedings. Ed.: F. Pilat, 1808–1811, JACoW Publishing, DOI: 10.18429/JACoW-IPAC2024-TUPS61
- [9] Kaiser, J.; Xu, C.; Eichler, A.; Santamaria Garcia, A.; Stein, O.; Bründermann, E.; Kuropka, W.; Dinter, H.; Mayet, F.; Vinatier, T.; Burkart, F.; Schlarb, H., *Reinforcement learning-trained optimisers and Bayesian optimisation for online particle accelerator tuning*, 2024, Scientific Reports, 14 (1), Artkl.Nr.: 15733, DOI: 10.1038/s41598-024-66263-y

Innovation pool project for Energy Efficient Accelerators (InnovEEA)

Wichtige Meilensteine im Rahmen von InnovEEA wurden am KIT erreicht. Die Inbetriebnahme des Compact Accelerator Systems Test Stand (COMPASS) steht vor dem Abschluss. Die neue Forschungsinfrastruktur ermöglicht Prototypenentwicklung kompakter Beschleunigersysteme mit der kryogenen Gemischkältetechnologie (CMRC). Parallel dazu wurden erhebliche Fortschritte in der CMRC-Modellierung mithilfe komplexer HPC-Algorithmen erzielt, die das Potenzial in mehreren Anwendungen unterstreichen.

In Zusammenhang mit KITTEN, dem KIT-Testfeld für Energieeffizienz und Netzstabilität in großen Forschungsinfrastrukturen, wurden die Optimierungen der Injektion des Speicherrings mittels KI weitergeführt. Die digitale Echtzeitsimulationsumgebung wurde an den Beschleuniger KARA angebunden und erste elektrische Analysen durchgeführt. Die Kommunikationsinfrastruktur zwischen KARA und Energy Lab wurde verbessert, um auch hochfrequente Störungen untersuchen zu können. Hierfür wurde das Sensornetz um hochfrequente Sensoren an ausgewählten Verbrauchern ergänzt. Besonderes Augenmerk wird auf die Auswirkungen variabler Energiequellen gelegt. Das europäische Projekt „Research Facility 2.0“, das seit Januar 2024 für drei Jahre läuft, überträgt das Konzept aus KITTEN und InnovEEA auf andere europäische Beschleuniger.

Insgesamt trugen zwei Forschende des IBPT zum Projekt bei. In Summe wurden 2024 im Innovationspool Arbeiten von 0,6 FTE vom BMBF (27 % des Budgets) gefördert und 0,9 FTE aus Eigenmitteln des Zentrums (73 % des Budgets) erbracht.

Towards next Generation Silicon Detectors (Tangerine)

Das KIT evaluiert im Projekt Tangerine neue Halbleitertechnologien und Konzepte für zukünftige Teilchendetektoren zur signifikanten Verbesserung der zeitlichen und räumlichen Auflösung. Low-Gain Avalanche Diodes (LGADs) gelten aktuell durch ihre hervorragende Zeitauflösung bei gleichzeitig hoher Strahlenhärte als vielversprechender Kandidat für das 4D-Tracking. Im Rahmen des Projekts Tangerine wurden mehrere Versionen von LGAD-Sensoren entwickelt. Die Teststrukturen sind optimiert für eine hohe räumliche Auflösung bei einer zeitlichen Auflösung von bis zu 30 ps. Ein erster Engineering Run mit Pixel- und Streifensensoren für ein breites Spektrum an Anwendungen wurde bei der Fondazione Bruno Kessler (FBK) produziert. Unter anderem konnte die Sensitivität der ultraschnellen Zeilenkamera KALYPSO mit Bildraten im Megahertz-Bereich deutlich verbessert werden [10].

Single-Event Effects (SEEs) sind eine der Hauptursachen für das Versagen elektronischer Baugruppen beim Einsatz in Umgebungen mit hoher Strahlungsbelastung, wie sie im Welt-raum oder bei Teilchenbeschleunigern auftreten. Die Silicon-on-Insulator (SOI)-Technologie bietet hier eine Lösung. Die dünne aktive Siliziumschicht wird durch eine dicke Oxidschicht vom Trägermaterial isoliert und so wird statistisch die Fehlerwahrscheinlichkeit reduziert. Transistoren, die in dieser Fully-depleted Silicon-on-Insulator (FDSOI)-Technologie produziert werden, weisen daher eine inhärente Resistenz gegen ionisierende Strahlung auf. Am KIT entwickelte Teststrukturen in FDSOI mit 22 nm Strukturgröße wurde in Zusammenarbeit mit der Mikroelektronikgruppe des CERN charakterisiert [11].

Insgesamt trugen zwei Forschende im IPE zu dem Projekt bei. In Summe wurden 2024 Arbeiten im Umfang von 0,8 FTE vom BMBF gefördert und 0,1 FTE aus Eigenmitteln des Zentrums erbracht.

- [10] M.M. Patil, M. Caselle, E. Bründermann, S. Chilingarayan, A. Kopmann, G. Niehues, J.L. Steinmann, S. Stankov, C. Widmann, A.-S. Müller, G. Borghi, G. Paternoster, M. Centis Vignali and M. Boscardin, KALYPSO LGAD—a MHz repetition rate line camera based on trench isolated low gain avalanche detector, *Journal of Instrumentation* 20.01 (2025): C01006, DOI: 10.1088/1748-0221/20/01/C01006
- [11] G. Terzo, G. Borghello, F. Faccio, K. Kloukinas, M. Caselle, A.F. Elsenhans, A. Cagri Ulusoy, A. Koukab and J-M Sallese, Characteristics and Ultra-High Total Ionizing Dose Response of 22 nm Fully Depleted Silicon-on-Insulator, *JINST*19, 03 (2024) C03039, DOI 10.1088/1748-0221/19/03/C03039

Data-X

Im Rahmen des Projekts arbeitete das KIT unter anderem an der Automatisierung und Beschleunigung von DAQ-Pipelines. Um Hochdurchsatz- und Hochgeschwindigkeits-Tomographie-Experimente zu beschleunigen, wurde ein Linux-Treiber für die Hochgeschwindigkeitskamera VisionResearch Phantom V2640 implementiert und in das Kontrollsystem *concert* integriert. Dieser C-Treiber, der zusammen mit der populären plattformübergreifenden Objektsystem-Bibliothek GObject entwickelt wurde, ermöglicht die Kommunikation mit allen PH16-kompatiblen Phantom-Kameras sowie deren Betrieb. Um eines der Hauptmerkmale der Phantom V2640 voll auszunutzen – eine 10Gb-Ethernet-Verbindung – wurden mehrere Kernfunktionen entwickelt. Erstens sorgt ein vom Benutzenden anpassbarer asynchroner Gegendruckmechanismus dafür, dass keine Pakete verloren gehen. Darüber hinaus konvertiert ein hoch optimierter Mechanismus zum Entpacken von Bildern, der sowohl Multithreading als auch Vektorisierung nutzt, die Kamera-Rohdaten in ein für den Benutzenden interpretierbares Format mit über 8 GB/s auf einer typischen Workstation. Dank dieser Weiterentwicklungen konnte die

Fähigkeit gezeigt werden, Bilder von der Kamera mit einer Rate nahe ihrer Grenze von 1,25 GB/s auf der Festplatte zu speichern. Darüber hinaus bietet der Detektor zahlreiche nützliche Modi und Funktionen, darunter Pixel-Binning, Zeitstempel, automatische bildbasierte Triggerung, modifizierbare Hilfsanschlüsse und vieles mehr – alles für den Benutzenden zugänglich. Insgesamt bietet dieser neue C-Treiber die Flexibilität, die Kamera innerhalb eines Experiments mit hohem Durchsatz oder hoher Geschwindigkeit programmatisch zu betreiben. Darüber hinaus wurde das Kontrollsystem „concert2 verbessert, das nun in der Lage ist, schnelle Datenstreams von Experimenten mit hohem Durchsatz und hoher Geschwindigkeit zu verarbeiten, welche durch die Phantom V2640 Kamera möglich sind. Im Gegensatz zu vorigen Versionen verwendet es nun ein dezentrales Schema, was bedeutet, dass der Kontrollcomputer nicht der alleinige Empfänger aller Daten ist und somit den Engpass bei der Verarbeitung und Speicherung darstellt. Im Gegensatz dazu werden die Daten von einem dedizierten Kameraserver durch einen neu entwickelten effizienten Code, der das ZMQ-Framework nutzt, an mehrere Endpunkte gestreamt, die für verschiedene Aufgaben zuständig sind, z.B. Speicherung, Online-3D-Rekonstruktion, Qualitätssicherung und Live-Vorschau. Die Forschenden haben das physische Netzwerklayout durch die Verwendung dedizierter Infiniband-Punkt-zu-Punkt-Verbindungen optimiert, sodass jeder Endpunkt die Daten mit der gleichen Geschwindigkeit abrufen kann. Dank dieser Architektur können sie derzeit 2016 x 2016 x 200 Schichten sofort online rekonstruieren, d.h. nachdem die letzte Projektion eingetroffen ist, wird sie dem teilweise rekonstruierten 3D-Volumen hinzugefügt, das dann sofort für die Vorschau verfügbar ist. Dies ist sehr wertvoll für die Überwachung des Fortschritts eines Experiments. Für die Realisierung von Triggersystemen wurde eine modulare Reihe von Hochleistungs-FPGA-Boards mit leistungsfähigen programmierbaren Elektronikbausteinen entwickelt. Die Serenity-Familie verwendet den AdvancedTCA-Standard und bietet bis zu 120 digitale optische Verbindungen, während das DTS-100G-Board mit Experiment-spezifischen Rückseitenmodulen für analoge Elektronik im kompakten MicroTCA-Format kombiniert werden kann. Für kompakte Systeme ist ein AMC-Modul entwickelt worden.

Insgesamt trugen drei Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen an den Instituten IPE und IPS zu dem Projekt bei. In Summe wurden 2024 Arbeiten im Umfang von 0,99 FTE aus dem Innovationspool gefördert und 0,76 FTE aus Eigenmitteln des Zentrums erbracht.

ADC-MAPP

Das ADC-MAPP-Projekt zielt darauf ab, bestehende Ansätze – wie das KASCADE Cosmic-ray Data Center (KCDC), das Alert Management, Photometry, and Evaluation of Lightcurves (AMPEL) oder das Gammapy-Analysetool – zu einem einheitlichen Konzept für eine Benutzereinrichtung zu erweitern. Darüber hinaus fördert ADC-MAPP die Anwendung von künstlicher Intelligenz und Deep Learning zur Optimierung von Monte-Carlo-Simulationen, Datenverarbeitung und -analyse. Ein Hauptziel des Projekts ist die Integration der Multi-Messenger-Astroteilchenphysik mit fortschrittlichen und effizienten förderierten Recheninfrastrukturen. Diese Bemühungen unterstützen die Digitalisierung dieses datenintensiven Forschungsgebiets und konzentrieren sich auf die Verwaltung von Forschungsdaten, Big-Data- und Multi-Messenger-Analysen, Dienste für die Nutzendengemeinschaft, Vernetzung und Schulungsinitiativen.

Im Jahr 2024 erzielte ADC-MAPP bedeutende Fortschritte für schneller Luftschauder-Simulationen mit Deep-Learning-Techniken, insbesondere bei rechenintensiven Simulationen von Radiosignalen, die durch ausgedehnte Luftschauder erzeugt werden. Das Projekt erreichte auch Meilensteine bei der Veröffentlichung von Daten und Simulationen der CTAO-, H.E.S.S.- und VERITAS-Observatorien unter Einhaltung von Gemeinschaftsstandards und der FAIR-Datengrundsätze. Es wurde eine Container-basierte Simulations- und Analysepipeline entwickelt,

die mit Gammapy kompatibel ist und eine breitere Zugänglichkeit ermöglicht und erfolgreich zur Analyse aller VERITAS-Beobachtungen eingesetzt wurde. AMPEL wurde weiter verbessert und wird nun aktiv für physikalische Analysen eingesetzt. Darüber hinaus wurden bemerkenswerte Fortschritte erzielt für zukünftige Suchen nach gemeinsamen Ereignissen mit den Experimenten Einstein Telescope und IceCube-Gen2.

In ADC-MAPP wird großer Wert darauf gelegt, Archive für die Veröffentlichung vorzubereiten und ihre langfristige Verfügbarkeit für die wissenschaftliche Gemeinschaft zu gewährleisten [12]. Die Arbeitsgruppen des Projekts arbeiten eng mit Initiativen wie PUNCH4NFDI, ErUM-Data und EOSC zusammen, um die Digitalisierung der Astroteilchenphysik voranzutreiben, die Verwaltung von Forschungsdaten zu verbessern und die nachhaltige Veröffentlichung wissenschaftlicher Daten zu fördern. ADC-MAPP steht für ein Engagement für die nachhaltige Nutzung wissenschaftlicher Daten sowie für die Entwicklung von Werkzeugen und Methoden für umfassende Analysen der Astroteilchenphysik und Datenzentren. Obwohl das Innovationspool-Projekt offiziell im Jahr 2024 endet, arbeiten KIT und DESY weiter an der Implementierung eines virtuellen Analyse- und Datenzentrums für die Multi-Messenger-Astroteilchenphysik.

Am Projekt haben im Jahr 2024 fünf Forschende des KIT gearbeitet, mit insgesamt 3,26 FTE. Davon wurden 1,09 FTE aus Mitteln des Innovationspools direkt finanziert und 2,17 FTE aus Eigenmitteln aus dem Helmholtz-Programm MU.

[12] [re3data.org: KASCADE Cosmic Ray Data Centre](https://re3data.org/KASCADE-Cosmic-Ray-Data-Centre), [http://doi.org/10.17616/R3TS4P](https://doi.org/10.17616/R3TS4P)

A.2.3.7.2 *Initiativen aus weiteren Pakt-Mitteln bis 2025*

ROCK-IT

ROCK-IT verfolgt das Ziel, Fernzugriff, Steuerung, Automatisierung mit Unterstützung von Robotik an Synchrotron-Strahlrohren für komplexe In-situ- und Operando-Experimente zu entwickeln. Damit soll auf die gestiegene Nachfrage nach Mail-in- und Remote access-Experimenten an deutschen Synchrotronstrahlungsquellen nach COVID-19 reagiert werden. Schwerpunkte sind der sichere Fernzugriff, die Koordinierung von Steuerungssoftware, Automatisierung (z.B. robotergestütztes Probenhandling), Echtzeitdatenauswertung und KI-Integration zur Verbesserung der Experimente und Datenmanagement nach FAIR Standards. Komplexe Operando-Katalyseexperimente sind für verschiedene Gebiete von Bedeutung, einschließlich der Umwandlung zwischen Energieformen, und so unterstützt das Projekt auch die Energiewende in Deutschland. Es setzt auf nutzerfreundliche Schnittstellen, freie Open-Source-Software (FOSS) und FAIR-Datenmanagement. Die an den Helmholtz-Zentren entwickelten Lösungen werden verschiedenen Forschungsbereichen zugutekommen. Die ersten Implementierungen an PETRA III (DESY), BESSY II (HZB), KARA (KIT) und HAMSTER (HZDR) dienen als Modell für andere Synchrotronstrahlungseinrichtungen. ROCK-IT arbeitet in verschiedenen wissenschaftlichen Bereichen mit Initiativen wie ErUM-Data und DAPHNE4NFDI zusammen.

Highlights 2024:

1. ROCK-IT hat Softwareentwicklungen vorangetrieben, die größtenteils auf dem Bluesky-Framework für die Koordinierung der Experimentsteuerung beruhen. Dazu gehörte die TANGO-Unterstützung in Ophyd-Asynch, die offiziell von der breiteren Bluesky-Gemein-

schaft unterstützt wurde und in die Upstream-Repositories aufgenommen wurde. Die Fortschritte des Projekts wurden auf der NOBUGS 2024-Konferenz in Grenoble (New Opportunities for Better User Group Software) mit großer Öffentlichkeitswirkung vorgestellt. Dort bekundeten verschiedene Gruppen aus den USA, Großbritannien, China und Australien großes Interesse an dem Projekt, und in mehreren Keynote-Vorträgen wurde auf das ROCK-IT Projekt verwiesen.

2. Mehrere erfolgreiche Demonstrator-Experimente wurden vom zentrenübergreifenden Projektteam an HZB, DESY, KIT und HZDR durchgeführt. Entwickelte Hard- und Software wie das Gasdosiersystem, die automatische Probenausrichtung, die Steuerung der Probenumgebung und die Bluesky-Integration für XRD- und EXAFS-Experimente wurden in Betrieb genommen. Erste Tests mit der webbasierten Benutzeroberfläche Daiquiri (ESRF) wurden durchgeführt und Integrationsmöglichkeiten für Chatbots (HZDR-Mattermost) und elektronische Logbücher erarbeitet. Die Integration von Daiquiri GUI mit Bluesky hat bei NOBUGS 2024 starken Anklang gefunden.

Prototypen zur automatisierten Probenhandhabung mit Robotern unter anderem mit kamera-gestützter Erkennung der Probenposition wurden unter Führung des KIT erfolgreich implementiert. Die Identifizierung einzelner Proben mit maschinell und menschlich lesbaren Markern wurde standardisiert an den verschiedenen Zentren eingeführt, ein essenzieller Schritt für die automatische Verfolgung der Probeninformationen über verschiedene Stufen und Zyklen von Experimenten. Das Design des standardisierten Probenhalters wurde fertiggestellt und ein Prototyp erfolgreich getestet.

A.2.4 Überblick zum Forschungsbereich Erde und Umwelt

A.2.4.1 Bericht der Forschungsbereichs Koordinatorin an den Senat

Siehe Anhang.

A.2.4.2 Rolle des Zentrums im Forschungsbereich

Im FB „Erde und Umwelt“ (EuU) beteiligt sich das KIT seit Beginn 2021 mit sechs weiteren Helmholtz-Zentren (AWI, FZJ, GEOMAR, GFZ, Hereon, UFZ) am Programm Changing Earth – Sustaining our Future (CE). Die sieben Zentren und ihre Partner bündeln ihre Kompetenzen, um Strategien, Methoden und Infrastrukturen für die Forschung zur nachhaltigen Nutzung/Schutz der Ressourcen der Erde sowie für die Vorhersage/das Management von Naturgefahren zu entwickeln. Der Ein-Programm-Ansatz im FB EuU ermöglicht neue Einblicke in die Komplexität, die Schwellenwerte und die Widerstandsfähigkeit der Erdprozesse in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft sowie in die interagierenden Teilsysteme der Erde (Atmosphäre, Biosphäre, Geosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre und Anthroposphäre). Insbesondere die Untersuchung der Rückkopplungen und Verflechtungen der Teilsysteme als Triebkräfte des Wandels in einem lokalen, regionalen und globalen Kontext ist eine wichtige wissenschaftliche Herausforderung. Das KIT koordiniert im Programm das Topic 1 (The Atmosphere in Global Change) und ist mit einem kleinen Anteil in Topic 7 (Bioeconomy) vertreten. Des Weiteren beteiligt sich das KIT an den Querschnittsaktivitäten REKLIM, Extremes, HI-CAM, Fernerkundung, MACE, TERENO, MOSES, Digital Earth, ESM sowie „Resilient Urban Spaces“.

Der FB EuU hat die programmatische Planung mit einer strategischen Infrastruktur-Entwicklung untersetzt. Im FB EuU wurden für die PoF IV-Förderperiode drei Vorschläge des KIT (AtmoSat, AtmoSense, UrbENO) für die Helmholtz-Roadmap für Forschungsinfrastrukturen priorisiert, die alle mit mehreren Helmholtz-Zentren gemeinsam aufgebaut und betrieben werden sollen. Das Satelliten-Projekt AtmoSat erlaubt erstmals detailliert mit globaler Abdeckung zu erforschen, wie die mittlere Atmosphäre zwischen 5 und 100 Kilometern Höhe das regionale Klima und Wetter beeinflusst. Beeinflusst. Die von einem internationalen Team unter Leitung des KIT entwickelte Satellitenmission CAIRT (Changing-Atmosphere Infra-Red Tomography) wurde von der Europäischen Raumfahrtagentur ESA als einer von zwei Kandidaten für den Earth Explorer 11 Satelliten ausgewählt. CAIRT würde wichtige Daten zur Kopplung von atmosphärischer Zusammensetzung, Zirkulation und regionalem Klimawandel liefern. Der Antrag zur Ausbauinvestition AtmoSense unter Federführung des KIT wurde im Juli 2024 bei der Helmholtz-Geschäftsstelle eingereicht und soll als integrierte Beobachtungsplattform der Atmosphärenforschung die Erweiterung der Grenzen der Vorhersagbarkeit von Wetter, Klima und Luftqualität ermöglichen. Damit ist diese Ausbauinvestition als zentrales Element der PoF IV-Strategie des FB EuU anzusehen, die auf einer verbesserten Modell-Abbildung der sich im Zuge des globalen Wandels verändernden Prozesse in der Atmosphäre und der angrenzenden Kompartimente basiert.

A.2.4.3 Programmanteil Changing Earth – Sustaining Our Future (CE)

A.2.4.3.1 Das Programm im Überblick

Ziele und Einbettung in den Forschungsbereich

Das Programm Changing Earth – Sustaining our Future (CE) wird zu einem ganzheitlichen Verständnis der Dynamik des Erdsystems, der Wechselwirkungen und Rückkopplungsmechanismen zwischen den Kompartimenten der Erde über Zeit und Raum hinweg beitragen. Die bisherigen Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass das übermäßig ausgebeutete Erdsystem an der Schwelle zu irreversiblen Schäden steht. Im Programm CE wurden fünf ehemals unterschiedliche Programme zusammengeführt, um Fachwissen und Infrastrukturen zu verknüpfen und systemisches Wissen zu generieren, welches an Entscheidungsträgerinnen und -träger in Politik, Wirtschaft und in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft vermittelt wird. Dieses Programm wird somit umsetzbares Wissen liefern, das für ein nachhaltiges Management des Planeten Erde benötigt wird.

Die Integration in ein Programm ermöglicht

- Kompartimentübergreifende Forschung zur Entwicklung von systemischen Lösungen für die Verwirklichung unserer Mission,
- Vernetzung, Harmonisierung und koordinierte Nutzung der einzigartigen Einrichtungen für Labor- und Feldarbeit, Erdbeobachtung, Datenverarbeitung und Datenwissenschaft,
- die Einführung verbesserter und gemeinsamer Instrumente für wissenschaftliche Synthese und Kommunikation zur Generierung von systemischen Ergebnissen über die wissenschaftliche Veröffentlichung hinaus,
- die Ausbildung einer Generation von Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen aus sieben Forschungszentren in einem gemeinsamen Geist der Offenheit für lösungsorientierte Erdsystemwissenschaft, die die wissenschaftlichen Disziplinen zusammenführt.

Neun Forschungsthemen (Topics) bilden das Rückgrat des Programms. Ausgewählte themenübergreifende Aktivitäten („Cross Topic Activities“ – CTAs), Kooperationen über Forschungsbereiche (FB) hinaus („Cross Cutting Activities with other Research Fields“ – CARFs) und Allianzen mit Partnern außerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft sorgen für die notwendigen integrativen Ansätze zur Erforschung der Verflechtung von Erdsystem- und Umweltprozessen. Durch die zunehmende Abstimmung und Integration dieser Aktivitäten während der Förderperiode verfügt das Programm über eine einzigartige Kombination aus wissenschaftlicher Expertise und fortschrittlicher Forschungs- und Dateninfrastruktur.

Programmstruktur

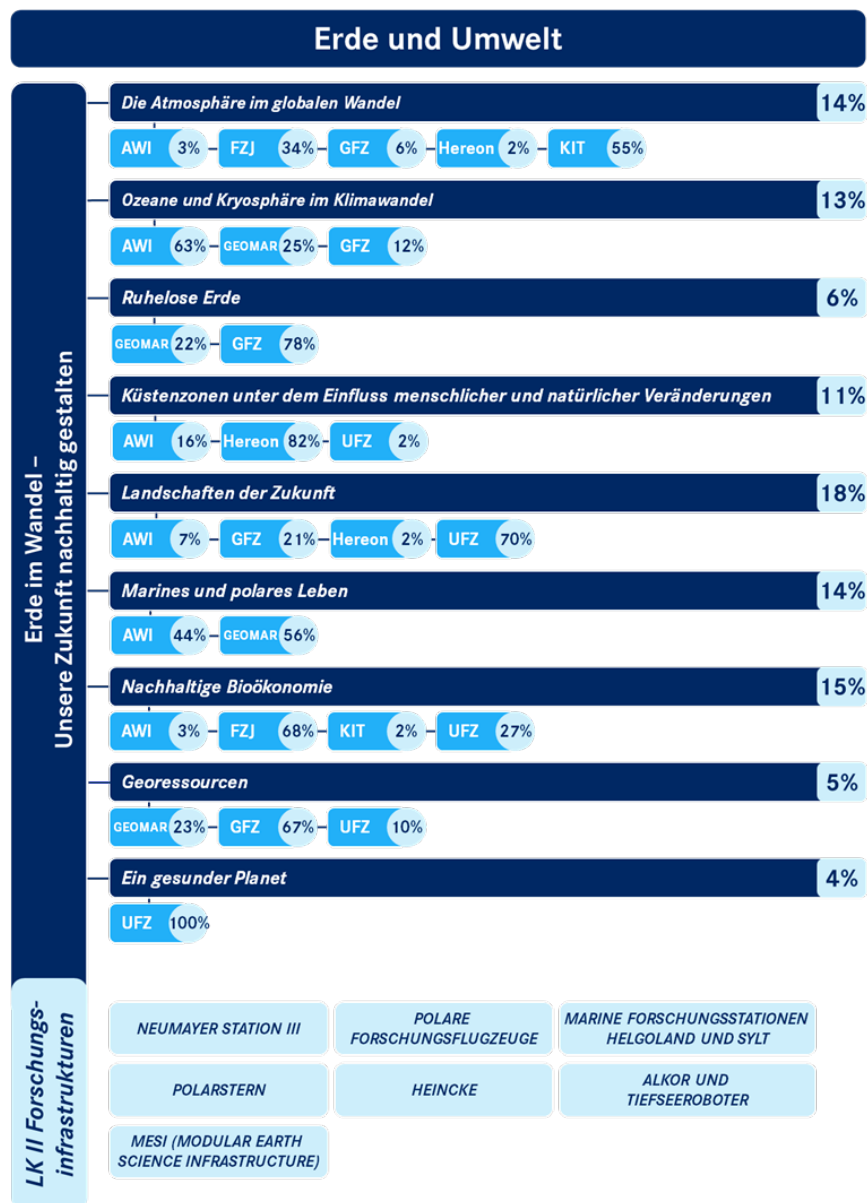


Abbildung 14: Programmstruktur CE

Das Programm CE gliedert sich in neun Topics. Das KIT ist an zwei Topics beteiligt. Die Anteile im Topic 7 sind relativ klein, insofern wird bei den weiteren Ausführungen in diesem Kapitel insbesondere auf das Topic 1 eingegangen.

Topic 1: Die Atmosphäre im globalen Wandel

(Sprecher: Prof. Dr. Hans Peter Schmid, KIT)

Topic 1 befasst sich mit drei Forschungsfeldern von gesellschaftlicher Bedeutung für die Atmosphäre im globalen Wandel: Luftqualität, Klima-Rückkopplungen sowie zukünftiges Wetter und Extremereignisse. Das Wissen in diesen Bereichen liefert einen wichtigen Beitrag für die Bewertung von Anpassungs- und Vermeidungsmaßnahmen geplanter Klimaschutz-Strate-

gien. Topic 1 entwickelt dazu Beobachtungs- und Modellierungslösungen für verbesserte atmosphärische Vorhersagen und regionale Klimaprojektionen mit einer noch nie dagewesenen Auflösung in einem „Whole Atmosphere“-Ansatz, um ganze Prozess- und Ereignisketten von den Triebkräften des globalen Wandels / extremer Ereignisse bis hin zu ihren Auswirkungen auf Luftqualität, Wasserressourcen, Treibhausgasbudgets, Landnutzungsänderungen, die Lebensfähigkeit von Ökosystemen und das Risiko extremer Wetterlagen in einer wärmeren Welt zu untersuchen.

Topic 7: Nachhaltige Bioökonomie

(Sprecher: Prof. Dr. Michael Bott, FZJ)

Topic 7 trägt zur Entwicklung einer nachhaltigen Bioökonomie bei, die Nahrungsmittel und erneuerbare Ressourcen für die wachsende Bevölkerung, die Industrie und die Landwirtschaft bereitstellt, dabei gleichzeitig den ökologischen Fußabdruck verringert und die Einführung einer Kreislaufwirtschaft unterstützt. Topic 7 zielt darauf ab, die Nutzung biologischer und ökologischer Ressourcen zur Produktion von Biomasse in Agrarsystemen nachhaltiger und effizienter zu machen und trägt zur Entwicklung von erneuerbaren Kohlenstoffquellen und Chemikalien für innovative Produkte bei. Die Atmosphäre ist das Kompartiment des Erdsystems, durch das Menschen das Klima am direktesten beeinflussen, und die Atmosphäre ist das primäre Medium für wesentliche Rückkopplungen des Klimas mit der Landoberfläche, der Biosphäre, der Kryosphäre und dem Ozean. Daher nimmt Topic 1 in enger Zusammenarbeit mit den Topics 2, 3, 4, 5 und 7 eine führende Rolle in den Forschungsanstrengungen zu atmosphärischen Prozessen und Auswirkungen des Klimawandels innerhalb des Gesamtprogramms ein. Dies schließt die Untersuchung relevanter atmosphärischer Prozesse ein für Klima und Luftqualität sowie die Austauschprozesse und Rückkopplungen mit den angrenzenden Kompartimenten. Folglich hat die Forschung zu Topic 1 einen großen Einfluss auf vier (von neun) übergeordneten Programmzielen.

Entsprechend erfolgt die Topic 1- (und Topic 7-)Forschung in enger Zusammenarbeit mit anderen Topics des Programms sowie mit Forschungsgruppen in anderen Helmholtz-Forschungsbereichen. Insbesondere die definierte Zusammenarbeit mit Topic 2 bietet neue Perspektiven. Zu den erwarteten gemeinsamen Aktivitäten gehören u.a.:

- Klimawandel – Wechselwirkung zwischen Ozean und Atmosphäre, Vorhersage (mit Topic 2 und dem Deutschen Wetterdienst, DWD),
- Regionale Erdsystemmodellierung (mit Topics 2 und 4 und DWD),
- Vorhersage und Management von Extremereignissen (mit Topics 2 und 3),
- Weltraumwetter – Rückmeldungen zur Atmosphäre (mit Topic 3),
- Klimaanpassung, Landnutzungsänderung, Wasserverfügbarkeit, (mit Topics 5 und 7),
- Luftqualität und menschliche Gesundheit (mit HMGU, RF Health; Topic 9),
- Atmosphärensensorik (mit DLR, RF Aeronautics/Space/Transport).

A.2.4.3.2 Wissenschaftliche Highlights des Programms

Topic 1: Die Atmosphäre im globalen Wandel

Highlight 1: Rückblick auf über 20 Jahre Forschung zur globalen stratosphärischen Zirkulation:

Die stratosphärische Umwälzzirkulation ist der Hauptfaktor für die globale Verteilung von Luftmassen in Höhen zwischen 10 und 50 km und beeinflusst maßgeblich Wetter, Klima und sogar Meeresströmungen. Das gängigste Maß für die jeweiligen Transportzeiten und die Stärke der Zirkulation ist das Luftalter, also die Zeit, die seit dem Eintritt eines Luftpakets in die Stratosphäre verstrichen ist. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Topic 1 haben die auf Beobachtungen und Theorien beruhenden wissenschaftlichen Fortschritte in Bezug auf das Alter der Luft in den letzten zwei Jahrzehnten untersucht. Sie kommen zu dem Schluss, dass das Verständnis der Prozesse, die die Transportzeiten beeinflussen, verbessert wurde, dass die durchschnittliche globale Verteilung des Luftalters gut bekannt ist und dass sich ein komplizierteres Bild der mit dem Klimawandel zusammenhängenden Trends beim Luftalter ergibt. Globale Modelle sagen eine Beschleunigung der stratosphärischen Zirkulation aufgrund von Treibhausgasen und ozonabbauenden Substanzen voraus. Die entsprechende Abnahme des Luftalters kann jedoch nur in der unteren Stratosphäre durch Beobachtungen bestätigt werden. Künftige Beobachtungen und theoretische Arbeiten zur Messung des Luftalters sind daher von entscheidender Bedeutung, um die Zirkulationstrends in der gesamten Stratosphäre einzugrenzen, Veränderungen in der Zusammensetzung der Stratosphäre zu verstehen und Verzerrungen in Klimamodellen zu beseitigen. Dies ist von entscheidender Bedeutung für ein besseres Verständnis der Auswirkungen des Klimawandels und der Projektionen von Klimamodellen sowie für die Bewertung potenzieller Strategien zur Bekämpfung des Klimawandels [1].

- [1] Garny, H., Ploeger, F., Abalos, M., Bönisch, H., Castillo, A., von Clarmann, T., Diallo, M., Engel, A., Laube, J. C., Linz, M., Neu, J., Podglajen, A., Ray, E., Rivoire, L., Saunders, L. N., Stiller, G., Voet, F., Wagenhäuser, T., Walker, K. A. (2024), Age of stratospheric air: Progress on processes, observations and long-term trends, *Reviews of Geophysics*, <https://doi.org/10.1029/2023RG000832>

Highlight 2: Wasseraufbereitung: Nanoröhren fangen Steroidhormone:

Steroidhormone gehören zu den verbreitetsten Mikroverunreinigungen im Wasser. Sie schaden der menschlichen Gesundheit und stören das ökologische Gleichgewicht von Gewässern. Es wurde untersucht, wie der Abbau von Steroidhormonen in einem elektrochemischen Membranreaktor mit Kohlenstoffnanoröhren-Membran funktioniert. Die Forschenden stellten fest, dass die Steroidhormone an den Kohlenstoff-Nanoröhren zunächst adsorbiert werden, wobei der nachfolgende Abbau nicht eingeschränkt wird [2].

- [2] Siqi Liu, David Jassby, Daniel Mandler & Andrea I. Schäfer (2024), Differentiation of adsorption and degradation in steroid hormone micropollutants removal using electrochemical carbon nanotube membrane. *Nature Communications* volume 15, Article number: 9524, <https://doi.org/10.1038/s41467-024-52730-7>

A.2.4.3.3 *Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen*

Zusammen mit den Stakeholdern sollen Fallstudien für lösungsorientierte Forschung definiert werden. (Topic 1)

Die frühzeitige und aktive Einbeziehung von Nutzenden bereits zu Beginn der Forschungsprojekte ist eine Voraussetzung für nachhaltige Lösungsansätze. Wie im PoF IV-Antrag dargelegt, bildet das Prinzip der „stakeholder inclusion“ eine Prämisse in den laufenden PoF-Aktivitäten mit der Integration von Akteuren aus dem wissenschaftlichen, öffentlichen und wirtschaftlichen Bereich. Aufgrund der Vielzahl von Projekten dieser Art kann im Anschluss nur auf wenige Beispiele eingegangen werden: (i) so hat das Topic 1 (zusammen mit Topic 5) 2021 die Koordinierung des SynCom-Pilotprojekts „Cities and climate change“ im Rahmen der Synthese-Plattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt (SynCom) übernommen. Ein wichtiger Zwischenschritt war ein parlamentarischer Abend im Deutschen Bundestag im Dezember 2022. Aufgrund der sehr positiven Transfer-Erfahrungen wurde 2024 ein weiteres SynCom-Projekt „Smart Management in Zeiten hydrologischer Extreme“ mit Start am 1. Januar 2025 initiiert. Neben der Einbindung der Politik spielt aber auch die frühzeitige Integration der Gesellschaft in die Forschung eine entscheidende Rolle – so wird im (ii) Citizen-Science-Projekt SMARAGD (Helmholtz-Pilot-Projekt) die Schadstoffverteilung in Köln untersucht, um die persönliche Schadstoffbelastung zu ermitteln und mit Gesundheitsdaten zu verknüpfen. (iii) Aufgrund der direkten Bedarfsmeldung der Kommunen in Baden-Württemberg wurde in den letzten vier Jahren ein Entscheidungsunterstützungssystem für die wissenschaftsbasierte Priorisierung und Standardisierung von kommunalen Klimaschutzmaßnahmen entwickelt – dieses wird jetzt in die praktische Umsetzung an ausgewählten Standorten übergeführt werden. Ein weiteres Beispiel für eine lösungsorientierte Forschung in enger Kooperation mit Stakeholdern stellt die (iv) Entwicklung eines klimaangepassten und regionsspezifischen Grünlandmanagement in Kooperation mit Länderbehörden (Bayern und Baden-Württemberg) dar. Darauf aufbauend werden Entscheidungshilfesysteme für Landwirtinnen und Landwirte entwickelt, die auch Aspekte einer verbesserten Kreislaufwirtschaft im Agrarbetrieb berücksichtigen. Die Operationalisierung der T1-Modellentwicklungen (gemeinsam mit den Stakeholdern) unterstreicht weiterhin unsere sehr praxisnahe Forschung. (v) Das am KIT entwickelte Modell LandscapeDNDC wird zurzeit für kommerzielle Nutzung lizenziert. In Zusammenarbeit mit Beratungsunternehmen wird angestrebt, Zertifizierungsprogramme zu entwickeln, die Richtlinien für die Bewertung und Zertifizierung der Kohlenstoffbilanz landwirtschaftlicher Systeme bereitstellen, mit LandscapeDNDC als Entscheidungstool für Entwicklung, Überwachung und Berichterstattung der Kohlenstoffzertifizierung in landwirtschaftlichen Systemen. (vi) Im Oktober 2023 ist die Staubensemblevorhersagen des DWD auf der Basis von ICON-ART operationalisiert worden. (vii) Seit März 2024 berücksichtigt das operationelle Wettervorhersagesystem des Deutschen Wetterdienstes (DWD) erstmals Mineralstaub-Aerosole in seinen gemischten Ensemble-Berechnungen – ein weltweit einzigartiger Ansatz. Das am KIT entwickelte ICON-ART-Modell verbessert so die Wettervorhersage in Deutschland, insbesondere die Prognose der solaren Strahlung, die für die Solarenergie entscheidend ist. Seit Januar 2024 ist der Modellcode als Open Source verfügbar, was Transparenz fördert und die internationale Zusammenarbeit in der Wetter- und Klimaforschung stärkt.

Es wird erwartet, dass die Modellierungsaktivitäten des Topic 1 entsprechend der Strategie zur Erdsystemmodellierung innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft und in Deutschland weiterentwickelt werden.

Auf Basis einer existierenden (internen) Modellierungsstrategie hat das Topic 1 seine Aktivitäten in diesem Bereich stetig weiterentwickelt. Diese Entwicklung fand im Rahmen des nationalen Erdsystem-Modellierungs-Strategie-Prozesses innerhalb des FB und der Helmholtz-Gemeinschaft statt. Im FB wurde an den als „Cross Topic Activity“ (CTA) etablierten Projekten „Digital Earth“ (DE) und „Advanced Earth System Modelling Capacity“ (ESM) des Programms partizipiert und wesentliche Beiträge geleistet. Verschiedene Projekte in der HMC und HAICU verstärken dabei auch die Zusammenarbeit mit anderen Zentren und Helmholtz Information. Aktuelle Modellierungsaktivitäten im Topic 1 sind gemäß der Modellierungsstrategie mit einer bewusst gewählten thematischen Breite angelegt (z.B. THG/Ökosystemmodellierung mit LandscapeDNDC, integrierte Landsystemmodellierung durch Kopplung von Modulen für Entscheidungsprozesse in der Landnutzung, Makroökonomie, Ökosystemprozesse, Biodiversität und Klimasystem: LandSyMM (Land System Modular Model, <https://landsymm.earth>, Federführung bei Topic 1), LPJ-GUESS und CRAFTY (Competition for Resources between Agent Functional Types, <https://landchange.imk-ifu.kit.edu/CRAFTY>) oder CLaMS für chemische Dynamik). Im Bereich der atmosphärischen Modellierung – auch unter Berücksichtigung der Luftzusammensetzung (Aerosol, Ozon etc.) – hat eine kontinuierliche Fokussierung auf ICON(-ART) stattgefunden (z.B. Beteiligung an der Governance (ICON Board), und eine enge Partnerschaft mit dem DWD, seit 2023 auch formal mit der Beteiligung im Hans-Ertel-Zentrum, HErZ).

Das strategische Ziel ist dabei, eine noch engere Zusammenführung von Messdaten und (im Rahmen eigener Entwicklungen verbesserten) Modellen zu erreichen. Dazu gehört die Konstruktion von flexiblen Vorwärtsoperatoren und Validierungsarbeitsflüssen sowie Formen der „Source-Receptor“-Modellierung bis hin zur vollständigen Datenassimilation. Gerade bei den Modellentwicklungsaktivitäten gibt es einen engen Austausch mit Helmholtz Information (z.B. gemeinsames Gatekeeping bei ICON-ART und Aspekte, die im JointLab ExaESM bzw. ITMS bearbeitet werden) und eine kooperative Anbindung an das Nationale Hochleistungsrechnen (NHR, <https://www.nhr.kit.edu/287.php>). Gleichzeitig liefert das Topic 1 wichtige Beiträge zum Aufbau des DataHubs und der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur für Erdsystemforschung (NFDI4Earth), welche für die fortschreitende Einbindung von Daten und KI-Methoden in die Modellierung essenziell sind.

A.2.4.3.4 Strategische Themen

Talentmanagement

Die Nachwuchsförderung und die Förderung der Chancengleichheit haben an den Instituten des KIT im CE-Programm eine hohe Priorität und Wertschätzung, was zahlreiche Aktivitäten und Entwicklungen im Berichtsjahr 2024 belegen. Nachfolgend sind einige dieser Maßnahmen kurz skizziert: Die Förderung bzw. Weiterbildung von Promovierenden erfolgt koordiniert über die Helmholtz-Graduiertenschulen GRACE („Graduate School for Climate and Environment“) am KIT in Karlsruhe und das IFU Graduate Program am Campus Alpin des KIT in Garmisch-Partenkirchen.

Zur Vernetzung der Promovierenden der Atmosphärenwissenschaften aus verschiedenen Instituten innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft gibt es die „ATMOchange PhD Days“. Hierbei handelt es sich um eine zwei- bis dreitägige Konferenz, die jedes Jahr von einem anderen Helmholtz-Zentrum in Deutschland ausgerichtet wird. Im Jahr 2024 fanden die Promovierenden-Tage vom 3. bis 5. Dezember in Karlsruhe statt. Es waren Promovierende aller am Topic 1 beteiligten Zentren vertreten. Insgesamt gab es 13 Vorträge und 11 Posterpräsentationen der Promovierenden sowie einen Keynote Talk zur Messkampagne Swabian MOSES 2023 von Dr. Annika Oertel sowie einen Workshop mit Schwerpunkt Wissenschaftskommunikation. Abendveranstaltungen (wie etwa ein gemeinsamer Besuch auf dem Karlsruher Weihnachtsmarkt) zur weiteren Vernetzung und Diskussion rundeten das Programm ab und inspirierten zur interdisziplinären Zusammenarbeit.

Des Weiteren ist das KIT intensiv an der Umsetzung des gemeinsamen FB EuU-Personalkonzepts beteiligt. In einer ersten Phase ist die Etablierung von vier der sieben zentrumsübergreifenden Bausteine geplant. Mit zielgruppenorientierten Angeboten für die Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler auf unterschiedlichen Karrierestufen (Promovierende, Postdocs, Führungskräfte) sowie für Mitarbeitende im Wissenschaftsmanagement und Personalentwicklungsabteilungen sollen die bestehenden etablierten Programme des KIT ergänzt und erweitert werden. Das KIT beteiligt sich außerdem an der Helmholtz-Aktivität COMPASS. COMPASS ist ein Mentoringprogramm im FB EuU für Postdocs sowie Wissenschaftsmanagerinnen und -manager. Ziel des COMPASS-Programms ist, die Teilnehmenden in ihrer persönlichen Karriereentwicklung und ihrer beruflichen Vernetzung innerhalb und außerhalb der Wissenschaft zu unterstützen.

Zur KIT-internen Abstimmung und Koordination dieses Teilbereichs besteht seit 2018 im FB EuU am KIT die Arbeitsgruppe Talentmanagement, in der diverse Organisationseinheiten (Institute für Meteorologie und Klimaforschung, IFU Graduate Program, GRACE, DE Personalentwicklung und berufliche Ausbildung (PEBA), Karlsruhe House of Young Scientists (KHYS) und CE-Management) zusammenarbeiten. Die Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit bestehenden Förder- und Weiterbildungsmöglichkeiten, deren FB-spezifischen Weiterentwicklungen sowie ergänzenden Maßnahmen. Auf Basis zweier Umfragen zur Bedarfsermittlung aus den Jahren 2021 und 2022 werden kontinuierlich neue Angebote entwickelt und organisiert, die den Wünschen und Anforderungen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT im FB EuU entsprechen. Von Ende Februar bis Mitte April 2024 wurden vier Webinare zum Thema „Bewerbungstraining für Nachwuchsforschende“ angeboten. Sie sollten den Teilnehmenden helfen, die richtigen Stellen zu identifizieren, erfolgreiche Bewerbungen vorzubereiten, sich gut zu präsentieren sowie Fehler zu vermeiden.

Vernetzung

Die Institute innerhalb des CE-Programms sind sowohl innerhalb der Wissenschaft als auch mit der Industrie sehr gut vernetzt. Dies zeigen die mehr als 50 wissenschaftlichen Kooperationen im Rahmen von nationalen und internationalen Förderprogrammen (z.B. Technische Universität München, Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik, University of Leeds, University of Cape Town) und die 40 Kooperationen mit Partnern aus Industrie und Wirtschaft (z.B. AXA, Sparkassen-Versicherung, Bilfinger Noell GmbH, Deutscher Wetterdienst, ESA). Erfolgreiche Kooperationen zeigen sich auch im Rahmen von Messkampagnen. Nachfolgend wird dies anhand von zwei Beispielen verdeutlicht.

Um den Klimawandel besser zu verstehen, ist die Untersuchung der oberen Atmosphäre wichtig, insbesondere auch die Einbringung von Luftschadstoffen durch Waldbrände in die Strato-

sphäre. Hierzu wurde im Juni 2024 die Messkampagne TRANSAT 2024 durchgeführt. Forschende des KIT (vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Spurengase und Fernerkundung - IMKASF) und des FZJ nutzen dafür das neu entwickelte Messgerät GLORIA-Lite, das nun erstmals mit einem Stratosphärenballon in 40 Kilometern Höhe flog. Auf seinem Flug von Schweden nach Kanada analysierte es über 20 verschiedene Moleküle und Aerosole von der Wolkenobergrenze bis zur Flughöhe, um die Prozesse in der oberen Atmosphäre zu erforschen und in Modellen abzubilden.

Am Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Aerosolforschung (IMKAAF) führte im Jahr 2024 eine Gastwissenschaftlerin vom Korean Institute of Science and Technology (KIST) zusammen mit dem AIDAd-Team vier erfolgreiche Messkampagnen mit Partnern aus aller Welt durch. Die jüngsten Experimente befassten sich mit der Eisnukleation und den Wolkenkondensationsprozessen von mineralischen Aerosolen aus Wüsten und Gischtaerosolen aus dem Meer. Diese Forschung erweitert die wissenschaftlichen Kenntnisse über wichtige atmosphärische Aerosolprozesse und trägt damit auch zur Verbesserung der Wolken-, Wetter- und Klimamodellierung bei. Der Besuch der KIST-Wissenschaftlerin hat neue Perspektiven zur Stärkung der Zusammenarbeit zwischen KIST und IMKAAF eröffnet. Die Forschungskooperationen in der AIDAd-Einrichtung werden auch weiterhin eine Plattform für die Förderung wissenschaftlicher Erkenntnisse und innovativer Entwicklungen auf globaler Ebene bieten.

Deutschland hat sich im Rahmen eines internationalen Abkommens zur Luftreinhaltung (NEC-Richtlinie) verpflichtet, die Ammoniakemissionen bis 2030 um 29 % zu reduzieren. Um dieses Ziel zu erreichen, dürfen flüssige organische und flüssige organisch-mineralische Düngemittel nur noch streifenförmig auf den Boden aufgebracht oder direkt in den Boden eingebracht werden. Diese Umsetzung der Düngeverordnung erfordert Investitionen in neue Ausbringungstechnik, die insbesondere für kleine landwirtschaftliche Betriebe eine große Herausforderung darstellen. Die nach Landesrecht zuständigen Behörden können alternative Verfahren zulassen, sofern diese zu vergleichbaren Reduktionen führen. Da kleine Milchviehbetriebe mit hohem Grünlandanteil in Südbayern häufig anzutreffen sind, wurde auf Anregung von Bauernverbänden vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung und Landwirtschaft ein Forschungsprojekt gefördert, um mögliche alternative Verfahren zu identifizieren. Dieses Projekt wurde von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und dem Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMKIFU) durchgeführt. In Abstimmung mit Vertretern der Landwirtschaft wurden die Ausbringung mit konventioneller Ausbringtechnik bei niedrigen Temperaturen, die Verdünnung der Gülle mit Wasser, die Ausbringung bei Regen und die Gülleseparierung untersucht. Die Landwirte wurden zu den Messkampagnen eingeladen, um die Zusammenarbeit und den Austausch zwischen Landwirten und Wissenschaft zu verbessern. Unter Berücksichtigung anderer publizierter Forschungsergebnisse wurde im Nachgang des Projekts in Bayern eine Allgemeinverfügung erlassen, die die Ausbringung wasserverdünnter Rindergülle bis zu einem Trockensubstanzgehalt von 4,6 % als alternatives Verfahren anerkennt.

Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

Eine zentrale Informationsschnittstelle zwischen Wissenschaft und der Öffentlichkeit, Kommunen bzw. Industrie des FB EuU am KIT stellt das Süddeutsche Klimabüro dar. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt dabei in der Kommunikation des Klimawandels und seiner regionalen Folgen mit den o.g. Interessengruppen. Seit 2022 wird im Süddeutschen Klimabüro das Projekt „Machbarkeitsstudie Kommunalen Klimaschutz am KIT“ durchgeführt. Hierin wird im engen Austausch mit der Kommunalwirtschaft und -verwaltung (vertreten durch die VKU-Landesgruppe Baden-Württemberg) sowie mehrere KIT-Institute (IMKTRO, Institut für Technikfolgen-

abschätzung und Systemanalyse (ITAS), Institut für Verkehrswesen (IFV), Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion (IIP), FORscience) und dem Bereich IV (Natürliche und gebaute Umwelt) das Potenzial einer wissenschaftsbasierten Priorisierung und Standardisierung von kommunalen Klimaschutzmaßnahmen erprobt. Ziel ist es, Kommunen auf dem Weg zu einer individuell angepassten Klimaschutzstrategie ein Produkt anzubieten, das für eine erfolgreiche Umsetzung einzelner Klimaschutzmaßnahmen möglichst viele Einflussfaktoren wissenschaftlich bewertet.

Ein weiteres wichtiges Element des Wissenstransfers am KIT ist das Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) – eine seit 2002 etablierte interdisziplinäre Forschungs- und Transfereinrichtung des KIT im Bereich Katastrophenanalyse und -management. So werden im Rahmen der Forensischen Katastrophenanalysen (FDA) aktuelle Katastrophen unmittelbar nach ihrem Entstehen bewertet, die Folgen abgeschätzt, die zeitliche Entwicklung nachverfolgt und die wichtigsten Faktoren identifiziert, die für die Auswirkungen maßgeblich sind. Die Analysen einzelner Ereignisse (z.B. Ahrtal-Hochwasser 2021) werden zeitnah der breiten Öffentlichkeit, aber auch Kommunen, Versicherungen, Hilfsorganisationen und der Wissenschaft zur Verfügung gestellt.

Zur weiteren Verknüpfung der Kompetenzen des KIT im Bereich Wissens- und Technologietransfer wurde am KIT Ende 2021 die Arbeitsgruppe „FB-EuU/KIT Transfer“ gegründet. Hier werden die Expertise aus unterschiedlichen Abteilungen des KIT (Verwaltung, Wissenschaft, Management) zusammengebracht, Zielgruppen und Defizite identifiziert sowie koordiniert neue Maßnahmen entwickelt bzw. implementiert.

Ein aktuelles Beispiel für einen erfolgreichen Technologietransfer stellt das von am KIT Forschenden mitentwickelte Lidarsystem AIRflows dar. Das AIRflows-Projekt des IMKTRO revolutioniert die flugzeuggestützte Windmessung durch die Nutzung einer innovativen Fünfstrahlkonfiguration. Diese ermöglicht eine deutlich höhere räumliche Auflösung (~100m), z.B. für Klimaforschung, Windenergie oder Flugsicherheit. Die Technik bietet eine leichte, effiziente und genaue Alternative zu herkömmlichen Instrumenten.

Seit März 2024 berücksichtigt das operationelle Wettervorhersagesystem des Deutschen Wetterdienstes (DWD) erstmals Mineralstaub-Aerosole in seinen gemischten Ensemble-Berechnungen. Das am KIT entwickelte ICON-ART-Modell verbessert so die Wettervorhersage in Deutschland, insbesondere die Prognose der solaren Strahlung, die für die Solarenergie entscheidend ist. Seit Januar 2024 ist der Modellcode als Open Source verfügbar, was Transparenz fördert und die internationale Zusammenarbeit in der Wetter- und Klimaforschung stärkt. Im Jahr 2024 fanden zahlreiche Workshops statt, darunter der Hydrological Modeling Workshop in Addis Abeba, der OUTLAST-Workshop zu globalen saisonalen Vorhersagen und der European Hail Workshop, die den Austausch zwischen Wissenschaft und Industrie fördern. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT im FB EuU halten zudem öffentliche Vorträge, wie den Abendvortrag am Naturkundemuseum Karlsruhe („Weltraumwetter und Planetenatmosphären: Von der Erde zu Exoplaneten“, 14. Oktober 2024), geben Interviews in Rundfunk und Fernsehen und engagieren sich in Gremien wie dem Klimasachverständigenrat Baden-Württemberg. Darüber hinaus richten sich die Transferaktivitäten auch an Kinder und Jugendliche, beispielsweise durch das Schulwaldprojekt „Educational forest research site where school kids learn how to measure tree growth“.

Drittmittelinwerbung

Die Helmholtz-Programmforschung wird durch Drittmittelprojekte thematisch ergänzt und in seinen Kapazitäten erweitert. Der FB EuU am KIT hat 2024 über 16 Mio. Euro Drittmittel ein-

geworben, was einer Steigerung von 9 % gegenüber 2023 entspricht. Derzeit sind 98 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler über externe Finanzquellen finanziert, was über 47 % der Kapazität ausmacht. Exemplarisch sollen nun einige der Drittmittelprojekte vorgestellt werden. Ein herausragendes Beispiel ist das vom KIT koordinierte und im Jahr 2024 gestartete Projekt KI-HopE-De, das mit 1,8 Mio. Euro vom BMBF gefördert wird. Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines ersten nationalen Hochwasservorhersagemodells für kleine Flüsse mithilfe von Maschinellem Lernen. Durch die Analyse großer Mengen an Daten aus verschiedenen Quellen – darunter Wetterprognosen, Pegelstände und geografische Informationen – sollen präzisere Vorhersagen und frühzeitige Warnungen ermöglicht werden. Ziel ist es, die Reaktionszeit bei Hochwasserereignissen zu verkürzen und sowohl die Bevölkerung als auch kritische Infrastrukturen besser zu schützen. Dabei kommen moderne KI-Algorithmen zum Einsatz, die Muster in den Daten erkennen und so fundierte Entscheidungshilfen für Behörden und Einsatzkräfte liefern. Das Projekt leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel und zur Erhöhung der Resilienz gegenüber extremen Wetterereignissen.

A.2.4.3.5 *Senatsempfehlungen*

Der Senat macht sich den ihm vorliegenden Vorschlag zur Bewertung des Programmfortschritts im Jahr 2024 zu eigen und beschließt ihn als seine Bewertung zum Programmfortschritt 2024. Er bestätigt damit den vorliegenden Controllingbericht des Präsidenten für das Jahr 2024.

A.2.4.4 *Strategische Initiativen*

A.2.4.4.1 *Resilient Urban Spaces*

Das Thema urbane Räume und ihre nachhaltige Entwicklung ist eines der zentralen Handlungsfelder der Bundesregierung und Teil der Forschungspolitischen Leitlinien des BMBF für die aktuelle PoF-Periode. Der Forschungsbereich Erde und Umwelt (FB EuU) hat vor diesem Hintergrund die systemische Forschung zu Nachhaltigkeit im urbanen Gebiet als eines von zehn Programmzielen verabschiedet. Im Juli 2021 bekam das Thema der Entwicklung nachhaltiger Räume durch niederschlagsbedingte Zerstörungen an Infrastrukturen und Gebäuden in mehreren Bundesländern und insbesondere Verletzten, Vermissten und Toten in bisher unvorstellbarem Ausmaß ungewollt große Aufmerksamkeit.

Die Topic-übergreifende Zusammenarbeit und Kommunikation im FB EuU (in Ergänzung zur bilateralen wissenschaftlichen Kooperation) zu diesem Thema wurde seit 2021 (Beginn PoF IV) durch verschiedene Formate gefördert und vorangetrieben. 2021 fand zunächst im Rahmen von Topic 4 und 5 ein erster Workshop zu Science-Society-Interactions statt, bei dem viele Anknüpfungspunkte zu den Themen Klimaanpassung und -mitigation in Städten offengelegt wurden. Im Juni 2022 wurde im nächsten Schritt unter Federführung des UFZ und des KIT ein Topic-übergreifender Workshop in Fulda durchgeführt – die Veranstaltung unterstrich das Potential des FB EuU, mit Hilfe eines systemischen Ansatzes einen „impact“ in Sachen „nachhaltige Stadtentwicklung“ leisten zu können (<https://earthenvironment.helmholtz.de/changing-earth/cross-cutting-activities/>). Parallel erfolgt über das SynCom-Projekt „Städte im Klimawandel“ die Intensivierung der Diskussion mit den Interessenvertretern aus

den Kommunen, Land und Bund mit dem Höhepunkt eines Parlamentarischen Abends zu diesem Thema im November 2022 im Berliner Bundestag. Im November 2023 wurde in einem weiteren Workshop wiederum in Fulda die Topic-übergreifende Diskussion weiter vorangetrieben. Die inhaltlichen Schwerpunkte lagen primär auf dem interdisziplinären Austausch zu einzelnen Zukunftsthemen der nachhaltigen Stadtentwicklung und ermöglichten eine systemische Betrachtung der Stadttransformation vor dem Hintergrund des Klimawandels. Neben Vertreterinnen und Vertretern aus der Wissenschaft war auch das BMBF an der Veranstaltung beteiligt. Das im Rahmen der Helmholtz Sustainability Challenge-Ausschreibung 2024 eingeworbene Satellitenprojekt „Urban Transformations towards Blue-Green Infrastructures“ mit Hereon, KIT und UFZ (Leitung) unterstreicht beispielhaft die immer enger werdende Zusammenarbeit.

Die o.g. inhaltlichen und strategischen Überlegungen haben in 2024 im Rahmen der PoF V-Aufstellung dazu geführt, dass das Thema „urbane Räume“ noch stärker adressiert wurde – im Ergebnis wurde beschlossen, im neuen PoF V-Programm des FB EuU das Thema „urban transformation“ als eines der neun Topics mit KIT als Topic-Sprecher zu etablieren. Erste Gespräche zur Entwicklung dieses Topics haben bereits 2024 stattgefunden, u.a. wurde der Schwerpunkt auch im Rahmen der General Assembly des FB Erde und Umwelt in Kiel im Oktober 2024 in einer eigenen Session weiterentwickelt.

A.2.4.4.2 Remote Sensing

Ziel der Co-operation Across Research Fields (CARF) „Remote Sensing“ ist eine beobachtungs-basierte integrierte Analyse des Erdsystems mit Satelliten, Ballonen, Flugzeugen und Bodenstationen. Die Initiative dient der Vernetzung im FB EuU und der Weiterentwicklung der strategischen Partnerschaft mit dem DLR bei Charakterisierung und Monitoring von Prozessen im Erdsystem (Landnutzung, Photosynthese, Ozean und Eis, Atmosphäre, Weltraumwetter). Im Oktober 2024 hat das KIT einen Workshop der CARF ausgerichtet, an dem Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aller beteiligten Zentren teilgenommen haben. Das KIT bringt weiterhin seine Aktivitäten im Bereich der Fernerkundung aktiv in die CARF ein. Dazu gehören unsere Fernerkundungs- und Validierungsnetzwerke (CoCCON, NDACC, Landoberflächentemperatur), bodengebundene Fernerkundung von Wolken und Aerosolen, Instrumentenentwicklung (primär GLORIA) sowie Arbeiten mit operationellen meteorologischen Satelliten. Die Aktivitäten sind unter anderem durch Beiträge zum stets in Fortentwicklung befindlichen White Book, eine Darstellung auf der gemeinsamen Projekthomepage (<https://carf-remotesensing.de/>) sowie Präsentationen beim genannten Workshop dokumentiert.

A.2.4.4.3 Extremes

Extremereignisse, die durch atmosphärische, hydrologische, geologische oder ozeanische Störungen verursacht werden, stellen eine Bedrohung für Gesellschaft, Infrastruktur und Umwelt dar und sind daher ein Fokus im Programm CE. Thematische Schwerpunkte sind Starkniederschläge, Überflutungen, Dürren, Hitzewellen, Starkwinde und Hagel. Diese werden im Hinblick auf ihre Dynamik, Vorhersagbarkeit und Klimaänderung mit einer Kombination aus Beobachtungen und gekoppelten hochauflösenden Modellen untersucht. Das neue SynCom-Projekt „Too much and yet not enough water: Smart management in times of hydrological extremes“ unter der Leitung von Prof. Dr. Harald Kunstmann und Prof. Dr. Peter Knippertz widmet sich spezifisch Herausforderungen rund um das Thema Wasser. Das neue InnoPool-Projekt ACTUATE („Climate Adaptation sCenarios To redUce the impacts of exTreme Events“,

Start 2025) unter der Leitung von Dr. Patrick Ludwig erforscht Klimaanpassungsszenarien, um potenzielle Auswirkungen zukünftiger Extremereignisse zu minimieren und entsprechende Anpassungsstrategien zu entwickeln.

A.2.4.4.4 REKLIM

Die Helmholtz-Initiative REKLIM nutzt die in der Helmholtz-Gemeinschaft gebündelte Kompetenz für regionale Beobachtungs- und Prozessstudien in Kombination mit Modellsimulationen zur Verbesserung von regionalen und globalen Klimamodellen, die eine solide Basis für klimabezogene Entscheidungshilfen bieten. Im Bereich der regionalen Modellierung wird das gemeinsame Modellsystem ICON in unterschiedlichen Konfigurationen als verbindendes Element eingesetzt. Der 14. REKLIM-Workshop (12.-14. März 2024, Bad Salzschlirf) zum Thema „Synthesizing regional aspects of climate change“ legte den Fokus auf die vielfältigen Forschungsergebnisse der verschiedenen Komponenten des Klimasystems und Regionen zu bündeln und bestmöglich zum Nutzen der Gesellschaft zu synthetisieren. Die REKLIM-Koordinationsstelle ist am AWI beheimatet, jedoch ist der gewählte wissenschaftliche Koordinator am KIT beschäftigt. In der an die PoF IV angepassten Struktur der REKLIM „Research Themes“ (RT) stellt das KIT auch einen der Themensprecher für den Bereich der Luftzusammensetzung (RT4).

A.2.4.4.5 DataHub

Die Zentren- und Topic-übergreifende Initiative DataHub im FB EuU verfolgt das Ziel, in konsequenter Umsetzung von Open Science und den FAIR-Prinzipien, den Zugang und das einfache Arbeiten mit Forschungsdaten Kompartimente-übergreifend zu ermöglichen. Entwicklung und Betrieb fokussieren sich auf die drei wichtigen Aufgaben i) Bereitstellung von dezentral gespeicherten Daten in dem integrierenden „Earth Data Portal“ (<https://www.earth-data.de>), ii) Bereitstellung von Werkzeugen zur Einbindung von Forschungsdaten in wissenschaftliche Arbeitsprozesse und Abläufe, sowie iii) Stärkung des systematischen Forschungsdatenmanagements im Forschungsbereich durch den Aufbau durchgängiger, digitaler Prozesse von der Datenerhebung bis zur Archivierung.

Der DataHub ist eng eingebettet in den Aufbau der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) sowie der European Open Science Cloud (EOSC). Darüber hinaus wird die Vernetzung mit anderen datenhaltenden Quellen im Bereich der Erdsystemwissenschaften, wie beispielsweise der nationalen Geodateninfrastruktur GDI-DE oder der nationalen Infrastruktur für marine Daten MDI-DE, vorangebracht.

Der DataHub wurde im November 2024 durch ein internationales Expertengremium evaluiert. Im Vorfeld wurde dazu ein gemeinsamer Bericht erstellt, der neben der Darstellung von Inhalten und Governance auch klare Zukunftsperspektiven enthält, wie Operationalisierung der entwickelten Komponenten, die weitere Integration bestehender Systeme oder die Förderung von Data-Science-Anwendungen auf Daten des DataHub. Das hervorragende Evaluationsergebnis attestiert dem DataHub einen entscheidenden Mehrwert für das Datenmanagement im gesamten FB Erde und Umwelt. Die Initiative wird uneingeschränkt zur Weiterfinanzierung empfohlen („We therefore fully endorse the continuation“). Flankiert wird das Ergebnis durch Empfehlungen zur Weiterentwicklung des DataHub, welche die vom DataHub vorgeschlagenen Zukunftsperspektiven aufgreifen und vollumfänglich unterstützen. Im Aufgreifen der Empfehlungen wird derzeit ein entsprechender Maßnahmenkatalog gemeinsam entwickelt.

Das KIT trägt inzwischen maßgeblich zur technologischen Weiterentwicklung des DataHub bei. So wird aktuell ein digitales und vernetztes Ökosystem entwickelt, das insbesondere die FAIRe, offene und konsistente Bereitstellung von Zeitreihendaten aus Beobachtungsinfrastrukturen wie TERENO (<https://www.tereno.net>) oder MOSES (<https://www.ufz.de/moses/>) ermöglichen soll.

Ein Kernelement dieses Ökosystems ist das kollaborativ entwickelte und u.a. vom KIT koordinierte Sensor Management System (SMS, <https://helmholtz.software/software/hub-terra-sensor-management-system>), das inzwischen erfolgreich an den Helmholtz-Zentren KIT, GFZ, UFZ und FZJ, dem British Oceanographic Data Center (BOCD) und auch Einrichtungen außerhalb der Forschung wie der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft betrieben wird. Das SMS dient hauptsächlich zur Erfassung und zum Management relevanter Sensor-Metadaten. Eine besondere Herausforderung besteht in der Entwicklung eines gemeinsamen, kontrollierten Vokabulars für die Auswahl der Einträge, das durch einen kontinuierlichen Kurationsprozess weiterentwickelt wird. Zusätzlich zur Erfassung ermöglicht das System die Publikation der Metadaten über persistente Identifikatoren (PID) in Zusammenarbeit mit dem Dienst der kollaborativen Dateninfrastruktur EUDAT B2INST (<https://b2inst.gwdg.de/>).

Auch bei der Entwicklung und Implementierung einer einheitlichen Datenschnittstelle für Sensordaten aus dem FB ist das KIT federführend. Im Rahmen des vom KIT koordinierten HMC-STAMPLATE Projekts (<https://helmholtz-metadaten.de/de/inf-projects/stamplate>) wird die sog. SensorThings API (STA) an allen Zentren des FBs integriert. Durch die Entwicklung eines einheitlichen Metadatenstandards, die Verknüpfung mit dem Sensor Management System sowie die Integration ins Earth Data Portal werden damit insbesondere Beobachtungsdaten systematisch und konsistent zur Verfügung gestellt. Auch hier finden erste Transfer-Aktivitäten statt, um dieses digitale Ökosystem auch außerhalb des FBs nutzbar zu machen.

Zudem entwickelt das IMK derzeit einen Metadaten-Standard für atmosphärische Daten für das gängige Datenformat NetCDF (Network Common Data Form), welches in Abstimmung mit HMC (Helmholtz Metadata Collaboration Plattform) und in Kooperation mit weiteren DataHub Zentren mit Anforderungen aus den anderen Kompartimenten (Terra und Mare) zu einem DataHub Standard für den Forschungsbereich ausgebaut werden soll.

Zur besseren Auffindbarkeit der Publikationen des IMK, werden die zentrumsinternen Repositorien (RADAR4KIT und KITopen) ausgelesen und die Metadaten der entsprechenden Beiträge in das Earth Data Portal integriert. Das am KIT entwickelte Datenkatalog-Framework CAT4KIT ermöglicht dank seines modularen und flexiblen Software-Stacks zudem die Integration von nicht-publizierten Forschungsdaten in das Earth Data Portal. Damit können nun auch vorläufige Forschungsdaten, die beispielsweise im Rahmen von Projekten gemeinsam genutzt und weiterverarbeitet werden, gemäß den FAIR-Prinzipien bereitgestellt werden.

A.2.4.4.6 *Helmholtz Foundation Model Initiative: HClimRep*

Das Projekt HClimRep („Helmholtz Representation Model for Climate Science“) startete 2024 unter Beteiligung des FZJ, KIT, Hereon und AWI und in enger Zusammenarbeit mit dem EU Horizon Projekt WeatherGenerator. Ziel des Projekts ist die Nutzung großskaliger Grundlagenmodelle (Foundation Models) aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz um der Forschungsgemeinschaft recheneffiziente und hochperformante Klimamodelle zur Verfügung zu stellen. Diese neue Generation von Modellen wird es ermöglichen, besser Unsicherheiten der globalen und regionalen Ausprägungen eines sich verändernden Klimas abschätzen zu können. Des Weiteren wird es möglich sein, eine große Zahl neuartiger „Was wäre wenn“-Szenarien zu untersuchen.

Mit seinem innovativen Ansatz will HClimRep eine weltweite Führungsrolle in der KI-gestützten Klimawissenschaft einnehmen und fundierte Entscheidungen bei der Klimaanpassung und -politik unterstützen. Der Beitrag des KIT zu HClimRep ist die korrekte Repräsentation von stratosphärischer Zirkulation und der Advektion von Spurengasen unter Zuhilfenahme hochaufgelöster ICON-ART Simulationen.

A.2.4.4.7 *Innovationspool*

SCENIC

Im Jahr 2024 ging das Projekt SCENIC („Storyline Scenarios of Extreme Weather, Climate, and Environmental Events along with their Impacts in a Warmer World“), an dem AWI, FZJ, GEOMAR, GFZ, KIT, UFZ und Hereon beteiligt sind, in sein letztes Förderungsjahr. Das Hauptziel des auf drei Jahre angelegten Projekts, das im Jahr 2022 begonnen hat, war die Entwicklung und Anwendung eines neuartigen Storyline-Ansatzes, um die Entwicklung einzelner Extremereignisse in einem sich wandelnden Klima zu untersuchen. Mit diesem Ansatz sollen die klassischen Klimaszenario-Methoden ergänzt werden. SCENIC hat zu den wissenschaftlichen Zielen des Programms Changing Earth – Sustaining our Future sowie zu dessen strategischem Ziel beitragen, indem es die Forschung zu einem Thema von hoher sozioökonomischer Relevanz integriert, koordiniert und harmonisiert. Es hat die Integration der Topics 1, 2, 4, 5 und 7 erleichtert und auf den Cross Cutting Activities des Programms (z.B. ESM, Hi-CAM, MOSES, EXTREMES und REKLIM) aufgebaut und zu diesen beigetragen.

Der Beitrag des KIT an SCENIC wurde durch drei Promotionsstellen und eine Postdoc-Stelle gewährleistet. Dabei wurden 1,0 FTE aus InnoPool-Mitteln und 2,4 FTE aus Eigenmitteln finanziert.

A.2.4.4.8 *Initiativen aus weiteren Pakt-Mitteln bis 2025*

Helmholtz KLIMA-Initiative (HKI)

Aufgabe der Helmholtz KLIMA-Initiative (HKI) ist es, die Erkenntnisse der klimarelevanten Forschung aller 18 Helmholtz-Zentren zusammenzuführen, neue interdisziplinäre Forschungsoperationen zu fördern und das gebündelte Wissen bedarfs- und transferorientiert auszugestalten. Diese Synthese-Arbeit wird von einem Austausch mit Stakeholdern aus Politik, Medien und der Wirtschaft begleitet – die Helmholtz KLIMA-Initiative vermittelt als Dialog-Plattform Wissen über bzw. Lösungen für die Herausforderungen des Klimawandels. Das KIT ist an verschiedenen laufenden zentrumsübergreifenden HKI-Projekten maßgeblich beteiligt, so z.B. am Projekt „Computergestützte Vorhersagesysteme für Extremereignisse“ oder „Netto-Null-2050 Reality-Check“.

A.3 Programmungebundene Forschung

A.3.1 Zusätzliche Themen innerhalb von Programmen

Die mit Mitteln der Programmungebundenen Forschung finanzierten Vorhaben sind in den Programmen integriert.

A.3.2 Themen außerhalb von Programmen

Die mit Mitteln der Programmungebundenen Forschung finanzierten Vorhaben sind in den Programmen integriert.

A.4 Wissens- und Technologietransfer (LK III)

Einleitung

Der Dienst an der Gesellschaft ist ein grundlegender Bestandteil der Mission des KIT. Als die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft sieht sich das KIT in der Verantwortung, über das eigene Handeln und die Verwendung der eingesetzten Mittel zu informieren, Erkenntnisse und Ergebnisse für Gesellschaft, Politik, Wirtschaft und Kultur zugänglich zu machen und ihre Bedeutung für Wohlstand, Lebensqualität und Wettbewerbsfähigkeit sichtbar zu machen. Das KIT berät gesellschaftliche und politische Institutionen und unterstützt die Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse in der Praxis. Als seine Verantwortung versteht das KIT, die eigenen Forschungsaktivitäten in Beziehung zu Bedarfen der Gesellschaft zu setzen und deren Folgen auch kritisch unter ethischen Gesichtspunkten zu hinterfragen. Transfer ist eine Kernaufgabe des KIT und bildet mit Forschung und Lehre eine gleichwertige Leistungsdimension. Das KIT greift aktiv aktuelle Entwicklungen und Bedarfe in der Gesellschaft auf und macht diese für Forschung, Lehre und Innovation gleichermaßen nutzbar. Zu diesem Zweck wurden international sichtbare Instrumente etabliert, u. a. zu Innovation und Technologietransfer, zur wissenschaftlichen Politikberatung, bei der öffentlichen Berichterstattung oder bei der Vermittlung von Grundlagen guter Wissenschaftskommunikation. Mit dem Begriff Transfer hat sich das KIT auch intensiv im Rahmen der Antragsstellung für den Exzellenzuniversitätsantrag „Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft | Living the Change“ im Jahr 2018 auseinandergesetzt und insbesondere das Thema Wissenstransfer weiterentwickelt und durch Maßnahmen wie die KIT Science Week gestärkt.

Am KIT ist der Transfer als Handlungsfeld fest in seiner strategischen Ausrichtung verankert. Seit Juni 2023 wird am KIT das Leitprojekt Transfer bearbeitet. Übergeordnetes Ziel ist es, eine für das KIT relevante Definition von Transfer zu entwickeln und eine Transferstrategie mit Zielen und Maßnahmen zu erarbeiten, die die bereits vorhandene Innovationsstrategie integriert. Basierend auf dem Transferbarometer des Stifterverbandes wird zudem ein für das KIT geeignetes Monitoringsystem für die Transferleistungen erarbeitet. Das Projekt wird im Laufe des Jahres 2025 abgeschlossen.

Für den Transfer in seiner ganzen Bandbreite sind am KIT wissenschaftliche Einrichtungen und professionelle Unterstützungsstrukturen vorhanden. Unterschiedliche Organisationseinheiten sowie Akteurinnen und Akteure sind an vielen Schnittstellen damit befasst, zielgruppen- und themenadäquate Transferformate zu gestalten und zu entwickeln. Die Dienstleistungseinheit Innovations- und Relationsmanagement (IRM) koordiniert die Innovationsaktivitäten am KIT und unterstützt die Bereiche, Institute, Programme und KIT-Zentren beim Technologietransfer in die industrielle Anwendung, der Sicherung von IP und dem Transfer von Schutzrechten sowie der Überführung einer Geschäftsidee in eine Gründung (siehe Kap. A.4.2). Die Abteilung Wissenstransfer und politische Beziehungen der Dienstleistungseinheit Stab und Strategie (STS-WT) bündelt die Wissenstransferaktivitäten des KIT und fördert die Vernetzung zwischen dem KIT und ausgewählten Akteuren wie der Politik oder auch kulturellen Einrichtungen.

Sämtliche Wissenstransfer-Aktivitäten finden auf verschiedenen Ebenen statt und dafür stehen die wissenschaftlichen Einrichtungen und die die Wissenschaft unterstützenden Dienstleistungseinheiten zur Verfügung. Zugleich sind alle Mitglieder und Angehörige Botschafterinnen und Botschafter des KIT und tragen auf diese Weise zu einer offenen Dialogkultur nach innen und außen bei. Das KIT sieht sich in der Verantwortung, die eigenen wissenschaftlichen

Aktivitäten in Beziehung zu Bedarfen der Gesellschaft zu setzen und Antworten auf die großen Zukunftsfragen zu geben, wie beispielsweise zur ressourcenschonenden Energie- und Rohstoffversorgung, nachhaltiger Mobilität und Digitalisierung. Dies gilt besonders auch für die Strategien zur Vermeidung und zur Anpassung an den Klimawandel. Das KIT kommuniziert dabei nicht nur Ergebnisse und Erkenntnisse der Wissenschaft, sondern auch über den Wissenschaftsprozess an sich.

A.4.1 Wissenstransfer

1. Strategische Verankerung des Wissenstransfers am KIT

Die gesellschaftliche Relevanz aller Aufgaben und Aktivitäten des KIT ist in seiner Mission verankert. Entsprechend ist der Dialog und Austausch mit Wirtschaft und Gesellschaft von großer Bedeutung bei der Wahrnehmung seiner Kernaufgaben in Forschung, Lehre und Innovation. Insbesondere bei der Beantwortung der großen Zukunftsfragen Digitalisierung, nachhaltige Energie- und Rohstoffversorgung, Mobilität und Klimawandel ist die Einbindung der Gesellschaft essenziell. Fragen, die die Gesellschaft betreffen und bewegen, greift das KIT auf und trägt damit aktiv dazu bei, die Wissenschaft und ihre Bedeutung für die Bewältigung großer globaler Herausforderungen im öffentlichen Bewusstsein fest zu verankern. Wissenstransfer ist ein wichtiges Element in der Strategie des KIT und wird ganz entscheidend durch die Institute und die KIT-Zentren sowie die Mitglieder und Angehörigen des KIT geprägt.

Die Personalressourcen, die in der zentralen Verwaltung für die Unterstützung der Wissenschaft in Wissenstransfer und politische Beziehungen verfügbar sind, sind in der Dienstleistungseinheit Stab und Strategie, Abteilung Wissenstransfer und politische Beziehungen verankert. Sie sind folgendermaßen aufgeteilt – je zwei Personen für den Wissenstransfer und die politischen Beziehungen.

<i>Arbeitsverträge „Wissenstransfer und politische Beziehungen“</i>	<i>VZÄ (gerundet)</i>
Grundfinanziert	2
Drittmittelfinanziert (BMBF, BMWK, HGF, Land BW und sonstige Einnahmen)	2

Als Knotenpunkte der vielfältigen und vielgestaltigen Wissenstransfer-Aktivitäten seien im Folgenden die wichtigsten Einrichtungen benannt, an denen die genannten Schwerpunkte verankert sind.

Insbesondere die neun KIT-Zentren, in denen die für das KIT zentralen interdisziplinären Forschungsschwerpunkte gebündelt sind, kommunizieren themenbezogen Ergebnisse aus Forschung, Lehre und Transfer zur weiterführenden Nutzung und Diskussion. Hier finden sich Ansprechpartnerinnen und -partner für Gesellschaft, Politik, Wirtschaft und Kultur.

- KIT-Zentrum Energie
- KIT-Zentrum Materialien in Technik und Lebenswissenschaften
- KIT-Zentrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik

- KIT-Zentrum Klima und Umwelt
- KIT-Zentrum Mobilitätssysteme
- KIT-Zentrum Information · Systeme · Technologien
- KIT-Zentrum Mathematik in den Natur-, Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften
- KIT-Zentrum Mensch und Technik
- KIT-Zentrum Gesundheitstechnologien

Darüber hinaus befassen sich das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), das Institut für Technikzukünfte (ITZ), das Karlsruhe Service Research Institute (KSRI) und das Institut für Informationswirtschaft und Marketing (IISM) – das zum 1. Januar 2025 in das Institute for Information Systems (WIN) und in das Institute for Customer Insights (CIN) aufgeteilt wurde – in ihrer Forschung mit dem Transfer und der Wechselwirkung von technologischen und gesellschaftlichen Entwicklungen. Außerdem verfügt das KIT mit dem Studium Generale. Forum Wissenschaft und Gesellschaft (FORUM) über eine zentrale wissenschaftliche Einrichtung, die in fachübergreifender Lehre kompetentes und reflektiertes Handeln an den Schnittstellen zwischen Wissenschaft, Technologie und Gesellschaft fördert, sozialwissenschaftliche Forschung zum Verhältnis zwischen Wissenschaft und Gesellschaft durchführt und öffentliche Veranstaltungen anbietet, die dem Austausch zwischen Studierenden, Forschenden, gesellschaftlichen Akteurinnen und Akteuren und der Öffentlichkeit dienen. Mit der zum 1. Oktober 2024 erfolgten Umbenennung des ZAK I Zentrum für Angewandte Kulturwissenschaft und Studium Generale in FORUM wird die inhaltliche Weiterentwicklung der Einrichtung in Forschung, Lehre und öffentlichen Veranstaltungen unterstrichen.

Wissenschaftliche Erkenntnisse und Ergebnisse sind für Politik und Gesellschaft wichtig, um tragfähige Entscheidungen für die großen gesellschaftlichen Herausforderungen treffen zu können. Damit steht die Wissenschaft in besonderer Verantwortung. Besuche von Vertreterinnen und Vertretern aus der Politik sind am KIT ein etabliertes Format, um dieser Verantwortung gerecht zu werden und über die Forschungstätigkeiten zu informieren, ausgewählte Forschungsprojekte vorzustellen und mit den Gästen aus der Politik in den Dialog zu treten. 2024 besuchten erneut zahlreiche Abgeordnete, Staatssekretärinnen und -sekretäre sowie Ministerinnen und Minister des Landes Baden-Württemberg und des Bundes sowie internationale Botschafterinnen und Botschafter, Generalkonsulinnen und -konsule das KIT, um sich über verschiedene Forschungsthemen zu informieren (s. Kap. „Hochrangige Besuche am KIT“). Insgesamt fanden rund 20 Besuche von Abgeordneten, Staatssekretärinnen und -sekretären sowie Ministerinnen und Ministern von Bund und Land sowie rund zehn Besuche von internationalen Gästen aus der Politik statt. Über aktuelle Forschungsprojekte im Bereich Mobilität informierten sich am 12. Januar 2024 etwa der baden-württembergische Ministerpräsident Winfried Kretschmann, Wissenschaftsministerin Petra Olschowski und Verkehrsminister Winfried Hermann. Im Fokus stand der InnovationsCampus Mobilität der Zukunft (ICM), in dem das KIT und die Universität Stuttgart gemeinsam an zukunftsfähigen Mobilitäts- und Produktionslösungen arbeiten. Am 1. Februar 2024 sprach der baden-württembergische Finanzminister Dr. Danyal Bayaz in einem Vortrag vor Studierenden und Mitarbeitenden des KIT über „Finanzpolitik in herausfordernden Zeiten“. Um sich ein Bild von der Fusionsforschung am KIT zu machen, besuchte Petra Olschowski gemeinsam mit dem Karlsruher Landtagsabgeordneten Alexander Salomon am 13. Februar 2024 das Fusionsmateriallabor des Instituts für Angewandte Materialien (IAM). Der Bundesminister für Digitales und Verkehr Dr. Volker Wissing informierte sich am 1. März 2024 über aktuelle Ergebnisse und laufende Projekte in der Mobilitäts- und Energieforschung. Im Mittelpunkt des Besuchs standen das KIT-Zentrum Mobilitätssysteme sowie das Energy Lab. Im Rahmen ihrer Start-up Tour besuchte Petra Olschowski

am 27. März 2024 erneut das KIT, um sich über Förder- und Unterstützungsmöglichkeiten von forschungsbasierten Ausgründungen sowie die Transfer- und Gründungsaktivitäten des KIT zu informieren. Dr. Hans J. Reiter, Ministerialdirektor und Amtschef im Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg besuchte bei der Hannover Messe 2024 den Stand des KIT, um sich über aktuelle Forschungsthemen zu informieren. Im Zuge seiner Sommertour besuchte Kai Gehring, Vorsitzender des Bundestagsausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung am 22. Juli 2024 das KIT. Gemeinsam mit Alexander Salomon besuchte er das Energy Lab, um sich über aktuelle energiepolitische Themen auszutauschen. Außerdem informierten sich Kai Gehring und Alexander Salomon im Rahmen ihres Besuches über das Verbundprojekt NECOC (Negative Emissions through converting Carbon diOxide to Carbon), in dem das klimaschädliche Treibhausgas CO₂ in wirtschaftlich verwertbares Carbon Black umwandelt wird. Staatssekretär Dr. Andre Baumann vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg besuchte am 6. August 2024 das Institut für Massivbau und Baustofftechnologie (IMB) und die Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Karlsruhe (MPA Karlsruhe). Bei dem Besuch stand der Austausch zu Projekten und aktuellen Themen mit dem Schwerpunkt „Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft im Betonbau“ im Vordergrund. Um sich über aktuelle Forschung im Bereich der Gesundheitstechnologien zu informieren, besuchten der baden-württembergische Minister für Soziales, Gesundheit und Integration, Manfred Lucha, und der Karlsruher Oberbürgermeister Dr. Frank Mentrup am 14. August 2024 das KIT-Zentrum Health Technologies (HealthTech). Die Vorsitzende des Bundestagsausschusses für Wohnen, Stadtentwicklung, Bauwesen und Kommunen, Sandra Weeser besuchte am 28. August 2024 das KIT-Zentrum Klima und Umwelt und die Kreislauffabrik am wbk Institut für Produktionstechnik, um sich über die aktuelle Forschung in den Bereichen Klima und Umwelt sowie die Arbeiten zur Kreislaufwirtschaft in der Produktionstechnik zu informieren. Am 1. Oktober 2024 besuchten Parlamentarierinnen und Parlamentarier aus der Landtagsfraktion von Bündnis 90/DIE GRÜNEN in Bayern das KIT. Dabei machte sich der Arbeitskreis „Gesellschaftlicher Zusammenhalt“ ein persönliches Bild von den Aktivitäten der InnovationsCampus-Modelle Nachhaltigkeit und Mobilität. Anlässlich der feierlichen Amtseinführung des neuen Präsidenten Jan S. Hesthaven besuchte die baden-württembergische Wissenschaftsministerin Petra Olschowski am 4. Dezember 2024 das KIT. Ebenfalls im Beisein der baden-württembergischen Wissenschaftsministerin wurde am 5. Dezember 2024 die Karlsruhe School of Education (KSE) feierlich eröffnet. Mit der Gründung der KSE intensivieren das KIT und die Pädagogische Hochschule Karlsruhe (PHKA) ihre langjährige und erfolgreiche Zusammenarbeit. In der gemeinsamen wissenschaftlichen Einrichtung werden neue Ideen und Impulse für die Lehrkräftebildung entwickelt und die Zusammenarbeit in Studium und Lehre, Forschung und Nachwuchsförderung sowie Transfer ausgebaut.

Seit 1990 betreibt das ITAS im Auftrag des Deutschen Bundestages das Büro für Technikfolgen-Abschätzung (TAB). Der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages hat einstimmig beschlossen, dass das TAB bis zum 31. August 2028 vom ITAS weiter betrieben wird.

Mit dem Karlsruher Transformationszentrum für Nachhaltigkeit und Kulturwandel (KAT) verfügt das KIT über eine weitere Einrichtung, die an der Schnittstelle von Wissenschaft und Gesellschaft agiert. Den institutionellen Hintergrund des KAT bildet das ITAS. Außerdem ist am KAT eines von insgesamt sechs Reallaboren des KIT beheimatet – das Reallabor „Quartier Zukunft – Labor Stadt“

Im Department Wissenschaftskommunikation des ITZ gehören neben der Studierendenausbildung auch Forschungsprojekte zur Kommunikation in und über Wissenschaft zum Profil. Begleitend zu den Forschungsschwerpunkten setzt die Abteilung innovative Projekte aus der

Praxis der Wissenschaftskommunikation um. Im Fokus stehen hierbei die Erprobung neuer Formate sowie Berufs- und Forschungsfelder der Wissenschaftskommunikation.

Mit dem Nationalen Institut für Wissenschaftskommunikation (NaWik) ist in Karlsruhe ein bundesweit einzigartiges Institut angesiedelt, das auf dem Gebiet Wissenschaftskommunikation forscht und professionelle Kommunikations- und Medientrainings für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bietet. Gesellschafter sind die Klaus Tschira-Stiftung und das KIT. Das Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt (FTU) bietet neben internen Fortbildungen auch Kurse, Seminare und Praktika für Teilnehmende mit unterschiedlicher Vorbildung aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung, aber auch für die Öffentlichkeit an. Ursprünglich für den Ausbildungsbedarf der Wissenschaft und Wirtschaft in Reaktorphysik, Kerntechnik und Strahlenschutz gegründet, spielen heute u.a. Umweltschutz, neue Technologien und die breite Informationsvermittlung eine gleichgewichtige Rolle. Mehr als 40 Weiterbildungsangebote pro Semester veranstaltet die Akademie für Wissenschaftliche Weiterbildung Karlsruhe e.V. (AWWK) zu den Fachgebieten Naturwissenschaft, Technik und Gesundheit sowie den geisteswissenschaftlichen Disziplinen wie Geschichte, Philosophie, Literatur- oder Musikwissenschaft. Das Angebot richtet sich an alle Bildungsinteressierten, vor allem an Personen, die nach ihrem Berufsleben eine wissenschaftliche Bildung anstreben und an Interessierte, die neben ihrem Beruf weitere Interessensgebiete wissenschaftlich vertiefen möchten. Das KIT sieht auch den Transfer qualifizierter Absolventinnen und Absolventen sowie Expertinnen und Experten aus Universitäten und weiteren Forschungseinrichtungen in Gesellschaft, Politik, Wirtschaft und Kultur als wichtigen Beitrag für die Zukunftsfähigkeit der Gesellschaft an und bietet neben grundständigen Bachelorstudiengängen und konsekutiven Masterstudiengängen auch weiterbildende Masterstudiengänge an. Mit der HECTOR School bietet das KIT gemeinsam mit der International Department gGmbH sowohl Weiterbildungsmasterstudiengänge als auch Kurse an, die mit einem Zertifikat abschließen.

Die Dienstleistungseinheit Stab und Strategie (STS) ist verantwortlich für die zentrale Kommunikation des KIT nach innen und außen. Hier ist auch die Koordination des Wissenstransfers strategisch verortet, ebenso die Mitwirkung im Arbeitskreis Presse und Kommunikation sowie im 2018 gegründeten Helmholtz-Arbeitskreis „Wissenstransfer“. Außerdem werden eigene Wissenstransfer-Formate entwickelt und koordiniert, wie z. B. das Format der „KIT Science Week“, die seit 2021 im zweijährigen Turnus eine hochkarätige wissenschaftliche Konferenz mit vielfältigen Veranstaltungen und dialogischen Formaten für die Öffentlichkeit kombiniert. Die nächste KIT Science Week findet im Oktober 2025 unter dem Motto „Stadt der Zukunft“ statt. In der Wissenschaftskommunikation berichtet die Abteilung STS-Gesamtkommunikation (STS-GK) zielgruppenbezogen und multimedial über aktuelle Ergebnisse aus der Spitzenforschung des KIT, greift Leistungen in Lehre und Transfer auf und macht die profilschärfenden Themen des KIT einer breiten Öffentlichkeit und weiteren Stakeholdern wie Presse und Politik zugänglich. Jährlich gehen etwa 600 Medienanfragen zu Themen aus Forschung, Lehre und Innovation bei der Gesamtkommunikation des KIT ein. Im Jahr 2024 wurde das KIT in deutschsprachigen Printmedien in über 18.100 Artikeln sowie außerdem in rund 20.000 Online-Artikeln genannt. Das Forschungsmagazin lookKIT erscheint vierteljährlich mit einer Auflage von 12.000 Exemplaren, nimmt große strategische Themen aus dem KIT in den Blick und fördert den Austausch des KIT mit seinen Stakeholdern in Wissenschaft, Gesellschaft, Politik und Wirtschaft. Multimediale Themenhighlights auf der Homepage bieten auf vielfältige Weise Einblicke und fungieren als Schaufenster der aktuellen Forschung, der Lehre und des Transfers des KIT. Die Homepage des KIT wurde in den letzten Jahren mehr und mehr zum digitalen Dreh- und Angelpunkt für alle Informationen aus dem KIT ausgebaut. Mit 107 Presseinformationen, einem monatlichen Newsletter für die Medien sowie einem Expertinnen- und Experten-

portal zur Vermittlung kompetenter Ansprechpersonen bietet das KIT zudem ein zielgerichtetes Portfolio für die Medien an und unterstützt Journalistinnen und Journalisten bei der Recherche. Zu tagesaktuellen Themen veröffentlicht STS-GK Einschätzungen von Expertinnen und Experten des KIT. Neben Wissenschaftsvideos und regelmäßigen Podcasts konnte das KIT seine Reichweite in den sozialen Medien erneut steigern. Mehr als 154.500 Menschen folgen dem KIT auf LinkedIn, rund 43.400 auf Facebook. Den Instagram-Account des KIT abonnieren rund 32.300 Personen. Rund 9.500 Abonnentinnen und Abonnenten zählt der YouTube-Kanal des KIT. Der Mastodon-Account des KIT war auch 2024 mit rund 3.000 Followern der reichweitenstärkste aller deutschen Hochschulen. Seinen Account auf der Plattform X hat das KIT im Dezember 2024 stillgelegt und im Februar 2025 endgültig abgeschaltet.

2. Highlights aus dem Wissenstransfer

Aus der Vielzahl an Wissenstransfer-Aktivitäten am KIT sollen folgende Leuchtturm-Initiativen und -Aktivitäten hervorgehoben werden:

Real:labor Festival

Mit seinen Reallaboren bezieht das KIT die Menschen auf direktem Weg in die Forschung und Entwicklung mit ein. Gemeinsam werden hier neue Technologien für die großen Transformationsthemen wie dem autonomen Fahren, der Robotik, dem Klimaschutz oder der Energiewende erprobt. Darüber, was die Reallaborforschung ausmacht und wie man sich beteiligen kann, informierten sich rund 700 interessierte Gäste. Veranstaltet wurde das Real:labor Festival, das vom 2. bis 6. Juli 2024 stattfand, vom TRIANGEL Transfer | Kultur | Raum in Zusammenarbeit mit dem ITAS sowie dem KIT-Zentrum Mensch und Technik (MuT).

Studio Quantum: Quantentechnologie in Kunst und Wissenschaft

Die Quantenphysik revolutioniert seit ihren Anfängen die Ideenwelt der Wissenschaft. In letzter Zeit versprechen Technologien wie der Quantencomputer neue Innovationsschübe. Doch für die meisten bleibt die Wissenschaft der Quanten komplex. Ein Residency-Programm und eine Veranstaltungsreihe am Zentrum für Kunst und Medien (ZKM) in Kooperation mit dem Goethe-Institut Irland und dem ITAS möchte hier für mehr Klarheit sorgen. Wie die Kunst dabei helfen kann, das abstrakte Thema Quantenforschung besser zu verstehen, untersucht das vom Goethe-Institut Irland entwickelte Residency-Programm „Studio Quantum“. Ziel ist es dabei, Verbindungen zwischen Künstlerinnen und Künstlern sowie Partnerinnen und Partnern aus Kultur und Wissenschaft, dem Bildungssektor und der Tech-Branche zu schaffen. Im öffentlichen Austausch soll so ein nachhaltiger Dialog zum Thema Quantentechnologie und Kunst gefördert werden.

Eröffnung von „Karl9 – Wissenschaftslokal für Technik und Gesellschaft“

Wie können wir mit künstlicher Intelligenz umgehen, dass sie unsere Demokratie stärkt, statt sie zu gefährden? Wie können wir Roboter so in unseren Alltag einbinden, damit uns mehr Zeit für Zwischenmenschliches bleibt? Solche Fragen stellen sich dort, wo Technikentwicklung auf Gesellschaft trifft. Wenn sich Forschende des ITAS mit diesen Fragen beschäftigen, berücksichtigen sie die Perspektive derjenigen, die in ihrem Alltag Technologien verwenden oder von ihrer Anwendung betroffen sind – die Bürgerinnen und Bürger.

Am 15. April 2024 wurde das Karl9 – Wissenschaftslokal für Technik und Gesellschaft mit einer Mitmachausstellung eröffnet. Im Herzen der Karlsruher Innenstadt gelegen und barrierefrei gestaltet bietet das Wissenschaftslokal interessierten Bürgerinnen und Bürgern zu festen Öffnungszeiten einen Raum, um sich zu informieren, die Mitmach-Exponate auszuprobieren oder mit Forschenden ins Gespräch zu kommen. Auch finden hier regelmäßig Workshops, Diskussionsformate und Vorträge statt. Ziel ist der kontinuierliche Dialog mit den Bürgerinnen und Bürgern.

70 Jahre CERN

Deutschlandweit sind über 1.000 Menschen an Universitäten und Forschungseinrichtungen an der Forschung des Genfer Forschungszentrums CERN beteiligt, so auch zahlreiche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT. Anlässlich des 70-jährigen Bestehens des CERN veranstaltete das KIT-Zentrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik (KCETA) vom 19. bis 21. September 2024 ein vielfältiges Programm zur Teilchen- und Astroteilchenphysik, um die Forschung zu den Ursprüngen unseres Universums zu entdecken. Im TRIANGEL Transfer | Kultur Raum und im InformatiKOM am KIT boten die Veranstaltenden ein interaktives Erlebnis für Besucherinnen und Besucher jeden Alters, das die faszinierende Welt der Teilchenphysik und die Rolle des CERN in der Wissenschaft beleuchtete.

Den Auftakt bildete die Open-Air-Vorführung des Films „Teilchenfieber“, der die Entdeckung des Higgs-Bosons dokumentiert. Dieses Ereignis gilt als einer der bedeutendsten wissenschaftlichen Durchbrüche des CERN. Nach dem Film hatten die Zuschauerinnen und Zuschauer Gelegenheit, sich mit Forschenden aus Karlsruhe auszutauschen und tiefer in die spannenden Erlebnisse und Herausforderungen der Teilchenphysik einzutauchen. Ein weiteres Highlight stellte die Podiumsdiskussion über die Bedeutung der Grundlagenforschung und deren gesellschaftliche Auswirkungen dar. Diese Diskussion bot wertvolle Einblicke in den Beitrag der Teilchenphysik zur Wissensgesellschaft und ihre Rolle in der Lösung globaler Herausforderungen. Der Abend zeigte, dass Grundlagenforschung, wie sie am CERN verfolgt wird, nicht nur technische Errungenschaften, sondern auch ethische und soziale Fragen umfasst.

Als besonderes Highlight für die Öffentlichkeit wurde zu einem Experimentiertag für Familien eingeladen. Verschiedene Stationen ermöglichten es, Teilchenphysik spielerisch zu entdecken und Wissenschaft verständlich und spannend zu erleben. Beim „Wohnzimmergespräch“ konnten die Besucherinnen und Besucher direkt mit den Forschenden ins Gespräch kommen und erhielten faszinierende Einblicke in deren Arbeit. Abgerundet wurde das Jubiläums-Programm mit der humorvollen Late-Night-Wissensshow „STULLE – wissenschaftlich belegt“, die in Kooperation mit den „Tagen der Demokratie“ stattfand.

3. Weitere Wissenstransfer-Aktivitäten 2024

Orientiert an dem Paktbericht der Helmholtz-Gemeinschaft umfasst die Tabelle Wissenstransfer-Initiativen und Informationsdienste sowie eine Übersicht zu nicht-institutionalisierten Aktivitäten für das Jahr 2024.

Wissenstransfer-Initiativen

Name der Wissenstransfer-Initiative und ggf. URL der Web-Seite	Kurzbeschreibung der Wissenstransfer-Initiative
Expertinnen und Experten des KIT https://www.sts.kit.edu/expertinnen-und-experten-des-kit.php	Zu den Forschungsthemen des KIT finden Medienschaffende hier die passenden Ansprechpersonen. Die Expertinnen und Experten liefern Hintergrundwissen und ordnen Themen ein, die Bürgerinnen und Bürger, Medien, Wissenschaft, Wirtschaft und Politik besonders beschäftigen.
TRIANGEL Transfer Kultur Raum https://www.triangel.space/	Ein Ort für Inspiration, Kreativität, Austausch und Zusammenarbeit an der Schnittstelle von Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft.
Vorbereitung KIT Science Week 2025 , Thema: Stadt der Zukunft https://www.scienceweek.kit.edu/index.php	Die KIT Science Week kombiniert eine hochkarätige wissenschaftliche Konferenz mit Veranstaltungen für die Öffentlichkeit. Dialogische Formate ermöglichen zudem den intensiven Austausch mit Bürgerinnen und Bürgern. Dabei arbeitet das KIT eng mit der Stadt und weiteren regionalen Akteuren zusammen.
Wissenswochen https://www.triangel.space/wissenswochen/	Im Rahmen der WISSENSWOCHEN werden abwechselnde Leitthemen aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet. Mit kreativen Formaten und zielgruppenspezifischen Herangehensweisen werden aktuelle Diskurse für die Öffentlichkeit erlebbar und nachvollziehbar.
Energy Lab https://www.elab.kit.edu/index.php	In Europas größter Forschungsinfrastruktur für erneuerbare Energien erproben Forschende intelligent verknüpfte Energienetze der Zukunft sowie neue Speichermethoden. Das in Deutschland einzigartige Reallabor liefert so Erkenntnisse über den nachhaltigen Umbau unseres Energiesystems, einem wesentlichen Baustein, um den Klimawandel erfolgreich zu bremsen.
Dein BalkonNetz – Energie schafft Gemeinschaft https://www.itas.kit.edu/projekte_boeg20_debane.php	Im Zuge des Projekts „Dein BalkonNetz – Energie schafft Gemeinschaft“ erhalten Bürgerinnen und Bürger die Möglichkeit, sogenannte Photovoltaik-Balkonmodule kostenfrei zu nutzen und selbst ihre Energie zu gewinnen. Die Teilnehmenden agieren während des Projekts als Experimentierende und werden während der gesamten Laufzeit forschersch begleitet.
KIT im Rathaus https://www.forum.kit.edu/5025.php	Pro Semester präsentiert ein KIT-Zentrum seine Forschung der Öffentlichkeit. Das Ziel der Veranstaltung ist es, eine Verbindung zwischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern einerseits und Bürgerinnen und Bürgern andererseits zu schaffen und so den Austausch zwischen Wissenschaft und der Karlsruher Öffentlichkeit zu fördern. Die Vorträge der Forschenden richten sich an alle Interessierten, besonders auch an Schülerinnen und Schüler.

Name der Wissenstransfer-Initiative und ggf. URL der Web-Seite	Kurzbeschreibung der Wissenstransfer-Initiative
Karlsruher Umweltimpulse https://www.klima-umwelt.kit.edu/1748.php	Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik beleuchten in einer spannenden Podiumsdiskussion ein sich jährlich abwechselndes Thema unserer Zeit. Im Anschluss an die Podiumsdiskussion können Fragen aus dem Publikum gestellt und mit den Expertinnen und Experten diskutiert werden, um neue Impulse in Umweltthemen zu erhalten.
KATRIN 360° virtuelle Führung (in Partnerschaft mit dem NaWik) https://vr.nawik.de/	Virtuelle Erkundung des Karlsruhe TRItium Neutrino (KATRIN) Experiments an fünf Standorten in 360° Rundumsicht.
Netzwerk Teilchenwelt , Masterclasses zur Astroteilchenphysik https://www.teilchenwelt.de/ueber-uns/standorte/karlsruher-institut-fuer-technologie-kit/	Zusammenschluss von etwa 200 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern an mehr als 30 Universitäten und Forschungsinstituten in Deutschland, die zur Physik der kleinsten Teilchen forschen. Ziel des Netzwerk Teilchenwelt ist es, das faszinierende Forschungsgebiet anderen zugänglich zu machen und Jugendlichen und Lehrkräften Teilhabe an der Forschung zu ermöglichen.
Mitwirkung und Beteiligung am Strategiedialog Automobilwirtschaft Baden-Württemberg https://stm.baden-wuerttemberg.de/de/themen/strategiedialog-automobilwirtschaft/	Der Strategiedialog Automobilwirtschaft Baden-Württemberg eröffnet branchenübergreifend Innovationspotenziale und initiiert Projekte, Maßnahmen und Konzepte, die den Transformationsprozess der baden-württembergischen Automobilindustrie stärken.
Förderstipendium Simulierte Welten https://www.scc.kit.edu/forschung/11727.php	Das Scientific Computing Center (SCC) am KIT hat sich zum Ziel gesetzt, zur Förderung besonders begabter Schülerinnen und Schüler beizutragen. Im Rahmen des Projekts „Simulierte Welten“ dürfen Schülerinnen und Schüler ab der zehnten Jahrgangsstufe an einem Projekt aus dem Informatik- und Naturwissenschaftlichem Bereich am SCC arbeiten. Betreut werden sie dabei von einer Wissenschaftlerin oder einem Wissenschaftler. Zur Auswahl stehen verschiedene Themen aus den Bereichen Simulation, Hochleistungsrechnen und Big Data. Dies beinhaltet die Möglichkeit, an einem der 500 weltweit schnellsten Supercomputer zu arbeiten.
Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt (FTU) https://www.fortbildung.kit.edu/	Das FTU des KIT bietet neben internen Fortbildungen, auch Formate für Teilnehmende mit unterschiedlicher Vorbildung aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung, aber auch für die Öffentlichkeit an.
Karlsruher Transformationszentrum für Nachhaltigkeit und Kulturwandel (KAT) https://www.transformationszentrum.org/index.php	Das KAT unterstützt Menschen, Kommunen und Organisationen, die sich auf den Weg in eine nachhaltigere Zukunft machen, bei ihren Wandlungsprozessen und begleitet sie aktiv bei ihrer täglichen Arbeit. Neben diversen Hochschulen, Unternehmen und NGOs hat das KAT bereits Städte wie Freiburg, Karlsruhe und Braunschweig bei ihren Bemühungen um mehr Nachhaltigkeit beraten und begleitet.

Name der Wissenstransfer-Initiative und ggf. URL der Web-Seite	Kurzbeschreibung der Wissenstransfer-Initiative
Karlsruher Reallabor Nachhaltiger Klimaschutz (KARLA) https://www.reallabor-karla.de/index.php	Das Reallabor KARLA bringt den Klimaschutz stärker in die Gesellschaft und erforscht ausgewählte Klimaschutzmaßnahmen in Karlsruhe. Daran arbeitet das KIT gemeinsam mit der Stadt Karlsruhe, der Hochschule Karlsruhe und zahlreichen weiteren Beteiligten. Für die Transformationsexperimente wurden fünf Themenfelder ausgewählt: Klimaschonendes berufliches Reisen, nachhaltiger Klimaschutz im Bauwesen, Fachkräfte für den Klimaschutz, klimafreundliche Kantinen und automobilfreie Mobilität und Lebensqualität.
Netzwerk Reallabore der Nachhaltigkeit https://www.reallabor-netzwerk.de/index.php	Seit 2019 ist das Netzwerk „Reallabore der Nachhaltigkeit“ Anlaufstelle für alle, die sich für Reallabore und die nachhaltige Entwicklung unserer Gesellschaft interessieren. Die Mission des Netzwerks ist es, die einzelnen Akteure besser zu vernetzen und dadurch Synergien zu schaffen.
Quartier Zukunft – Labor Stadt https://www.quartierzukunft.de/	Seit 2012 erforscht das Team vom Reallabor Quartier Zukunft gemeinsam mit Bürgerinnen und Bürgern in Karlsruhe, wie eine nachhaltigere Stadt in Einklang mit der Umwelt gestaltet werden kann. Wissenschaft und Gesellschaft suchen, erproben und erforschen gemeinsam, wie in einem Stadtquartier eine Kultur der Nachhaltigkeit entstehen und gelebt werden kann – und dabei Mitwelt, Umwelt und Nachwelt mitgedacht wird. Umgesetzt wird das Projekt in der Karlsruher Oststadt.
Mobiles Partizipationslabor (MobiLab) https://www.mensch-und-technik.kit.edu/1125.php	Das „MobiLab“ ist 2021 als mobiles Partizipationslabor in Form eines Tiny House durch eine Kooperation des KIT-Zentrums Mensch und Technik und des KAT entstanden. Es stellt eine Plattform für den Austausch von Wissenschaft und Gesellschaft dar, und ist für vielfältige Formen partizipativer Forschung, Citizen Science, der Wissenschaftskommunikation sowie Partizipation und Dialog einsetzbar.
technik.kontrovers https://www.itas.kit.edu/veranstaltungen_2024_technikkontrovers.php	In der vierteljährlich stattfindenden Reihe „technik.kontrovers“ präsentiert das ITAS gesellschaftlich brisante Technikthemen, zu denen am Institut geforscht wird. Die Forschenden skizzieren mit kurzen Impulsen unterschiedliche Positionen zur gesellschaftlichen Dimension bestimmter Technikbereiche und suchen damit den unmittelbaren – und gerne auch kontroversen – Austausch mit der Öffentlichkeit.
Reallabor Robotische Künstliche Intelligenz https://www.robotics-ai.kit.edu/929.php	Ziel des Reallabors „Robotische Künstliche Intelligenz“ ist es, KI in vielfältigen Experimenten und in unterschiedlichen realen Umgebungen – von der Kita über die Schule bis zu Museum, Bibliothek und Krankenhaus – für Menschen erfahrbar zu machen. Dadurch sollen eine breite Sensibilisierung für KI-Technologien erreicht und neue Erkenntnisse für die Entwicklung robotischer KI-Systeme gewonnen werden.
Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) https://www.cedim.kit.edu/index.php	Das CEDIM ist eine interdisziplinäre Forschungseinrichtung des KIT auf den Themengebieten Katastrophen, Risiken und Sicherheit. Es wurde eingerichtet, um natürliche und anthropogene Risiken besser zu verstehen, früher zu erkennen und besser bewältigen zu können.

Name der Wissenstransfer-Initiative und ggf. URL der Web-Seite	Kurzbeschreibung der Wissenstransfer-Initiative
ACCESS@KIT – Zentrum für digitale Barrierefreiheit und Assistive Technologien https://www.access.kit.edu/index.php	Das ACCESS@KIT unterstützt und berät Studierende und Studieninteressierte mit Sehbehinderung und Blindheit in allen am KIT angebotenen Studienfächern. Zugleich engagiert sich ACCESS@KIT in Forschung und Lehre.
Reallabor Barrierefreiheit https://www.accessibility.kit.edu/	Das Reallabor Barrierefreiheit beschäftigt sich mit der Gestaltung, Entwicklung und Evaluation neuer Technologien, die von behinderten Menschen genutzt werden können, um ein selbstbestimmtes Leben zu führen. Ziel des Reallabors ist es, neue Perspektiven auf Technologien, Räume und deren Potenzial zur Wertschätzung menschlicher Vielfalt zu eröffnen und damit zu einer inklusiveren Gesellschaft beizutragen.
Die Karlsruher Schule der Nachhaltigkeit (KSN) https://www.mensch-und-technik.kit.edu/ksn.php	Die KSN tritt als Einrichtung des KIT-Zentrums Mensch und Technik mit dem Anspruch an, eine neue Art der Bildung am KIT zu verwirklichen, um Menschen auszubilden, die als Menschen, Mitarbeitende, Führungskräfte sowie Bürgerinnen und Bürger ihr Handeln an der Idee der Nachhaltigkeit ausrichten.
Mein Selbstexperiment (Format am Karlsruher Transformationszentrum für Nachhaltigkeit und Kulturwandel) https://www.transformationszentrum.org/mein-selbstexperiment.php	Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung spielt nicht nur, aber auch, unsere ganz individuelle Lebensweise eine entscheidende Rolle. Eine nachhaltige Entwicklung berücksichtigt dabei Mitwelt, Umwelt und Nachwelt. Daher können Selbstexperimente neben den ökologischen Ansätzen auch soziale Themen adressieren, beispielsweise den achtsamen Umgang mit sich selbst oder unseren Mitmenschen.
Nachhaltigkeitsspaziergang Karlsruhe https://nachhaltigkeitsspaziergangka.wordpress.com/ueber/	Im Rahmen eines Projektseminars im Sommersemester 2017 am KIT entstanden, wurde der Spaziergang auch nach Beendigung des Semesters weiterentwickelt. Der Nachhaltigkeitsspaziergang zielt einerseits darauf, für die Wichtigkeit nachhaltiger Entwicklung zu sensibilisieren und andererseits Karlsruhe als absolut vorbildliches Beispiel für nachhaltige Entwicklung vorzustellen.
Brain Bites @TRIANGEL https://www.triangel.space/brain-bites/	Zu spannenden Impulsen von innovativen Macherinnen und Machern, lädt die Brain Bites Reihe regelmäßig zur Mittagspausezeit ein. Das Format richtet sich mit seinen kurzen, inspirierenden Talks – von Wissenschaft, Wirtschaft bis hin zu globalen Themen – an alle, die neue Perspektiven und Ideen entdecken wollen.
NoPhish Konzept: Awareness-/Schulungs-/Trainingskonzept zum Thema Phishing und andere betrügerische Nachrichten https://secuso.aifb.kit.edu/betruegerische-nachrichten-erkennen.php	Damit Nutzerinnen und Nutzer Angriffe in Gestalt von betrügerischen Nachrichten besser verstehen und lernen, wie man sich schützen kann, hat die Forschungsgruppe SECUSO (Security – Usability – Society) am Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB) Awareness-, Schulungs- und Trainingsmaßnahmen entwickelt.
KITTEN – Testfeld von KARA und Energy Lab https://www.kitten.kit.edu/	Das KIT Testfeld für Energieeffizienz und Netzstabilität in großen Forschungsinfrastrukturen (KITTEN) vereint das Energy Lab, Europas größtes Forschungslabor für erneuerbare Energie mit der Testanlage für Beschleunigertechnologien Karlsruhe Research Accelerator (KARA).

Name der Wissenstransfer-Initiative und ggf. URL der Web-Seite	Kurzbeschreibung der Wissenstransfer-Initiative
Vortragsreihe von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern vom KIT-Zentrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik im Naturkundemuseum Karlsruhe https://www.kceta.kit.edu/veranstaltungen.php	Im Oktober und November 2024 lud das KIT-Zentrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik (KCETA) die interessierte Öffentlichkeit zu vier Vortragsabenden in das Naturkundemuseum Karlsruhe ein.
Kompetenzzentrum Usability und UIG e.V. https://www.digitalzentrum-fokus-mensch.de/	Das Mittelstand-Digital Zentrum Fokus Mensch unterstützt mittelständische Unternehmen dabei, Erwartungen ihrer Nutzenden, Konsumentinnen und Konsumenten sowie Unternehmenskundinnen und -kunden zu erkennen, die eigene Produktstrategie zu überdenken, passende Kooperationspartner zu finden und die Methoden und Ansätze der menschenzentrierten Digitalisierung im eigenen Unternehmen zu probieren und zu etablieren, um sich so nachhaltig aufzustellen. Das KIT ist assoziierter Partner.
ProKI-Zentrum Karlsruhe https://www.wbk.kit.edu/wbkintern/Forschung/Projekte/ProKI-Karlsruhe/index.php	ProKI-Karlsruhe, das Karlsruher Zentrum für KI in der Zerspanung zur Fertigung von hochkomplexen Bauteilen in kleinen Losgrößen, versteht sich als Anlaufpunkt für Unternehmen, speziell für KMU, die KI in ihren Prozessen integrieren möchten. Dabei wird besonders der Mensch als zentrales Element bei der Entstehung von Produkten berücksichtigt sowie das System KI-Mensch mit einbezogen. Das Transferzentrum bildet damit eine Schnittstelle zwischen der physischen Welt der Produktionsprozesskette beim Zerspanen und den auf Daten basierenden Methoden der KI.
Sag mal, ITAS https://www.itas.kit.edu/veranstaltungen.php/?f=%7B%22g%22%3A%5B%22226%22%5D%7D#calendar_top	Bei „Sag mal, ITAS“ verlegen Forschende ihren Arbeitsplatz jede Woche in das Karl9 – Wissenschaftslokal für Technik und Gesellschaft oder TRIANGEL und beantworten Fragen zu ihren Forschungsthemen.
Theater-Trilogie an der Schnittstelle von Kunst und Wissenschaft (Reflexion über Technik und Ökologie) https://www.itas.kit.edu/2024_018.php	Um die Folgen von Technik angemessen beurteilen zu können, bezieht die Technikfolgenabschätzung seit jeher auch die Perspektive außerwissenschaftlicher Akteure ein – etwa aus der Zivilgesellschaft, der Wirtschaft oder von Bürgerinnen und Bürgern selbst. In den letzten Jahren bemühen sich Forschende zudem verstärkt darum, Kunstschaffende in Aktivitäten der Technikfolgenabschätzung zu integrieren.
Mobiles Futurium https://www.itas.kit.edu/projekte_albi23_mobifu.php	Im Projekt sollen Zukunftskompetenzen angesprochen und an Schulen langfristig verankert werden. Lehrkräfte als zentrale Akteure werden hier unterstützt, Zukunftswissen und den Einsatz neuer Technologien zu vermitteln. Das Futurium in Berlin entwickelt hierzu einen mobilen Zukunfts- und Partizipationsraum und besucht mit diesem Schulen im ländlichen Umfeld in Deutschland. Auf diese Weise sollen Impulse für eine „Future Literacy“ gesetzt werden.

Name der Wissenstransfer-Initiative und ggf. URL der Web-Seite	Kurzbeschreibung der Wissenstransfer-Initiative
Karl9 – Wissenschaftslokal für Technik und Gesellschaft https://www.itas.kit.edu/karl9.php	Das Wissenschaftslokal bietet interessierten Bürgerinnen und Bürgern zu festen Öffnungszeiten einen Raum, um sich zu informieren, die Mitmach-Exponate auszuprobieren oder mit Forschenden ins Gespräch zu kommen. Auch finden hier regelmäßig Workshops, Diskussionsformate und Vorträge statt. Ziel ist der kontinuierliche Dialog mit den Bürgerinnen und Bürgern.
Beteiligung Spitzencluster Industrialisierung Elektromobilität Südwest https://www.e-mobilbw.de/netzwerke/cluster-elektromobilitaet-sued-west	Der Cluster Elektromobilität Süd-West ist einer der bedeutendsten regionalen Verbünde auf dem Gebiet der Elektromobilität. Er führt alle relevanten Player der Elektromobilität in Baden-Württemberg zusammen und bringt die Industrialisierung der Elektromobilität voran. Im Fokus stehen innovative Ansätze für Fahrzeuge, Ladesysteme und Mobilitätsformen.
Carl-Benz-Gedenkvorlesung https://www.mobilitaetssysteme.kit.edu/666.php	Die einmal jährlich stattfindende Gedenkvorlesung ehrt den Erfinder des Automobils und bietet Einblick in die technologischen Entwicklungen des 21. Jahrhunderts und deren Auswirkungen auf die Ingenieurausbildung.
3ROCKIT (Replace Reduce Refine Organismal Research by Computational and Cellular technologies@KIT) https://www.healthtech.kit.edu/deutsch/370.php	3ROCKIT verfolgt in seinem Konzept ein 6R-Prinzip: Zusätzlich zu den 3R-Vorhaben Tierversuche zu reduzieren (Reduce), zu ersetzen (Replace) oder zu verbessern (Refine), soll sichergestellt werden, dass alle Versuchspläne statistisch robust sind (Robustness), alle Versuche registriert (Registration) und auch negative Ergebnisse veröffentlicht werden (Reporting).
KI in der Gesundheit https://www.fzi.de/2022/10/24/startschuss-fuer-ki-labor-im-gesundheitswesen/	Am FZI Forschungszentrum Informatik eröffnet ein einzigartiges Reallabor für die Nutzung von KI in der Gesundheitsversorgung. Start-Ups und Unternehmen werden bei der Entwicklung mit echten Gesundheitsdaten und Expertise beim Transfer in die Öffentlichkeit und Wirtschaft unterstützt. Das FZI ist Innovationspartner des KIT.
Health Tech am Mittag https://www.healthtech.kit.edu/63.php	Monatliche Veranstaltungsreihe des KIT-Zentrums HealthTech im InformatiKOM des KIT.
NEULAND Innovationstag https://kit-neuland.de/de/	Der NEULAND Innovationstag des KIT stellt alle zwei Jahre eine Begegnungsplattform für alle dar, die sich für die Themen Technologietransfer und Unternehmensgründungen am KIT interessieren.
KINote – Hidden Figures in der Kinemathek https://www.triangel.space/event/kinote-hidden-figures/	Nach der Vorstellung des Films „Hidden Figures“ in der Kinemathek in Karlsruhe erwartete die Zuschauerinnen und Zuschauer im Anschluss eine spannende Diskussion mit der Historikerin Dr. Julia Gül Erdoga.
Karlsruher Science Slam https://www.triangel.space/event/til-2024-science-slam/	Gemeinsam mit dem Wissenschaftsbüro der Stadt Karlsruhe lädt das KIT zum Science Slam ein. Slammerinnen und Slammer präsentieren dabei kurz, anschaulich und mitreißend die unterschiedlichsten Themen aus der Wissenschaft. Wer am Ende gewinnt, entscheidet das Publikum.

Name der Wissenstransfer-Initiative und ggf. URL der Web-Seite	Kurzbeschreibung der Wissenstransfer-Initiative
STULLE – Wissenschaftlich belegt https://www.triangel.space/event/late-night-show-stulle-wissenschaftlich-belegt-2/	Die Wissenschafts-Late-Night-Show „STULLE – Wissenschaftlich belegt“ ist eine Kooperation der Kultonauten und dem TRIANGEL mit Live-Band und jede Menge wissenschaftlich belegter Unterhaltung.
Nacht der Wissenschaft @KIT, TRIANGEL Transfer I Kultur I Raum https://www.triangel.space/event/nacht-der-wissenschaft/	Bis in die frühen Morgenstunden stellen Dozentinnen und Dozenten aus den verschiedensten Fachbereichen spannende Forschungsthemen vor. Die Vorträge sind dabei kompakt und allgemeinverständlich gehalten.
EFFEKTE Reihe @KIT, TRIANGEL Transfer I Kultur I Raum https://www.triangel.space/event/effekte-reihe-gute-grundlage/	Von Juni 2024 bis zum EFFEKTE-Wissenschaftsfestival im Mai 2025 gibt es an zwölf Abenden Wissenschaft zum Anfassen. Immer am „Wissenschaftsdienstag“ präsentieren sich die Vertreterinnen und Vertreter der Karlsruher Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Sie geben Einblicke in ihre Arbeit – in einem Mix aus Impulsvorträgen, Diskussion, interaktiven Formaten, Exponaten und Workshops.
Science Camps @KIT, TRIANGEL Transfer I Kultur Raum https://www.triangel.space/science-camps-ferienprogramm/	Bei dem Ferienprogramm des TRIANGEL, den Science Camps, haben Kinder und Jugendliche die Möglichkeit, fünf Tage lang zu experimentieren, zu forschen und neue Leute kennenzulernen.
Stammtisch @KIT, TRIANGEL Transfer I Kultur I Raum https://www.triangel.space/event/stammtisch-anymos/	An ausgewählten Abenden wird gemeinsam mit Doktorandinnen und Doktoranden des KIT an einen Tisch über deren Forschungsfragen von morgen diskutiert, gestritten und philosophiert.
CERN70@KIT https://www.kceta.kit.edu/cern70.php	Vom 19.-21. September 2024 feierte das KIT-Zentrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik mit einem bunten Programm für Groß und Klein den 70. Geburtstag des CERN.
Science Camp Teilchen- und Teilchenastrophysik für Jugendliche https://www.zml.kit.edu/sciencecamp-physik.php	Das Science Camp Teilchen- und Astroteilchenphysik am KIT spricht alle an, die moderne Physikthemen spannend finden und gerne mehr darüber lernen möchten.
Academy for Responsible Research, Teaching, and Innovation (ARRTI) https://www.arrrti.kit.edu/	ARRTI bietet eine interdisziplinäre Plattform, um ethische Fragestellungen und Praktiken gemeinsam zu gestalten und zu diskutieren sowie um ethisch-reflexive Fähigkeiten einzuüben. Dafür bietet die Akademie zahlreiche Workshops, Weiterbildungen und Projekte an, um verantwortungsvolle Forschung, Lehre und Innovation zu fördern, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Studierende sowie ein interessiertes Publikum für die Themen Verantwortung und Ethik in der Wissenschaft zu sensibilisieren und relevante Kompetenzen zu vermitteln.

Name des Informationsdienstes und ggf. URL der Web-Seite	Kurzbeschreibung des Informationsdienstes
Süddeutsches Klimabüro https://www.sueddeutsches-klimaburo.de/ATMO-Wissenstransfer.php	Das Süddeutsche Klimabüro am KIT vermittelt zwischen Klimaforschung und Gesellschaft und stellt für Medien, öffentliche Organisationen sowie Entscheidungsträgerinnen und -träger aus Wirtschaft und Politik wissenschaftliche Informationen zu Klima und den Auswirkungen des regionalen Klimawandels bereit. Credo – Klimaforschung nutzbar machen für die Gesellschaft.
Innovations-Plattform MaterialDigital (PMD) https://www.materialdigital.de/	Die Innovations-Plattform MaterialDigital (PMD) hat es sich zum Ziel gemacht, Interessentinnen und Interessenten aus dem industriellen sowie aus dem akademischen Bereich nachhaltig bei der Umsetzung von Digitalisierungsaufgaben für Materialien zusammenzuführen und zu unterstützen.
Wissenschafts-Kommunikationsprojekt DaNa 4.0 https://nanopartikel.info/	Komplexe, toxikologische Fragestellungen aus der aktuellen Materialforschung werden allgemeinverständlich aufbereitet und für Nicht-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler verständlich präsentiert. Die Förderung endete im November 2023, die Webseite ist aber immer noch verfügbar. Das neue Projekt MANTRA (siehe Folgezeile) führt verschiedene Aufgaben von DaNa 4.0 weiter.
Begleitprojekt MANTRA https://materialneutral.info/	MANTRA ist ein wissenschaftliches Kommunikationsprojekt und das Begleitvorhaben zur Material-Hub-Initiative MaterialNeutral – einer Initiative des BMBF. MANTRA liefert Daten zur Sicherheit und Nachhaltigkeit innovativer Materialien. Ziele sind Vernetzung, Öffentlichkeitsarbeit, Industrie- und Praxistransfer.
Fusion Industrial Liaison Office (FILO) https://www.filo.kit.edu/	Die Zielsetzung des vom BMBF geförderten deutschen Fusion Industrial Liaison Office (FILO), ist es, deutsche Unternehmen im Rahmen einer sich herausbildenden europäischen Fusionsindustrie zu unterstützen. Hierdurch soll die Förderung von neuen und innovativen Technologien an den Bedarfen der Menschen vor allem im Bereich "Nachhaltigkeit, Klimaschutz und Energie" ausgerichtet werden, um Deutschland an die Spitze der nächsten Technologischen Revolutionen zu stellen und gleichzeitig die Zusammenarbeit im Innovationsgeschehen in Europa zu stärken. Das KIT übernimmt als Trägereinrichtung des FILO u. a. die administrative Einbindung des ITER Industrial Liaison Officer (ILO) für Deutschland.
Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) https://www.tab-beim-bundestag.de/ueber-uns.php?tab=%5B242%5D#tabpanel-242	Das TAB ist eine unabhängige wissenschaftliche Einrichtung, die das Parlament und seine Ausschüsse in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels berät.
Wettergefahren-Frühwarnung, ein web-basiertes Informationssystem https://www.wettergefahren-fruehwarnung.de/	Die Internetplattform informiert über bevorstehende außergewöhnliche oder extreme Wetterereignisse weltweit. Die „Wettergefahren-Frühwarnung“ ist Teil des Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM), einem interdisziplinären Forschungszentrum des KIT im Bereich Katastrophenmanagement.

Name des Informationsdienstes und ggf. URL der Web-Seite	Kurzbeschreibung des Informationsdienstes
Risklayer Explorer in Kooperation mit dem CEDIM https://www.risklayer-explorer.com/	Die Risklayer GmbH ist ein Spin-off aus dem KIT. Bei Risklayer werden Ebenen, die unsere Risiken („risk“) definieren, identifiziert, vermessen und analysiert. Risklayer richtet sich an alle Akteure, die Interessen in Regionen und Sektoren vertreten, die durch natürliche und menschengemachte Risiken bedroht sind.
Staubvorhersagen https://www.imk-tro.kit.edu/10581.php	Der Deutsche Wetterdienst (DWD) führt mit dem gemeinsam mit dem KIT entwickelten Vorhersagesystem ICON-ART quasioperationelle Vorhersagen der Mineralstaubkonzentration durch.
Operational forecast maps and meteo-grams http://www.kit-weather.de/	Zugriff auf verschiedene operative Vorhersagekarten und Meteo-gramme und Möglichkeit Klimatologien des Niederschlags für individuelle Standorte zu erstellen. Die Prognosedaten für diese Grafiken stammen u. a. vom Opendata-Dienst des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Am IMKTRO des KIT werden mehrmals täglich die neuesten Prognosedaten automatisch heruntergeladen und verarbeitet.
openTA Fachportal Technikfolgenabschätzung https://openta.net/	openTA ist das Fachportal des Netzwerks Technikfolgenabschätzung. Es aggregiert Nachrichten, Termine und Publikationen aus dem Netzwerk, gibt einen Überblick über die Personen und Institutionen, die im Bereich der TA in Deutschland, Österreich und der Schweiz tätig sind und ermöglicht die Erstellung personalisierter Dienste.
globalTA https://globalta.technology-assessment.info/	GlobalTA ist ein Zusammenschluss gemeinnütziger Organisationen, die sich mit dem breit angelegten Thema Technikfolgenabschätzung befassen.
Geoportal für Ökosystemdienstleistungen von städtischen Grünflächen	Das KIT hat im Rahmen des Projektes „Ressourcenmanagement im Quartier im Kontext nachhaltiger Stadtentwicklung“ einen Leitfaden zu Ressourceneffizienz in der Quartiersentwicklung herausgegeben und gibt Handlungsempfehlungen im Handlungsfeld Ökosystemleistungen.
Pollenflugvorhersagen https://www.dwd.de/DE/leistungen/pollen/pollenforschung.html;jsessionid=5C01DE13B5D77853E932EB0948A9E7F4.live21062?nn=16102	Der Deutsche Wetterdienst (DWD) führt mit dem gemeinsam mit dem KIT entwickelten Vorhersagesystem ICON-ART operationelle Vorhersagen der Pollenkonzentration durch.
Dashboard KARA/KITTEN https://rf20.eu/ <i>(in Aufbau)</i>	Ein ressourcenschonender Betrieb von Teilchenbeschleunigern und anderen Großanlagen ist Ziel des EU-Forschungsprojekts Research Facility 2.0, in dem zehn europäische Projektpartner koordiniert vom KIT an optimierten Komponenten und digitalen Lösungen arbeiten, um den Energieverbrauch von Beschleunigersystemen zu senken. Das im KIT aufgebaute Dashboard des Karlsruher Forschungsbeschleunigers KARA möchte die gewonnenen Daten und Ergebnisse auch externen Forschenden sowie Entwicklerinnen und Entwicklern zugänglich machen.

Name des Informationsdienstes und ggf. URL der Web-Seite	Kurzbeschreibung des Informationsdienstes
Data Protection Certification for Educational Information Systems (DIRECTIONS) https://cii.aifb.kit.edu/110_1121.php <i>(in Aufbau)</i>	Informationssysteme wie Lernplattformen, Chatprogramme oder Videotools spielen eine immer größere Rolle im digitalen Schulalltag. Bei der Frage nach deren Sicherheit beim Datenschutz herrschen jedoch oft Bedenken. Mit einer Datenschutzzertifizierung wollen Forschende des KIT und der Universität Kassel im Projekt DIRECTIONS Abhilfe schaffen und für mehr Sicherheit bei Informationssystemen in der Schule sorgen. Zielgruppe sind Lehrende und IT-Verantwortliche in Schulen.
German Open-Source Tools for AI Algorithm-Hardware Co-Design (EDAI) https://www.itiv.kit.edu/294_10192.php <i>(in Aufbau)</i>	Leistungsfähige Mikrochips sind entscheidend für den erfolgreichen Einsatz von Künstlicher Intelligenz. Das am KIT koordinierte, vom Bundesforschungsministerium geförderte Projekt EDAI verfolgt einen neuen Ansatz: Die Forschenden koppeln den Entwurf von KI-Algorithmen und KI-Chips. So lassen sich Hardwareanforderungen wie Energieeffizienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit im gesamten Prozess berücksichtigen. EDAI baut auf Open-Source-Software auf, um den Zugang zu KI-basierten Lösungen besonders für kleinere und mittlere Unternehmen zu erleichtern.
Innovationsplattform InnoFuels https://www.innofuels.de/	Das vom KIT koordinierte Plattformprojekt InnoFuels ist die erste und bislang einzige Vernetzungs- und Austauschplattform zu strombasierten Kraftstoffen und fortschrittlichen Biokraftstoffen. Sie bringt in insgesamt sieben Aktivitätsfeldern potentielle und assoziierte Partner zusammen und koordiniert den interdisziplinären Austausch und Wissenstransfer zwischen unterschiedlichsten Akteuren aus Wissenschaft, Unternehmen, Verbänden, Politik und Gesellschaft.
Beteiligung an Datenbank Transformationswissen für die Automobilwirtschaft https://www.transformationswissen-bw.de/ueber-uns/tam-bw	Mittelständische Unternehmen der Automobilwirtschaft fit für die Zukunft machen ist Ziel der Lotsenstelle Transformationswissen BW. Die Unterstützungsangebote zu Qualifizierung, Beratung, Vernetzung und Wissen sind für Unternehmen aus Baden-Württemberg kostenfrei.
Research2Business https://www.kit-technology.de/de/	Die DE IRM des KIT hilft Unternehmen, Interessenten an Kooperationen und Investoren, die Zusammenarbeit mit dem KIT zu erschließen.
NEULAND Magazin https://kit-neuland.de/de/magazin/	Das NEULAND Magazin stellt ausgewählte Innovationsgeschichten des KIT vor. Das Magazin gibt Einblicke in Potenziale, Projekte und Produkte, die am KIT entstanden sind und zu marktreifen Innovationen weiterentwickelt werden oder bereits wurden.
Podcast-Reihe Umwelt.wandel.wissen.nutzen https://www.klima-umwelt.kit.edu/1386.php	Umwelt erforschen, Lösungen entwickeln, Fortschritt ermöglichen sind Aufgaben der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT-Zentrums Klima und Umwelt. Um die grundlegenden globalen Herausforderungen zu meistern, sind ein Austausch und das Vernetzen der Wissensträgerinnen und Wissensträger untereinander und mit der Gesellschaft unerlässlich. Die erste Staffel der neuen Podcast-Reihe des KIT-Zentrums Klima und Umwelt beschäftigt sich mit dem Thema Umwelt.wandel.wissen.nutzen: Herausforderungen und Lösungsoptionen.

Name des Informationsdienstes und ggf. URL der Web-Seite	Kurzbeschreibung des Informationsdienstes
Auger public data and analyses notebooks https://opendata.auger.org/	Die Pierre Auger Collaboration veröffentlicht Daten, die mit dem weltgrößten Detektor für kosmische Strahlung, dem Pierre-Auger-Observatorium in Argentinien aufgezeichnet werden. Die Veröffentlichung umfasst auch Wetter- und Weltraumwetterdaten. Diese Daten werden öffentlich zugänglich gemacht, in der Erwartung, dass sie von einer breiten und vielfältigen Gemeinschaft genutzt werden.
KASCADE Cosmic Ray Data Centre (KCDC) https://www.iap.kit.edu/kcdc/index.php	Über ein Web-Portal haben sowohl Physikerinnen und Physiker als auch Nicht-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler einfachen Zugriff auf die Daten, die durch KASCADE gesammelt wurden.
Forschungsblog KIT-Zentrum Mensch und Technik https://www.mensch-und-technik.kit.edu/forschungsblog.php	Wie sich die Zukunft unserer Gesellschaft verändert ist Ausgangspunkt des Forschungsblogs. Hier schreiben die Forschenden darüber, wieso Themen aus ihrer Forschung für unsere Zukunft relevant sind. Ihre Meinung bilden die Autorinnen und Autoren auf der Basis von wissenschaftlichen Publikationen und geleitet von Erkenntnissen aus der eigenen Forschung.
Social-Media-Kanal des Süddeutschen Klimabüros (@KlimabueroKIT) https://www.instagram.com/klimabueroKIT/	Klimaforschungsergebnisse nutzbar zu machen für die Gesellschaft gehört zu den wichtigsten Zielen. Das Süddeutsche Klimabüro informiert über seinen Social-Media-Kanal über inter- und transdisziplinäre Forschungsprojekte und stellt darüber Klimaforschungsergebnisse bereit.
Modellansatz Podcast des KIT-Zentrums MathSEE https://www.math.kit.edu/ianm4/seite/modellansatz/de	Das KIT-Zentrum MathSEE informiert über aktuelle Forschungsthemen aus der Naturwissenschaft und besonders Mathematik des KIT in einem Podcast. Diese können den Einsatz von Mathematik überall in unserem Leben umfassen – vom Wasserhahn über die automatischen Temporegelungen an Autobahnen, in der Medizintechnik bis hin zum Mobiltelefon.

Mitwirkung in Expertengremien, öffentliche Interviews und Vorträge, Politikberatung, sonstiges gesellschaftliches Engagement für den Wissenstransfer

Themenübergreifende Aktivitäten	
Kulturausschuss des Gemeinderats der Stadt Karlsruhe	Prof. Dr. Michael Decker, Leiter des Bereichs II, ist Sachverständiger im Kulturausschuss.
TechnologieRegion Karlsruhe www.technologieregion-karlsruhe.de	Das Bündnis aus Unternehmen, Kammern, Wissenschaftseinrichtungen und Kommunen verfolgt das Ziel, die Wirtschafts-, Wissenschafts- und Innovationsregion zu stärken, insbesondere in den Themenfeldern Mobilität, Energie und Digitalisierung. Prof. Dr. Thomas Hirth, Vizepräsident Transfer und Internationales des KIT, ist Mitglied im Aufsichtsrat.
Jury FameLab Karlsruhe www.wissenschaftskommunikation.de/format/famelab/	Das KIT ist Jurymitglied beim regionalen FameLab Karlsruhe.

Veranstaltungsreihe „Colloquium Fundamentale“ https://www.forum.kit.edu/colloquium_fundamentale.php	Das Colloquium Fundamentale widmet sich im Wintersemester 2024/25 mit Vorträgen und Publikumsdiskussionen dem Thema „Naturwissenschaft, Technik – und der Mensch? Von Menschsein und wissenschaftlichem Fortschritt“
KIT Innovation Hub „Prävention im Bauwesen“ https://www.hub-bau.kit.edu/index.php	Der Erhalt und die Entwicklung einer leistungsfähigen und nachhaltigen Infrastruktur auf allen Gebieten, vom Verkehr über die Industrie bis zur kommunalen Infrastruktur, ist von großer gesellschaftlicher Bedeutung. Mit dem Leitgedanken „Nachhaltigkeit durch Prävention“ arbeitet der KIT Innovation Hub gemeinsam mit Partnern aus Industrie, Wissenschaft, Verwaltung und Politik an Technologien, Dienstleistungen und Produkten für innovative Infrastrukturen und deren Bauwerke. Aus- und Weiterbildungsangebote transportieren das Konzept der Prävention in die Praxis.
Plattform „Open Courses KIT“ https://opencourses.kit.edu	Mit der Plattform baut das KIT eine Brücke in die Gesellschaft und leistet damit einen aktiven Beitrag zum Wissenstransfer wie beispielsweise mit dem Kurs „NoPhish Kurs für Bürgerinnen und Bürger“.
Begleitstudium „Nachhaltige Entwicklung“ https://www.forum.kit.edu/begleitstudium-bene.php	Das Begleitstudium basiert auf der Überzeugung, dass ein langfristig, sozial und ökologisch, verträgliches Zusammenleben in der globalen Welt nur möglich ist, wenn Wissen über notwendige Veränderungen in Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft erworben und angewandt wird. Das fachübergreifende und transdisziplinäre Studienangebot des Begleitstudiums am FORUM ermöglicht vielfältige Zugänge zu Transformationswissen sowie Grundlagen und Anwendungsgebieten Nachhaltiger Entwicklung.
Girls' Day – Mädchen-Zukunftstag https://www.kit.edu/kf/pi_2024_023_girls-day-2024-ausbildung-und-studium-am-kit.php	Am 25. April 2024 waren Schülerinnen ab der fünften Klasse aller Schularten eingeladen, am KIT die Ausbildungsberufe und Studiengänge kennenzulernen. Unter mehr als siebenzig Veranstaltungen konnte sich jede Schülerin ein individuelles Programm zusammenstellen.
KIT Kinder-Uni https://www.kinder-uni.kit.edu/	Am 30. Juli 2024 fand erneut die KIT Kinder-Uni statt. Schülerinnen und Schülern wurden Tage voller Experimente und Themenstände sowie Vorlesungen geboten.
Zentrum für Mediales Lernen https://www.zml.kit.edu/lehrerfortbildung.php	Internetgestützte Lehrkräftefortbildung zu verschiedenen Themen.
Massive Open Online Courses (MOOCs) am Zentrum für Mediales Lernen www.zml.kit.edu/moocs	Angebot zur Entwicklung von Online-Lernangeboten an Lehrende.
Science Camps www.zml.kit.edu/science-camps.php	Das ZML bietet mit zahlreichen Partnern Science Camps für 14- bis 16-Jährige zu den Themen Energie, Geothermie, Informatik, Robotik, KI und Elektrotechnik an. Jugendliche können eine Woche forschendes Lernen erleben und selbst Themen setzen.

Schülerinnen- und Schülerpraktika https://www.kit-ausbildung.de/de/praktikum/schuelerpraktika	Schülerinnen- und Schülerpraktika sind am KIT zu verschiedenen Themen und in verschiedenen Programmen möglich, zum Beispiel im Rahmen des BOGY-Programms (Berufsorientierung am Gymnasium) oder BORS (Berufsorientierung an der Realschule), im Rahmen von Ferienpraktika (z.B. Ingenieurwissenschaftliches Ferienpraktikum) oder auf Eigeninitiative.
„Berufsbilder von Wissenschaftlerinnen“ https://www.fortbildung.kit.edu/schuelerinnen.php	Die Reihe richtet sich an Schülerinnen der Oberstufe, die sich über das Berufsbild von Ingenieurinnen und Naturwissenschaftlerinnen informieren wollen.
Schülerinnen- und Schülerlabore www.kit.edu/karriere/schuelerlabore.php	Das KIT bietet interessierten Schülerinnen und Schülern unterschiedliche Schülerlabore an, damit sie in spannenden Experimenten einen Einblick in die Welt der Wissenschaft erlangen und unter fachlicher Anleitung moderne Forschungsmethoden kennenlernen können.
Fortbildungen für Erzieherinnen und Erzieher in Kita und Hort https://www.fortbildung.kit.edu/erzieher_innen.php	Gemeinsam mit der Stiftung Kinder forschen bietet das FTU Fortbildungen an, die pädagogische Fach- und Lehrkräfte fortlaufend dabei unterstützen, Kinder im Kita- und Grundschulalter qualifiziert beim Entdecken, Forschen und Lernen zu begleiten.

Aktivitäten zum Themenfeld Energie	
Beirat Nachhaltige Bioökonomie https://biooekonomie.baden-wuerttemberg.de/Lde/Startseite/Strategie/Beirat+nachhaltige+Biooekonomie	Das KIT ist Mitglied im Beirat Nachhaltige Bioökonomie der Landesregierung Baden-Württemberg.
EIT InnoEnergy www.innoenergy.com	Netzwerk europäischer Forschungseinrichtungen und Energieunternehmen zur Förderung der erneuerbaren Energien in Wissenschaft, Innovation, Weiterbildung, Gründungsberatung.
JRODOS https://www.ites.kit.edu/294.php	Das KIT hat federführend ein Entscheidungshilfesystem für kerntechnische Notfälle entwickelt, das weltweit in mehr als 20 Ländern installiert ist.
Framatome Professional School https://www.fps.kit.edu/deutsch/index.php	Kerntechnische Aus- und Weiterbildung in der School of Energy des KIT.

Aktivitäten zum Themenfeld Information · Systeme · Technologien (inkl. Digitalisierung)	
Science Camp Robotik https://h2t.iar.kit.edu/2366.php	Das Science Camp Robotik richtet sich an Schülerinnen und Schüler. Das Programm des Camps wird durch die Einführung in die Programmiersprache Python ergänzt.

Bürgerinnen- und Bürgerforen und Digiloglounge im Rahmen von digilog@bw https://digilog-bw.de/	Der Projektverbund digilog@bw erarbeitet für Politik und Gesellschaft wissenschaftlich fundierte Entscheidungsgrundlagen, um eine Gestaltung der Digitalisierung zum Wohle des Menschen zu ermöglichen. In diesem Rahmen finden Bürgerinnen- und Bürgerforen und Digilog-Lounges zum Austausch mit und zur Information der Gesellschaft statt. Inhaltlich gestaltet werden diese unter Federführung des Partners ZKM von den beteiligten universitären und nicht universitären Forschungseinrichtungen.
Projekt „ JuBot – Jung bleiben mit Robotern “ – Vielseitige Assistenzrobotik für die Alltagsbewältigung https://www.jubot.kit.edu/index.php	Im Alter möglichst lange selbstständig und in der gewohnten Umgebung bleiben – das wünschen sich die meisten Menschen. Dies sollen humanoide Assistenzroboter möglich machen, die bei der Bewältigung des Alltags entlasten, sowie anziehbare Roboter, die Bewegungen des Trägers unterstützen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT forschen und arbeiten daran, derartige Robotik-Lösungen alltagstauglich zu machen. Die Carl-Zeiss-Stiftung fördert das Projekt in ihrem Programm „Durchbrüche“.
Projekt „ Simulierte Welten “ https://simulierte-welten.de/index.php	Ziel des Projektes ist es, Schülerinnen und Schüler mit der Bedeutung, dem Nutzen und den Risiken von Simulationen als Teil der digitalisierten Welt vertraut zu machen.
Plattform „ Lernende Systeme “ www.plattform-lernende-systeme.de/startseite.html	Die Plattform Lernende Systeme ist ein Expertinnen- und Experten-Netzwerk zum Thema Künstliche Intelligenz (KI).
Kompetenzzentrum ROBDEKON https://robdekon.de/	ROBDEKON® beinhaltet ein Netzwerk, welches im thematischen Schwerpunkt der roboterbasierten Dekontamination die wissenschaftlichen und technologischen Kompetenzen der Bundesrepublik bündelt und schärft. Das Kompetenzzentrum nimmt dabei die Rolle eines »Technologie-Hubs« ein, der vielversprechende Robotertechnologien aus Wissenschaft und Forschung unter Einbezug von Anwendern und Herstellern in praxistaugliche Systeme überführt.

Aktivitäten zum Themenfeld Mobilität	
Forschungsinformationssystem für Mobilität und Verkehr (FIS) www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/1/	Das Forschungsinformationssystem für Mobilität und Verkehr (FIS) des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) leistet mit einer sachorientiert aufbereiteten Dokumentation des aktuellen Wissensstandes zu Mobilitätsthemen wertvolle Hilfe für die Beratung von Politik, Verwaltung und Wirtschaft.
Beirat e-mobil BW www.e-mobilbw.de/ueber-uns/	Der Beirat steht der e-mobil BW GmbH in beratender und unterstützender Funktion zur Seite. Das Gremium mit hochrangigen Vertreterinnen und Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verbänden bringt zusätzliche Ideen und Impulse in die Arbeit der Landesagentur ein.
AG Intelligent MOVE https://www.e-mobilbw.de/netzwerke/netzwerk-intelligent-move	Im Rahmen der Arbeitsgruppensitzungen werden technologische, wirtschaftliche, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte diskutiert, Roadmaps erarbeitet und Projektideen entwickelt.

Begleitforschung auf dem Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF BW) https://taf-bw.de/das-testfeld/organisation	Das Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg ist ein Reallabor für Mobilitätskonzepte und soll die Entwicklung zukunftsorientierter Lösungen für Individualverkehr und Öffentlichen Personennahverkehr fördern. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT erarbeiten Grundlagen für Verkehrsflussmodelle und stellen Prüfeinrichtungen zur Verfügung.
Projekt „ Fahrerkabine 4.0 “ www.fast.kit.edu/mobima/forschung_12477.php	Vom BMBF gefördertes Verbundprojekt zur Entwicklung einer adaptiven Mensch-Maschine Schnittstelle für Mähdrescher, bei der die Bedienerin oder der Bediener in stressigen Situationen durch Assistenzsysteme oder Fokussierung auf bestimmte Informationen entlastet werden kann und in Phasen der Unterforderung durch Handlungsempfehlungen aktiviert wird. Ziel des Projekts ist es, die Fahrerin bzw. den Fahrer über den ganzen Arbeitstag auf einem für ihn optimalen und komfortablen Beanspruchungsniveau zu halten.
Veranstaltungen des „Karlsruhe Mobility High Performance Center“ https://www.kamo.one/	Vorträge aus dem Themenumfeld der Projekte des Karlsruhe Mobility High Performance Center.
Mitwirkung im Expertenkreis „Transformation der Automobilwirtschaft“ https://expertenkreis-automobilwirtschaft.de/media/pages/home/5fcf252cb7-1740067273/eta-abschlussbericht_20250220.pdf	Im Expertenkreis „Transformation der Automobilwirtschaft“, übt das KIT bis 2025 seinen Co-Vorsitz aus. Die Arbeit des Expertenkreises endet mit Vorlage des Abschlussberichts 2025.
Mitwirkung in der New Mobility Academy: Qualifizierungsinitiative für KMU: eine Kooperation mit Fraunhofer IAO www.muse.iao.fraunhofer.de/de/projekte/new-mobility-academy.html	Die Qualifizierungsinitiative New Mobility Academy hat das Ziel, insbesondere mittelständische Unternehmen und Zulieferer für den Wandel der Automobilbranche zu wappnen und neue Wertschöpfungspotenziale aufzuzeigen.

Aktivitäten zum Themenfeld Materialien	
Mitgliedschaft im Konsortium Innovations-Plattform Material Digital www.materialdigital.de	Das vom BMBF geförderte Verbundprojekt „Innovations-Plattform Material-Digital“ verfolgt das Ziel, eine nachhaltige Infrastruktur zum standardisierten Umgang mit Daten und digitalen Repräsentationen der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu entwickeln. Dazu arbeitet die Plattform mit ihren Partnerinnen und Partnern an wegweisenden Vereinheitlichungen zu Datenstrukturierungen, Software-Architekturen und Auswertungsroutinen. Die Plattform engagiert sich beim Aufbau einer materialwissenschaftlichen Interessensgemeinschaft mit Schwerpunkt Materialdigitalisierung und interagiert aktiv mit ihren mittlerweile über 650 Nutzenden.

Sommerferienprogramm „ 3D-Druck “ für Schülerinnen https://3dmm2o.de/events/sommerferienprogramm-3d-druck/	Auch 2024 fand das Sommerferienprogramm 3D-Druck für Schülerinnen statt. Das Exzellenzcluster 3D Matter Made to Order (3DMM2O) organisiert ein Sommerferienprogramm für junge Frauen zwischen 13 und 19 Jahren. Es zielt darauf ab, Schülerinnen mit Interesse an MINT einen Einblick in die Funktionsweise des 3D-Drucks zu geben. Die Teilnehmerinnen lernen den gesamten Arbeitsweg des 3D-Druckens kennen: Von der ersten Ideenskizze, über das Erstellen eines CAD-Modells bis hin zum gedruckten Bauteil.

Aktivitäten zum Themenfeld Klima und Umwelt	
Jury Umwelttechnikpreis Baden-Württemberg	Das KIT ist Jurymitglied beim Umwelttechnikpreis Baden-Württemberg.
Karlsruher Klimaschutzbeirat https://www.karlsruhe.de/umwelt-klima/klimaschutz-klimaanpassung/klimaschutzaktivitaeten/klimaschutzziele-der-stadt-karlsruhe	Ziel des beratenden Gremiums ist es, vor Ort vorhandenes Engagement und Wissen für die Weiterentwicklung der kommunalen Klimaschutzstrategie zu nutzen. Im Beirat sind ausgewählte Institutionen aus Wissenschaft, Wirtschaft sowie Umwelt und bürgerschaftlichem Engagement vertreten.
Portal Umwelt-BW www.umwelt-bw.de/	Das Web-Portal unterstützt die Umsetzung des gesetzlichen Anspruchs auf freien und einfachen Zugang zu Umweltinformationen und wird vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg betrieben.
Geschäftsstelle Netzwerk Wasserforschung BaWü www.wassernetzwerk-bw.de	Ziel des Netzwerks Wasserforschung Baden-Württemberg ist die interdisziplinäre und standortübergreifende Vernetzung der vielfältigen Aktivitäten der Wasserforschung im Land. Das MWK unterstützt die Wasserforschung mit einem innovativen Forschungs- und Strukturprogramm: Neben Verbundprojekten werden inter- und transdisziplinäre Veranstaltungen und Workshops gefördert, um langfristige Perspektiven in der Wasserforschung zu entwickeln.
Landesforschungszentrum Geothermie, in diesem Rahmen auch Beratungstätigkeit https://www.agw.kit.edu/2591.php	Einrichtung des Landes Baden-Württemberg am KIT mit dem Ziel, fachübergreifende Forschung, Lehre, Ausbildung und Technologie zur Geothermie zu fördern, Bürgerinnen und Bürgern, Ministerien und Behörden zu informieren und zu beraten.
Filmreihe Traumfabrik: Transformation Cinema / Ecocinema https://www.forum.kit.edu/Traumfabrik.php	Kuratierte Filmreihe in der Schauburg mit Einführung und Kinogespräch, mit Begleitseminaren am FORUM und Weiterbildungskurs der AWWK.

Aktivitäten zum Themenfeld Mensch und Technik	
Global Consortium for Sustainability Outcomes (GCSO) , und speziell: Mut zur Partnerschaft – Städtische Kooperationsentwicklung für Nachhaltigkeits transformationen (AudaCITY) https://www.itas.kit.edu/2017_015.php	Als GCSO beteiligt sich das ITAS an der Nachhaltigkeits-Schulung städtischer Führungskräfte. Außerdem berät es Partner-Universitäten reallaborartig zum Themenkomplex Energie-Wasser-Abfall auf dem Campus. Als eine von elf internationalen Wissenschaftseinrichtungen beteiligte sich das KIT 2016 an der Gründung des GCSO. Ziel des internationalen Netzwerks ist es, Ideen zur Lösung von Nachhaltigkeitsproblemen lokal zu entwickeln und zu testen und sie dann mit Hilfe der Partnerinnen und Partner auch andernorts zu realisieren.
Projekt RELATER www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/relater-verbesserung-der-kommunikation-bei-der-psychiatrischen-versorgung-von-gefluechteten-8807.php	Der Erfolg einer psychiatrischen und psychotherapeutischen Behandlung hängt entscheidend von der Qualität der Kommunikation zwischen Therapeutin bzw. Therapeut und Patientin bzw. Patient ab. Bei Geflüchteten scheitert dies jedoch oft an Sprachbarrieren. Das Zentralinstitut für Seelische Gesundheit (ZI) in Mannheim und das KIT entwickeln innerhalb des 2019 gestarteten BMBF-Projektes RELATER ein tragbares, sicheres und erweiterbares Übersetzungssystem für diagnostische Interviews mit Geflüchteten aus dem arabischen Sprachraum. Das Projekt wird 2025 abgeschlossen.
Bioökonomie Baden-Württemberg www.biooekonomie-bw.de	Netzwerk zum Forschungsprogramm „Bioökonomie“ des Landes Baden-Württemberg. Das KIT ist über das IKFT, EBMI, IIP und ITAS mit Projekten beteiligt. Aufgrund einer Neuausrichtung der BIOPRO Baden-Württemberg mit einem Fokus auf das Themenfeld Gesundheit wird das Themenfeld Bioökonomie im Land nicht weiter betreut. Daher wird das Portal Bioökonomie BW ab Januar 2024 nicht mehr aktualisiert.

Aktivitäten zum Themenfeld Wissenschaftskommunikation	
Science Media Center (SMC) www.sciencemediacenter.de	Das KIT war eines der ersten Gründungsmitglieder des Fördervereins. Das Science Media Center wird von der Klaus Tschira Stiftung sowie Fördererinnen und Förderern aus Wissenschaft und Wirtschaft unterstützt. Es unterstützt kostenfrei Medienschaffende in ihrer Berichterstattung bei Themen mit Wissenschaftsbezug für einen starken Wissenschaftsjournalismus. Zahlreiche Expertinnen und Experten des KIT stellen Input für das SMC durch wissenschaftliche Expertise bereit.
Bundesverband Hochschulkommunikation www.bundesverband-hochschulkommunikation.de	Der Verband hat mehr als 1.000 Mitglieder. Der Bundesverband Hochschulkommunikation e. V. setzt sich ein für die strategische Entwicklung des Berufsbildes und für die Qualitätssicherung in allen Feldern der Hochschulkommunikation.

Nationales Institut für Wissenschaftskommunikation NaWik www.nawik.de	Das NaWik forscht auf dem Gebiet der Wissenschaftskommunikation und entwickelt hierfür neue Konzepte, Methoden und Plattformen. Gleichzeitig vermittelt das NaWik Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, Studierenden und in der Öffentlichkeitsarbeit tätigen Personen die Grundlagen guter Wissenschaftskommunikation und bietet vielfältige Aus- und Weiterbildung in allen relevanten Medien. Das NaWiK ist zudem in der Erforschung der Wissenschaftskommunikation aktiv. Gesellschafter des NaWik sind das KIT und die Klaus-Tschira-Stiftung.
WissKon – die NaWik-Konferenz für kommunizierende Forschende https://www.nawik.de/wisskon/die-konferenz/wisskon24/	Die WissKon – die NaWik-Konferenz für kommunizierende Forschende – findet jährlich in Karlsruhe statt. Einen Tag lang tauschen sich Interessierte zu Themen der Wissenschaftskommunikation aus.
Online-Plattform Wissenschaftskommunikation www.wissenschaftskommunikation.de	Die Plattform ist ein gemeinsames Projekt von WiD (Wissenschaft im Dialog) mit der Abteilung Wissenschaftskommunikation am Institut für Technikzukünfte sowie dem NaWik. Sie bildet das zentrale Informations- und Diskussionsportal für alle, die Wissenschaft kommunizieren. Die Plattform greift aktuelle Debatten auf, vermittelt Ergebnisse aus der Wissenschaftskommunikationsforschung und stellt Kommunikationswerkzeuge sowie Fortbildungsmöglichkeiten vor.

A.4.2 Technologietransfer

Die Koordination und wesentlichen Services des IP-basierten Technologietransfers sind am KIT in der Dienstleistungseinheit Innovations- und Relationsmanagement (IRM) im Ressort des Vizepräsidenten Transfer und Internationales angesiedelt. Um die Synergien an der Schnittstelle zu Wirtschaft und Gesellschaft systematisch und umfassend zu erschließen, wurden in der Dienstleistungseinheit auch weitere Themenfelder bzw. die Betreuung weiterer Zielgruppen verankert, die hier unmittelbar einwirken oder Interesse an einer engen Verbindung haben. Beispiele sind die Begleitung von Absolventinnen und Absolventen in die Wirtschaft (Career Service), die Verbindung zu ehemaligen Studierenden und Beschäftigten in Wirtschaft und Gesellschaft (Alumnae und Alumni) oder die Förderung des KIT durch Unternehmen oder Privatpersonen (Fundraising, Sponsoring).

Im Folgenden wird primär über die Themenfelder zum Technologietransfer berichtet. Die Synergien aus allen in der Dienstleistungseinheit bearbeiteten Aufgaben hat jedoch u.a. vor dem Hintergrund der Transferstrategie der Helmholtz-Gemeinschaft sowie des Transferbarometers des Stifterverbands eine zunehmende Bedeutung und ist ein Differenzierungsmerkmal in der Wissenschaftslandschaft.

Im Jahr 2024 wurde im Rahmen des Leitprojekts Transfer partizipativ über das Transferverständnis am KIT, ausgewählte Maßnahmen zur Stärkung des Wissens- und Technologietransfers sowie ein adäquates Monitoring diskutiert und erste Weichen gestellt. Das Leitprojekt endet 2025. Über die Ergebnisse mit Wirkung für den Technologietransfer wird entsprechend in der kommenden Periode berichtet.

Die **Personalressourcen** innerhalb der Dienstleistungseinheit IRM für den Kern des Technologietransfers, d.h. Patente, Technologiemarketing und -transfer, Lizenzen sowie Gründungen und Beteiligungen liegen über die Jahre auf etwa gleichbleibendem Niveau. Durch verschiedene Ereignisse wie Personalfuktuation, Projektfinanzierungen aber auch Elternzeitphasen etc. gibt es natürliche Schwankungen.

<i>Arbeitsverträge „Technologietransfer“</i>	<i>VZÄ (gerundet)</i>
Grundfinanziert	24
Drittmittelfinanziert (BMBF, BMWK, HGF, Land BW und sonstige Einnahmen)	21

Mit unmittelbarer Relevanz für den Technologietransfer werden zunächst die vier Themenfelder der Innovationsstrategie des KIT aufgeführt.

Im Themenfeld **Strategische Partnerschaften** wird die Zusammenarbeit des KIT mit rund 20 ausgewählten Partnern auf Grundlage konkreter Daten aus den Feldern Forschung, Lehre, Innovation, Internationalisierung, Recruiting und gesellschaftlicher Dialog kontinuierlich ausgewertet. Auf dieser Grundlage werden Entscheidungen zum Eingehen und Begleiten strategischer Partnerschaften mit entsprechenden Lenkungsreisen auf Leitungsebene im Segment Wirtschaft getroffen. Derzeit gibt es sieben strategische Partnerschaften mit den Unternehmen ABB AG, BASF SE, Robert Bosch GmbH, IBM Deutschland GmbH (2024 neu), SAP SE, Schaeffler Technologies AG & CO. KG und Carl Zeiss AG. Weitere Gespräche wie u.a. mit der SIEMENS AG werden derzeit geführt.

Die Strategischen Partnerschaften sind eng mit dem *KIT-Business-Club* verbunden, der mit seinen Leistungen derzeit 32 Unternehmen betreut. Dies erfolgt über Veranstaltungen wie Thementage oder Kaminabende, insbesondere jedoch über individuelle Recherchen zu Forschungsthemen, Kontaktvermittlung zu den Instituten sowie maßgeschneiderte Veranstaltungsformate für einzelne Mitglieder. Die Veranstaltungen im Jahr 2024 widmeten sich u.a. den Themen Chipdesign und Prozesstechnik. Mit Schneider Electric und Thales traten zwei weitere FuE-starke Unternehmen dem *KIT-Business-Club* bei. Darüber hinaus wird innerhalb der Dienstleistungseinheit IRM noch das Alumni-Netzwerk der *KIT Industry Experts* und ein Netzwerk aus Investoren im Startup-Umfeld betreut.

Im **Themenfeld Technologietransfer** steht die Sicherung und die kommerzielle Verwertung des am KIT entstehenden geistigen Eigentums (Intellectual Property – IP) im Mittelpunkt. Bei der Anzahl der Erfindungsmeldungen von 95 (+25), ist gegenüber 2023 eine leichte Steigerung zu verzeichnen, ebenso bei der Anzahl der Patentanmeldungen von 48 (+10). Im Rahmen der kontinuierlichen Validierungsprozesse, ist der Schutzrechtsbestand Ende 2024 auf 1.463 (-114) abgesunken, dieser Effekt ist im Wesentlichen auf die ältere Portfoliostruktur der Großforschungsaufgabe (GFA) zurückzuführen. Die Lizenzeinnahmen belaufen sich auf 1,46 Mio. Euro. Einen Sondereffekt im Jahr 2024 bildet das Herauskaufen eines an die INERATEC GmbH lizenzierten IP-Portfolios durch den Lizenznehmer in Höhe von mehreren 100.000 Euro. Die Entwicklung der vorangegangenen Jahre, dass ein höherer Anteil der IP-Einnahmen durch IP-Übertragung (Verkauf) erzielt wird, als durch Lizenzgebühren, setzt sich weiter fort. Das ist der anhaltenden, auf Auftragsforschung (Rahmenverträge) basierenden Drittmittelinwerbung zuzurechnen.

Die Unsicherheit in der Wirtschaft erschwert die Umsetzung neuer lizenzbasierter Transferprojekte, auf Grundlage gemeinsam Produkt entwickelnder F&E. Dennoch konnten 2024 fünf neue Projekte mit Industriepartnern gestartet werden. Das erfolgreiche Wirken der bisher drei thematisch aufgestellten Innovationsmanagerinnen und Innovationsmanager wurde durch einen weiteren Innovationsmanager für das neue KIT-Zentrum HealthTech gestärkt. Im Rahmen der kontinuierlichen Verbesserungsprozesse wurde der Internetauftritt des Technologietransfers überarbeitet, um den Zielgruppen der Forschenden intern und der Wirtschaft extern, noch mehr relevante Informationen zu Angeboten des Technologietransfers zukommen zu lassen (www.techtransfer.kit.edu).

Im **Themenfeld Gründungen & Beteiligungen** wurden 58 Gründungen von Studierenden, wissenschaftlichen Mitarbeitenden und Alumni gezählt, davon 16 forschungs-/IP-basierte Vorhaben und 42 Vorhaben aus dem studentischen Umfeld bzw. von Ehemaligen des KIT. Gezählt wurden dabei alle Unternehmensformen. Damit verbleibt man auf dem hohen Niveau der letzten Jahre und in der Spitzengruppe nationaler Rankings (z.B. Gründungsradar des Stifterverbands). Bei den Technologiebeteiligungen gab es im Berichtsjahr zwei Exits (Verkauf memetis GmbH, Liquidation amcure GmbH) und drei neue Beteiligungen (Noxon, Revyve, Validator), so dass das Portfolio zum 31. Dezember 2024 bei 13 Technologiebeteiligungen lag. Um auch die Prozesse zum Eingehen und zur Aufgabe von Beteiligungen weiter zu optimieren, wurden die zugehörigen Regelungen in Abstimmung mit dem Aufsichtsrat des KIT bzw. mit der Kommission der Finanzmittelgeber (FGK) des KIT überarbeitet.

Verschiedene neu gestartete Initiativen wie z.B. das Interreg-Projekt *KTUR*², die *Inspire BW Hubs* des Landes oder *EXIST Women* sichern bzw. ergänzen die Angebote der KIT-Gründerschmiede für Gründungsinteressierte sowie Gründerinnen und Gründer. Von besonderer strategischer Bedeutung war die intensive Zusammenarbeit mit den Partnern Universität Stuttgart, Universität Heidelberg, Universität Ulm und der Hochschule der Medien Stuttgart sowie dem IPAI in Heilbronn und dem strategischen Partner NXTGN GmbH zur Etablierung einer NXTGN

Startup Factory in Baden-Württemberg. Hier wurde die Endrunde im Wettbewerb des BMWK erreicht und derzeit wird der Vollantrag erarbeitet, über den im Sommer 2025 befunden wird. Als ein wichtiges Thema wird dabei auch die weitere Optimierung des IP-Transfers an Ausgründungen aufgenommen.

Mit dem durch die KIT-Gründerschmiede erstmals organisierten Innovators Homecoming am 30. Januar 2024 gelang es, viele ehemalige Gründerinnen und Gründer sowie Führungskräfte mit Wurzeln am KIT nach Karlsruhe einzuladen. Mit 350 Gästen im Januar 2024 ist es gelungen, eine neue sehr erfolgreiche Veranstaltung mit großer Reichweite und Sichtbarkeit ins Leben zu rufen.

Das **Themenfeld Innovationskultur** wandelt sich im Rahmen der derzeitigen Diskussionen schrittweise in „Transferkultur“, das ergänzende Aspekte des Wissenstransfers umfasst. Im Technologietransfer wurden dazu weiterhin die bekannten Maßnahmen und Formate rund um die Marke „NEULAND“ durchgeführt. So gab es 2024 erneut einen Innovationswettbewerb und einen Innovationstag mit vielen Gästen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Neben einer Ausstellung mit Exponaten aus ausgewählten Forschungsfeldern des KIT, gemeinsamen Vorträgen zu Kooperationsprojekten mit Industrievertreterinnen und -vertretern, konnten sich auch Startups präsentieren. Highlights waren die Übergabe der Innovationspreise 2024 sowie der Gründerpitch des KIT.

Zur Transferkultur hat weiterhin die Intrapreneurship Initiative „maKeIT“ mit verschiedenen Formaten zur Befähigung und Begleitung von Forschenden beigetragen. Hier werden auch die inhaltlichen Arbeiten zu den beiden Helmholtz Transfer Academies HAFIS (Federführung KIT) und InnoSuper (Federführung FZJ) durchgeführt. Gemeinsam mit der KIT-Gründerschmiede, wurden Formate für Erfahrungsaustausch und Beratung zum unternehmerischen Denken und Handeln gestärkt und damit auch die Bedeutung von Innovationsprojekten und Gründungen aufgezeigt.

Eine wichtige Rolle in der Transferkultur nimmt auch der TRIANGEL Transfer | Kultur | Raum in der Innenstadt von Karlsruhe ein, an dem sich Innovatorinnen und Innovatoren sowie Gründerinnen und Gründer an der Schnittstelle zu Wirtschaft und Gesellschaft im Erfahrungsaustausch und Wissenstransfer betätigen können. Seit der Eröffnung im Mai 2022 erlebt das TRIANGEL eine rasante Entwicklung und Nachfrage – 2024 gab es über 300 Veranstaltungen. Durch die unmittelbare räumliche Nähe zu den Intra- und Entrepreneurship Services, ab 2024 ebenfalls Kronenplatz, entsteht schrittweise ein Quartier, das maßgeblich von den Themen Unternehmertum und Wissenstransfer geprägt ist. Exemplarisch seien die Wissenswochen CERN70@KIT und Mathematik, das Reallabor Festival, große Science Slams (mit bis zu 850 Zuschauerinnen und Zuschauern) sowie die Science Camps für Schülerinnen und Schüler genannt, letztere werden anteilig von verschiedenen Stiftungen finanziert.

Im **Themenfeld Career Service & Alumni** kann neben den Kernaufgaben mit knapp 600 Beratungen und 50 Workshops und Trainings, insbesondere auf eine überaus erfolgreiche Karrieremesse verwiesen werden. Ein neues Konzept hat rund 200 Unternehmen auf den Campus geführt, die mit dem Ergebnis ihrer Gespräche sehr zufrieden waren. Weiterhin war das KIT mit einem DAAD-Antrag „FIT@KIT – Karriere- und Bleibeperspektiven für internationale Talente“ erfolgreich. In der Kategorie Stipendien konnte mit 345 Deutschlandstipendien ein neuer Rekord erreicht werden. Das Netzwerk der Alumni ist auf über 28.000 weitergewachsen, hier sind rund 40 Veranstaltungen national und international zu verzeichnen.

Im **Themenfeld Fundraising, Stiftungen & Sponsoring** gab es verschiedene Förderungen durch Stiftungen, Unternehmen und Privatpersonen. Ein besonderes Highlight war der zweite Stiftungstag des KIT bei dem Teilnehmende von Stiftungen einen besseren Einblick in das

KIT, laufende Projekte und Förderoptionen gewinnen konnten. Aus dieser Veranstaltung haben sich erste neue Förderungen ergeben. Von besonderer Bedeutung waren auch die Sponsoringaktivitäten für das 200-jährige Jubiläum des KIT, das 2025 gefeiert wird und die Etablierung eines neuen Spendenportals, in dem künftig ausgewählte Projekte für eine Förderung beworben werden (www.giving.kit.edu).

Unternehmensgründungen 2005 bis 2023

Jahr	Name	Status	Förderungen	KIT-Lizenz	KIT-Beteiligung	Link	Anmerkung
2006	Sensolute GmbH	insolvent	-	Ja	Nein	sensolute.de	Ehemalige Beteiligung, insolvent
2007	microworks GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	micro-works.de	Infrastruktur-Nutzung
2008	IONYS AG	Aktiv	-	nein	Ja	www.ionys.de	Infrastruktur-Nutzung
2008	CYNORA GmbH	Aktiv	-	nein	Nein	cynora.com	Kooperationsvertrag in Liquidation
2008	Nanoscribe GmbH	Aktiv	-	ja	Nein	nanoscribe.de	Übernahme
2008	Simaps GmbH	Gewerbe abgemeldet	-	Nein, hatte mal eine Lizenz	Nein	-	Lizenzvertrag beendet
2008	Videmo GmbH und Co. KG	Aktiv	-	hat mal eine Lizenz	Nein	videmo.de	LV beendet
2009	Celitement GmbH	verkauft	-	Ja	Ja	celitement.de	Anteilsverkauf an Schwenk
2009	movisens GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	movisens.com	
2009	ViGEM GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	vigem.de	
2010	iuvaris GbR	aufgelöst	-	Nein	Nein	-	
2010	Gemfony scientific UG	Aktiv	-	Ja	Nein	gemfony.eu	
2011	Amcure GmbH	Aktiv	HE	Ja	Ja	amcure.de	Gesellschaft in der Liquidation
2011	Acquifer AG	Aktiv	HE	Ja, hatte mal eine Lizenz	Ja	aquifer.de	EXIT erfolgt
2011	Inreal Technologies GmbH	Aktiv	EXIST-GS, JI	Nein	Nein	inreal-tech.com	
2011	Pockettaxi GmbH	Gewerbe abgemeldet	-	Nein, hatte mal eine Lizenz	Nein	-	LV beendet
2011	Visolas GmbH	Nicht aktiv	-	Nein	Ja	-	Ehemalige Beteiligung
2011	Knowtion UG	Aktiv	EXIST-GS	Nein	Nein	knowtion.de	
2012	CCA – Carola Clean Air GmbH	Aktiv	HE	Nein	Nein	carola-clean-air.com	EXIT-Prozess gestartet
2012	FlexLog GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	flexlog.de	
2012	Nanomatch GmbH	Aktiv	HE	Ja	Nein	nanomatch.com	
2012	ScreenFect GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	screenfect.com	
2013	ArtiMinds Robotics GmbH	Aktiv	EXIST-GS, JI	nein	Nein	artiminds.com	Insolvenzverfahren
2013	Da-cons GmbH	Nicht aktiv	EXIST-GS, JI	Erloschen nur MoU u. Marke	Nein	da-cons.de	Insolvenzverfahren 2019
2013	Gebhart Quality Analysis 82 GmbH	Nicht aktiv	EXIST-GS, JI	Nein	Nein	-	
2013	Mighty Instruments UG	Nicht aktiv	EXIST-GS, JI	Nein	Nein	-	
2013	OPVEngineering GmbH	Aktiv	EXIST-GS, JI	Ja	Nein	opvengineering.de	
2013	aucentiq solutions GmbH	Aktiv	EXIST-GS, JI	Nein	Nein	geniously.com	06/2018 Umbenennung, vorher PriceNow UG
2013	SimQoo GbR	Nicht aktiv	EXIST-GS, JI	Nein	Nein	-	
2014	Corvolution GmbH	Aktiv	EXIST-FT	Ja	Nein	corvolution.com	
2014	KIT Campus Transfer GmbH	Aktiv	-	nein	Ja	kit-campus-transfer.de	Strategische Beteiligung
2014	Lightrig GmbH	Verkauft bzw. beendet	HE	Ja (Schutzrecht verkauft), Softwarelizenz beendet	Nein	lightrig.de	
2014	PARALUTION Labs UG & Co. KG	verkauft	EXIST-GS	Nein	Nein	-	
2014	R3DT GmbH	Aktiv	EXIST-GS, JI	Nein	Nein	r3dt.com	
2014	Nanosim GmbH	-	-	-	-		wurde in Nanomatch integriert
2015	300 MICRONS GmbH	Aktiv	HE-komplett	Ja	Ja	300microns.com	EXIT erfolgt
2015	cubuslab GmbH	verkauft	EXIST-GS, JI	Nein	Nein	cubuslab.com	
2015	Emmtrix Technologies GmbH	Aktiv	EXIST-GS, JI	Ja	Nein	emmtrix.com	
2015	Eyezag GbR	Nicht aktiv	EXIST-GS, JI	Hatte eine Lizenz => aufgelöst	Nein	-	
2015	Gestalt Systems GmbH	Aktiv	EXIST-GS	Nein	Nein	aquaplot.com	
2015	INERATEC GmbH	Aktiv	EXIST-FT, JI	Ja	Ja	ineratec.de	Teilnahme Finanzierungsrunde
2015	Keypoint Visual Management GmbH	verkauft	-	Nein	Nein	keypoint-company.de	
2015	MAPT UG	Nicht aktiv	EXIST-GS	Nein	Nein	mapt.pro	
2016	EDI GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	engineering-data-intelligence.de	

Jahr	Name	Status	Förderungen	KIT-Lizenz	KIT-Beteiligung	Link	Anmerkung
2016	EtIt Systems GbR	Aktiv	-	Nein	Nein	etit.systems	
2016	GoSilico GmbH	verkauft	EXIST-GS, JI	Ja	Nein	gosilico.com	LV (erfolgreich) beendet
2016	Kinemic GmbH	Aktiv	EXIST-FT	Ja	Nein	kinemic.com	
2016	Lavrio.solutions	Aktiv	-	Nein	Nein	lavrio.solutions	
2016	NovelSense UG	Aktiv	-	Nein	Nein	novelsense.com	
2016	otego GmbH	insolvent	EXIST-FT	Ja	Nein	otego.de	
2016	Robodev GmbH	Nicht aktiv	EXIST-GS	Nein	Nein	robodev.eu	
2016	Vanguard Photonics GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	vanguard-photonics.com	
2017	Lumobiotics GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	lumobiotics.com	
2017	SciMo GmbH	Aktiv	EXIST-GS, JI	Ja (Schutzrecht verkauft)	Nein	sci-mo.de	Schutzrecht verkauft
2017	ACT Air Coating Technologies GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	aircoating-technologies.com	
2017	Risklayer GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	risklayer.com	
2017	Memetis GmbH	Aktiv	HE-komplett, EXIST-FT	Ja (Schutzrecht verkauft)	Ja	memetis.com	EXIT zum Stichtag erfolgt
2017	HQS Quantum Simulations GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	quantumsimulations.de	
2017	Renumics GmbH	Aktiv	EXIST-GS	Nein	Nein	renumics.com	
2017	Vanguard Automation GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	vanguard-automation.com	
2017	Glassomer GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	glassomer.com	Vertragsschutzrechte ausgedünnt
2017	Stochastic Combinatorics GbR	Nicht aktiv		Nein	Nein	kein Internetauftritt	
2018	Aquarray GmbH	Aktiv	HE, EXIST-FT	Ja	Ja	aquarray.com	EXIT-Prozess gestartet Insolvenzverfahren
2018	GFX-Global GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	gasflow-mpi.com	
2018	Kamedi GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	heatit.de	
2018	Prenode GmbH	Aktiv	JI	Nein	Nein	prenode.de	
2018	thingsThinking GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	thingsthinking.net	
2018	Usetimes GmbH	Nicht aktiv	-	Nein	Nein	usertimes.io	
2018	Zana Technologies GmbH	Aktiv	EXIST-GS	Nein	Nein	zana.com	
2019	Simutence GmbH	Aktiv	HE komplett	Ja	Ja	Simutence.com	Infrastruktur-Nutzung
2019	Schnaitec GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	Schnaitec.com	
2019	Smellect GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	Smellect.de	
2019	Ventecon Technologies GmbH	Nicht aktiv	-	Nein	Nein	Ventecon.de	
2019	Thissen Analytics GmbH	Aktiv	-	Nein (Schutzrecht verkauft)	Nein	Thissen-analytics.de	
2019	Appointrix GmbH	verkauft	-	Nein	Nein		
2019	AURA GbR	Nicht aktiv	BMBF	Ja	Nein		
2019	Cepri-Tech GbR	Aktiv	-	Nein	Nein	Siehe CEPRICO	
2019	PromoNode GbR	Nicht aktiv	EXIST GS	Nein	Nein		
2019	n.able GmbH	Aktiv	HE komplett	Ja	Nein	n-able-innovation.com	In Liquidation
2020	Helipos.ai GmbH	Aktiv	EXIST GS, JI	Nein	Nein	helipos.ai/de	
2020	axxelera UG	Aktiv	HEkomplett	Ja	Nein	axxelera.com	
2020	preML GmbH	Aktiv	EXIST GS	Nein	Nein	preml.io	
2020	Kimoknow UG	Aktiv	-	Nein	Nein	kimoknow.de	Beteiligung seitens KIT abgelehnt
2020	empowering sustainable design UG	Aktiv	-	Nein	Nein		
2020	modugen GmbH	Aktiv	EXIST GS	Nein	Nein	modugen.de	Beteiligung seitens modugen abgelehnt
2020	Kites GmbH	verkauft		Nein	Nein	kites.ai	Von Zoom übernommen
2021	Aimino Tech GmbH	Aktiv	Startup-Secure	Nein	Nein	aimino.de	
2021	Askui GmbH	Aktiv	EXIST GS	Nein	Nein	askui.com	
2021	Chemogy GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	chemogy.com	
2021	Cloudfluid GmbH	Aktiv	EXIST GS	Nein	Nein	cloudfluid.de	
2021	enable technologies UG	Aktiv	-	Nein	Nein	enabl-tech.de	
2021	MARA Solutions GmbH	Aktiv	EXIST GS	Nein	Ja	mara-solutions.com	Teilnahme Finanzierungsrunde
2021	Phytonics GmbH	Aktiv	EXIST FT	Ja	Ja	phytonics.tech	Teilnahme an Finanzierungsrunde
2021	Qinu GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	Qinu.de	Beteiligung seitens Qinu abgelehnt
2021	revoAI GmbH	Aktiv	EXIST GS	Nein	Nein	revoai.de	Beteiligung seitens des KIT abgelehnt
2021	SafeAD GmbH	Aktiv	EXIST GS	Nein	Nein	safead.de	
2021	SilOrix GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	silorix.de	
2022	NeoCargo AG	Aktiv	-	Nein	Nein	neocargo.de	Strategische Beteiligung in der Diskussion
2022	Ceprico GmbH	Aktiv	EXIST GS / JI	Nein	Nein	ceprico.com	
2022	CaBIDI Drug Delivery UG (Nano Drug Delivery GmbH)	Aktiv		Ja	Nein		Sitz in Hannover, FuE-Liz-VT aktiv, kommerzielle Liz-VT in Verhandlung (Finanzierung kritisch); Beteiligung abgelehnt
2022	Femfeel GmbH	Aktiv	EXIST-GS	Nein	Nein	femfeel.de	Übernahme durch Medicine Health Family
2022	Semor.ai GmbH	Aktiv	EXIST-GS	Nein	Nein	semor.ai/	
2022	DishDetective GbR	Nicht aktiv	EXIST-GS	Nein	Nein	dishdetective.app	
2022	Mosaic Grid Solutions GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	mosaic-gridsolutions.com	
2022	TeachIt UG	Nicht mehr Aktiv	-	Ja (hatte eine Lizenz)	Nein	teachit.study	
2022	aiCorn GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	aicorn.de	
2022	Inventife Engineering GmbH	Aktiv	EXIST-GS	Nein	Nein	inventife.com	

Jahr	Name	Status	Förderungen	KIT-Lizenz	KIT-Beteiligung	Link	Anmerkung
2022	FastCast Ceramics GbR	Aktiv	HE, EXIST-FT	Ja	Nein	fastcast-ceramics.com	Beteiligung seitens FastCast abgelehnt
2022	MonKI Solutions GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	monki-solutions.com	
2022	Bolt Engineering GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	bolt-eng.com	
2022	SADEN GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	saden.de	
2022	Icodos GmbH	Aktiv	-	Ja	Nein	icodos.com	Beteiligung seitens KIT abgelehnt
2022	Nanoshape GmbH	Aktiv	EXIST-FT	Ja	Ja	n-biotics.de	Teilnahme an Finanzierungsrunde wahrscheinlich
2022	Turn.Energy GmbH	Aktiv	-	Ja	Ja	turn2x.com	Teilnahme an Finanzierungsrunde
2022	I3motion gGmbH	Aktiv	-	Nein (in Planung)	Ja	i3-motion.de	
2023	FORMIC Transportsysteme GmbH	Aktiv	HE, Ji, EXIST GS	Nein	Ja	formic-transportsystem.com	
2023	LITONA GmbH	Aktiv	-	nein	Nein	litona.de	
2023	Valoon GmbH	Aktiv	EXIST GS	Nein	Nein	valoon.chat	
2023	SPOTIUM GmbH	Aktiv	EXIST GS	Nein	Nein	spotium.de	
2023	Phabioc GmbH	Aktiv	EXIST GS	ja	Nein	phabioc.com	
2023	FastCast Ceramics GmbH	Aktiv	EXIST FT	Ja	Nein	fastcast-ceramics.com	Siehe oben, Umfirmierung
2023	Keystone Photonics GmbH	Aktiv	-	nein	Nein	keystone-photonics.com	
2023	InnoCharge GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	www.innocharge.de	
2023	Platomo GmbH	Aktiv	-	Nein	Nein	platomo.de	
2023	NOXON GmbH	Aktiv	-	Nein	Ja	noxon.io	
2023	Validaitor UG	Aktiv	Startup Se-cure	Ja	Ja	validaitor.com	
2023	Vitru Water GbR	Aktiv	EXIST GS	Nein	Nein	vitruwater.com	
2023	Revyve GbR	Aktiv	EXIST GS	Ja	Ja	www.revyve.tech	
2023	NeWood	Nicht aktiv	-	Nein	Nein		
2023	Semorai GmbH	Aktiv	EXIST GS	Nein	Nein	www.semor.ai	
2023	Inventife GmbH	Aktiv	EXIST GS	Nein	Nein	inventife.com	

Ausgründungen im Berichtsjahr 2024

BioWerkz GmbH

Geschäftszweck der BioWerkz GmbH ist die Forschung und Produktentwicklung im Bereich der Materialwissenschaft, sowie das Recycling, die Herstellung, der Handel und der Vertrieb von Materialien und Produkten in den Bereichen Bauwesen, Architektur, Möbel, Schreibwaren, Automobil und Konsumgütern in den Bereichen Sport und Freizeit unter Verwendung biologischer Produkte wie Holz und Bambus.

Cavigen UG (Helmholtz Spinoff, Go-Bio Initial)

Geschäftszweck von Cavigen ist das Entwickeln, Herstellen und Vermarkten thermogeformter Folien und Messgeräte zur Kultur und/oder Charakterisierung von Zellen sowie Vornahme aller Tätigkeiten und/oder Maßnahmen, die dem vorgenannten Gegenstand der Gesellschaft mittelbar oder unmittelbar zu dienen bestimmt sind. Das Team wurde unter anderem durch Helmholtz Enterprise und Go-Bio Initial gefördert. Ein Lizenzvertrag ist in Verhandlung.

TeraGEAR GmbH

TeraGear treibt die Entwicklung, Herstellung und den Vertrieb von Bauteilen und Systemen für die optoelektronische Signalerzeugung, Signalverarbeitung und Signalanalyse sowie Erbringung von Dienstleistungen auf dem Gebiet der Test- und Messtechnik voran. Ein Lizenzvertrag ist in Verhandlung.

Varmo UG

Der Zweck der Gesellschaft ist die Entwicklung, Herstellung und der Vertrieb von gedruckten elektronischen Bauteilen, insbesondere thermoelektrischen Bauteilen. Das Unternehmen ist aus dem Lichttechnischem Institut (LTI) des KIT entstanden und nutzt Räumlichkeiten im Zeiss Innovation Hub @ KIT.

Prio Optics GmbH (EXIST Forschungstransfer)

Prio Optics treibt die Entwicklung, Produktion und den Vertrieb von optischen und optoelektronischen Verfahren und Produkten sowie Geräten und Material zu deren Herstellung voran. Das Unternehmen wird durch EXIST Forschungstransfer gefördert. Ein Lizenzvertrag ist in Verhandlung.

milli IC GmbH

Ziel der milli IC GmbH die Entwicklung, Produktion, der Vertrieb, die Lizenzierung und der Service von integrierten Hochfrequenzkomponenten sowie von Produkten, die Hochfrequenzkomponenten enthalten. Das Spin-off ist eine Ausgründung des Instituts für Hochfrequenztechnik und Elektronik (IHE) des KIT. Das Unternehmen ist spezialisiert auf das Design von RF- und Millimeterwellen-ICs für Sensoren und Kommunikationssysteme und legt seinen Fokus dabei auf Silizium-Germanium basierte Technologien.

Industrial AI UG

Industrial AI führt Beratungsprojekte in den Bereichen Künstliche Intelligenz und Datenanalyse mit Industriekunden durch. Mit der Lösung AIOps unterstützt das Unternehmen beim Aufbau konsistenter, bedarfsorientierter Datenmodelle, um das Geschäft der Kunden spürbar zu stärken. Das Unternehmen wurde von Alumni des KIT gegründet.

Neben den hier beschriebenen Spin-offs wurden zwei Umfirmierungen vorgenommen. Diese sind in der folgenden Tabelle aufgelistet:

Unternehmen
Validator GmbH (Umfirmierung)
REVVYE Technologies GmbH (Umfirmierung)

Laufende Gründungsförderprojekte am KIT im Jahr 2024 (Stand: 21.02.2025)

Projekt	Programm	Start	Ende	Beteiligungsoption
Prio Optics	EXIST FT	01.01.24	30.06.25	Nein
CAVIGEN	HE Spin-off	01.02.24	31.03.25	Nein
Enersoul	JI	01.03.24	28.02.25	Nein
Lifewise	EXIST GS	01.04.24	31.03.25	Nein
Razo Energy	EXIST GS	01.07.24	31.06.25	Nein
Straight up	EXIST GS	01.05.24	30.04.25	Nein
Rement	EXIST FT	01.10.24	31.03.26	Nein
Datin	EXIST GS	01.10.24	30.09.25	Nein
NextStepHR	EXIST GS	01.11.24	31.10.25	Nein
puerro	EXIST GS	01.12.24	30.11.25	Nein

A.5 Bericht zu den besonderen Finanzierungsaufgaben

Zeitenwende

- Initiativen zur Zeitenwende Energieversorgungssicherheit:
Tandem Solarzellen, GEOZeit, RESUR, Rohstoffsicherung: s. Kap. A.2.1.7.5.1
- Initiativen zur Zeitenwende Kerninformatik:
HeCI (Helmholtz Core Informatics Research at KIT): s. Kap. A.2.2.6.3

Innovationspools

- Helmholtz Energy: s. Kap. A.2.1.7.4
- Helmholtz Information: s. Kap. A.2.2.6.3
- Helmholtz Matter: s. Kap. A.2.3.7.1
- Forschungsbereich Erde und Umwelt: s. Kap. A.2.4.4.7

ATMOHub

s. Kap. A.2.4.4.5

Inkubator-Plattformen

s. Kap. A.2.2.6.1

Innovationsplattformen

- Solar Tab: s. Kap. A.2.1.7.5.2

Pakt-Restmittel

- Klimagerechte Sanierung – Kaltwassernetz: s. Kap. A.1.2.4 „Bauliche Entwicklung“
- FIS-Demonstrator Rock-it: s. Kap. A.2.3.7.2
- Helmholtz KLIMA-Initiative: s. Kap. A.2.4.4.8

Helmholtz Foundation Model Initiative

- SolAI: s. Kap. A.2.2.6.2
- HClimRep: s. Kap. A.2.4.4.6

A.6 Infrastruktur (IK V-VII)

Übergeordnete Entwicklungen der Administration und Infrastruktur

Forschung, Lehre und Innovation werden am KIT durch eine moderne Administration unterstützt. Am KIT ist die Verwaltung in Serviceeinheiten (SEs), Dienstleistungseinheiten (DEs), Stabsstellen, zentralen wissenschaftlichen Einrichtungen und zentralen Betriebseinrichtungen organisiert. Das KIT hat zudem vier nicht akademische Wahlämter (Personalrat, Chancengleichheitsbeauftragte, Jugend- und Auszubildendenvertretung sowie Schwerbehindertenvertretung). Im Berichtsjahr bestehen Administration und Infrastruktur des KIT aus den folgenden Organisationseinheiten, die gemäß dem Ressortprinzip je einem der sechs Präsidiumsmitglieder zugeordnet sind (s.u.). Seit dem 1. Januar 2024 gibt es Änderungen in der Aufbauorganisation. Diese werden im Kapitel A.1.2.1 des vorliegenden Berichts beschrieben und sind in den Organigrammen abgebildet (s. S. 13 ff.).

Organisationseinheiten des KIT im Berichtsjahr 2024

Ressort Präsident (Prof. Dr. Oliver Kraft in Vertretung des Präsidenten des KIT bis 30. September 2024; Prof. Dr. Jan S. Hesthaven ab 1. Oktober 2024)

- Stab und Strategie (STS)

Ressort Forschung (Prof. Dr. Oliver Kraft)

- Forschungsförderung (FOR)
- Karlsruhe House of Young Scientists (KHYS)
- Technik-Haus (TEC)

Ressort Lehre und akademische Angelegenheiten (Prof. Dr. Alexander Wanner)

- Hochschulrecht und Akademische Angelegenheiten (HAA)
- House of Competence (HoC)
- Studium und Lehre (SLE)
- Studienkolleg für ausländische Studierende (STK) / MINT-Kolleg
- Studium Generale. Forum Wissenschaft und Gesellschaft (FORUM)

Ressort Transfer und Internationales (Prof. Dr. Thomas Hirth)

- Innovations- und Relationsmanagement (IRM)
- Internationales (INTL)

Ressort Digitalisierung und Nachhaltigkeit (Prof. Dr. Kora Kristof)

- KIT-Bibliothek (BIB)
- Scientific Computing Center (SCC)
- Digital Office (DO)
- Datenschutz (DSB)
- Sustainability Office (SO)

Ressort Finanzen, Personal und Infrastruktur (Michael Ganß bis 31. Juli 2024; Dr. Stefan Schwartze ab 1. September 2024)

Im Ressort Finanzen, Personal und Infrastruktur wurden drei Serviceeinheiten (SE) auf L2-Ebene (SE Finanzen, SE Personal, SE Infrastruktur) eingesetzt. Daneben bestehen weiterhin administrative Organisationseinheiten auf L3-Ebene (Dienstleistungseinheiten und Stabsstellen), die direkt an den Vizepräsidenten Finanzen, Personal und Infrastruktur berichten.

Serviceeinheiten

- Serviceeinheit Finanzen
 - Einkauf, Verkauf und Materialwirtschaft (EVM)
 - Finanzmanagement (FIMA)
- Serviceeinheit Personal
 - Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt (FTU)
 - Personalentwicklung und Berufliche Ausbildung (PEBA)
 - Personalservice (PSE)
 - Konfliktmanagement und Psychosoziale Beratung (KMB)
- Serviceeinheit Infrastruktur
 - Campus Services (CSE)
 - Facility Management (FM)
 - Planen und Bauen (PB)

Dienstleistungseinheiten und Stabsstellen

- Medizinische Dienste (MED)
- Organisationsentwicklung und Prozesse (OEP)
- Projekt-, Prozess- und Qualitätsmanagement (PPQ)
- Projektträger Karlsruhe (PTKA)
- Rechtsangelegenheiten (RECHT)
- Sicherheit und Umwelt (SUM)
- Compliance (COMP)
- Fachkräfte für Arbeitssicherheit (FAS)
- Innenrevision (REV)

Im Folgenden wird, dem Berichtszweck entsprechend, eine Gewichtung der Darstellung mit Konzentration auf die Großforschungsaufgabe vorgenommen, immer jedoch auch mit Blick auf das KIT als gesamte Institution. Die Zuordnung der Organisationseinheiten zu den jeweiligen Unterkapiteln A.6.1 bis A.6.3 folgt den Vorgaben des BMBF. Innerhalb dieser Unterkapitel wiederum entspricht die Reihung der Ressortzuordnung des KIT bzw. der Abfolge im Organigramm der Aufbauorganisation.

A.6.1 Entwicklung des Zentrummanagements

Die Dienstleistungseinheit (DE) **Stab und Strategie (STS)** unterstützt als zentrale DE im Ressort des Präsidenten das Präsidium in allen übergreifenden Stabs-, Strategie- und Kommunikationsaufgaben. Hierbei ist STS aktiv und koordinierend tätig, mit der Mission, die strategische Handlungsfähigkeit und Weiterentwicklung des KIT aktiv voranzutreiben.

STS entstand zum 1. Januar 2023 aus der Fusion der beiden Organisationseinheiten Strategische Entwicklung und Kommunikation (SEK) und Stab des Präsidenten (STAB). Mit den seit 2023 neuen Abteilungen „Zukunftskonzepte“ sowie „Wissenstransfer und politische Beziehungen“ umfasst STS neun Abteilungen.

Die Arbeit der Abteilung „Gremienbetreuung“ war bis zum Amtsantritt von Prof. Dr. Jan S. Hesthaven als Präsident des KIT sowie Dr. Stefan Schwartze als Vizepräsident Finanzen, Personal und Infrastruktur geprägt durch die Betreuung der beiden Verfahren. Weitere Schwerpunkte stellten die Organisation und Begleitung, bzw. Vorbereitung der Findungskommissionen für die Position der Bereichsleitung der Bereiche dar. Die Abteilungen „Qualitätsmanagement in Studium und Lehre“, „Strategisches Controlling und Reporting“ und „Berufungsverfahren“ unterstützten die strategische Arbeit des Präsidiums, gewährleisteten den Ablauf einer Vielzahl von Berufungsverfahren und trugen somit u.a. dazu bei, dass das KIT im Jahr 2024 die Marke von 415 Professorinnen und Professoren überschreiten konnte.

In der „Gesamtkommunikation“ wurden der crossmediale Kanalmix geschärft sowie das Format Video weiter ausgebaut, um verstärkt junge Zielgruppen (GenZ) anzusprechen. Im „Zentralen Marketing“ wurde die Basis für die Positionierung des KIT als glaubwürdiger Arbeitgeber geschaffen und das Studierendenmarketing weiter professionalisiert. Die Abteilung „Wissenstransfer und Politikbeziehungen“ bündelt, strukturiert und koordiniert Wissenstransferaktivitäten des KIT inkl. Berichtswesen und fördert die Vernetzung zwischen dem KIT und ausgewählten Akteurinnen und Akteuren aus der Politik oder auch kulturellen Einrichtungen. Hervorzuheben sind die Vorbereitung des Jubiläumsjahres 2025 des KIT und der KIT Science Week 2025. Im Jahr 2024 lag ein wesentlicher Fokus der Abteilung Zukunftskonzepte auf einem lateral geführten Projekt zur Ausarbeitung eines Konzepts zur Weiterentwicklung der Führungsstruktur des KIT durch Zusammenführung der beiden derzeitigen Geschäftsbereiche „Forschung“ und „Lehre und akademische Angelegenheiten“ zu einem integrierten Ressort sowie auf dem Abschluss und der abschließenden Erfolgskontrolle des Projekts „KIT 2.0“.

Das „Helmholtz Energy Office“ unterstützt den Vizepräsidenten Energie der Helmholtz-Gemeinschaft in seiner Rolle als Forschungsbereichsordinator Energie. 2024 wurden u.a. die Helmholtz Energy Transition Roadmap (HETR) sowie ein Positionspapier zur Energiewende veröffentlicht.

Die **Forschungsförderung (FOR)** unterstützt als zentrale DE die erfolgreiche Umsetzung der Forschungsstrategie des KIT. Die Mitarbeitenden von FOR informieren, beraten und begleiten die Wissenschaft und die Leitungsebenen des KIT bei der Einwerbung von Drittmitteln und Programmmitteln für die Forschung sowie bei der Koordination von Forschungsprojekten. Die Schwerpunkte ihrer Aufgaben umfassen die individuelle Förderberatung für die Wissenschaft; die Sammlung, Aufbereitung und Bereitstellung von Informationen; die formale Prüfung und Zeichnung von Anträgen sowie das Management ausgewählter Verbund-Anträge und -Projekte; die enge Begleitung strategischer Drittmittelinitiativen; Vorschläge für Wissenschafts-

preise sowie drittmittelfinanzierte Neuberufungen; die Planung und das Controlling der Programmorientierten Forschung (PoF); die Koordination der Umsetzung des Exzellenzuniversitätsantrags sowie die strategische Beratung der Leitungsebenen.

Im Berichtsjahr erzielte das KIT besondere Erfolge bei der Einwerbung von Drittmitteln, darunter drei neue ERC-Grants, zehn hochkarätige Nachwuchsgruppen (davon fünf DFG Emmy Noether und vier Helmholtz), eine Alexander von Humboldt-Professur, ein neues DFG-Graduiertenkolleg sowie mehrere erfolgreiche Fortsetzungsanträge für Sonderforschungsbereiche und Graduiertenkollegs.

Darüber hinaus ist FOR an internen Strategie- und Change-Projekten beteiligt, von denen einige exemplarisch erwähnt werden sollen: FOR koordinierte die Vorbereitungen des KIT auf die PoF V sowie die Exzellenzstrategie II, die Skizzenerstellung für die Nationale Roadmap für Forschungsinfrastrukturen und begleitete drei Vollerträge für Exzellenzcluster. Zudem trieb FOR die Implementierung eines Forschungsinformationssystems (FIS) weiter voran. Der Fachstrategieprozess Forschung zu den Themen „Kreislaufwirtschaft“ und „Mobilität“ wurde ebenfalls von FOR koordiniert. Zudem wurden die Umsetzung der Drittmittelstrategie des KIT in 2024 einer Wirkanalyse unterzogen und das KIT-interne Drittmittelportal zur Bündelung aller Services rund um den Drittmittelprozess im Berichtsjahr bilingual neu aufgesetzt.

Das **Karlsruhe House of Young Scientists (KHYS)** ist die zentrale Einrichtung für Nachwuchsförderung am KIT und Anlaufstelle für alle Promotionsinteressierten, Promovierenden, Postdocs und Betreuenden. Es begleitet das Young Investigator Network (YIN) und ist verbindendes Element für die Promotionsprogramme des KIT. Zu den Kernaufgaben des KHYS zählen individuelle Beratung, Qualifizierung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, Unterstützung und Begleitung koordinierter Forschungsprogramme und deren Initiativen bei der Erstellung von Antragsskizzen und Vollerträgen sowie Begutachtungen, die Weiterentwicklung der Nachwuchsförderung am KIT und die Qualitätssicherung der Promotionsbedingungen. Das Jahr 2024 war u. a. dadurch geprägt, dass die Programme für internationale Forschungsreisen des KHYS von den Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern sehr intensiv genutzt wurden. Außerdem konnten verschiedene Projekte erfolgreich vorangetrieben bzw. abgeschlossen werden. So wurden die Ergebnisse der beiden Befragungen der Promovierenden und Betreuenden veröffentlicht, Sonderauswertungen durchgeführt und den KIT-Fakultäten für die Qualitätssicherung gemäß Qualitätsmanagementhandbuch im Promotionswesen zur Verfügung gestellt. Das Projekt KIM-DOC zur Einführung des Webportals Docata für die Erfassung und Verwaltung von Promotionsvorhaben wurde erfolgreich beendet. Nun können neben der Promovierendenhochschulstatistik auch Statistiken für die Großforschungsaufgabe erstellt werden. Des Weiteren können sich jetzt Postdocs im Webportal Docata als Mitglieder des KHYS registrieren. Das Vorhaben „Young Scientist Support – KHYS“ des Exzellenzstrategieantrags beinhaltet die Weiterentwicklung des KHYS u.a. hinsichtlich der Zusammenarbeit mit den Promotionsprogrammen des KIT. Die Zusammenarbeit mit den neuen KIT Graduate Schools an den KIT-Zentren wurde weiter ausgebaut und die Zwischenberichterstattung aller KIT Graduate Schools vor dem KHYS-Lenkungskreis abgeschlossen. Das KHYS Postdoc Office, das eingeworbene Helmholtz Career Development Center, wird nach Projektende Ende 2024 verstetigt und die Angebote weiterentwickelt.

Die DE **Hochschulrecht und Akademische Angelegenheiten (HAA)** berät die Bereiche, KIT-Fakultäten, zentralen Einrichtungen und Dienstleistungseinheiten sowie die Lehrenden des KIT in rechtlichen Fragen in dem Bereich Studium und Lehre sowie im Hochschulrecht. Ziel der Beratung ist es, gemeinsam mit den genannten Stellen und Personen interessengerechte und praktikable Lösungen zu finden, die den rechtlichen Anforderungen gerecht werden. Darüber hinaus vertritt die DE HAA das KIT vor dem Verwaltungsgericht, insbesondere

in prüfungs- und zulassungsrechtlichen Streitigkeiten. Ein weiterer Schwerpunkt der Tätigkeit liegt bei der Unterstützung des Präsidiums in hochschulpolitischen Vorhaben und Selbstverwaltungsangelegenheiten, wie zum Beispiel bei der Einrichtung neuer Studiengänge oder bei der Beurteilung von Gesetzgebungsverfahren auf Landes- oder Bundesebene.

Die DE **Studium und Lehre (SLE)** ist eine zentrale administrative und beratende Dienstleistungseinheit, die dem Vizepräsidenten Lehre und akademische Angelegenheiten zugeordnet ist.

Die Zentrale Studienberatung und der Studierendenservice sind für Studierende und Studieninteressierte vor dem Studium, im Studium und nach dem Studium erste Ansprechmöglichkeit. Der Studierendenservice steht Bewerberinnen und Bewerbern am KIT, Studierenden sowie Absolventen und Absolventinnen zur Verfügung, um alle Prozesse von der Bewerbung bis zur Ausgabe der Abschlussdokumente zu unterstützen. Im Jahr 2024 erarbeitete das Team im Studierendenservice neue Serviceangebote für seine Kundschaft basierend auf einer im Dezember 2023 durchgeführten Zufriedenheitsumfrage unter den Studierenden.

Die Zentrale Studienberatung ist für Studieninteressierte die erste Anlaufstelle bei Fragen zur Studienwahl sowie zur Planung und Organisation des Studiums. Sie nimmt ferner eine koordinierende Funktion bei Angeboten für Schulen wahr und ist damit u.a. mit den Schülerlaboren am KIT verbunden. Um der steigenden Anfrage von Beratungen in Bezug auf Nachteilsausgleich, Umgang mit Neurodiversität oder weiteren „inklusive“ Fragestellungen gerecht zu werden, wird die Studienberatung ihr Beratungsangebot ausweiten und hat über Qualitätsverbesserungsmittel eine Anschubfinanzierung für eine weitere halbe Beratungsstelle erhalten.

Neben dem Service für Studieninteressierte und Studierende bietet die DE SLE parallel viele Beratungsangebote für die KIT-Fakultäten. Die Abteilung Studiengangsentwicklung beteiligt sich am internen Akkreditierungsverfahren KIT-PLUS und dessen systematischer Weiterentwicklung sowie der Begleitung bei der vorgabenkonformen Entwicklung und IT-unterstützten Darstellung der Studiengänge. Die Abteilung Campus- und Prozessmanagement widmet sich dem Anwendersupport und Prozessklärungen rund um das Campusmanagement und stellt damit die Schnittstelle zwischen KIT-Fakultäten und IT-Abteilung dar.

In der DE **Innovations- und Relationsmanagement (IRM)** werden Angebote zu fünf Themenfeldern gebündelt, die an der Schnittstelle zwischen den Studierenden und Beschäftigten des KIT und der Wirtschaft bzw. Gesellschaft liegen. Dies sind Strategische Partnerschaften mit der Wirtschaft, der IP-basierte Technologietransfer, Gründungen & Beteiligungen, Career Service & Alumni sowie Fundraising, Stiftungen & Sponsoring. In diesem Rahmen werden verschiedene Dienstleistungen angeboten, Marken und maßgeschneiderte Plattformen betrieben. Viele dieser Tätigkeiten werden durch Drittmittel finanziert.

Die inhaltlichen Ziele, die die DE sich für das Jahr 2024 gesetzt hatte, wurden erreicht. Neben den Routineaufgaben zur Unterstützung der Forschenden und der Studierenden zählte dazu insbesondere die weitere Konsolidierung und Professionalisierung von Angeboten und Prozessen, z.B. im Beteiligungsmanagement des KIT. Darüber hinaus haben sich verschiedene Projektoptionen ergeben, die zu einem leichten Wachstum geführt haben – exemplarisch seien das Projekt „Inspire BW Hub“ im Themenfeld Start-ups und der DAAD-Antrag „FIT@KIT – Karriere- und Bleibeperspektiven für internationale Talente“ genannt.

Als größeres eigenes Projekt kann das neue Spendenportal www.giving.kit.edu genannt werden, mit dem, beginnend im Jubiläumsjahr 2025, Angebote zur Förderung des KIT platziert werden. Gemeinsam mit mehreren Stiftungen konnte so auch das Format und Angebot der Science Camps für die neue Zielgruppe der Schülerinnen und Schüler ausgebaut werden.

Von strategischer Bedeutung war das Leitprojekt Transfer, in dem partizipativ ein gemeinsames Verständnis von Transfer, Maßnahmen zur Stärkung des Transfers und ein geeignetes

Monitoring erarbeitet wurden. Das Projekt wird 2025 abgeschlossen und an einigen Stellen Einfluss auf die Aktivitäten der DE IRM nehmen.

Das Gewinnen und Halten engagierter Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und damit auch die verlässliche drittmittelbasierte Projektarbeit bleiben eine große Herausforderung.

Die DE **Internationales (INTL)** ist Anlaufstelle für internationale Studierende sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die ans KIT kommen. Sie koordiniert die internationalen Kooperationen. Zudem fördert und begleitet sie die Mobilität von Studierenden und Mitarbeitenden des KIT ins Ausland.

Von großer Bedeutung war die Festlegung von Kategorien und Kriterien für die Identifikation und Weiterentwicklung strategischer internationaler Kooperationen des KIT. Intensität, Vielfalt und Belastbarkeit der Zusammenarbeit in Forschung, Lehre, Transfer und Innovation sowie Werte und die geopolitischen und geographischen Rahmenbedingungen bestimmen die Auswahl der exponierten Partner. Zu ihnen gehören die Universität Grenoble Alpes, die Aristoteles Universität Thessaloniki und die Tongji Universität, mit denen das KIT die Kooperation weiter vertieft hat.

Das gelang auch mit den International Excellence Fellowships. Herausragend sind dabei der „International Excellence Award“ und das „Fellowship of SCHROFF Foundation“, die das KIT zum zweiten Mal verliehen hat. Mit dem Preis kam der Klimaforscher Dr. Chris Funk von der Universität von Kalifornien in Santa Barbara an das KIT.

Intensiv begleitet und unterstützt hat INTL die Aktivitäten im Oberrheinverbund Eucor, in dem das KIT mit der Université de Strasbourg eine dritte grenzüberschreitende Professur eingerichtet hat, und in der europäischen Universitätsallianz EPICUR, die ein Centre for International Teaching and Learning (kurz EPiC TLC) eröffnet hat.

In der Erasmus+-Studierendenmobilität hat die DE INTL die Zahl der Auslandsaufenthalte weiter steigern können. Zugleich ist sie maßgeblich beteiligt an dem DAAD-Projekt FIT@KIT, das internationalen Studierenden den Übergang in den deutschen Arbeitsmarkt erleichtern soll.

Der Einsatz digitaler Tools verändert die Internationalisierung des KIT weiter. Die DE INTL hat die Einführung der verpflichtenden Online-Erfassung von Visiting Scientists koordiniert, die Transparenz und Effizienz des Service für Gastforschende optimiert. In Vorbereitung sind die Harmonisierung und Verbesserung der Anerkennung von im Ausland erbrachten Leistungen mit digitalen Werkzeugen.

Die digitale Transformation ist ein umfassender, gesellschaftlich relevanter Veränderungsprozess, der sowohl die Erfüllung der Kernaufgaben des KIT als auch das Arbeiten selbst kontinuierlich verändert. Im Mittelpunkt der digitalen Transformation stehen die zugehörigen Strukturen und Standards für die Informationsverarbeitung sowie die zentralen und dezentralen digitalen Dienste und deren Support am KIT. Weiterhin rücken auf Basis der strategischen Ausrichtung des 2023 etablierten neuen Präsidiums-Ressorts Digitalisierung und Nachhaltigkeit die nachhaltige Gestaltung der digitalen Transformation sowie die Nutzung digitaler Optionen für die Nachhaltigkeitstransformation in den Fokus. Gleichermaßen ist das KIT gefordert, seine Angehörigen zu befähigen, an den Entwicklungen der digitalen Transformation (bspw. Cloud und KI) kompetent teilzuhaben bzw. diese aktiv gestalten zu können. Die Stabsstelle **Digital Office inkl. Informationssicherheit (DO)** unterstützt das KIT bei der Umsetzung dieser umfassenden strategischen Anforderungen. Das DO ist der Vizepräsidentin Digitalisierung und Nachhaltigkeit bzw. CIO zugeordnet und ist die zentrale Einheit, die das gesamte KIT bei der digitalen Transformation, der Gewährleistung von Informationssicherheit und der nachhaltigen Digitalisierung begleitet. Hierzu verfügt das KIT über verschiedene Instrumente, die in der Verantwortung des DO liegen: eine dezidierte Governance zu Fragen der Digitalisierung sowie zugehöriger IT-Infrastruktur, partizipative Formate für die Berücksichtigung der Bedarfe der

Nutzerinnen und Nutzer, Umsetzung der strategischen Ausrichtung des KIT über Projektarbeit im Handlungsfeld Digitalisierung, Einrichtung spezifischer Task Forces, Arbeitskreise, Gremienarbeit, Mitwirkung in externen Projekten, Vernetzungsaktivitäten etc.

Im Berichtsjahr 2024 wurden im Handlungsfeld Digitalisierung alle vorgesehenen Strategiekonzepte zur weiteren Digitalisierung von Aufgaben und Prozessen aus den Themenfeldern „Forschung und Innovation“, „Studium und Lehre“, „Digital gestützte Administration“ sowie „Digitale Fundamente“ vorangetrieben. Schwerpunkte hierbei waren z.B. Forschungsdatenmanagement und Forschungssoftware, digitale Didaktik und digitale Lehr-/Lernsettings, die Einführung elektronischer Akten für bestimmte Anwendungsfälle in der Administration für Personal und Studierende, die Weiterentwicklung des digitalen Arbeitsraums am KIT sowie die Wissensvermittlung zu Digital Literacy und Data Literacy.

Begonnen wurde ein internes Projekt zu generativer Künstlicher Intelligenz gemeinsam mit dem Zentrum für Mediales Lernen (ZML), dem Rechenzentrum (SCC) und dem Digital Office (DO), um den kompetenten und verantwortungsvollen Umgang mit den Potenzialen und Risiken generativer Künstlicher Intelligenz in spezifischen Anwendungsbereichen am KIT zu ermöglichen und die Entwicklung aktiv mitzugestalten.

Zudem wurde das „Schnittstellenprojekt Digitalisierung und Nachhaltigkeit“ offiziell gestartet, um in einem partizipativen Ansatz gemeinsam mit allen KIT-Angehörigen in den Kernaufgaben des KIT einschließlich dem KIT als Organisation wichtige Potenziale an der Schnittstelle dieser beiden zentralen Transformationen zu identifizieren und voranzubringen.

Für das strategische Querschnittsthema Nachhaltigkeit ist die Stabstelle **Sustainability Office (SO)** im Ressort Digitalisierung und Nachhaltigkeit die zentrale Anlaufstelle im KIT. Das SO unterstützt die Vizepräsidentin für Digitalisierung und Nachhaltigkeit, Prof. Dr. Kora Kristof bei der Koordination aller Nachhaltigkeitsaktivitäten am KIT, um Sichtbarkeit und Wirksamkeit von Forschung, Lehre, Transfer, Technologien sowie die Dialogfähigkeit mit der Gesellschaft zum Klimaschutz und anderen Aspekten einer nachhaltigen Entwicklung weiter zu erhöhen. Zu den Aufgaben des SO gehört es, strategische Prozesse der Nachhaltigkeitstransformation des KIT zu begleiten und Nachhaltigkeits-Transformationsprojekte entlang der Kernaufgaben und im KIT als Institution zu initiieren und zu unterstützen. Eine weitere Aufgabe ist die Entwicklung und Umsetzung des Nachhaltigkeitsmanagements inklusive des Monitorings und Reportings von Daten und Fakten zur Nachhaltigkeit am KIT in Abstimmung mit den jeweils zuständigen Fachabteilungen. Zudem gestaltet das SO die Kommunikationsaktivitäten zu Nachhaltigkeit am KIT im Verbund mit den zentralen Kommunikationsstellen des KIT.

Im Berichtsjahr stand die weitere Umsetzung der Ziele des Handlungsfelds Nachhaltigkeit der Dachstrategie KIT 2025 im Vordergrund. Die Durchführung des dazu initiierten „Basisprojekt Nachhaltigkeit“ mit den beteiligungs- und wirkungsorientierten Arbeitspaketen war im Jahr 2024 wesentliches Betätigungsfeld. In dem KIT-weit verankerten Prozess, zu dem alle relevanten Akteure des KIT – Mitarbeitende wie auch Studierende – über verschiedene Formate zur Mitwirkung eingeladen wurden, wurden zahlreiche Ideen und Maßnahmen gesammelt, kriteriengeleitet priorisiert und darauf aufbauend Umsetzungsvorschläge in enger Abstimmung mit den jeweils zuständigen Ressorts erstellt. Das SO leitet im Verbund mit operativ verantwortlichen Stellen des Ressorts Administration das Arbeitspaket 6 „KIT-intern & KIT-Nachhaltigkeitsperformance“, das den Fokus auf den Arbeits- und Studienalltag legt, effiziente und zielführende Nachhaltigkeitsaktivitäten initiieren möchte und ressourcenschonende und zukunftsfähige Infrastrukturen zum Ziel hat. Dazu wurden Recherchen zu Good Practices und Akteuren, mehrere Workshops, Umfragen und ein Ideenwettbewerb durchgeführt, deren Ergebnisse unmittelbar im Arbeitspaket weiterverarbeitet wurden. Das wesentliche Ziel im Be-

richtsjahr war, in einem partizipativen Prozess die Grundlagen für impactorientierte Maßnahmen zur Nachhaltigkeit zu schaffen, damit im folgenden Jahr dazu Umsetzungsentscheidungen durch das Präsidium getroffen werden können. Weiterhin besteht am KIT ein starkes Interesse an einer nachhaltigen Entwicklung.

Die DE **Einkauf, Verkauf und Materialwirtschaft (EVM)** ist zentral zuständig für die Beschaffung von Lieferungen und Leistungen des KIT. Dabei werden die Beschaffungen nach den Grundsätzen der Wirtschaftlichkeit, Sparsamkeit und Nachhaltigkeit im Wettbewerb unter Beachtung des öffentlichen Vergabe- und Haushaltsrechtes durchgeführt. Unter denselben Voraussetzungen sind auch die einzelnen Organisationseinheiten berechtigt, Beschaffungen < 5.000 Euro netto durchzuführen; hiervon ausgeschlossen sind unter anderem Bau-, Personaldienst- und Beratungsleistungen sowie Werk- oder Dienstleistungen an Mitarbeitende des KIT. EVM ist darüber hinaus zentraler Ansprechpartner und Prozessverantwortlicher für die Erstellung und die Abgabe von Verkaufsangeboten sowie die Annahme von Aufträgen für Lieferungen und Leistungen sowie für Auftragsforschung des KIT bzw. für den Abschluss der zugehörigen Verträge. Inhaltlich sind die jeweils durchführenden Institute Sachverantwortliche. Im Einzelfall kann das Präsidium Organisationseinheiten auch berechtigen, Verkaufsvorgänge dezentral bis zu einem Auftragswert von 100.000 Euro netto eigenständig abzuwickeln, sofern nachweisbar eine ordnungsgemäße rechtliche und kaufmännische Bearbeitung sichergestellt wird. Im Rahmen der Materialwirtschaft übernimmt EVM zudem für die Großforschungsaufgabe die Bewirtschaftung von Haupt- und Nebenlagern, den Wareneingang und Versand, die interne Transportlogistik und sorgt für die Beratung in sowie die Abwicklung von Zoll-, Import- und Exportangelegenheiten. Eine vollständige Digitalisierung des Einkaufsprozesses vom Genehmigungsworkflow bis hin zur durchgängig papierlosen Bearbeitung aller Geschäftsvorfälle wurde mit Einführung der ERP-integrierten Self-Service-Lösung für Beschaffungen (easy-BANF) umgesetzt.

Die DE **Finanzmanagement (FIMA)** koordiniert und verfolgt die allgemeine Finanzlage, das externe und interne Rechnungswesen, das betriebswirtschaftliche Controlling, die zugehörigen Budgetierungsverfahren sowie das Liquiditätsmanagement. Zum Aufgabenbereich gehört insbesondere auch die Aufstellung der jährlichen Wirtschaftspläne nach kameralistischen und, im Rahmen der programmorientierten Förderung, kostenrechnerischen Grundsätzen, die interne Umsetzung der finanziellen Rahmenbedingungen in Form von Budgets der Organisationseinheiten, die Verfolgung dieser Budgets sowie die Abrechnung des Haushalts gegenüber den Zuschuss- und Zuwendungsgebern. Gemäß der Verwaltungsvereinbarung zwischen der Bundesrepublik Deutschland und dem Land Baden-Württemberg ist das KIT verpflichtet, die Bücher in sinngemäßer Anwendung der Vorschriften des Handelsgesetzbuches zu führen und durch eine transparente Trennung der Finanzströme sowie eine Kosten- und Leistungsrechnung den Nachweis der funktionsgerechten Finanzierung der beiden Aufgaben sicher zu stellen.

Im Rahmen einer internen mittelfristigen Finanzschau werden die zukünftigen Belastungen und finanziellen Risiken detailliert erfasst und dem Präsidium Instrumente zur strategischen Steuerung zur Verfügung gestellt. Dadurch werden Entwicklungen, die wesentlichen Einfluss auf die Vermögens-, Finanz- und Ertragslage haben könnten, rechtzeitig erkannt und entsprechende Maßnahmen zur Gegensteuerung ergriffen. Die Planung wird regelmäßig fortgeschrieben und den Gremien des KIT vorgelegt. Die Umsetzung der eingeleiteten Schritte wird permanent verfolgt. Die Verteilung der Mittel im wissenschaftlichen Bereich erfolgt gemäß der geltenden Governance über die wissenschaftlichen Bereiche, ein nachhaltiger Strategiefonds des Präsidenten wurde aufgebaut.

Die durch KIT 2.0 veränderten Randbedingungen wurden systemtechnisch ab 2023 abgebildet und das Berichtswesen, die Kosten- und Leistungsrechnung sowie die Budgetsteuerung im KIT werden permanent weiterentwickelt und möglichst weitgehend vereinheitlicht.

Für das Jahr 2023 wurde erstmals ein gemeinsamer handelsrechtlicher Jahresabschluss für die Großforschungs- und die Universitätsaufgabe nach neuen, mit den Finanzmittelgebern vereinbarten Regelungen aufgestellt und vom Wirtschaftsprüfer testiert. Neben dem übergreifenden Jahresabschluss wurden Segmentberichterstattungen in Form von Bilanz und GuV für die beiden Aufgaben erstellt.

Die Vereinheitlichung, Vereinfachung und Digitalisierung der Prozesse bis hin zur durchgängig papierlosen Bearbeitung aller Geschäftsvorfälle im Finanzbereich ist das mittelfristige Ziel, das konsequent verfolgt wird.

Die DE **Personalentwicklung und Berufliche Ausbildung (PEBA)** trägt als strategisch ausgerichtete Personalentwicklung zu einer lernenden Organisation und innovativen Kultur am KIT bei. Die Aufgaben von PEBA umfassen u.a. die Gestaltung von Personalprozessen sowie von Instrumenten des Personalmanagements, die Ausarbeitung planbarer Karrierewege und die Begleitung der individuellen Karriereplanung, Kompetenzentwicklung (Fort- und Weiterbildung), Begleitung von Veränderungsprozessen sowie Diversity Management.

Das Folgeprojekt New Work startete im Oktober 2023 und dient dazu, das Leitprojekt New Work, das im Herbst 2023 abgeschlossen wurde, umzusetzen. Im Rahmen des Folgeprojekts wurde im Jahr 2024 eine neue Dienstvereinbarung zur Mobilen Arbeit und Desk Sharing abgeschlossen, die bis zu 80 % Mobile Arbeit (bei Eignung der Tätigkeit) ermöglicht. Zudem umfasst das Folgeprojekt New Work Formate für die Breite der Beschäftigten (regelmäßige „Weiterbildungswerkstätten“ für alle Beschäftigten des KIT; Themen u.a.: Teamentwicklung im New Normal, Raumbuchungssystem, LernOS) sowie Formate für Führungskräfte (z.B. die Workshopreihe „Leadership now“, New Work und Kulturwandel, digitale Lernangebote). Das Folgeprojekt wird durch Aktivitäten zur nachhaltigen Flächenbewirtschaftung und Flexibilisierung ergänzt.

Im Rahmen von LernOS erfolgte die Entwicklung des Lernpfads „Jobcrafting“ als Ergänzung zu den bereits am KIT verfügbaren LernOS-Pfaden (bspw. „Offenheit und Vernetzung“). Als offenes System für selbstorganisiertes Lernen und Zusammenarbeit fördert LernOS den Austausch und die Vernetzung unter den Mitarbeitenden und unterstützt organisationales Lernen. Zur Optimierung der Rekrutierung neuer Mitarbeitender wurden 2024 zwei Projekte vorangetrieben. Im Projekt „Zukunft Personal Technische Infrastruktur“ wurden innovative Rekrutierungswege wie Active Sourcing über Xing getestet, um gezielt Fachkräfte anzusprechen. Zudem soll die Sichtbarkeit der Technischen Infrastruktur gesteigert werden, wofür Imagefilme entwickelt wurden, die in künftigen Kampagnen eingesetzt werden können. Parallel dazu stärkt das Projekt „Exzellenz durch Vielfalt“ ein diversitätssensibles Employer Branding. Im Jahr 2024 analysierte eine Agentur die Arbeitgebermarke KIT, begleitet von Workshops und Interviews mit Mitarbeitenden, um deren Motivation und Beweggründe für die Arbeit am KIT besser zu verstehen.

Das Angebot zur Durchführung von systematischen Personalauswahlverfahren für die Besetzung von Führungs-/Schlüsselpositionen wurde am KIT weiterhin gut angenommen. Darüber hinaus wurde der „Werkzeugkasten für Führungskräfte“ ergänzt. Die Neukonzeption und Digitalisierung des Instruments „Führungskräftefeedback“ schritt weiter voran. Im Jahr 2025 wird hierfür ein IT-Tool beschafft sowie der Feedbackbogen überarbeitet und getestet. Zudem wird eine neue Dienstvereinbarung dazu verhandelt.

Dem KIT war es wie in den vergangenen Jahren weiterhin ein wichtiges Anliegen, gute Arbeitsbedingungen für seine Beschäftigten anzubieten. Ein Instrument hierfür ist nach wie vor

die von Präsidium, KIT-Senat und Personalrat verabschiedete Selbstverpflichtung „Gute Arbeit am KIT“, in welcher die Randbedingungen für den verantwortungsvollen Umgang mit den Ermächtigungen zum Abschluss von befristeten Arbeitsverträgen im Wissenschaftszeitvertragsgesetz und im Teilzeit- und Befristungsgesetz geregelt werden.

Im Jahr 2024 hat die DE **Personalservice (PSE)** gemeinsam mit dem Präsidium, den Bereichen und Instituten weiter das Papier „Gute Arbeit am KIT“ gelebt und Erfolge erzielt. So betrug die Anzahl der Personen, die aus einem befristeten in ein unbefristetes Arbeitsverhältnis übernommen wurden, im Jahr 2024 insgesamt 152 (78 GFA / 74 UA). Die Zahl der sogleich unbefristeten Neueinstellungen auf der Basis der Selbstverpflichtung „Gute Arbeit am KIT“ betrug 141 (48 GFA / 93 UA).

Darüber hinaus wurden die folgenden Dienstvereinbarungen geschlossen: Die Dienstvereinbarung zur Mobilen Arbeit und Desksharing, unterzeichnet am 4. Juli 2024, wurde mit dem Ziel geschlossen, eine moderne und flexible Ausgestaltung des Arbeitsortes zu erreichen, die bessere Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben für Beschäftigte zu unterstützen und dadurch die Arbeitgeberattraktivität des KIT zu steigern und eine bessere Personalbindung zu erreichen. Die Dienstvereinbarung ersetzt die bislang am KIT geltende Dienstvereinbarung zur Telearbeit und Mobilen Arbeit vom 11. April 2022. Im Unterschied zur Vorgängerregelung kann Beschäftigten im Rahmen der festgelegten Voraussetzungen nun bis zu 80 %, in Ausnahmefällen bis zu 100% Mobile Arbeit gewährt werden (vorher nur bis zu 40 %). Die Gewährung erfolgt unbürokratisch durch Rücksprache mit dem oder der Vorgesetzten und eine Bestätigungs-E-Mail, in der die Eckpunkte festgehalten werden. Telearbeit ist nach der neuen Regelung am KIT nicht mehr möglich, der damit einhergehende Verwaltungsaufwand fällt demgemäß weg. Mit der Dienstvereinbarung wurde zudem die rechtliche Grundlage für die Einführung eines Desksharing-Modells in den einzelnen Organisationseinheiten und Instituten geschaffen. Desksharing soll perspektivisch eine nachhaltige und effiziente Flächennutzung am KIT unterstützen. Abhängig vom Umfang der jeweils gewährten Mobilen Arbeit können Beschäftigte nach diesem Modell zur Aufgabe ihres festen Arbeitsplatzes verpflichtet werden, das Modell sieht jedoch keine vollständige Abkehr von den festen Arbeitsplätzen vor. Am KIT gibt es zwei Schwerbehindertenquoten: eine für die KIT-Beschäftigten und eine für die Landesbeschäftigten, die dem Betriebsübergang widersprochen haben („Widersprecher“). Beide Gruppen arbeiten gleichermaßen für das KIT. Zum Stichtag 31. Dezember 2024 beträgt die Schwerbehindertenquote am KIT insgesamt 2,97 % (123 GFA- und 127 UA-Mitarbeitende von rund 9.500). Diese niedrige Quote ist typisch für Wissenschaftseinrichtungen mit vielen jüngeren und internationalen Beschäftigten. Die Quote der „Widersprecher“ liegt bei 10,22 % (13 GFA- und 41 UA-Mitarbeitende von rund 580). Diese Quote fließt in die Anzeige des Landes Baden-Württemberg ein. Um die gesetzlich vorgeschriebene Quote von 5 % nach § 154 SGB IX zu erreichen, setzt das KIT auf Diversität und Inklusion, Sensibilisierung von Führungskräften, Barrierefreiheit, flexible Arbeitszeitmodelle sowie Unterstützung durch die Schwerbehindertenvertretung und den Inklusionsbeauftragten.

Die Stabsstelle **Konfliktmanagement und Psychosoziale Beratung (KMB)** hat im Berichtszeitraum KIT-weit über 500 Mitarbeitende und Führungskräfte beraten und bei Konflikten sowie persönlichen, psychischen wie auch sozialen Herausforderungen begleitet. Die Fallzahlen sowie die Anzahl der ratsuchenden Personen blieben verglichen mit den Vorjahren auf gleichem Niveau. Bei den inhaltlichen Schwerpunkten der Beratungen haben die Themen psychische Belastungen und psychische Erkrankungen weiter zugenommen. Diese Themen wirken sich zunehmend auf interpersonelle Konflikte aus. Beratungen in englischer Sprache sowie von Mitarbeitenden in akademischen Qualifizierungsstufen stiegen auch im Jahr 2024 weiter auf aktuell 15 % an.

Aufgabe der DE **Planen und Bauen (PB)** ist die Durchführung von Baumaßnahmen an allen Standorten des KIT als Bauherrenvertretung in Abstimmung mit Finanzmittelgebern, Behörden und Prüfinstanzen. Am 9. April 2024 hat der Ministerrat des Landes Baden-Württemberg die Übertragung der Bauherrenverantwortung für die Universitätsaufgabe an das KIT beschlossen. Sie gilt rückwirkend ab dem 1. Januar 2024. Damit wirkt Planen und Bauen sowohl in der Universitätsaufgabe als auch in der Großforschungsaufgabe in Bauherrenverantwortung. Eine Ausnahme stellt der Standort Schiltach dar, an dem Vermögen und Bau Baden-Württemberg (VBBW), Amt Konstanz, die Bauherrenverantwortung innehat. Hier obliegt Planen und Bauen die Nutzervertretung.

Ab 1. Juli 2024 wurden mit Auflösung der DE Immobilienmanagement die Aufgaben der Bau-lichen Entwicklungsplanung und der Projektentwicklung als eigenständige Abteilung in die DE Planen und Bauen integriert.

Auf Basis der Ermächtigung des KIT im Wissenschaftsfreiheitsgesetz (WissFG) werden seit 2021 Baumaßnahmen >1 Mio. Euro - 6 Mio. Euro, seit 2023 auch > 6 Mio. Euro im Vereinfachten Bauverfahren durchgeführt. Anhand von vier Pilotmaßnahmen wurden die Verfahrensschritte in Abstimmung mit dem BMBF geschärft. Bei Projekten > 6 Mio. Euro wirkt die Oberfinanzdirektion Baden-Württemberg als externe Prüfinstanz mit.

Aktuelle Baumaßnahmen:

Campus Nord:

- Der Neubau des Karlsruher Center für Optics und Photonics (KCOP) ist deutlich vorangeschritten, die Fassade wurde weitgehend geschlossen, der Innenausbau ist in großen Teilen erfolgt. Insbesondere in den Gewerken der technischen Gebäudeausrüstung mussten Ausschreibungen mehrfach wiederholt werden, so dass ein Verzug eingetreten ist. Der Innenausbau im Kopfbau ist in weiten Teilen erfolgt, der Ausbau der Reinraumhalle läuft.
- Beim Ersatzneubau Institut für Katalyseforschung und -technologie (IKFT) wurde die Ausführungsplanung abgeschlossen, die Baugenehmigung liegt vor. Mit einer feierlichen Grundsteinlegung im November startete die Baufeldfreimachung.
- Mit Abschluss des VgV-Verfahrens für den Neubau der Forschungsinfrastruktur DIPAK konnte ein Generalplaner beauftragt werden, aktuell erfolgt die Entwurfsplanung.
- Für den Neubau der Werkfeuerwehr wurde ein zweistufiges VgV gestartet, aus dessen erster Phase drei Büros für die Weiterbearbeitung beauftragt wurden. Inhaltliche Schwerpunkte wurden neben den funktionalen Abläufen der Werkfeuerwehr auf Nachhaltigkeitsaspekte, insbesondere in Bezug auf Low Tech Konzepte gelegt. In Q2/2025 soll ein Generalplaner beauftragt werden.
- Neubau High Power Grid Lab: Das KIT erhielt den Zuschlag für die Strategische Ausbauinvestition HPGL, die eine Forschungsinfrastruktur im Bereich der Energieforschung darstellen wird. Für den Neubau hat das Einzelkoordinierungsgespräch im Oktober 2024 stattgefunden. Neben dem Gebäude, den Außenanlagen und der technischen Ausstattung erfolgt die neue Erschließung eines Geländebereichs für HPGL und weitere Forschungen im Energy Lab des KIT. Als benachbarte Projekte werden die Forschungsinfrastrukturen LH2Rail und ApplHy aus dem Bereich der Wasserstoffforschung errichtet.
- Gebäude 233 (Fertigungshalle IPE) wurde fertiggestellt und mit einer feierlichen Einweihung an den Nutzer übergeben.
- Neben den großen Sanierungen oder Neubauprojekten wurden mehrere Projekte im Bereich der Risikokappung durchgeführt. Aufgrund der relevanten Kosten sind hier vor allem Projekte im Bereich der Trinkwasserhygiene zu nennen.

Campus Alpin:

- Die Sanierung des Südwestflügels des IMK konnte in die Umsetzung starten. Die Vorabmaßnahmen wurden termingerecht abgeschlossen, der Freizug ist erfolgt. Der Abbruch wurde beauftragt.

Campus Ost:

- In Geb. 70.16 wurde der Ausbau des Dachgeschosses für das Projekts HOVER BIM-Lab fortgeführt. Aufgrund von Gewährleistungsmängeln kam es bei dieser Maßnahme zu Verzug.

Campus Süd:

- Anfang 2024 wurden die beiden Neubauten des InformatiKOM bezogen.
- Der Neubau des Lern- und Anwendungszentrum Mechatronik (LAZ) ist eine Maßnahme in Bauherrenverantwortung von VBBW. Der Rohbau wurde abgeschlossen, der Innenausbau erfolgt weiterhin.
- Das Projekt Ersatzneubau Botanische Institute wurde im Zuge der Übertragung der Bauherreneigenschaft von VBBW nach LPH 6 durch das KIT übernommen. Die Baugenehmigung liegt vor.
- Auch die Sanierung der Alten Botanik an der Kaiserstraße wurde von VBBW in fortgeschrittenem Stadium übernommen. Es sind Nacharbeiten in den LPH 3-6 erforderlich, der Baubeginn ist daher erst in 2025 vorgesehen.
- Für die Sanierung Pavillons am Schloss wurde die Bedarfsplanung abgeschlossen, das Einzelkoordinierungsgespräch erfolgte im Dezember 2024.
- Das KIT plant einen Antrag zur Förderung eines Forschungsneubaus nach §91 GG einzureichen. Die Bedarfsplanung für die Forschungsplattform Processing.Health wurde abgeschlossen, das Einzelkoordinierungsgespräch ist erfolgt.
- Aufgrund sehr schlechter Gebäudezustände und behördlicher Auflagen lag ein Schwerpunkt der Arbeiten im Bereich Brandschutzkappingsmaßnahmen und Sanierung von undichten Dächern. Beide Themen gefährden die Arbeitsfähigkeit des KIT und wurden daher hoch priorisiert.

Die DE **Organisationsentwicklung und Prozesse (OEP)** übernimmt als interner Dienstleister zentrale Aufgaben im Kontext des Organisationsmanagements, insbesondere in den Themenfeldern Organisation und Durchführung von Wahlen, zentrales Organisationsdatenmanagement, Beratung zu Fragen der Governance und einiger weiterer Koordinationsaufgaben. Mit dem Wechsel der Aufgaben des Prozessmanagements zu PPQ ab Juni 2024 werden dessen Ergebnisse dort berichtet.

Im Themenfeld „Wahlen“ mussten neben den regulär stattfindenden Wahlverfahren wieder in erheblichem Umfang weitere Wiederholungs- und Ergänzungswahlen durchgeführt werden. Ferner wurde gemeinsam mit der DE RECHT an der Evaluierung der Wahlordnung weitergearbeitet. Gegenstand der Arbeiten sind Standardisierungen, Entbürokratisierungen sowie (u. a. rechtliche) Konkretisierungen.

Im Rahmen der Pflege der Aufbauorganisation des KIT wurden wieder zahlreiche Organisationsänderungen, wie Neugründungen, Auflösungen, Änderungen oder Zusammenführungen von Organisationseinheiten auf unterschiedlichen Leitungs- bzw. Führungsebenen koordinativ begleitet und umgesetzt. Wie bereits in den Jahren zuvor lag auch im Jahr 2024 noch ein weiterer Schwerpunkt auf der Erfassung und Aktualisierung der Organisationseinheiten des KIT nach den Governance-Regeln (in Zusammenarbeit mit STS) sodass die Datenqualität nicht nur im SAP-Organisationsmanagement, sondern auch in den abnehmenden Systemen weiter verbessert werden konnte, was wiederum eine Voraussetzung für wirksame Digitalisie-

ungsmaßnahmen darstellt. Hier wurde in Zusammenarbeit mit bzw. unterstützend für datennutzende wie auch datenbereitstellende Organisationseinheiten des KIT an der Umsetzung interner IT-Projekte mitgearbeitet.

Im Bereich der Organisationsberatung hat das Projektteam an dem Projekt „Neufassung der Chancengleichheitssatzung und Novellierung der Wahlordnung der Chancengleichheitsbeauftragten und ihren Stellvertreterinnen“ weitergearbeitet.

Die **DE Projekt-, Prozess- und Qualitätsmanagement (PPQ)** übernimmt in der Initiierungs- und Umsetzungsphase von wissenschaftsinduzierten Ausbauinvestitionsprojekten des KIT Aufgaben des Projektmanagements und der Qualitätssicherung an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Administration wie auch den an den Projekten beteiligten externen Partner. Daneben nimmt sie interne Controlling-Aufgaben zu Ausbauinvestitionen sowie Aufgaben des Baucontrollings im Rahmen der Einführung des vereinfachten Bauverfahrens wahr. Seit 2024 ist auch das Prozessmanagement des KIT wieder PPQ zugeordnet.

Im Jahr 2024 wurden 24 laufende wissenschaftsinduzierte institutionell geförderte bzw. zusatzfinanzierte Projekte mit einem jeweiligen Investitionsanteil größer 2,5 Mio. Euro begleitet. Neben den inhaltlichen Fortschritten in den Projekten (vgl. Kapitel A.1) konnten auch die mit dem Projektmanagement verknüpften Prozesse im Berichtsjahr deutlich weiterentwickelt werden. So wurden die Schnittstellen zwischen allen an der Planung und Realisierung der Investitionsmaßnahmen beteiligten Organisationseinheiten der Administration weiter ausdifferenziert und optimiert. Mit der Einführung der Projektskizze als eines Dokumentationsformat von Eckpunkten, insbesondere von Projekten mit einem höheren Entwicklungsanteil, wurde zudem auch ein wichtiger Baustein für eine zukünftig verstärkte Scope-Betrachtung umgesetzt.

Im Rahmen des Multiprojekt-Monitoring werden in Abstimmung mit den wissenschaftlichen Projektbeteiligten und den Verantwortlichen für die baulichen Maßnahmen Informationen zum inhaltlichen, terminlichen und budgetären Projektfortschritt der wissenschaftlichen Großinvestitionsprojekte abgestimmt. Im Jahr 2024 wurde dazu mit der Dienstleistungseinheit Planen und Bauen 2024 die Abstimmung der Formate weiter vorangetrieben.

Der resultierende Fortschrittsbericht liefert damit konkretere Daten für die Leitungsebenen, das Finanzmanagement, insbesondere auch in Bezug auf die Planwerte des Wirtschaftsplans und zur Festlegung und Steuerung von Maßnahmen zum Abbau von Ausgaberesten in den Investitionen des KIT.

Beim weiteren Aufbau des Baucontrollings in der Großforschungsaufgabe wurden die in der Projektphase erarbeiteten Konzepte anhand der bereits gestarteten Pilotanwendungen weiterhin auf ihre Praktikabilität hin evaluiert. Im Berichtszeitraum lag der Schwerpunkt dabei insbesondere auf der Ausgestaltung der Regelkommunikation, der verfahrenskonformen Dokumentation sowie dem Berichtswesen für den KIT-internen Gebrauch wie auch gegenüber den fördermittelgebenden Behörden. Die Ergebnisse flossen auch in die 2024 im Rahmen des Projekts zur Übernahme der Bauherreneigenschaft in der Universitätsaufgabe zum Abschluss gebrachten Abstimmungen ein.

Seit 2024 ist die zentrale Koordination des Prozessmanagements bei PPQ angesiedelt. Konzeptionell wurde im Berichtszeitraum im Kontext des Projekts UP A2 die Erfassung und Strukturierung von Aufgaben der Dienstleistungseinheiten des KIT unter anderem Datenbasis für zukünftige Prozessbetrachtungen der Leitungsebenen weiter vorangetrieben. Im Ergebnis liegt nun eine zentrale Themenlandkarte als Rahmenwerk für eine zukünftige regelmäßige Betrachtung zentraler Aufgaben bzw. der damit verbundenen Prozesse vor.

Operativ lag neben der Begleitung verschiedener OE-interner und -übergreifender Prozessaufnahmen weiterhin ein Schwerpunkt auf der Umstellung der Prozessmodellierungssoftware

SAP-Signavio, bei der neben dem Abschluss der technischen Vorarbeiten auch mit der Implementierung einer user-spezifischen, KIT-internen Prozessportal-Lösung begonnen wurde. Hierfür wurde die vom Präsidium mit dem Projektteam erarbeitete Themenlandkarte genutzt, welche zukünftig den verschiedenen Akteursgruppen (dezentralen Modellierenden, Entscheidungsträgern wie auch allen Mitarbeitenden) eine interaktive Prozesslandkarte des KIT zur Verfügung stellen wird. Die Prozesslandkarte bildet dann den Einstieg zu allen am KIT veröffentlichten Prozessen.

In allen voranstehend aufgeführten Bereichen konnten beim Aufbau bzw. bei der Weiterentwicklung der Themenfelder Fortschritte erzielt werden, die aber auch im kommenden Jahr 2025 noch weiter zu konsolidieren sind.

Das KIT unterstützt durch seinen **Projekträger Karlsruhe (PTKA)** öffentliche Fördermittelgeber bei der Umsetzung von Forschungs- und anderen Fördermaßnahmen. Unsere Auftraggeber kommen im Wesentlichen aus dem Bund und dem Land Baden-Württemberg. PTKA ist als Dienstleistungseinheit der Großforschungsaufgabe des KIT zugeordnet. Sein jährliches Budget setzt sich jedoch ausschließlich aus im Rahmen öffentlicher Vergabeverfahren gewonnener Mittel – als reine Zusatzfinanzierung – zusammen. Die Erlöse 2024 stellen mit in Summe rd. 24 Mio. Euro das Maximum der vergangenen Jahre dar. So wurde 2024 die vom BMUV ausgeschriebene Projekträgerchaft zur „Projektgeförderten Endlagerforschung“ wiedergewonnen. Hinzu kamen Aufträge für die Stadt Stuttgart und weitere Aufgaben, die im Land Baden-Württemberg im Rahmen des bestehenden Vertrags verrechnet werden. Des Weiteren wurde Ende des Jahres das vom PTKA koordinierte EU-Projekt DECIREWATER positiv evaluiert. Sein Start ist für Mitte 2025 vorgesehen. PTKA erweiterte damit sein thematisches und instrumentelles Portfolio. Dieses Portfolio umfasst insbesondere Aufgaben zur Produktions- und Dienstleistungsforschung, zur Zukunft der Arbeit und Wertschöpfung, zu (digitalen) Umwelt- und Energietechnologien und Wassertechnologie, zur nuklearen Entsorgungsforschung über weitere Förderinstrumente, die auf dem Gebiet von Investitionsanreizen, Existenzgründungen und neuerdings Reallaboren liegen. PTKA hat 2024 eine erfolgreiche Rezertifizierung seines gem. ISO 9001 und ISO 27001 aufgebauten integrierten Managementsystems durch den TÜV Nord erreicht und führt die bereits begonnenen Maßnahmen fort, hierin auch ein gem. ISO 14001 aufgebautes Umweltmanagement zu integrieren. PTKA hat gemeinsam mit dem BMBF ein Pilotprojekt zur Einführung der elektronischen Akte (E-Akte Bund) in der Projektförderung durchgeführt, abgeschlossen und führt seit Q4 2024 die E-Akte Bund produktiv, so dass diese nun sukzessive auf weitere Bundesprojekträgerchaften ausgerollt werden kann.

Zentraler Ansprechpartner für alle rechtlichen und steuerlichen Angelegenheiten des KIT ist die DE **Rechtsangelegenheiten (RECHT)**. Rechtliche Beratung der Organe, Gremien und Organisationseinheiten in Wissenschaft, Administration und Infrastruktur gehören ebenso zu ihren Aufgaben wie die Erstellung und Prüfung von Verträgen, Gutachten und Stellungnahmen des KIT in rechtlichen Fragen sowie die prozessuale Vertretung des KIT im Rahmen der Zuständigkeit der DE. Im Berichtsjahr war RECHT insbesondere mit der rechtlichen Bearbeitung des Gebietes Berufsrecht beschäftigt, hier insbesondere zur Berufungssatzung, der entsprechenden Handreichung dazu sowie mit der Beratung in Einzelfällen. Weitere Tätigkeitsgebiete, die besonders hervorzuheben sind, sind weiterhin Prüfungen im Hinblick auf das Außenwirtschaftsrecht im Zusammenhang mit dem Russlandkonflikt und mit chinesischen Einrichtungen sowie im Zusammenhang mit dem Konflikt in Israel und Palästina. Das System des KIT zur außenwirtschaftlichen Prüfung von Vorgängen und Personen wurde weiter ausgebaut. Insgesamt ist eine starke Zunahme von außenwirtschaftlichen Fragestellungen zu verzeichnen. Darüber hinaus war ein wesentliches Tätigkeitsgebiet der DE RECHT in diesem Jahr

nach wie vor die Begleitung von rechtlichen und steuerrechtlichen Fragen. Schließlich wurden weitere Komponenten des Konzeptes zur Tax Compliance gestaltet.

Die Stabsstelle **Compliance (COMP)** nimmt im Rahmen des Compliance-Systems am KIT ihre Aufgaben zur Umsetzung der Compliance-Ziele sowie der Durchführung von präventiven Maßnahmen am KIT gemäß der "Ausgestaltung von Compliance und Korruptionsprävention" wahr.

In zahlreichen Beratungen konnte COMP im Jahr 2024 viele Fragen der Beschäftigten allgemein zu Compliance und zum richtigen Verhalten bei korruptionssensiblen Sachverhalten klären und einer praxisnahen regelkonformen Lösung zuführen. Die Vermeidung von Interessenkollisionen im Rahmen von Geschäftsbeziehungen war hierbei häufigster Inhalt von Beratungen. Darüber hinaus wirkte die Compliance-Beauftragte in zahlreichen Compliance- und Compliance-Management-tangierten Projekten sowie bei Richtlinien- und Prozess-überarbeitungen zur Umsetzung neuer gesetzlicher Regelungen mit. Insbesondere wurden in diesem Jahr die Geschenkerichtlinie des KIT (nebst Meldeformular zur Anzeige von Geschenken) sowie die Korruptionspräventionsrichtlinie des KIT aktualisiert.

Im November 2024 tagte der jährliche interne Arbeitskreis Compliance zum kommunikativen Austausch der Compliance am KIT. Des Weiteren erfolgte ein externer Erfahrungsaustausch der Compliance-Beauftragten mit Compliance-Verantwortlichen anderer Hochschulen im Rahmen des Hochschul-Compliance-Netzwerkes (HCoN) deutschsprachiger Hochschulen zum Thema Compliance und Antikorruption, welches in diesem Jahr im März und im September tagte.

Der jährliche Compliance-Bericht enthielt Empfehlungen zu organisationsseitigem Handlungsbedarf. Gesamtbetrachtend ist auch für 2024 festzustellen, dass das Compliance-Management am KIT kontinuierlich für Rechtssicherheit sorgt.

Die Aufgaben der Stabsstelle **Innenrevision (REV)** bestehen darin, unabhängige und objektive Prüfungs- und Beratungsleistungen zu erbringen, die darauf ausgerichtet sind, Mehrwerte zu schaffen sowie die Qualität und Effizienz der Geschäftsprozesse zu verbessern.

REV prüft mit einem risikoorientierten Ansatz die Einhaltung der externen Vorgaben und der internen Anweisungen, die Funktion der Informations- und Kontrollsysteme sowie die formelle und materielle Ordnungsmäßigkeit der Geschäftsabläufe. Daraus resultierende Feststellungen werden unter Berücksichtigung des Haushaltsgrundsatzes der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit bewertet und in Form von Revisionsberichten festgehalten. Das Präsidium erhält die Berichte und weist die ausgesprochenen Optimierungsempfehlungen zur Umsetzung an.

Die Prüfungstätigkeiten betreffen sowohl Ordnungsmäßigkeits- als auch Systemprüfungen und leiten sich aus einem jährlich vom Präsidium genehmigten Prüfungsplan ab. Im Jahr 2024 wurden im Rahmen der Prüfungstätigkeit neben der Erstellung des Prüfungsplans 2024, des Tätigkeitsberichts für das Jahr 2023, zwei Realisierungsberichten von Abschlussvermerk-Anweisungen wieder zahlreiche Revisionsberichte gefertigt.

Im Rahmen des Audits von EU-Projekten wurden auch Projekte im EU-Forschungsrahmenprogramm Horizon 2020 geprüft und zertifiziert. In seiner Funktion als Kontaktstelle zu den Rechnungshöfen hat REV vielfältige Prüfungen des Landesrechnungshofes (LRH) koordiniert und begleitet.

Des Weiteren engagiert sich die Innenrevision in unterschiedlichen Arbeitskreisen und Netzwerken. So ist die Innenrevision neben dem Arbeitskreis der Innenrevisionen der Hochschulen Baden-Württemberg gleichzeitig auch aus diesem Arbeitskreis als Delegierter in der Vorstandschaft des Arbeitskreises der Internen Revisionen deutschsprachiger Hochschulen aktiv, welches sich als überregionalen Teil dieses Netzwerkes versteht. Zum anderen werden Revisi-

onsthemen bei regelmäßigen Terminen mit den Revisionsleitungen der Helmholtz-Gemeinschaft besprochen, bearbeitet und weiterentwickelt. Hier findet u.a. auch ein Austausch mit dem BMBF und der Vertretung der kaufmännischen Geschäftsführungen der Helmholtz-Gemeinschaft statt.

Chancengleichheit ist im Sinne des Gender Mainstreaming in der Struktur des KIT verankert. Die **Chancengleichheitsbeauftragten (CHG)** sind in die relevanten Gremien und Kommissionen eingebunden. Sie sind sowohl KIT-intern als auch extern sehr gut vernetzt und in vielen Arbeitskreisen und Netzwerken aktiv. Seit dem 1. Oktober 2024 ist das Themenfeld Chancengleichheit wieder dem Präsidenten des KIT zugeteilt, welcher von den Chancengleichheitsbeauftragten im Hinblick auf die Durchsetzung der Chancengleichheit von Frauen und Männern beraten und unterstützt wird.

Die Novellierung der Chancengleichheitssatzung des KIT befindet sich seit inzwischen rund vier Jahren in Arbeit. Damit einher geht die immer wieder neue Verlängerung der Amtszeiten der Chancengleichheitsbeauftragten, da eine Wahl erst nach Inkrafttreten der neuen Satzung und nach deren Regularien erfolgen soll.

Ein Thema, das für diesen Bericht aufgrund seiner Aktualität und Brisanz herausgegriffen wird, sind die Berufungsverfahren. Die Chancengleichheitsbeauftragten begleiten ca. 60-90 Verfahren pro Jahr und werden bei der Teilnahme von den Vertrauensfrauen der KIT-Fakultäten sowie bei der Organisation von der Geschäftsstelle Chancengleichheit unterstützt. Trotz der Unterstützung der Vertrauensfrauen, die keine Kompensation für dieses „Ehrenamt“ erfahren, aber auch aufgrund fehlender Ressourcen in der Geschäftsstelle Chancengleichheit zur organisatorischen Begleitung ist es kaum machbar, die hohe Anzahl an Verfahren qualitativ gut zu begleiten.

Dies ist einer der Gründe, weshalb es seit dem 1. August 2024 in Zusammenarbeit mit den KIT-Fakultäten Maschinenbau und Elektrotechnik und Informationstechnik des Bereichs III ein Pilotprojekt gibt, mithilfe dessen sowohl der Bereich als auch die Chancengleichheitsbeauftragten bei der Durchführung der Berufungsverfahren unterstützt werden sollen: Eine Mitarbeiterin begleitet die Verfahren im Hinblick auf Genderaspekte, führt die „aktive Suche“ nach potenziellen Kandidatinnen durch und prüft eingehende Bewerbungsunterlagen auf genderrelevante Faktoren. Um das „Controlling“ des Prozesses im Hinblick auf Gleichstellung tatsächlich erfüllen zu können, ist diese Position derzeit bewusst in der Geschäftsstelle Chancengleichheit angesiedelt. Das Feedback, das bislang zu der nun seit rund einem halben Jahr laufenden Maßnahme vorliegt, ist durchweg positiv. Der Bereich stellt damit sicher, sich umfassend um die „aktive Suche“ zu kümmern, die Sichtbarkeit „guter Frauen“ wird weiter erhöht und Gleichstellungsstandards in Berufungsverfahren werden professionell eingehalten. Der Bereich III hat sich deutlich für eine Fortführung dieser Maßnahme ausgesprochen.

Um Berufungsverfahren gendergerecht durchzuführen, bedarf es einiger Standards, weshalb der Arbeitskreis der Frauen in Forschungszentren (akfifz) das Dokument „Qualitätsstandards für Geschlechtergerechte Berufungsverfahren in der Helmholtz-Gemeinschaft“ erarbeitet hat. Der Entwurf wurde im April 2024 vom Helmholtz-Präsidium verabschiedet und danach an die Zentrumsleitungen aller Helmholtz-Einrichtungen versendet. Bedauerlicherweise haben nicht alle Zentren die Empfehlungen in ihre Organisation hineingetragen, und auch am KIT fand das Dokument bisher keine Beachtung. Die Chancengleichheitsbeauftragten sprechen sich für die Berücksichtigung und Umsetzung der darin erarbeiteten Standards deutlich aus.

Der **Personalrat (PR)** vertritt die Interessen der Beschäftigten des KIT nach den Vorgaben des Landespersonalvertretungsgesetzes sowohl auf individueller als auch auf kollektiver Ebene.

Im Jahr 2024 wurde die Dienstvereinbarung zur Mobilen Arbeit und Desksharing am KIT abgeschlossen, die eine weitgehende Flexibilisierung des Arbeitsortes regelt.

Im Basisprojekt Nachhaltigkeit am KIT ist der Personalrat durch Teilnahme an diversen Workshops und Veranstaltungen beteiligt.

Das Jahr 2024 stand ganz im Zeichen der Neuwahlen des Personalrats. Neben ca. 30 % neuer Personalratsmitglieder ergaben sich auch ein Wechsel des Vorsitzes und des stellvertretenden Vorsitzes sowie Änderungen im Personalratsvorstand.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit des Personalrats waren Beratungen einzelner Beschäftigter sowie die Teilnahme an Routine-Begehungen, Begehungen aus besonderem Anlass sowie Unfallanalysen im Rahmen der Mitbestimmung beim Arbeits- und Gesundheitsschutz für die Beschäftigten.

Des Weiteren ist der Personalrat im KIT-Senat vertreten, und einzelne Personalratsmitglieder arbeiteten aktiv in verschiedenen Kommissionen mit.

Die Tarifrunden TVöD und TV-L (beide Tarifverträge gelten am KIT) spielten bei der Arbeit des Personalrats ebenso eine Rolle wie z.B. die Auseinandersetzung mit gesetzlichen Änderungen im Arbeits- und Tarifrecht. Eine gute Zusammenarbeit mit den Gewerkschaften ver.di und GEW wurde weiterhin gepflegt, um bestmögliche Ergebnisse für Beschäftigte zu erzielen.

Die **Schwerbehindertenvertretung (SBV)** fördert die Eingliederung schwerbehinderter und gleichgestellter Menschen in das KIT, vertritt ihre Interessen und steht ihnen beratend und helfend zur Seite. Sie unterstützt alle Beschäftigten bei Anträgen auf Feststellung einer Behinderung, sowie bei Anträgen auf Gleichstellung an die Agentur für Arbeit. Sie begleitet alle Einstellungsverfahren, auf die sich schwerbehinderte Menschen bewerben. Ferner prüft sie bei Neu- und Umbaumaßnahmen, ob die Barrierefreiheit umfassend berücksichtigt wird.

A.6.2 Entwicklung der wissenschaftlichen Infrastruktur

Das **Technik-Haus (TEC)** unterstützt mit seiner Expertise im wissenschaftlichen Gerätebau die Institute und Forschenden des KIT. Mit maßgeschneiderten Lösungen für anspruchsvolle Experimente und Versuche bleibt TEC ein zuverlässiger Partner für die Wissenschaft.

Fortschritte und laufende Projekte

Großauftrag mit Laufzeit über zwei Jahre: Ein besonderer Schwerpunkt des Jahres 2024 liegt in der Abarbeitung eines Großauftrags, der sich über einen Zeitraum von zwei Jahren erstreckt. Die Umsetzung erfordert eine sorgfältige Planung und Fertigung, präzises Projektmanagement und die enge Abstimmung mit den Beteiligten.

Wissenstransfer und Wissensmanagement: Im Hinblick auf den steigenden Bedarf an strukturiertem Wissenstransfer hat TEC begonnen, ein geeignetes System für eine Wissensdatenbank (wiki) zu testen. Dieses System soll künftig als zentrale Plattform dienen, um Informationen zu Projekten, Prozessen und Fertigungswissen nachhaltig zu sichern und den Mitarbeitenden zugänglich zu machen.

Datenmanagement und SAP-PP-Verbesserungen: Die Weiterbearbeitung der Themen aus 2023, wie die Optimierung des Datenmanagements und Verbesserungen im SAP-PP-Modul, steht weiterhin im Fokus. Ziel ist es, die Transparenz, Rückverfolgbarkeit und Termintreue bei der Auftragsbearbeitung weiter zu erhöhen.

Optimierung der Rüstzeiten in der Fertigung: Ein weiterer wichtiger Schwerpunkt ist die Optimierung der Rüstzeiten in der Fertigung. Hierfür werden bestehende Arbeitsprozesse analysiert und neue Ansätze zur Reduktion von Rüstzeiten eingeführt, um die Produktivität und Flexibilität in der Fertigung zu steigern.

Herausforderungen im Personalmanagement

Personalabgänge ab September 2024: Ab September 2024 steht TEC vor der Herausforderung, drei Personalabgänge innerhalb von fünf Monaten zu kompensieren. Dies stellt insbesondere in der Montagetechnik und anderen spezialisierten Bereichen eine Herausforderung dar. Neben der Nachbesetzung und Neuausrichtung der Arbeitsinhalte der Stellen wird großen Wert auf einen effizienten Wissenstransfer gelegt, um Know-how-Verlust zu vermeiden.

Strategien zur Fachkräftegewinnung: Zur Bewältigung der Herausforderungen in der Personalgewinnung setzt TEC weiterhin auf gezielte Rekrutierungsmaßnahmen sowie auf die Qualifizierung und Weiterentwicklung bestehender Mitarbeitender.

Die **KIT-Bibliothek (BIB)** ist die zentrale Einrichtung zur Informationsversorgung und mit dem zur Bibliothek gehörenden Archiv auch die zentrale Gedächtniseinrichtung des KIT. Zur Bibliothek gehören das Büro für gute wissenschaftliche Praxis und ethische Grundsätze sowie die zentrale Poststelle. Die Schwerpunkte ihrer Informationsdienste liegen auf der Unterstützung des gesamten Forschungsprozesses (einschließlich der Publikationen), der Förderung von Informationskompetenz und von Open Science.

Die KIT-Bibliothek hat sich 2024 sehr gut entwickelt, was sich unter anderem an deutlich steigenden Besucherzahlen gezeigt hat. Ein weiterhin bestimmendes Thema ist die laufende Umstellung auf Open Access. Die Umstellung von Lese- auf Publikationskosten führt zu einer erheblichen Mehrbelastung publikationsstarker Zentren wie dem KIT. Hier ist es gelungen, ca. 2 Mio. Euro bei der DFG einzuwerben, um die Kostensteigerungen bis 2027 zumindest signifikant abzufedern. Das KIT hat den DEAL-Vertrag, der unter der Federführung der Hochschul-

rektorenkonferenz mit der Verlagsgruppe Elsevier ausgehandelt worden ist, unterzeichnet. Angehörige des KIT haben nun Volltextzugriff auf (nahezu) alle Publikationen von Elsevier und außerdem sind die eigenen Publikationen weltweit frei zugänglich („goldenes“ Open Access). Die in die Jahre gekommene Bibliothekssoftware i3v ist durch das Open Source System *Koha* abgelöst worden. Die KIT-Bibliothek ist damit die derzeit einzige große Bibliothek in Deutschland, die ihr Bibliothekssystem auf einem Open Source System betreibt.

In der KIT-Bibliothek wurden zwei Drittmittelprojekte begonnen, die sich jeweils mit dem Einsatz künstlicher Intelligenz beschäftigen, nämlich „KI für KMU“ und „KI@helpBW“. Als erste große Bibliothek verfügt die KIT-Bibliothek seit Dezember 2024 über einen KI-Chatbot, der in allen Weltsprachen Auskünfte zu den Services der Bibliothek gibt. Der „Bib-KI Karlsruhe“ ist eine Eigenentwicklung der Bibliothek.

Neben seiner Beteiligung am Helmholtz-Programm Engineering Digital Futures (EDF) und dem Betrieb des Helmholtz-Großgeräts GridKa, das dem Programm Matter and the Universe (MU) zugeordnet ist, übernimmt das **Scientific Computing Center (SCC)** am KIT und insbesondere auch in der wissenschaftlichen Infrastruktur die Rolle einer zentralen IT-Einrichtung, die die Organisationseinheiten des KIT unter anderem mit umfangreichen IT-Dienstleistungen versorgt. Das SCC ist auch verantwortlich für die ERP-Systeme und die IT-Systeme für Studium und Lehre.

Im KIT-Netzwerk wurde eine neue Generation autoritativer DNS-Server (Domain Name System) in Betrieb genommen. Änderungen an DNS-Daten können im Self-Service durch dezentrale IT-Administratoren mittels Webinterface oder mächtiger API-Schnittstelle durchgeführt werden; durchgeführte Änderungen werden dabei innerhalb weniger Sekunden im DNS sichtbar. Dies unterstützt die IT-Sicherheit durch eine Vereinfachung der automatischen Zertifikatsausstellung via ACME (Automatic Certificate Management Environment) und verbessert verschiedene Aspekte der Betriebsführung der Dienstelandschaft am KIT. Durch den Einsatz von Anycast Routing wird für Nutzende transparent die Zuverlässigkeit des Dienstes sichergestellt, indem Anfragen netztopologisch optimal und die aktuelle Situation berücksichtigend beantwortet werden.

Der AAI-Software-Stack wurde aufgrund spezieller Anforderungen der Dienste erweitert: Die Implementierung von Funktionen zur Unterstützung virtueller Organisationen / Gruppenmanagement hat große Fortschritte gemacht. Die Kontoverknüpfung hat viele Verbesserungen erfahren und die Möglichkeit, sich mit der BundID anzumelden, wurde integriert. In der realisierten Implementierung wird eine Projektgruppe als ein virtueller Verbund von Benutzeridentitäten behandelt. Eine Benutzeridentität kann als ein Konzept gesehen werden, das ein oder mehrere technische Konten miteinander verknüpft. Diese Verknüpfung ist verbessert worden. Die Anmeldung mit Google, ORCID und BundID ist nun möglich. Nach mehrjähriger Vorbereitung wurde das bisherige Self-Service-Procurement System SAP SRM durch die easyBANF, eine App im User Portal (UP), abgelöst. EasyBANF bietet im Vergleich zu SRM moderne, übersichtlichere Oberflächen sowie einen vereinfachten und optimierten Genehmigungsworkflow. Die Einführung der easyBANF ist ein weiterer wichtiger Zwischenschritt bei der Aktualisierung der SAP-Systemlandschaft des KIT. In diesem Zuge wurde auch das bisherige Verfahren für Berechtigungen von einem dokumentenspezifischen papierbasierten Ablauf auf einen digitalen Workflow umgestellt. Durch die im KIT flächendeckend ausgerollte Multi-Faktor-Authentifizierung (MFA) können so sicher, einfach und ortsungebunden Genehmigungsverfahren durchgeführt werden.

Mit der Verstetigung des New Work-Konzepts am KIT wurden am SCC verschiedene Maßnahmen zur Weiterentwicklung der weiteren Flexibilisierung umgesetzt. Insbesondere wurde

das SCC flächendeckend mit einem an das Raumbuchungssystem gekoppelten elektronischen Schließsystem mit Offline-Schließzylindern ausgestattet. Durch die nahtlose digitale Integration der Buchungs- und Zugangswege können Mitarbeitende im Moment des Bedarfs selbstständig und ohne zusätzlichen Organisationsaufwand freie Räume buchen und mittels ihrer KIT-Card öffnen. Zusätzlich wurde sicheres Drucken über die Stockwerksdrucker des SCC mit einem Print2Me-Verfahren über die KIT-Card und Ausdruck an beliebig teilnehmenden Druckern etabliert. Damit werden lokale Drucker in Büros überflüssig und gleichzeitig das Ausdrucken in mobiler Arbeit erleichtert. Gepaart mit der Standardisierung von Endgeräten im Arbeitskreis Clientmanagement, sind diese Entwicklungen für den KIT-weiten Rollout und Betrieb geeignet.

Die DE **Sicherheit und Umwelt (SUM)** organisiert und überwacht unter der Leitung des vom Präsidium bestellten Sicherheitsbevollmächtigten die Umsetzung und Einhaltung der an das KIT gestellten Anforderungen in Bezug auf Sicherheit und Umweltschutz. Sie ist zuständig für Koordinierungsaufgaben zu behördlichen Genehmigungen und unterstützt die Organisationseinheiten des KIT bei der Umsetzung und Einhaltung gesetzlich relevanter Vorgaben in den Bereichen Arbeits-, Betriebssicherheit, Umweltschutz, Campussicherheit und Brandschutz sowie bei Genehmigungsfragen. Zu den Kernprozessen zählen folgende für das KIT grundlegenden Management- und Dienstleistungsaufgaben: Regelwerk „Sicherheit und Umwelt“, behördliche Verfahren, Pflichtenübertragung, Überwachung, Prävention, Strahlenschutz, Wartung und Prüfung sicherheitsrelevanter Einrichtung, Einsatzdienste sowie Notfall- und Krisenstäbe. Damit leistet SUM wichtige Beiträge zum Management-Thema „Corporate Governance (M17)“ sowie den Unterstützungsthemen „Versorgung mit wissenschaftsnahen und IT-Dienstleistungen (U12)“ und „Versorgung mit Waren und campusnahen Dienstleistungen (U13)“ des KIT. Neben Routinearbeiten in den Laboren und bei Beratungen, Überwachung sowie Sicherheitsdienstleistungen ist SUM auch stark geprägt durch ereignisbezogene Aktivitäten, die als Reaktionen auf eine nicht unerhebliche Anzahl mehr oder weniger bedeutsamer Ereignisse mit sicherheits- oder umwelttechnischer Relevanz zurückzuführen sind.

Die in den vergangenen Jahren äußerst kritische personelle Situation bei der Werkfeuerwehr hat sich leicht entspannt. Dennoch gilt es hier nach wie vor Augenmerk auf die weitere Entwicklung zu legen und den Arbeitsplatz KIT für Feuerwehrleute möglichst attraktiv zu gestalten. Vor allem im Strahlenschutz ist es wichtig, durch Bündelungen und Schaffung von Synergien vorhandenes Potenzial effizient zu nutzen. Leider konnten hierzu im Berichtsjahr nicht alle vorgesehenen Änderungen in der Organisations- und Prozessstruktur umgesetzt werden. So steht die Dezentralisierung einzelner Teilaufgaben – ganz im Sinne des Subsidiaritätsprinzips – sowie eine geplante interne Änderung in der Organisationsstruktur noch aus.

A.6.3 Entwicklung des Basisbetriebs

Die überfachlichen Lehrangebote des **House of Competence (HoC)** werden von den Studierenden immer stärker nachgefragt. Insgesamt wurden knapp 3.600 Leistungsnachweise ausgestellt. Damit hat sich der Output in den vergangenen fünf Jahren um mehr als 50 Prozent erhöht. Für seine Lehrforschung wirbt das HoC kontinuierlich zusätzliche Mittel im Umfang des vom KIT grundfinanzierten Gesamtbudgets ein.

Neben zahlreichen Aktivitäten in Lehre, Forschung und Transfer sind folgende Erfolge im Jahr 2024 hervorzuheben: Aktionstag „Lust auf Zukunft! Wie gelingt Transformation? Stark. Mutig. Nachhaltig.“ Mit dieser Fragestellung und den möglichen Fähigkeiten für Gelingensbedingungen gesellschaftlichen Wandels für mehr Nachhaltigkeit setzten sich am 21. Juni 2024 rund 50 Studierende, Mitarbeitende und Forschende des KIT im Triangel auseinander. Miniworkshops, Impulsvortrag und World Café boten Raum für angeregten Austausch auf Augenhöhe. Die Veranstaltung war das Kick-Off für das Projekt Schule der Transformation von HoC und Karlsruher Transformationszentrum für Nachhaltigkeit und Kulturwandel (KAT), das über die Mittel aus dem KIT-Qualipakt über eine Laufzeit von zwei Jahren gefördert wird.

Mit der SpeechParty hat das HoC-Methodenlabor ein Format entwickelt, bei dem Studierende ganz ungezwungen unter professioneller Anleitung kommunikative Kompetenzen entwickeln und Kontakte zu anderen Studierenden knüpfen können. Am 30. November 2024 konnten knapp 100 Studierende in den Räumen einer großen Tanzschule begrüßt werden. In 20 inspirierenden Impulsworkshops drehte sich den ganzen Tag alles um die Themen Präsentieren und Kommunizieren. Begleitet von Musik in den Pausen und erfrischenden alkoholfreien Cocktails bot die Veranstaltung reichlich Gelegenheit zum Kennenlernen anderer Studierender. Die Miniworkshops wurden von vier erfahrenen Dozierenden geleitet, die ihre umfassende Expertise aus Bildung, Bühne und freier Wirtschaft mit den Teilnehmenden teilten.

Der „Karlsruher Reflexions-Lotse für Studierende“ (KaRLoS) ist ein Onlinetool mit Feedbackfunktion, das vom HoC-Lernlabor und der Zentralen Studienberatung (ZSB) entwickelt wurde. KaRLoS unterstützt Studierende dabei, ihre aktuelle Studiensituation hinsichtlich persönlicher Herausforderungen zu reflektieren und bei Bedarf Unterstützung anzunehmen. So gibt das neue Onlinetool individualisierte Hinweise zu überfachlichen Lehr-, Beratungs- und Unterstützungsangeboten am KIT und motiviert Studierende, das persönliche Gespräch mit Beratenden des KIT zu suchen. Die Homepage zum Projekt ist unter <https://www.studienstart.kit.edu/karlos.php> verfügbar.

Wie wird in Zukunft an Hochschulen wissenschaftliches Schreiben gelernt, gelehrt und geprüft? Wie macht man Studierende und Unternehmen fit für die KI-Kompetenzen von morgen? Seit 2024 finden Interessierte auf <https://llm-literacy.de/> umfassende Informationen zu den vom Land Baden-Württemberg und der EU geförderten Projekten des HoC-Schreiblabors und der KIT-Bibliothek: KI für KMU und KI@helpBW. Nach und nach werden hier eine Vielzahl an Lehrmaterialien bereitgestellt, darunter Videos, Präsentationen und Übungen zum wissenschaftlichen Schreiben und Recherchieren mit textgenerierender KI.

Das **Zentrum für Lehrkräftebildung (ZLB)** am KIT ist die zentrale Anlaufstelle für alle Studierenden des höheren Lehramts an Gymnasien. Die primären Aufgaben und Tätigkeiten sind zum einen die kontinuierliche Optimierung und Weiterentwicklung der Lehramtsstudiengänge am KIT und die Verbesserung der Studienbedingungen, sowie darüber hinaus die Koordination der Schulpraxisphasen und die Beratung und Begleitung von Lehramtsstudierenden. Im Zuge dessen bietet das ZLB verschiedene Beratungsangebote sowie Informationsveranstal-

tungen an und verantwortet die curriculare Ausrichtung der hochschuleitigen Vor- und Nachbereitung des Orientierungspraktikums (OSP). Das ZLB fungiert als zentrale Schnittstelle zu den internen und externen Institutionen im Bereich der Lehramtsausbildung.

Bereits seit 2016 arbeiten das KIT und die Pädagogische Hochschule Karlsruhe im Rahmen der Lehramtsausbildung in Form der Kommission Lehrerbildung Karlsruhe (KLK) eng zusammen. Ergänzt wird diese Zusammenarbeit durch die Beteiligung der beiden weiteren lehramtsausbildenden Hochschulen am Standort: die Hochschule für Musik und die Akademie der Bildenden Künste Karlsruhe. Diese langjährige Kooperation wurde 2024 auf eine neue Stufe gehoben: Mit der Gründung der Karlsruhe School of Education (KSE) wurde die Zusammenarbeit intensiviert und verfolgt in erster Linie das Ziel, hochschulübergreifend nachhaltige Synergien in zentralen Themen der Lehrkräftebildung zu schaffen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Ausbildung von Future Skills in den Bereichen Digitalisierung und KI, Nachhaltigkeit, Demokratiebildung und Gesundheit. Eine Besonderheit stellt die Verzahnung von Theorie und Schulpraxis im Rahmen von Lehr-Lern-Laboren dar.

Im Wintersemester 2024/25 startete das ZLB mit dem freiwillig belegbaren Zertifikat „Schule nachhaltig gestalten“. Dabei stehen zu Beginn die Grundlagen von Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) im Kontext Schule im Fokus. Durch den Austausch mit BNE-Expertinnen und Experten und Besuchen in außerschulischen Lernorten können die Lehramtsstudierenden in einem nächsten Schritt ihr Wissen ausbauen und BNE selbst erleben. Für die nächsten Semester sind im Rahmen des Zertifikats Schulkooperationen in Planung, bei denen Lehramtsstudierende gemeinsam mit Lehrkräften konkrete BNE-Projekte an Schulen umsetzen werden. Das ZLB plant zudem weitere Zertifikate zu den Querschnittsthemen Digitalisierung, Gesundheit und Demokratiebildung.

Im Jahr 2024 lag der Fokus des **Zentrums für Mediales Lernen (ZML)** als Dienstleister, Projektpartner und koordinierende Einrichtung auf der Weiterentwicklung der digitalen Lehre und des mediengestützten Wissenstransfers. Besonders stark rückte Künstliche Intelligenz (KI) in den Mittelpunkt der Aktivitäten. Weitere Schwerpunkte bildeten Blended Learning, hybride Lehrkonzepte und die Medienproduktion.

Mit dem Umzug ins InformatiKOM erhielt das ZML neue, moderne Räumlichkeiten. Der gemeinsam mit der Bibliothek eingerichtete Digital Maker Space ermöglicht es KIT-Angehörigen, hochwertige Medienprojekte in einer professionellen Produktionsumgebung zu realisieren. Diese Infrastruktur umfasst Ton- und Videostudios sowie Medienproduktionsräume, die speziell für die Anforderungen von KIT-Produktionen und Lehrzwecken entwickelt wurden. Das ZML begleitet die Einführung dieser neuen Angebote und bereitet KIT-Mitarbeitende auf deren Nutzung vor.

Der Tag der Digitalisierung in der Lehre des ZML, der am 4. Dezember 2024 stattfand, stieß auf großes Interesse und wird auch im folgenden Jahr erneut durchgeführt. In der Online-Veranstaltung wurden den KIT-Mitarbeitenden wichtige Themen wie Blended Learning, Online-Prüfungen und generative KI nähergebracht.

Die landesweite Fortbildungsreihe „KI in der Hochschullehre“ (FO>KI), die von September 2024 bis November 2025 läuft, hat das Ziel, KI-Kompetenzen bei Lehrenden, Support-Mitarbeitenden, Studiengangentwicklerinnen und Studiengangentwicklern, Hochschulleitungen und Studierenden an allen Hochschulen in Baden-Württemberg zu fördern. In insgesamt 30 Formaten werden Schwerpunktthemen wie Didaktik, Infrastrukturen, Curriculumsentwicklung, Hochschulstrategien sowie rechtliche und ethische Fragestellungen behandelt. FO>KI wird mit dem Hochschulnetzwerk Digitalisierung der Lehre Baden-Württemberg (HND-BW) angeboten. Im Jahr 2024 starteten zwei Projekte, die im Rahmen des Dialogprozesses des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg finanziert werden. Das Projekt

bwGPT ermöglicht in Zusammenarbeit mit der Hochschule Aalen und der PH Schwäbisch Gmünd die datenschutzkonforme Nutzung von ChatGPT in ausgewählten Lehrveranstaltungen. Ziel ist es, Erkenntnisse für den zukünftigen Einsatz von KI in der Hochschullehre zu gewinnen. Über das HND-BW entsteht im Projekt bwDigiRecht eine Rechtsinformationsstelle, die Hochschulen in Baden-Württemberg bei rechtlichen Fragestellungen zur digitalen Lehre unterstützt. Zusammen mit der Universität Heidelberg werden Handreichungen und Informationsmaterialien erstellt, die eine rechtssichere Nutzung digitaler Lehrformate ermöglichen sollen.

Das **Studienkolleg für ausländische Studierende (STK)** hat im Auftrag des MWK die Aufgabe, internationale Studienbewerber/innen auf die Feststellungsprüfung (FSP) oder auf den erforderlichen Sprachnachweis (TestDaF-Test Deutsch als Fremdsprache) vorzubereiten, sowie die fachsprachliche Studierfähigkeit der Studierenden zu verbessern. Der Bildungsnachweis dieser Studierendengruppe wird nur in Verbindung mit einer erfolgreich abgelegten Prüfung als Qualifikation für ein Studium anerkannt.

Zur Vorbereitung auf die FSP fanden im Berichtsjahr 2024 14 Vollzeitkurse mit Ausrichtung auf Studienfächer im natur- und ingenieurwissenschaftlichen Bereich statt. Davon wurde pro Semester ein zusätzlicher Schwerpunktkurs (T-Kurs) mit Mitteln des MWK eingerichtet. Zur Vorbereitung auf den TestDaF fanden vier Deutschkurse statt. An den studienvorbereitenden Kursen (T- und D-Kurse) haben insgesamt 381 Studierenden teilgenommen. Hinzu kamen je dreiwöchige Deutschsprachkurse vor Beginn des Semesters. Im März/April 2024 fanden vier dieser Intensiv-Kurse mit 37 und im September/Okttober 2024 sechs Kurse mit 99 Teilnehmenden statt. Zudem wurden 44 studienbegleitende, allgemeinsprachliche Deutschkurse (Sprachniveaus nach dem Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmen GER A1-C1) durchgeführt mit insgesamt 964 Teilnehmenden. Pro Semester wurden drei studienbegleitende Deutschkurse über das DAAD-Programm FIT finanziert. Das Angebot wurde mit gesonderten Deutschkursen auf Anfrage für KIT-interne Einrichtungen sowie durch Kompaktkurse zur TestDaF-Prüfungsvorbereitung erweitert. Es gab 121 Teilnehmende an der digitalen Sprachprüfung TestDaF.

Im Berichtsjahr 2024 konnte das **Sprachenzentrum** wieder circa 360 Sprachkurse in 15 Sprachen anbieten, neu hinzu gekommen sind auf vielfachen Wunsch unserer Studierenden auch Fortgeschrittenenkurse in Deutscher Gebärdensprache. Es haben rund 5.700 Studierende und 250 Beschäftigte an den Kursen des Sprachenzentrums teilgenommen. Die große Mehrheit der Teilnehmer/innen erwarb Leistungspunkte für die Anrechnung als Schlüsselqualifikation.

Bis auf wenige Ausnahmen wurden sämtliche Kurse in Präsenz durchgeführt und damit dem mehrheitlichen Wunsch der Kursteilnehmenden und den einschlägigen Erfahrungen von Sprachdozierenden entsprochen.

Das Sprachenzentrum ist als Mitglied des AKS (Arbeitskreis der Sprachenzentren an Hochschulen) und von CercleS (European Confederation of Language Centres in Higher Education) an den internationalen Fachtagungen vertreten und auch aktives Mitglied von EUCOR – „Confédération européenne des Universités du Rhin Supérieur“. Im Berichtsjahr fand wieder ein regelmäßiger fruchtbarer Austausch im von unserem Sprachenzentrum initiierten Netzwerk der baden-württembergischen Hochschulsprachlehrinstitutionen statt.

Das **MINT-Kolleg Baden-Württemberg**, eine gemeinsame Einrichtung des KIT und der Universität Stuttgart, unterstützt als zentrale Anlaufstelle am KIT Studienanfängerinnen und Studienanfänger in allen grundständigen MINT-Fächern. Sein Hauptziel ist es, den Studienerfolg in der Anfangsphase des Studiums durch gezielte Maßnahmen zu fördern und zu verbessern.

Das MINT-Kolleg bietet ein breites Kursangebot – von studienvorbereitenden Maßnahmen in Präsenz und digital bis hin zu semesterbegleitenden und prüfungsvorbereitenden Kursen mit individueller Betreuung. Vorkurse und propädeutische Kurse erleichtern den Einstieg ins MINT-Studium, während digitale Formate wie Online-Brückenkurse und -Tests die fachliche Selbsteinschätzung unterstützen.

Im Akademischen Jahr 2023/24 hat das MINT-Kolleg rund 4.200 Kursteilnahmen verzeichnet. Somit stieg die Nachfrage im Vergleich zum Vorjahr um rund 5 %.

Ein bedeutendes Ereignis im Berichtsjahr war die Einführung des *topMINT*-Orientierungssemesters am MINT-Kolleg. Dieses neue Angebot richtet sich an Studieninteressierte, die sich intensiver mit verschiedenen MINT-Fächern auseinandersetzen möchten, bevor sie eine endgültige Studienwahl treffen. Außerdem umfasst das Programm studienvorbereitende Kurse in den MINT-Grundlagenfächern. Neben der Orientierung steht dabei auch die gezielte Vorbereitung auf das Studium im Fokus. Im ersten Durchlauf nahmen rund 25 Personen am Programm teil.

Ein weiteres bedeutendes Ereignis im Berichtsjahr war die Einrichtung von „FutureMINT BW – Programm- und Vernetzungsstelle der Hochschulen“, die am MINT-Kolleg am KIT angesiedelt ist. Die Einrichtung übernimmt im Auftrag des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg die zentrale Aufgabe, die Hochschulen in Baden-Württemberg im Rahmen des Förderprogramms „Attraktives MINT-Studium“ zu begleiten und miteinander zu vernetzen. Ziel des Förderprogramms ist es, die Attraktivität der MINT-Studiengänge in Baden-Württemberg zu steigern.

Das **Studium Generale. Forum Wissenschaft und Gesellschaft (FORUM)**, bis zum 1. Oktober 2024 Zentrum für Angewandte Kulturwissenschaft und Studium Generale (ZAK), ist die zentrale wissenschaftliche Einrichtung am KIT, die in fachübergreifender Lehre kompetentes und reflektiertes Handeln an den Schnittstellen zwischen Wissenschaft, Technologie und Gesellschaft fördert, sozialwissenschaftliche Forschung zum Verhältnis zwischen Wissenschaft und Gesellschaft durchführt sowie öffentliche Veranstaltungen anbietet, die dem Austausch zwischen Studierenden, Forschenden, gesellschaftlichen Akteuren und der Öffentlichkeit dienen. Das FORUM will mit seinen Angeboten Studierende, Forschende sowie die interessierte Öffentlichkeit in den Diskurs bringen und das Verständnis über Wechselbeziehungen zwischen Wissenschaft und Gesellschaft erweitern und leistet damit wichtige Beiträge zu Forschung, Lehre und Transfer des KIT. Themen aktueller Forschung sind Ursachen und Wirkungen des Misstrauens von Menschen gegenüber Wissenschaft; Konfliktdynamiken in Auseinandersetzungen um Wissenschaft, Technologie und Nachhaltigkeit; Wirkungen von Moralisierung in der Wissenschaftskommunikation. In der fachübergreifenden Lehre bietet das FORUM allen Studierenden des KIT pro Semester rund 60 Lehrveranstaltungen an, in denen pro Jahr 1.300 Leistungsnachweise erworben wurden. Diese können als Schlüsselqualifikation in den Fachstudiengängen anerkannt oder für eine Zusatzqualifikation am FORUM verwendet werden. Die Studienangebote am FORUM wurden 2024 grundlegend programmatisch neu ausgerichtet und das Begleitstudium Wissenschaft, Technologie und Gesellschaft eingeführt. Mit regelmäßigen Vorträgen und Veranstaltungen fördert das FORUM den Austausch zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit. Dabei werden Akteure aus Wissenschaft, Politik, Wirtschaft, Medien, Kultur und Gesellschaft einbezogen und ihre unterschiedlichen Perspektiven zur Geltung gebracht und mit der Stadtgesellschaft diskutiert. Hervorzuhebende Veranstaltungen 2024 waren mit insgesamt 2.000 Teilnehmenden: Die Vortragsreihe „Colloquium Fundamentale“, jeweils zum Thema „Polarisiert und desinformiert? Politische Information im digitalen Zeitalter“, „Was ist Freiheit? Ein interdisziplinärer Blick auf unser Verständnis von Freiheit“ und „Naturwissenschaft, Technik – und der Mensch? Von Menschsein und wissenschaftlichem

Fortschritt“; KIT im Rathaus mit dem KIT-Zentrum Health Technologies sowie dem KIT-Zentrum Energie; die Projektwoche „Frühlingsakademie Nachhaltigkeit – Was ist nachhaltige Mobilität?“ in Kooperation mit dem KIT-Zentrum Mobilitätssysteme; Filmexploratorium „Wie der Film das Denken fördert. Ein Dialog mit Bildern in Bewegung“ in Kooperation mit dem ZKM | Zentrum für Kunst und Medien Karlsruhe.

Das KIT arbeitet stetig an der Umsetzung der Anforderungen der EU-Datenschutz-Grundverordnung (DS-GVO). Die Datenschutzbeauftragte, die in Personalunion die Leitung der **Stabsstelle Datenschutz (DSB)** innehat, unterstützt das Präsidium bei der Umsetzung der Anforderungen der DS-GVO.

Wie auch im letzten Berichtszeitraum stand bei der Beratung der Stabsstelle Datenschutz und entsprechender Stellungnahmen durch die Datenschutzbeauftragte des KIT die datenschutzrechtliche Beurteilung von Large-Language-Model-Systemen (LLM-Systemen) im Vordergrund. Hier gilt es zwei verschiedene Aspekte aus Datenschutzsicht zu beachten. Einmal können die Daten, die eingegeben werden (Eingabedaten), personenbezogene Daten sein, andererseits stellen sich datenschutzrechtliche Fragen, insbesondere wenn sich die Nutzerinnen bzw. Nutzer selbst bei dem Anbieter anmelden müssen (Metadaten). Die Aufsichtsbehörden halten derzeit den Einsatz von ChatGPT im dienstlichen Kontext grundsätzlich für kritisch. Es wird allerdings flächendeckend davon ausgegangen, dass bei einem Verbot personenbezogene Daten einzugeben bzw. abzufragen, eine Nutzung datenschutzrechtlich grundsätzlich vertretbar ist.

Am KIT wurden Leitlinien zum Einsatz von KI erarbeitet, zu denen die Datenschutzbeauftragte Stellung genommen hat und die im nächsten Berichtszeitraum veröffentlicht werden sollen. In diesen Leitlinien spricht das KIT ein allgemeines Verbot für die Eingabe und Abfrage von personenbezogenen Daten bei Nutzung generativer KI aus.

Wie auch im vorhergehenden Jahr beriet die Datenschutzbeauftragte mit ihrem Team Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei Forschungsprojekten, bei denen personenbezogene Daten von Probandinnen und Probanden oder Studienteilnehmenden verarbeitet werden mussten sowie die Ethikkommission des KIT zur datenschutzrechtlichen Konformität von Forschungsprojekten, bei denen ein Ethikvotum benötigt wurde. Der Beratungsbedarf auf diesem Gebiet ist im Berichtszeitraum weiterhin gestiegen, da die wissenschaftlichen Verlage vor einer Veröffentlichung vermehrt ein positives Votum einer Ethikkommission fordern.

Im November 2024 hat die Datenschutzbeauftragte zusammen mit dem Büro für Gute wissenschaftliche Praxis und Ethische Grundsätze (Büro GWP, BIB) eine Informationsveranstaltung durchgeführt, bei der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des KIT, die Anträge auf ein Ethikvotum der Ethikkommission stellen, u.a. ausführlich über die Grundlagen des Datenschutzes in der Forschung und deren Beachtung im Rahmen von Ethikanträgen am KIT informiert wurden. Im Rahmen dieser Veranstaltung hatten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Möglichkeit, an die Datenschutzbeauftragte und die anderen Referenten konkrete Fragen sowohl zum Datenschutz als auch zu den Prozessen am KIT zu stellen.

Des Weiteren wurden von DSB acht weitere Vor-Ort-Schulungen bzw. Unterweisungen durchgeführt, insbesondere für die Graduiertenschule KATE, PTKA, für IT-Beauftragte und Administratoren, sowie als Ersatz für das E-Learning für OEs ohne PC-Zugang.

Außerdem werden durch die Datenschutzbeauftragte und ihr Team am KIT eingehende Ansprüche hinsichtlich der Rechte der Betroffenen (insbesondere Recht auf Löschung sowie das Recht auf Auskunft und Kopie) koordiniert, beraten und in Einzelfällen selbst beantwortet. Des Weiteren koordiniert die Datenschutzbeauftragte die interne Meldestelle des KIT, die für die Bearbeitung von Datenpannen gem. Art. 33, 34 DS-GVO zuständig ist. Diese erhielt im Berichtszeitraum ca. 24 Meldungen.

Die Datenschutzbeauftragte arbeitet eng mit dem Informationssicherheitsbeauftragten des KIT zusammen. Im Arbeitsstab Datenschutz, IT-Sicherheit und Recht (ASDuR) unter der Leitung des Informationssicherheitsbeauftragten werden grundlegende Fragestellungen erörtert, die sowohl Datenschutz, IT-Sicherheit, Recht als auch die Informationsversorgung des KIT betreffen.

Es ist zu erwarten, dass der Schwerpunkt der Tätigkeit sowohl der Datenschutzbeauftragten als auch der Stabsstelle Datenschutz in den nächsten Jahren weiterhin im Lichte der rasant voranschreitenden Digitalisierung stehen wird. Die neuen Entwicklungen und Möglichkeiten der generativen KI werden die Stabsstelle Datenschutz vor besondere Herausforderungen stellen.

Das **Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt (FTU)** bietet Kurse, Seminare und Praktika für Teilnehmende unterschiedlicher Vorbildung aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung, aber auch für die breite Öffentlichkeit an. Daneben gibt es ein Angebot an internen Fortbildungen, das auf die Bedürfnisse der Mitarbeitenden des KIT abgestimmt ist. Insgesamt wurden über 800 Fortbildungen angeboten. Im Berichtsjahr 2024 haben 1.910 interne Teilnehmende (3.025 Teilnehmendentage) eine Fortbildung besucht. Stark nachgefragt wurden intern die Ausbildung von Brandschutzhelfern sowie Fortbildungen für Führungskräfte und Beauftragte. 5671 externe Teilnehmende haben eine Fortbildung besucht (10.735 Teilnehmendentage) und so das KIT kennengelernt. Hier gab es eine hohe Nachfrage nach Fortbildungen im Strahlenschutz und für Beauftragte jeglicher Art. Zusätzlich zu den Präsenz-, Online- und Hybridangeboten wurden 2024 auch asynchrone Lehrangebote entwickelt. Hier erarbeiten sich die Teilnehmenden selbstständig vorab die Grundlagen, bevor sie eine Fortbildung an der FTU besuchen. Das FTU baut dazu eine eigene ILIAS-Plattform auf.

Die DE **Campus Services (CSE)** konzentriert sich auf Serviceleistungen für Veranstaltungen, das Erstellen von Fotografien, Gebrauchsgrafik und Drucksachen sowie die zentrale Raumvergabe für die Lehre. Zum Portfolio gehört auch der Betrieb einer Kantine inkl. Veranstaltungscatering. Die Abteilung Medienproduktion versteht sich als Dienstleister und interdisziplinäre Anlaufstelle zur Medienproduktion am KIT. Die Hauptaufgabenfelder umfassen vor allem das Erstellen fotografischer Aufnahmen, die digitale grafische Mediengestaltung und den Betrieb der Mediendatenbank sowie der zentralen Druckerei des KIT. Weiter bieten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter Beratung und Unterstützung in Konzeption, Entwurf und Umsetzung gestalterischer Vorhaben an. Bei Anfragen zu Video, 3D und Animation koordiniert und übernimmt die Abteilung Medienproduktion die Auftragserfüllung von externen Dienstleistungsunternehmen. Abhängig von der Zielgruppe, dem Format und dem Programm, der Anzahl der Teilnehmenden, der Frage nach der technischen Ausstattung und vielen anderen Faktoren benötigt jede Veranstaltung individuelle Planung und Vorbereitung. Die Abteilung Veranstaltungsmanagement organisiert Messen und Events im Auftrag des Präsidiums. Das Team Professional Congress Organizer bietet Lösungen nach dem Baukastensystem für die Organisation von wissenschaftlichen Konferenzen, Workshops und Messen. Das Veranstaltungsmanagement berät zudem bei Protokollfragen, begleitet Gremiensitzungen und organisiert Begutachtungen, hochrangige Besuche und Campusführungen. Die Abteilung Zentrale Raumvergabe war im Jahr 2024 maßgeblich am Umsetzungsprojekt Digitalisierung 1, das von den Dienstleistungseinheiten Facility Management und Campus Services seit September 2023 im Tandem geleitet wird, beteiligt. Es ging um die Entwicklung von hybriden Lehr- und Lernsettings, die Umsetzung der Raumkonzepte erfolgt im Jahr 2025. Wenn es um gesunde Ernährung geht, ist das Casino am Campus Nord mit seinen täglich wechselnden Gerichten die richtige Anlaufstelle. Dabei setzt das Team der Kantine am Campus Nord seit 2021 zunehmend auf nachhaltige und lokale Produkte, 50 Prozent der Essensangebote sind vegetarisch

oder vegan. Das Angebot entspricht den geforderten Kriterien des „DGE-Qualitätsstandard für die Verpflegung in Betrieben“. Im Jahr 2024 wurde die Kantine Praxispartner im Innovationscampus Nachhaltigkeit, eine Initiative des baden-württembergischen Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst. Forschende der Universität Freiburg und des KIT wollen gemeinsam mit Praxispartnern die Gemeinschaftsverpflegung nachhaltig entwickeln.

Die Aufgaben der DE **Facility Management (FM)** umfassen das Betreiben der Gebäude und Liegenschaften, von Anlagen zur Ver- und Entsorgung einschließlich der Leitungsnetze sowie die Erbringung von infrastrukturellen Dienstleistungen in den Themenfeldern Mobilität und Gebäudedienste. Die Aufgaben unterscheiden sich standortspezifisch entsprechend der jeweiligen Anforderung der Großforschungs- und Universitätsaufgabe.

Auf den Karlsruher Standorten des KIT schreitet der Photovoltaik-Ausbau weiter voran. Am KIT sind bis Ende 2024 insgesamt Solaranlagen mit einer Gesamtleistung von 2 MWp installiert und weitere rund 2 MWp in der Ausbauplanung für 2025. Der Leuchtmitteltausch zu LED-Technologie aus dem Vorjahr wurde fortgesetzt und trägt zur Energieeinsparung bei. Die Grünpflege an allen Karlsruher Standorten wurde zur Förderung der Biodiversität umgestellt. Des Weiteren wurde der Ausbau der Fahrradladeinfrastruktur vorangetrieben und erste Planungen werden in die Umsetzung überführt. Damit werden Anreize für Umstiege auf emissionsarme Fahrzeuge gesetzt und auch die Attraktivität als Arbeitgeber KIT gesteigert.

Betriebsärzte und -ärztinnen beraten und unterstützen Arbeitgebende und Beschäftigte in Fragen des Arbeitsschutzes, der betrieblichen Gesundheitsförderung, Wiedereingliederung und der medizinischen Prävention. Die **Medizinischen Dienste (MED)** erfüllen für alle KIT-Standorte im Raum Karlsruhe arbeitsmedizinische Aufgaben gemäß staatlichen und berufsgenossenschaftlichen Vorgaben zum Arbeits- und Gesundheitsschutz. Den Standorten Ulm und Garmisch-Partenkirchen steht MED beratend zur Verfügung.

Am Standort Campus Nord betreut MED zudem dort ansässige Gastinstitutionen und Fremdfirmen. Durch den vertraglich festgeschriebenen vollkontinuierlichen Wechselschichtdienst der MED-Ambulanz werden die akut- und strahlenschutzmedizinische Notfallversorgung, insbesondere auch für Einrichtungen der KTE GmbH und des JRC Karlsruhe, gewährleistet. Die Funktion als regionales Strahlenschutzzentrum der Berufsgenossenschaften wird durch Rufbereitschaften der im Strahlenschutz ermächtigten Ärztinnen und Ärzte abgedeckt.

Im betrieblichen Eingliederungsmanagement (BEM) gemäß § 167 Abs. 2 SGB IX stehen die Betriebsärztinnen und -ärzte als Ansprechpersonen zur Verfügung. Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt eine deutliche Zunahme der Komplexität der Fälle bei Langzeiterkrankungen mit entsprechend steigendem betriebsärztlichen Beratungs- und Betreuungsbedarf.

Hervorzuheben ist der Anstieg von psychischen Erkrankungen. Insbesondere in der Gruppe der Promovierenden sind große psychomente Beanspruchungen zu beobachten. In Krisensituationen ist eine schnelle Intervention notwendig, um schwerwiegende Folgen zu vermeiden. Betroffene suchen häufig Hilfe bei den medizinischen Diensten. Es ist von großer Bedeutung, dass ausreichend Unterstützungsangebote geschaffen werden, um verstärkt sowohl auf die psychische Gesundheit (Prävention) von Beschäftigten und von jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern hinzuwirken, als auch ein Netzwerk für akut notwendige Interventionen zu etablieren.

Die Leitungen von MED und dem Institut für Sport und Sportwissenschaften IFFS bilden mit dem Vizepräsidenten Administration und der BGM-Koordinatorin den Lenkungskreis des betrieblichen Gesundheitsmanagements (BGM), dies in enger Kooperation mit dem studentischen Gesundheitsmanagement (SGM). MED ist gemeinsam mit weiteren internen und externen Akteuren operativ im Netzwerk Gesundheit und im Konfliktmanagement engagiert.

Die alljährliche Grippeimpfaktion wurde als Angebot der Gesundheitsförderung erneut gut angenommen.

Wie die Forderung des Unfallversicherungsträgers zur arbeitsmedizinischen Betreuung von Studierenden organisatorisch und inhaltlich umzusetzen sind, war 2024 Gegenstand intensiver Gespräche unter Beteiligung von Präsidium, UKBW, MED und FAS. Die Etablierung von Prozessen wie Erfassung von Gefährdungen, Meldungen, Online-Unterweisungen, Dokumentation und letztlich auch Schaffung von Ressourcen werden 2025 weiter zu entwickeln sein.

Ein Mehrbedarf an fachärztlichem Personal ergibt sich aus der arbeitsmedizinischen Betreuung Studierender, aber auch im Hinblick darauf, dass die Arbeitsmedizin im KIT weiterhin nicht nur Garant für die Erfüllung von staatlichen und berufsgenossenschaftlichen Vorgaben sein soll, sondern auch als wichtiges Element in der betrieblichen Prävention und Förderung gesunder Arbeitsplätze zur Attraktivität des Arbeitgebers KIT beitragen sollte.

Auch der Erhalt der Kompetenz in der Strahlenschutzmedizin ist anzustreben, um so eine auch langfristige adäquate Versorgung der Rückbaubereiche am Campus Nord zu gewährleisten, als regionales Strahlenschutzzentrum mit entsprechender Außenwirkung fungieren und Wissenserhalt im Strahlenschutz durch Beiträge für FTU-Kurse bieten zu können.

Das Toxikologische Labor von MED ist behördlich bestimmte in vitro-Inkorporationsmessstelle nach §169 (1) Nr. 2 StrlSchG und akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018. Es führt radiochemische Ausscheidungsanalysen auf Alpha- und reine Betastrahler durch und übermittelt entsprechende Dosisfeststellungen an das Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz. In 2024 wurden für 839 beruflich strahlenexponierte Personen interner und externer Kunden 2876 Analysen zur Inkorporationsüberwachung durchgeführt.

Durch den stetigen Kompetenzabbau im Strahlenschutz deutschlandweit kommt der Verbindung aus Inkorporationsmessstelle und regionalem Strahlenschutzzentrum mit strahlenschutzmedizinischer Kompetenz im KIT eine zunehmende gesamtgesellschaftliche Bedeutung zu.

Auf dem Gebiet der Sicherheit des KIT ist die Stabsstelle der **Fachkräfte für Arbeitssicherheit (FAS)** mit der Aufgabe betraut, gesundheitsbewahrende Arbeitsbedingungen und sichere Einrichtungen zu schaffen, den bestimmungsgemäßen Umgang mit ihnen und das Zusammenwirken aller Beschäftigten entsprechend zu organisieren und sicherzustellen. Dieser Aufgabe wird die Stabsstelle u. a. dadurch gerecht, dass sie, nach Maßgabe des Arbeitssicherheitsgesetzes und der DGUV Vorschrift 2, Fachkräfte für Arbeitssicherheit bestellt hat. FAS unterstützt und berät die einzelnen Organisationseinheiten beim Arbeitsschutz, der Unfallverhütung und in allen Fragen zur Arbeitssicherheit einschließlich Maßnahmen der menschengerechten Gestaltung der Arbeitsplätze. Hierzu werden den verantwortlichen Personen zur Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen, der Erstellung von Betriebsanweisungen und für die Durchführung von Unterweisungen entsprechende Hilfsmittel zur Verfügung gestellt. Zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen werden regelmäßig Begehungen durchgeführt.

2024 hat eine erfahrene Fachkraft für Arbeitssicherheit in der GFA mit Spezialisierung auf verfahrenstechnische Anlagen und Gefahrstoffe ihre Kündigung zum 28. Februar 2025 eingereicht. Die Stelle wurde ausgeschrieben und wird zum 1. Juni 2025 wiederbesetzt werden. Der Aufbau der Qualifikationen zur gleichwertigen Betreuung der Versuchsanlagen der GFA wird jedoch voraussichtlich mehrere Jahre erfordern.

Weiterhin wurde mit Schreiben der Aufsichtsperson des KIT bei der Unfallkasse Baden-Württemberg zum 28. November 2024 eine Neuberechnung der Einsatzzeiten der Fachkräfte für Arbeitssicherheit und der Betriebsärztinnen und -ärzte gemäß DGUV Vorschrift 2 gefordert. Die Berechnungen werden von FAS und MED durchgeführt und mit dem Vizepräsidenten Dr. Stefan Schwartze abgestimmt.

Unfallgeschehen: Zur Beurteilung des durchschnittlichen Unfallrisikos einer versicherten Person müssen die absoluten Unfallzahlen zu geeigneten Bezugsgrößen ins Verhältnis gesetzt und damit Unfallquoten gebildet werden. Bei der Darstellung der Häufigkeit der Arbeitsunfälle je 1.000 Mitarbeitenden werden die Unfallzahlen verschiedener Unternehmen bzw. Einrichtungen vergleichbar. Für das KIT mit ca. 10.000 Beschäftigten ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Zahlen der Unfälle im Vergleich zur gesamten gewerblichen Wirtschaft und der öffentlichen Hand:

Art der Unfälle	Zahl der meldepflichtigen Unfälle je 1.000 VZÄ	
	KIT 2024	Gewerbliche Wirtschaft und öffentliche Hand 2023*
meldepflichtige Betriebs- u. Sportunfälle	4,25	18,09
meldepflichtige Wegeunfälle	2,89	3,30

* Daten der DGUV von 2024 liegen noch nicht vor. DGUV Zahlen: Meldepflichtige Betriebs- u. Sportunfälle bezogen auf VZÄ, Wegeunfälle auf Versicherungsverhältnisse.

A.7 Vollständige Publikationsliste

Die vollständige Publikationsliste für das Jahr 2024 ist unter folgendem Link abrufbar:

<https://www.sts.kit.edu/5486.php>, siehe Menü Berichtswesen

Anhang

zum Fortschrittsbericht 2024
des Karlsruher Instituts für Technologie

Berichte der Forschungsbereichskoordinatorinnen und -koordinatoren

Inhalt des Anhangs

I.	Helmholtz Energy: Bericht des Koordinators an den Senat	
		391
II.	Helmholtz Information: Bericht der Koordinatorin an den Senat.....	419
III.	Helmholtz Matter: Bericht des Koordinators an den Senat	
		438
IV.	Forschungsbereich Erde und Umwelt: Bericht der Koordinatorin an den Senat.....	495

I. Helmholtz Energy: Bericht des Koordinators an den Senat

Koordinator:

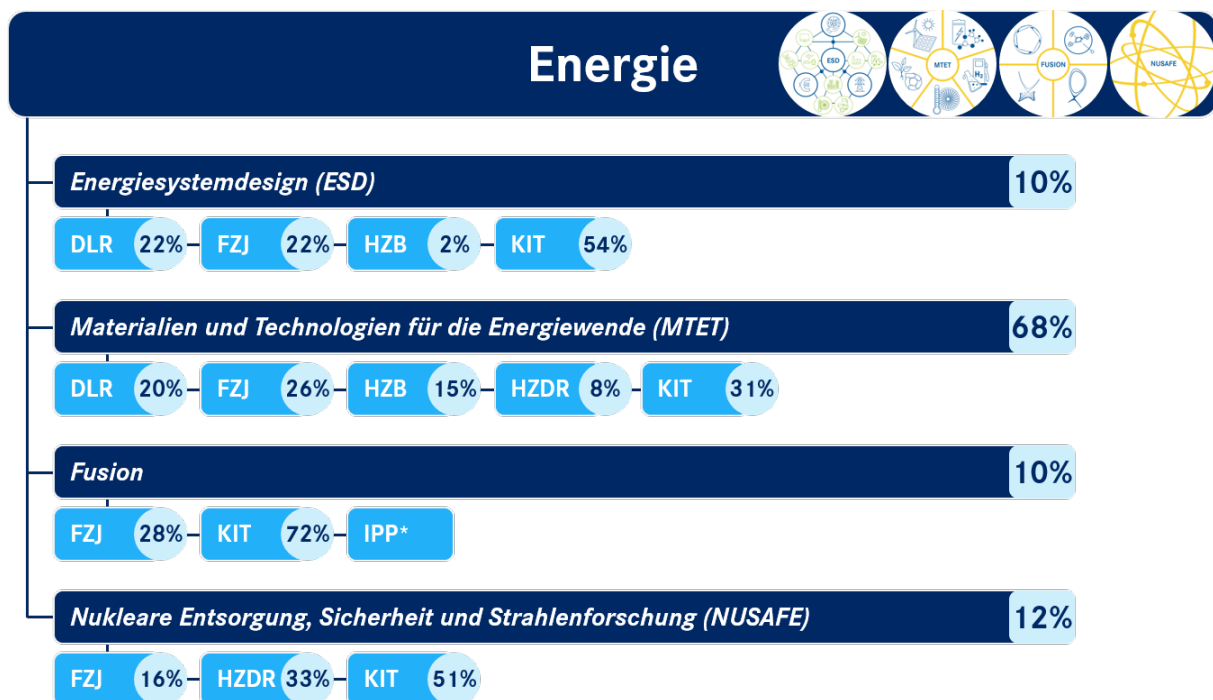
Prof. Dr. Bernd Rech (Helmholtz-Zentrum Berlin)

Beteiligte Helmholtz-Zentren: DLR, FZJ, HZB, HZDR, KIT

1. Der Forschungsbereich im Überblick

Mit Forschung von den Grundlagen bis zur Anwendung schafft Helmholtz Energy, der Helmholtz-Forschungsbereich Energie, die wissenschaftlichen Voraussetzungen für eine klimaneutrale Energieversorgung, die ökonomisch und gesellschaftlich getragen wird. In interdisziplinären Programmen entwickeln die Forschenden zukunftsweisende Lösungen für die Energiewende in Deutschland und für den nachhaltigen Umbau der Energieversorgung weltweit. Dafür erforschen und entwickeln sie innovative Wandlungs-, Verteilungs-, und Speichertechnologien. Unter Einbezug aller relevanten Ketten zur Energiewandlung und zukunftsicherer technologischer Optionen erarbeitet Helmholtz Energy ganzheitliche, sektorenübergreifende Konzepte und Lösungen für ein Energiesystem der Zukunft.

Den Herausforderungen zum Umbau des Energiesystems hin zu erneuerbaren Quellen begegnet Helmholtz Energy mit seiner **wissenschaftlichen Schwerpunktsetzung in vier Programmen**:



* Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) ist seit 2021 wissenschaftlich assoziierter Partner

Abbildung 1 veranschaulicht die Struktur von Helmholtz Energy mit den vier Programmen. Dargestellt sind auch die Größe der Programme und die Beteiligung der Zentren an ihnen.

Die in PoF IV an Helmholtz Energy **beteiligten Zentren** sind das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), das Forschungszentrum Jülich (FZJ), das Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB), das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) und das

Karlsruher Institut für Technologie (KIT); das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) ist wissenschaftlich assoziiertes Zentrum.

Nach Ende der assoziierten Mitgliedschaft des **IPP** in der Helmholtz-Gemeinschaft zum 1.1.2021 ist die wissenschaftliche Partnerschaft durch einen Kooperationsvertrag zwischen der Helmholtz-Gemeinschaft und der Max-Planck-Gesellschaft geregelt. In diesem Rahmen wird die wissenschaftliche Zusammenarbeit mit dem IPP in Helmholtz Energy fortgeführt. Eine langfristige und besonders intensive Zusammenarbeit besteht dabei in der Fusionsforschung („Wissenschaftliche Assoziation“). Das IPP wird langfristig an der Erstellung und Umsetzung des Programms Fusion mitwirken und wirkt außerdem in geringem Umfang aktiv an den Programmen ESD und MTET sowie den Aktivitäten zur Helmholtz Energy Transition Roadmap (HETR) mit.

Das Jahr 2024 war in Helmholtz Energy geprägt durch die **Aufstellung für die fünfte Periode der Programm-orientierten Förderung (PoF V)**: das Strategiepapier von Helmholtz Energy für die PoF V wurde erstellt, die Gespräche von Helmholtz Energy mit den Ministerien zu forschungspolitischen Rahmen und forschungspolitischen Zielen haben 2024 begonnen.

In unseren vier **Programmen** im Rahmen der vierten Periode der Programm-orientierten Förderung (PoF IV) erforschen und entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler **langfristig angelegte Lösungen** für ein zukünftiges Energiesystem. Die vier Programme von Helmholtz Energy haben ihre Arbeit 2024 noch weitgehend planmäßig fortgesetzt. Es besteht jedoch das Risiko, dass in den kommenden Jahren zunehmend Mittel für die Forschung fehlen und daher nicht alle versprochenen wissenschaftlichen Ziele erreicht werden können. Denn aufgrund der **Inflation**, der **Energiekostensteigerungen** und der **Tarifsteigerungen** sind die Zentren in einer **eher schwierigen finanziellen Situation**. Die Batterieforschung ist zusätzlich von den **Kürzungen im Klima- und Transformationsfonds (KTF)** finanziell besonders betroffen.

Die **Vorbereitung auf die PoF V** spielte im aktuellen Berichtsjahr in Helmholtz Energy eine wichtige Rolle. Das Strategiepapier von Helmholtz Energy für die PoF V wurde erstellt und in den Helmholtz-Gremien (Forschungsbereichsplattform (FB-Plattform), Mitgliederversammlung, Senat) vorgestellt. Die Gespräche mit den Ministerien zum forschungspolitischen Rahmen und den forschungspolitischen Zielen haben begonnen. Die Verknüpfung von **Strategie** und **forschungspolitischen Zielen** ist hierbei ein zentraler Bestandteil. Die Abstimmung ist als iterativer Gesamtprozess definiert, dessen Elemente in unterschiedlicher Verantwortung liegen, sich aber gegenseitig bedingen. In diesem Zuge wurden erste Strategieüberlegungen und ein Zeitplan bei der FB-Plattform am 09.04.2024 vorgestellt. Der Strategische Beirat wurde am 07.05.-08.05.2024 zur Einholung von externer Expertise mit den ersten Strategieüberlegungen befasst. Bei der Sitzung der FB-Plattform am 12.06.2024 wurden ein erster Entwurf des Strategiepapiers vorgestellt sowie erste Überlegungen der Ministerien zu den forschungspolitischen Zielen adressiert. Das Strategiepapier wurde zur Helmholtz-Mitgliederversammlung im September 2024 fertiggestellt und bei der FB-Plattform am 11.10.2024 vorgestellt. Es wurde festgehalten, dass das Strategiepapier eine gute Grundlage sowohl zum Eingang in den Begutachtungsprozess, als auch für die Erarbeitung der forschungspolitischen Ziele darstellt. Das Strategiepapier wurde daraufhin am 30.10.2024 im Helmholtz-Senat vorgestellt und ist als Ausblick in die Statusberichte der Zentren für die wissenschaftliche Begutachtung mit eingebracht worden. Um gemeinsame Überlegungen und Entwicklungen in Bezug auf die forschungspolitischen Ziele weiter vorantreiben zu können, wurde am 18.12.2024 ein ganztägiger, gemeinsamer Workshop von Helmholtz Energy und den Ministerien durchgeführt.

Die übergreifende **Zusammenarbeit mit den anderen Forschungsbereichen** in Helmholtz, insbesondere mit Erde und Umwelt zu Klima- und Energiefragen, wird in Hinblick auf PoF V ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. Ein Workshop für die **Zusammenarbeit mit Erde und Umwelt** zu gemeinsamen Forschungsthemen für PoF V hat am 01.03.2024 stattgefunden. Dabei wurden für die Intensivierung der Zusammenarbeit folgende Themen identifiziert: a) Kreislaufwirtschaft und Stoffkreisläufe, b) Geoenergie, Endlagerung und Underground Storage (H₂ und CO₂) und c) der Zusammenhang und die Wechselwirkung zwischen Klimawandel und Energiewende auf Systemniveau.

Die **Sitzungen des Management Boards (MB) und der FB-Plattform** waren geprägt von den hier beschriebenen Themen und Entwicklungen. Die Sitzung des **Strategischen Beirats (Strategic Advisory Board (SAB)) Energy** fand vom 07.05-08.05.2024 statt. Am ersten Tag gab es ein Besichtigungsprogramm am Forschungszentrum Jülich. Bei der Sitzung am zweiten Tag hat das SAB dem Forschungsbereich und seinen Programmen eine erfolgreiche Entwicklung in 2023 bescheinigt. Das SAB unterstützte nachdrücklich die Einreichung der auf der **Helmholtz-Roadmap Forschungsinfrastrukturen (FIS)** genannten Forschungsinfrastruktur Center for Resource Process Intensification and Interface Studies (CeRI²) im Verfahren für strategische Ausbauinvestitionen > 15 Mio. EUR. Das SAB gab Hinweise zur Strategie des Forschungsbereichs für die PoF V.

Die **Helmholtz Energy Transition Roadmap (HETR)** wurde im Juli 2024 veröffentlicht (s.u. Kapitel 2).

Zum **Innovationspool** wurde in der FB-Plattform am 11.10.2024 beschlossen, dass vier Projekte für eine Laufzeit von 2025-2027 gefördert werden: 1) Auf dem Weg zu autonomen Materialentwicklung (AutoMat), 2) Data for Technology Assessment (DaTA), 3) Industrielle Transformation 2050 (IT 2050), 4) Digital twins in nuclear waste disposal (DTN).

Ein **Workshop** von Helmholtz Energy und **Siemens Energy** am 12.02.24 diente der Absprache zu aktuellen Themen bzgl. Energiesystem und Energietechnologien. Hierbei wurden Follow-up Treffen für eine verstärkte Zusammenarbeit zu den einzelnen Themen vereinbart. Darüber hinaus bestehen bilaterale Kooperationen der Zentren in Helmholtz Energy mit Siemens Energy.

Das **Helmholtz Energy Office** unterstützt den Helmholtz-Vizepräsidenten Energie und das gesamte MB Energie in bewährter Weise. Das Helmholtz Energy Office betreut auch die **Plattform Helmholtz Energy**, die sich der programm- und zentrenübergreifenden Vernetzung, dem Talentmanagement und dem Wissenstransfer widmet. Die Verwendung von „**Helmholtz Energy**“ als Marke hat sich 2024 voll etabliert. Hierbei hat die Verwendung von „Helmholtz Energy“ als griffiger Ausdruck für den Forschungsbereich Energie in allen Texten breite Anwendung gefunden, sowie auch die Einbindung des Helmholtz Energy-Logos in Dokumente und Präsentationen. Die durch das Helmholtz Energy Office betreute **Helmholtz Energy Webseite** (<https://energy.helmholtz.de/>) hat sich als öffentlichkeitswirksames Medium für den Wissenstransfer im Forschungsbereich etabliert. So wird sie nun sowohl von der Helmholtz Energy Computing Initiative (HECI) als Zugang zum Softwarerepository genutzt, als auch von den Programmen als Plattform für den Wissenstransfer, ein Beispiel hierfür ist das ESD Policy Brief „Die Energiewende integrativ denken“. Ebenso wurde die Helmholtz Energy Transition Roadmap (HETR) im Juli 2024 auf der Helmholtz Energy Webseite veröffentlicht. Die Sichtbarkeit von Helmholtz Energy konnte auch auf Socialmedia weiter ausgebaut werden. Die Zahl der Follower auf LinkedIn wuchs organisch auf über 800, wobei Follower aus dem Bereich Forschung mit über 40% die größte Gruppe bilden. ([Helmholtz Energy | LinkedIn](#)).

Auf Programm- und Forschungsbereichsebene werden neue Impulse für zentrenübergreifende Vernetzung und Förderung von Wissenschaftlerinnen sowie von Nachwuchsforschenden gesetzt. Das Helmholtz Energy Office organisierte mit dem **Helmholtz Energy Women Career Workshop** erstmalig ein Format, dass sich nur an Nachwuchswissenschaftlerinnen wendet. Der Workshop mit dem Thema „Communicating and negotiating successfully in academia“, der im Mai 2024 in Bad Herrenalb durchgeführt wurde, fand so großen Anklang, dass er im November 2024 in Fulda wiederholt wurde. Zusätzlich wurden die **Young Scientist Networking Days** mit dem Thema „Energize the World: Create Impact with Your Research“ angeboten. Dieser Workshop fand im Oktober 2024 in Maintal bei Frankfurt statt.

Helmholtz Energy führte zusammen mit der SynCom Erde und Umwelt am 17.05.2024 erfolgreich ein **Parlamentarisches Frühstück** zum Thema „Klimaneutralität 2045 – Chancen und Herausforderungen von DACCS und BECCS“ durch. Schirmherrin der Veranstaltung zu den Themen CO₂-Entnahme und -Speicherung mit 32 Gästen inkl. 6 MdBs in Berlin war MdB Dr. Nina Scheer. Der inhaltliche Schwerpunkt lag auf den beiden technischen Methoden Direct Air Carbon Capture (DAC), der direkten Abscheidung von CO₂ aus der Atmosphäre mit anschließender langfristiger Speicherung des Kohlenstoffs, und Bioenergie mit Carbon Capture and Storage (BECCS), der Energiegewinnung aus Biomasse mit anschließender Kohlendioxidscheidung und -speicherung.

Im Vorfeld der Bundestagswahl wurde im Dezember 2024 das **Positionspapier** „Die Energiewende durch Innovation vorantreiben und nachhaltig sichern“ veröffentlicht. Dieses Papier enthält die wichtigsten Erkenntnisse aus Helmholtz Energy für den Übergang zu einem **klimaneutralen Energiesystem** und gibt in aller Kürze einen Überblick über die wichtigsten Maßnahmen zur Ausnutzung des vollen Potenzials erneuerbarer Energien als Orientierung für politische Entscheidungsträger:innen und alle Interessierten.

2. Stand der Umsetzung der programmübergreifenden Senatsempfehlungen

Über die Umsetzung der Empfehlungen zu den einzelnen Programmen (LK I) wird in den entsprechenden Fortschrittsberichten informiert.

Senatsempfehlungen:

*Um den **Impact** der Forschung auf die Energiewende zu erhöhen, empfiehlt das Gremium, die vorgeschlagene Roadmap als zentrales Strategieinstrument auf höchster Ebene (Vizepräsident) zu nutzen und die Integration zwischen dem Programm Energiesystemdesign und Materialien und Technologien für die Energiewende mit umfassenden Feedback-Schleifen und abgestimmten Zielen zu optimieren.*

Die **Helmholtz Energy Transition Roadmap (HETR)** als Roadmap für die Energieforschung wurde im Juli 2024 veröffentlicht (<https://energy.helmholtz.de/helmholtz-energy-transition-roadmap/>). Die HETR vermittelt ein umfassendes Verständnis der Herausforderungen, die mit der Energiewende verbunden sind, und liefert wertvolle Anhaltspunkte, wie die Energieforschung den erfolgreichen Umbau des Energiesystems kurz-, mittel- und langfristig in allen Disziplinen unterstützen kann. Die Roadmap zeigt eine Vielzahl von Technologien, Materialien und Methoden auf, die bei der Bewältigung dieser Herausforderungen eine Rolle spielen werden oder spielen könnten. In diesem Sinne bietet sie Helmholtz Energy Orientierung bei der strategischen Forschungsplanung. Darüber hinaus kann die Roadmap externen Stakeholdern aus Wissenschaft, Industrie und Politik als Wegweiser dienen. Unter der Verantwortung des Helmholtz-Vizepräsidenten Energie wurden der Rahmen und die Inhalte der Roadmap von

einer Gruppe von Leitautorinnen und -autoren erarbeitet, die von einem Kernteam beraten wurden. Die Autorinnen und Autoren wurden zudem maßgeblich von mehr als 100 Forschenden aus Helmholtz Energy unterstützt, die ihre spezifische Expertise einbrachten. Diese Forschenden, organisiert in mehreren interdisziplinären Fachgruppen, decken das gesamte Forschungsspektrum in den Bereichen Materialien, Technologien, Systeme und Gesellschaft innerhalb der Programme ESD, MTET und FUSION ab. Nach den erfolgten Feedbackschleifen durch die Programme ESD, MTET und FUSION wurde am 14.06.2024 zu HETR ein Stakeholder-Feedback mit Beteiligung weiterer Forschungsorganisationen, Verbände und Ministerien durchgeführt. Die HETR wurde daraufhin im Juli 2024 veröffentlicht [[Helmholtz Energy Transition Roadmap](#)]. Für den PoF V-Strategieprozess in Helmholtz Energy, zum Beispiel für die Erstellung des Strategiepapiers für PoF V, stellt die HETR einen von mehreren Inputs dar. Ebenso bildete sie die Grundlage für die Ausarbeitung von Positionspapieren, die seit Ende 2024 für den politischen Dialog im Vorlauf der Bundestagswahl am 23.02.2025 erstellt wurden. Für HETR ist zukünftig eine Aktualisierung in regelmäßigen Abständen als „living document“ vorgesehen.

Umfassendes Talentmanagement: Die Vorstände der Zentren werden ermutigt, die Strategie zu nutzen, um die Belegschaft auf allen Ebenen erheblich zu diversifizieren.

Ein **ganzheitliches Talentmanagement** mit gezielter Unterstützung in jeder Karrierestufe ist integraler Bestandteil der Strategien der Zentren von Helmholtz Energy. Die Vorstände aller Zentren in Helmholtz Energy streben dabei eine weitere Diversifizierung der Belegschaft an. Die Förderung **der Chancengleichheit in allen Dimensionen der Vielfalt** bildet einen Kernwert, der im Talentmanagement der Zentren fest verankert ist.

Das umfassende Talentmanagement bietet gezielte Unterstützung für verschiedene Berufsgruppen auf allen Karrierestufen und schafft so den Rahmen für die erfolgreiche Rekrutierung der brilliantesten Köpfe im internationalen Wettbewerb. Vor dem Hintergrund des vorherrschenden Mangels an Fachkräften aus dem technisch-naturwissenschaftlichen Bereich, aber auch der Unterrepräsentanz von Frauen in höheren Karrierestufen in Helmholtz Energy stellt die Gewinnung, Entwicklung und langfristige Bindung von Spitzenforschenden sowie von wissenschaftlichem Nachwuchs im internationalen Wettbewerb mit anderen exzellenten Forschungseinrichtungen und der Industrie eine besondere Herausforderung dar, die es in Helmholtz Energy zu bewältigen gilt. Die Erreichung der Ziele wird durch die Nutzung eines breiten Maßnahmenpektrums für Talentmanagement und Personalentwicklung in den einzelnen Zentren realisiert, das auf die Förderung von Exzellenz auf allen Ebenen abzielt. Einen Überblick über Ziele und Maßnahmen gibt die 2023 erstellte Zusammenstellung Talentmanagement in Helmholtz Energy, die dem Fortschrittsbericht 2023 als Anhang beigefügt wurde. Für aktuelle Beispiele zum Talentmanagement s.u. Kap. 4.1.

*Schaffung eines **Ecosystem**, in dem eine zukunftsorientiertere Unternehmenskultur gefördert und tief in Forschung und Entwicklung integriert wird.*

Transfer ist eine wesentliche Aufgabe für die Helmholtz-Gemeinschaft. Helmholtz Energy mit seiner Anwendungsnähe bringt sich aktiv in die Transferstrategie der Helmholtz-Gemeinschaft ein. Die Zentren in Helmholtz Energy stellen ihren Forschenden ein breites Spektrum an Transferinstrumenten bereit. Auf Basis wegweisender wissenschaftlicher Erkenntnisse bringen sie regelmäßig anspruchsvolle Ausgründungen hervor. Dabei arbeiten sie eng mit deutschen, europäischen und globalen Investoren zusammen. Darüber hinaus unterstützen sie flexible Formen der Kooperation und Entwicklungspartnerschaften mit Industrie, Mittelstand

und Start-ups. In der 2021 veröffentlichten Transferstrategie der Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft sind Ziele, Instrumente und Maßnahmen zu Transfer und zur Förderung einer Unternehmenskultur in den Zentren genannt. Als eine weitere Transferaktivität sind die vier Initiativen von Helmholtz Energy zur Zeitenwende Energieversorgungssicherheit hervorzuheben (siehe auch Kap. 3 sowie Broschüre Zeitenwende Energieversorgungssicherheit).

Für aktuelle Beispiele zu Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft s.u. Kap. 4.3.

Die seit 2022 neuen Erfolgsindikatoren (s.u. Kap. 5) *Kooperationen mit der Wirtschaft und externen nichtwissenschaftlichen Institutionen, Ausgründungen (Spin-offs) und kompetenzbasierte Gründungen (Start-ups)* sowie *Wissenstransferaktivitäten* unterstreichen die Bedeutung von Innovation und Transfer in Helmholtz.

Forschungspolitische Ziele auf Ebene des Forschungsbereichs:

Stärkung des Transfers in Wirtschaft und Gesellschaft

Die Ziele werden in einem gemeinsamen programmübergreifenden Konzept zum Wissens- und Technologietransfer inkl. geeigneter Instrumente verankert und bis 2024 im Rahmen einer Implementierungsphase umgesetzt.

Das forschungspolitische Ziel des Forschungsbereichs zur Erstellung eines Konzepts zum Wissens- und Technologietransfer inkl. geeigneter Instrumente ist aus Sicht der FB-Plattform Energie (Beschluss der FB-Plattform Energie vom 30.03.2022) mit der vorliegenden Transferstrategie der Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft (s.o.) erfüllt.

Für weitere Erläuterungen zur Umsetzung der Transferstrategie s.o. Senatsempfehlung „Transfer“.

Für aktuelle Beispiele zu Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft s.u. Kap. 4.3.

3. Entwicklung im Rahmen der programmübergreifenden Aktivitäten

Forschungsbereichsübergreifende Aktivitäten

3.1. Querschnittsthema 1: Bioeconomy meets Energy

- Koordinierende Sprecher: Ulrich Schurr (FZJ, Erde und Umwelt), Jörg Sauer (KIT, Energie)
- Beteiligte Programme: MTET (Energie); Changing Earth - Sustaining our Future (Erde und Umwelt)

Ansätze zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse und Kenntnisse über biologische Systeme stellen einen wichtigen Baustein zur Entwicklung eines geschlossenen anthropogenen Kohlenstoffkreislaufs dar. Diese werden in einem integrierten Bioökonomie-Ansatz gemeinsam von Helmholtz Energy und Helmholtz Earth and Environment vorangetrieben. Der Fokus liegt auf der Forschung zu neuartigen Prozessen, Prozessketten und Produkten, die hybride Ansätze nutzen, indem z.B. in der nachhaltigen Produktion von Kohlenstoff- und Energieträgern biochemische, (bio)elektrochemische, katalytische, thermo- und/oder photochemische Prozesse kombiniert werden. Auf diese Weise kann es gelingen, Sektoren auf effiziente Weise zu koppeln. Zum Beispiel erlaubt die Nutzung von biogenem Kohlenstoff und erneuerbarer elektrischer Energie zur Herstellung von Proteinen als Lebensmittelbestandteile die Kopplung des

Lebensmittelsektors mit dem Energiesektor. 2024 wurde das Themenfeld Agri-PV Entwicklungen und Forschung fortgeführt: Die ersten Versuche im Themenfeld Biodiversitäts-PV fanden mit der Integration von Blühstreifen und Brutkästen statt, so dass neben der Biomasse-Produktion auch Ökosystem-relevante Aspekte und Einflüsse von erneuerbaren Energiesystemen untersucht wurden. Weiterhin wurden erste Messungen zur Homogenität des Pflanzenwachstums in groß-skaligen, Agrarwirtschaft-relevanten Systemen mit vertikalen Agri-PV Systemen und PV-Trackern durchgeführt, welche zur praxisnahen Forschung und als Demo für Großlandwirtschaftsbetriebe beitragen. Auch wurden die Effekte von PV in Folientunneln auf das Pflanzenwachstum untersucht, welches gerade in südlichen Regionen Europas durch großflächige Installationen zu einem bedeutenden Marktsegment heranwachsen kann. Schwerpunkt der Arbeiten war die Entwicklung eines Bioraffineriekonzepts aufbauend auf einem Verbund einer Schnellpyrolyse von Biomassereststoffen. Die gewonnene Biokohle soll zur Erzielung negativer Emissionen genutzt werden. Eine Fraktionierung der Pyrolyseölfraction soll die Basis einer stofflichen Nutzung darstellen. Des Weiteren wurde die Entwicklung von Prozessen zur Fixierung von Kohlenstoff aus biobasierten Quellen vorangetrieben, um negative CO₂ Emissionen zu erzielen, die z.B. für den Ausgleich von unvermeidbaren Emissionen aus der Landwirtschaft dauerhaft erforderlich sind (CO₂-Sequestrierung und Biokohle). Hierbei wird der Fokus insbesondere auf eine effiziente Kopplung mit anderen Produkten für die chemische Industrie und den Energiesektor gelegt. In diesem Zusammenhang wurde das Helmholtz-Transferprojekt ReGenFarm mit der Firma Bayer gestartet.

3.2. Querschnittsthema 2: Geoenergie

- Koordinierende Sprecher: Thomas Kohl (KIT, Energie); Ingo Sass (GFZ) and Olaf Kolditz (UFZ), (beide Erde und Umwelt)
- Beteiligte Programme: MTET (Energie); Changing Earth - Sustaining our Future (Erde und Umwelt)

Im Querschnittsthema "Geoenergie" werden wissenschaftliche Methoden und Technologien zur effizienten Speicherung und nachhaltigen Nutzung geothermischer Energie entwickelt. Im Mittelpunkt der Zusammenarbeit steht der Aufbau der Großforschungsinfrastruktur GeoLaB. Dieses forschungsstrategische Projekt befindet sich in der Explorationsphase, in der u.a. eine erste Seismik-Kampagne durchgeführt und die erste Explorationsbohrung erfolgreich gestartet wurden. Die Einwerbung des BMBF-Projekts GeoDT zum Aufbau des Digital Twins ist ein Beispiel dafür, wie schon die Aufbauphase für die konzertierte Forschung genutzt werden kann. "GEOZeit" (s.u. Kap. 3.11) im Rahmen der „Zeitenwende Energieversorgungssicherheit“ strebt eine beschleunigte Entwicklung von Speichertechnologien im Untergrund an. Dabei spielt das Upscaling geothermischer Systeme für den Beitrag zur Wärmewende eine entscheidende Rolle. Das BMWK-Projekt VESTA zur Hochtemperatur-Speicherung und die Herausgabe der Springer-Zeitschrift „Geothermal Energy“ wurden fortgesetzt.

3.3. Querschnittsthema 3: Nukleare Endlagerforschung

- Koordinierende Sprecher: Dirk Bosbach (FZJ, Energie); Michael Kühn (GFZ, Erde und Umwelt)
- Beteiligte Programme: NUSAFE (Energie); Changing Earth - Sustaining our Future (Erde und Umwelt)

Die am Forschungsprogramm NUSAFE (Energie) beteiligten Helmholtz-Zentren FZJ, HZDR und KIT, sowie GFZ und UFZ (Programm Changing Earth – Sustaining our Future, Erde und Umwelt) haben eine fundierte Kooperation in der Endlagerforschung etabliert. Die gebündelten Kompetenzen in den Fachgebieten Radio-Geochemie, Geowissenschaften, und Numerische Simulation sollen dazu beitragen, die komplexen Prozesse, die über lange Zeiträume in Endlagersystemen ablaufen, und deren Einfluss auf die Radionuklidverbreitung aus einem Lager für hochradioaktive Abfälle skalen-übergreifend zu beschreiben. Dabei werden Methoden entwickelt, um die Auswirkungen molekularer Prozesse auf ein großräumiges Endlager zu verstehen, zu quantifizieren und zu visualisieren.

Das von der Helmholtz-Gemeinschaft und dem BMBF geförderte Verbundprojekt iCROSS stellte in den letzten Jahren ein zentrales Element der Zusammenarbeit dar, mit einem hohen Maß an Interaktion und Abstimmung. Internationale großskalige Untertagelaborexperimente im Untertagelabor Mont Terri (CH), grundlegende Laboruntersuchungen und numerische Simulationen zum reaktiven Stofftransport auf verschiedenen Skalen wurden dazu zusammengeführt und integriert betrachtet. Aktuell sind die Vorbereitungen für eine auf iCROSS aufbauende Graduiertenschule (Endlagerkolleg) weit fortgeschritten und befinden sich derzeit in der Abstimmung mit dem BMBF und der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE).

3.4. Querschnittsthema 4: Strahlenforschung

- Koordinierender Sprecher: Marco Durante (GSI)
- Beteiligte Programme: NUSAFE (Energie); Changing Earth - Sustaining our Future (Erde und Umwelt); Krebsforschung; Umweltbedingte und metabolische Erkrankungen (beide Gesundheit); Natural, Artificial and Cognitive Information Processing (Information); Raumfahrt (Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr (LRV)); Materie und Technologien; Von Materie zu Materialien und Leben (beide Materie)

Die Querschnittsaktivität Strahlenforschung (CCA-RR) wurde ursprünglich im Vorfeld von PoF III ins Leben gerufen, um die Sichtbarkeit und Vernetzung der Strahlenforschungsaktivitäten in verschiedenen Programmen und Forschungsbereichen zu verbessern. Für PoF IV wurde CCA-RR erheblich umstrukturiert und erweitert, sodass nun neun Zentren aus allen sechs Forschungsbereichen der Helmholtz-Gemeinschaft beteiligt sind.

Ein zentrales Ergebnis von CCA-RR war die Entwicklung eines White Papers zur Strahlenforschung, das einen umfassenden Überblick über das Forschungsfeld bietet.

Das Dokument ist in vier Hauptkapitel unterteilt:

1. Die Querschnittsaktivität Strahlenforschung
2. Herausforderungen der nächsten 5–10 Jahre
3. Große Helmholtz-Infrastrukturen in der Strahlenforschung
4. Die Zukunft der Strahlenforschung in der Helmholtz-Gemeinschaft

Das White Paper hat die Zusammenarbeit zwischen den Helmholtz-Zentren, die in der Strahlenforschung tätig sind, gestärkt und die interdisziplinäre Vernetzung gefördert. Seit 2024 entwickeln sich die Forschungsaktivitäten im Rahmen von PoF IV weiter, entsprechend den jeweiligen Programmzielen.

Referenz:

[1] F. Becker et al., Cross-Cutting Activity Radiation Research – White paper. GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, 2023. DOI:10.15120/GSI-2023-00685. Available online at: https://www.gsi.de/work/forschung/biophysik/qa_strahlenforschung

3.5. Querschnittsthema 5: Sector Coupling Energy – Mobility

- Koordinierende Sprecher: Meike Jipp, Carsten Hoyer-Klick (beide DLR)
- Beteiligte Programme: Verkehr (Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr (LRV)), Energy System Design (Energie), MTET (Energie)

Zur Optimierung der Kopplung zwischen dem Energie- und Verkehrssystem wurden Systemmodelle aus beiden Bereichen integriert, wodurch technologische und ökologische Maßnahmen entwickelt und bewertet werden können. Sie haben das Ziel, mit möglichst wenig Investitionen im Stromsektor und ohne Einschränkungen für die Mobilität eine maximale Nutzung regenerativ erzeugter Elektrizität zu ermöglichen. In dieses Modellsystem wurden nun Vehicle2Grid-Technologien eingeführt. Dies bedeutet, dass die Fahrzeuge nun auch Strom abgeben können, sofern die Nutzer diesem zustimmen und die Marktbedingungen entsprechend sind. Auf dieser Grundlage können neue kombinierte Geschäftsmodelle im Stromsektor und in der Mobilität bewertet werden, wie z.B. dynamische Strompreise, Mobility Packages, intelligente Parkraumbewirtschaftung. Weiterhin kann in vielen Quartieren ein zeitnaher Ausbau der Kapazität der Niederspannungsnetze verhindert und Abnahmemöglichkeiten für Solarstrom in den Mittagsstunden geschaffen werden.

Für die Verwaltung von Forschungsdaten werden innerhalb des Projekts MoDa (Modelle und Daten) Konzepte der FAIRen Datenverwaltung von der Energiesystemforschung in die Verkehrssystemforschung übertragen.

Perspektivisch kann Wasserstoff mit Hilfe umfangreicher Investitionen im Verkehrssystem für eine Vielzahl von Anwendungen auf Straße, Schiene und in der Luft genutzt werden. Da sich momentan auch die Batterietechnologie dynamisch entwickelt, besteht ein großes Risiko von Fehlinvestitionen (sog. Sunk Costs). Mit Hilfe von Kosten- und Marktmodellen wurden unterschiedliche Marktszenarien und Technologie-Einführungsstrategien hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Machbarkeit untersucht und eine Reihe von Fokusanalysen durchgeführt. Dazu zählen die Nutzung von Wasserstoff im Schwerlast- und Luftverkehr, die Entwicklung alternativer Antriebe im Bahnsektor, die Analyse von Entwicklungspfaden bei Elektrofahrzeugen, die Untersuchung von Kostenstrukturen und -entwicklungen von konventionellen und elektrifizierten Pkw und Lkw im Vergleich. Die Ergebnisse sind in Form von Policy Briefs zusammengefasst, deren Veröffentlichung für Anfang 2025 vorgesehen ist. Die Policy Briefs geben der Verkehrs- und Wirtschaftspolitik Hinweise, ab welchem Moment von einer technologie-offenen Förderung auf andere Fördermodalitäten umgestellt werden kann (Anreizprogramme, Pläne und Verpflichtungen u.a.). Auf diese Weise kann Innovation in Deutschland mit erfolgreichen Geschäftsmodellen und ohne zu große Haushaltslasten gefördert werden.

Im Rahmen des Projekts „Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte“ (VMo4Orte) wurde eine Serie WissenKompakt erstellt, dabei ist auch ein Beitrag zu Innovationshemmnissen bei E-Fahrzeugen enthalten.

Im Projekt SekQuaSens wurde ein Kommunikationsweg geschaffen, wie Energiemanagementsysteme in Echtzeit Daten aus Fahrzeugen abrufen können, um Ladebedarfe und aus bidirektionaler Kopplung resultierende Flexibilitäten mitberücksichtigen können. Für die Erfassung von realen Daten wurde ein Brennstoffzellenfahrzeug, welches Strom und Wärme auskoppeln kann, mit Sensoren ausgestattet. Nutznießer sind Anbieter von Regelenenergieserven und ähnliche Flexibilitätsanbieter am Strommarkt, sowie alle Betreiber von Energiemanagementsystemen, da sie mit dieser Datenübertragung eine aktuellere Lage des Energiebestands ihres Systems bekommen. Durch die Nutzung des V2X Standards zur Kommunikation wird ein Beitrag zur Erweiterung dieser Norm geliefert, sodass Entwickler von Energiemanagementsystemen zukünftig diesen Weg der Kommunikation integrieren können

Innovationspoolprojekte

3.6. Innovationspoolprojekt 1: Energiewende und Kreislaufwirtschaft

- Koordinierender Sprecher: Veit Hagenmeyer (KIT)
- Beteiligte Programme: ESD, MTET; beteiligte Zentren: FZJ, HZDR, KIT

Das Innovationspoolprojekt **"Energiewende und Kreislaufwirtschaft: Dekarbonisierung und Flexibilisierung energieintensiver Recyclingprozesse"** befasst sich mit der Entwicklung von Methoden und Modellen für das Design und den Betrieb energieintensiver Recyclingprozesse und der damit verbundenen Netzintegration sowie der (stofflichen) Wertschöpfungskettenintegration.

Im Rahmen des Arbeitspakets "Ressourceneffizienz, Dekarbonisierung und Lastmanagement" wurde die theoretische Fähigkeit von Prozessen, die für die Verarbeitung von Primär- und Sekundärrohstoffen typisch sind und ein hohes Elektrifizierungspotenzial aufweisen, zur Bereitstellung nachfrageseitiger Flexibilität (Demand Side Flexibility) im Stromnetz bewertet. Im Kontext der Zementproduktion aus Sekundärrohstoffen wurde die Bewertung des Demand-Response-Potenzials der Belite-Zementproduktion mit Hilfe einer Resource Task Network (RTN)-Simulation weiterentwickelt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Kombination von kurzfristigen (stündlichen) und langfristigen (monatlichen) Planungsstrategien das Gesamtpotenzial des Demand Response erhöhen würde. Im Allgemeinen ist die Zementproduktion mit einem enormen Energiebedarf verbunden, der auf elektrische Quellen verlagert wird. Abgesehen vom Anstieg des Strombedarfs (und dem damit verbundenen Flexibilisierungspotenzial) sind riesige Massenströme auf kontinuierliche Prozesse angewiesen, sowohl für das Handling der Mengen als auch für die Herstellung eines standardisierten Produkts, z. B. Zement, und schließlich Beton. Der Betrieb begünstigt also keine Abschaltungen, insbesondere nicht in Zeiträumen, die kürzer als Tage sind, und ist immer mit Kosten für Pufferkapazitäten und Risiken für die Produktqualität verbunden, was die von der RTN-Simulation prognostizierten Vorteile einschränkt. Da sich der Beliteprozess jedoch noch in der Aufbauphase befindet, sind Optionen wie Hybridheizungen oder Rohstoffoptimierungen in Betracht zu ziehen, welche die von der Rohstoffindustrie bereitgestellte Flexibilität weiter erhöhen werden. Die Quantifizierung dieser Wechselwirkungen erfordert einen Blick darauf, wie ein bestimmter Prozess mit den Stromnetzen verbunden werden kann. Auch müssen die Prozessschritte noch weiter reifen, um einen angemessenen Maßstab zu erreichen und Flexibilität zu bieten.

Im Arbeitspaket „Netzintegration“ wurde ein Ansatz zur Optimierung der Blindleistungsplanung entwickelt und die Auswirkung der Bereitstellung von Blindleistung durch eine Kupferproduktion auf die Spannungsstabilität des deutschen Übertragungsnetzes untersucht, wodurch das

Potenzial industrieller Prozesse zur Entschärfung lokaler Spannungsprobleme demonstriert wurde. Im Hinblick auf Regelungsstrategien für Stromrichter wurde ein neuer Regelalgorithmus entwickelt, um die Energieniveaus zwischen den Zellen eines Modulare Multilevel Converters (MMC) auszugleichen.

3.7. Innovationspoolprojekt 2: Solarer Wasserstoff – hochrein und komprimiert

- Koordinierende Sprecher: Olivier Guillon und Jens Harting (beide FZJ)
- Beteiligte Programme: MTET; beteiligte Zentren: DLR, FZJ, HZB, HZDR, KIT, IPP

Das Innovationspool-Projekt „**Solarer Wasserstoff – hochrein und komprimiert**“ zielt darauf ab, wesentliche wissenschaftliche Erkenntnisse und tragfähige Technologien für die Umwandlung von Sonnenenergie in grünen Wasserstoff bereitzustellen.

Hierzu wurden verschiedenartige Elektrolysezellen oder Methoden basierend auf thermochemischen und pyrolytischen Prozessen entwickelt und getestet, wobei der Schwerpunkt auf Materialien, Effizienz und Lebensdauer lag. In planaren keramischen protonleitenden Elektrolysehalbzellen wurden der Einfluss der Elektrolytdicke und der Temperatur, sowie die Zellstabilität untersucht. Es wurden innovative Betriebsstrategien für solar erzeugten H_2 mit Festoxid-Elektrolyseuren unter erhöhten dynamischen Druckbedingungen entwickelt. Eine PEM-basierte elektrochemische H_2 -Pumpe mit einem neuen Design erreichte höhere Drücke, niedrigere Betriebstemperaturen und damit eine verbesserte Gesamteffizienz. Das Reaktordesign zur thermochemischen H_2 -Produktion wurde verbessert und die grundsätzliche Machbarkeit demonstriert. Die Nutzung von Plasmen in Kombination mit einer H_2 -Trennung ermöglicht die Methanzerersetzung und die Ammoniakproduktion. Unterstützt wurden die experimentellen Arbeiten durch Prozesssimulationen, um beispielsweise den Einfluss von Druckänderungen auf die Systemeffizienz oder das Wechselspiel aus Strömungsmechanik, Massentransport und Elektrochemie zu verstehen. Weiterhin wird der Einfluss der Gasblasendynamik auf die Effizienz von Elektrolysezellen untersucht. Neben der Optimierung möglicher Elektrodengeometrien können diese experimentellen Arbeiten und Simulationen auch in realistischen Strukturen angewendet werden und zu einem verbesserten Verständnis der Blasendynamik unter Betriebsbedingungen beitragen.

3.8. Innovationspoolprojekt 3: Modulare Reaktoren

- Koordinierender Sprecher: Victor Hugo Sanchez-Espinoza (KIT)
- Beteiligte Programme: NUSAFE; beteiligte Zentren: FZJ, HZDR, KIT

Das Innovationspool-Projekt "**Sicherheitsbewertung von generischen kleinen modularen Reaktoren (SMR)**" zielt darauf ab, fortschrittliche rechnergestützte Werkzeuge bereitzustellen, die in der Lage sind, Sicherheitsanalysen für SMRs durchzuführen, die in Europa gebaut werden sollen.

Die ursprünglich vorgesehene Ausdehnung der Aktivitäten auf das französische NUWARD-Konzept wurde auf Grund der Abkehr von EdF von diesem Projekt verworfen. An Stelle dessen wurden im Berichtsjahr die Aktivitäten zu den ausgereiften SMR-Konzepten NuScale (quadratischer Kern) und CAREM (hexagonaler Kern) erweitert. Das betrifft im Speziellen zusätzliche Validierungsrechnungen und vertiefende Analysen zum transienten Verhalten der genannten Reaktoren, um die Leistungsfähigkeit der gekoppelten Tools zu demonstrieren.

So wurden neue Messdaten der Versuchsanlage MOTEL erfolgreich zur Validierung des Queraustausches im Thermohydraulikcode TWOPORFLOW eingesetzt. Eine optimierte Version der TRACE/TWOPORFLOW-Kopplung wurde zur transienten Simulation des NuScale-Reaktors eingesetzt. Parallel wurde die in den Vorjahren entwickelte Kopplung von ATHLET und TRIOCFD für den Downcomer und das untere Plenum von NuScale weiter optimiert. Die Funktionsfähigkeit wurde in entsprechenden Simulationen nachgewiesen. Die Entwicklung und Verifikation des eigenen KANECS (Karlsruhe Neutronics Core Simulator) wurde vorangetrieben. Es wurde anhand internationaler Benchmarks mit sehr guten Ergebnissen an Hand des NuScale und des CAREM-Kerns verifiziert.

Zur Simulation des Verhaltens von Sicherheitsbehältern (SB) mit passiven Sicherheitssystemen wurde bereits ein multi-fidelity Ansatz im CFD-Paket containmentFOAM realisiert. Während die 3D-Simulation der Strömungs- und Transportvorgänge im SB mit CFD abgebildet wird, werden die Sicherheitssysteme (z.B. Druckabbausystem, PARs) als sog. Functional Mockup Units als 0D-Systemmodelle eingebunden. Im Berichtszeitraum erfolgte die Weiterentwicklung des Kopplungsverfahrens, sowie der Modellierung des Druckabbausystems und die systematische Validierung anhand der PPOOLEX (LUT, Finnland) Versuche. Weiterhin wurde in Vorbereitung auf den internationalen Benchmark ein multi-fidelity Simulationsmodell zur Analyse der aktuellen OECD/NEA PANDA ‚SB-Kondensator‘ Versuche (Nachbildung der BWR-X SB-Kondensatoren) erstellt.

Innovationsplattform

3.9. Innovationsplattform Solar TAP

- Koordinierender Sprecher: Christoph Brabec (FZJ)
- Beteiligte Programme: MTET; beteiligte Zentren: FZJ, HZB, KIT

Die **Innovationsplattform Solar TAP** hat sich im Laufe des Jahres 2024 deutlich weiterentwickelt. Das Ziel der Solar TAP Plattform ist die Beschleunigung des Technologietransfers im Bereich der Photovoltaik, insbesondere der gedruckten „Emerging PV“ Technologien basierend auf Perovskiten und organischen Halbleitern, für die Integration in Multi-Benefit PV-Anwendungen wie Agrivoltaik, gebäudeintegrierte Photovoltaik, oder auch für mobile Anwendungen.

Nach Abschluss eines Kooperationsvertrags zwischen den beteiligten Zentren können die existierenden Forschungsinfrastrukturen der Zentren als gemeinsame Plattform für Transferprojekte mit Industriepartnern im Bereich der Multi-Benefit PV eingesetzt werden. Flankierend dazu wurde durch die beteiligten Zentren ein Industrienetzwerk gegründet, dem mittlerweile fast 30 Unternehmen aus unterschiedlichen Abschnitten der Wertschöpfungskette beigetreten sind. Im Rahmen des Industrienetzwerks wurde auch ein neues Kooperationsmodell, die „Sondierenden Innovationsaktivitäten“ (EIA) entwickelt, welches zu gleichen Bedingungen von allen Zentren für die Kooperation mit den Netzwerkpartnern angeboten wird. Dadurch fällt es erheblich leichter Kooperationsprojekte schnell zu starten.

Um den Transfer zielgerichtet zu gestalten und die Unternehmen einzubeziehen wurde gemeinsam mit den Partnern eine Roadmap für die Entwicklung der Anwendungen entwickelt. Gleichzeitig wurden zentren-übergreifend gemeinsame „Baselines“ für aktuelle Technologien entwickelt, um die Transferierbarkeit und Reproduzierbarkeit von Prozessen und Device-Architekturen zu demonstrieren. Ein Stage-Gate Prozess wurde ausgearbeitet mit dem sich die

Technologiereife der einzelnen Entwicklungen transparent einordnen lässt. Darüber hinaus wurden im Rahmen von Solar TAP mehr als 30 Projekte mit unterschiedlichen Partnerkonstellationen und Themen initiiert.

Eine weitere Säule der Arbeit in Solar TAP ist die Öffentlichkeitsarbeit. Durch Ausstellungen im Rahmen von Messen, Konferenzen, Netzwerktreffen, Workshops und Trainings kam es zum Austausch mit weit mehr als 100 Unternehmen. Über die Internetpräsenz und den Social Media Kanal auf LinkedIn werden weit über 1000 Kontakte regelmäßig über Aktivitäten des Netzwerks informiert.

Zeitenwendeprojekte

Als direkte Reaktion auf den russischen Angriffskrieg gegen die Ukraine hat Helmholtz Energy in 2022 vier Initiativen zur **Zeitenwende Energieversorgungssicherheit** entwickelt:

- Beschleunigter Transfer der nächsten Generation von Solarzellen in die Massenfertigung
- Geotechnologien für eine Zeitenwende in der Energieversorgung in Deutschland
- Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung
- Rohstoffsicherung durch flexible und nachhaltige Schließung von Stoffkreisläufen

Die Initiativen werden aus ungebundenen Pakt-Mitteln mit insgesamt 25 Mio. € gefördert und beschleunigen innerhalb von 3 bis 5 Jahren die Entwicklung von Technologien zur Marktreife. Weitere Informationen können der [Broschüre Zeitenwende Energieversorgungssicherheit](#) entnommen werden.

3.10. Zeitenwendeprojekt 1: Beschleunigter Transfer der nächsten Generation von Solarzellen in die Massenfertigung

- Koordinierender Sprecher: Steve Albrecht (HZB)
- Beteiligte Programme: MTET; beteiligte Zentren: HZB, FZJ, KIT

Das Projekt „**Beschleunigter Transfer der nächsten Generation von Solarzellen in die Massenfertigung**“ fördert die Expansion der Solarenergie. Ziel ist die gezielte F&E zentraler Technologieschritte für den Aufbau mehrerer Tandem-Solarzellen-Produktionsstätten in Deutschland und Europa. Die beteiligten Zentren arbeiten mit führenden Unternehmen zusammen, um eine hocheffiziente Tandem-PV-Technologie auf den Markt zu bringen, den technologischen Vorsprung zu sichern und zur unabhängigen Energieversorgung beizutragen – bei vollständiger Wertschöpfung innerhalb der EU.

Für industrienähere Produktion von Tandemsolarzellen werden zwei Wege verfolgt: (1) Um industrielle Siliziumzellen für eine lösemittelbasierte Abscheidung von Perowskit-Dünnschichten zu entwickeln, wird die Nanotexturierung erforscht. Gegenüber planaren Siliziumvorderseiten bieten diese ~1µm hohen Pyramiden einen optischen Vorteil und vermeiden zusätzliche Prozessschritte (einseitige Textur). Kollaborative Experimente zwischen HZB und FZJ ergaben Tandemsolarzellen mit Wirkungsgraden von über 30%. (2) Für die Herstellung von Tandemsolarzellen mit Standardtextur werden alternative, konformale Abscheidemethoden entwickelt. Das Thermische Verdampfen (am HZB und KIT zusammen mit QCells) erzielt Tandem-Wirkungsgrade von 28%. Kürzlich hat QCells einen neuen Weltrekord aufgestellt und einen Wirkungsgrad von 28,6% für Tandem-Solarzellen auf einer vollflächigen Zelle der Größe M10

erreicht, die für die Massenproduktion skaliert werden kann (<https://www.q-cells.de/presseportal/tandem-record-release>). Der hybride (verdampfen/nasschemisch) Prozess wird z.B. in Tandemzellen mit dem Industriepartner MeyerBurger (mit HZB) eingesetzt und erreicht ~22% (Tandemeffizienz).

Vom KIT wurde demonstriert, dass mit einem vollständig lösungsprozessierten sequenziellen Ansatz auch texturierte Siliziumzellen genutzt werden können. Aus nanotexturierten Siliziumzellen konnten Tandems mit einem Wirkungsgrad von 26.1% erreicht werden. Auf großen, industrietypischen

Texturen konnten die Tandemsolarzellen Wirkungsgrade von 25% erreichen (<https://doi.org/10.1002/adfm.202311424>).

Für die Messung von Langzeitstabilität stehen am HZB komplementäre Messmethoden zur Verfügung. Mit einer Messdauer von über 4 Jahren hat das HZB eine der längsten Außenmessungen von Perowskitsolarzellen. Die Messergebnisse wurden mit identischen Tests in Zypern und Israel verglichen und analysiert.

Neben der Herstellung von Solarzellen wird in diesem Projekt auch die Wiederverwertung behandelt. Einfache Perowskit-Kompositionen (MAPbI₃) konnten bereits erfolgreich vom FZJ recycelt werden. Komplexere Kompositionen (z.B. CsFAMAPb(BrI)₃) sind Teil aktueller Untersuchungen.

Insgesamt konnte das Projekt bereits umsetzbare und übertragbare Ergebnisse erzielen. In der verbleibenden Projektlaufzeit wird die Zusammenarbeit zwischen den Helmholtz-Zentren noch weiter verstärkt, um die individuellen Vorteile der Zentren und Synergieeffekte noch besser zu nutzen und somit stabile, massenproduzierbare und recyclebare Tandemzellen herzustellen. Die weltweit erste Auslieferung von Tandemsolarzellen der Firma OxfordPV ist ein Meilenstein für die junge Perowskit-Technologie und für die Energiewirtschaft (<https://www.oxfordpv.com/news/20-more-powerful-tandem-solar-panels-enter-commercial-use-first-time-us>). Diese Ergebnisse zeigen sehr deutlich, dass die fokussierte Entwicklung der Tandem-Technologie am deutschen Standort zu einem Aufschwung der lokalen PV-Fertigung und damit zur Energie-Sicherheit beitragen kann.

3.11. Zeitenwendeprojekt 2: Geotechnologien für eine Zeitenwende in der Energieversorgung in Deutschland (GEOZeit)

- Koordinierender Sprecher: Thomas Kohl (KIT)
- Beteiligte Programme: MTET (Energie); Changing Earth - Sustaining our Future (Erde und Umwelt); beteiligte Zentren: KIT, GFZ

Das Zeitenwende-Projekt „**Geotechnologien für eine Zeitenwende in der Energieversorgung in Deutschland (GEOZeit)**“ zielt darauf ab, großvolumige Potenziale zur energetischen und stofflichen Speicherung im tiefen Untergrund zu identifizieren und für die erneuerbaren Energieträger nutzbar zu machen. Ein wesentlicher Aspekt dabei ist die Beschleunigung der Energiewende durch Wissens- und Technologietransfer aus der fossilen Nutzung des Untergrundes, sowie der direkte Transfer aus den Forschungsinfrastrukturen der Helmholtz-Gemeinschaft zu industriellen und kommunalen Versorgern mit einer entsprechenden Hochskalierung.

Durch die Beschaffung und Analyse historischer Daten aus der Erdölindustrie, einschließlich Kernmaterial, Bohrlochmessungen und seismischer Untersuchungen, wurde der Transfer von Technologien der Kohlenwasserstoffexploration auf die nachhaltige Nutzung geothermischer

Energiespeicherung vorangetrieben. Die Interpretation und Neubewertung dieser Daten ermöglichten die Entwicklung eines grundlegenden Strukturmodells, das erste Einschätzungen zur geologischen Eignung des Gebietes nördlich Karlsruhes für die Wärmespeicherung liefert. Aufgrund der Verzögerung der Bohrungen im Rahmen des DeepStor-Projekts konnten bislang keine neuen Messdaten erhoben werden, durch Zugänglichkeit zu Altdaten konnten aber die wichtigen Permeabilitäts- und Porositätsuntersuchungen an Kernmaterial aus benachbarten Altbohrungen durchgeführt werden. Insbesondere die Neubewertung der seismischen Daten mit Spektralanalysen, die vornehmlich in der Erdölindustrie Anwendung finden, ergeben wichtige Erkenntnisse zu Lokalitäten, die für die Wärmespeicherung bevorzugt betrachtet werden können. Eine Kopplung des Potentials mit dem Bedarf wurde am Standort des KIT-Campus Nord durchgeführt und liefert die Möglichkeit, eine Hochskalierung, insbesondere in Verbindung mit dem Fernwärmenetz der Stadt Karlsruhe, durchzuführen.

Für die Stakeholder-Dialoge und die Vermittlung der geothermischen Wärmespeicherung mit Bürgern wurden erste Prototypen für Exponate zum Thema geologischer Untergrund und seine Nutzung mittels einer Virtual Reality Umgebung entwickelt. Eine erste Evaluierung dieser Anwendungen in einer Ausstellung ermöglicht die Weiterentwicklung für weitere Stakeholder-Formate.

3.12. Zeitenwendeprojekt 3: Helmholtz-Plattform zum Design robuster Energiesysteme und Rohstoffversorgung (RESUR)

- Koordinierender Sprecher: Veit Hagenmeyer (KIT)
- Beteiligte Programme: ESD; beteiligte Zentren: KIT, FZJ, DLR

RESUR, eine Analyse- und Beratungsplattform, integriert und entwickelt die Energie-, Wirtschafts- und Gesellschaftsmodelle des ESD-Programms weiter und bietet kurzfristige Bewertungen und Empfehlungen, um disruptive Ereignisse im Kontext robuster Wege der Energiewende zu bewältigen. Die Gründung erfolgte als Reaktion auf geopolitische Unsicherheiten – insbesondere den russischen Angriffskrieg gegen die Ukraine – zur Stärkung der Energieversorgungssicherheit Deutschlands.

Der Fokus lag im Jahr 2024 auf der Strukturierung der Abläufe zur Analyse von disruptiven Ereignissen. Dabei wurden die Abläufe in drei hierarchische Schichten unterteilt. Im „Expert-Layer“ (1) stimmen sich die AP-Leitenden ab und definieren ein Szenario, welches textuell beschrieben wird. Das disruptive Ereignis, kann entweder einer Eingabe über das Helmholtz Energy Office (HEO) oder einer Empfehlung aus unserem Sounding Board entstammen. Diese textuelle Beschreibung wird im „Scenario Layer“ (2) in eine Datenbasis umgewandelt, welche im darunter liegenden „Model Coupling Layer“ (3) als gemeinsame Grundlage für die Simulation des Szenarios dient. Dadurch konnte die Empfehlung des Sounding Boards umgesetzt werden, sicherzustellen, dass alle Modelle auf einer einheitlichen Datenbasis arbeiten. Um die Kopplung zwischen den Modellen zu verbessern, wurden „Simulation Workflows“ definiert. Ziel war es, den Austausch zwischen den Modellen zu verbessern, um Synergien zu nutzen. Dazu wurden fünf Workshops durchgeführt, bei denen projektweit ein solcher Workflow definiert wurde. Erste technische Kopplungen zwischen den Modellen wurden über die Simulationskopplungsplattform PROOF umgesetzt, mit dem Ziel, diese Abläufe möglichst weit zu automatisieren. In den Workshops wurden hierzu „Data-Provisioning“ Blocks definiert und erstellt, welche ein Mapping der Parameter zwischen den Modellen erlauben. Dadurch können Top-Down-

und Bottom-Up-Modelle mit unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Granularitäten gekoppelt werden und hiermit letztendlich komplexere Analysen in kürzerer Zeit bereitgestellt werden.

In Übereinstimmung mit den Empfehlungen des Sounding Boards ist für das letzte Projektjahr eine erneute Szenario-Analyse geplant, um die Leistungsfähigkeit der Plattform zu demonstrieren.

3.13. Zeitenwendeprojekt 4: Rohstoffsicherung durch flexible und nachhaltige Schließung von Stoffkreisläufen

- Koordinierender Sprecher: K. Gerald van den Boogaart (HZDR)
- Beteiligte Programme: MTET; beteiligte Zentren: HZDR, KIT

Ansatzpunkt des Projekts ist die flexible **Optimierung von Recyclingprozessen zur nachhaltigen Schließung von Stoffkreisläufen**. Dazu werden Sensorsysteme, Simulationssysteme und modellbasierte Regelungsmechanismen für relevante Aufbereitungsprozesse entwickelt und im Pilotmaßstab demonstriert. Mehrere Sensorsysteme zur Beobachtung von Mehrphasenprozessen sind teils nach Tests bei Partnern nun im Industriemaßstab einsatzbereit (MS2.2): Basierend auf der Frequenzabhängigkeit des Echosignals der verschiedenen Phasen erlaubt ein Ultraschall-Spektroskop nun die Quantifizierung des Gas- und Feststoffanteils im Mehrphasensystem (AP2.3). Ein tragbarer Gittersensor erlaubt nun die Bestimmung von Phasenanteilen in dynamisch bewegten Mehrphasensystemen und wurde erfolgreich an einem hochturbulenten, jetbetriebenen Schaumflotationsabscheider getestet (AP2.4). Ein Laserlinienscanner erlaubt die Bestimmung von Schauhöhen bei mit dunklen Partikeln beladenen Flotationsschäumen (AP2.6). Weitere Sensorsysteme (AP2.5) sind auf dem Weg. Modellseitig (AP3.3) gab es wesentliche Fortschritte bei der Simulation von Partikelpopulationen in Zerkleinerungs- und Trennprozessen für die Einkopplung in die modellbasierte Regelung: Mehrere Ansätze zur flexiblen Modellierung von Mikrostrukturmodellierung (SRFs, pluri-Gauss Felder, punktprozessbasierte Mosaikgeneration,...) wurden implementiert, auf Performanz getestet, sowie KI-basierte-Methoden zur Anpassung an beobachtete Partikelpopulationen entwickelt und mittels SiL (Software in the loop) getestet. Eine Methode zur Anpassung von Trennprozessmodellen an Beobachtungsdaten wurde erfolgreich an Recyclaten getestet (MS3.2). Ein gameifizierter, auf solchen Modellen basierender Prozesssimulator erlaubt es bereits jetzt die Vorteile flexibler Verarbeitung zur Schließung zusätzlicher Wertstoffkreisläufe auch nichttechnischen Stakeholdern zu demonstrieren (AP3.4). Der nächste Schritt ist die Umsetzung im Pilotmaßstab: Die Komponenten der noch aufzubauenden Anlagen im Pilotmaßstab (Demonstrator und W2C) wurden ausgelegt (z.B. Anlagen, Transportsystem, Katalysatoren (MS2.3)) und bestellt. Für den „Demonstrator“ (AP1.1) konnten Mittel für zusätzliche Subsysteme eingeworben werden (Projekt WEEE2REE), so dass praxisrelevantere Experimente zur Rückgewinnung strategischer Metalle möglich sein werden. Leider verzögert sich dadurch die Fertigstellung des Gesamtsystems, da ein neuer Standort für die größere Anlage gefunden werden musste. Mit Wiederaufnahme des Teilbetriebs ist in Q3/2025 zu rechnen, mit Fertigstellung in Q4/2026. Der Laboraufbau für Hydrierungen im Batchmodus wurde für Pyrolyseöle aus Biomasse und aus Kunststoff aufgebaut (AP1.3) und ist erfolgreich in Betrieb (MS1.4). Aufgrund der Liefersituation werden die Komponenten der W2C-Anlagen (AP1.3) erst bis Q3/2025 erwartet und die Inbetriebnahme am KIT wird erst nach Montageabschluss in Q1/2026 erfolgen.

4 Strategische Themen

Die an Helmholtz Energy beteiligten Helmholtz-Zentren treiben im Forschungsbereich und seinen Programmen auch die strategischen Themen Talentmanagement, Vernetzung, Drittmitteleinwerbung, Forschungsinfrastrukturen sowie Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft voran. Im Folgenden sind jeweils ausgewählte Beispiele dargestellt. Weitere Beispiele sind in den einzelnen Programmfortschrittsberichten genannt.

4.1. Talentmanagement

Wie oben im Kap. 2 genannt, nehmen das Talentmanagement und die Chancengleichheit in Helmholtz Energy eine wichtige Rolle ein. Aktuelle Beispiele sind:

Um gezielt Nachwuchswissenschaftlerinnen zu fördern, organisierte das Helmholtz Energy Office erstmalig einen **Helmholtz Energy Women Career Workshop**. Der zweitägige Workshop mit dem Thema „Communicating and negotiating successfully in academia“ im Mai 2024 fand großen Anklang und wurde daher im November 2024 wiederholt, um allen Interessentinnen die Möglichkeit zu geben daran teilzunehmen. Besonders hohen Zuspruch fand jeweils das Kamingespräch am Abend, bei welchem die Teilnehmerinnen in Kontakt mit weiblichen Führungspersonen aus Wissenschaft und Wissenschaftsmanagement kamen, welche ihre Erfahrungen teilten und zum Austausch zur Verfügung standen. Als weiteres Workshopangebot für den wissenschaftlichen Nachwuchs fanden die **Young Scientist Networking Days** statt. Unter dem Thema „Energize the World: Create Impact with Your Research“ lernten die 60 Teilnehmenden Ansätze kennen, wie sie selbst Wissenstransfer aus ihrer Forschung gestalten können.

Die **NETs@Helmholtz Research School** for Negative Emission Technologies startete 2024 am FZJ neue Aktivitäten wie eine Vortragsreihe, die Promovierenden der Research School eine interdisziplinäre Ausbildung auf dem Gebiet der Negativ-Emissions-Technologien bietet.

Außerdem wurde am KIT die **16th Karlsruhe International School on Fusion Technologies** durchgeführt. Bei dem 7-tägigen Intensivkurs erhielten die 40 Teilnehmenden aus sieben Ländern einen Überblick über sämtliche Gebiete der Fusionstechnologie. Am IPP in Greifswald fand im September 2024 die **Summer University** zum Thema Plasmaphysik mit Schwerpunkt Kernfusion mit 65 Teilnehmenden aus 21 Ländern statt.

In Zusammenarbeit mit der Arizona State University (ASU) und der Technischen Universität Delft wurde am KIT ein **internationales Graduiertenprogramm** zur Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse eingeführt.

Weiterhin erhielt Artem Musiienko (HZB), der mit dem Best Innovator Award ausgezeichnet wurde, eine **Nachwuchsgruppe im BMBF-Programm NanoMatFutur** für seinen Antrag mit dem Titel „Contactless high-throughput tailoring of materials and interfaces enabling sustainable nanoscale tandem photovoltaics (COMET PV)“. Zusätzlich wurde Carla-Olivia Krauß (KIT) im November 2024 als **KIT-Nachwuchsgruppenleiterin** ausgezeichnet. Bianca Schacherl (KIT) wurde **Junior Group Leader im SFB "4f for Future"** der DFG. Jenna Poonosamy (FZJ) wurde mit dem **GDCh-Fachgruppenpreis Nuklearchemie 2024** ausgezeichnet und erhielt zudem zwei **DAAD Travel-Grants** für den Austausch von Promovierenden und Post-Docs mit der Heriot Watt University (Edinburgh, UK) und der Princeton University (USA) für den Zeitraum von zwei Jahren.

Dominic Bresser (KIT-HIU) wurde im Juni 2024 zum **W3-Professor** für Elektrochemische Energiespeicherung an der Universität Ulm gemeinsam mit dem KIT berufen. Ioannis Katsounaros (FZJ) wurde zum **Associate Professor** an der Aristotle University of Thessaloniki, Department of Chemistry (Griechenland), berufen. Nach Abschluss des Berufungsverfahrens im Jahr 2024 wurde Tonya Vitova mit Wirkung zum Januar 2025 am KIT auf die neu eingerichtete **W3-Professur** für „Advanced X-Ray Spectroscopy in f-element chemistry“ berufen. Nina Huittinen (HZDR) wurde im Mai 2024 als **W2-Professorin** für Radiochemie an das Institut für Chemie und Biochemie der Freien Universität Berlin berufen. Moritz Schmidt hat über ein gemeinsames Berufungsverfahren mit dem HZDR einen Ruf auf die **Professur (W2)** für Koordinationschemie mit Schwerpunkt Radionuklide an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg angenommen. Mit der Universität Leipzig erfolgte für Cornelius Fischer eine gemeinsame Berufung mit dem HZDR zum April 2024 auf die **Professur** für Radiochemie und Radioökologie.

Anna Vanderbruggen (HZDR) und Joel Joseph (KIT) erhielten im aktuellen Berichtsjahr den **Promotionspreis 2023 der Helmholtz-Gemeinschaft** für ihre Promotion zum Thema „Lithium-Ion Batteries Recycling with Froth Flotation – A study on Characterization and Liberation Strategies“ (Vanderbruggen) und „Power Generation by Resonant Self-Actuation“ (Joseph).

Die Förderung EUROfusion ermöglichte es, dass sechs **Nachwuchsstipendiaten** (IPP: 2 ERG, 1 EEG; KIT: 1 ERG, 2 EEGs) ihre Tätigkeit an einem der Zentren aufnahmen. Mit den „Engineering Grants (EEGs)“ und „Bernard Bigot Researcher Grants (ERGs)“ erhalten exzellente, promovierte Nachwuchstalente einen An Schub für ihre Karriere in der Fusionsforschung.

4.2. Vernetzung

Vernetzung ist ein wesentlicher Baustein der Arbeit in Helmholtz Energy. Entsprechende Aktivitäten fanden sowohl in Helmholtz wie auch auf nationaler und internationaler Ebene statt. Für weitere programm- und forschungsbereichsübergreifende Aktivitäten innerhalb Helmholtz siehe auch Kap. 3.

Vier neue Innovationspoolprojekte mit einer Laufzeit 2025-2027 wurden in 2024 bewilligt:

Das Innovationspool-Projekt „**Industrielle Transformation 2050**“ beschäftigt sich mit der technologischen und geografischen Umgestaltung der Rohstoffindustrie für eine klimaneutrale Kreislaufwirtschaft. In diesem Projekt werden Wechselwirkungen zwischen den Verteilungsnetzen für Energie, Materialien und CO₂ untersucht. Das interdisziplinäre Projekt schlägt eine Brücke zwischen ESD und MTET mit programmübergreifender Forschung.

Ein weiteres Innovationspoolprojekt, bei welchem sowohl ESD wie auch MTET beteiligt sind, ist das Projekt „**Data for Technology Assessment (DaTA)**“. In diesem wird die Technologie-datenbank TechDB weiterentwickelt, heterogene MTET-Daten mit ESD Design- und Betriebsmodellen verknüpft und Referenztestfälle und Zielwerte erstellt und veröffentlicht.

Das Innovationspoolprojekt „**Auf dem Weg zur autonomen Materialentwicklung (AutoMat)**“ wurde aus MTET initiiert. Es fokussiert sich auf die beschleunigte Entdeckung und Optimierung von Materialien für Energieanwendungen durch den Einsatz von KI, Automatisierung und Hochdurchsatz-Methoden.

Das Innovationspoolprojekt „**Digital twins in nuclear waste disposal (DTN)**“ wird von NUSAFE vorangetrieben und stellt sich der hohen Komplexität tiefeingeologischer Endlager-systeme. Dabei sollen neue Lösungsansätze durch Implementierung von Methoden aus der KI wie „Digital Twins“ verfolgt werden.

Aktuelle Beispiele für die **nationale und internationale Vernetzung** sind:

Forschende im Bereich Windenergie des DLR tragen mit ihrer Arbeit maßgeblich zu den **Wind TCP Tasks 39, 45-47 und 57 der Internationalen Energieagentur (IEA)** bei, insbesondere bei den Benchmarks zu Aerodynamik und Aeroakustik von Windkraftanlagen. Ein Nachfolgeprojekt zu Task 39 „Quiet Wind Energy Technology“ (erfolgreich beendet 2024) wird geplant, wobei das DLR die deutschen Aktivitäten leitet. Das DLR ist außerdem aktiv in der IEA TCP Cities task 2 „**Data for Urban Energy Planning**“ und der **Energy System Integration Group (ESIG)**.

Das FZJ hat die erfolgreiche **Kooperation** mit dem International Institute for Carbon-Neutral Energy Research (I²CNER) der University of Kyushu (Japan) im Bereich Membranreaktoren und Festoxid-Elektrolyse verlängert. Assoziiert sind zudem Imperial College (Großbritannien) und MIT (USA).

Auf Basis des laufenden Verbundprojekts VESTA wird die enge Kooperation zwischen der Forschungsinfrastruktur DeepStor (KIT) und den **US-amerikanischen National Labs INL** und **LBNL** weiterentwickelt. Die Zusammenarbeit in VESTA wird gefördert durch BMWK und DOE.

IPP, FZJ und KIT sind integraler Bestandteil des von der Europäischen Kommission geförder-ten **EUROfusion-Konsortiums**, in dem seit 2014 alle europäischen Fusionslabore sowie zahl-reiche Universitäten aus 28 europäischen Ländern zusammengeschlossen sind. Das IPP fun-giert als Koordinator sowohl des Konsortiums als auch des 2021 für Framework Programme 9 (FP9) neu abgeschlossenen Grant Agreements mit der Europäischen Kommission. Mit dem IPP, dem FZJ und dem KIT hat Deutschland als einziges Land gleich drei Mitglieder in dem Konsortium. Die Zentren beteiligen sich an allen Missionen der EUROfusion-Roadmap und übernehmen in vielen Projekten eine führende Rolle. Dr. Marco Wischmeier ist seit 2024 neuer Leiter des Bereichs „Plasma Science for ITER, DEMO, and Stellarators. Auf internationaler Ebene tragen die deutschen Zentren zur Fertigstellung und Inbetriebnahme von ITER, dem weltweit größten Energieforschungsprojekt, bei, sowohl direkt über Verträge mit ITER als auch über die europäische Agentur Fusion for Energy (F4E), einschließlich Kooperationen mit der Industrie.

Forschende des Programms NUSAFE aus den drei beteiligten Zentren sind Mitglied des **Kom-petenzverbundes Kerntechnik (KVKT)**, des **Kompetenzverbundes Strahlenforschung (KVSF)** und der **Deutschen Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF)**, Vorsitzen-der bis November 2024: Dirk Bosbach). Die DAEF ist eine unabhängige Plattform der führen-den Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Langzeitsicherheitsforschung der Endlage-rung. Ihr Ziel ist es, einen Beitrag zur sicheren Endlagerung radioaktiver Abfälle zu leisten, Forschungsaktivitäten effektiver zu gestalten sowie entsprechende faktenbasierte Informatio-nen bereitzustellen und an die Gesellschaft sowie politische Entscheidungsträger zu kommu-nizieren.

NUSAFE-Partner sind weiterhin im europäischen Zusammenschluss wissenschaftlicher Ein-richtungen in „**EuradScience**“ aktiv, wobei das KIT derzeit mit Marcus Altmaier auch die Chair-person stellt.

Zudem ist NUSAFE auch gut mit der **United States Nuclear Regulatory Commission (US-NRC)** vernetzt. Hier besteht eine Zusammenarbeit im Rahmen des Code Application and Maintenance Program (CAMP) mit dem Ziel der Entwicklung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit von thermohydraulischen Referenz-Rechenprogrammen für Sicherheitsanalysen von Leichtwasserreaktoren, sowie im Rahmen des Cooperative Severe Accident Research Program (CSARP) mit dem Ziel des Erfahrungsaustauschs über sicherheitsrelevante Analysen von Kraftwerken im Originalmaßstab, die mit speziellen, international anerkannten Simulationscodes durchgeführt werden.

Im Berichtsjahr wirkten weiterhin Forschende des Programms NUSAFE wieder in verschiedenen **IAEA-Gremien** wie z.B. Vorsitz Standing Advisory Board on Safeguards Implementation (SAGSI), Mitglied des Network of Analytical Laboratories (NWAL), Technical Working Group on Fast Reactors oder Technical Working Group Light Water Reactors.

Die Zentren organisierten zahlreiche **Workshops und Konferenzen**. Einige Beispiele sind hier genannt:

Im September 2024 wurde das **5. Internationale Natriumbatterie-Symposium** vom HZB organisiert. 250 Experten aus aller Welt nahmen an der führenden Konferenz zur Weiterentwicklung der Natriumbatterie-Technologie teil.

Das HZDR hat die **15th EUFOAM Conference** vom 30. Juni bis 4. Juli 2024 in Dresden ausgerichtet. Die Konferenz bringt Forschende und Innovationstreibende aus der ganzen Welt zusammen, die sich mit Schäumen und ihren Anwendungen befassen.

Im Oktober fand am KIT der **Helmholtz MCDA-Workshop** statt. Am ersten Tag (mit Helmholtz- und externen Expertinnen und Experten) wurde die Integration von Stakeholdern für Multi Criteria Decision Analysis (MCDA)-Nachhaltigkeitsanalysen diskutiert. Am zweiten Tag (Helmholtz-intern) beschäftigten sich die Teilnehmenden mit den Stärken und Schwächen von Helmholtz-MCDA-Studien (Kriterien, Methoden, Stakeholder-Integration).

NUSAFE-Forschende am KIT haben mit organisatorischer Unterstützung durch das HZDR im Oktober 2024 den zweiten kombinierten **ATAS – AnXAS Workshop** ("ATAS – AnXAS 2024: 6th International Workshop on Advanced Techniques in Actinide Spectroscopy and 10th International Workshop on Speciation, Techniques, and Facilities for Radioactive Materials at Synchrotron Light Sources") ausgerichtet. Die fünftägige Veranstaltung hat mit ihrem spezifischen Fokus auf Weiterentwicklung und Anwendung von Methoden zur spektroskopischen Charakterisierung radioaktiver Probensysteme 94 Teilnehmenden – darunter zahlreiche Nachwuchsforschende – aus 10 Ländern einen intensiven Erfahrungsaustausch ermöglicht. Weitere Workshops und Trainingskurse von NUSAFE-Forschenden wurden auch im Rahmen von EU-Projekten ausgerichtet. Als Beispiele seien hier der **INNUMAT-Workshop** über Strukturwerkstoffe und Beschichtung für fortgeschrittene kerntechnische Systeme: Von der Forschung zur Industrie genannt, sowie das **ASSAS 2nd Annual Meeting**, und der mit der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA) gemeinsam durchgeführte Abschlussworkshop des **EU-Projekts McSAFER** mit mehr als 150 Teilnehmenden (vor Ort in Wien und online). Auch das **EURAD Projekt CORI** (mit Beteiligung aller NUSAFE-Partner, koordiniert von KIT) hatte seinen Abschlussworkshop, der vom KIT gemeinsam mit ANDRA in Paris organisiert wurde. Ein Ziel des Workshops war mit Vertretern und Vertreterinnen europäischer Waste Management Organisationen zu diskutieren.

4.3 Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

Wie oben im Kap. 2 genannt, bringt Helmholtz Energy sich aktiv in die Transferstrategie der Helmholtz-Gemeinschaft ein. Die Zentren in Helmholtz Energy stellen ihren Forschenden ein breites Spektrum an Transferinstrumenten bereit. Aktuelle Beispiele für Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft sind:

Technologietransfer

In den vier Initiativen von Helmholtz Energy zur **Zeitenwende Energieversorgungssicherheit** (siehe Kap. 3.10-3.13) werden innerhalb von 3 bis 5 Jahren Lösungen entwickelt und Technologien zur Marktreife gebracht, die essentielle Beiträge zur Versorgungssicherheit leisten. Durch enge Kooperationen mit der Wirtschaft und weiteren Stakeholdern wird ein unmittelbarer Transfer der Ergebnisse in die Anwendung sichergestellt.

Ein **Workshop von Helmholtz Energy und Siemens Energy** am 12.02.24 diente der Absprache zu aktuellen Themen bzgl. Energiesystem und Energietechnologien und der Identifizierung von Themen für eine verstärkte Zusammenarbeit. Hierbei wurden Follow-up Treffen zu den einzelnen Themen vereinbart. Darüber hinaus bestehen bilaterale Kooperationen der Zentren in Helmholtz Energy mit Siemens Energy.

Im Rahmen eines von der Stadt Mannheim kofinanzierten Projekts wird eine am KIT aufgebaute **Power-to-Methanol**-Containeranlage bei der **Mannheimer Kläranlage** vom Eigenbetrieb Stadtentwässerung Mannheim“ durch das KIT und das **Start-up ICODOS** unter realen Bedingungen betrieben. Dabei wird insbesondere der dynamische Betrieb erforscht.

Die Innovationsplattform **Solar TAP** (FZJ, HZB, KIT) hat alle Meilensteine der Aufbauphase erreicht (siehe auch 3.9). Über 30 Industriepartner sind beteiligt und etwa 25 Transferprojekte angelaufen. In Zusammenarbeit mit dem VDI/VDE wurde eine gemeinsame Roadmap für die vier wichtigsten Anwendungsbereiche der aufstrebenden PV erstellt: PV in der Landwirtschaft, gebäudeintegrierte PV, fahrzeugintegrierte PV und PV für das Internet der Dinge.

LG Energy Solution Ltd. (LGES), einer der größten Batteriehersteller weltweit, führt das „**Frontier Research Laboratory Programm**“ (FRL) zur **Entwicklung neuer Batterietechnologien**. Das Helmholtz-Institut Münster (FZJ) arbeitet zusammen mit dem MEET Batterieforschungszentrum der Universität Münster und LGES an einer nachhaltigen Akku-Generation, die neue Fertigungskonzepte und Zellchemien umfasst.

Das DLR hat in direkter Kooperation mit der **Industrie (Airbus, MTU)** Untersuchungen zu **Emissionsmessungen und Treibstoffabhängigkeiten an Prüfständen** und realen Triebwerken durchgeführt.

Auf Basis des vom DLR entwickelten Brennkammersystems F400 bietet der Gasturbinen-Serviceanbieter Power Service Consulting GmbH seinen Kunden seit 2024 eine Retrofit-Lösung zur Umrüstung von **Mikrogasturbinen** der Firma Ansaldo Green Tech für den Betrieb mit 100% Wasserstoff an.

Die KIT-Forschungen am Carbon Cycle Lab zur Pyrolysetechnologie für Mischkunststoffabfälle mit Industriepartnern gehen nach der Anlage der Arcus Greencycling Technologies, Höchst, in die **erste industrielle Großanlage zur katalytischen Pyrolyse von Mischkunststoffen** ein. Die Grundsteinlegung fand bei LyondellBasell in Wesseling für Deutschlands größte chemische Recyclinganlage (50.000 t/a) statt.

Die Zentren haben weitere **Rahmenkooperationsverträge und Absichtserklärungen (MoU) mit mehreren Fusions-Start-ups** sowie anderen, in der Kommerzialisierung der Fusion tätigen Einrichtungen unterschrieben: KIT mit Gauss Fusion und den Canadian Nuclear Laboratories, das IPP mit Stellarex sowie Thea Energy. Vor allem aber haben sich FZJ, KIT und IPP intensiv an den Ausschreibungen des BMBF zu „**Basistechnologien**“ und „**Infrastrukturen**“ **in der Fusion** beteiligt. Es wurden insgesamt bis Ende 2024 11 Projekte genehmigt, an denen eines oder mehrere Zentren beteiligt sind (FZJ an 5, KIT an 4, IPP an 2). Hierbei sind insgesamt 20 Firmen beteiligt (IPP kooperiert mit 3, KIT mit 4, FZJ mit 15) darunter die Fusions-Start-ups Gauss Fusion und Proxima Fusion. Aufbauend auf zusätzlichen Ressourcen wird dies die Grundlage für gemeinsame Entwicklungen im Bereich der Fusionstechnologie bilden, die das Potenzial haben, die Fusion schneller zur kommerziellen Nutzung zu bringen.

Innerhalb des BMBF-geförderten Projektes **EKONT-2** (Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen) konnte am KIT ein **Prototyp zur Eckendekontamination** entwickelt werden. Der Prototyp wird u.a. durch die SPIE SAT GmbH im Kernkraftwerk Obrigheim eingesetzt.

Wissenstransfer

Die im Juli 2024 veröffentlichte **Helmholtz Energy Transition Roadmap** (HETR) (siehe Kapitel 2) vermittelt ein umfassendes Verständnis der Herausforderungen, die mit der Energiewende verbunden sind, und liefert wertvolle Anhaltspunkte, wie die Energieforschung den erfolgreichen Umbau des Energiesystems kurz-, mittel- und langfristig in allen Disziplinen unterstützen kann. Die Roadmap zeigt eine Vielzahl von Technologien, Materialien und Methoden auf, die bei der Bewältigung dieser Herausforderungen eine Rolle spielen werden oder spielen könnten. Daher kann die Roadmap externen Stakeholdern aus Wissenschaft, Industrie und Politik als Wegweiser dienen (<https://energy.helmholtz.de/helmholtz-energy-transition-roadmap/>).

Im Vorfeld der Bundestagswahl wurde im Dezember 2024 das **Positionspapier „Die Energiewende durch Innovation vorantreiben und nachhaltig sichern“** veröffentlicht (<https://energy.helmholtz.de/aktuelles/positionspapier-zur-energiewende/>). Dieses Papier enthält die wichtigsten Erkenntnisse aus Helmholtz Energy für den Übergang zu einem **klimaneutralen Energiesystem** und gibt in aller Kürze einen Überblick über die wichtigsten Maßnahmen zur Ausnutzung des vollen Potenzials erneuerbarer Energien als Orientierung für politische Entscheidungsträger:innen und alle Interessierten.

Das Helmholtz Energy Office organisierte zusammen mit der SynCom Erde und Umwelt im Mai 2024 erfolgreich ein **Parlamentarisches Frühstück** zum Thema „Klimaneutralität 2045 - Chancen und Herausforderungen von DACCS und BECCS“.

Unter dem Titel „Keine Zukunft ohne Forschung“ hat das HZDR mit der Sächsischen Staatskanzlei zu einem **Parlamentarischen Abend** eingeladen. Rund 100 Teilnehmer:innen aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft fanden sich am Abend des 24. Juni 2024 in der Sächsischen Landesvertretung in Berlin zusammen und informierten sich über die HZDR-Zukunftsprojekte FlexiPlant (Helmholtz Energy) und DALI (Helmholtz Matter).

Die durch das Helmholtz Energy Office betreute **Helmholtz Energy Webseite** (<https://energy.helmholtz.de/>) hat sich als Medium für den Wissenstransfer etabliert. So wurde sie in 2024 sowohl von der Helmholtz Energy Computing Initiative (HECI) als Zugang zum Softwarerepository genutzt, als auch vom Programm ESD zur Veröffentlichung des ESD Policy

Brief „Die Energiewende integrativ denken“. Die Zahl der Follower auf Helmholtz Energy | LinkedIn wuchs organisch auf über 800.

Die **Sylvanus**-Forschungsgruppe am KIT konzentriert sich im Rahmen des ESD-Programms auf die Entwicklung von Methoden zur Minimierung von Abwägungen zwischen verschiedenen Ökosystemleistungen und Strategien zur Klimaanpassung. In Zusammenarbeit mit der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg wurde ein Baumartenauswahlportal entwickelt, das 41 Kriterien für städtische Baumarten und Rückmeldungen von Interessengruppen über einen MCDA-Prozess enthält. Nach unserem Kenntnisstand ist dies das **erste umfassende Baumartenauswahlportal** speziell für die städtische Baumpflanzung weltweit. Das Portal ist derzeit auf Deutsch verfügbar und wird in Zukunft auch ins Englische übersetzt werden.

Am KIT ist das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt "**Fusion Industrial Liaison Office**" angesiedelt, das damit die operative Basis für den deutschen ITER Industrial Liaison Officer bildet sowie für das Verbindungsbüro in Aix-en-Provence und das "Forum Fusion Deutschland", das regelmäßige Austauschtreffen zwischen der deutschen Industrie und den deutschen Fusionszentren organisiert. Im Berichtszeitraum fand ein solches Treffen unter breiter Beteiligung von Industrie und Fusions-Start-ups, Forschungseinrichtungen und Politik in Berlin statt.

Im Kontext der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle leiten bzw. beteiligen sich NUSAFE-Forschende an den nationalen Sachverständigengruppen, sind für Ministerien und Bundesbehörden als Gutachtende in verschiedenen **Projektkomitees** tätig (Projektkomitee Zwischenlagerung/Abfallbehandlung, Projektkomitee Endlagerung, Projektkomitee Entsorgungsforschung, Projektkomitee Komponentenverhalten) und beraten die **Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE)** im Zusammenhang mit der Schließung der Schachtanlage Asse II zu geochemischen und radiochemischen Themen. Im Berichtszeitraum unterstützen NUSAFE-Partner BGE wissenschaftlich im Rahmen von drei Projekten. Sie stellen ihre Expertise auch **staatlichen Abfallentsorgungsorganisationen** im Ausland (Belgien, Frankreich, Schweden, Südkorea) zur Verfügung.

Das **JRODOS-System** simuliert und bewertet die Effektivität von Katastrophenschutzmaßnahmen und ist in nahezu 50 Ländern, einschließlich der Ukraine, weltweit zur Unterstützung von Entscheidern und Entscheiderinnen im Einsatz.

Forschende aus Helmholtz Energy wurden im Berichtsjahr wieder sehr häufig von den **verschiedensten Medien** (Printmedien, Rundfunk und TV, aber auch Betreibern von Podcasts und YouTube-Kanälen) um Interviews und Stellungnahmen angefragt, z.B. Forschende aus NUSAFE zur aktuellen Entwicklung der Kernenergienutzung weltweit und zur Einschätzung neuer Reaktorkonzepte, aber auch zu Fragen der des Rückbaus von Kernkraftwerken. Experten und Expertinnen aus NUSAFE waren auch an verschiedenen **Podiumsdiskussionen** beteiligt, z.B. Podiumsdiskussion veranstaltet vom Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) zu alternativen Reaktorkonzepten oder Podiumsdiskussion des VDI zu Kernkraft – Risiko und Nutzen, Pro und Contra einer Wiederkehr der Kernkraft zur Energieversorgung.

4.4 Drittmittelinwerbung

Einige Beispiele für Drittmittel-Projekte sind:

Das BMWK-geförderte Projekt „**eKI4DS** (Erklärbare Künstliche Intelligenz für Dynamische Stabilität)“ des KIT in Zusammenarbeit mit dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V., dem Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik und der TU Dortmund wurde bewilligt und wird 2025 starten.

Auch das Projekt **H2BED** wird durch das BMWK gefördert. Dabei werden Hochdruckverbrennungstests zur Weiterentwicklung von Gasturbinenbrennkammern durchgeführt. In diesem Projekt wird auch der Einfluss von Wasserdampf auf Beschichtungen in Gasturbinen von Siemens Energy untersucht (DLR/FZJ).

Im Rahmen von **TEAMPV** (gefördert vom BMBF) zielt das HZB gemeinsam mit dem National Renewable Energy Lab NREL, der University of Colorado Boulder und der Humboldt-Universität zu Berlin darauf die Herstellbarkeit, Stabilität und Zuverlässigkeit von Perowskit-basierten Technologien zu erhöhen.

Im Rahmen der BMBF-Ausschreibung „**Basistechnologien für die Kernfusion** - auf dem Weg zum Fusionskraftwerk“ wurden insgesamt 30,98 Mio € eingeworben. Dabei verteilen sich die Anteile auf das KIT mit 13,09 Mio €, auf das FZJ mit 12,97 Mio € und auf das IPP mit 4,91 Mio €.

Im Mai 2024 wurde das vom FZJ koordinierte deutsch-französische Forschungsprogramm „**Hi-pobat**“ (High-power batteries) gestartet. Der Schwerpunkt dieses dreijährigen Vorhabens (durch BMBF und MESR gefördert) liegt dabei auf der Entwicklung leistungsstarker Festkörperbatterien, die den ökologischen, geopolitischen und wirtschaftlichen Druck auf dem Gebiet der elektrochemischen Energiespeicherung verringern können.

Zusätzlich ist das BMBF geförderte Projekt „**PHOENIX** – Launch Space Power-to-X“ zur Etablierung nachhaltiger Wertschöpfungsketten im rheinischen Revier mit Power-to-X zu nennen, bei welchem Forschende des FZJ aktiv tätig sind.

Das vom KIT koordinierte EU-Projekt **RISEnergy** (Research Infrastructure Services for Renewable Energy) hat zum Ziel, die Entwicklung von Innovationen im Bereich der erneuerbaren Energietechnologien zu beschleunigen. Insbesondere soll der Zugang von Forschern und Unternehmen zu Forschungsinfrastrukturen über die Laufzeit von viereinhalb Jahre erleichtert werden. Außerdem werden multikriterielle Nachhaltigkeitsbewertungen von Energietechnologien durchgeführt und eine **interne Online-Entscheidungsunterstützungsplattform** auf der Basis der HELDA (Helmholtz MCDA Tool) Software entwickelt und implementiert.

Im von der EU geförderten Projekt **CITADEL** sucht ein internationales Team aus 14 Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus sieben europäischen Ländern nach Möglichkeiten, energieintensive Industriezweige auf regenerativen Strom umzustellen. Das Projekt wird vom HZDR koordiniert und soll in den Bau von fünf Demonstrationsanlagen münden.

Im Rahmen von **EUROfusion** haben im Jahr 2024 das IPP mit 23,9 Mio €, das KIT mit 14,6 Mio € und das FZJ mit 5 Mio € eine Gesamtfördersumme von 43,5 Mio € eingeworben. Die drei Zentren sind an allen 26 Arbeitspaketen des EUROfusion-Arbeitsprogramms beteiligt und stellen dabei 7 der 20 Projektleitenden.

Innerhalb des **Rahmenvertrags zwischen KIT und Fusion for Energy (F4E)** zur Qualitätssicherung der Diamantfenster für die ITER-Mikrowellenplasmaheizung wurden die Arbeiten

unter dem dritten „Specific Contract“ (bis max. 680 T€) zur Charakterisierung und Qualifizierung der von Diamond Materials GmbH & Co. KG hergestellten Diamantscheiben fortgesetzt. Dazu wurde ein weiterer Rahmenvertrag zwischen KIT und Fusion for Energy (F4E) über „Electron Cyclotron Engineering Support Services“ vorbereitet und im November 2024 unterzeichnet. Bei diesen Unterstützungsleistungen liegen die Expertise des KIT hauptsächlich im Bereich Gyrotrons und Upper Launcher für die Mikrowellen-Plasmaheizung. Der Rahmenvertrag hat eine Laufzeit von 80 Monaten, mit einem maximalen Budget für alle „Specific Contracts“ i.H.v. ca. 4,9 Mio €. Mitte Dezember 2024 wurde der erste „Specific Contract“ über „Engineering Support for the EC Gyrotrons“ mit einer erwarteten Laufzeit von 7 Jahren unterzeichnet (Gesamtbudget ca. 1,9 Mio €).

Eine Reihe von bewilligten Projektanträgen aus dem Call **HORIZON-EURATOM-2023** starteten im zweiten Halbjahr 2024. So ist NUSAFE an sechs Arbeitspaketen des EU-Projekts „EURAD-2 – European Partnership on Nuclear Waste Management“ beteiligt. Weitere Beispiele sind „PREDICT - ImPRovements in atmospheric dispERsion moDeIling and proteCTive action strategies in case of nuclear detonations“, „RRADEW – Resilience to radiological events in wartime“ oder „EASI-SMR - Ensuring Assessment of Safety Innovations for SMR“.

Zusätzlich konnten Mittel generiert werden über **BGE-Asse**, mit denen das KIT eine fachliche Begleitung im radiochemischen und chemotoxischen Themenkomplex durchführt. Die DFG fördert das Projekt „Barriers - Breitbandige dielektrische und geochemische Charakterisierung von Tonmaterialien für Unterspeicherung“.

4.5 Forschungsinfrastrukturen

Entwicklung, Bau und Betrieb von Forschungsinfrastrukturen bilden für die Aktivitäten des Forschungsbereichs Energie eine wesentliche Voraussetzung. Sie machen ihn auch zum gefragten Partner für Forschungseinrichtungen aus aller Welt, für Universitäten im regionalen, nationalen und internationalen Umfeld sowie für Unternehmen und Start-ups.

Die Infrastrukturplanung des Forschungsbereichs für die kommenden Jahre ist in der **Helmholtz-Roadmap Forschungsinfrastrukturen** genannt.

Das **High Power Grid Lab (HPGL)** als Helmholtz-Forschungsinfrastruktur und Teil des Energy Lab wurde nach erfolgreichem Verfahren im Juni 2024 vom Helmholtz-Senat zur Umsetzung priorisiert, im November 2024 vom Ausschuss der Zuwendungsgeber genehmigt und soll ab 2030 am KIT in Betrieb gehen.

Das **Energy Lab** (KIT, FZJ) wird weiterhin als FIS innerhalb der European Energy Research Alliance (EERA) und dem 8. Joint Program (JP) entsprechend platziert. Zudem ist das Energy Lab in den Infrastrukturnetzwerken DERLab und RISEnergy und an vier großen Horizon Europe-Projekten zum Thema Nachhaltigkeit und Energieeffizienz beteiligt (Poseidon, Research Facility 2.0, Up-to-Me, WeForming) sowie an einem Horizon2020 Marie Curie Projekt (Smart-GYSum).

Das **GeoLaB**-Projekt befindet sich in der Explorationsphase. In diesem Rahmen wurde der Hauptbetriebsplan für die Erkundungsbohrungen bewilligt und geophysikalische Messungen zur Charakterisierung des Untergrunds unter Federführung des KIT durchgeführt. In Q1/2025 wird die erste Erkundungsbohrung abgeteuft werden. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Kommunikation mit der lokalen Bevölkerung.

Der Antrag für das Vorhaben „**CeRI² – Center for Resource Process Intensification and Interface Studies**“ des HZDR wurde im Juli 2024 eingereicht, nachdem die Gremien des Forschungsbereichs Energie sowie das Aufsichtsgremium des HZDR ihr positives Votum abgegeben hatten. Die Zielsetzung von CeRI² ist es, ein besseres Verständnis über komplexe Mehrphasenströmungen zu gewinnen, welche Grundbestandteil sowohl bei der Erzeugung von Wasserstoff, wie auch bei der Gewinnung von Basis- und High-Tech-Metallen für die Energiewende sind. Dabei soll eine Erhöhung von Energie- und Ressourceneffizienz erreicht werden.

Von seitens KIT wurde ein detaillierter Zuwendungsantrag für die Beteiligung an dem internationalen **IFMIF-DONES**-Projekt für die Errichtung einer beschleunigergetriebenen Neutronenquelle mit fusionsrelevantem Energiespektrum erarbeitet. Damit sollen Strukturmaterialien für Fusionsreaktoren für die nachfolgende Charakterisierung exponiert werden, um so ihre Qualifizierung und Lizenzierung zu erreichen. Die deutsche Beteiligung soll insb. die Komponenten Hochflusstestmodul und „Start-Up Measuring Module“ (STUMM) abdecken sowie am KIT die Infrastruktur für die Nachbestrahlungsuntersuchungen, das Fusionsmateriallabor, bei Messtechnik und Durchsatzkapazität auf den erforderlichen Stand bringen. Auf Basis des Antrags führt das BMBF Gespräche mit der spanischen Regierung.

Im Programm NUSAFE ist für die Aktivitäten zur nuklearen Entsorgung die im Aufbau befindliche Helmholtz Forschungs- und Versuchsplattform zur Entsorgung radioaktiver Abfälle und zum Rückbau kerntechnischer Anlagen (**HOVER**) von zentraler Bedeutung. Die Umsetzung von HOVER stellt die beteiligten Helmholtz-Zentren KIT, FZJ, HZDR weiterhin vor große finanzielle Herausforderungen, die sich aus der enormen Kostensteigerung ergeben.

5 Erfolgsindikatoren

	Einheit	2020	2021	2022	2023	2024	Veränderung 2024 zu 2023 absolut	Veränderung 2024 zu 2023 prozentual
WoS-, SCOPUS oder Open Research Europe indexierte Publikationen	Anzahl	2.590	3.040	2.727	2.822	2.762	-60	-2%
... davon Open-Access-Publikationen	Anzahl	1.785	2.441	2.258	2.307		-	-
Andere referierte Publikationen	Anzahl	136	139	126	198	126	-72	-36%
Drittmittelträge	TEUR	183.507	247.784	279.314	269.585	320.807	51.222	19%
Abgeschlossene betreute Promotionen	Anzahl	193	188	197	220	224	4	2%
Postdocs	Anzahl	430	488	527	522	591	70	13%
Nachwuchsgruppen	Anzahl	30	32	35	33	28	-5	-15%
Ausgewählte koordinierte, nationale und intern. Förderprogramme	Anzahl	384	531	562	589	575	-14	-2%
Kooperationen mit der Wirtschaft und externen nichtwissenschaftlichen Institutionen, öffentlich oder privat finanziert	Anzahl	370	783	890	933	871	-62	-7%
Ausgründungen (Spin-offs) und kompetenzbasierte Gründungen (Start-ups)	Anzahl	3	2	4	6	11	5	83%
Wissenstransferaktivitäten	FTE	1	11	83	96	117	22	23%
Kapazität der grundfinanzierten Wissenschaftler	PJ	1.200	1.202	1.164	1.294	1.391	97	7%
Kapazität der drittmittel-finanzierten Wissenschaftler	PJ	742	878	1.001	927	982	55	6%
Summe Wissenschaftler	PJ	1.942	2.080	2.165	2.221	2.373	152	7%

Kommentierungen zu den dargestellten Erfolgsindikatoren:

Publikationen:

Die Zahl der Publikationen weist normale Schwankungen auf, die vor allem durch den Zyklus von Konferenzen und Publikationsfristen bedingt sind. Im Vergleich zum Vorjahr gab es einen leichten Rückgang der indexierten Publikationen. Für 2024 ist jedoch noch eine nachträgliche Korrektur der Zahlen zu erwarten, insbesondere da Open-Access-Publikationen oft aufgrund von Sperrfristen verspätet verfügbar sind. Insgesamt bleibt die Publikationsaktivität stabil.

Drittmittelträge:

Die Drittmittelträge zeigen eine klar steigende Tendenz, wobei Schwankungen aufgrund von Projektzyklen und großen Förderperioden auftreten.

Abgeschlossene Promotionen:

Die Zahl der abgeschlossenen Promotionen bleibt über die Jahre stabil und ist im Vergleich mit den Vorjahren nochmals leicht gestiegen.

Kooperationen:

Die hohe Zahl an Kooperationen mit der Wirtschaft illustriert den Transfer, auch wenn der sehr hohe Wert aus 2023 in 2024 nicht ganz erreicht wurde.

Gründungen:

Die Zahl der Ausgründungen (Spin-offs) und kompetenzbasierten Gründungen (Start-ups) ist von 6 auf 11 angestiegen. Dies zeigt eindrucksvoll die Transfer-Aktivitäten von Helmholtz Energy.

Wissenstransferaktivitäten:

Die Wissenstransferaktivitäten konnten 2024 im Vergleich mit den beiden Vorjahren nochmals gesteigert werden. Dieser Indikator wird seit 2022 erhoben. Für die Vorjahre liegen keine belastbaren Zahlen vor.

Grundfinanzierte Wissenschaftler:innen:

Die Zahl der grundfinanzierten Wissenschaftler/innen zeigt über die Jahre hinweg eine moderate Zunahme mit leichten jährlichen Schwankungen. Es ist ein kontinuierlicher Anstieg zu verzeichnen, was auf eine stabile Entwicklung hinweist.

Drittmittel-finanzierte Wissenschaftler:innen:

Die Anzahl der drittmittelfinanzierten Wissenschaftler/innen ist eng an die Entwicklung der Drittmittelerträge gekoppelt. Diese Zahl zeigt in den letzten Jahren ebenfalls eine stabile Tendenz, wobei Schwankungen aufgrund der jährlichen Veränderungen in den Drittmittelprojekten und der jeweiligen Finanzierung aufgetreten sind. In 2024 kam es zu einem Anstieg aufgrund spezifischer Drittmittelprojekte, was die Kapazitäten in diesem Bereich entsprechend erhöhte.

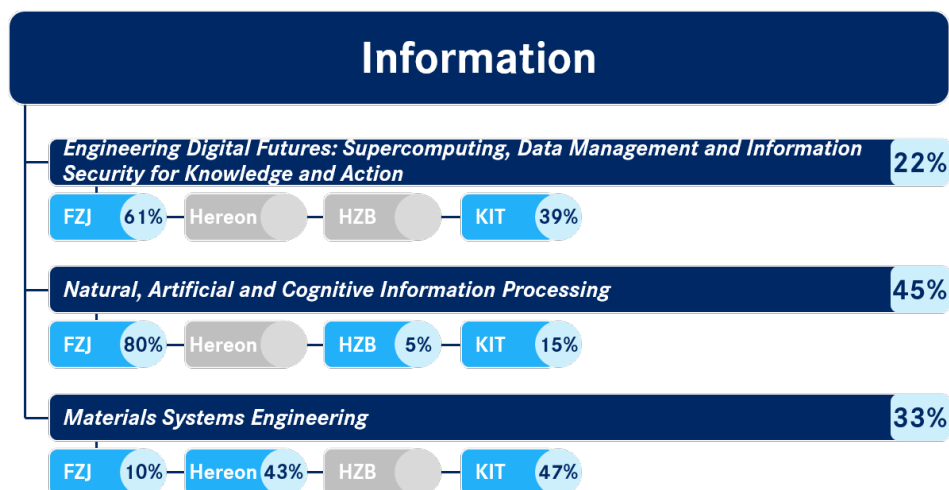
II. Helmholtz Information: Bericht der Koordinatorin an den Senat

Koordinatorin:

Prof. Dr. Astrid Lambrecht (Forschungszentrum Jülich)

Beteiligte Helmholtz-Zentren: FZJ, HZB, Hereon, KIT

1. Der Forschungsbereich im Überblick



Helmholtz Information zielt auf ein tieferes Verständnis der wissenschaftlichen Prinzipien der Informationsdarstellung, -übertragung, -speicherung und -verarbeitung zur Schaffung disruptiver digitaler, quanten und neuromorpher Technologien und Infrastrukturen. Auch im vierten Jahr der vierten Phase der Programmorientierten Förderung (PoF-IV) bilden drei Programme und insgesamt 14 Topics den Rahmen. Die drei Programme haben ihre Arbeit 2024 planmäßig fortgesetzt.

Im Berichtsjahr gab es verschiedene personelle Wechsel im Management Board. So schied Professor Matthias Rehahn zum 31. August als bisheriger wissenschaftlicher Geschäftsführer des Hereon aus und wird seitdem kommissarisch durch Professor Regine Willumeit-Römer ersetzt. Das KIT wird seit dem 1. Oktober durch seinen neuen Präsidenten, Professor Jan S. Hesthaven, in den Gremien des Forschungsbereichs vertreten.

Zur strategischen Neuausrichtung hat Helmholtz Information in einem partizipativen Prozess eine erste Version des Strategiepapiers für die kommende PoF-Förderperiode erarbeitet und verabschiedet. Erste Strategieüberlegungen des Forschungsbereichs wurden in der Sitzung der strategischen Beiräte vorgestellt. Darüber hinaus wurde mit der Forschungsbereichsplattform eine erste Version der Forschungspolitischen Ziele diskutiert, die im Jahr 2025 finalisiert werden. Alle am Forschungsbereich beteiligten Zentren sind seit vielen Monaten intensiv mit den Vorbereitungen auf die wissenschaftlichen Begutachtungen beschäftigt.

2. Stand der Umsetzung der programmübergreifenden Senatsempfehlungen

Über die Umsetzung der Empfehlungen zu den einzelnen Programmen (LK I) wird in den entsprechenden Fortschrittsberichten informiert.

Recommendations of the Senate:

- Der Forschungsbereich soll eine zusätzliche Aktivität zu Software-Tools und Algorithmen entwickeln und die Partnerschaft mit führenden Zentren in diesen Bereichen stärken. Dies muss mit erheblichen finanziellen Mitteln unterstützt werden

Das Innovationspool-Projekt zum Research Software Engineering (RSE) „Helmholtz Information - Research Software Engineering (HiRSE)“ bringt alle Programme und Zentren im Forschungsbereich zusammen, um in einer ersten vorbereitenden Studie die Etablierung zentraler RSE-Aktivitäten und die gezielte nachhaltige Förderung strategisch wichtiger Software durch dezentrale Community Software Infrastructure (CSI)-Gruppen, als zwei sich gegenseitig fördernde Aspekte, zu unterstützen. Als Würdigung der bisherigen Arbeit und um die Sichtbarkeit der RSE-Aktivitäten zu erhöhen, wurde HiRSE der Status eines Joint Labs anerkannt. Die interdisziplinäre und programmübergreifende Arbeit entspricht der Kernaufgabe der Joint Labs. Auch im Jahr 2024 bietet HiRSE ein umfangreiches Portfolio an Aktivitäten, wie die HiRSE-Seminarreihe, eine neu etablierte RSE-Summer School oder einen Hackathon, für unterschiedliche Zielgruppen an. Ergänzt wird die Arbeit von HiRSE durch lokale Aktivitäten in den einzelnen Zentren.

- Alle Aktivitäten, die sich unter dem Dach des Forschungsbereichs Information entwickeln, sollen mit einem konkreteren und durchdachten Leitbild unterstützt werden.

Im Jahr 2021 hat der Forschungsbereich sein Mission Statement entwickelt und verabschiedet.

- Der Forschungsbereich soll sich bemühen, seine informationsbezogenen Aktivitäten mit anderen Forschungsbereichen zu verknüpfen. Die Joint Labs sind ein großer Vorteil und bringen einen großen Mehrwert für den Forschungsbereich und für die gesamte Helmholtz-Gemeinschaft. Darüber hinaus soll der Inkubator genutzt werden, um die Zusammenarbeit zu stärken und neue Aktivitäten zu katalysieren.

Der Forschungsbereich verfolgt übergreifende Aktivitäten, vor allem im Bereich der „Information and Data Sciences“. So haben sich Joint Labs als wirksame Brücken über Programme hinweg etabliert, teilweise auch mit angrenzenden Forschungsbereichen. Nach den erfolgreichen ersten zwei Förderphasen durch den Innovationspool wurde die Ausrichtung der Joint Labs nachjustiert und ihre Finanzierung bis zum Ende der Laufzeit der aktuellen PoF-Förderperiode (Ende 2027) verlängert.

Forschende des Forschungsbereichs partizipieren in den Calls der Inkubator-Plattformen, um zentren- und forschungsbereichsübergreifende Projekte zu initiieren. Sie tragen auch wesentlich zu den Inkubator-Plattformen Helmholtz AI (Künstliche Intelligenz), HMC (Metadaten) und HIFIS (Infrastruktur) bei, um Support- und Beratungsstrukturen auszubauen.

Helmholtz Information war besonders erfolgreich bei der Ausschreibung der Helmholtz Foundation Model Initiative, deren Ziel es ist generative KI-Basismodelle über ein breites Spektrum von Forschungsfeldern hinweg zu entwickeln, die zur Lösung der großen Fragen

unserer Zeit beitragen. So sind Forschende des Forschungsbereichs an 6 von 7 geförderten Projekten und der Synergy Unit beteiligt.

- Verstärkte Kooperationen sollen insbesondere mit der Außenwelt aufgebaut werden, wobei der Schwerpunkt auf der Zusammenarbeit mit der Industrie liegen sollte.

Der Forschungsbereich hat zuvor bereits eine intensive Diskussion zu den Themen Transfer und Innovation im erweiterten Management Board, in der Forschungsbereichsplattform und anderen Gremien geführt. Derzeit werden systemisch bedingte Hürden identifiziert und Maßnahmen entwickelt, um diese zu überwinden. Auch wenn die Zentren spezifische Ansätze entwickeln und umsetzen, wurde ein intensiver Austausch etabliert, um gemeinsam voneinander lernen zu können. Einzelne Beispiele aus den Programmen des Forschungsbereichs zu wissenschaftlichen Kooperationen und Zusammenarbeiten mit der Industrie werden in Kapitel 4 vorgestellt und sind in den einzelnen Programmfortschrittsberichten zu finden.

- Der Forschungsbereich soll weiterhin neue Gelegenheiten suchen, darauf reagieren und dabei disruptive Ansätze einbeziehen. Klare Fahrpläne sollen entwickelt werden, die Meilensteine zur Messung des Fortschritts beinhalten, und klarere Pläne für das Risikomanagement und geeignete Entscheidungsprozesse sollen aufgestellt werden. Für die einzelnen Themen sollen schärfere Schwerpunkte festgelegt werden. Die Ressourcen sollen konzentriert werden, um in einigen der Topics und/oder Programme eine kritische Masse zu entwickeln.

Im Sinne eines ersten wesentlichen Schrittes wurden im Forschungsbereich mit Mitteln des Innovationspools ein maßgeschneiderter Roadmapping-Prozess gestartet. Nachdem die Arbeitsgruppe ihre Arbeit aufgenommen hat, wurden in einem partizipativen Prozess zwei Pilot-Roadmaps zu den Themen „Quantum Computing“ und „Optical and Quantum-Optical Communications“ entwickelt, die Zielsetzungen, Meilensteine und Zielerreichungskriterien umfassen. Die daraus abgeleiteten Erfahrungen werden für die strategische Neuausrichtung für die kommende PoF-Förderperiode berücksichtigt.

- Die Stärke des Forschungsbereichs in seinen Kernkompetenzen soll beibehalten und weiterhin in neue Infrastruktur investiert werden.

In der neuen FIS-Wettbewerbsrunde für strategische Ausbauinvestitionen wurde von Helmholtz Information der überarbeitete Vorschlag zu InnoMatSy (In Situ Innovation Platform for the Digitally Directed Development of Multi-Functional Materials Systems) eingereicht. InnoMatSy ist eine Charakterisierungsinfrastruktur, die neben den klassischen Verbindungsmustern zwischen Materialien, ihrer Funktion und ihren Anwendungsmöglichkeiten auch die Verknüpfung zu neuen strategischen sowie wissenschaftlichen Parametern wie Datenspeicherung, Big-Data-Strategien und Software-Tools herstellen soll.

Für die kommenden Ausschreibungsrunden wurden im Management Board neue Vorhaben diskutiert und ausgewählt. So werden im Forschungsbereich zwei neue Vorhaben als strategische Ausbauinvestitionen entwickelt: a) Helmholtz AI Facility (HAIFA) - b) Helmholtz Acceleration Alliance (HELMA). HAIFA soll größte generative KI-Basismodelle verarbeiten und als großskalige Trainings- und Inferenz-Infrastruktur im Zentrum der Helmholtz KI-Strategie allen Wissenschaftler:innen aus Helmholtz und deren externen Partnern zur Verfügung stehen. HELMA soll eines der weltweit führenden Konsortien für autonome

KI/ML-basierte Forschung auf der Grundlage von Self-Driving Labs (SDLs) mit der weltweit größten Aktivität in der autonomen Innovationsentwicklung von Gesundheitstechnologien durch biomedizinische Technik und die digitale Beschleunigung der Erforschung von Materialsystemen in den Bereichen Kommunikationstechnologie, Elektronik, Energiespeicherung/-umwandlung und Katalyse werden.

- Der Forschungsbereich soll spezielle Programme zur Einstellung und Bindung von Forscherinnen und Forschern in dem weltweit hart umkämpften Bereich definieren. Die Maßnahmen zur Einstellung von mehr Frauen und internationalen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus unterrepräsentierten Gruppen sollen verstärkt werden.

Der Forschungsbereich erörtert die Themen Diversität und Inklusion im erweiterten Management Board, in der Forschungsbereichsplattform und anderen Gremien. Trotz der Entwicklung und Umsetzung spezifischer Ansätze in den Zentren wurde ein intensiver Austausch gefördert, um den gegenseitigen Lernprozess zu unterstützen. Spezielle Programme zur Rekrutierung sind zentrenspezifisch in Arbeit. Einzelne Aktivitäten werden in Kapitel 4 beschrieben. Zum aktuellen Zeitpunkt wurde die Erarbeitung eines zentrenübergreifenden Ansatzes für Helmholtz Information noch nicht erörtert.

3. Entwicklung im Rahmen der programmübergreifenden Aktivitäten

3.1. Querschnittsthemen

3.1.1 Helmholtz Quantum

- Koordinierender Sprecher: Tommaso Calarco (Helmholtz Information/FZJ)
- Beteiligte Programme: 1, 2, FB Materie, FB Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr

In der Helmholtz-Gemeinschaft sind die Aktivitäten auf dem Gebiet der Quantentechnologien über mehrere Zentren, Forschungsbereiche und Programme verteilt. Derzeit sind folgende Zentren in Helmholtz-Quantum vertreten: DESY, FZJ, HZDR, GSI, HIM, HIJ, HZB, KIT und UFZ. Um einen Helmholtz-weiten Austausch zu Quantentechnologien zu ermöglichen, wurde Helmholtz-Quantum mit Unterstützung des Präsidenten als strategische Plattform eingerichtet, um die Entwicklung der Quantenforschung in Helmholtz zu diskutieren und zu koordinieren, Helmholtz-weit den Austausch und die Zusammenarbeit innerhalb der Quantenforschung zu fördern, mit dieser gebündelter Kompetenz zu nationalen und internationalen Aktivitäten beizutragen, Strategien zu entwickeln und abzustimmen, sowie die Quantenforschung nach außen hin zu vertreten. Die Plattform ist flexibel konzipiert und kann auf Ad-hoc-Situationen reagieren. Helmholtz-Quantum wird von führenden Wissenschaftler:innen in enger Zusammenarbeit mit der Helmholtz-Geschäftsstelle koordiniert.

Die jüngsten Aktivitäten der Helmholtz-Quantum-Plattform konzentrierten sich auf die Diskussion strategischer Entwicklungen in der Helmholtz-Quantenforschung und die Weiterentwicklung zu einem strategischen Konzept für eine Querschnittsaktivität in PoF V. Im Januar 2024 fand ein Workshop zur Stärkung der Anwendungsentwicklung der Quantentechnologien und eine bessere Vernetzung statt. An dem Workshop nahmen mehr als 80 Wissenschaftler:innen mit 38 Kurzvorträgen teil. Der derzeitige Fokus der Querschnittsaktivität Quantentechnologien,

die bei dem Workshop herausgearbeitet wurde, liegt auf Anwendungen in allen Bereichen der Forschung bei Helmholtz und darüber hinaus in gesellschaftlicher und ökonomischer Hinsicht. Dazu ist die Einbindung von weiteren Zentren und Forschungsbereichen notwendig. Dies soll verstärkt durch Wissenstransfer, Darstellung von Beispiel-Anwendungen und Beratung für den möglichen Einsatz von Quantentechnologien gelingen. Für eine erfolgreiche Umsetzung wurde mit Förderung des Impuls- und Vernetzungsfonds eine Projektausschreibung zu Quantentechnologie Anwendungen entwickelt. In den Projekten der Ausschreibung „Helmholtz Quantum Use Challenge“ sollen Technologieentwickler und Anwender aus unterschiedlichsten Forschungsfeldern zusammenarbeiten, um Lösungen für konkrete Fragestellungen zu entwickeln.

3.2. Innovationspoolprojekte

3.2.1. Joint Lab Exascale Earth System Modelling (ExaESM)

- Koordinierende Sprecher: Lars Hoffmann (FZJ), Jörg Meyer (KIT), Patrick Jöckel (FB LRV/DLR), Thomas Jung (FB E&U/AWI)
- Beteiligte Programme: 1 (Helmholtz Information), FB Erde und Umwelt, FB Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr

Das Joint Lab ExaESM bündelt Expertise aus verschiedenen HGF-Forschungsbereichen, um die Erdsystemmodellierung auf Hochleistungsrechnern voranzutreiben. 2024 wurde Künstliche Intelligenz als dritte zentrale Säule neben der Exascale-Code- und Workflow-Skalierbarkeit etabliert, wodurch Modellgenauigkeit, Effizienz und Vorhersagefähigkeit erheblich verbessert werden können. Die monatlichen Treffen zur Förderung des Austauschs und der Zusammenarbeit wurden fortgesetzt. Mit verlängerter Innovationspool-Finanzierung stärken diese Maßnahmen die programmübergreifende Kooperation und unterstützen die Integration modernster HPC-Technologien und KI-Kompetenzen in die Erdsystem-Forschung der HGF.

3.2.2. Joint Lab Helmholtz Information - Research Software Engineering (HiRSE)

- Koordinierende Sprecher: Markus Diesmann (FZJ), Achim Streit (KIT)
- Beteiligte Programme: 1, 2, 3

HiRSE vereint alle Programme und Zentren in Helmholtz Information und unterstützt zentrale Research Software Engineering (RSE) Aktivitäten. Ein Fokus ist die langfristige Weiterentwicklung und der Betrieb relevanter wissenschaftlicher Codes als wissenschaftliche Infrastruktur durch Community Software Infrastructure (CSI) Gruppen. Die HiRSE-Seminarreihe wurde erfolgreich mit nationaler und internationaler Reichweite fortgesetzt, einschließlich eines eigenen YouTube-Kanals. Im Jahr 2024 hat HiRSE zudem die HiRSE Code Promotion gestartet, um "Forschungssoftware Made in Germany" sichtbarer zu machen. Im Jahr 2024 wurde die erste RSE Summer School in Deutschland organisiert.

3.2.3. Joint Lab Integrated Model and Data Driven Material Characterization (MDMC)

- Koordinierender Sprecher: Rafal E. Dunin-Borkowski (FZJ)
- Beteiligte Programme: 1, 2, 3

Das Joint Lab MDMC bringt Wissenschaftler:innen der drei beteiligten Forschungszentren zusammen, um die korrelative und in-situ Materialcharakterisierung mit der Datenverarbeitung in Form eines einheitlichen generischen Workflows für die anwendungsorientierte Materialforschung zu integrieren. Zu den Aktivitäten des Joint Lab gehörten die Entwicklung von ereignisgesteuerten Detektoren der nächsten Generation für die Echtzeit-Datenanalyse und -visualisierung, Workflows und Hardware für den Proben- und Informationstransfer zwischen bildgebenden Verfahren, Anwendungen für aktuelle Probleme in der Materialwissenschaft und Biologie sowie neue Standards und Richtlinien für Dateiformate, Metadatenschemata und Ausrichtungsmarkierungen für die Registrierung von Daten, die über mehrere Längenskalen aufgenommen wurden. 2024 fand der jährliche Workshop des Joint Lab MDMC im Helmholtz Zentrum Hereon statt und bot eine Plattform für Networking. Weitere Präsenzseminare wurden abgehalten, um die Zusammenarbeit und den Informationsaustausch zu fördern.

3.2.4. Joint Lab Supercomputing and Modeling for the Human Brain (SMHB)

- Koordinierende Sprecherin: Katrin Amunts (FZJ)
- Co-Sprecher: Markus Diesmann (FZJ), Thomas Lippert (FZJ)
- Beteiligte Programme: 1, 2 und Helmholtz Health

Das Joint Lab SMHB ist ein programm- und forschungsbereichsübergreifender synergistischer Verbund an der Schnittstelle von HPC, KI, Simulation und Neurowissenschaften. Seit Beginn der PoF IV im Jahr 2021 wurden bereits 181 Publikationen mit Bezug zum SMHB veröffentlicht. Im Jahr 2024 wurde ein Arbeitspaket zur Visualisierung von großen Datensätzen erfolgreich initiiert. Im weiteren Verlauf des SMHB sollen die Grundlagen für die Entwicklung eines KI-Basismodells (foundation model) der Organisation des menschlichen Gehirns geschaffen werden. Darüber hinaus wird eine neue Software vorbereitet, die als einer der ersten Codes auf dem kommenden Exascale-Rechner laufen soll.

3.2.5. Joint Lab Virtual Materials Design (VMD)

- Koordinierender Sprecher: Wolfgang Wenzel (KIT)
- Beteiligte Programme: 1, 2, 3

Das Joint Lab Virtual Materials Design zielt auf beschleunigte Materialentwicklung und Entwicklung von digitalen Zwillingen und universellen Workflows ab. Durch die konzertierte Weiterentwicklung der Software „Fleur“ (FZJ), „4C“ (Hereon) und „SimStack“ (KIT) wurde das quantitative Ziel „implementation of cross-scale simulation methods and for the exchange of methods and software for virtual materials design“ in 2024 erreicht. Weiterhin wurden bereits digitale Zwillinge entwickelt. Die PIs des JL VMD haben sich 2024 erfolgreich bei der CECAM für die Ausrichtung eines Flagship Workshop beworben, um die erfolgreiche Kooperation innerhalb des JL mit internationalen Partnern zu vernetzen.

3.2.6. Roadmapping und Öffentlichkeitsarbeit

- Beteiligte Programme: 1, 2, 3

Dieses Pilotprojekt befasst sich mit der Entwicklung eines Roadmap-Prozesses und Strategien zur Steigerung der Sichtbarkeit des Forschungsbereichs. 2024 lag der Fokus auf der Öffentlichkeitsarbeit: Rund 75 Beiträge wurden über [Blog](#), [Webseite](#) und [LinkedIn](#) veröffentlicht. Zudem wurde in mehreren Workshops erarbeitet, wie die Kommunikationsstrategie an die Zielgruppen angepasst und weiterentwickelt werden kann. Die gewonnenen Erkenntnisse bildeten die Grundlage für die Neuausrichtung des Innovationspoolprojekts, das bis 2027 mit Schwerpunkt auf Outreach verlängert wurde. Erste Maßnahmen umfassten die Erstellung eines Konzepts zur Überarbeitung der Webseite sowie eines kompakten Flyers zur anschaulichen Darstellung des Forschungsbereichs.

3.2.7. Hospitation

- Beteiligte Programme: 1, 2, 3

Das Hospitationsprogramm soll Schnittstellen zwischen Zentren von Helmholtz Information identifizieren und deren Austausch fördern. Im Berichtsjahr wurde der Aufenthalt von Shwon Alam (KIT) am Hereon-Standort Teltow für insgesamt 3 Monate gefördert. Durch den Aufenthalt wurden die Aktivitäten am Hereon-Standort Teltow (Aerosol-Druck von leitenden Silberstrukturen auf flexiblen Polymeroberflächen) mit den Kompetenzen am KIT (Inkjet-Druck von Halbleitern und Elektrolyten) zum Aufbau von gedruckten, Elektrolyt-gesteuerten Feldeffekt-Transistoren auf weichen Substraten kombiniert. Das Hospitationsprogramm wird auch zukünftig intensiv beworben, um weitere interessierte Personen anzuziehen.

4. Strategische Themen

4.1. Talentmanagement

In Helmholtz Information nutzen die Wissenschaftler:innen das breit gefächerte Know-how und die einzigartigen Ressourcen ihrer Programme, um sich engagiert und stetig wiederkehrend an der Lehre ihrer Hochschulpartner zu beteiligen. Neben gezielten Maßnahmen bezüglich Rekrutierung und Entwicklung junger Talente steht vor allem die herausragende Qualifizierung der Nachwuchswissenschaftler:innen an erster Stelle der Fortbildungsangebote.

In Programm 1 wurde die Lokalgruppe „Jülich Women in HPC“ (JuWinHPC) des internationalen Netzwerks „Women in High Performance Computing“ (WHPC) 2022 mit dem Ziel gegründet, die lokale Gemeinschaft von Frauen, die im Bereich HPC tätig sind, zu stärken und die Vielfalt durch eine Vielzahl unterschiedlicher Veranstaltungen und Aktivitäten auf lokaler und internationaler Ebene zu fördern. Im Jahr 2024 initiierte und organisierte JuWinHPC gemeinsam mit Vertreterinnen anderer WHPC-Kapitel von inner- und außerhalb Europas die Birds-of-a-Feather-Sessions (BoF) „Super(computing) heroes“ auf der ISC High Performance 2024 und der SC24. Diese sehr interaktiven und gut besuchten BoFs boten Podiumsdiskussionen mit renommierten Frauen im HPC-Bereich, die ihre Erfahrungen, Herausforderungen und Visionen für die Zukunft des HPC teilten.

In Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Aachen bieten Mitarbeitende des FZJ im Programm 1 einen ausbildungsintegrierten Studiengang in Angewandter Mathematik und Informatik und einen darauf aufbauenden gleichnamigen Master-Abschluss an. Jedes Jahr werden

etwa 30 Studierende am FZJ auf die Doppelqualifikation mit IHK-Abschluss und Bachelor vorbereitet, etwa die Hälfte der Absolventen strebt anschließend einen Masterabschluss an. Im Jahr 2024 begannen insgesamt 14 Studierende das duale Studium, 23 haben die IHK-Prüfung erfolgreich absolviert und 22 haben zusätzlich bereits den Bachelor of Science erworben. Im letzten Jahr organisierte das JSC erneut das internationale Gaststudierendenprogramm „Scientific Computing“ für Studierende in Masterstudiengängen mit zehn Teilnehmern aus sieben Ländern.

Die Jülich UNified Infrastructure for Quantum Computing (JUNIQ) im Programm 1 organisierte mehrere Trainings, insbesondere die gut besuchte „JUNIQ’s Summer School on Quantum Computing“. JUNIQ sponserte auch den „QPowerLab Hackathon 2024“, für den es Rechenzeit auf dem D-Wave-Quantenannealer JUPSI zur Verfügung stellte. Die Veranstaltung wurde vom Delft Institute for Computational Science and Engineering finanziell unterstützt und fand an der Universität Delft statt. Diese einzigartige, dreitägige Veranstaltung führte den Energiesektor durch Vorträge, Programmierung und Kooperationsprojekte in das Thema Quantencomputing ein.

Im Programm 2 fand im September 2024 der BigBrain-Workshop „Challenges of Multimodal Data Integration“, organisiert vom Helmholtz International BigBrain Analytics and Learning Laboratory (HIBALL), statt. Er brachte 120 Teilnehmende aus Europa, Nordamerika und Asien zusammen - davon 90 vor Ort im Palazzo della Salute in Padua. Gastgeber der Veranstaltung waren Maurizio Corbetta und sein Team vom Padova Neuroscience Centre, das seit letztem Jahr Teil der europäischen Forschungsplattform EBRAINS ist.

Mitarbeitende aus Programm 2 bieten einen von der Federation of European Laboratory Animal Science Associations (felasa) zertifizierten Schulungskurs für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie technisches Personal an, der biologische, technische und rechtliche Informationen über Zebrafische und Medaka als Modellsysteme für die biologische Forschung vermittelt. In dem 4-tägigen Kurs „International Zebrafish and Medaka Course (IZMC)“ werden Zucht und Haltung, Tierschutzbestimmungen und Versuchsmethoden in Theorie und Praxis vermittelt. Die Teilnehmer des Kurses kommen aus der universitären Forschung und der Industrie.

KIT-Nachwuchsgruppenleiterin in Programm 3 Dr. Jingyuan Xu leitet seit 2024 die von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderte CZS-Nexus-Forschungsgruppe „Emissionsfreie und umweltfreundliche Heiz- und Kühltechnologien“ (ZEco Thermal Lab). Sie wurde durch die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina mit dem Leopoldina-Preis für junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler 2023 geehrt. Im Februar 2024 gab die Hector Fellow Academy (HFA) bekannt, dass die junge Ingenieurin mit dem Hector Research Career Development Award ausgezeichnet wird. Der Förderpreis ist mit 25.000 Euro dotiert und beinhaltet zusätzlich unter anderem Mittel für eine Promotionsstelle. Seit Mai 2025 wird Dr. Xu für fünf Jahre Mitglied der Global Young Academy (GYA) sein. Die 2010 in Berlin gegründete Akademie hat sich zum Ziel gesetzt, den Dialog und die Zusammenarbeit junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler weltumspannend zu fördern. Die Anzahl der Mitglieder ist dabei auf 200 begrenzt; Auswahlkriterien sind wissenschaftliche Exzellenz und gesellschaftliches Engagement. Die Heidelberger Akademie der Wissenschaften hat Dr. Xu zudem mit dem den Ökologiepreis der Viktor & Sigrid Dulger-Stiftung für ihre Forschung zu nachhaltigen thermoakustischen Technologien für Kühlung, Heizung und Stromerzeugung geehrt.

Ein im Jahr 2023 gestartetes Trainingsprogramm am KIT für Promovierende des Programms 3 in Zusammenarbeit mit der HECTOR School of Engineering and Management ermöglicht

den Teilnehmenden einen zertifizierten Abschluss des MBA Fundamentals Program. Im Jahr 2024 wurden insgesamt 16 Promovierende gefördert, davon neun Doktorandinnen. Das Programm wird auch im Jahr 2025 fortgeführt.

Im Berichtszeitraum sind folgende neue Emmy-Noether-Gruppen in Helmholtz Information gestartet:

Dr. Maryna Meretska (KIT) forscht an optischen Metaoberflächen, um ein optisches Instrument zu entwickeln, das eine um Größenordnungen höhere Modulationsgeschwindigkeit erreicht und einen großen Betrachtungswinkel hat. Einsatzmöglichkeiten liegen z.B. in Automobiltechnologien, der Mikroskopie, der Holografie oder im Quantencomputing.

Dr. Sören Lehmkuhl (KIT) forscht mit seiner Nachwuchsgruppe daran, die Auflösung eines Kernspinresonanz (NMR)-Spektrums bzw. eines Magnetresonanztomographie (MRT)-Bildes zu erhöhen. Dazu soll ein neuer Hochpräzisionsdetektor entwickelt werden, der PHASER (ParaHydrogen Achieves Super Enhanced Resolution). Dieser beruht sowohl auf dem Prinzip der Hyperpolarisation als auch auf der RASER Technologie, die - verwandt mit dem Laser - auf Radiowellen basiert.

Dr. Casey Paquola (FZJ) hat im Oktober 2024 ihre Projekt „Microstructural development of the brain: Towards understanding the origins of higher-order cognition“ gestartet. Im Zuge dessen wurde ein neues Team mit dem Namen „Multiscale Neurodevelopment“ gegründet, dessen Ziel es ist, Studien zur Gehirnentwicklung unter Verwendung von In-vivo-Hirnbilddaten (strukturelle und funktionelle MRT) durchzuführen und neue multimodale Ansätze zu entwickeln und zu optimieren.

4.2. Vernetzung

Die Wissenschaftler:innen von Helmholtz Information waren auch im vergangenen Berichtsjahr an zahlreichen nationalen wie internationalen Kooperationen beteiligt, um die wissenschaftliche Vernetzung inner- und außerhalb der Helmholtz Gemeinschaft weiter auszubauen. Aus dieser Vielzahl werden einige hier exemplarisch herausgegriffen.

Mit seinem Engagement in Europa unterstützt das Jülich Supercomputing Centre im Programm 1 aktiv den Aufbau einer starken HPC-Community in Europa. Die Partnership for Advanced Computing in Europe (PRACE AISBL) ist ein europäischer Verband für HPC-Nutzende und HPC-Zentren, der nach der Gründung von EuroHPC JU aus der europäischen HPC-Forschungsinfrastruktur PRACE hervorgegangen ist. Mit der Neuausrichtung von PRACE werden nun insbesondere Nutzer:innen und HPC-Zentren als Mitglieder angesprochen. Der neu organisierte Verband verfolgt folgende Ziele: Stärkung der Nutzergemeinschaften und Integration der aktiven Beteiligung von Nutzergemeinschaften aus Wissenschaft und Industrie, wobei ein nutzerzentrierter Ansatz verfolgt wird, d. h. es werden Rückmeldungen und Erwartungen von Nutzer:innen gesammelt, um HPC-Zentren und Interessengruppen des europäischen HPC-Ökosystems dabei zu unterstützen, ihre HPC-Einrichtungen und -Dienste mit verwandten Technologien (Cloud, Hochleistungsdatenanalyse, künstliche Intelligenz, Quantencomputing usw.) an die spezifischen Bedürfnisse ihrer Nutzer:innen anzupassen. PRACE bietet auch Unterstützung für die optimale Nutzung der europäischen HPC-Infrastruktur und fördert die internationale Zusammenarbeit. Ein besonders wichtiges Ziel von PRACE ist die Erstellung und regelmäßige Aktualisierung eines europäischen „HPC Scientific and Innovation Use Case“. Der Scientific and Innovation Use Case ist sehr wichtig, um die Finanzierung einer HPC-Infrastruktur zu sichern, indem die erzielten Ergebnisse aufgezeigt und mögliche Ergebnisse sowie der Bedarf an soliden Investitionen in Software und Fähigkeiten vorhergesagt werden. Der

nächste PRACE-Scientific and Innovation Use Case ist bereits in Arbeit. Das JSC wird bei dieser Arbeit eine aktive Rolle spielen und durch seine Mitgliedschaft die Zusammenarbeit mit anderen europäischen HPC-Zentren weiter intensivieren und den Kontakt zu bestehenden und neuen HPC-Nutzer:innen und anderen verwandten Gemeinschaften suchen.

Eine starke Säule in der europäischen Achse ist AIDAS, das European Joint Virtual Lab on AI, Data Analytics and scalable Simulation. AIDAS ist eingebettet in die langjährige strategische Partnerschaft des FZJ mit dem französischen Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) im Bereich des Höchstleistungsrechnens. Ziel von AIDAS ist es, die Aktivitäten in strategischen Bereichen beider Partner zu stärken und einen Mehrwert für Forschung und Entwicklung zu schaffen – durch die Schaffung eines Forschungsinstituts für Simulation, Quantencomputing, Datenanalyse und KI für das Exascale-Zeitalter und darüber hinaus. Die Projektthemen reichen von – aber sind nicht beschränkt auf – Quantencomputing, (modulares) Supercomputing bis hin zu Exascale, Entschlüsselung des menschlichen Gehirns, Materialwissenschaften und Energie. Alle wissenschaftlichen Themen haben den gemeinsamen Nenner KI, Datenanalyse und skalierbare Simulation. In Programm 1 ist das JSC an einer Reihe von Arbeitspaketen beteiligt und koordiniert das Projekt im Führungsbinomial.

In Programm 2 wurde EBRAINS (European Brain Research Infrastructure) National Node Germany (NNG) formal gegründet. Das Bernstein Netzwerk Computational Neuroscience ist eines von sechs Gründungsmitgliedern. Die digitale Forschungsinfrastruktur EBRAINS verbindet Neurowissenschaften und Medizin mit neuro-inspirierter KI und modernster Computertechnologie. Ziel der Forschenden im Bernstein Netzwerk ist es, die Informationsverarbeitung im Gehirn und in neuronalen Netzen von der molekularen Ebene bis zum Verhalten zu verstehen. Solche interdisziplinären Bestrebungen erfordern eine geeignete Infrastruktur. Die Mitgliedschaft in EBRAINS bietet den Computational Neuroscientists Zugang zu Tools für die Datenerfassung, -verwaltung und -verarbeitung und damit neue Möglichkeiten der Zusammenarbeit. Die Bernstein Koordinationsstelle ist ein wertvolles Bindeglied in der Computational Neuroscience Community. So ist zum Beispiel die Technische Universität Chemnitz ein neuer Partner im EBRAINS Im Rahmen eines gemeinsamen EURIZON-Projekts haben Wissenschaftler am KIT etwa zehn ukrainische Wissenschaftler und ihre ukrainischen Forschungsinfrastrukturen unterstützt, z. B. am Palladin-Institut für Biochemie NAS der Ukraine, an der V. N. Karazin Kharkiv National University und am National Cancer Institute of Ukraine.

Das Carl-Zeiss-Stiftungszentrum für Synthetische Genomik (CZS-Center SynGen), eine gemeinsame Initiative des KIT, mit Beteiligung von Programm 2, der Universität Heidelberg und der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, ist gestartet. Es konzentriert sich auf die Entwicklung synthetischer Genomik-Technologien. Das Zentrum kombiniert KI-basierte Technologien mit DNA-Synthese und -Simulation und positioniert sich damit an der Spitze von High-Content-Screening, Wirkstoffforschung und synthetischer Biologie.

Im Programm 2 fand Ende Mai 2024 am KIT ein Vernetzungs- und Kooperationstreffen im Rahmen des Verbundprojekts statt: "KI-basiertes Screening von diagnostischen Peptiden für die serologische Diagnostik". Das Projekt bringt wichtige Akteure zusammen, darunter das NMI Tübingen, das KIT, die HS-Analysis GmbH und die ATG GmbH, und wird vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg im Rahmen des Programms Invest BW gefördert. Im Mittelpunkt des Treffens standen die Erörterung des Projektstandes, die Validierung des diagnostischen Tests und die Erkundung von Perspektiven für die Kommerzialisierung.

Das neue 3R-Zentrum 3ROCKIT des KIT arbeitet an computergestützten Methoden und In-vitro-Technologien, die Tierversuche reduzieren bzw. ersetzen sollen. Personalisierte Computermodelle, sogenannte virtuelle humane Zwillinge, sollen bei der Planung individueller Therapien helfen. Ab Januar 2025 wird 3ROCKIT vom Land Baden-Württemberg in das landesweite 3R-Netzwerk aufgenommen und mit 100 TEUR jährlich für drei Jahre gefördert. Im 3R-Netzwerks Baden-Württemberg sind damit künftig insgesamt acht Einrichtungen zusammengeschlossen, die mit unterschiedlichen Ansätzen an alternativen Versuchsmethoden arbeiten. Neben den Standorten Heidelberg, Mannheim, Stuttgart und Tübingen werden künftig neben dem KIT auch die Hochschule Furtwangen und die Universität Ulm gefördert. 3ROCKIT (Replace Reduce Refine Organismal Research by Computational and Cellular Technologies@KIT) verfolgt in seinem Konzept ein 6R-Prinzip: Zusätzlich zu den 3R-Vorhaben Tierversuche zu reduzieren (Reduce), zu ersetzen (Replace) oder zu verbessern (Refine), soll sichergestellt werden, dass alle Versuchspläne statistisch robust sind (Robustness), alle Versuche registriert (Registration) und auch negative Ergebnisse veröffentlicht werden (Reporting). 3ROCKIT ist Teil des KIT-Zentrums Health Technologies (KITHealthTech), in dem Forschende aus Programm 3 fachübergreifend an digitalen und technologischen Lösungen für das Gesundheitssystem arbeiten.

Die Initiative Biomedical Engineering der Helmholtz-Gemeinschaft zielt darauf ab, dass Erkenntnisse aus den Lebenswissenschaften für die Entwicklung innovativer medizinischer Technologien genutzt werden. Sie bündelt die Expertise aus verschiedenen Helmholtz-Zentren, um die Lebensqualität von Patienten zu verbessern. Schwerpunkte sind Krankheitsfrüherkennung, personalisierte Diagnostik und fortschrittliche Therapieverfahren in enger Zusammenarbeit mit der Industrie sowie die Unterstützung von biomedizinischen Start-ups. Hereon Forschende aus Programm 3 koordinieren das Flaggschiffprojekt 5 - Generierung intelligenter Implantate.

4.3. Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

Die Programme zielen darauf ab, ihre wissenschaftlichen Erkenntnisse der Gesellschaft auf möglichst vielen Ebenen zugutekommen zu lassen, und durch ein breit gefächertes Bildungsangebot, umfangreiche Outreach-Aktivitäten in den einzelnen Topics sowie eine engen Zusammenarbeit mit der Industrie zur Entwicklung marktfähiger Produkte in einer Reihe von Themenbereichen beizutragen. Einzelne Beispiele werden im Folgenden vorgestellt.

Technologietransfer

Im Programm1 wurde der Industry Hub des JSC, der 2015 in Form eines „Industry Relations Team“ (IRT) ins Leben gerufen wurde, 2024 im Rahmen einer größeren Änderung der JSC-Aufbauorganisation zum „Office for Industrial Applications/Users“ aufgewertet und hat damit an Sichtbarkeit gewonnen. Im Laufe des Jahres 2024 konnte der durch das Industry Office betreute Kundenstamm von 19 auf 21 Firmen ausgebaut werden, die vom mittelständischen Ingenieurbüro bis hin zu weltweit tätigen Unternehmen wie dem Motorenentwickler FEV-Europe reichen. Unter den 21 Industriekunden befinden sich 11 KMUs – und 7 der 21 Kunden haben ihren Sitz im Ausland. Die häufigsten Anwendungen kommen aus dem Themenbereich der komplexen Strömungssimulation (CFD). Ein Neukunde für Rechenzeit in 2024, Nextmol aus Barcelona, will unter Nutzung von GPU-Ressourcen als junges Start-Up die Entwicklung von neuartigen, chemischen Substanzen beschleunigen.

Die folgenden ausgewählten Beispiele für eine fruchtbare Zusammenarbeit mit der Industrie im Bereich Informatik aus Programm 1 spiegeln das breite Spektrum angewandter Forschung und deren Wirkungen auf die Industrie in Helmholtz Information wider: Kooperationsprojekte mit SAP SE mit unterschiedlichen Schwerpunkten wie „Secure Federated Machine Learning for IoT Systems“ und „Security & Compliance Automation“. Eine Plattform für die Forschung und Entwicklung im Bereich Smart Grid Cybersecurity wird gemeinsam mit dem Illinois Advanced Digital Sciences Center in Singapur entwickelt. In einer Kooperation zwischen dem KIT, dem FZI und Mercedes-Benz wurde eine Methode zur Pseudonymisierung von Fahrzeugidentifikationsnummern (Vehicle Identification Numbers, VINs) entwickelt. Die VIN ist eine eindeutige Kennung, die die mit dem Fahrzeug verbundenen Daten speichert, die nicht an Dritte weitergegeben werden sollten. Dieses Datenschutzproblem wird mit der neuen Entwicklung gelöst. Darüber hinaus werden in enger Zusammenarbeit mit ABB Asea Brown Boveri, Zürich, Entwurfsmethoden für Cloud-native Systeme im Kontext der industriellen Automatisierung entwickelt.

Das FZJ hat eine Partnerschaft mit seinem im Jahr 2022 gegründeten Start-Up ARQUE Systems GmbH geschlossen, in deren Rahmen ARQUE Systems 5-Qubit-Quantencomputer im nächsten Jahr in die Jülich Nutzerinfrastruktur für Quantencomputing (JUNIQ) in Programm 1 integriert wird. Durch diese Zusammenarbeit erhalten die Forscher Zugang zu einem hochmodernen Quantencomputer für ihre Arbeit. ARQUE Systems wurde 2022 von Wissenschaftler:innen aus Programms 2 gegründet.

Das vom BMBF geförderte Cluster4Future NeuroSys mit Teilnehmenden aus Programm 2 startete in Aachen seinen „NeuroSys Expert Hub“. Das FZJ präsentierte sein Projekt NEUROTEC an einem Kontaktstisch und die FZJ-Gründungsinitiative AiML (*Analog in Memory Logic*) vernetzte sich mit lokalen Risikokapitalgebern. Daraus ergab sich, dass ein wertvoller Kontakt zu Transfer und wirtschaftlicher Verwertung mit der AGIT (Aachener Gesellschaft für Innovation und Technologietransfer mbH) erneuert wurde.

Gemeinsam mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie haben die Wissenschaftler:innen aus Programm 2 eine Patentanmeldung beim Patentamt eingereicht, die die Grundlage für das im Berichtsjahr gestartete TT-Projekt IMPEDALI bildet. Für die Technologieentwicklung "Online-Effektmessung an ALI-exponierten Lungenzellen mittels Impedanztechnik" ist ein umfangreiches Projekt mit zwei Industriepartnern und dem Know-how-Partner BBZ an der Universität Leipzig geplant. Die Industriepartner haben vor der Teilnahme an diesem Projekt einen Proof of Concept gefordert, den die beteiligten Institute mit F&E-Mitteln allein nicht erreichen können. Ziel dieses TT-Projekts ist der Nachweis der Anwendbarkeit von Impedanzmessungen an speziell hergestellten Membranen an der Gas-Flüssigkeits-Grenzfläche. Die Patentanmeldung ist erfolgt und das Patent wurde am 27.06.2024 erteilt (DE 10 2023 203 746).

Beim Entwickeln von Medikamenten werden immer noch Modelle eingesetzt, die nicht genau die Situation im Menschen wiedergeben. Das im Juli 2024 gegründete Spin-off CAVIGEN des KIT entwickelt fortschrittliche 3D-Zellkultursysteme auf Polymerfolienbasis, die eine realistische Nachbildung menschlicher Organfunktionen in sogenannten Organoiden ermöglichen. Das Unternehmen hat eine Technologie entwickelt, damit Zellen in drei Dimensionen wachsen können. Mithilfe der sauerstoffsensitiven Beschichtung kann so weltweit erstmals optisch und berührungsfrei Sauerstoff in der unmittelbaren Mikroumgebung von Organmodellen gemessen werden. Diese Technologie bietet eine verbesserte Übertragbarkeit von In-vitro-Versuchen auf den menschlichen Körper und reduziert die Notwendigkeit von Tierversuchen. Die Idee zur Ausgründung entwickelte das Team in der Forschung der Arbeitsgruppe "3D-Zellkultursysteme" am KIT-Institut für Funktionelle Grenzflächen, die zu Programm 3 gehört.

Im Jahr 2024 wurde als Ergebnis der Ausgründungsaktivitäten von Hereon das Start-up-Unternehmen RecovLabs gegründet. Dieses Start-up ist jetzt völlig unabhängig und wird von ehemaligen Hereon-Mitarbeitenden aus Programm 3 geführt. Das Unternehmen hat sich auf die Herstellung von nachhaltigem Pflanzenöl durch Upcycling von Kaffeeresten spezialisiert und bietet damit eine umweltfreundliche Alternative zu Palmöl für die Verwendung in Lebensmitteln und Kosmetika. Ihr innovativer Ansatz integriert grüne Chemie und Biotechnologie, um zirkuläre und widerstandsfähige Lieferketten zu etablieren. Die positiven Auswirkungen unserer Aktivitäten auf die Schaffung von Arbeitsplätzen sowie auf die Bereitstellung technologischer Lösungen für eine nachhaltige gesellschaftliche Zukunft wurden hier deutlich.

Wissenstransfer

Im Jahr 2024 sind Wissenschaftler aus Programm 1 aktiv in Arbeitsgruppen der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), auch auf Führungsebene, eingebunden. Besonders hervorzuheben sind die „Plattform Lernende Systeme“, die Themennetzwerke „Sicherheit“ und „Gesundheitstechnologien“ und die Initiative „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) von acatech, der Leopoldina (Nationale Akademie der Wissenschaften) und der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften. Weitere Aktivitäten werden im Rahmen der Wissenschaftlichen Arbeitsgruppe des Nationalen Cyber-Sicherheitsrates des Bundesministeriums des Innern (BMI) und des BMBF sowie des Expertenkreises „Transformation der Automobilwirtschaft“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) durchgeführt. Demonstratoren aktueller Forschungsergebnisse wurden bereits an das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) übergeben und werden dort eingesetzt.

Im Rahmen der parlamentarischen Politikberatung des Deutschen Bundestags (TAB) und der Lenkungsgruppe zur Zukunft von Wissenschaft und Technologie (Scientific Technology Options Assessment; STOA) des Europäischen Parlaments wurden 2024 mehrere Studien veröffentlicht. Mit direktem Bezug zu den Themen des Programms 1 oder Helmholtz Information sind hier insbesondere Studien zur Cybersicherheit in der Lebensmittelversorgung, zu den gesellschaftlichen Auswirkungen des Homeoffice und zu Gene Drives – Technologien zur Verbreitung genetischer Veränderungen in der Bevölkerung – zu nennen. Darüber hinaus wurde ein Bericht über den Status quo und die Perspektiven der Telemedizin fertiggestellt, der jedoch noch der Zustimmung des Parlaments bedarf. Diese umfangreichen Studien werden durch eine Reihe sogenannter „Themenkurzprofile“ ergänzt, die als Ergebnis eines systematischen Horizon Scannings einen kompakten Überblick über ausgewählte wissenschaftliche und technologische Trends und ihre Relevanz für Politik und Gesellschaft bieten. Im Jahr 2024 wurden fünf solcher Dokumente veröffentlicht, darunter Papiere zu KI in der Kreativwirtschaft, zu den Perspektiven von KI bei der Diagnose und Therapie seltener Krebserkrankungen, sowie zu Big Data und KI im Profifußball.

Im September 2024 fand in Düsseldorf die 5. „Lange Nacht der Wissenschaft“ statt. Mehr als 14.000 Besucher:innen strömten zu der Veranstaltung, um einen Einblick in aktuelle Forschungsprojekte und wissenschaftliche Diskussionen zu erhalten. (Nachwuchs-)Wissenschaftler:innen aus verschiedenen Jülicher Forschungsbereichen präsentierten interessierten Bürger:innen ihre Forschungsinhalte. Im November 2024 fand am KIT die „Nacht der Wissenschaft“ statt. Die Veranstaltung umfasste verschiedene Vorträge und Präsentationen, darunter Themen wie die Chemie, die DNA zum Leuchten bringt, und die historischen Perspektiven des

Lernens aus der Geschichte. Die Veranstaltung war gut besucht und bot ein breites Spektrum an wissenschaftlichen Diskussionen.

Erkenntnisse aus Quantencomputer- und Quantenmaterialforschung, die im Rahmen von Programm 2 entwickelt wurden, wurden auf verschiedenen Veranstaltungen potenziellen wirtschaftlichen Entscheidungsträgern und der breiten Öffentlichkeit vorgestellt. Das Jülicher Modell eines Quantencomputers wurde z.B. am Stand des European Quantum Flagship auf dem Mobile World Congress (Barcelona) präsentiert, weckte großes Interesse und half so dabei Kontakte zur Industrie und anderen Institutionen zu knüpfen. Weitere Veranstaltungen waren das G7-Treffen in Bologna und Quantum Technologies in Europe (Madrid).

Hereon hat eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung mehrerer Strategien für die dringend erforderliche Wasserstofftransformation zur Bewältigung der Energiekrise. Im vergangenen Jahr hat die Bundesregierung im Rahmen der aktualisierten Nationalen Wasserstoffstrategie beschlossen, die Wasserstoffinfrastruktur deutlich auszubauen. Dieser Ausbau erfordert umfangreiches Fachwissen, weshalb sich führende Experten der Clean Hydrogen Partnership angeschlossen haben - einer öffentlich-privaten Partnerschaft zur Förderung von Forschung und Innovation im Bereich der Wasserstofftechnologien in ganz Europa. Im April 2024 wurde Dr. Claudio Pistidda vom Helmholtz-Zentrum Hereon aus Programm 3 in das Expertengremium der Clean Hydrogen Partnership zum Thema „European Hydrogen Sustainability and Circularity“ berufen. Dieses 15-köpfige Gremium von Experten aus ganz Europa gibt entscheidende Hinweise für die künftige Ausrichtung der europäischen Wasserstoffforschung.

4.4. Drittmittelinwerbung

Um die wissenschaftlichen Ziele der PoF-IV zu ergänzen und zusätzlich zu stärken, akquirierten die Wissenschaftler:innen der Programme eine Vielzahl von Drittmittelprojekten im Jahr 2024. Einzelne Projekte werden im Folgenden genannt. Weitere Projekte und Details finden sich in den Programmfortschrittsberichten.

EU

Zwei europäische Exzellenzzentren (Centres of Excellence; CoE) mit Beteiligung von Forschenden aus Programm 1 sind in ihre dritte Runde gestartet. Das „Centre of Excellence on Performance Optimization and Productivity“ (POP3; 952 TEUR; EU und BMBF) wird sich auf die Hochskalierung von Anwendungen konzentrieren, indem es die Ausführung einiger Flaggschiffanwendungen anderer CoEs auf den aktuellen EuroHPC-Maschinen evaluiert, und weiterhin Dienstleistungen für alle HPC-Nutzenden anbietet, um die effiziente Nutzung von Rechenressourcen zu fördern. Das „Energy oriented Center of Excellence“ (EoCoE-III; 568 TEUR; EU und BMBF) verfolgt die zentrale Vision, umfassende Exascale-Anwendungen zu entwickeln, die bahnbrechende Fortschritte in der Energiewissenschaft in zentralen kohlenstoffarmen Sektoren vorantreiben.

Das Projekt „EBRAINS 2.0: A Research Infrastructure to Advance Neuroscience and Brain Health“ wird die Entwicklung und Bereitstellung der Forschungstechnologien der Infrastruktur für die wissenschaftliche Gemeinschaft fördern und zielt darauf ab, einen neuen Standard für Hirnatlanten zu etablieren, multimodale neurowissenschaftliche und klinische Daten zu sammeln und zu verknüpfen und die Entwicklung von Ansätzen für digitale Zwillinge voranzutreiben. Am Projekt sind Wissenschaftler:innen aus den Programmen 1 & 2 beteiligt.

In Programm 2 erhält Dr. Taner Esat einen ERC Starting Grant „QuSINT - Atomic Scale Quantum Sensing and Information with Molecular Nanostructures on a Scanning Probe Tip“. Dr. Taner Esat ein Quantensystem zur Quantensensorik und Informationsverarbeitung auf atomarer Ebene. Das Besondere daran: Das Quantengerät ist mobil und kann bis auf wenige atomare Abstände an andere Objekte wie Moleküle oder andere Qubits herangeführt werden. Damit lassen sich nicht nur die elektrischen und magnetischen Eigenschaften einzelner Moleküle hochpräzise mit atomarer Auflösung messen, sondern auch neuartige Konzepte für Quantencomputer realisieren. Das mobile Quantensystem von Taner Esat könnte die Grundlage für die nächste Generation von Quantentechnologien bilden und entscheidende Fortschritte in der Materialcharakterisierung sowie der Diagnose und Realisierung neuartiger Quantencomputer ermöglichen.

Der Europäische Forschungsrat (ERC) fördert das Forschungsprojekt ATHENS der KIT-Professoren Dr. Christian Koos und Dr. Stefan Bräse aus Programm 3 mit einem Synergy Grant. Ziel ist es, optische Kommunikationssysteme leistungsfähiger und energieeffizienter zu machen. Dies ist besonders angesichts steigender Anforderungen an die Übertragung großer Datenmengen durch Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz (KI) relevant. Der ERC fördert ATHENS für sechs Jahre mit insgesamt 14 Millionen Euro.

In Programm 3 hat Professor Dr. Christian Cyron (Hereon) einen ERC Synergy Grant mit einem Gesamtvolumen von 10 Millionen Euro erhalten, wovon 2,7 Millionen Euro auf Hereon entfallen. Das Projekt mit der Bezeichnung MechVivo zielt auf die Entwicklung einer neuen Methode zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von lebendem Gewebe im menschlichen Körper ab. Diese Initiative wird in den nächsten sechs Jahren eine enge Zusammenarbeit mit der TU Graz, der ETH Zürich und der Yale University (USA) fördern. Der Projektstart ist für den Sommer 2025 geplant. Durch die Entwicklung fortschrittlicher Methoden zum Verständnis und zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Geweben hat dieses Projekt das Potenzial, medizinische Behandlungen zu revolutionieren und die Lebensqualität von Patienten mit verschiedenen Erkrankungen zu verbessern.

National

In Programm 1 wird das Projekt „NXT GEN AI METHODS“ (nxtAIM; 1.8 Mio. €, BMWK) das Potenzial der generativen KI für die Entwicklung des autonomen Fahrens nutzen, um die derzeitigen Einschränkungen zu überwinden und innovative Lösungen durch den Einsatz neuer generativer Methoden zur Bewältigung der bedeutenden Herausforderungen in diesem Bereich bereitzustellen. Das Hauptziel des Projekts DigiT4TAF (1,9 Mio. €, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg) ist die Erstellung eines digitalen Zwillings für das Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF-BW), der als Grundlage für zukünftige Entwicklungen im Bereich autonomer Fahrzeuge dienen soll. Durch die Veröffentlichung der entwickelten Testumgebung für Aspekte der Verkehrsplanung über Open Source und Open Data soll kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) der Zugang so einfach wie möglich gemacht werden.

Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms SPP 2262 Memristec werden fünf Projekte mit Principal Investigators aus Programm 2 gefördert, die im Jahr 2024 starten. Dazu gehören "MemDANCE" zur Erforschung des neuromorphen, dendritischen Rechnens mit memristiven Schaltkreisen unter der Leitung von Dr. Ming-Jay Yang, "MemTDE" zur neuromorphen Sensorik unter der Leitung von Prof. Regina Dittmann, "MEMRED" zum analogen Rechnen mit memristiven Bauteilen unter der Leitung von Prof. Ilia Valov, "Mem2CNN" über memristive Convolutional Neural Networks unter der Leitung von Dr. Vikas Rana und "MemCouple" über

das thermische Koppeln in memristiven Crossbar-Arrays für assoziative Lernmechanismen unter der Leitung von Dr. Stephan Menzel.

Mit dem vom BMBF geförderten Projekt COBRA sollen die Voraussetzungen für eine zukünftige ressourcenoptimierte Produktion von Carbonsäurederivaten auf Basis von Kohlendioxid, erneuerbarem Wasserstoff und Olefinen geschaffen werden. Das Projekt COBRA wurde im Rahmen einer langjährigen Kooperation mit dem Industrieunternehmen Evonik bewilligt. Aufgabe in Programm 3 bei Hereon ist die Entwicklung einer membranbasierten Trenntechnik zur Aufarbeitung des Produktgemisches aus der Alkoxy-carbonylierung. Die Laufzeit beträgt drei Jahre, die Gesamtförderung 1.733 Mio. €, der Hereon-Anteil ist 517 TEUR.

4.5 Forschungsinfrastrukturen

Im Jahr 2024 gab es am JSC bedeutende Entwicklungen in Richtung Exascale. Die Installation des ersten europäischen Exascale-Systems „JU Pioneer for Innovative and Transformative Exascale Research“ (JUPITER) begann. JUPITER wird in einem neuen modularen Rechenzentrum (Modular Data Centre; MDC) untergebracht. Die ersten Container des MDC wurden im September 2024 installiert.

JUPITER wird die Modulare Supercomputing Architektur (MSA) implementieren. Das System wird aus einem hochskalierbaren Booster-Modul und einem eng damit verbundenen, universell einsetzbaren Cluster-Modul bestehen. Der Booster wird mit etwa 6000 Rechenknoten ausgestattet sein, die auf der neuesten Generation von NVIDIA-Grafikprozessoren im Superchip-Formfaktor Grace Hopper (GH200) basieren, um eine Rechenleistung von 1 ExaFLOP/s (FP64, HPL) zu erreichen. Das System, das auch als massiver KI-Trainer konzipiert ist, wird in der Lage sein, eine KI-Performance von etwa 40 ExaFLOP/s (mit 8-Bit-Präzision) bereitzustellen. Der JUPITER-Cluster zielt auf Workflows ab, die nicht von Beschleuniger-basiertem Computing profitieren. Er wird den ersten europäischen HPC-Prozessor, Rhea1 von SiPearl, verwenden, um eine einzigartige hohe Speicherbandbreite bereitzustellen, die gemischte Arbeitslasten unterstützt.

Das erste JUPITER-Modul, das „JUPITER Exascale Development Instrument“ (JEDI), wurde im April 2024 am JSC installiert. Wissenschaftler können im Rahmen des „JUPITER Research and Early Access Program“ (JUREAP) bereits in einem frühen Entwicklungsstadium auf die Hardware zugreifen, um ihre Codes zu optimieren. JEDI erreichte auf der Green500-Liste (Mai und November 2024) der energieeffizientesten Supercomputer weltweit den ersten Platz, was darauf hindeutet, dass JUPITER ein sehr energieeffizientes System sein wird. Das zweite JUPITER-Modul mit dem Namen „JUPITER Exascale Transition Instrument“ (JETI) stieg im November 2024 auf Platz 18 in die TOP500-Liste ein und belegte Platz 6 der Green500-Liste. Die JUPITER Benchmark Suite, die auf echten wissenschaftlichen Anwendungen basiert und ein wichtiges Element des Beschaffungsprozesses ist, wurde im technischen Programm der SC24-Konferenz vorgestellt.

Die „Jülich UNified Infrastructure for Quantum Computing“ (JUNIQ) erhielt 2024 zwei wichtige Ergänzungen: Der 100-Qubit-Quantencomputer von Pasqal wurde im Rahmen des von EuroHPC-JU geförderten Projekts HPCQS geliefert. Außerdem ist der „IQM Spark“-Quantencomputer des deutsch-finnischen Herstellers IQM Quantum Computers am JSC eingetroffen. Die Installation der Pasqal-Quantensimulatoren begann im Herbst 2024, und das IQM-Spark-System wurde im Dezember 2024 in Betrieb genommen. Beide Quantencomputer werden mit dem Supercomputer JURECA-DC gekoppelt werden, womit die Modulare Supercomputing Architektur umgesetzt wird. Darüber hinaus wurde der D-Wave-Quanten-Annealer JUPSI gekauft,

der seit 2022 als Teil von JUNIQ in Betrieb ist, um vollständigen Zugriff auf alle Aspekte des Advantage-Quantencomputers zu erhalten, einschließlich der Möglichkeit, Systemparameter zu ändern und das System auf eine Weise zu integrieren, die den Kunden bisher nicht zur Verfügung stand. Zudem wurde 2024 bekannt gegeben, dass zwei weitere Systeme Teil von JUNIQ werden. Eines davon ist ein auf Ionenfallen basierender Quantencomputer des in Siegen ansässigen Start-ups eleQtron, der durch das vom MKW NRW geförderte EPIQ-Projekt finanziert wird. Das andere ist ein Quantencomputer basierend auf Halbleiter-Qubits, der aus einer kürzlich begonnenen Partnerschaft mit ARQUE Systems hervorgegangen ist.

Die Karlsruhe Nano Micro Facility (KNMFi) ist eine LK1 Forschungsinfrastruktur, die exzellente Materialforschung innerhalb von Helmholtz Information ermöglicht, indem es eine High-End-Plattform für modernste Materialstrukturierungs-, Charakterisierungs- und datengesteuerte Technologien und Expertise für ein breites Spektrum an Anwendungen bereitstellt. KNMFi bediente im Zeitraum 2023/2024 sechs Helmholtz-Einrichtungen, mehr als 30 KIT-Institute sowie Technologieinitiativen wie die Exzellenzcluster POLiS und 3DMM2O. KNMFi ist auch Partner für die Forschungsinfrastruktur im Helmholtz Joint Lab MDMC und auf europäischer Ebene für die NFFA European Pilot Infrastructure.

Das Ernst Ruska-Centrum (ER-C) leitet die europäische verteilte Forschungsinfrastruktur für fortschrittlichste Elektronenmikroskopie (e-DREAM), die ein aktiver Partner im Rahmen der analytischen Forschungsinfrastrukturen in Europa (ARIE) ist. Über e-DREAM steht das ER-C in Kontakt mit politischen Entscheidungsträgern, die an der Entwicklung von Forschungsinfrastrukturen in Japan, Australien, den USA und Kanada arbeiten. Auf der Grundlage dieser Initiative koordiniert das ER-C auch das Projekt HORIZON-INFRA-2023-SERV-01 „Research Infrastructure Access in Nanoscience & nanotechnology“ (RIANA). RIANA schließt sich sieben europäischen Netzwerken von Spitzen-RIs an, um die fortschrittlichsten Techniken abzudecken, die für die Nanofabrikation, Verarbeitung/Synthese, Charakterisierung und Analytik sowie Simulationskapazitäten relevant sind. Der hochgradig maßgeschneiderte und effiziente Zugang zu 69 Infrastrukturen wird über eine zentrale Anlaufstelle koordiniert und durch einen umfassenden Wissenschafts- und Innovationsservice von erfahrenen Wissenschaftlern, Anlagenexperten und hochqualifizierten Nachwuchswissenschaftlern ermöglicht. Gemeinsam mit Interessenvertretern aus der Nano-Community realisiert RIANA die Möglichkeit, Zugang zu zusätzlichen Infrastrukturen in und sogar außerhalb Europas zu bieten, und den wissenschaftlichen Service durch zusätzlich spezialisierte Nachwuchswissenschaftler zu verbessern. Auf der Grundlage der vierjährigen Erfahrung wird das RIANA-Konsortium eine Roadmap für die Zukunft der Nanowissenschaft und Nanotechnologie an europäischen RIs entwickeln.

5 Erfolgsindikatoren

	Einheit	2020	2021	2022	2023	2024	Veränderung 2024 zu 2023 absolut	Veränderung 2024 zu 2023 prozentual
WoS-, SCOPUS oder Open Research Europe indexierte Publikationen	Anzahl	2.106	2.637	2.506	2.317	2.130	-187	-8%
... davon Open-Access-Publikationen	Anzahl	1.442	2.297	2.202	1.959			
Andere referierte Publikationen	Anzahl	148	134	130	196	171	-25	-13%
Drittmittelerträge	TEUR	106.536	111.346	123.493	153.166	153.978	811	1%
Abgeschlossene betreute Promotionen	Anzahl	163	179	179	203	197	-6	-3%
Postdocs	Anzahl	393	417	420	437	436	-1	0%
Nachwuchsgruppen	Anzahl	19	18	20	19	19	0	0%
Ausgewählte koordinierte, nationale und intern. Förderprogramme	Anzahl	140	182	195	187	168	-19	-10%
Kooperationen mit der Wirtschaft und externen nichtwissenschaftlichen Institutionen, öffentlich oder privat finanziert	Anzahl	162	249	291	286	300	14	5%
Ausgründungen (Spin-offs) und kompetenzbasierte Gründungen (Start-ups)	Anzahl	1	4	6	4	5	1	25%
Wissenstransferaktivitäten	FTE/Mio. EUR	4	35	36	39	48	9	22%
Kapazität der grundfinanzierten Wissenschaftler	PJ	920	1.028	906	959	1.093	135	14%
Kapazität der drittmittel-finanzierten Wissenschaftler	PJ	450	463	633	640	567	30	-11%
Summe Wissenschaftler	PJ	1.370	1.491	1.540	1.599	1.660	61	4%

Kommentierungen zu den dargestellten Erfolgsindikatoren:

Publikationen:

Die Anzahl der WoS-, SCOPUS- oder Open Research Europe indexierten Publikationen ist um 8 % zurückgegangen. Wir gehen davon aus, dass die Anzahl der Publikationen in 2024 wieder ansteigen und sich im üblichen Rahmen bewegen wird, da in den letzten Jahren gezeigt wurde, dass es bei der Erfassung von Publikationen immer wieder zu Verzögerungen oder verspäteten Einreichungen gekommen ist. Die Zahl der Open-Access-Publikationen für 2024 wird im Bericht des Folgejahres ausgewiesen, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass Publikationen Sperrfristen von bis zu einem Jahr unterliegen. Die dargestellten Veränderungen beziehen sich auf 2023 im Vergleich zu 2022. Der Anteil der Open-Access-Publikationen liegt mit ca. 85 % aller Publikationen weiterhin hoch.

Drittmittelerträge:

Im Jahr 2024 konnte das hohe Niveau der Drittmittelerträge erneut gehalten werden, mit einem Anstieg von rund 1% im Vergleich zum Vorjahr. Dieser Anstieg setzt die positive Entwicklung fort, die bereits seit mehreren Jahren zu beobachten ist. Über die letzten Jahre hinweg konnte das Niveau der Erträge trotz gewisser Schwankungen konstant gesteigert werden.

Abgeschlossene Promotionen:

Die Anzahl der abgeschlossenen Promotionen im Jahr 2024 war leicht rückläufig im Vergleich zum Vorjahr, aber der Rückgang ist gering und innerhalb des zu erwartenden Rahmens. Die Zahlen insgesamt bleiben relativ konstant und befinden sich auf einem stabilen Niveau, was darauf hindeutet, dass die Promotionen über die Jahre hinweg kontinuierlich durchgeführt werden, ohne größere Schwankungen.

Grundfinanzierte Wissenschaftler:innen:

Die Kapazität der grundfinanzierten Wissenschaftler (PJ) zeigt für 2024 einen Anstieg von etwa 14 % im Vergleich zu 2023, was im Rahmen üblicher Schwankungen liegt. Diese Zahlen basieren auf einer kostenrechnerisch ermittelten Größe, die auch Drittmittelерträge berücksichtigt, und spiegeln nicht direkt die reale Verteilung wider.

Drittmittel-finanzierte Wissenschaftler:innen:

Nach einem Anstieg in 2022 und 2023 ist die Zahl der drittmittel-finanzierten Wissenschaftler 2024 um 11 % gesunken. Die Zahl der Personenjahre (PJ) ist eine kostenrechnerisch ermittelte Größe, die Drittmittelерträge berücksichtigt und nicht direkt die reale Verteilung widerspiegelt.

III. Helmholtz Matter: Bericht des Koordinators an den Senat

Koordinator: Prof. Dr. Sebastian Schmidt (HZDR)

Beteiligte Helmholtz-Zentren: DESY, FZJ, GSI, HZB, HZDR, Hereon, KIT

0. Präambel

Der vorliegende Fortschrittsbericht des Koordinators des Forschungsbereichs Materie (Koordinatorenbericht Materie) ist das Dachpapier für die Fortschrittsberichterstattung der drei Programme des Forschungsbereichs Materie. Neben den regelmäßigen Berichten über den Fortschritt der Aktivitäten des Forschungsbereichs Materie soll auch auf Highlights und besondere Vorkommnisse des Jahres 2024 eingegangen werden sowie kurz über die Fortschritte bei der Erreichung der Senatsempfehlungen und der forschungspolitischen Ziele berichtet werden.

Die forschungspolitischen Ziele bildeten den Ausgangspunkt und den Rahmen für die Ausgestaltung der drei Programme des Forschungsbereichs Materie für die vierte Programmperiode der Helmholtz-Gemeinschaft. Der vorliegende Bericht greift daher die übergeordneten forschungspolitischen Ziele im Forschungsbereich Materie auf und stellt das Erreichte dar. Weitere Ergebnisse zu übergreifenden Zielen der Helmholtz-Gemeinschaft werden im Bericht zum „Pakt für Forschung“ dargelegt. Programmspezifische Ergebnisse finden sich in den entsprechenden Fortschrittsberichten der drei Programme des Forschungsbereichs Materie (Programmfortschrittsberichte).

Die Gliederung des vorliegenden Fortschrittsberichts Materie stellt sich wie folgt dar:

In Kapitel 1 wird der Forschungsbereich kurz vorgestellt und auf aktuelle Entwicklungen Bezug genommen. In Kapitel 2 wird der Stand der Umsetzung der programmübergreifenden Senatsempfehlungen und der spezifischen forschungsbereichsweiten forschungspolitischen Ziele dargelegt.

In Kapitel 3 und 4 werden die Entwicklungen im Rahmen der programmübergreifenden Aktivitäten und die strategischen Themen (die aus Sicht des Senats der Helmholtz-Gemeinschaft von herausragender Bedeutung sind) beschrieben. Beide Kapitel greifen die forschungspolitischen Ziele zu strukturellen Themen und gemeinsamen Initiativen des Forschungsbereichs zu übergreifenden Aktivitäten direkt auf, beispielsweise mit Talentmanagement, Vernetzung, Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft, Drittmittelwerbung und den Forschungsinfrastrukturen.

In Kapitel 5 werden die wissenschaftsadäquaten Kennzahlen ausgewiesen, die den Fortschritt anhand von Schlüsselparametern quantifizieren.

Im Anschluss wird im Anhang zum aktuellen Stand der mit dem Forschungsbereich Materie assoziierten internationalen Forschungsinfrastrukturen European XFEL und FAIR vor dem Hintergrund der ursprünglichen forschungspolitischen Ziele berichtet.

1. Der Forschungsbereich im Überblick

Die Erforschung der Materie reicht von der Untersuchung ihrer Grundbausteine und den fundamentalen Kräften über die Erforschung der kosmologischen Entwicklung des Universums bis hin zur Entschlüsselung der Struktur von neuen Materialien und Wirkstoffen sowie den Prozessen in Nanosystemen und in großen Ensembles von Atomen und Molekülen. Der Forschungsbereich Materie erfordert eine komplexe Wissenschaftsinfrastruktur sowie wissenschaftliche Großgeräte, die im Rahmen großer, themenübergreifender, in vielen Fällen internationaler Projekte konzipiert, gebaut und betrieben werden. Seit der dritten Periode der Programmorientierten Förderung (PoF) ist der Forschungsbereich Materie in einer Struktur aufgestellt, die sich an Forschungsthemen orientiert. Daher werden die Forschungsaktivitäten in drei interdisziplinären Programmen koordiniert: Materie und Universum (MU), Materie und Technologien (MT) und Von Materie zu Materialien und Leben (MML). Neben der Forschung (LK I) zu diesen Programmen ist der Bau und Betrieb von Großgeräten (LK II) als nationale und internationale Forschungsinfrastrukturen eine zentrale Aufgabe des Forschungsbereichs.

In PoF IV sind die am Forschungsbereich Materie beteiligten Zentren das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY, das Forschungszentrum Jülich (FZJ), das GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung mit seinen beiden Helmholtz-Instituten in Mainz (HI Mainz) und Jena (HI Jena), das Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB), das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR), das Helmholtz-Zentrum Hereon und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

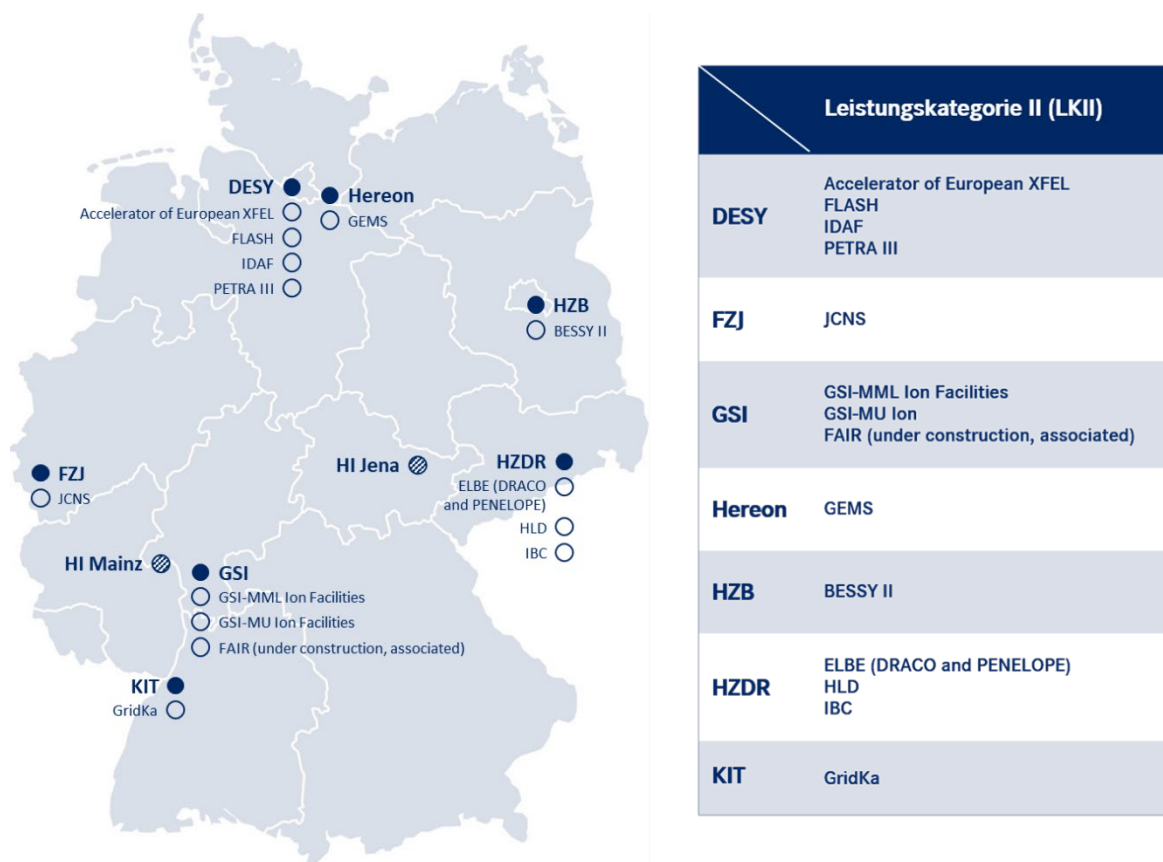


Abbildung 1: Die Helmholtz-Zentren (●), Helmholtz-Institute (◐) und LK II-Forschungsinfrastrukturen (○) sowie die assoziierten Forschungsinfrastrukturen des Forschungsbereichs Materie in PoF IV

Das Programm MU verbindet die Kompetenzen der Elementarteilchenphysik, Astroteilchenphysik, Physik der Hadronen und Kerne sowie der Plasmaphysik, um Antworten auf fundamentale Fragen im Verständnis des Quantenuniversums zu finden. Das Programm MT vereint technologische Kompetenzen der verschiedenen Helmholtz-Zentren und bildet die Grundlage zur Erarbeitung einer kohärenten Strategie für die Erforschung und Entwicklung neuer Beschleuniger- und Detektortechnologien, sowie neuer Datenmanagement-Systeme. Das Programm MML widmet sich der Analyse und Kontrolle der Struktur, Dynamik und Funktion von Materie und Materialien unter Nutzung großer Forschungsinfrastrukturen in enger Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen und industriellen Nutzer:innen.

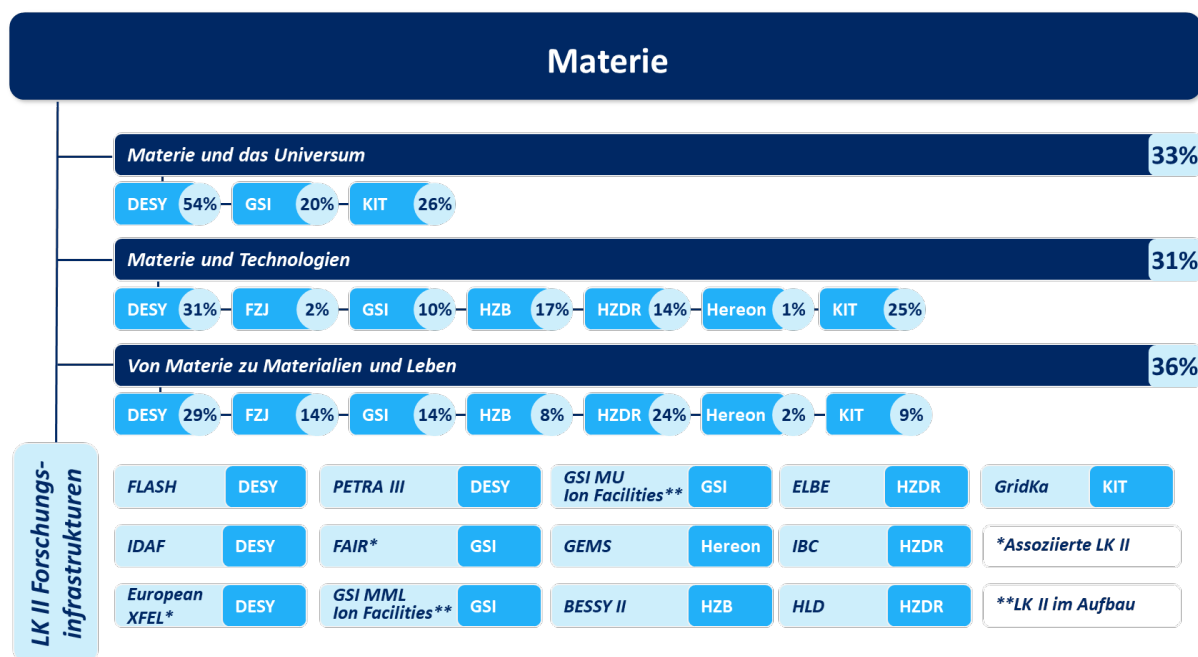


Abbildung 2: Schematische Übersicht der Struktur des Forschungsbereichs Materie mit seinen drei Programmen und den LK II-Forschungsinfrastrukturen. Prozentzahlen: Beiträge (Programmanteile) der Forschungszentren an den Programmen auf Grundlage der über die vierten Programmperiode gemittelten Vollkosten laut Plan

1.1. Neuigkeiten aus dem Forschungsbereich und seinen Gremien

Das Management Board des Forschungsbereichs Materie traf sich 2024 zu insgesamt vier virtuellen Sitzungen. Eines der wichtigsten Themen in den Sitzungen war der Strategieprozess im Forschungsbereich, der parallel zu den Strategieprozessen in den Zentren und der Helmholtz-Gemeinschaft durchlaufen wurde. Die erarbeiteten Strategien legen zusammen das Fundament für die nächste (fünfte) Periode der Programmorientierten Förderung. Besonderes Augenmerk wurde in den Überlegungen auf strukturelle Verschiebungen und Änderungen in der Organisation des Forschungsbereichs gelegt, auf (forschungsbereichsübergreifenden) Querschnittsthemen, die Helmholtz-Roadmap für Forschungsinfrastrukturen, sowie auf die neue personelle Aufstellung der Sprecherrollen der Programme und Topics.

Parallel zur den oben erwähnten Erarbeitungen von neuen Strategien waren alle Zentren des Forschungsbereichs intensiv mit den Vorbereitungen für die Anfang bis Mitte 2025 anstehenden wissenschaftlichen Begutachtungen der sieben Materie-Zentren beschäftigt. Dazu wurden umfangreiche Statusberichte erstellt, die das wissenschaftliche und strategisch Erreichte der

letzten dreieinhalb Jahre (also der laufenden PoF-Periode) darlegen. Die Statusberichte wurden den jeweiligen internationalen Gutachtergremien zur Verfügung gestellt, um eine fundierte Bewertung der Arbeit der Zentren vornehmen zu können.

Der Lenkungsausschuss Materie als wichtige Austauschplattform der Wissenschaftler:innen des Forschungsbereichs mit dem Management Board, allen Programm- und Topic-Sprecher:innen, deren Vertretungen sowie dem Coordination Board kam zu einer virtuellen Sitzung am 26.04.2024 zusammen. In der Sitzung wurde wertvoller Input *bottom-up* für die laufenden Strategieprozesse eingebracht und die wissenschaftlichen Begutachtungen mit vorbereitet.

Die Mitglieder der Forschungsbereichsplattform Materie fanden im Jahr 2024 am 03.04. (virtuell), am 06.05. (virtuell) und am 23.09. (im BMBF in Bonn) zu gemeinsamen Sitzungen zusammen. Die Forschungsbereichsplattform als Austauschorgan vom wissenschaftlichen Management und Zuwendungsgebern behandelten als Themen die strategischen Vorbereitungen des Forschungsbereich Materie für die nächste PoF-Periode, die Aktualisierungen der Helmholtz-Roadmap, sowie die Nachhaltung der Forschungspolitischen Ziele von PoF IV. Zudem wurde mit der Erarbeitung der Forschungspolitischen Ziele für PoF V begonnen und intensiv über die Infrastrukturplanungen des Forschungsbereichs diskutiert. In das vom BMBF initiierte Verfahren zur Priorisierung umfangreicher Forschungsinfrastrukturen hat der Forschungsbereich Materie sechs Interessensbekundungen eingereicht (dazu kommen acht weitere Projekte der anderen Helmholtz Forschungsbereiche).

Die Forschungsbereichsplattform beschloss darüber hinaus die Förderung zwölf neuer Projekte aus dem Innovationspool Materie ab Januar 2025: BONSAI (Oberflächenforschung mit Beschleunigeranwendung), CosmicEarth (Satelliteninstrumentierung für Klimaforschung, CryoGrav (Technologie für Gravitationswellen-Detektion), Ellipse (Large Language Model in der Physik), FISVIR (Virenforschung mit Großgeräten), HeLFEN (Laserfusionsforschungsnetzwerk), MATHIPE (Hochdruckforschung Materialien), MultiGrav (Multi-Messenger-Astronomie), NEXUS-AQ (Wasserforschung), QS4Physics (Quantum Sensing), SOPHIE (Detektorelektronik) und Structured Light (Laserentwicklung).

Der Strategische Beirat Materie kam am 22.-24.05.2024 am HZDR in Dresden zusammen. Besonderes Augenmerk der Sitzung lag auf den Themen Bewertung der Zielerreichung der Forschungspolitischen Ziele für PoF IV zur Halbzeit der laufenden PoF-Periode. Der SAB bescheinigte dem Forschungsbereich Materie durchweg eine sehr erfolgreiche Entwicklung und sah ihn auf dem Wege der Zielerreichung gut voranschreiten.

Zum 01.01.2025 wechselte die Koordination des Forschungsbereichs Materie von Helmut Dosch (DESY) zu Sebastian Schmidt (HZDR), der diese Aufgabe die nächsten zwei Jahre übernimmt.

Die drei Programme des Forschungsbereich Materie haben ihre wissenschaftliche Arbeit 2024 weitgehend planmäßig fortgesetzt. Es besteht jedoch zunehmend das Risiko, dass in den kommenden Jahren Mittel für die Erreichung der wissenschaftlichen und strategischen Ziele fehlen werden. Aufgrund der hohen Inflation, der gestiegener Energiekosten, Lieferschwierigkeiten und Preisexplosionen bei kritischen Produkten sowie der anstehenden Tarifsteigerungen im öffentlichen Dienst sind die Zentren derzeit in einer schwierigen finanziellen Situation. Obwohl die Zentren in den zurückliegenden Monaten vorsichtig gewirtschaftet haben, sind kurz- und langfristige Auswirkungen auf die Wissenschaft und die Mitarbeitenden absehbar. Das betrifft den Bereich der zeitlich befristeten Stellen, insbesondere die Positionen für Doktoranden und Postdoktoranden, der bedauerlicherweise stark von den erforderlichen Sparmaßnahmen betroffen ist und in den Grundhaushalten deutlich reduziert werden musste. In

einigen Zentren des Forschungsbereichs mussten aufgrund fehlender Ressourcen zudem Bau- und Forschungsvorhaben annulliert werden, mit Konsequenzen für die strategische Aufstellung für die nächste Periode der Programmorientierten Förderung.

2. Stand der Umsetzung der Senatsempfehlungen und der Forschungspolitischen Ziele

Es folgt ein kurzer Bericht zum Stand der Umsetzung der programmübergreifenden Senatsempfehlungen sowie von spezifischen forschungsbereichsweiten Forschungspolitischen Zielen. Über die Umsetzung der Empfehlungen und Ziele zu den einzelnen wissenschaftlichen Programmen (LK I) und den zugehörigen Forschungsinfrastrukturen (LK II) wird in den entsprechenden Programmfortschrittsberichten informiert.

2.1. Programmübergreifende Senatsempfehlungen

Offen bleiben für neue Forschungslinien und neue Themen

Der Forschungsbereich Materie und seine Zentren sind an nationalen, europäischen und internationalen Strategieprozessen aktiv beteiligt. So wurden z.B. in den Bereichen der Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik (European Strategy, US „Decadal Survey on Astronomy and Astrophysics“ und „Snowmass P5“-Prozesse) an Strategieprozessen mitgewirkt oder es wurden in den jeweiligen wissenschaftlichen Communities White Paper verfasst (White Paper Quantencomputing (arxiv: 2307.03236) und White Paper Strahlenforschung (doi:10.15120/GSI-2023-00685)). Im Bereich Photon Science sind mehrere Zentren Mitglied des europäischen LEAPS-Konsortiums, das ein europäisches Strategie-Dokument (ESAPS 2022) der europäischen Kommission vorgestellt hat. Die Forschung zu Quantentechnologien (u.a. Quanten-Computing, Quanten-Materialien und Quanten-Sensoren) rückt immer stärker in den Fokus und wird Helmholtz-weit in der strategischen Plattform Helmholtz-Quantum organisiert. Im Bereich der Elementarteilchenphysik hat der Aktualisierungsprozess für die europäische Strategie für Teilchenphysik unter der Federführung des CERN begonnen. Hier sind insbesondere die Fragen nach einem zukünftigen Collider nach dem LHC und nach der Rolle der nationalen Labore für den Erhalt der wissenschaftlichen Vielfalt in diesem Bereich von Bedeutung. Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler des Forschungsbereichs Materie sind an zentralen Stellen in diesen Prozess eingebunden.

Eine erfolgreiche Initiative, an der der Forschungsbereich Materie maßgeblich beteiligt ist, ist die geplante Gründung des Deutschen Zentrum für Astrophysik (DZA), welches durch das „Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen“ in der sächsischen Lausitz gebaut werden soll. Das DZA wird Grundlagenforschung mit internationaler Strahlkraft betreiben, ressourcensparende Digitalisierung vorantreiben und neue Technologien entwickeln und damit wirtschaftliche Perspektiven über die Wissenschaft hinaus in die Regionen tragen. Das Projektbüro ist bei DESY; designierter Gründungsdirektor ist Günther Hasinger.

Die Zentren des Forschungsbereichs Materie erarbeiteten im Jahr 2024 ihre Zentrenstrategien wie auch die gemeinsame Strategie des Forschungsbereichs. Die Strategieprozesse führen oft zu den in der Folge vom Innovationspool geförderten Wegbereiter Projekte. Der Innovationspool stellt somit gewissermaßen ein Bindeglied zwischen den einzelnen PoF-Perioden dar, mit dem man neu aufkeimende Fragestellungen oder technologische Innovationen in die kontinuierliche Gestaltung der programmorientierten Forschung integrieren kann.

Der Innovationspool des Forschungsbereichs Materie ist ein effizientes Werkzeug, um neu aufkommende, strategisch wichtige Wegbereiter Projekte zu bearbeiten. Der Innovationspool ermöglicht, auf gesellschaftlich relevante Themen zu reagieren und meist stark interdisziplinäre und innovative Aktivitäten außerhalb der (langjährig geplanten) programmorientierten Förderung zu finanzieren. Dabei stehen programm- und forschungsbereichsübergreifende Projekte im Vordergrund. Im Jahr 2024 wurde über insgesamt zwölf neue Projekte entschieden, die zum 01.01.2025 starten. Der Innovationspool speist sich aus 1% der LK I-Mittel aller Zentren und aus zusätzlichen Eigenmitteln der Zentren (für 2024 in Summe ca. 4,5 Mio. Euro).

Aktuelle Forschungsthemen und -ideen werden zudem – in den meisten Fällen als Kooperation mehrerer Helmholtz-Zentren - als Projektvorschläge für die Helmholtz Roadmap erarbeitet. In das vom BMBF initiierte Verfahren zur Priorisierung umfangreicher Forschungsinfrastrukturen hat der Forschungsbereich Materie insgesamt sechs (von ca. 60) Interessensbekundungen eingereicht (dazu kommen acht weitere Projekte der anderen Helmholtz Forschungsbereiche).

Konkrete neue Projekte und Initiativen werden u.a. in Kapitel 4.4 *Drittmittelinwerbung* vorgestellt.

Attraktiv sein für junge und aufstrebende Wissenschaftler:innen, sowie eine Vorbildfunktion übernehmen für durchschlagende Maßnahmen im Umgang mit der gesellschaftlichen Vielfalt

Der Forschungsbereich Materie strebt nachhaltige Personalentwicklung sowie eine diverse und inklusive Belegschaft in seinen Zentren an. Entsprechende Ziele und Maßnahmen sind in den Strategien der Zentren und des Forschungsbereichs detailliert aufgeführt. Darüber hinaus arbeiten in einer Forschungsbereich Materie-weiten Arbeitsgruppe Fachexpert:innen aller Zentren zusammen. Diese tauschen sich über den Status Quo in den Zentren aus und entwickeln Impulse für mögliche neue Maßnahmen. Ein Konzeptpapier *Talentmanagement für den Forschungsbereich Materie: Bestandaufnahme und Empfehlungen für die Zukunft* wurde von der Arbeitsgruppe in den Gremien des Forschungsbereichs vorgestellt und diskutiert.

Der Großteil aller Maßnahmen an den Zentren richtet sich auf die Entwicklung von Studierenden, Promovierenden und Nachwuchswissenschaftler:innen. Es werden aber auch allgemeinere Initiativen und Maßnahmen umgesetzt, z.B. die Konzeption einer Arbeitgebermarke (Employer Branding), das Zertifikat „berufundfamilie“, die Unterzeichnung der Charta der Vielfalt / Diversitätssiegel oder Onboardingprozesse für neue Mitarbeiter:innen. Daneben haben alle Zentren des Forschungsbereichs Materie zur Erhöhung der Diversität der Belegschaft eigene Gleichstellungspläne verfasst, die regelmäßig evaluiert und aktualisiert werden. Die darin festgehaltenen Maßnahmen sind sehr konkret formuliert und leisten einen wichtigen Beitrag zur Gleichstellung der Geschlechter an den Zentren. In der Helmholtz-Gemeinschaft und im Forschungsbereich werden auch konkrete Maßnahmen zur Frauenförderung umgesetzt, wie die gezielte Berufung von exzellenten Wissenschaftlerinnen auf W2- und W3-Professuren

Für eine detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 2 zum Forschungspolitischen Ziel *Talentmanagement*. Highlights der genannten Maßnahmen für das Berichtsjahr 2024 sind im Kapitel 4.1 *Talentmanagement* zusammengefasst.

Industriekontakte innerhalb der verschiedenen Projekte konkret implementieren

Im Forschungsbereich Materie wird der Bereich *Innovation und Transfer* auf Zentren-Ebene organisiert. Jedes Zentrum arbeitet mit einer eigenen Transferstrategie und besitzt Stabsstellen wie z.B. *Industrial Liaison Officers* (ILO), *Chief Technical Officers* (CTO) oder ganze Transfer-Abteilungen. Diese Einheiten sind substantiell mit Ressourcen hinterlegt (zwischen 10 und

33 FTE in den Zentren des Forschungsbereichs). Sie bieten für konkrete Forschungsprojekte Hilfestellung, Transferaspekte schon bei der Antragstellung zu berücksichtigen und Industriekontakte als Kooperationspartner für die Projekte zu vermitteln. Für den wissenschaftlichen Nachwuchs gibt es eine Reihe von *Helmholtz Transfer Akademien*, die größtenteils Zentrenübergreifend arbeiten: InnoSuper (FZJ, GFZ, HZDR, KIT), HAFIS (KIT, FZJ, GSI, HZDR), Future Innovators (DLR, DESY), HZDR Innovators School (HZDR), CAROTS Start-Up School (DESY, Hereon) und Hereon Innovation Lab (Hereon). Die Akademien vermitteln niederschwellig die Grundlagen von Wissens- und Technologietransfer, aber auch Teamführungs-kompetenzen und Hilfestellung in rechtlichen Fragen und fördern so die Grundlage für konkrete Industriekontakte.

Die leitenden Transferexpert:innen der Zentren arbeiten in einer Forschungsbereichs-weiten Arbeitsgruppe *Innovation* zusammen. Diese hat ein Papier *Eckpunkte des Forschungsbereichs Materie im Bereich Innovation 2021 – 2027 (PoF IV)* erarbeitet und in den Gremien des Forschungsbereichs diskutiert. Darüber hinaus hat die Helmholtz Gemeinschaft auch eine zentrale, übergreifende Transferstrategie, die den Rahmen für die Aktivitäten im Forschungsbereich und den Zentren setzt.

Ein Leuchtturmprojekt für den Technologietransfer im Forschungsbereich Materie ist die Helmholtz-Innovationsplattform für beschleunigerbasierte Technologien und Lösungen Hi-Acts (siehe Kapitel 3.3). Die Betreiber dieser Plattform DESY, GSI, Hereon, HZB und HZDR haben sich zum Ziel gesetzt, Beschleunigertechnologien über Hi-Acts gemeinsam weiteren Bereichen der Gesellschaft zugänglich zu machen. Dabei stehen die Vertiefung bestehender und die Anbahnung neuer Industriekontakte im Fokus.

Eine detaillierte Beschreibung von erfolgreichen Transfermaßnahmen des Jahres 2024 sind in den Kapiteln 4.2 *Vernetzung und Kooperation* und 4.3 *Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft* zu finden.

Die Koordination der Forschungsgemeinschaft in Deutschland stärken und verstärkt übernehmen, um die Ziele der Helmholtz-Gemeinschaft (auch in den Bereichen Gesundheit, Energie usw.) zu fördern

Die großen Forschungsinfrastrukturen der Zentren des Forschungsbereichs Materie sind Kernelement der nationalen und internationalen Vernetzung mit Universitäten, anderen außeruniversitären Forschungseinrichtungen oder Industriepartnern. Die Infrastrukturen stehen einer Vielzahl von akademischen und nicht-akademischen Nutzern aller Fachrichtungen für ihre Forschung zur Verfügung und bilden mit den vielseitigen Messmöglichkeiten auch Kondensationspunkte in der Strategieentwicklung von Wissenschaftseinrichtungen.

Für den Forschungsbereich Materie spielen auch die Cross-Cutting Activities eine wichtige Rolle, die die Zusammenarbeit des innerhalb des Forschungsbereichs (und darüber hinaus) in fünf zentralen strategisch wichtigen Querschnittsthemen organisieren. Zudem beteiligt sich der Forschungsbereich aktiv an verschiedenen Strategieprozessen. Dazu zählen die Digitalisierungsstrategie, Quantenstrategie, Materialforschungsstrategie, die Helmholtz Photon Science Roadmap und das Gesamteuropäische Strategiedokument für Photonenquellen, die White Paper Strahlenforschung und Quantencomputing.

Die Zentren des Forschungsbereichs Materie sind Gründer und/oder Mitglied von einer Reihe von nationalen und internationalen Zusammenschlüssen. Darunter fallen die *League of European Accelerator-based Photon Sources* (LEAPS), die *League of Advanced European Neutron Sources* (LENS), die *Astroparticle Physics European Consortium* (APPEC), die *European*

Strategy for Particle Physics (ESPP), die *European Low Energy accelerator-based Neutron facility Association* (ELENA) und die European Magnetic Field Laboratory (EMFL). Mitglieder des Forschungsbereich Materie besetzen zudem zentrale Management- und Beratungspositionen (oder andere Schlüsselpositionen) in den Komitees/Organisationen KFN, KET, KAT, KHuK, ErUM-Data, NFDI, ECFA Detector Roadmap, Future Colliders Forum, APPEC, NuP-PEC, ICFA, IUPAP-C4, P5. Aufgrund dieser Positionen und des Einflusses der wissenschaftlichen Beiträge des Forschungsbereich Materie ist die konstitutive Gestaltung der Forschungslandschaft gewährleistet.

Schließlich sollen - angesichts der Entwicklung in der Informatik und der Datenwissenschaft, die sich auf alle Facetten der Wissenschaftsprogramme auswirkt und wertvolle Synergien zwischen den Forschungszentren und den Einrichtungen schafft – die Planung und Bereitstellung ausreichender Ressourcen für die Datenverarbeitung und -berechnung vorangetrieben werden

Datenmanagement und -analyse sind im Forschungsbereich Materie zentral im Topic MT-DMA verankert. Ein weiterer Baustein ist die Cross-Cutting Activity *Information and Data Management*, die in Zusammenarbeit mit den Forschungsbereich Information Synergien hebt. Als Helmholtz-weite Aktivitäten sind die (auch von Zentren des Forschungsbereichs Materie koordinierten) Helmholtz Inkubatorplattformen Helmholtz.AI, Helmholtz Federated IT Services (HIFIS), Helmholtz Metadata Collaboration (HMC), Helmholtz Imaging und Helmholtz-Data Federation (HDF) zu nennen, sowie die Helmholtz Information & Data Science Academy (HIDA) mit ihren Schools für Promovierende und Postdocs. Die Helmholtz Inkubatorplattformen, die teilweise auch von externen Partnerorganisationen genutzt werden können, wurden 2023 alle positiv evaluiert und verlängert. Als verbindendes und strukturgebendes Element setzt eine forschungsbereichsweite Digitalisierungsstrategie den organisatorischen und wissenschaftlichen Rahmen in Helmholtz.

Als Forschungsinfrastrukturen für Datenmanagement und -analyse betreibt der Forschungsbereich Materie IDAF (DESY), GridKA (KIT) und den Green IT Cube (GSI). Zudem wurde ein Update des Grid-Computing für den High-Luminosity LHC auf der Helmholtz Roadmap vorgeschlagen, um die Kapazitäten zu erhöhen, die im High-Luminosity-Betrieb des LHC notwendig sind. Am HZDR wurde ein neues HPC Rechenzentrum eröffnet.

Auch strukturell setzt der Forschungsbereich auf eine Stärkung des Datenmanagements und -analyse. So soll das polnisch-deutsche HZDR Forschungszentrum für datenintensive Systemforschung in Görlitz (Center for Advanced System Understanding, CASUS) künftig an MT-DMA assoziiert werden, auch wenn die eigentliche, offizielle Eingliederung in die Helmholtz-Gemeinschaft erst in 15 Jahren erfolgt. Zudem hat das KIT mittelfristig eine Beteiligung an MT-DMA beschlossen (zu PoF V), womit dann alle Zentren des Forschungsbereichs Materie an MT-DMA beteiligt sein würden.

Eine halbjährliche Erhebung des Forschungsbereich Materie des personellen, technischen und finanziellen Bedarfs für die Digitalisierung und Automatisierung seiner Beamlines an den Forschungsinfrastrukturen zeigt allerdings, dass eine weitere Steigerung der Zahl an *remote*-, *mail-in*- und *staff-assisted*-Experimenten nicht ohne neue Investitionen erreicht werden kann. Bei den Nutzer:innen scheint insbesondere die Möglichkeit für Experimente im *hybrid*- und *remote*-Modus an den Forschungsinfrastrukturen attraktiv zu sein. Ein Pilotprojekt der Zentren DESY, HZB, HZDR und KIT für eine Umstellung auf einen ferngesteuerten, automatisierten Messbetrieb ist die in Kapitel 3.3 vorgestellte Demonstrator Beamline ROCK-IT, die explizit auf KI-Methoden setzt.

Weitere konkrete Projekte, die auf die Umsetzung der Digitalisierungsstrategie des Forschungsbereichs einzahlen und die Entwicklung von Methoden zur Analyse von Big Data oder die Entwicklung von digitalen Zwillingen thematisieren, sind u.a. in Kapitel 4.2 Vernetzung und 4.5 Forschungsinfrastrukturen aufgeführt.

2.2. Spezifische forschungsbereichsweite Forschungspolitische Ziele

In den *Forschungspolitischen Ziele des Forschungsbereichs Materie der Helmholtz-Gemeinschaft für die IV. Periode der Programmorientierten Förderung* hat der Forschungsbereich Materie zusammen mit den Zuwendungsgebern wichtige forschungspolitische Ziele für den Forschungsbereich vereinbart, die den Rahmen für die Arbeit der Zentren setzen. Hier wird über die Umsetzung von spezifischen (forschungsbereichsweiten) forschungspolitischen Zielen berichtet.

Die spezifische Innovationsstrategie [...] wird spätestens ein Jahr nach Beginn der PoF-Laufzeit vorgelegt

Die ursprüngliche Vereinbarung in den Forschungspolitischen Zielen, eine eigene Innovationsstrategie für den Forschungsbereich Materie zu verfassen, wurde in einer gemeinsamen Entscheidung von Zuwendungsgebern, Helmholtz-Präsidium und dem Forschungsbereich Materie nachträglich zurückgezogen (vergleiche Protokoll der Forschungsbereichsplattform Materie vom 21.03.2022). Neben den Zentrenstrategien existiert auch eine Helmholtz-weite Transferstrategie, so dass eine weitere Strategie auf der Zwischenebene des Forschungsbereichs als nicht notwendig erachtet wurde. Stattdessen wurde vereinbart, in der Forschungsbereichsplattform Materie regelmäßig und systematisch zu berichten, inwiefern die sieben Forschungspolitischen Ziele zu Transfer und Innovation erreicht werden.

Die Forschungsbereich Materie hat nichtsdestotrotz in der Arbeitsgruppe *Innovation* ein Eckpunktepapier *Eckpunkte des Forschungsbereichs Materie im Bereich Innovation 2021 – 2027 (PoF IV)* erarbeitet und Anfang 2022 vorgelegt, das den Rahmen für die Aktivitäten des Forschungsbereichs setzt und Basis für die oben erwähnte regelmäßige Berichterstattung darstellt (siehe auch Senatsempfehlung *Industriekontakte innerhalb der verschiedenen Projekte konkret implementieren*).

Eine Strategie für den Wissenstransfer und die Öffentlichkeitsarbeit des Forschungsbereichs Materie soll nach zwei Jahren der PoF-Laufzeit vorgelegt [...] werden

Die Arbeitsgruppe *Wissenstransfer und Öffentlichkeitsarbeit* des Forschungsbereichs hat Ende 2022 das Papier *Wissenstransfer und Öffentlichkeitsarbeit des Forschungsbereichs Materie* erarbeitet und auf der Forschungsbereichsplattform Materie am 13.03.2023 vorgestellt. Schwerpunkte der daraus abgeleiteten Aktivitäten sind die Vermittlung von öffentlich zur Verfügung gestellten Forschungsdaten und -software für Experten, aber auch für die breite Öffentlichkeit und für Schüler- und Studierenden-Gruppen in besonders aufbereiteten Formaten. Dadurch werden gesellschaftliche Akteure in die Lage versetzt, fundierte und evidenzbasierte Entscheidungen zu treffen, sich an wissenschaftlichen Dialogen zu beteiligen oder selbst eine wissenschaftliche Karriere zu verfolgen. Darüber hinaus verfolgt Helmholtz Matter den Wissenstransfer auch als Bereicherung für die Gesellschaft, um die Neugier an fundamentalem Wissen zu befriedigen - das Interesse an dem, „was die Welt ... zusammenhält“. Das Webportal matter.helmholtz.de, das jeden einlädt, die Wissenschaft und die Forschungsinfrastrukturen von Helmholtz Materie virtuell zu erleben, konnte kontinuierlich ausgebaut werden. Das Webportal bietet viele Einblicke in die Forschung des Forschungsbereichs, das sich durch

seine besondere Vielfalt an internationalen Kooperationen auszeichnet, die zu einer generellen „Open Access“-Verfügbarkeit von Publikationen, Forschungsdaten, Medien und Software führen. Das Webportal ist der Ausgangspunkt, um verschiedene Forschungsinfrastrukturen virtuell in 360°-Ansichten zu besichtigen, um an öffentlichen Daten internationaler Experimente samt Analysen und Softwaretools teilzunehmen und diese zu nutzen, oder um spezielle Veranstaltungen und praktische Erfahrungen für Studenten und Schulklassen zu finden.

Der Forschungsbereich Materie wird einen Strategiepoo (Materie Forum) im Forschungsbereich einrichten, in den die beteiligten Helmholtz-Zentren im Sinne eines virtuellen Fonds 1% der LK I-Mittel einbringen, um damit im Forschungsbereich gemeinsam festzulegende strategische Aktivitäten zu unterstützen

Der Innovationspool des Forschungsbereichs Materie ist ein zentrales Werkzeug, um strategisch wichtige Wegbereiterprojekte zu unterstützen. Er ermöglicht, auf neu aufkeimende Fragestellungen, technologische Innovationen oder gesellschaftliche Entwicklungen zu reagieren. Die meist stark interdisziplinären und innovativen Aktivitäten im Innovationspool sind außerhalb der (langjährig geplanten) programmorientierten Förderung verortet und stellen gewissermaßen ein Bindeglied zwischen den einzelnen PoF-Perioden dar. Der Innovationspool speist sich aus 1% der LK I-Mittel aller Zentren und zusätzlichen Eigenmitteln (für 2024 in Summe ca. 4,5 Mio. Euro). Die Projektauswahl erfolgt gemeinsam durch das Management der Programme, die Zentrenvorstände und Zuwendungsgeber.

In den zwei bisherigen Ausschreibungsrunden (2019-2020 und 2021-2024) wurden insgesamt 17 Projekte gefördert. Das Kapitel 3.2 stellt die Fortschritte der zehn aktuellen Projekte für das Jahr 2024 dar. Im Jahr 2024 wurde zudem über insgesamt zwölf neue Projekte entschieden, die zum 01.01.2025 starten werden: BONSAI (Oberflächenforschung mit Beschleunigeranwendung), CosmicEarth (Satelliteninstrumentierung für Klimaforschung), CryoGrav (Technologie für Gravitationswellen-Detektion), Ellipse (Large Language Model in der Physik), FISVIR (Virenforschung mit Großgeräten), HeLFEN (Laserfusionsforschungsnetzwerk), MATHIPE (Hochdruckforschung Materialien), MultiGrav (Multi-Messenger-Astronomie), NEXUS-AQ (Wasserforschung), QS4Physics (Quantum Sensing), SOPHIE (Detektorelektronik) und Structured Light (Laserentwicklung).

Das Talentmanagement des Forschungsbereichs Materie muss – eingebettet in die entsprechenden Strategien der Helmholtz-Gemeinschaft – auf allen Ebenen weiterentwickelt und ausgebaut werden. Die erzielten Ergebnisse werden im 2-jährigen Rhythmus in der PoF-Laufzeit auf der Forschungsbereichsplattform Materie diskutiert

Der Forschungsbereich Materie strebt eine nachhaltige Personalentwicklung sowie eine diverse und inklusive Belegschaft in seinen Zentren an. Entsprechende Ziele und dazugehörige Maßnahmen sind in den Strategien der Zentren detailliert aufgeführt. Zuständig für die operative Umsetzung sind dabei die Personalabteilungen an den Zentren oder andere zentrale Einheiten/Stabsstellen (Personalentwicklung, Recruitment, Talentmanagement, Diversitätsmanagement, etc.). Darüber hinaus arbeiten in einer Forschungsbereich Materie-weiten Arbeitsgruppe seit 2021 Fachexpert:innen aller Zentren zusammen. Die Teilnehmenden tauschen sich über Arbeitsstände und den Status Quo in den Zentren aus und entwickeln Impulse für mögliche neue Maßnahmen. Ein erstes Konzeptpapier *Talentmanagement für den Forschungsbereich Materie: Bestandsaufnahme und Empfehlungen für die Zukunft* wurde von der Arbeitsgruppe auf der Forschungsbereichsplattform Materie am 13.03.2023 sowie auf der Sitzung des Strategischen Beirats am 03.05.2023 vorgestellt und intensiv diskutiert. Das Papier liefert eine umfassende Bestandsaufnahme des Zentren-übergreifenden Talentmanagements

im FB Materie und fokussiert mit Vorschlägen auf Maßnahmen insbesondere für Techniker:innen, Ingenieur:innen und Mitarbeiter:innen der IT. Diese Personengruppen standen bisher oft nicht im Fokus der Personalentwicklung, werden aber in Zeiten des stärker werdenden Fachkräftemangels in Konkurrenz mit der freien Wirtschaft für Forschungszentren mit hochkomplexen, technischen Anlagen noch wichtiger. (Die Umsetzung und Koordination neuer Maßnahmen im Forschungsbereich Materie erfordert aber zusätzliche Ressourcen – in den Zentren und auf den übergeordneten Ebenen.)

Der Großteil aller Maßnahmen an den Zentren richtet sich weiterhin auf die Entwicklung von Nachwuchs in der Wissenschaft: Studierende, Promovierende und Postdocs. Hier sind insbesondere die Sommerstudierendenprogramme, Doppelpromotionsstudiengänge, Graduierten- und Postgraduiertenschulen, Austauschprogramme und Maßnahmen zur Führungskräfteentwicklung wie die Helmholtz-Akademie zu nennen.

Allgemeinere Aktivitäten der Zentren beziehen sich auf die Arbeitgebermarke (Employer Branding), das Zertifikat „berufundfamilie“ für zur Stärkung der Vereinbarkeit von Beruf und Familie, die Charta der Vielfalt / Diversitätssiegel oder Onboardingprozesse für neue Mitarbeiter:innen. Daneben haben alle Zentren des Forschungsbereichs Materie zur Förderung der Gleichstellung von Frauen und Männern in der Belegschaft einen Gleichstellungsplan verfasst, der regelmäßig evaluiert und aktualisiert wird. Die darin festgehaltenen Maßnahmen sind sehr konkret formuliert und leisten einen wichtigen Beitrag zur Gleichstellung der Geschlechtern an den Zentren. Zudem gibt es (u.a. am HZDR) einzelne Programme für Rekrutierungen von exzellenten Wissenschaftler:innen aus dem Ausland (gemeinsamen Berufungen), sogenannte „Brückenprofessuren“. Diese Maßnahmen haben durch eine institutionalisierte Kooperationen mit Universitäten im Ausland Vorbildcharakter insbesondere für internationale Studierende und Wissenschaftler:innen. In der Helmholtz-Gemeinschaft und im Forschungsbereich werden auch konkrete Maßnahmen zur Frauenförderung umgesetzt, wie die gezielte Berufung von exzellenten Wissenschaftlerinnen auf W2- und W3-Professuren oder Projekte zur Förderung der Diversität bei Recruiting-Prozessen (u.a. bei DESY und FZJ).

Die Highlights der genannten Maßnahmen für das Berichtsjahr 2023 sind im Kapitel 4.1 *Talentmanagement* zusammengefasst.

Im Themenbereich Materialforschung wird der Forschungsbereich Materie verstärkt mit anderen Forschungsbereichen [...] eine übergreifende Helmholtz-Materialforschungsstrategie erarbeiten, die auf ihren komplementären Kompetenzen und Alleinstellungsmerkmalen systematisch aufbaut und die besonderen wissenschaftlichen Möglichkeiten der Zentren mit Anwendungsperspektiven verbindet

Die Helmholtz-Materialforschungsstrategie unter Federführung des KIT wurde im Jahr 2021 erarbeitet und in der Forschungsbereichsplattform am 29.09.2021 diskutiert und dem Strategischen Beirat für die Sitzung am 09.05.2022 zur Verfügung gestellt. Der Forschungsbereich Materie ist in großer thematischer Breite an der Materialforschungsstrategie beteiligt und bringt insbesondere die Möglichkeiten und Perspektive der Nutzergroßgeräte mit ein. Die Strategie nutzt als Basis die komplementären Kompetenzen aller Forschungsbereiche und setzt auf ein hohes Maß an Synergie durch die Zusammenarbeit. Durch den Forschungsbereichs-übergreifenden Wissens- und Methodenaustausch sowie den Dialog mit der Gesellschaft und Industrie soll die Innovationskraft der Helmholtz-Gemeinschaft entscheidend gestärkt werden. Das übergeordnete Querschnittsthema der erarbeiteten Strategie ist Nachhaltigkeit. Als ausge-

wählte Schwerpunkthemen mit Anwendungsbezug eignen sich insbesondere die Informationstechnologie, Batterien, Wasserstoff, Photovoltaik, Gesundheit, Bioökonomie und Leichtbau. Die wichtigsten Ziele der Helmholtz Materialforschungsstrategie sind:

1. Die Digitalisierung der Materialwissenschaft in der Datenerfassung und im Forschungsdatenmanagement und durch weiteren Ausbau von Simulation und Ansätzen zum „digitalen Zwilling“ von Materialsystemen
2. Die beschleunigte Entwicklung von Materialien in den verschiedensten Anwendungen für verbesserte Materialeigenschaften und Nachhaltigkeit
3. Die Entwicklung und Bereitstellung neuer Hochdurchsatz-Methoden für die Synthese und Charakterisierung von Materialien
4. Den komplementären Ausbau und die Nutzung der Helmholtz-weiten Großgeräte und Forschungsinfrastrukturen für die Materialforschung
5. Die Talentgewinnung und -förderung für den Erhalt und Ausbau der Kompetenzen in Wissenschaft und Industrie
6. Die Gestaltung von Technologie- und Wissenstransfer zur nachhaltigen Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen in Kooperation über die Forschungsbereiche und mit Partnern in Wirtschaft und Gesellschaft

Der Forschungsbereich Materie wird sich an der Helmholtz-Digitalisierungsstrategie beteiligen

Datenmanagement und -analyse und Digitalisierungsbestrebungen sind im Forschungsbereich Materie zentral im Topic MT-DMA und in der Cross-Cutting Activity *Information and Data Management* verankert. Zudem engagiert sich der Forschungsbereich in Helmholtz-weiten Aktivitäten wie den Helmholtz Inkubatorplattformen sowie die Helmholtz Information & Data Science Academy mit ihren Schools für Promovierende und Postdocs (siehe auch Kapitel 2 zur Senatsempfehlung zur *Datenwissenschaft*). Als Forschungsinfrastrukturen für Datenmanagement und -analyse betreibt der Forschungsbereich Materie IDAF (DESY), GridKa (KIT) und den Green IT Cube (GSI). Zudem wurde ein Update des Grid-Computing für den High-Luminosity LHC auf der Helmholtz Roadmap vorgeschlagen, um die Kapazitäten zu erhöhen, die im High-Luminosity-Betrieb des LHC notwendig sind.

Als verbindendes und strukturgebendes Element hat sich der Forschungsbereich Materie (als erster Forschungsbereich der Helmholtz-Gemeinschaft) 2021 eine eigene Digitalisierungsstrategie gegeben. Diese wurde auf den Forschungsbereichsplattformen am 29.09.2021 und 21.03.2022 sowie im Strategischen Beirat am 10.05.2022 ausführlich diskutiert. Die Koordination der Strategie erfolgte unter Federführung des Topics DMA im Programm MT. Sie ist eingebettet in die Helmholtz-weite Digitalisierungsstrategie und setzt auch Entwicklung, Bau, Betrieb und Nutzung der einzigartigen Forschungsinfrastrukturen (Datenmanagement) in den Kontext der Digitalisierung. Die Digitalisierungsstrategie verfolgt zehn Hauptziele, die auf eine Forschungsbereichs-übergreifende Zusammenarbeit ausgelegt sind:

1. Ermöglichung der internationalen Spitzenforschung durch Zentren- und Community-übergreifende föderierte Rechen-, Daten- und Service-Infrastruktur
2. Verstetigung der technologischen Führungsrolle in wissenschaftlicher Simulation, Datenanalyse und Maschinen-/Experimentsteuerung durch Anwendung von künstlicher Intelligenz sowie durch Forschung an und mit Exascale- und Quanten-Computing
3. Bereitstellung einer integrativen Support-Infrastruktur für die vielfältige Nutzergemeinschaft der Forschungsinfrastrukturen
4. Unterstützung der Nutzerschaft bei der nachhaltigen und öffentlichen Bereitstellung sowie Nutzung wissenschaftlicher Daten gemäß den FAIR-Prinzipien (Open Science)

5. Entwicklung und Bau neuer Forschungsgroßgeräte mit Hilfe modernster Informationstechnologie
6. Entwicklung intelligenter und autonomer (Kontroll-)Systeme für die Wartung und den Betrieb von Großgeräten, Forschungsinstrumenten und Experimenten
7. Verfolgung eines nachhaltigen Umgangs mit Ressourcen, von Energie und Materialien bis hin zu Daten und Software
8. Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses in Information- und Data-Science
9. Kooperation mit der Industrie in anwendungsorientierter Forschung
10. Ausbau des digitalen Wissens- und Technologietransfers in Industrie und Gesellschaft im nationalen und internationalen Umfeld

Darüber hinaus hat ein Forschungsbereichs-übergreifendes Netzwerk, zu dem der Forschungsbereich Materie signifikant beigetragen hat, die Quantenstrategie der Helmholtz-Gemeinschaft erarbeitet. Das Strategiepapier führt die Aktivitäten zu Quantencomputern, Quantenkommunikation, Quantensensorik, Quantenmaterialien und Grundlagenforschung sowie Quantensimulation und numerische Methoden aus der ganzen Gemeinschaft zusammen und formuliert die Herausforderungen für die kommenden Jahre.

3. Entwicklung im Rahmen der programmübergreifenden Aktivitäten

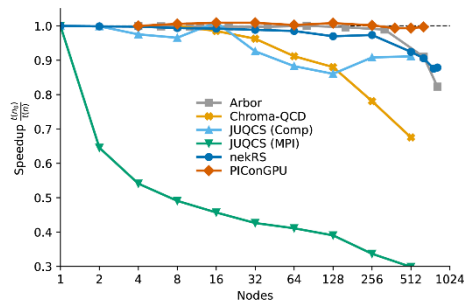
3.1. Cross-Cutting Activities

Der Forschungsbereich Materie arbeitet in zentralen, strategisch wichtigen Querschnittsthemen eng mit anderen Forschungsbereichen zusammen. Aufgebaut wird dabei stets auf bereits bestehenden Verbindungen – durch Personen, gemeinsame Projekte oder gemeinsame Methoden. Ziel ist es, eine Bündelung von Kompetenzen zu erreichen und Synergien sinnvoll zu nutzen. In PoF IV arbeitet der Forschungsbereich Materie in fünf Cross-Cutting Activities (CCAs) mit anderen Forschungsbereichen zusammen.

Information and Data Management

- Koordinierende Sprecher:innen des Forschungsbereichs Materie: Michael Bussmann (HZDR); Philipp Neumann (DESY)
- Beteiligte Forschungsbereiche: Materie (MT); Information

In der Cross-Cutting Activity Information and Data Management arbeiten Helmholtz Matter und Helmholtz Information eng an Entwicklung und Anwendung modernster digitaler Technologien wie Exascale Computing, Quantencomputing und künstlicher Intelligenz für die Lösung zentraler Herausforderungen in Materie zusammen. Die extremen Anforderungen an Datenmengen und Rechenkraft wie der Entwicklung moderner Plasmabeschleuniger, der Laserfusion und der Teilchenphysik bedingen eine enge Zusammenarbeit der Forschungsbereiche.



Skalierungsmessungen verschiedener Anwendungen zur Vorbereitung für das Exascale Computing auf JUPITER. Werte nahe 1 sind am besten.

Mit der in 2025 anstehenden Inbetriebnahme von Europas erstem Exascale-Computer JUPITER in Jülich als Teil von EuroHPC wurde die Zusammenarbeit im Bereich Exascale Computing intensiviert. In Zusammenarbeit mit dem FZJ und dem EuroHPC Center of Excellence PlasmaPEPSC ist es gelungen, den im Programm Materie & Technologien entwickelten Plasmasimulationscode PIconGPU für einen Einsatz auf JUPITER erfolgreich vorzubereiten. Als Teil des JUPITER Research and Early Access Program wurde die Performance und Skalierbarkeit von PIconGPU ausführlich getestet (doi: [10.5555/3703596](https://doi.org/10.5555/3703596)). Aufgrund dieser Tests

wurde PIconGPU als „exceptionally outstanding“ für den Einsatz auf JUPITER gewürdigt. Entscheidend dazu beigetragen haben die in Helmholtz Matter entwickelten Bibliotheken Alpaka für heterogenes paralleles Computing und openPMD für Exascale I/O und Workflows. Damit wird die Forschung zu kompakten Plasmabeschleunigern, Materie unter extremen Bedingungen sowie zu Grundlagen der Laserfusion durch neuartige Simulationsmethoden entscheidend vorangebracht.

Mit dem Beginn des HL-LHC werden die Anforderungen an Datenanalyse und Simulation in der Teilchenphysik massiv wachsen. Neben algorithmischen Verbesserungen werden auch neue Technologien dafür einbezogen. Quantencomputing ist eine mögliche neuartige Methode, die das Potenzial zur erheblichen Beschleunigung von Rechnungen verspricht. Zur zeitnahen Erforschung der neuen Möglichkeiten hat eine internationale Arbeitsgruppe unter der gemeinsamen Leitung von DESY, CERN und IBM, rechenintensive Aufgaben in der Theorie und im Experiment in einer Roadmap (doi: [10.1103/PRXQuantum.5.037001](https://doi.org/10.1103/PRXQuantum.5.037001)) für die Teilchenphysik zusammengestellt, um sie auf Quantencomputer zu realisieren und zu testen. Teil dieser Roadmap ist auch die Bildgeneration in Simulationen von Teilchenschauern am LHC mit Quanten-Maschinellem-Lernen. Der erfolgreiche Proof-of-Principle dieser Bildgeneration auf Quantencomputer (doi: [10.1088/2058-9565/ad0389](https://doi.org/10.1088/2058-9565/ad0389)) zeigt Hinweise darauf, dass der KI-Ansatz robust gegen das noch vorhandene inhärente Rauschen von Quantencomputer ist und weniger Trainingsparameter zur Beschreibung von komplexen Daten braucht als konventionelle KI-Ansätze. Diese Ergebnisse sind wichtige Vorbereitungen in Richtung PoF V und tragen zur breiten Zusammenarbeit in Quantencomputing und -algorithmen im Rahmen der Helmholtz Quantum Initiative vor.

Materialforschung

- Koordinierende Sprecher:innen des Forschungsbereichs Materie: Andreas Stierle (DESY); Joachim Wosnitza (HZDR)
- Beteiligte Forschungsbereiche: Materie (MML); Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr; Energie; Gesundheit; Information; Erde und Umwelt

Die Materialforschung spielt eine entscheidende Rolle in der Entwicklung neuer Technologien und der Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen. Sie zielt darauf ab, Materialien mit verbesserten Eigenschaften zu entwickeln, die in so unterschiedlichen Bereichen wie Energietechnik, Leichtbau, Elektronik, sowie der Quanten- und Informationstechnologie Anwendung finden. Die Zusammenarbeit zwischen dem Forschungsbereich Materie und anderen For-

schungsbereichen ist essenziell, um Innovationen zu fördern und neue Erkenntnisse zu gewinnen. Durch diese interdisziplinäre Vernetzung können Synergien genutzt werden, die die Materialentwicklung vorantreiben. Allerdings gibt es derzeit Herausforderungen, da forschungsbereichsübergreifende Kooperationen oft durch fehlende personelle und finanzielle Ressourcen eingeschränkt sind. Dies führt dazu, dass viele bestehende Kooperationen nicht weiter ausgebaut werden können. Es ist wichtig, diese Ressourcen zu mobilisieren, um das volle Potenzial der Materialforschung auszuschöpfen und neue Wege für die Entwicklung innovativer Materialien zu finden.

Wissenschaftliche Highlights:

- In einer Zusammenarbeit mit Forschenden aus dem Forschungsbereich Energie hat ein Team im DESY-NanoLab Katalysator-Oberflächen unter die Nano-Lupe genommen. Dabei haben sie nicht nur mehr über die genauen Vorgänge während des Katalyse-Prozesses erfahren, sondern auch Möglichkeiten untersucht, diese Prozesse positiv zu beeinflussen. Katalysatoren werden auch bei Treibstoffen der Zukunft wichtig bleiben. „Grünes“ Methan könnte ein solcher Treibstoff für Schiffe sein, für „grünes“ Ammoniak gibt es auch Modelle und Testbetriebe. Mit gut verstandenen und kontrollierbaren Katalysatoren kommen wir emissionsarmen Antriebsarten ein gutes Stück näher (doi: [10.1021/acsnano.4c08291](https://doi.org/10.1021/acsnano.4c08291)).
- Ein internationales Forschungsteam hat entdeckt, dass dünne Filme aus elementarem Bismut den sogenannten nichtlinearen Hall-Effekt aufweisen. Dieser Effekt könnte in Technologien zur kontrollierten Nutzung von Terahertz-Hochfrequenzsignalen auf elektronischen Chips bedeutsam sein. Bismut vereint gleich mehrere vorteilhafte Eigenschaften, die in dieser Kombination in anderen Systemen bisher nicht gefunden wurden. Besonders bemerkenswert: Der Quanteneffekt wird sogar bei Raumtemperatur beobachtet. Die dünnen Schichten lassen sich zudem auf Kunststoffsubstrate aufbringen und könnten daher für moderne Hochfrequenztechnik-Anwendungen in Frage kommen. Diese Kooperation innerhalb der Forschungsbereiche Materie und Energie wurden an der Terahertz-Quelle von ELBE und am HLD des HZDR durchgeführt (doi: [10.1038/s41928-024-01118-y](https://doi.org/10.1038/s41928-024-01118-y)).

Quantentechnologien

- Koordinierende Sprecher:innen des Forschungsbereichs Materie: Kerstin Borrás (DESY)
- Beteiligte Forschungsbereiche: Matter (MML); Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr; Information

Die Aktivitäten auf dem Gebiet der Quantentechnologien sind über mehrere Zentren, Forschungsbereiche und Programme verteilt: DESY, FZJ, HZDR, GSI (mit HIM), HZB, KIT und UFZ. Helmholtz-Quantum wurde als strategische Plattform eingerichtet, um die Entwicklung der Quantenforschung in Helmholtz zu diskutieren und zu koordinieren. Der Austausch und die Zusammenarbeit wird gefördert und mit dieser gebündelten Kompetenz zu nationalen und internationalen Aktivitäten beigetragen, Strategien entwickelt und abgestimmt, sowie die Quantenforschung nach außen hin vertreten.

Die Aktivitäten der Helmholtz-Quantum-Plattform konzentrierten sich auf die Diskussion strategischer Entwicklungen und die Weiterentwicklung zu einem strategischen Konzept für eine Querschnittsaktivität in PoF V. Der derzeitige Fokus liegt auf Anwendungen in allen Bereichen

der Forschung von Helmholtz und darüber hinaus in gesellschaftlicher und ökonomischer Hinsicht. Dazu ist die Einbindung von weiteren Zentren und Forschungsbereichen notwendig. Dies soll verstärkt durch Wissenstransfer, Darstellung von Beispiel-Anwendungen und Beratung für den möglichen Einsatz von Quantentechnologien gelingen. Mit einer Förderung des Impuls- und Vernetzungsfonds wurde eine Ausschreibung von Projekten erstellt, in denen Technologieentwickler und neue Anwender aus unterschiedlichsten Forschungsfeldern zusammenarbeiten, um Lösungen für konkrete Fragestellungen entwickeln.

DESYs hoch-präzise Lichtquellen PETRA III und FLASH ermöglichen noch nie da gewesene Einsichten in die Struktur und Dynamik von Quantenmaterialien. Dieses neue Verständnis wird zu neuen Entwicklungen in den Quantentechnologien führen. Unter der Leitung von HZB wurde im Rahmen des LEAPS-INNOV WP9 – Implementation studies in dem Projekt Strategic access for quantum technology (STRAQTECH) wichtige Meilensteine erreicht und das Projekt wurde verlängert.

Am HIM wird ein Quantencomputer mit gefangenen Ionen im BMBF Projekt IQuAn und ATIQ gefördert. Es wurden wichtige Meilensteine in der Durchführung von Algorithmen erreicht, sowie für Fehlervermeidungsstrategien in dem BMBF Projekt SYNQ. Eine digitale Simulation des two-flavor Schwinger Models wurde erfolgreich in Zusammenarbeit mit DESY Zeuthen durchgeführt. Ein voll ausgestatteter Reinraum (BMBF TRAPS) am Standort Mainz hat rapid-prototyping von komplexen Fallenstrukturen demonstriert und übernimmt eine wichtige Rolle bei der deutsch/europäischen quantum-chip-pilot-line Initiative.

Unter der gemeinsamen Leitung von DESY, CERN und IBM, wurden für die Teilchenphysik rechenintensive Aufgaben in einer Roadmap zusammengestellt, um sie auf Quantencomputer zu realisieren und zu testen. Teil dieser Roadmap ist auch die Simulation von Teilchenschauern am LHC mit Quanten-Maschinellern. Der erfolgreiche *Proof-of-Principle* zeigt Hinweise darauf, dass der KI-Ansatz robust gegen das noch vorhandene inhärente Rauschen von Quantencomputer ist und weniger Trainingsparameter zur Beschreibung von komplexen Daten braucht als konventionelle KI-Ansätze. Weiterhin wurden die Auswirkungen von Rauscheinflüssen auf die Symmetrieeigenschaften von Quanten-Maschinellern untersucht und so neue Erkenntnisse zur Robustheit und Anwendbarkeit dieser Algorithmen gewonnen werden. Erfolgreich wurden weitere Fragestellungen wie z.B. die Simulation der Teilchenstreuung bearbeitet. Die enge Zusammenarbeit des CQTA mit dem Quantenhardware-Unternehmen Quantinuum führte zu wegweisenden Ergebnissen, unter anderem in der Untersuchung der Quantenelektrodynamik. All diese Ergebnisse sind wichtige Vorbereitungen in Richtung PoF V.

Am GSI wird ein Laserlabor für Quantenlogik-Spektroskopie und den Betrieb einer Quantenlogik-Uhr basierend auf hochgeladenen Schwerionen eingerichtet (Helmholtz-NWG Peter Mücke, HI-Jena), mit sowohl optische Atomuhren wie auch zukünftigen Kernuhren. Ein Anschluss der GSI an die bestehende Glasfaserverbindung zwischen dem deutschen Metrologie-Institut PTB und dem französischen Pendant SYRTE ist ein Vorbild für einen zukünftigen Glasfaser-Backbone zur Quantenkommunikation, Zeit- und Frequenzübertragung in Deutschland (QTF-Backbone, www.ptb.de/cms/qtf-de-backbone).

Im Bereich Quantensensoren konnte die Entwicklung von SQUID-basierenden Teilchendetektoren in enger Kooperation von GSI mit HI-Jena und IPHT Jena vorangetrieben werden, die selbst niedrigste Teilchenströme präzise und absolut nachweisen können. Erste Prototypen sind am CERN im Einsatz und werden gegenwärtig am SIS18 Synchrotron der GSI installiert.

Die weitere Entwicklung zielt auf eine Erhöhung der Sensitivität wie auch auf die Optimierung der geometrischen Dimensionen ab.

Am HZDR arbeitet ein Team an Quantensensoren mit besonders hoher räumlicher Auflösung, welche kleinste Magnetfeld-Strukturen und Ströme detektieren. Theoretisch liegt die Auflösung im Bereich eines einzelnen Atoms, damit könnte die Quantensensorik magnetische Strukturen unterscheiden, die kleiner als ein Nanometer sind. Außerdem entwickelt das Team Photonen-Quellen, die kontrolliert einzelne unterscheidbare Photonen erzeugen können und zwar in einem Frequenzbereich, der mit den heute verbreiteten Glasfasernetzen kompatibel ist.

DESY ist aktiv an der Entwicklung von Quantensensortechniken für die nationale und internationale Wissenschaft beteiligt. DESY leitet als stellvertretender Sprecher in ECFA die DRD5-Kollaboration, eine F&E-Kollaboration mit mehr als 110 Instituten, die sich der Entwicklung von Quantensensortechniken für Anwendungen in der Teilchen- und Grundlagenphysik widmet. Im Rahmen der InnoPool-Kollaboration „QS4Physics“ leitet DESY sechs Helmholtz-Institute bei der Entwicklung von Quantensensoren für Anwendungen in der Teilchen- und Grundlagenphysik in ganz Deutschland. Weil optische Atomuhren fantastisch empfindliche Quanteninstrumente sind, baut DESY in Zusammenarbeit mit internationalen Partnern eine optische Atomuhr auf der Basis hochgeladener Ionen.

Am DESY werden Cavities aus dem Beschleunigerbereich für ihre Eignung zum Nachweis von Gravitationswellen untersucht. Am DESY und FNAL wurde eine Prototyp-Cavity für ihre Eignung vermessen und im Rahmen von kryogenen Tests erste Sensitivitätsstudien durchgeführt.

Strukturbiologie und biologische Prozesse

- Koordinierende Sprecher:innen des Forschungsbereichs Materie: Holger Sondermann (DESY); Manfred Weiss (HZB)
- Beteiligte Forschungsbereiche: Materie (MML); Gesundheit; Information

Die Cross-Cutting Activity Strukturbiologie und biologische Prozesse existiert seit 2011 und verbindet die in Helmholtz ansässigen strukturbiologischen Arbeitsgruppen und Infrastrukturen in den Forschungsbereichen Gesundheit, Materie und Information. Sie wird von Michael Sattler (HMGU) und Oliver Daumke (MDC) koordiniert.

Im Jahr 2024 wurde die Vernetzung der Strukturbiologie innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft und auf nationaler Ebene weiter vorangetrieben. Nach dem Beitritt Deutschlands zu Instruct-ERIC ab dem 1. Januar 2024, der nicht zuletzt auch durch Aktivitäten und Initiativen der CPA ermöglicht wurde, wurde im September 2024 ein Antrag für ein Instruct-Zentrum für die Strukturbiologie in Deutschland gestellt. Hier sind die Helmholtz Zentren DESY, FZJ, HMGU, HZB und HZI und deren Infrastrukturen wesentlich beteiligt. Der Antrag wurde vom BMBF akzeptiert und an das International Scientific Advisory Board (ISAB) von Instruct zur Begutachtung weitergereicht. Die Etablierung des deutschen Instruct-Zentrums wäre ab Mai 2025 möglich.

Die *high-end* Infrastrukturen der Helmholtz-Strukturbiologie, mit einem 1.2 GHz NMR (FZJ, HMGU), cryo-EM (FZJ, CSSB/HZI, HMGU) und Synchrotrons (PETRA III@DESY, BESSY II@HZB) schaffen hervorragende Möglichkeiten für die integrative Strukturbiologie auf höchst-

tem Niveau. Aufbauend auf den herausragenden Fortschritten der AI-basierten Strukturvorhersage von globulären Strukturen (AlphaFold) fokussiert sich die Strukturbio­logie nun auf innovative, biomedizinisch relevante, aber herausfordernde Systeme, wie das *dark proteome* (>30% intrinsisch unstrukturierte Bereiche des Proteoms), und nicht-kodierende RNAs (> 90% unseres Genoms), um so neue Ziel­moleküle für die Wirkstoffforschung zu erschließen. Insbesondere im Bereich Röntgenkristallographie gewinnen Hochdrucksatzexperimente wie kristallographisches Fragment-Screening eine immer wichtigere Bedeutung. Die *state-of-the-art* cryo-EM Infrastrukturen ermöglichen nun mittels Cryo-Elektronen-Tomographie neue Durchbrüche für die Strukturbio­logie in zellulärer Umgebung und visuelle Proteomik durchzuführen, und so Mechanismen von Wirkstoffen mit ungeahnter Auflösung in einer zellulären Umgebung zu untersuchen.

Für 2025 plant das Steering Board der CCA Strukturbio­logie einen Workshop zum wissenschaftlichen Austausch und zu strategischen Diskussionen über zukünftige Aktivitäten und Vernetzung der Strukturbio­logie mit Wirkstoffforschung, Imaging, Bioengineering und AI auszurichten. Für die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses ist geplant, unseren nächsten internationalen Workshop für integrative Strukturbio­logie mit den Aktivitäten in Instruct-ERIC zu koordinieren.

Wissenschaftliche Highlights: doi: [10.1038/s41467-024-48109-3](https://doi.org/10.1038/s41467-024-48109-3), [10.1038/s41467-024-47368-4](https://doi.org/10.1038/s41467-024-47368-4), [10.1016/j.str.2024.08.014](https://doi.org/10.1016/j.str.2024.08.014)

Strahlenforschung

- Koordinierende Sprecher:innen des Forschungsbereichs Materie: Marco Durante (GSI)
- Beteiligte Forschungsbereiche: Materie (MT; MML); Information; Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr; Erde und Umwelt; Energie; Gesundheit

Die Querschnittsaktivität Strahlenforschung wurde ursprünglich im Vorfeld von PoF III ins Leben gerufen, um die Sichtbarkeit und Vernetzung der Strahlenforschungsaktivitäten in verschiedenen Programmen und Forschungsbereichen zu verbessern. Für PoF IV wurde die Querschnittsaktivität erheblich umstrukturiert und erweitert, sodass nun neun Zentren aus allen sechs Forschungsbereichen der Helmholtz-Gemeinschaft beteiligt sind.

Ein zentrales Ergebnis von CCA-RR war die Entwicklung eines White Papers zur Strahlenforschung, das einen umfassenden Überblick über das Forschungsfeld bietet (doi: [10.15120/GSI-2023-00685](https://doi.org/10.15120/GSI-2023-00685)). Das Dokument ist in vier Hauptkapitel unterteilt:

1. Die Querschnittsaktivität Strahlenforschung
2. Herausforderungen der nächsten 5–10 Jahre
3. Große Helmholtz-Infrastrukturen in der Strahlenforschung
4. Die Zukunft der Strahlenforschung in der Helmholtz-Gemeinschaft

Das White Paper hat die Zusammenarbeit zwischen den Helmholtz-Zentren, die in der Strahlenforschung tätig sind, gestärkt und die interdisziplinäre Vernetzung gefördert. Seit 2024 entwickeln sich die Forschungsaktivitäten der verschiedenen Helmholtz-Zentren im Rahmen von PoF IV weiter, entsprechend den jeweiligen Programmzielen.

3.2. Projekte des Innovationspools

Zur Förderung von programm- und forschungsbereichsübergreifenden Wegbereiterprojekten wurde der Innovationspool des Forschungsbereichs Materie etabliert. In zwei Ausschreibungsrunden (2019-2020 und 2021-2024) wurden eine Reihe von innovativen, stark interdisziplinären Aktivitäten gefördert. Aufbauend auf den Forschungsergebnissen der ersten Ausschreibungsrunde werden einige der Pilotprojekte auch in der zweiten Runde weiter gefördert.

ACCLAIM

- Koordinierende Sprecher:innen: Frank Gaede (DESY); Matt Zepf (GSI/HI Jena)
- Beteiligte Programme: MT; MU; MML
- Beteiligte Zentren: DESY; GSI/HI Jena; HZB; HZDR; KIT

Im Innovationspool-Projekt „ACCLAIM: ACCeLerating Science with Artificial Intelligence and Machine Learning“ wurden, aufbauend auf dem erfolgreichen Innovationspoolprojekt AMALEA, moderne Methoden des maschinellen Lernens für die Forschung im Bereich Materie entwickelt. Dabei wurden alle drei MT-Topic ARD, DTS und DMA von den beteiligten Zentren DESY, GSI, HIJ, HZB, HZDR und KIT adressiert.

Aufgrund der sehr erfolgreichen Arbeiten in ACCLAIM und der großen Relevanz von KI-basierten Methoden für den Forschungsbereich, wurde das Projekt um ein weiteres Jahr bis Ende 2024 verlängert. Im Juli 2023 haben sich alle beteiligten Partner in Jena zu einem zweitägigen Meeting getroffen um sich über den Fortschritt in den einzelnen Arbeitsgebieten auszutauschen und dann anschließend die Arbeiten in der verbleibenden Zeit zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen. Insbesondere bei der Anwendung von ML-Methoden für den Betrieb und die Kontrolle von Beschleunigern und der Optimierung der Strahlqualität erweisen sich diese neuentwickelten Methoden bisherigen, klassischen weit überlegen. DESY, GSI, HZB und KIT konnten hier viele neue ML-Methoden an den betriebenen Beschleunigern ARES, BESSY II, European XFEL, FLUTE und PETRA III etablieren und damit einen weiteren Schritt in Richtung autonomer Beschleuniger für die Zukunft zu gehen. Ein am HIJ entwickeltes Lasersystems mit ML-basiertem Feedback-System wurde erfolgreich zum Abschluss gebracht. Zur schnellen Simulation von hochgranularen Kalorimetern in der Teilchenphysik konnten am DESY neuartige Diffusionsmodelle entwickelt werden, die unabhängig der konkreten Auslesegeometrie hervorragende Eigenschaften aufweisen. Am HZDR wurden die Arbeiten an invertierbaren Neuronalen Netzwerke zur Simulation von Spektren laserbasierter Plasmen abgeschlossen.

ADC-MAPP

- Koordinierende Sprecher:innen: Andreas Haungs (KIT)
- Beteiligte Programme: MU; MT
- Beteiligte Zentren: KIT; DESY

Das **ADC-MAPP**-Projekt zielt darauf ab, bestehende Ansätze - wie das *KASCADE Cosmic-ray Data Center* (KCDC), das *Alert Management, Photometry, and Evaluation of Lightcurves* (AMPEL) oder das Gammapy-Analysetool - zu einem einheitlichen Konzept für eine Benutzereinrichtung zu erweitern. Darüber hinaus fördert ADC-MAPP die Anwendung von künstlicher

Intelligenz und Deep Learning zur Optimierung von Monte-Carlo-Simulationen, Datenverarbeitung und -analyse. Ein Hauptziel des Projekts ist die Integration der Multi-Messenger-Astroteilchenphysik mit fortschrittlichen und effizienten föderierten Recheninfrastrukturen. Diese Bemühungen unterstützen die Digitalisierung dieses datenintensiven Forschungsgebiets und konzentrieren sich auf die Verwaltung von Forschungsdaten, Big-Data- und Multi-Messenger-Analysen, Dienste für die Nutzergemeinschaft, Vernetzung und Schulungsinitiativen.

Im Jahr 2024 erzielte ADC-MAPP bedeutende Fortschritte für schneller Luftschauer-Simulationen mit Deep-Learning-Techniken, insbesondere bei rechenintensiven Simulationen von Radiosignalen, die durch ausgedehnte Luftschauer erzeugt werden. Das Projekt erreichte auch Meilensteine bei der Veröffentlichung von Daten und Simulationen der CTAO-, H.E.S.S.- und VERITAS-Observatorien unter Einhaltung von Gemeinschaftsstandards und der FAIR-Datengrundsätze. Es wurde eine Container-basierte Simulations- und Analysepipeline entwickelt, die mit Gammapy kompatibel ist und eine breitere Zugänglichkeit ermöglicht und erfolgreich zur Analyse aller VERITAS-Beobachtungen eingesetzt wurde. AMPEL wurde weiter verbessert und wird nun aktiv für physikalische Analysen eingesetzt. Darüber hinaus wurden bemerkenswerte Fortschritte erzielt für zukünftige Suchen nach gemeinsamen Ereignissen mit den Instrumenten Einstein Telescope und IceCube-Gen2.

In ADC-MAPP wird großer Wert darauf gelegt, Archive für die Veröffentlichung vorzubereiten und ihre langfristige Verfügbarkeit für die wissenschaftliche Gemeinschaft zu gewährleisten (doi: [10.17616/R3TS4P](https://doi.org/10.17616/R3TS4P)). Die Arbeitsgruppen des Projekts arbeiten eng mit Initiativen wie PUNCH4NFDI, ErUM-Data und EOSC zusammen, um die Digitalisierung der Astroteilchenphysik voranzutreiben, die Verwaltung von Forschungsdaten zu verbessern und die nachhaltige Veröffentlichung wissenschaftlicher Daten zu fördern. ADC-MAPP steht für ein Engagement für die nachhaltige Nutzung wissenschaftlicher Daten sowie für die Entwicklung von Werkzeugen und Methoden für umfassende Analysen der Astroteilchenphysik und Datenzentren. Obwohl das Innovationspool-Projekt offiziell im Jahr 2024 endet, arbeiten KIT und DESY weiter an der Implementierung eines virtuellen Analyse- und Datenzentrums für die Multi-Messenger-Astroteilchenphysik.

Data-X

- Koordinierende Sprecher:innen: Anton Barty (DESY)
- Beteiligte Programme: MML; MT (in Kooperation mit dem Forschungsbereich Information)
- Beteiligte Zentren: DESY; FZJ; GSI/Hi Jena; Hereon; HZB; HZDR; KIT

Dieses Projekt Data-X konzentriert sich auf die schnelle Analyse der riesigen Datenmengen, die von modernen Detektoren erzeugt werden können. Die beiden Hauptziele sind die schnelle Rückmeldung an das Experiment und die Reduzierung der dauerhaft gespeicherten Datenmengen. Um diese Ziele zu erreichen, extrahieren wir den wesentlichen wissenschaftlichen Inhalt nahezu in Echtzeit und stellen sicher, dass nur die wissenschaftlich nützlichen Informationen gespeichert werden. Infolgedessen kann der ursprüngliche Rohstrom der Detektordaten erheblich reduziert werden. Da die anwendbaren Techniken domänenspezifisch sind, haben wir mehrere Ansätze für verschiedene Anwendungsbereiche verfolgt. Im Jahr 2024 geht Data-X in sein viertes Jahr als kostenlose Verlängerung eines ursprünglichen Dreijahresprojekts, und wir erwarten daher, dass die projektfinitzierten Aktivitäten auslaufen werden.

A few recent highlights include employing an unsupervised machine learning approach that compresses high-dimensional data into a form that is interpretable by the human mind. It delivers two essential benefits by denoising the raw data as well as the smart compressed latent space that can be directly used for online/offline analysis, classification and characterization of the data. Partly developed in other contexts, the technique was first applied to electron-time-of-flight spectroscopy for photon diagnostic but was easily adapted for lasing images of electrons, gamma spectroscopy, XAS spectra and even fossilized dinosaur footprints highlighting its transferability. More information can be found in DESY's annual report in 2024. We have also made significant steps towards improving the efficiency of real-time XRF data fitting by employing matrix methods rather than direct peak fitting. To date, this approach was best implemented in proprietary software which has now been made open source by collaborators at CSIRO in Australia, enabling the implementation of core algorithms in real time analysis pipelines.

FISCOV

- Koordinierende Sprecher:innen: Manfred Weiss (HZB)
- Beteiligte Programme: MML (in Kooperation mit den Forschungsbereichen Gesundheit; Information; Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr)
- Beteiligte Zentren: DESY; HZB; KIT; FZJ; GSI/HI Jena; (in Kooperation mit HZI; HMGU; MDC; DLR)

Im Rahmen des Arbeitspakets 1 hat DESY seine Screening-Aktivitäten für menschliches Cathepsin L als Zielprotein für SARS-CoV-2-Inhibitoren fortgesetzt und seine Studien auf die Cap-snatching Endonukleasen von Viren der Ordnung Bunyavirales, hier insbesondere Lassavirus (LASV), ausgeweitet und erste Strukturen des PB2-Proteins des H5N1-Influenzavirus erhalten, um dieses Protein als Screening-Ziel in zukünftigen Kampagnen zu etablieren. Darüber hinaus untersuchten sie die strukturelle Variabilität einiger Zielproteine, indem sie Konformationsänderungen in diesen Proteinen durch Abstimmung der relativen Luftfeuchtigkeit während der Datenerfassung hervorriefen. Schließlich untersuchten sie die Möglichkeit, Röntgenscreenings mit hohem Durchsatz bei Raumtemperatur durch serielle Kristallographie an Freie-Elektronen-Röntgenlasern mit festem Ziel durchzuführen (doi: [10.1038/s41467-024-48109-3](https://doi.org/10.1038/s41467-024-48109-3), [0.1021/acs.jmedchem.3c02351](https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.3c02351)). Das HZB konzentrierte sich auf die SARS-CoV-2-Ziele Nsp1 und Mac1 (auch bekannt als Nsp3b). In Zusammenarbeit mit dem KIT führten sie ein Fragment-Screening gegen Nsp1 durch und identifizierten insgesamt 21 Nsp1-bindende Fragmente, von denen viele an einer funktionell wichtigen Stelle lokalisiert sind. Ein Manuskript, das die Ergebnisse sowie die Generierung der KIT-Bibliothek, die zusammen mit dem KIT erstellt wurden, ist derzeit im Begutachtungsprozess. Das HZB hat außerdem ein kristallographisches Fragment-Screening gegen Mac1 unter Verwendung der KIT-Bibliothek durchgeführt und dabei 8 Treffer gefunden, von denen 5 an das aktive Zentrum von Mac1 binden. Diese waren die Grundlage für die Auswahl und das Screening von 13 kommerziell erhältlichen Analoga, um die Wirksamkeit von Mac1 weiter zu verbessern. Zusammen mit den KIT-Kollegen nutzte das HZB diese Ergebnisse sowie 15 Treffer, die in einer früheren Kampagne gegen Mac1 mit dem F2X-Entry Screen gefunden wurden, um größere Folgeverbindungen zu entwerfen, die derzeit mit Hilfe der Röntgenkristallographie auf ihre Bindung hin untersucht werden; eventuelle Binder werden mit biophysikalischen Methoden weiter evaluiert.

Für das Arbeitspaket 3 berichtete die GSI, dass die Experimente mit dem neuen COVID-19-Bestrahlungsimpfstoff bereits 2023 abgeschlossen wurden. Sie hatten gezeigt, dass durch

hochenergetische Schwerionen inaktivierte Influenzaviruspartikel bei Mäusen eine robuste Immunantwort hervorrufen (doi: [10.3390/pharmaceutics16040465](https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16040465)).

Im Arbeitspaket 4 untersucht die GSI die Auswirkungen von Radonexpositionen auf Lungenentzündungen anhand eines LPS (Lipopolysaccharid)-induzierten Mausmodells. Im Laufe des Jahres 2023 wurden drei unabhängige Experimente durchgeführt, deren Auswertung im Jahr 2024 abgeschlossen werden konnte. In den Experimenten erhielten C57BL/6J-Mäuse zwei subletale Dosen von LPS durch intratracheale Verabreichung, um eine akute Lungenentzündung zu verursachen. Anschließend wurde die Wirksamkeit von Radonexpositionen untersucht und mit der herkömmlichen Dexamethasontherapie und einer Scheinbehandlung verglichen. Die Daten zeigten, dass Rn-Expositionen eine lindernde Wirkung auf die Lungenentzündung haben (z.B. weniger ausgeprägter Gewichtsverlust im Vergleich zur Scheinbehandlung), wenn auch nicht so stark wie bei Dexamethason. Dies konnte mit Hilfe der μ CT-Bildgebung und der Hämatoxylin-Eosin-Histologie bestätigt werden, die einen geringeren Entzündungswert im mit Radon behandelten Lungengewebe im Vergleich zur Scheinbehandlung zeigen. Auf molekularer Ebene zeigte die RNA-Sequenzanalyse eindeutig, dass sowohl Rn als auch Dexamethason die Expression von pro-inflammatorischen Genen (z.B. *Il1 α* , *Il1 β* , *Il6*, *Ifn γ*) im Lungengewebe im Vergleich zur Scheinbehandlung signifikant verringerten. Interessanterweise wurden die entzündungshemmenden Gene (z.B. *Tgf β* , *Vegf β*) in der Lunge nach der Behandlung mit Radon und Dexamethason im Vergleich zur Scheinbehandlung stark induziert. Außerdem zeigte die Genomanalyse, dass sowohl Rn als auch Dexamethason die Expression des *Mrc1*-Gens, das als entzündungshemmender Marker für Makrophagen bekannt ist, signifikant erhöhten. Insgesamt deuten die Daten darauf hin, dass Rn eine potenzielle therapeutische Option für Patienten sein könnte, die für eine Dexamethason-Behandlung nicht in Frage kommen. Eine Veröffentlichung zu diesen Ergebnissen ist in Vorbereitung.

In Arbeitspaket 5 hat DESY ein Wirkstoffpflaster entwickelt, dessen Aufnahmekapazität für Medikamente für eine breite Palette von Pharmazeutika einstellbar ist. In Zukunft soll das Pflaster nach einem Schablonendesign auch Eigenschaften künstlicher Haut haben (u.a. eine bessere Wirkstoffaufnahme ermöglichen). Das Projekt ist eine Kooperation mit der Firma Beiersdorf.

HBS-2

- Koordinierende Sprecher:innen: Karen Frieze (FZJ); Thomas Gutberlet (FZJ)
- Beteiligte Programme: MML; MT
- Beteiligte Zentren: FZJ; GSI/HIM; Hereon; HZDR

Das Innovationsprojekt HBS-2 (High current accelerator systems for future HBS) dient der Entwicklung der Beschleuniger- und Neutronentargettechnologie für leistungsfähige kompakte beschleuniger-basierte Neutronenquellen neuer Generation mit dem Ziel der Realisierung einer Testanlage zur Demonstration der Betriebsfähigkeit einer solchen Großforschungsanlage. Das Projekt ist die Fortführung des vorherigen, erfolgreichen Innovationspoolprojekts HBS (Förderung von 2019 bis 2020). Neben den dort beteiligten vier Zentren FZJ, GSI/HIM, Hereon ist in HBS-2 auch das HZDR an dem Projekt beteiligt.

2024 sind die fünf Arbeitspakete des Projekts erfolgreich weitergeführt worden. Insbesondere konnte das Projekt der neuen Neutronenquelle am IBC des HZDR und das HBS Projekt erfolgreich voran getrieben werden. Hier konnten die folgenden Ergebnisse erzielt werden:

- Die Fertigung der low-beta cw-H Mode Kavität wurde abgeschlossen und erste Tests der Kavität wurden begonnen.
- Die Simulationen für die Strahldynamik des Protonenstrahltransports sind weiter vorangetrieben worden.
- Die Arbeiten an dem Testkryostat des kryogenen Wasserstoffmoderatorsystem sind erfolgreich abgeschlossen worden. Die Ergebnisse der Messungen mit einem kalten Moderator mit Ethan sind abgeschlossen und publiziert worden.
- Mit den Messungen der Dosis an der Neutronentargetstation am FZJ konnten die MCNP Simulationen zur Auslegung der Abschirmung der TMR Einheit erfolgreich verifiziert werden.
- Der Aufbau einer Neutronenquelle am 6-MV-Tandembeschleuniger des IBC am HZDR schreitet voran. Die Komponenten der Strahlführung für den Protonenstrahl und der 30°-Schaltmagnet sind vorbereitet. Mithilfe des FLUKA-Codes wurden Monte-Carlo-Simulationen zur Optimierung des Designs der Neutronenquelle und der Abschirmung im Raum durchgeführt. Die Räume für das Target und für die Messstationen werden derzeit umgebaut und strahlenschutzgerecht angepasst. Beryllium- und Vanadiumtargets werden zur Neutronenproduktion für Neutron-Imaging, PGNA mit HPGe-Detektor und für Neutronenbestrahlungsexperimente vorbereitet. Die neue beschleunigerbasierte Neutronenquelle am IBC im Rahmen des Innovationsprojekts HBS-II wird im 2025 in Betrieb genommen.
- Für den Bau einer leistungsfähigen Demonstrationsanlage des HBS Projekts als erste HiCANS Neutronenquelle weltweit mit einem 20 MeV, 100 mA Protonenbeschleuniger und fünf Flugzeit-neutroneninstrumenten an der TMR Einheit am FZJ ist im Rahmen des Priorisierungsverfahren für Forschungsinfrastrukturen des BMBF ein Antrag für die nationale Roadmap für das Projekt HBS Phase-I eingereicht worden.

Mit dem Ende des Innovationsprojekts HBS-2 in 2024 ist das Vorhaben erfolgreich abgeschlossen worden. Die Arbeiten konnten grundlegende Innovationen im Bereich der beschleuniger-basierten Neutronenquellen erzielen, die den Weg für den Bau und Betrieb dieser neuartigen und zukünftigen Technologie für Neutronenquellen in Deutschland und weltweit nun ermöglichen.

InnoVEEA

- Koordinierende Sprecher:innen: Steffen Grohmann (KIT)
- Beteiligte Programme: MT
- Beteiligte Zentren: DESY; GSI; HZB; KIT

Wichtige Meilensteine im Rahmen von InnoVEEA wurden erreicht. Am KIT steht die Inbetriebnahme des Compact Accelerator Systems Test Stand (COMPASS) vor dem Abschluss. Die neue Forschungsinfrastruktur steht damit für die Prototypenentwicklung kompakter Beschleunigersysteme mit der kryogenen Gemischkältetechnologie (CMRC) zur Verfügung. Parallel dazu wurden erhebliche Fortschritte in der CMRC-Modellierung mithilfe komplexer HPC-Algorithmen erzielt, die das Potenzial in mehreren Anwendungen unterstreichen.

Weiterhin wurde am HZB die Technologie des Kupfer-auf-Niob-Beschichtungsverfahrens für SRF-Resonatoren weiterentwickelt. Bei Untersuchungen in einer BESSY Beamline wurde festgestellt, dass eine Kontrolle der Oxidschicht schon bei niedrigen Temperaturen um 250°C möglich ist, wodurch die in-situ Behandlung von im Modul verbauten Kavitäten denkbar wird. Eine erste experimentelle Messreihe von in-situ Wärmebehandlungen einer Einzellerkavität

bestätigte diese Annahme. Der Sachverhalt wird nun in einem INNOPOOL-Folgeprojekt in Kollaboration mit DESY systematisch weiter untersucht.

Am DESY ist die Entwicklung eines permanentmagnetbasierten Quadrupols (PMQ) für PETRA IV vor dem Abschluss. Auch das mechanische Design wurde erstellt und ein Montagewerkzeug überarbeitet. Ein erster Prototyp-Magnet ist in der mechanischen Fertigung und auch die Herstellung der Polkontur wurde anhand verschiedener Testkörper überprüft. Ebenso wurden die Permanentmagnetblöcke bezüglich ihrer Feldfehler charakterisiert. Die Montage und magnetische Vermessung werden im Laufe des Jahres 2025 stattfinden.

Am KIT wurden die Optimierungen der Injektion des Speicherrings mittels KI weitergeführt. Die digitale Echtzeitsimulationsumgebung wurde an den Beschleuniger KARA angebunden und erste elektrische Analysen durchgeführt. Die Kommunikationsinfrastruktur zwischen KARA und Energy Lab 2.0 wird verbessert, um auch hochfrequente Störungen untersuchen zu können. Hierfür wurde das Sensornetz um hochfrequente Sensoren an ausgewählten Verbrauchern ergänzt. Besonderes Augenmerk wird auf die Auswirkungen variabler Energiequellen gelegt in Zusammenarbeit mit dem Energy Lab 2.0 des KIT. Das Europäische Projekt „Research Facility 2.0“, das seit Januar 2024 für 3 Jahre läuft, überträgt das InnovEEA-Konzept auf andere Europäische Beschleuniger.

LUXE-QED

- Koordinierende Sprecher:innen: Beate Heinemann (DESY)
- Beteiligte Programme: MU; MT; MML
- Beteiligte Zentren: DESY; HZDR; GSI/HI Jena

Das LUXE-Experiment wurde vorgeschlagen, um die Quantenelektrodynamik (QED) in einem noch unerforschten Bereich der Feldstärke am und oberhalb des Schwinger-Limits zu untersuchen. Dies soll durch die Kollision von Elektronenpaketen aus dem European XFEL mit starken Laserpulsen erreicht werden. Das Experiment soll die Elektron-Photonen-Streuung sowie die Bildung von Elektron-Positron-Paaren in reinen Lichtstreuprozessen mit prozentualer Genauigkeit messen und damit den Übergang von der linearen zur nichtlinearen QED untersuchen. Die LUXE-Kollaboration veröffentlichte im August 2024 den Technical Design Report (doi: [10.48550/arXiv.2308.00515](https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.00515)), der das Design des Lasersystems und seiner Diagnostik enthält, was das erste Ziel des Innovationspool-Projekts LUXE-QED war. Im Laufe des Jahres 2024 wurden bei DESY und SLAC große Testkampagnen für das Elektronennachweissystem und den Flussmonitor für LUXE durchgeführt, wobei wichtige Betriebserfahrungen mit Prototypen der vorgeschlagenen Detektoren gesammelt werden konnten. Im zweiten Teil des Projekts, der Entwicklung einer Quantencomputer-Methode zur Rekonstruktion geladener Teilchenkandidaten aus Energiedepositionen im LUXE-Spurdetektor, wurden die in (doi: [0.1007/s41781-023-00109-6](https://doi.org/10.1007/s41781-023-00109-6)) veröffentlichten Ergebnisse konsolidiert und erfolgreich auf realistischere Simulationen von LUXE- und Collider-Detektoren angewandt, während die entsprechenden Doktorarbeiten verfasst wurden und Anfang 2025 verteidigt werden sollen.

MaDQuanT

- Koordinierende Sprecher:innen: Jochen Wosnitza (HZDR)
- Beteiligte Programme: MML (in Kooperation mit dem Forschungsbereich Information)
- Beteiligte Zentren: DESY; FZJ; GSI; HZB; HZDR

Das Innovationspool-Projekt MaDQuant (Materials Dynamics for Future Quantum Technologies) hat das Ziel, die grundlegende Materialforschung im Bereich der Quantentechnologien voranzutreiben. Durch die Zusammenarbeit von Experten aus dem Programm MML und dem Forschungsbereich Information streben wir an, ein tiefgehendes Verständnis von Quantenmaterialien sowie von Quantenzuständen und deren dynamischer Kopplung zu erlangen. Ein zentrales Anliegen des Projekts ist es, relevante Quantenmaterialien zu identifizieren und deren Eigenschaften grundlegend zu verstehen. Darüber hinaus wird untersucht, wie dynamische Zustände mit ihrer Umgebung interagieren und welche potentiellen technologischen Anwendungen sich daraus ergeben könnten. Das Projekt verfolgt das übergeordnete Ziel, Grundlagen für eine breite Anwendung von Quantentechnologien zu schaffen, was in der heutigen Zeit von großer Bedeutung ist, um innovative Lösungen und Fortschritte in verschiedenen Technologiebereichen zu ermöglichen. Im Rahmen der MaDQuant-finanzierten Promotionsarbeit von Frau Ena Osmić konnte sie den topologischen Isolator Bi_2Te_3 mithilfe einer alternativen Methode, der „Blitzverdampfung“ bei tiefen Temperaturen, herstellen und charakterisieren. Diese Präparationsmethode bietet die Möglichkeit, neuartige Komposit-Quantenmaterialien herzustellen und für zukünftige Anwendungen zu erforschen (doi: [10.1088/1361-648X/ad5095](https://doi.org/10.1088/1361-648X/ad5095)). Weiterhin hat ein internationales Forscherteam am DESY, unter Beteiligung des MaDQuant-finanzierten Doktoranden Simon Marotzke, eine Methode weiterentwickelt, um die Funktionalität von Quantenmaterialien auf der Ebene von Quantenanregungen zu verstehen. Bisherige Instrumente mussten bis zu 15 m lang, beweglich und hochpräzise stabil arbeiten. Die Forscher haben nun gezeigt, dass man mit einem anderen Ansatz die Informationen so konvertieren kann, dass Standardinstrumente von ca. einem Meter Größe dieselbe Information in kürzerer Zeit liefern können (doi: [10.1088/1367-2630/ad4206](https://doi.org/10.1088/1367-2630/ad4206)). An der GSI konnte der MaDQuant-Mitarbeiter Michael Wagner mit Kollegen die Struktur von Sb-Nanodrähten erfolgreich kontrollieren und sowohl quasi-einkristalline als auch feinkörnige, amorphe Nanostrukturen erfolgreich herstellen. Der in dieser Studie entwickelte neuartige synthetische Ansatz bietet Potenzial für die Anwendung auf andere Materialien.

TANGERINE

- Koordinierende Sprecher:innen: Ingrid Gregor (DESY)
- Beteiligte Programme: MT; MU
- Beteiligte Zentren: DESY; GSI; KIT

Im Tangerine Projekt arbeiten die Zentren DESY, GSI und KIT zusammen, um Pixeldetektoren der nächsten Generation zu entwickeln. Monolithische aktive Pixel Sensoren (MAPS) sind in den letzten Jahren zunehmend in den Mittelpunkt der Entwicklung von modernen Pixeldetektoren in der Teilchen- und Kernphysik gerückt. Der industrielle Fertigungsprozess der CMOS-Sensoren verspricht prinzipiell kostengünstige Systeme, und die mögliche höhere Komplexität der Pixel eine bessere Funktionalität der Sensoren. In den letzten Jahren ist die 65 nm Technologie von Tower Partners Semiconductor Co, Ltd, intensiv auf ihre Anwendung in Teilchendetektoren hin untersucht worden. Das Tangerine Projekt konnte hier eine intensive Kooperation mit externen Partnern, insbesondere dem CERN und der Universität Strasbourg, etablieren.

Koordiniert vom CERN sind in den letzten Jahren mehrere Submissionen für Testchips in dieser Technologie durchgeführt worden. Mit dem H2M (hybrid-to-monolithic) Chip wurde erfolgreich die Auslesearchitektur und schnelle Frontend-Verstärker und Digitalisierer von etablierten Chips auf die neue Architektur portiert, und in Experimenten am DESY Test-Beam validiert.

Die 65nm MAPS Technologie ist ein Kandidat für einen extrem dünnen, randlosen Vertexdetektorsensor, der für das ALICE-Experiment am CERN entwickelt werden soll. Mit Hilfe von Teststrukturen konnten die wesentlichen Betriebsparameter, wie 15 μm Pixel Größe, Nachweiseffizienz von mehr als 99%, Ortsauflösung von 3-4 μm , and gute Strahlenhärte, gezeigt werden. Erste 26 cm lange Sensoren wurden unter Mitwirkung der GSI produziert, und zeigen ein sehr gutes Verhalten.

Ein wichtiger Beitrag von DTS dabei war die Entwicklung eines Technologie-unabhängigen Simulators, der Allpix² Software, die es erlaubt, im Detail den Prozess der Signalformung in einem Halbleiterdetektor zu simulieren. Dieses System entwickelt sich inzwischen zu einem de-facto Standard mit Anwendungen weit über Helmholtz hinaus.

Neben einer exzellenten Ortsauflösung wird eine hervorragende Zeitauflösung in den Detektoren immer wichtiger. Trench-isolated LGAD Detektoren wurden erfolgreich in Helmholtz eingeführt. Diese Sensoren erreichen eine Zeitauflösung von 30 ps, erlauben kleine Pixel, und zeigen eine hervorragende Strahlenhärte. Im Vergleich zu MAPS Detektoren sind sie aber deutlich dicker, und daher weniger gut als primäre Vertexdetektortechnologie geeignet.

Mit dem Ende des Tangerine Projektes konnten diese Technologien etabliert werden, und werden als wichtige Bestandteile des technologischen Portfolios von DTS im Rahmen der Grundfinanzierung weiter ausgebaut werden

Wissenschaftliche Highlights: doi: [arXiv:2502.06573](https://arxiv.org/abs/2502.06573), [10.1016/j.nima.2024.169896](https://arxiv.org/abs/2410.16989), [10.1016/j.nima.2025.170227](https://arxiv.org/abs/2501.17022), [10.1016/j.nima.2024.169414](https://arxiv.org/abs/2410.16941)

VQCS

- Koordinierende Sprecher:innen: Karl Jansen (DESY)
- Beteiligte Programme: MU (in Kooperation mit den Forschungsbereichen Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr; Information)
- Beteiligte Zentren: DESY (in Kooperation mit DLR; FZJ)

Das Projekt Variational Quantum Computer Simulations (VQCS) war auch im Jahr 2024 sehr erfolgreich. Im Bereich des maschinellen Lernens konnte die Rolle der Symmetriebrechung in äquivarianten neuronalen Quantennetzen mit bis zu 64 Qubits auf IBM-Quantencomputer-Hardware untersucht werden (doi: [10.1103/PRXQuantum.5.030314](https://arxiv.org/abs/2411.03031)). Quanten-Imaginärzeit-Evolutionen wurden erfolgreich für kombinatorische Optimierungsprobleme eingesetzt (doi: [10.48550/arXiv.2408.09083](https://arxiv.org/abs/2408.09083)). Es konnte gezeigt werden, dass mit niedrigdimensionalen Quanten-Boltzmann-Maschinen hochdimensionale Verteilungen mit hohen Erfolgsraten gelernt werden können (doi: [arXiv:2410.16363](https://arxiv.org/abs/2410.16363)).

Im Bereich der theoretischen Hochenergiephysik konnte gezeigt werden, dass die Stufenskalierungsfunktion und damit die laufende Kopplung in der 2+1 dimensional QED mit einem Quantencomputeransatz erhalten werden kann (doi: [arXiv:2404.17545](https://arxiv.org/abs/2404.17545)). Darüber hinaus wurden in Zusammenarbeit mit der Quantencomputerfirma Quantinuum die elektrischen Flusskonfigurationen des Coulomb-, Confinement- und Stringbreaking-Regimes des statischen Potentials in 2+1-dimensionaler QED auf dem Quantencomputer H-1 von Quantinuum berechnet (doi: [arXiv:2411.05628](https://arxiv.org/abs/2411.05628)).

Als Nebenprojekte wurden Quantencomputertechnologien in den Bereichen Quantenmusik (doi: [arXiv:2409.07104](https://arxiv.org/abs/2409.07104)) und Quantenmalerei (doi: [arXiv:2411.09549](https://arxiv.org/abs/2411.09549)) eingesetzt.

Die Arbeiten im Rahmen des VQCS-Projekts wurden auf einer Reihe von internationalen Konferenzen vorgestellt, darunter QTML2025 in Melbourne, Australien, QT4HEP am CERN, Schweiz, EQTC in Lissabon, Portugal, QCHSC 2025 in Cairns, Australien und Confining Strings in Diablerets, Schweiz.

3.3. Weitere wichtige übergreifende Projekte

Innovationsplattform Hi-Acts

- Koordinierende Sprecher:innen: Christine Leue (DESY)
- Beteiligte Zentren: DESY; Hereon; HZB; HZDR; GSI

Hi-Acts hat 2024 sein Programmportfolio signifikant ausgebaut und konnte wichtige Erfolge bei Kooperationsabschlüssen, Drittmittelinwerbungen sowie neuen Zentren-übergreifenden Initiativen erzielen. Ausgewählte Punkte und Highlights werden im Folgenden skizziert:

- Mit dem Launch der Website hat Hi-Acts eine zentrale Kommunikationsplattform zur Information und Vermarktung aller Angebote geschaffen.
- „Hi-Acts Connect“ wurde als Helmholtzzentren-übergreifendes Vermittlungstool entwickelt. Unternehmerische Problemstellungen werden über ein gem. Fachkomitee unbürokratisch und schnell mit der passenden technischen Lösung auf Basis der komplementären Beschleunigerkompetenzen „gematched“. Erste Cases, wie z.B. Strahlzeitmessungen bei PETRA III (DESY) konnten bereits initiiert werden.
- Im Rahmen des Aufbaus des Industriernetzwerks konnten 60 Mitglieder gewonnen werden, welche regelmäßig über Angebote und Fortschritte informiert werden und weitere Vorteile der Plattform nutzen. Dazu zählt auch das jährliche Netzwerktreffen, das im Rahmen des Hi-Tech Forums beim HZDR mit >100 Teilnehmende in Dresden ausgerichtet wurde. Hi-Acts war auf über 50 Fachevents vertreten, mit aktiven Präsenzen, wie z.B. auf der Weltleitmesse WindEnergy 2024 oder beim Silicon Saxony Day.
- Im Rahmen der „Hi-Acts Academy“ wurde eine Webinarreihe ausgerollt, über die Mitglieder und Interessierte niederschwellig an die Innovations- und Transferaktivitäten um Beschleunigertechnologien und -lösungen herangeführt werden.
- Das Use Case Initiative Programm (UCI) erfreut sich wachsenden Interesses von Forschenden und Unternehmen. Besonders nennenswert sind zwei UCI Projekte, die die stark wachsende Raumfahrtindustrie und Lösungen beim Wasserstofftransport adressieren. Über Hi-Acts haben das HZB und GSI Synergien erkannt, und damit begonnen eine gemeinsame Service-Infrastruktur für Strahlenthätetests von Mikroelektronik aufzubauen. Parallel wird die Go-to-market- Strategie entwickelt. Darüber hinaus wurde 2024 ein Antrag von DESY zusammen mit dem Unternehmen Conti Tech bewilligt. Im Rahmen des Projektes, das 2025 startet, wird ein maßgeschneidertes Mess-Set-up aufgesetzt, um Untersuchungen von Materialeigenschaften in kryogenen Umgebungen (-253°C) bei parallel stattfindender mechanischer Beanspruchung zu ermöglichen. Dieses soll zu neuen F&E Lösungen im Bereich des Wasserstofftransports beitragen.
- Zu weiteren Meilensteinen und Projekten haben die Hi-Acts Technology Labs beigetragen. Die Amplitude Laser Group und das HZDR haben ein gemeinsames Forschungslabor gegründet zur Entwicklung innovativer Lösungen für Lasertechnologie, sekundäre Strahlungsquellen und Lasermesstechnik. Die Kooperation zwischen DESY und der TRUMPF Scientific Lasers GmbH befasst sich mit neuartigen laserbasierten

Sekundärstrahlungslösungen, mit denen das Unternehmen auf Fortschritte in der Puls-kompression für die HERZ Produktlinie zielt.

Nicht zuletzt blickt Hi-Acts auf eine äußerst positive Drittmittelbilanz seit Start der Plattform. 16,5 Mio € wurden an Fördermitteln im Bereich Innovation und Transfer im Kontext Beschleunigerinfrastrukturen der fünf Helmholtz Partner eingeworben. Das neue Imagevideo der Plattform ist eines von vielen Instrumenten und Maßnahmen, um neue Mitglieder, Partner und Kunden zu erreichen und die Sichtbarkeit von Hi-Acts stetig zu stärken.

ROCK-IT

- Koordinierende Sprecher:innen: Edgar Weckert (DESY), Bernd Rech (HZB), Sebastian Schmidt (HZDR), Anke-Susanne Müller (KIT)
- Beteiligte Programme: MML; MT (in Kooperation mit den Forschungsbereichen Energie; Information)
- Beteiligte Zentren: DESY; HZB; HZDR; KIT

Das Projekt ROCK-IT zielt darauf ab, den Fernzugriff, die Steuerung, die Automatisierung und die Robotik an Synchrotron-Strahlrohren für komplexe *in-situ* und *operando*-Experimente zu entwickeln. Damit soll auf die gestiegene Nachfrage nach *mail-in* und *remote access* Operationen an deutschen Forschungseinrichtungen nach COVID-19 reagiert werden. Der Schwerpunkt liegt auf sicherem Fernzugriff, der Koordinierung von Steuerungssoftware, Automatisierung (z.B. robotergestütztes Probenhandling), Echtzeitdatenauswertung und KI-Integration zur Verbesserung der Experimente und der Datenqualität. Komplexe *operando* Katalyseexperimente sind für verschiedene Gebiete von Bedeutung, einschließlich der Umwandlung zwischen Energieformen, und so unterstützt das Projekt auch die Energiewende in Deutschland. Es setzt auf nutzerfreundliche Schnittstellen, freie Open-Source-Software (FOSS) und FAIR-Datenmanagement. Die an den Helmholtz-Zentren entwickelten Lösungen werden verschiedenen Forschungsbereichen zugutekommen. Die ersten Implementierungen an PETRA III (DESY), BESSY II (HZB), KARA (KIT) und HAMSTER (HZDR) dienen als Modell für andere Synchrotronstrahlungseinrichtungen. ROCK-IT steht auch im Einklang mit Initiativen wie ErUM-Data und DAPHNE4NFDI für die Zusammenarbeit in verschiedenen wissenschaftlichen Bereichen.

Highlights:

- ROCK-IT hat Softwareentwicklungen vorangetrieben, die größtenteils auf dem Bluesky-Framework für die Koordinierung der Experimentsteuerung basieren. Dazu gehörte die Entwicklung der TANGO-Unterstützung in Ophyd-Asynch, die offiziell von der breiteren Bluesky-Gemeinschaft unterstützt wurde und in die Upstream-Repositories aufgenommen wurde. Die Fortschritte des Projekts wurden auf der NOBUGS 2024-Konferenz in Grenoble (New Opportunities for Better User Group Software) mit großer Öffentlichkeitswirkung vorgestellt, wo verschiedene Gruppen aus den USA, Großbritannien, China und Australien großes Interesse an dem Projekt bekundeten und in mehreren Keynote-Vorträgen auf das ROCK-IT Projekt verwiesen wurde.
- Mehrere erfolgreiche Demonstrator-Experimente wurden vom HZB, DESY, KIT und HZDR durchgeführt. Entwickelte Hard- und Software, wie das Gasdosiersystem, die automatische Probenausrichtung, die Steuerung der Probenumgebung und die Bluesky-Integration für XRD- und EXAFS-Experimente, wurden in Betrieb genommen. Erste Tests mit der webbasierten Benutzeroberfläche Daiquiri (entwickelt von der

ESRF) wurden durchgeführt und Integrationsmöglichkeiten für Chatbots (HZDR-Mattemost) und elektronische Logbücher erkundet. Die Integration von Daiquiri GUI mit Bluesky wurde während NOBUGS 2024 stark unterstützt. Am HZDR wurde ein haus-eigenes Web-Frontend für Bluesky zur Steuerung von Inbetriebnahme-Experimenten an der AMS-Maschine implementiert, und die Integration von Experimentezusammenfassungen in das Logbuch der Kontrollsysteme ist nun einsatzbereit.

- Bei der automatisierten Probenhandhabung mit Robotern wurden Fortschritte bei der Entwicklung des Konzepts zur Erkennung der Probenposition mit Kamera und Robotersteuerung erzielt. Die Probenidentifizierung mit maschinell und menschlich lesbaren Markierungen wurde als Standardprotokoll eingeführt, das die Möglichkeit der automatischen Verfolgung der Probeninformationen während des gesamten Lebenszyklus des Experiments bietet. Außerdem wurde das Design des Standardprobenhalters fertiggestellt und der Prototyp erfolgreich getestet.

4. Strategische Themen

4.1. Talentmanagement

DESY

Das COAST (Career Orientation and Skills Training for Postdocs) -Team konnte 2024 ein umfangreiches Programm durchführen, mit 30% mehr Veranstaltungen im Vergleich zum Vorjahr. Dies hat zu neuen strategischen Schwerpunktsetzungen in der praktischen Arbeit geführt, das Netzwerk an karriereunterstützenden Gruppen (z.B. durch Angebote für Principle Investigators) wurde im Zentrum ausgeweitet sowie der Bekanntheitsgrad der Angebote wurde noch einmal gesteigert.

Das Projekt „READY - Recruitment and Diversity at DESY“ ist 2024 durchgestartet und hat erfolgreich alle Teilprojekte bewegt. Besonders erwähnenswert ist die Durchführung der umfangreichen quantitativen und qualitativen Diversitätsumfrage, an der sich rd. 43% aller DESYaner:innen beteiligt haben. Die Ergebnisse zum Diversitätsklima, Diskriminierungserfahrungen und Wünschen zum Umgang mit den Themen haben Handlungsbedarfe deutlich gemacht, die nach der Präsentation der Ergebnisse im Rahmen des Diversity Days in Teilen schon umgesetzt werden konnten. Es sind vielfältige Veranstaltungen angeboten und durchgeführt worden, um für das Vorhandensein von Unconscious Biases zu sensibilisieren. Mit READY wird der Schwerpunkt auf die Personalauswahl und -gewinnung gelegt. Der Bottom-Up gegründete Diversity Roundtable unterstützt die Arbeit des Projekts und engagiert sich im Rahmen von Teilprojekten und sonstigen Aktivitäten. Auch eine Arbeitsgruppe des Wissenschaftlichen Ausschusses (WA) unterstützt die Themen weiter sehr aktiv.

Im Bereich Gleichstellung hat die Arbeitsgruppe Gleichstellungsplan (AG GLP) weiter getagt, die Umsetzung der Maßnahmen unterstützt und das Monitoring durchgeführt. Nach einer längeren Vakanz können die Aktivitäten erst in 2025 wieder mit der vollständig zur Verfügung stehenden Ressource umgesetzt werden.

Eine Berufung im Rahmen von erfolgreich eingeworbenen Drittmitteln aus der Helmholtz Distinguished Professorship-Förderung (HDP) 2022 ist weiterhin anhängig: Samaya Nissanke von der Universität Amsterdam in den Niederlanden, eine international anerkannte Wissen-

schaftlerin auf dem Gebiet der Gravitationswellen- und Multimessenger-Astronomie, soll gemeinsam mit der Universität Potsdam auf eine W3-Professur berufen werden. Das Verfahren sowie die Verhandlungen zum DESY-Angebot sind erfolgreich abgeschlossen, ebenso steht eine Lösung der Dual Career Thematik kurz vor dem Abschluss. Mit dem erfolgreichen Abschluss der Berufung wird bis zum 31. März 2025, der Deadline der Fristverlängerung durch die Helmholtz-Gemeinschaft, gerechnet.

Weitere Berufungen im Rahmen der erfolgreichen Einwerbung substantieller Drittmittel aus der Helmholtz Förderung 2023 wurden zu einem erfolgreichen Abschluss gebracht. Zum einen wird die Aerosolforscherin Noenne Lyng Prisle von der Universität Oulu in Finnland, die im HDP-Programm erfolgreich war, zusammen mit der Universität Hamburg auf eine W3-Professur auf dem Gebiet „Chemie in Aerosolen“ berufen. Zum anderen wird Elina Fuchs von der Universität Hannover, eine Theoretikerin mit Schwerpunkt „Quantensensoren und Collider“ und Erstberufungsprogramm- sowie Heinz Maier-Leibnitz-Preisträgerin, auf eine gemeinsame W3-Professur mit Hannover berufen. Die zunächst vorgesehene W2 wurde aufgrund von Konkurrenzangeboten einvernehmlich in eine W3 von Anbeginn umgewandelt. Schließlich wurde für Sarah Heim, einer Spezialistin auf dem Gebiet der „Dunklen Materie und Generativen KI“ und ebenfalls EBP-Preisträgerin, eine gemeinsame W2-Professur mit der Universität Hamburg eingerichtet. DESY und Universität Hamburg haben darüber hinaus eine gemeinsame W2-Professur auf dem Gebiet der Röntgenspektroskopie an Freie-Elektronen-Lasern im Kontext des Exzellenzclusters CUI:AIM mit Markus Ilchen besetzt.

Im Rahmen der Gründung des Deutschen Zentrums für Astrophysik (DZA) sollen Leuchtturmprofessuren mit strategischen Partnern eingerichtet werden. Die hierfür angestrebten außerordentlichen ad personam-W3-Berufungsverfahren mit der Universität Hannover für Michèle Heurs und für Stefan Wagner mit der Universität Heidelberg wurden weiter vorangebracht. Die Entsendung auf eine gemeinsame Berufung von Michèle Heurs zu DESY ist zu Dezember 2024 erfolgt und bis 2026 befristet. Von einer gemeinsamen Berufung Stefan Wagners zwischen DESY und der Universität Heidelberg wird aufgrund der fortgeschrittenen Zeit abgesehen und eine direkte Berufung mit dem dann gegründeten DZA einvernehmlich befürwortet.

FZJ

Seit Januar 2024 ist Prof. Mirijam Zobel die neue Leiterin des Institutsbereichs für Neutronenanalytik für die Energieforschung (JCNS-3).

Das 2023 in Jülich ins Leben gerufene „Young Excellent Scientist Program“ (YESP) ermöglicht es, herausragende NachwuchswissenschaftlerInnen für Auszeichnungen und Nominierungen zu identifizieren und sie auf Führungspositionen in der Wissenschaft mit vielfältigen Entwicklungsmöglichkeiten vorzubereiten. Theresia Heiden-Hecht vom JCNS in Garching wurde für das YESP-Programm 2024 ausgewählt.

Dr. Iaroslav Meleshenkovskii (Quantenmaterialien und kollektive Phänomene, JCNS-2) hat den prestigeträchtigen Young Scientist Award 2024 erhalten, der vom International Committee on Activation Analysis (ICAA) auf der Modern Trends in Activation Analysis Konferenz (MTAA-16, Mai 2024 in Budapest, Ungarn) verliehen wurde. Mit dem Preis werden herausragende Beiträge und frühe Karriereerfolge auf dem Gebiet der nuklearanalytischen Methodik und ihrer Anwendungen in Forschung und angewandten Studien gewürdigt.

GSI

Der renommierte schwedische Experimentalphysiker Professor Thomas Nilsson hat am 1. Dezember 2024 die Position des Wissenschaftlichen Geschäftsführers der GSI und der Facility für Antiproton und Ion Research in Europe (FAIR) GmbH angetreten. Er folgt auf Professor Paolo Giubellino, der als Präsident der wissenschaftlichen Kommission III an die Nationale Forschungsgesellschaft für Kernphysik (INFN) in Italien gewechselt ist. Professor Thomas Nilsson war bis zu seinem Wechsel nach Darmstadt Leiter des Fachbereichs Physik an der Chalmers University of Technology in Göteborg. Außerdem ist er Mitglied in der Physikalischen Klasse der renommierten Royal Swedish Academy of Sciences, die für die Auswahl der Nobelpreisträger*innen zuständig ist.

Professorin Livia Ludhova (FZJ/RWTH Aachen) hat eine gemeinsame Professur für Experimentelle Neutrinophysik (GSI / JGU Mainz) angetreten und die Leitung der Neutrino-Gruppe bei FAIR Forschung NRW übernommen.

Peter Micke trat 2023 eine Position als Leiter einer Helmholtz-Nachwuchsgruppe am HI Jena in Kooperation mit der FSU Jena an. Im Jahr 2024 wurde er auf eine W1-Professur mit Tenure-Track zur W2-Professur berufen.

Zum Thema *Qualifizierungsmaßnahmen im Bereich Data Science* wurde Beratung und Implementierungssupport für moderne Data-Science-Methoden angeboten, insbesondere für das an der GSI entwickelte strategische Software-Framework *FairRoot*. Insgesamt profitierten 50 Teilnehmenden von diesen Maßnahmen. Zudem wurden Workshops zur Anwendung von Data Science Methoden in den Forschungsfeldern der GSI durchgeführt – in Zusammenarbeit mit internationalen Forschungsinfrastrukturen, Partnerinstitutionen und Industrieunternehmen wie der ESA und Merck. Diese Veranstaltungen erreichten rund 50 Teilnehmende. Ergänzend dazu fanden in Kooperation mit *hessian.ai* spezielle KI-Trainings für fünf Mitarbeitende der GSI statt.

Zum Thema *Diversität & Inklusion* werden seit längerem verschiedene Maßnahmen bei GSI getroffen, wie das Angebot von Deutschkursen, bilinguale interne Kommunikation oder die Unterstützung von hör-geschädigten Menschen. Um der Diversität und Internationalität des Zentrums zu entsprechen, findet der im Rahmen des Onboarding-Prozesses etablierte *Welcome Day* in englischer Sprache statt.

Zur Unterstützung von *Dual Career-Paaren* beteiligt sich GSI an den Programmen *Dual Career Netzwerk Darmstadt* und *Dual Career Netzwerk Metropolregion Rhein-* der Rhein-Main-Universitäten. Durch die wachsende Zahl beteiligter Organisationen werden erweiterte Einsatzmöglichkeiten erwartet. Zudem nahm eine Mitarbeiterin des Helmholtz-Institut Mainz am *Ada-Lovelace-Mentoring-Programm* teil.

Hereon

An der Helmholtz-Graduiertenschule für die Struktur der Materie DASHH unter dem Dach des HIDA können geeignete Absolventen an der Schnittstelle zwischen Informationstechnologien und anderen wissenschaftlichen Bereichen (wie der Photonenforschung) forschen und dabei einzigartige Erkenntnisse gewinnen und vertiefen. Eine große Zahl dieser Doktoranden und Postdocs kam mit verschiedenen Stipendien aus dem Ausland. Hereon unterstützt auch junge Studierende aus außereuropäischen Entwicklungs- und Schwellenländern, indem es als Gastgeber für verschiedene DAAD-finanzierte Programme fungiert.

HZB

Anny Gora hat im Jahr 2024 für Ihre Masterarbeit „Injection with Non-Linear Kicker at BESSY II“ an der HU Berlin den Physik Studienpreis 2024 der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin und den Lise-Meitner-Preis 2024 des Fördervereins der Physik der HU erhalten. Dr. Sebastian Keckert wird mit dem Nachwuchspreis für Beschleunigerphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) für seine herausragenden Leistungen bei der Entwicklung neuer supraleitender Dünnschicht-Materialsysteme für Hohlraumresonatoren ausgezeichnet. Die HZB-Photon School fand als Hybridveranstaltung im März 2024 statt. Die Schule richtet sich in erster Linie an Masterstudenten und Nachwuchsforscher in den Bereichen Physik, Chemie, Materialwissenschaften, Ingenieurwesen, Lebens- oder Umweltwissenschaften. Die Teilnehmer werden in Synchrotron- und laborbasierte Methoden eingeführt, mit denen die molekulare Struktur, Funktion und Dynamik komplexer Materialsysteme untersucht werden kann.

Mit seinem Schülerlabor fördert das HZB in Zusammenarbeit mit dem Berliner Senat erfolgreich naturwissenschaftliche Bildung durch Projekttag und Fortbildungen im Schülerlabor für rund 2.000 Schülerinnen und Schüler und Lehrkräften pro Jahr. Das Schülerlabor feierte im Jahr 2024 sein 20-jähriges Bestehen.

HZDR

Am 1. Juni 2024 trat der Physiker Sebastian F. Maehrlein am HZDR seine Tätigkeit auf der gemeinsam mit der TU Dresden berufenen Professur für Hochfeld-Terahertz-Physik an. Parallel übernahm er am HZDR die Leitung der Abteilung Hochfeld-THz-getriebene Phänomene am Institut für Strahlenphysik. Maehrlein wechselte vom Berliner Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, wo er die Forschungsgruppe „THz Structural Dynamics“ geleitet hat. 2022 ist es ihm gelungen, eine Emmy-Noether Nachwuchsgruppe von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) einzuwerben, deren Mittel er zum Teil an das HZDR transferiert hat. Mit seinem Forschungsschwerpunkt in der Hochfeld-Terahertz-Physik, passt er hervorragend ins Team, das am HZDR das Zukunftsprojekt DALI (Dresden Advanced Light Infrastructure) vorantreibt.

Die TU Dresden hat Larysa Baraban (HZDR) einen Ruf zur Besetzung der Professur „Medical Nanotechnology“ am Else Kröner Fresenius Zentrum (EKFZ) für Digitale Gesundheit ab Mai 2024 erteilt. Schwerpunkt von Larysa Barabans Forschung ist die Anwendung von Nanotechnologien in den Lebenswissenschaften. Ihre interdisziplinäre Arbeit ist eng mit dem Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung verknüpft. Die Helmholtz-Gemeinschaft unterstützt die Professur mit einer Fördersumme in Höhe von 200.000 Euro pro Jahr.

Die Technische Universität Breslau (Wrocław Tech) ehrt wegweisende Forschungsarbeiten von Wissenschaftler*innen bis zu einem Alter von 40 Jahren, die in der Europäischen Union forschen, mit dem Europäischen Forschungspreis Stanisław Lem. Er ist nach dem polnischen Science-Fiction-Autor benannt. Der Preis wird jährlich für eine Entdeckung oder eine bedeutende Leistung in den weit gefassten Bereichen Wissenschaft und Technologie verliehen. Dabei sind auch die Kriterien Interdisziplinarität, Kreativität und Weitblick relevant. Preisträger des Jahres 2024 ist Dr. Tobias Dornheim, der am Center of Advanced Systems Understanding (CASUS), die Nachwuchsgruppe „Frontiers of Computational Quantum Many-Body Theory“ leitet. Die Auszeichnung ist mit 100.000 Polnischen Złoty dotiert.

KIT

Die HERCULES European School in Grenoble, Frankreich, ist ein fünfwöchiger Kurs zur Ausbildung von Studierenden und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus europäischen Universitäten und Laboratorien auf dem Gebiet der Neutronen- und Synchrotronstrahlungsforschung. Im Rahmen dieser Schule verbringen die Teilnehmenden eine Woche an einer der Partnerinstitutionen (wie dem KIT). Zwölf der Teilnehmenden haben das KIT ausgewählt, um ihr Praktikum im März 2024 unter Koordination und Mitwirkung von MML-Forschenden zu absolvieren.

Im Rahmen des Exzellenzuniversitätsvorhabens RIRO waren Forschende vom KIT mit Vorlesungen und Praktika am Kompaktkurs „Beschleuniger und Synchrotronstrahlung für die Materialforschung“ beteiligt. Das Vorhaben RIRO schließt die Lücke zwischen Wissensvermittlung in Spezialvorlesungen und der Praxis an den Strahlrohren auf dem Stand der aktuellen Forschung.

Die Promovierenden in Helmholtz Materie werden am KIT durch die zentrale Einrichtung KHYS und in verschiedenen Gradiertenschulen wie der Karlsruhe School of Elementary Particle and Astroparticle Physics: Science and Technology (KSETA) gefördert. Martin Angerer hat den Helmholtz Promotionspreis (Helmholtz Materie) für missions-orientierte Forschung bekommen. Er promovierte über neuartige Ultraschall-Wandlersysteme zur 3D-Bildgebung für die Brustkrebs-Frühdagnostik.

Im Rahmen des Doppelpromotionsprogramms zwischen der KIT-Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik und UNSAM, der Universidad Nacional de San Martín (Buenos Aires, Argentinien) hat Luciano Pablo Ferreyro als erster Doktorand seine Promotion erfolgreich abgeschlossen. Die „Arbeit Back-end Design of the Readout System for Cryogenic Particle Detectors“ wurde von UNSAM als beste Promotion ausgezeichnet.

Matthias Nabinger wurde mit dem „Best Talk Award“ für seinen Vortrag „Characterization and Optimization of Laser-Generated THz Beam for THz Based Streaking“ auf dem 14. Terahertz Young Scientists Meeting am Fraunhofer ITWM in Kaiserslautern ausgezeichnet. Lennard Busch hat den Posterpreis auf dem Einstein Telescope Symposium XIV in Maastricht erhalten. Friederike Boehm wurde mit dem „Best Student Presentation Award“ auf der Konferenz IWC-HTS in Matsue, Japan ausgezeichnet.

Yanina Biondi (KIT) konnte ihr vom KIT finanziertes YIG Prep Pro-Stipendium „R&D for Dark Matter searches with the DARWIN experiment“ mit einer Laufzeit von 2 Jahren von März 2023 bis März 2025 erfolgreich abschließen und hat im November 2024 eine Zusage für eine Helmholtz-Forschergruppe (HIG) erhalten. Die HIG wird sich ab März 2025 mit den HV-bezogenen technologischen Herausforderungen an der „Large-Scale Frontier of Xenon Detectors for Dark Matter“ beschäftigen.

Das KIT organisierte 2024 im Rahmen der International School on Astroparticle Physics (ISAPP) eine Sommerschule zum Thema „Neutrinos and Dark Matter - in the Lab and in the Uni-Verse“. Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler aus 11 Ländern nahmen an der Schule mit Dozenten aus Astroteilchenphysik-Instituten in Deutschland und Europa teil.

Fahim Varsi, seit Mai 2024 Postdoc am KIT in der IceCube-Kollaboration, erhielt den Rahul Basu Memorial Award for best thesis in High Energy Physics der Indian Physics Association für seine Doktorarbeit „Measurement of the energy spectrum and composition of cosmic rays by the GRAPES-3 experiment“, die er im Dezember 2024 auf dem DAE-Symposium für Hochenergiephysik in Varanasi, Indien, vorstellte.

Emanuele Michielin begann sein zweijähriges MSCA-Postdoktorandenstipendium am KIT und SNOLAB für „Understanding the nature of the low energy excess in cryogenic detectors to discover light dark matter (LEGENDRE)“.

Die KSETA-Schule ist mit der Helmholtz International Research School for Astroparticle Physics and Enabling Technologies (HIRSAP) verflochten, die zwei spezielle Doppelpromotionsstudiengänge zwischen dem KIT und der UNSAM in Buenos Aires, Argentinien, anbietet: den Doppelpromotionsstudiengang in Astrophysik (DDAp) und den Doppelpromotionsstudiengang in Elektrotechnik und Informationstechnik (DDEIT). Im Jahr 2024 arbeiteten 15 Doktoranden des HIRSAP.

4.2. Vernetzung und Kooperationen

DESY

Am 1. Juni 2024 begann die zweite Transatlantic Big Science Conference (TTBSC) in Berlin und brachte Persönlichkeiten aus Wissenschaft und Politik aus den USA, Europa sowie dem afrikanischen Kontinent zusammen. Die zweitägige Veranstaltung hatte zum Ziel, die transatlantische Zusammenarbeit in der Wissenschaft für Fortschritte in Forschung und Technologieentwicklungen zu verbessern, nachhaltige und verlässliche Partnerschaften zur Bewältigung globaler Herausforderungen zu fördern und den Grundstein für eine gemeinsame Forschungspolitik zu legen. Podiumsdiskussionen und Thementische konzentrierten sich während der Konferenz auf aktuelle gesellschaftsrelevante Fragen, die durch wissenschaftliche Erkenntnisse angetrieben werden. Darunter fallen beispielsweise Quantentechnologien, Digitalisierung, Fusions- und Gesundheitsforschung. Ein Schwerpunkt war die Forschung zu den erheblichen Auswirkungen des Klimawandels, die sich in immer häufigeren Extremwetterereignissen zeigen. Renommee Experten diskutierten auch über Wissenschaftsdiplomatie, die Förderung der Zusammenarbeit mit dem globalen Süden und die Unterstützung der Wissenschaft in der Ukraine.

Vom 26. bis 30. August 2024 begrüßten DESY und European XFEL im Kongresszentrum CCH in Hamburg mehr als 1 000 Expertinnen und Experten aus aller Welt zur 15. Internationalen Konferenz für die Instrumentierung von Synchrotronstrahlungsquellen (SRI). Die Zweite Bürgermeisterin und Hamburger Senatorin für Wissenschaft, Forschung und Gleichstellung, Katharina Fegebank, sowie die schleswig-holsteinische Ministerin für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur, Karin Prien, eröffneten am 27. August die Veranstaltung im CCH. Die Konferenz gilt als das weltweit wichtigste Austauschforum für die Weiterentwicklung von großen Röntgenstrahlungsquellen wie European XFEL in Schenefeld bei Hamburg oder DESY in Hamburg-Bahrenfeld. Die erste Tagung wurde 1982 in Hamburg ins Leben gerufen und findet seitdem weltweit alle drei Jahre an verschiedenen Orten statt. Die SRI-Konferenz bietet Einblicke in technologische Innovationen und neue Messmethoden, die für die Entwicklung zukünftiger Synchrotronlichtquellen und Röntgenlaser und deren Anwendungen von entscheidender Bedeutung sind. „Wir sind sehr stolz, die Konferenz in Hamburg ausrichten zu können“, sagt Robert Feidenhans'l, einer der Vorsitzenden des Internationalen Beraterausschusses für die SRI-Konferenz und ehemaliger Geschäftsführer von European XFEL.

DESY und die Helmut-Schmidt-Universität – Universität der Bundeswehr Hamburg (HSU/UniBw H) wollen ihre strategische und operative Kooperation ausbauen. Das vereinbarten DESY-Chef Helmut Dosch und der Präsident der HSU/UniBw H, Klaus Beckmann in einem

Kooperationsvertrag, den sie am 26. März 2024 im Rahmen des Tags der Forschung an der HSU/Uni Bw H unterschrieben.

DESY und zahlreiche indische Forschungseinrichtungen wollen künftig enger zusammenarbeiten. Darauf haben sich Vertreterinnen und Vertreter der jeweiligen Einrichtungen während einer Delegationsreise ab 24. Oktober der deutschen Bundesregierung und DESY in Neu-Delhi geeinigt.

Im Rahmen der siebten indisch-deutschen Regierungskonsultationen und anlässlich der 50-Jahr-Feier der indisch-deutschen wissenschaftlichen Zusammenarbeit wurde eine Kooperationsvereinbarung in Anwesenheit von Bundesministerin für Bildung und Forschung, Bettina Stark-Watzinger, und ihrem indischen Amtskollegen, Dr. Jitendra Singh, unterzeichnet. Von DESY-Seite führte Prof. Franz Kärtner, kommissarischer Direktor Photon Science, die DESY-Delegation an.

FZJ

Der Rat der European Spallation Source (ESS) hat Dr. Yannick Beßler vom Institute of Technology and Engineering (ITE) in den sechsköpfigen technischen Beratungsausschuss (TAC) für das Target berufen. Das TAC besteht aus herausragenden Experten, die nicht bei der ESS angestellt sind oder anderweitig direkt mit dem ESS verbunden sind und berät den Rat in technischen Fragen und anderen für die ESS wichtigen Angelegenheiten. Die Mitglieder des TAC und sein Vorsitzender werden vom Rat ernannt.

ITE und JCNS sind maßgeblich an der Entwicklung und dem Bau der drei Neutronenstreuinstrumente DREAM, SKADI und T-REX für die ESS in Lund (Schweden) in Kooperation mit dem CEA (Frankreich), CNRS (Frankreich), LLB (Frankreich), CNR (Italien) und der Universität Perugia (Italien) beteiligt. Die Instrumente werden im Rahmen eines In-Kind-Beitrages vollständig neu entwickelt und konzipiert. 2024 wurde mit dem Aufbau der drei Instrumente vor Ort an der ESS begonnen.

Die gemeinsam von KFN und JCNS organisierte German Conference on Neutron Scattering 2024 fand vom 16. bis 18. September 2024 in Aachen statt.

GSI

Im Bereich des Datenmanagements arbeiten GSI und HI Jena im Rahmen des in 2024 gestarteten *Semantic x-Lab*-Projekts mit HZDR und GFZ zusammen. Gefördert durch die *Helmholtz Metadata Collaboration* (HMC), verfolgt das Projekt das Ziel, Metadaten effizient zu verwalten und Informationen Zentren übergreifend zu verknüpfen sowie durchsuchbar zu machen.

Im Jahr 2024 schlossen sich 16 Institutionen aus der Metropolregion Frankfurt/Rhein-Main zur *Frankfurt Alliance* zusammen, darunter die GSI und die GU Frankfurt. Das Netzwerks hat das Ziel, die Bedingungen für gemeinsame Forschungsaktivitäten zu vereinfachen, bestehende administrative Hürden durch übergreifende Regelungen abzubauen und gemeinsame Forschungsstrukturen sowie Infrastrukturen zu etablieren.

Das europäische Forschungsprojekt „UPLIFT“, das in 2024 gestartet wurde, vereint 15 führende Wissenschaftseinrichtungen und Industriepartner aus ganz Europa. Es widmet sich der Entwicklung der Strahlentherapie in aufrechter Körperhaltung – ein Paradigmenwechsel, der den weltweiten Zugang zu fortschrittlicher Krebsbehandlung entscheidend verbessern könnte. Das Konsortium wird von der Biophysik-Abteilung der GSI koordiniert.

Hereon

In Helmholtz Materie ist GEMS eng in nationale und internationale Netzwerke und Kooperationen wie MLZ, LENS und ARIE eingebunden. Der Direktor von GEMS, Prof. Martin Müller, ist Vorsitzender der LENS-Initiative (League of advanced European Neutron Sources) und vertritt das Heinz Maier-Leibnitz Zentrum (MLZ; als einer der wissenschaftlichen Direktoren), die Kooperation zwischen TU München, FZJ und Hereon zur wissenschaftlichen Nutzung der Forschungsneutronenquelle FRM II. Im Jahr 2025 wurde er außerdem Sprecher des ARIE-Netzwerks (Analytical Research Infrastructures in Europe). Hier ist er zuständig für die Öffentlichkeitsarbeit der nationalen Gremien wie KFN und KFS, den Vertretungsorganen der Nutzer von Neutronen- und Synchrotronstrahlungsquellen. Im Rahmen des EU-Projekts ReMade@ARI (Recyclable materials development at Analytical Research Infrastructures) schließen sich wichtige europäische Forschungsinfrastrukturen, darunter auch GEMS, zusammen, um ein Unterstützungszentrum für die Materialforschung zu schaffen, das den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft erleichtert. Im Rahmen dieses Projekts wird ein koordinierter Zugang zu mehr als 50 europäischen analytischen Forschungsinfrastrukturen angeboten, die den Großteil der Einrichtungen des ARIE-Netzwerks umfassen. ReMade@ARI bietet umfassende Dienstleistungen für die Forschung im Zusammenhang mit der Entwicklung neuer Materialien für die Kreislaufwirtschaft.

HZB

Das Horizon Europe Projekt RF2.0 wurde in 2024 gestartet (Kickoff im Januar am KIT, Workshop im September in Madrid (zusammen mit ESFRI Workshop)). Das Ziel von RF2.0 ist es Großforschungsanlagen wie etwa Teilchenbeschleuniger nachhaltiger zu gestalten. Der Fokus liegt dabei auf der Entwicklung neuartiger Komponenten- und Systemlösungen zur Verbesserung der Energienutzung. Partner: sind KIT (Koordination), ALBA, CERN. COMMTIA (Spain, Industrie), Cryoelectra GmbH (D, Industrie), DESY, ELYTT Energy SL (Spain, Industrie), HZB, MAX IV, Zaphiro Technologies SA (CH, Industrie). Im Rahmen von RF2.0 arbeitet das HZB zusammen mit ALBA, KIT, CERN, MAX IV sowie einigen Unternehmen an Permanentmagnete und effizienten Festkörperverstärkern für High-Power RF Systeme für Speicherringe.

In dem Projekt iSAS: Innovate for Sustainable Accelerating Systems arbeitet das HZB auf internationaler Ebene mit CERN, DESY, ESS, u.a. zusammen, um die Entwicklung und den Einsatz energiesparender Technologien zu beschleunigen, die das Kernstück der supraleitenden HF-Beschleunigungssysteme für viele beschleunigergetriebene Forschungsinfrastrukturen bilden.

Das HZB ist einer der Gründungspartner des paneuropäischen Forschungsnetzwerks Centre for Molecular Water Science (CMWS). Das Netzwerk bringt Schlüsselexperten aus verschiedenen Bereichen der wasserbezogenen Wissenschaften mit dem gemeinsamen Ziel zusammen, ein detailliertes molekulares Verständnis von Wasser zum Nutzen der Grundlagenforschung und angewandter Technologien zu erreichen. Am HZB und in der Abteilung PS umfasst das Netzwerk sieben einzigartige Infrastrukturen für die weiche Röntgenspektroskopie und damit verbundene Wissenschaftler, die weltweit einzigartige Einblicke in die natürlichen und industriell relevanten physikalisch-chemischen Phänomene im Wasser gewinnen.

HZDR

Um ihre Kompetenzen auf dem noch jungen Forschungsfeld der Hochenergiedichtephysik zu bündeln, wollen die Universität Rostock und das HZDR ein gemeinsames Institut gründen. Diese Pläne haben die beiden Einrichtungen am 1. August 2024 während einer Feierstunde in einem Memorandum of Understanding festgehalten. Gleichzeitig bekräftigten die Ministerpräsidentin Mecklenburg-Vorpommerns, Manuela Schwesig, und der Ministerpräsident des Freistaates Sachsen, Michael Kretschmer, in einer Absichtserklärung die Unterstützung der beiden Bundesländer für den Aufbau des High Energy Density Instituts (HEDI) in Rostock. Der Fokus der Einrichtung soll auf der Erforschung von Materie unter extremen Bedingungen liegen, wie sie im Inneren von Planeten und Sternen herrschen, aber auch für die Trägheitsfusion (Inertial Fusion Energy/IFE) von herausragender Bedeutung sind.

Im März 2024 startete das EU-Projekt RIANA (Research Infrastructure Access in Nanoscience & Nanotechnology) das der Nutzergemeinschaft eine einzigartige Plattform mit 69 Forschungsanlagen aus 22 europäischen Ländern zur Verfügung stellt, einschließlich Synchrotron-, Elektronenmikroskopie-, Laser-, Ionenstrahl-, Neutronen-, Reinraum- und Soft-Matter-Forschungsinfrastrukturen sowie Hochleistungsrechnern. Über den normalen Nutzerzugang zu einzelnen Einrichtungen hinaus bietet RIANA einen Single-Point-Zugang und eine besonders starke Nutzerunterstützung durch ein Netzwerk von Nachwuchswissenschaftlern. RIANA wird mit akademischen und industriellen Nutzern über ein rollierendes Ausschreibungssystem in Kontakt treten und Experimente fördern, die verschiedene Einrichtungen und Techniken kombinieren. Diese Kombination wissenschaftlicher Instrumente wird neue Ansätze und eine Erweiterung der Nutzergemeinschaft ermöglichen und den Weg für beschleunigte Innovationen auf der Grundlage von Nanomaterialien ebnen.

KIT

Im März 2024 war das KIT Gastgeber der DPG-Frühjahrstagung auf dem Campus Süd. Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler waren an der Organisation und Durchführung dieser großen Tagung beteiligt, boten Laborführungen zu den Einrichtungen am Campus Nord an, und Kathrin Valerius, KIT, hielt den öffentlichen Abendvortrag „Dem unsichtbaren Universum auf der Spur: Neutrinos und Dunkle Materie“. Ein ganz besonderer Höhepunkt war der Festakt für Herwig Schopper, bei der Schoppers 100. Geburtstag mit einem Festvortrag von Beate Heinemann, DESY, über „Particle Physics Through the Ages: Ein Jahrhundert der Entdeckungen und der Weg in die Zukunft“ gefeiert wurde.

Im Oktober 2024 organisierte das KIT den „International Workshop on Baryon and Lepton Number Violation (BLV2024)“ mit fast 70 Teilnehmern aus etwa 40 internationalen Forschungsinstituten, die ein breites Spektrum der BSM-Physik mit theoretischen und experimentellen Komponenten abdeckten.

Das XLZD-Konsortium, das im Jahr 2021 gegründet wurde, ist im Sommer 2024 zu einer vollständigen Zusammenarbeit übergegangen. Die Zusammenarbeit umfasst mehr als 70 Institutionen aus 15 Ländern. Kathrin Valerius (KIT) wurde in den Vorstand des XLZD-Konsortiums gewählt, nachdem sie in den ersten Jahren der Zusammenarbeit im Lenkungsausschuss des Konsortiums mitgearbeitet hatte.

Das PUNCH4NFDI-Konsortium bindet die deutschen Communities der Teilchenphysik, Astroteilchenphysik, Astronomie sowie der Hadronen- und Kernphysik fest in die Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI e.V.) ein. Das Konsortium mit DESY als Koordinator und dem

KIT-Wissenschaftler Andreas Haungs als satzungsgemäßem Sprecher konnte große Schritte zur Erreichung seiner Hauptziele einer wissenschaftlichen Datenplattform, der Definition eines digitalen Forschungsprodukts für seine Communities und einer abschließenden Diskussion über Metadatenschemata vorweisen. Immer mehr Anwendungsfälle können nun umgesetzt werden, was das Konsortium für einen immer breiteren Kreis von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die in diesem Bereich arbeiten, öffnet, und die Aktivitäten über ESCAPE auch fest mit der europäischen Ebene verbindet. Mit der Base4NFDI-Initiative wurde ein Instrument geschaffen, das konkrete Aktivitäten und Dienste unterstützt, die allen Teilen der NFDI zugutekommen und Querverbindungen zwischen immer mehr Forschungsbereichen herstellt.

Das EU-Projekt RF2.0 zur Entwicklung von Systemen und Komponenten für nachhaltige und energie-effiziente Beschleunigeranlagen startete im Januar mit einem Kick-Off-Meeting am KIT. An RF2.0 sind sechs europäische Teilchenbeschleunigerzentren und vier Industriepartner beteiligt.

Im Rahmen des EU-Projekts iFAST wurden zwei Workshops am KIT veranstaltet. Als Besonderheit konnten die Teilnehmer im Rahmen des Workshops Messungen an KARA, der Beschleuniger-Testanlage des KIT, z.B. zu Elektronenstrahlstabilisierung durchführen.

2024 wurde Frank Simon als Mitglied des STFC Technology Department Reviews berufen, Anke-Susanne Müller von der „Canada Foundation for Innovation“ ins CLS Standing Advisory Committee der Canadian Light Source.

4.3. Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

DESY

Das vom BMBF geförderte Projekt „TransferWelten“ bringt die Grundlagenforschung DESYs und die anwendungsnahe Forschung der HAW Hamburg zusammen, um Innovationsprozesse neu zu denken. Mit dem Projekt bündeln DESY und die Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg) ihre Expertise im Transferbereich, um neue Innovationsprozesse zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft und Politik zu initiieren, die sich in herkömmlichen Innovationsumgebungen in dieser Form nicht entwickeln würden. So versucht das Vorhaben beispielsweise die Grundlagenforschung enger mit Akteurinnen und Akteuren aus dem Bereich Kunst, Kultur und Medien zu vernetzen und gemeinsame Innovationen voranzutreiben. „TransferWelten“ hat zum Ziel, Fragestellungen, Ideen und Geschäftsmodelle aus möglichst vielen gesellschaftlichen Bereichen aufzugreifen und durch Wissenschaft Lösungen für Herausforderungen in der Region Hamburg zu entwickeln. Dabei werden die Grundlagenforschung DESYs und die anwendungsnahe Forschung der HAW Hamburg vereint, um gemeinsame Ansatzpunkte für neue Projekte und Initiativen zu schaffen. Mit dem Vorhaben gewinnt der Wissens- und Technologietransfer an neuen Möglichkeiten, um einen höheren Beitrag für die Gestaltung gesellschaftlicher Transformation zu leisten. Hierfür werden unter dem gemeinsamen Dach von DESY und HAW Hamburg Methoden und Herangehensweisen erarbeitet und erprobt. Durch die enge Vernetzung zweier unterschiedlicher Typen von Wissenschaftseinrichtungen können neue Konzepte zur Einbeziehung sozialer Innovationswerkzeuge und -methoden erarbeitet werden, um sowohl das Paradigma von technologischen als auch von sozialen Innovationen zu ändern. Im Rahmen des Projekts werden neue Beteiligungs- und Austauschformate für das Design transdisziplinärer Projekte entwickelt. Die erar-

beiteten Methoden werden anschließend in Form eines Methodenbaukastens als „Transferkatalog“ interessierten Wissenschaftseinrichtungen zur Verfügung gestellt. Die Erprobung und Umsetzung von Initiativen und Projekten, die das Potenzial eines erweiterten Transfers hinsichtlich ihrer sozialer Innovationskraft ausschöpfen wollen, erfolgt im Rahmen eines „Transferforums“, mit dem Ziel einer nachhaltigen Etablierung.

DESY und IonQ, ein führendes Unternehmen in der Quantencomputerbranche, haben am 14. März 2024 erste Ergebnisse ihrer Zusammenarbeit bei der Lösung kombinatorischer Optimierungsprobleme auf dem Quantensystem von IonQ präsentiert. Die Ergebnisse zeigen, dass das Quantencomputing bei der Lösung von Gleichungen mit mehreren Variablen in enger Verflechtung – wie zum Beispiel auf einem belebten Flughafen – das Potenzial hat, effektiver als das traditionelle klassische Rechnen zu sein. Eine Publikation zur Erläuterung des Projekts, das Teil der DESY-Quanteninitiative ist, hat die Gruppe jetzt auf dem Preprint-Server arXiv veröffentlicht. Quantentechnische Verfahren, die für das Problem der Flugsteigzuweisung verwendet wurden, sind auch für die Teilchenrekonstruktion in der Hochenergiephysik eingesetzt worden, z. B. beim LUXE-Experiment bei DESY.

DESY-Forschende sind regelmäßig bei diversen öffentlichen Veranstaltungen, wie z.B. dem „DESY Science Cafe“, „Wissen vom Fass“ sowie wissenschaftlichen Abendvorträgen wie „Wissenswerte“ vertreten, u.a. mit den Vorträgen zu Forschung mit Photonen an Großgeräten. Beim Science City Day am 1. Juni 2024 öffnete DESY seine Türen und bot spannende Einblicke in Experimentierhallen, Beschleunigertunnel und Labore. Besucher konnten über 100 Aktionen, Mitmach-Experimente und Vorträge zu aktuellen Forschungsprojekten erleben.

FZJ

Die Zusammenarbeit mit JCNS wird durch regelmäßige, zentrenübergreifende und thematisch orientierte Workshops gefördert. Im Jahr 2024 war der JCNS-Workshop dem Thema „Functional Interfaces“ gewidmet, einem Querschnittsbereich der Forschung mit Neutronen in Wissenschaft und Industrie am Rande der neuesten wissenschaftlichen und technologischen Errungenschaften.

Die Kooperationen mit der Industrie im Bereich der Lebensmittelwissenschaften (Formo GmbH, Friesland Campina, Lipoid GmbH, Rubisco Food NV, IOI Oleo GmbH) und mit Halbleiterherstellern (QUALCOMM) wurden auch in 2024 fortgeführt. Im Rahmen des GNeuS-Programms werden Nachwuchswissenschaftler zu nicht-akademischen Partnern des Programms entsandt, zu denen BASF (Deutschland), Mirrotron (Ungarn), Nano Optics (Deutschland), Swissneutronics (Schweiz) und VTA (Österreich) gehören.

GSI

Das patentierte RoSEN-Verfahren (Robust (hyper)Surfaces Extraction Procedures in N Dimensions) ermöglicht die numerische Berechnung von Konturen, Flächen und Hyperflächen in beliebigen Dimensionen. Es soll weiterentwickelt und um geeignete Pre- und Post-Prozesse ergänzt werden. 2023 wurden drei potenzielle Anwendungen identifiziert: (a) Hard- und Software-Kombination für moderne Messdatenerfassung in der Meeresforschung, (b) effiziente Referenzdatengenerierung für Radar-Satellitendaten und (c) eine digitale Erlebniswelt zur „Grube Messel“ basierend auf gescannten Daten.

Die GSI-Stabsstelle Technologietransfer organisiert im Rahmen von HepTech die Online-Seminarreihe *HEPTrepreneurs episodes* für wissenschaftlichen Nachwuchs mit Interesse an Ent-

preneurship. Expert*innen geben Einblicke in erfolgreiche Ausgründungen und Herausforderungen. Die Graduiertenschule HGS-HiRe informiert ihre Promovierenden regelmäßig darüber und fördert die Teilnahme. Im Berichtsjahr haben 96 GSI Mitarbeiter*innen die Seminarreihe besucht.

Professorin Claudia Fournier, Leiterin des GSI-Forschungsfeldes „Immunmodulation und Gewebefeffekte (nach Schwerionenbestrahlung)“ wurde im Jahr 2024 vom Bundesumweltministerium zur stellvertretenden Vorsitzenden der Strahlenschutzkommission (SSK) ernannt worden. Das Gremium berät das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) in allen Fragen des Schutzes vor ionisierender und nichtionisierender Strahlung.

Die Auftaktveranstaltung der „Tage der Industriekultur Rhein-Main“ wurde in diesem Jahr bei GSI/FAIR ausgerichtet. Im Rahmen der Veranstaltung erhielten die Besucher*innen exklusive Einblicke in die Spitzenforschung und die technischen Anlagen von GSI und FAIR. Das vielseitige Programm stieß auf großes Interesse und zeigte eindrucksvoll die Bedeutung von Wissenschaft, Technik und Innovation für die regionale Industriekultur.

Das erste *Science Festival* der Anfang des Jahres neu gegründeten *Frankfurt Alliance* lief erfolgreich mitten in der Innenstadt. Die große Veranstaltung der „Frankfurt Alliance“ bot ein spannendem Bühnenprogramm und viele Aktionen. Auch GSI/FAIR gaben mit zwei Mitmach-Experimenten Einblick in die Funktion von Teilchenbeschleunigern und die wissenschaftliche Arbeit.

Hereon

Im Rahmen von Helmholtz Materie bietet das EU-Projekt NEPHEWS (Neutrons and photons elevating World-wide science) Zugang zu Europas fortschrittlichsten Neutronen- (N), Synchrotron- (SR) und Freie-Elektronen-Laser- (FEL) Forschungsinfrastrukturen, um die Spitzenforschung an diesen Quellen zu unterstützen. NEPHEWS verfolgt einen neuartigen Ansatz, um einen nutzerorientierten Zugang zu ermöglichen, insbesondere für neue und nicht fachkundige Gruppen. NEPHEWS arbeitet eng mit Nutzerorganisationen und Infrastrukturkonsortien im Bereich der Neutronenforschung (ENSA & LENS) und der Synchrotronstrahlung (ESUO & LEAPS) zusammen, um den Zugang für Wissenschaftler aus Ländern ohne eigene Großforschungsinfrastrukturen zu fördern. Im German Engineering Materials Science Centre (GEMS) können verschiedene Materialien zerstörungsfrei analysiert und charakterisiert werden, wobei die Instrumente an den von Hereon betriebenen Strahlrohren an PETRA III in Hamburg und am FRM II-Reaktor in Garching insbesondere auch industriellen Kunden zur Verfügung stehen. Die kommerzielle Nutzung dieser Anlagen hat im Laufe der Jahre stetig zugenommen, mit einem leichten Rückgang im Jahr 2021 aufgrund der COVID-19-Reisebeschränkungen und einem Rückgang der Strahlzeitnutzung im Jahr 2023, möglicherweise aufgrund der vorsichtigeren Investitionen der Unternehmen in die Forschung.

HZB

Das HZB hat eine Erfindungsmeldung für Variable Hybrid Permanentmagnete eingereicht, die auch bei BESSY III zum Einsatz kommen sollen.

HZDR

Die Amplitude Laser Group und das HZDR stärken ihre seit 18 Jahren bestehende Zusammenarbeit durch die Gründung eines gemeinsamen Forschungslabors in Dresden. Aufbauend auf der gemeinsamen Forschungsarbeit mit dem Hochleistungslaser DRACO zielt die strategische Partnerschaft auf die Weiterentwicklung von Laser-Diagnostik, -komponenten und -anwendungen mit dem Schwerpunkt der Elektronen- und Protonenbeschleunigung. Um die erfolgreiche Zusammenarbeit weiter auszubauen, verlagert Amplitude Forschungs- und Entwicklungsressourcen von seinem Standort in Lisses, Frankreich, nach Dresden. Die Arbeit des neuen Labors wird sich vor allem auf die Entwicklung innovativer Lösungen für Lasertechnologie, sekundäre Strahlungsquellen und Lasermesstechnik konzentrieren. Zur weiteren Unterstützung dieser Bemühungen wird Amplitude Doktorandenstellen am HZDR finanzieren und ein lokales Team in Dresden aufbauen, um eine starke und nachhaltige Präsenz in der Region zu gewährleisten.

Ein von Focused Energy geführtes Verbundprojekt in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen, dem HZDR, Photonis Germany sowie TRUMPF und der TU Darmstadt möchte die erste laserbasierte Neutronenquelle für den Industrieinsatz entwickeln. Basis dafür ist das sogenannte LDRS-Verfahren (Laser-Driven Radiation Sources), welches zerstörungsfrei nicht nur durch dicke Stahl- oder Betonwände hindurch-, sondern auch hineinsehen kann. Es bietet eine deutlich kostengünstigere und kompakte Alternative in Anwendungen, wie der Charakterisierung von fest verschlossenen Behältern, z.B. bei der Untersuchung von nuklearen Abfallbehältern, aber auch bei der Inspektion von großen Bauteilen wie Brücken oder Schiffscontainern. Für eine Pilotanlage stellt RWE dafür Räumlichkeiten am Standort Biblis zur Verfügung. Das BMBF fördert das Projekt mit 20 Mio. Euro.

KIT

Das ganze Jahr über werden am DESY und KIT Schülerlabore und Masterclasses angeboten. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler stellen ihre Arbeit regelmäßig in Schulen oder bei Veranstaltungen vor. Im Jahr 2024 wurde die langjährige Kooperation zwischen dem KIT und einem örtlichen Gymnasium mit einer dreitägigen Exkursion zum CERN fortgesetzt. Darüber hinaus beteiligen sich GSI, DESY und KIT jedes Jahr am Girls' Day, um junge Mädchen für MINT-Fächer zu begeistern, z.B. mit Laborbesuchen, praktischen Erfahrungen bei der Datenanalyse oder mit Live-Gesprächen mit internationalen Forscherinnen an unseren Forschungsinfrastrukturen in aller Welt. Im August veranstaltete das KIT ein Science Camp für Gymnasiasten zum Thema Teilchen- und Astroteilchenphysik, das von 21 Schülerinnen und Schülern aus ganz Deutschland besucht wurde.

Im Technologie-Transfer-Projekt QUSTom, gefördert im Rahmen eines PATHFINDER-Projekts von Horizon Europe, werden neuartige Bildgebungsverfahren entwickelt und validiert, die die Bildgebung zur Brustkrebsfrüherkennung revolutionieren. Der vom KIT entwickelte 3D Ultraschall-Computertomograph wurde in einer klinischen Studie an 58 Patientinnen getestet. Das Projekt war unter anderem auf der international anerkannten Blend eConference mit einem KeyNote-Beitrag vertreten.

In einem supraleitenden Undulator für Freie-Elektronen-Laser (FELs) wurde ein Weltrekord-Magnetfeld erreicht. Eine Zusammenarbeit von KIT und Bilfinger Nuclear & Energy Transition ermöglichte die Entwicklung der supraleitenden Undulatorsulen. Die Ergebnisse sind ein Meilenstein für die Anwendung von supraleitenden Undulatoren in FELs, um die Leistung, Effizienz und Nachhaltigkeit dieser Beschleuniger in Zukunft zu verbessern.

Zentren- und Programmübergreifend

Im Innovationspoolprojekt Data-X wurde in Zusammenarbeit mit dem Joint Lab MDMC ein Softwaretool für die automatisierte Registrierung korrelativer, multimodaler Bilddaten entwickelt, das erfolgreich für die multimodale Analyse von 3D-Mikrotomographiedaten (μ CT) und 2D histologischen Schnitten von biologisch abbaubaren Knochenimplantaten eingesetzt wurde. Hierbei wurden die den histologischen Schnitten entsprechenden virtuellen Ebenen im 3D- μ CT-Volumen automatisch aufgefunden, und nachfolgend nicht-rigide registriert, um die durch die histologische Präparation verursachten Verzerrungen zu korrigieren. Zudem wurde das neuronale Netzwerk (cycleGAN) für die virtuelle Histologie, welches die histologische Information in die 3. Dimension erweitert, erfolgreich weiterentwickelt und liefert nun stabile Ergebnisse. Dies ist ein wichtiger Schritt in der Entwicklung einer KI-getriebenen digitalen Pathologie mit dem Vorteil, 3D- statt 2D-Informationen zu liefern und gleichzeitig den experimentellen Aufwand zu reduzieren.

4.4. Drittmittelinwerbung

DESY

Der DESY-Theoretiker Aditya Pathak hat für sein Forschungsprojekt TOPMASS einen ERC Starting Grant erhalten - eine der begehrtesten europäischen Förderungen für Nachwuchswissenschaftler. Ab September 2025 wird Aditya Pathak eine Gruppe leiten, die daran arbeitet, die Genauigkeit von Messungen der Masse des Top-Quarks zu verbessern. Dabei geht es um den Prozess, bei dem sich energiereiche Quarks und Gluonen, die in Teilchenkollisionen erzeugt werden, zu Hadronen (der Teilchenfamilie, aus der vor allem die Atomkerne bestehen) verbinden. Die genaue Bestimmung der Masse des Top-Quarks und die systematische Behandlung der Hadronisierung sind von entscheidender Bedeutung für viele andere Präzisionsmessungen in der Teilchenphysik, die derzeit noch stark von der Simulation von Teilchenkollisionen abhängen. Pathak erhält 1,5 Millionen Euro über einen Förderzeitraum von fünf Jahren.

Christoph Heyl, Forschungsgruppenleiter bei DESY und am Helmholtz-Institut Jena, erhält einen renommierten ERC Consolidator Grant. Damit wird sein Forschungsprojekt „Gas Phase Sonophotonics“ – GASONIC – über eine Laufzeit von fünf Jahren mit 2 Millionen Euro gefördert. Mit den hochkompetitiven Consolidator Grants unterstützt der Europäische Forschungsrat (ERC) exzellente Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dabei, ihre innovative Forschung zu etablieren und weiter auszubauen und ihre vielversprechendsten wissenschaftlichen Ideen zu verfolgen. Christoph Heyl leitet die Forschungs- und Innovationsgruppe Ultrafast Photonics bei DESY. Seine Arbeit konzentriert sich auf die Entwicklung ultraschneller optischer Methoden und Technologien mit Anwendungen z.B. für die Wissenschaft, Teilchenbeschleuniger und die Industrie. Das GASONIC-Projekt baut auf den jüngsten Pionierarbeiten von Christoph Heyl und seinem Team auf, in denen sie die Ablenkung intensiver Laserpulse durch intensive Ultraschallwellen direkt in Luft demonstriert haben. Hierfür ist Heyl auch kürzlich mit dem DESY Innovation Award ausgezeichnet worden.

Mehrere Marie Skłodowska-Curie (MSCA)-Projekte konnten, trotz der ebenfalls sehr kompetitiven Erfolgsquoten, eingeworben werden. Hervorzuheben ist insbesondere das Projekt EPACE (European compact accelerators, their applications, and entrepreneurship), ein DESY-koordiniertes Doktorandennetzwerk. EPACE wird im Januar 2025 starten, um die nächste Generation von Wissenschaftler:innen in kompakten Beschleunigertechnologien auszubilden und

Anwendungen und kommerzielle Möglichkeiten zu erforschen. Das Konsortium unter der Leitung von DESY besteht aus neun akademischen Partnern und einem privaten Unternehmen aus sieben EU-Ländern sowie 22 assoziierten Partnern weltweit. Das Gesamtfördervolumen beträgt fast 4 Mio EUR. Ab 2025 finanziert das vierjährige Programm 15 Promotionsprojekte für fortgeschrittene Forschung innerhalb des Konsortiums. Die Teilnehmenden erhalten eine umfassende Ausbildung, darunter Aufenthalte bei Partnerinstitutionen, Sommerkurse sowie Schulungen in wissenschaftlichen und übertragbaren Fähigkeiten. Zudem bietet die HEC Paris ein Entrepreneurship-Training an, um kommerzielle Möglichkeiten für kompakte Beschleuniger zu identifizieren.

Auch im Bereich der MSCA-Individualförderung war DESY erfolgreich. Emil Vogt, Nachwuchswissenschaftler im Bereich FS, hat zusammen mit Jochen Küpper eine zweijährige Förderung für ein exzellentes Postdoc-Projekt im Rahmen der MSCA-Postdoctoral Fellowship eingeworben.

Ebenso außerordentlich erfreulich ist, dass DESY in dem neu aufgesetzten European Innovation Council (EIC), der die Wettbewerbsfähigkeit Europas stärken will, ein weiteres Mal erfolgreich war. Das Projekt femto-iCOMB, unter Beteiligung von Tobias Herr und Franz Kärtner, wurde in der sog. „EIC-Transition“ Förderlinie bewilligt. Mit diesem Förderinstrument unterstützt der EIC die Reifung und Validierung einer neuartigen Technologie und die gleichzeitige Entwicklung eines Geschäftsmodells für die zukünftige Kommerzialisierung. Im Projekt femto-iCOMB wird ein Frequenzkamm auf der Basis eines integrierten Femtosekundenlasers entwickelt. Dieser ist eine Schlüsselkomponente für optische Messungen und Hochfrequenztechnologien.

DESY wurde auch Partner in einem Widening-Projekt. Das Astrocent - Particle Astrophysics Science and Technology Centre - hat eine Förderung von 15 Millionen Euro erhalten, die durch polnische Mittel auf insgesamt 30 Millionen Euro verdoppelt wird. Diese Unterstützung soll das bestehende Zentrum AstroCeNT in Polen in ein neues interdisziplinäres Institut, Astrocent Plus (AC+), umwandeln. AstroCeNT ist an bedeutenden internationalen Experimenten zur Erforschung dunkler Materie, Neutrinos und Gravitationswellen beteiligt. Ziel von Astrocent ist es, Wissenschaft und Industrie zu verknüpfen und Innovation in Polen und Europa zu fördern.

Rob Shalloo, Wissenschaftler in der Gruppe Plasmabeschleuniger bei DESY, ist von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zur Förderung durch das Emmy Noether-Programm ausgewählt worden. Als Alternative zur traditionellen Habilitation ermöglicht das Emmy Noether-Programm herausragenden Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern, sich für eine Universitätsprofessur zu qualifizieren, indem sie für einen Zeitraum von sechs Jahren eine eigenständige Forschungsgruppe leiten. Sie wird sich auf die Entwicklung neuartiger Plasmaquellentechnologien für Hochenergie-Laserplasmabeschleuniger konzentrieren.

Auch der DESY-Theoretiker Johannes Braathen konnte erfolgreich eine Emmy Noether Forschergruppe einwerben. Das im November gestartete Projekt trägt den Titel „Cornering New Physics with Generic Precision Calculations“. Die Forschergruppe wird ein besonderes Augenmerk auf das Higgs-Teilchen richten, dem als letztes Entdeckten unter den bekannten subatomaren Teilchen: Es wurde in den 1960-er Jahren vorhergesagt und 2012 am Large Hadron Collider am CERN in Genf entdeckt.

FZJ

Eine der Kernkomponenten der sich im Bau befindlichen ESS Anlage ist das Moderator-Reflektor-System (MRP). Das erste dieser Systeme, der MRP-I, wurde am ITE entwickelt, gefertigt und im Jahr 2024 erfolgreich in die Anlage integriert. Die Weiterentwicklung des Systems, der MRP-II wurde im Rahmen eines Drittmittelprojektes ebenfalls im Jahr 2024 an das ITE vergeben. Der länderübergreifende Zugang zu Neutronenexperimenten wird über EU-finanzierte Projekte innerhalb des NFFA- und RIANA-Konsortiums gewährt, die sich beide auf Nanomaterialien konzentrieren.

GSI

Prof. Thomas Stöhlker, Leiter der Forschungsabteilung für Atom-, Quanten- und Fundamentale Physik bei GSI/FAIR, Direktor des Helmholtz Instituts Jena und Professor an der Friedrich-Schiller-Universität Jena, wurde mit einem ERC Advanced Grant ausgezeichnet. Das HITHOR-Projekt schlägt einen innovativen Ansatz vor, um eine Nuklearuhr unter Verwendung von ultrakalten, isolierten hochgeladenen Thorium-229-Ionen zu entwickeln. Das Stipendium ist mit 2,5 Millionen Euro für den Zeitraum 2024-2029 dotiert.

Ein Forschungsteam unter der Leitung von Dr. Maarten Boonekamp (Sprecher, Institut für Forschung zu den fundamentalen Gesetzen des Universums, CEA, Paris-Saclay), Prof. Dr. Jens Erler (Institut für Kernphysik, JGU Mainz) und Prof. Dr. Frank Maas (Institut für Kernphysik, JGU Mainz, GSI/FAIR und Helmholtz-Institut Mainz) wurde mit einem ERC Advanced Grant für ihr Projekt „Zeptomtrie“ ausgezeichnet. Ziel des Projekts ist es, neue hochpräzise Messungen bei hohen Energien am CERN LHC mit entsprechenden Messungen bei niedrigen Energien am zukünftigen MESA-Beschleuniger in Mainz zu kombinieren, um Hinweise auf Physik jenseits des Standardmodells zu finden.

Ein ERC Starting Grant wurde Zewei Xiong aus der Abteilung Kern-Astrophysik und Struktur der GSI für das Forschungsprojekt „Neutrino Flavor Transformations in Dense Astrophysical Environments“ (NeuTrAE) verliehen. Das Projekt zielt darauf ab, die Auswirkungen von Neutrino-Flavor-Oszillationen auf die Nukleosynthese schwerer Elemente in extremen astrophysikalischen Objekten gründlich zu untersuchen. Das Stipendium ist mit 1,5 Millionen Euro für den Zeitraum 2025-2030 dotiert.

Claudia Fournier von der GSI hat mit ENDORSE: Einfluss von (dicht-)ionisierender Strahlung auf die immunmodulatorische Wirkung des Komplementsystems: Neue Perspektiven für Gesundheitsschutz und Tumorthherapie ein BMBF-Verbundprojekt in Höhe von 800.000€ für vier Jahre eingeworben.

HZB

Für die Umsetzung des BESSY II+ Upgrade-Programm hat das HZB rund 17 Mio€ Investitionsmittel aus dem BMBF eingeworben. BESSY II+ ermöglicht, die Weltklasse-Forschung an BESSY II weiter auszubauen und neue Konzepte im Hinblick auf die Nachfolgequelle BESSY III zu erproben. Im Rahmen des Kooperationsvertrages mit der Universität der Bundeswehr flossen in 2024 100 T€ ans HZB.

Das HZB hat ferner mit dem EFRE Vorhaben „MetrokX“ 700 T€ eingeworben. Mit diesem Projekt wird am HZB ein weltweit herausragendes Applikationslabor für Metrologie mit kohärenten

Röntgenstrahlen realisiert, welches die Entwicklung und Optimierung von kohärenten EUV/SXR-Quellen, Optiken und Diagnosegeräten durch Industrie und Forschung ermöglicht.

HZDR

Professor Dominik Kraus, Wissenschaftler am Institut für Physik der Universität Rostock und dem HZDR, wurde mit einem ERC Consolidator Grant ausgezeichnet. Mit der Förderung von zwei Millionen Euro sollen in dem Projekt „Dynamic Megabar Chemistry“ chemische Prozesse unter extremen Druck- und Temperaturbedingungen untersucht werden, wie sie in der Natur auf der Erde nicht vorkommen. Diese Bedingungen – millionenfach höhere Drücke als der Atmosphärendruck und Temperaturen von mehreren tausend Grad Celsius – können die elektronischen und chemischen Eigenschaften von Materialien grundlegend verändern und damit eine Vielzahl neuer Möglichkeiten eröffnen. Ein Schwerpunkt der geplanten Arbeiten von Kraus ist die Synthese neuer Materialstrukturen, die nach ihrer Herstellung mittels hochenergetischer Laser auch unter Umgebungsdruck stabil bleiben. Die ERC-Förderung wird dadurch ergänzt, dass Dominik Kraus auch bereits Zusagen für Messzeiten an der National Ignition Facility (NIF) in den USA erhalten hat, der weltweit größten Laseranlage.

Dr. Denys Makarov vom HZDR hat einen ERC Advanced Grant in Höhe von 2,5 Millionen Euro zuerkannt bekommen. Damit können er und sein Team in den nächsten fünf Jahren Multiferroika untersuchen. Ziel ist die Entwicklung von neuartigen Materialien, die magnetische und elektrische Eigenschaften kombinieren und somit neuartige Konzepte für künftige Computerchips ermöglichen. Der damit verbundene Paradigmenwechsel verspricht eine Reduzierung des Energieverbrauchs und könnte die Tür zu neuen, effizienteren Chiparchitekturen öffnen, speziell für KI-Anwendungen.

Dr. Tobias Dornheim vom Center for Advanced Systems Understanding (CASUS) am HZDR möchte mit dem Projekt „Röntgenlaser-Optimierung der Laserfusion“ (ROLF) das theoretische Verständnis rund um die Kompression des Wasserstoffs verbessern. Statt der Methode „Versuch und Irrtum“ könnten Laserfusionsexperimente damit künftig zielgerichteter konzipiert und durchgeführt werden – eine zwingende Voraussetzung für ein kommerzielles Fusionskraftwerk. Neben der EU über den „Fonds für einen gerechten Übergang“ (mit Fokus auf den im Wandel gegriffenen Kohleregionen) ist auch der Freistaat Sachsen an der ROLF-Finanzierung von 700.000 € direkt beteiligt.

Bei der Entwicklung fortschrittlicher Materialien für Anwendungen in der Energietechnik, Elektronik und Biotechnologie gelten zweidimensionale Materialien (2DM) als besonders vielversprechend. Die Entwicklung neuartiger synthetischer 2DM war das Ziel des Sonderforschungsbereichs (SFB) 1415 „Chemie der synthetischen zweidimensionalen Materialien“, der im Juli 2020 startete. Unter der Leitung des CASUS-Gründungspartners TU Dresden ist das Projekt so gut vorangekommen, dass die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) die Förderung nun um weitere vier Jahre verlängert hat. CASUS-Fachleute waren maßgeblich am Folgeantrag beteiligt und werden nun Teil des SFB sein. Damit kann ein wesentlicher Teil der Fördersumme von rund 10 Millionen Euro vom Görlitzer Team genutzt werden, um die eigene Forschung an 2DM voranzutreiben.

KIT

Steffen Grohmann hat einen ERC Advanced Grant für das Projekt GRAVITHELIUM zur Entwicklung von Kryosystemen als Schlüsseltechnologie für das Einstein-Teleskop (ET) erhalten.

GRAVITHELIUM zielt darauf ab, mit suprafluidem Helium die Empfindlichkeit kryogener Laser-Interferometer bis an fundamentale Grenzen auszuschöpfen. Diese Technologieentwicklung soll eine zentrale Herausforderung lösen, um Gravitationswellen des gesamten Universums mit dem Einstein-Teleskop zu observieren.

Anke-Susanne Müller und Matthias Fuchs haben für das Projekt UCART zur Entwicklung einer neuen Methode in der Strahlentherapie eine Förderung durch das Programm „CZS Wildcard“ der Carl-Zeiss-Stiftung erhalten.

Im Rahmen der BMBF-Verbundforschung wurden am KIT verschiedene Projekte eingeworben: Im Projekte HTS-ES in Zusammenarbeit mit der TU Darmstadt werden Verbindungs- und Wickeltechniken für Hochtemperatur-Supraleiterspulen in Simulation und Experiment mit dem Ziel hoher mechanischer und elektromagnetischer Stabilität entwickelt. Der Verbund SI-D entwickelt Siliziumdetektoren für zukünftige Experimente in der Hochenergiephysik im Rahmen der ECFA DRD3- und DRD7-Kollaborationen. MT-DTS am KIT beteiligt sich in der Entwicklung von Siliziumphotonik zur Datenübertragung, der direkten Verbindung der photonischen Komponenten mit dem Sensor sowie auf der Untersuchung von Strahlenhärte. Im Rahmen des LHCb-Verbunds zum Betrieb, zur Datenanalyse sowie zum Upgrade des LHCb-Experiments entwickelt das KIT Sensor-ASICs für das zukünftige Upgrade des LHCb Spurdetektors. Im Belle II-Verbund zum Betrieb, zur Datenanalyse sowie zur Konsolidierung und zur Entwicklung zukünftiger Upgrades des Belle II-Experiments am KEK in Japan übernimmt das KIT eine zentrale Komponente in der Datenerfassung des von Deutschland verantworteten Pixeldetektors und arbeitet an der Weiterentwicklung des Datenerfassungssystems in Vorbereitung auf höhere Luminositäten. Der Verbund HighDCalo entwickelt ein hochgranulares Hadronkalorimeter für den zukünftigen FCCee am CERN im Rahmen der DRD6-Kollaboration. Das KIT beteiligt sich an der Entwicklung der Ausleseketten des Detektors.

Eine Gruppe am Tritiumlabor Karlsruhe (TLK), KIT, hat im Kooperationsprojekt „Inertial Fusion Energy (IFE) Targetry HUB für die DT-Trägheitsfusion (IFE-Targetry-HUB)“ vom BMBF ein Projekt „Tritium-Phasenraum-Navigation (TriPaN)“ mit einem Volumen von 3,2 Mio. EUR für das KIT bewilligt bekommen.

4.5. Forschungsinfrastrukturen

Eine dezidierte Berichterstattung zu wissenschaftlichen Ergebnissen an den in Betrieb befindlichen Nutzeranlagen der LK II des Forschungsbereichs Materie erfolgt in den Programmfortschrittsberichten zu MU, MT und MML. Die FIS-Nutzeranlagen sind im Einzelnen:

MU: GridKa (KIT), GSI MU Ion Facilities

MT: IDAF (DESY)

MML: FLASH (DESY), PETRA III (DESY), JCNS (FZJ), BESSY II (HZB), ELBE (HZDR), HLD (HZDR), IBC (HZDR), GEMS (Hereon), GSI MML Ion Facilities

Strategieprozessen zur Integration von Forschungsinfrastrukturen in nationale und internationale Netzwerke

GSI

2024 hat GSI folgende strategische Maßnahmen zur Integration der FIS in nationale und internationale Netzwerke ergriffen:

- Förderung der internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit und Beteiligung an internationalen Großprojekten: GSI ist Mitglied in STRONG-2020, INSPIRE, Laserlab Europe, HITRIplus, RADNEXT und EURO-LABS, oder Kollaborationen wie LEAPS, in denen die Forschung auf dem neuesten Stand der Technik vorangetrieben und Nutzern zugänglich gemacht wird.
- Entwicklung bahnbrechender Technologien für Beschleuniger, Detektoren und Datensysteme: GSI engagiert sich aktiv in einer Vielzahl von Großforschungsprojekten, die der Entwicklung einer neuen Generation von Beschleunigern und Detektoren gewidmet sind, wie zum Beispiel EUPRAXIA, Helmholtz ATHENA, PACRI.
- Festigung der GSI Position als „Global Player“ in der Schwerionenforschung: Mitarbeitende von GSI sind aktiv in Gremien wie z.B. NuPECC (europäisch) und KHuK (national), die die Belange der Hadronen- und Kernphysik als Grundlagenforschung und seine Anwendungen vertreten, und übernehmen oft Führungsrollen.

HZDR

Dem EMFL (European Magnetic Field Laboratory), mit dem Gründungsmitglied HLD (HZDR), welches seit 2016 ESFRI-Landmark ist, ist es in 2024 gelungen, im Rahmen des EU-Projekts FlexRICAN eine enge Zusammenarbeit mit den ebenfalls auf der ESFRI-Liste stehenden Partnern European Spallation Source (ESS) und Extreme Light Infrastructure (ELI) zu etablieren.

Life Cycle-Management von Forschungsinfrastrukturen

GSI

Im Life-Cycle-Management der GSI-Beschleunigeranlagen liegt der Fokus auf ihrer zukünftigen Nutzung als Injektor für die FAIR-Anlagen, wobei bereits Maßnahmen in der laufenden FAIR-Phase 0 den Experimentatoren zugutekommen. Die neu eingeführten *technischen Koordinatoren* fördern die Abstimmung mit den Nutzern hinsichtlich technischer Verbesserungen, während der „Science Case“ in Zusammenarbeit mit Gremien und der Geschäftsführung abgestimmt wird. Trotz der durch die FAIR-Vorbereitungen begrenzten Strahlzeit bleibt ein dedizierter Zugang für Industrienutzer bestehen. Der „Industrial Case“ für Strahlenhärtetests von Materialien und elektronischen Komponenten in der Weltraumbranche wird weiterentwickelt. So fand im Jahr 2024 ein Workshop zu Bedürfnissen und Perspektiven im Bereich der Strahlenhärteprüfung statt. Zudem bietet das „Digital Open Lab“ von GSI eine Plattform für die Entwicklung und Erprobung energieeffizienten High-Performance-Computings bis hin zu industriellen Demonstratoren.

HZB

Um die Wettbewerbsfähigkeit der Lichtquelle BESSY II bis in die Mitte der 2030er Jahre zu sichern, hat das HZB das ehrgeizige Upgrade-Programm „BESSY II+ – Operando-Möglichkeiten für die Energiewende“ auf den Weg gebracht. BESSY II+ beinhaltet neue Experimentiermöglichkeiten vor allem für Operando-Untersuchungen. Daneben werden die Automatisierung und Digitalisierung der Experimente, die Modernisierung von Instrumenten und Beschleunigerkomplex sowie Maßnahmen zur Energieeffizienz adressiert.

HZDR

Das HZDR-Zukunftsprojekt DALI (Dresden Advanced Light Infrastructure) als Nachfolger von ELBE wurde im Sommer 2024 nach positiver Evaluierung des Conceptual Design Reports (CDR, <https://www.hzdr.de/DALI>) durch die FIS-Kommission der Gemeinschaft auf die Helmholtz-Roadmap für Forschungsinfrastrukturen aufgenommen. Im Rahmen des durch das BMBF initiierte Priorisierungsverfahren für Forschungsinfrastrukturen wurde das Konzept in der Folge noch einmal überarbeitet und in allen Aspekten über den gesamten Life-Cycle detaillierter ausgearbeitet. Insbesondere wurden auch Nachhaltigkeitsbetrachtungen durchgeführt und ein späterer Rückbau, inkl. der Entsorgung planerisch betrachtet. Auf Basis dieses revidierten Konzepts hat HZDR den Antrag für das Priorisierungsverfahren im Herbst 2024 eingereicht.

Strategien im Umgang mit den Chancen und Risiken der digitalen Transformation für Forschungsinfrastrukturen

DESY

Zentral wichtig ist die richtige Balance zwischen nachhaltigem Nutzerbetrieb, „Mail-in“-Option, „Remote“-Betrieb und KI-basierter Datenanalyse sowie dem lokalen Austausch mit der Nutzergemeinschaft. DESY arbeitet an einer präzisen Strategie, um diese Herausforderung zu bewältigen. Im Fokus des Projekts ROCK-IT stehen die Entwicklung eines Sicherheitskonzepts für den Remote-Zugriff, die Implementierung der Control Software (Bluesky) und die Einrichtung einer Testumgebung für eine „virtuelle Beamline“. 2024 erzielte das Projekt viele Fortschritte, darunter ein hybrider Workshop beim DESY Nutzertreffen und die Inbetriebnahme wichtiger Hardware. Weitere Entwicklungen, wie die Verbesserung der Metadatenintegration, sind für 2025 geplant.

GSI

GSI nutzt die digitale Transformation mit KI zur Betriebsoptimierung und Effizienzsteigerung, auch für die Beschleunigeranlagen und das Rechenzentrum Green IT Cube. Nutzerkollaborationen betreiben – soweit sinnvoll und möglich – Experimente remote; bei entsprechenden Entwicklungen unterstützt GSI sie aktiv. Ebenso entwickelt GSI Lösungen, um den Nutzer*innen entsprechend der F.A.I.R.-Prinzipien einen komfortablen Zugang zu ihren Experimentdaten in einer kontrollierten und sicheren Umgebung zu ermöglichen. Ein klarer Vorteil der digitalen Transformation ist die gesteigerte Leistungsfähigkeit der Systeme in Bezug auf Geschwindigkeit, Data Selection und Datenmengen. Gleichzeitig wird bei allen Maßnahmen darauf geachtet, die Cyber-Security-Fähigkeiten bei GSI kontinuierlich auszubauen.

HZB

Als Reaktion auf die Cyber-Attacke im Juni 2023 hat das HZB umfangreiche Maßnahmen zur erhöhten Cyber-Sicherheit eingeleitet und umgesetzt, um die Resilienz der Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II zukünftig gewährleisten zu können. Dazu wurde u.a. eine neue IT-Infrastruktur und eine widerstandsfähige Netzwerkarchitektur implementiert. Weiterhin werden neue Möglichkeiten für Remote-Experimente und ein besseres Datenmanagement geschaffen. Diese Arbeiten bauen auf dem Bluesky Steuerungs- und Datenerfassungssystem auf,

welches derzeit als zukünftiger Standard an BESSY II ausgerollt wird. Synergien ergeben sich auch mit dem Helmholtz-geförderten ROCK-IT Projekt, welches ebenfalls Bluesky zur Basis hat.

HZDR

Den Herausforderungen der digitalen Transformation hat sich die Forschungsinfrastruktur ELBE angenommen. Insbesondere dienen automatisierte Messabläufe mit standardisierten Datenanalysen zur Sicherstellung von Ergebnissen mit hoher Verlässlichkeit. Sowohl der Zugang als auch die Online-Überwachung von Mess-Serien durch interne und externe Nutzer*innen wird kontinuierlich weiterentwickelt und der Workflow Proposal - Messzeitallokation - Experiment - Datenspeicherung - Analyse - Interpretation elektronisch verwirklicht. Ein reiner Remote-Betrieb (bzw. Mail-In) ohne Vor-Ort-Betreuung kann allerdings aus Gründen der Betriebssicherheit nicht ermöglicht werden.

In dem 2024 begonnenen EU-Projekt FlexRICAN arbeitet das HLD am HZDR im Rahmen des EMFL (European Magnetic Field Laboratory) mit den ESFRI-Partnern European Spallation Source (ESS) und Extreme Light Infrastructure (ELI) sowie den Industriepartnern Alfa Laval und Energy Pool zusammen. Ziel ist es, nachhaltige Energieverbrauchsmuster in großen Forschungsinfrastrukturen zu entwickeln, die nicht nur dem europäischen Stromnetz, sondern auch den lokalen Wärmenetzen zugutekommen.

Maßnahmen zur Erhöhung der Nutzung bestehender Forschungsinfrastrukturen durch Industriepartner bzw. zur Erhöhung des Technologietransfers

DESY

Ein neues und flexibles Zugangsverfahren zu den PETRA III Beamlines wurde 2023 entwickelt und ab Frühjahr 2024 an fünf Beamlines in einer Pilotphase getestet. Dieser sogenannte „Rolling Access“ kommt anders als das etablierte Verfahren ohne festgelegte Antragsfristen aus und erlaubt sowohl akademischen als auch kommerziellen Nutzergruppen jederzeit einen Messzeitantrag zu stellen und ermöglicht je nach Bedarf und benötigter Vorbereitungszeit einen flexiblen und auch kurzfristigen Zugang zu den ausgewählten Beamlines.

GSI

GSI erweitert im Rahmen der Weiterführung der Helmholtz Innovationsplattform Hi-Acts mit „Hi-Acts Connect“ das Angebot für Industriepartner: Technologische Herausforderungen können einfach online übermittelt werden, und das Konsortium liefert schnell Lösungen. Parallel entwickelt das Projekt „Microprobe 2.0“ die Schwerionen-Mikrosonde zu einem benutzerfreundlichen Testsystem weiter. Ziel ist es, den Zugang zur GSI-Infrastruktur zu erleichtern und den Technologietransfer zu stärken.

HZDR

Im Rahmen der „Helmholtz Innovation Platform for Accelerator-based Technologies and Solutions“ (Hi-Acts) sind Maßnahmen durchgeführt worden, um die Verfügbarkeit und Effizienz der Hochenergie-Ionenimplantation am Ion Beam Center (IBC) des HZDR für industrielle Nutzer

(über die HZDR Innovation GmbH) zu erhöhen. Dazu gehören, die Einführung einer professionellen Instandhaltung und die Optimierung der Ionenquellen.

Das IBC am HZDR arbeitet seit vielen Jahren mit der örtlichen Halbleitertechnologie im Silicon Saxony zusammen. Im Verbundprojekt OptiBeam (Future Mobility – Optical Characterization of Ion Beams) wurde die Kooperation des IBCs mit Infineon intensiviert. An den Beschleuniger-Anlagen des IBC wird nun eine Apparatur zur in-situ Ionenstrahl-Charakterisierung entwickelt und erprobt, die wesentlichen Parameter eines Ionenstrahls (Energie, Ionenmasse und Ladung) während einer Ionenimplantation in Echtzeit und unter Produktionsbedingungen erfasst, um den Prozess vor Fehl-Implantation zu schützen.

In Vorbereitung des DALI-Projekts des HZDR wurden mit Industriepartnern Bereiche zur Weiterentwicklung supraleitender Beschleunigerkomponenten identifiziert, die zukünftig auch kommerziell verwertbar sein sollen. Hierzu zählen supraleitende Elektroneninjektoren (an ELBE wird derzeit die einzige Anlage dieser Art im Routinebetrieb für Nutzerexperimente eingesetzt), Strahlcharakterisierungen (Transverse Deflecting Cavities, Pickup-Monitore) und RF-Strahldeflektoren zum parallelen Betrieb von Elektronenstrahlen mit Umschaltfrequenzen im Bereich einiger MHz.

Entwicklungen bei der Einbindung der Öffentlichkeit bei Planung, Bau und Betrieb der Forschungsinfrastrukturen

GSI

Eine wichtige neue Entwicklung ist die multimediale Erstellung von 3D-Animationen von geplanten, im Bau befindlichen und betriebenen Anlagen. Diese Animationen werden flexibel in unterschiedlichen Kommunikationskanälen eingesetzt. Somit wird eine unmittelbarere Veranschaulichung und erhöhte Transparenz unserer Vorhaben geschaffen, mit dem Ziel Akzeptanz und Begeisterung in der Öffentlichkeit dafür weiter zu stärken.

5. Erfolgsindikatoren

	Einheit	2020	2021	2022	2023	2024	Veränderung 2024 zu 2023 absolut	Veränderung 2024 zu 2023 prozentual
WoS-, SCOPUS oder Open Research Europe indexierte Publikationen	Anzahl	2.416	2.828	2.585	2.737	2.775	38	1%
... davon Open-Access-Publikationen	Anzahl	1.833	2.165	2.198	2.335			
Andere referierte Publikationen	Anzahl	91	369	394	447	238	-209	-47%
Drittmittelerträge	TEUR	38.906	52.956	65.630	66.890	90.002	23.112	35%
Abgeschlossene betreute Promotionen	Anzahl	141	165	162	155	150	-5	-3%
Postdocs	Anzahl	493	559	552	520	560	39	8%
Nachwuchsgruppen	Anzahl	26	25	25	30	27	-3	-10%
Ausgewählte koordinierte, nationale und intern. Förderprogramme	Anzahl	134	148	189	184	207	23	13%
Kooperationen mit der Wirtschaft und externen nichtwissenschaftlichen Institutionen, öffentlich oder privat finanziert	Anzahl	106	181	218	232	197	-35	-15%
Ausgründungen (Spin-offs) und kompetenzbasierte Gründungen (Start-ups)	Anzahl	0	3	1	0	0	0	-
Wissenstransferaktivitäten	FTE/Mio. EUR	21	12	25	22	22	-1	-4%
Kapazität der grundfinanzierten Wissenschaftler	PJ	878	1.033	1.023	1.026	1.067	40	4%
Kapazität der drittmittel-finanzierten Wissenschaftler	PJ	198	233	239	246	251	6	2%
Summe Wissenschaftler	PJ	1.057	1.266	1.262	1.272	1.318	46	4%

Kommentierungen zu den dargestellten Erfolgsindikatoren:

Publikationen:

Die Anzahl der Publikationen liegt auf einem hohen, weiter leicht ansteigenden Niveau. Die besonders vielen Publikationen im Jahr 2021 sind u.a. durch Beiträge auf großen Konferenzen entstanden, die nur alle zwei Jahre stattfinden (dies betrifft insbesondere das Programm MU). Ein Großteil des Anstiegs lässt sich auch durch die Covid-19-Pandemie erklären, denn nach einem Pandemie-bedingten Rückgang im Jahre 2020 und der damit verbundenen Absage vieler Konferenzen konnten sich diese Zahlen im Jahr 2021 und 2022 wieder stabilisieren.

Drittmittelerträge:

Es konnten insbesondere in den letzten Jahren viele Drittmittelprojekte eingeworben werden, z.T. auch mit relativ hohen Fördersummen (z.B. LEAPS-INNOV, EURIZON, ROCK-IT, ReMade@ARI, PUNCH4NFDI, DAPHNE4NFDI, BASE4NFDI, EURO-LABS, STRAQTECH, femto-iCOMB, BESSY II+ Upgrade, MetrokX, ROLF, UCART, HTS-ES und TriPaN sowie mehrere ERC-Grants, Förderungen durch das Emmy Noether- bzw. Marie Skłodowska-Curie Programm und Einwerbungen/Verlängerung der Sonderforschungsbereiche SFB 1245, 1415, TRR257 und 1636). Insgesamt entwickeln sich die Drittmittelprojekte für die Zentren des Forschungsbereichs Materie mit einer merklichen Steigerung in den eingeworbenen Erträgen sehr positiv.

Abgeschlossene Promotionen und Postdocs:

Die Abweichung im Umfange einiger Prozentpunkte liegt innerhalb der typischen Schwankungsbreite der letzten Jahre.

Nachwuchsgruppen:

Es wurden im letzten Jahr weitere Nachwuchsgruppen eingerichtet/eingeworben, darunter u.a. mehrere Emmy Noether-Förderungen. Über die letzten fünf Jahre ist die absolute Zahl relativ konstant, die hohen prozentualen Schwankungen beruhen auf den insgesamt niedrigen absoluten Zahlen.

Förderprogramme und Kooperationen:

Die hohen Werte ab 2021 sind zurückzuführen auf die Einführung der neuen Definition.

Gründungen:

Aufgrund der geringen absoluten Zahlen ist eine prozentuale Steigerung wenig aussagekräftig.

Wissenstransferaktivitäten:

Seit einigen Jahren werden erhöhte Anstrengungen an den Zentren unternommen, um vermehrt Wissenstransferaktivitäten durchzuführen. Die Zahlen sind daher seit längerem leicht ansteigend. Die absoluten Zahlen sind jedoch insgesamt relativ niedrig und damit die prozentualen Änderungen nur bedingt aussagekräftig.

Assoziierte Internationale Forschungsinfrastrukturen

1. Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR) im Aufbau

Die Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR) wird zurzeit als internationale Gesellschaft an der GSI mit gemeinsamer Führung gebaut und wird die wissenschaftliche Attraktivität von GSI massiv erweitern. Entsprechend wurde FAIR zur Top-Priorität der europäischen Kernphysikgemeinschaft und zum Meilenstein der European-Research-Roadmap (ESFRI) gewählt. Während der Bauphase findet an den GSI-Anlagen (UNILAC, SIS18, FRS, ES usw.) ein reduziertes sog. FAIR-Phase-0-Messprogramm statt, an dem bereits rund 1500 Forschende teilnehmen.

Die Finanzierung des Baus der internationalen Anlage FAIR aus dem Helmholtz-Titel ist ein Sondertatbestand im Forschungsbereich und wird durch Sondervereinbarungen der Helmholtz-Gemeinschaft und GSI geregelt. Die Berichterstattung zu wissenschaftlichen Ergebnissen an den in einem reduzierten Betrieb befindlichen Teilanlagen der GSI (UNILAC, SIS18, FRS, ESR usw.) im Rahmen des FAIR-Phase-0-Messprogramms oder zu etwaigen sonstigen FuE-Aktivitäten in diesem Zusammenhang erfolgt in den Programmberichten zu MU, MT und MML.

Die Betonarbeiten der FAIR Anlagen wurden im Laufe des Jahres 2024 abgeschlossen. Die technischen Installationen sind in den nördlichen Gebäuden weit fortgeschritten und schreiten im Süden voran. Der aktuelle Fokus liegt auf der priorisierten Fertigstellung im Norden, um den reibungslosen Übergang zur Vor- und Inbetriebnahme im kommenden Jahr zu ermöglichen. Die ersten Abschnitte des SIS100-Tunnels und des HEBT-Tunnels sind bereits für die Maschineninstallation freigegeben.

Im Jahr 2024 wurden bedeutende Meilensteine erreicht: i) Die ersten tonnenschweren supraleitenden Magnete wurden erfolgreich in dem ringförmigen SIS100-Tunnel, 17 Meter unter der Erde, installiert. ii) Eine hochmoderne Galvanikanlage wurde in Betrieb genommen, und im Dezember 2024 erhielt die erste Alvarez-Tanksektion der neuen Generation eine hochwertige

Kupferbeschichtung. iii) Das erfolgreiche Upgrade des UNILAC-Kontrollsystems Upgrade wurde abgeschlossen.

1.1. Stand der Umsetzung der Senatsempfehlungen

Bezüglich der Senatsempfehlungen zu den programmübergreifenden Aspekten im Forschungsbereich Materie trägt FAIR in den Punkten Attraktivität für junge und aufstrebende Wissenschaftler:innen und Planung und die Bereitstellung ausreichender Ressourcen für die Datenverarbeitung und -berechnung bei. Spezifisch zu der im Aufbau befindlichen Anlage FAIR hat der Senat der Helmholtz-Gemeinschaft keine Empfehlungen formuliert.

1.2. Entwicklung der Kennzahlen und Ressourcen

Senatsempfehlung [in TEUR]	Plan 2021	Plan 2022	Plan 2023	Plan 2024	Plan 2025	Plan 2026	Plan 2027	Summe 2021-2027
Kosten der Forschungsinfrastruktur FAIR (during construction) (GSI)	63.276	63.276	63.276	63.276	63.276	63.276	63.276	442.932

Ist-Kosten Stand: Februar 2024 [in TEUR]	Ist 2021	Ist 2022	Ist 2023	Plan 2024	vorl. Ist 2024	Plan 2025
Ist-Kosten der Forschungsinfrastruktur	79.422	92.731	91.460	63.276	110.217	63.276

Abweichung Ist-Kosten zu Senatsempfehlung [in %]	26%	47%	45%	0%	74%	0%

Bei den ausgewiesenen Ist-Kosten handelt es sich um Vorab-Zahlen, wobei die Umlagen auf einer qualifizierten Schätzung beruhen. Eine endgültige Kostenaussage kann erst nach vollständiger Buchung der Umlagen im Rahmen des Zentrumsfortschrittsberichts 2024 erfolgen.

Das höhere vorläufige IST der „Forschungsinfrastruktur FAIR (during construction)“ erklärt sich aufgrund der höheren Kosten der GSI gegenüber der Senatsempfehlung. Hierfür werden weitere institutionelle Mittel zur Verfügung gestellt. Derzeit konzentrieren sich bei GSI alle Anstrengungen auf die Errichtung der FAIR-Anlage, sodass in 2024 höhere Kosten realisiert wurden, als ursprünglich geplant war.

1.3. Wissenschaftliche Highlights

In der sogenannten FAIR Phase-0 werden bis zur Inbetriebnahme von FAIR Experimente an GSI-Anlagen (mit für FAIR entwickelten Beschleuniger- und Detektorkomponenten) während rund dreimonatiger Messkampagnen durchgeführt. Als Highlights der wissenschaftlichen Ergebnisse aus dem Jahr 2024 seien beispielhaft genannt:

Die lang angestrebte Messung des exotischen Betazerfalls in Thallium (TI), die zur Bestimmung der Zeitskala der Sonnenentstehung und zur Erklärung der Stabilität der Sonne beiträgt, wurde nun in einem ausgeklügelten Experiment an der GSI von einem internationalen Team aus Wissenschaftler*innen aus 37 Institutionen und zwölf Ländern erfolgreich durchgeführt. Die Messung von $^{205}\text{TI}^{81+}$ wurde bereits in den 1980er Jahren vorgeschlagen, doch erst die Entwicklung zahlreicher bahnbrechender Technologien und die Zusammenarbeit aller GSI-Beschleunigeranlagen ermöglichten die notwendigen Bedingungen: die Produktion von nakedem ^{205}TI in einer Kernreaktion, dessen Separation mittels FRS sowie die Anhäufung, Kühlung, Speicherung und Messung im ESR. Die gemessene Halbwertszeit des gebundenen Beta-Zerfalls in Thallium ist von großer Bedeutung für die Analyse der Sonnenentstehung und der aktiven Nukleosynthese: i) Die präzisen Messdaten dieses Betazerfalls ermöglichen den Vergleich mit bestehenden chemischen Analysen von Meteoriten und bestätigen die Theorie, dass

die Sonne aus einer langlebigen, riesigen Molekülwolke entstanden ist. ii) Während moderne Detektoren das gegenwärtige Verhalten der Sonne offenbaren, bleiben wesentliche Fragen zu ihrer über Millionen Jahre andauernden Stabilität bestehen. Diese bahnbrechenden Messergebnisse ermöglichen neue Einblicke in die Entwicklungsgeschichte der Sonne und ihre Verbindung zum Erdklima über Jahrtausende hinweg (doi: 10.1038/s41586-024-08130-4, 10.1103/PhysRevLett.133.232701).

Einem internationalen Forschungsteam ist es gelungen, mithilfe von Messungen an der GSI/FAIR-Beschleunigeranlage und in den Laboren der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz Einblicke in die Struktur von Fermium-Atomkernen (Element 100) mit unterschiedlichen Neutronenzahlen (zwischen 145 und 157) zu gewinnen. Mit modernen Laserspektroskopietechniken bestimmten die Wissenschaftler*innen die Ausdehnung des Kernladungsradius und stellten fest, dass dieser mit zunehmender Neutronenzahl gleichmäßig ansteigt. Dies deutet darauf hin, dass Kernschaleneffekte bei diesen schweren Kernen nur einen geringen Einfluss auf die Kernladungsradien haben. Die Untersuchungen ermöglichten zudem eine detaillierte Analyse der Veränderungen des mittleren Kernladungsradius in Fermium-Isotopen über die Neutronenzahl 152 hinweg. Der Vergleich dieser experimentellen Daten mit verschiedenen theoretischen Berechnungen, die von internationalen Kollaborationspartnern mithilfe moderner Kernmodelle durchgeführt wurden, erlaubt eine tiefere Interpretation der zugrunde liegenden physikalischen Effekte. Dabei zeigte sich eine hohe Übereinstimmung aller Modelle – sowohl untereinander als auch mit den experimentellen Daten – trotz unterschiedlicher Berechnungsmethoden (doi: 10.1038/s41586-024-08062-z).

Erstmals ist es einem internationalen Forschungsteam unter der Leitung von Wissenschaftler*innen von GSI/FAIR, dem Institut de Recherche sur les Lois Fondamentales de l'Univers (IRFU) in Saclay, Frankreich, und dem Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg (MPIK) gelungen, einen Zwei-Photonen-Zerfall in einem Atomkern zu beobachten, bei dem die gesamte Elektronenhülle entfernt wurde. Die Messungen an ^{72}Ge -Kernen wurden im Rahmen des FAIR-Phase-0-Experiments am experimentellen Speicherring ESR bei GSI/FAIR durchgeführt. Die gemessene Halbwertszeit ist mindestens zwei Größenordnungen kürzer als die bislang kürzeste direkt gemessene Lebensdauer gespeicherter hochgeladenen Ionen. Der nukleare Zwei-Photonen- oder Doppel-Gamma-Zerfall ist ein elektromagnetischer Prozess, bei dem ein angeregter Kern gleichzeitig zwei Gammastrahlen aussendet. Diese neue Art des Zerfalls wurde in den 1980er Jahren erstmals am MPIK entdeckt, doch aufgrund seiner Seltenheit waren weitere Untersuchungen kaum möglich. Die Erforschung dieses Prozesses liefert wertvolle Einblicke in fundamentale Eigenschaften des Atomkerns, insbesondere in seine Reaktion auf elektromagnetische Felder in verschiedenen Anregungszuständen (doi: 10.1103/PhysRevLett.133.022502).

2. European XFEL

Der Europäische Freie-Elektronen Laser (European XFEL) ist eine weltweit einzigartige internationale Forschungsinfrastruktur, die von 12 Nationen gebaut wurde und durch die European XFEL GmbH im Auftrag dieser Nationen betrieben wird. Dabei arbeitet die European XFEL GmbH eng mit DESY zusammen, wobei DESY für den Betrieb und die Weiterentwicklung des gesamten Beschleunigerkomplexes, inklusive des supraleitenden Linearbeschleunigers, verantwortlich ist. Der parallele Betrieb von drei Undulatoren ist weltweit einzigartig und ermöglicht damit eine wachsende Anzahl von jährlichen Experimenten. Der Nutzerbetrieb am European XFEL hat 2017 begonnen. Seit 2019 sind drei Freie-Elektronen Laser (FEL) Strahlführungen (SASE1, SASE2, SASE3) mit je zwei bis drei Experimentierstationen im Betrieb. Damit

verfügt European XFEL zurzeit über sieben Instrumente (HED, MID, FXE, SPB/SFX, SQS, SCS und SXP), an denen Experimente stattfinden.

2.1. Stand der Umsetzung der Senatsempfehlungen

Der Beschleunigerkomplex des European XFEL besteht aus dem Injektor, dem 17,5-GeV-supraleitenden Linearbeschleuniger, der Verteilung des Elektronenstrahls und dem Strahltransport durch die drei Undulatoren bis zu den Strahlabsorbern. Er wurde 2024 für über 7500 Stunden betrieben und erreichte einen Rekordwert von 4800 Stunden für die Lieferung von Röntgenstrahlung an Experimente. Die Entwicklung fortschrittlicher Steuerungen für die Hochfrequenzpulse zur Elektronenbeschleunigung ermöglicht eine energieeffizientere Nutzung der Leistungswandler, die Netzstrom in Hochfrequenzpulse umwandeln. Dies führt zu einer bemerkenswerten Einsparung von 10–15 % pro Betriebsstunde und kompensiert somit die gestiegene jährliche Betriebsdauer. Die Verfügbarkeit der Anlage während der Röntgenstrahlungslieferung lag bei 95,6 % (gemittelt über alle drei FELs) – der höchste für den Betrieb des European XFEL erreichte Wert. Ebenfalls bemerkenswert ist, dass in diesem Jahr mehr als 25 % der grundsätzlich verfügbaren Elektronenpakete tatsächlich durch die Undulatoren geleitet wurden und somit Photonenpulse erzeugt haben. Insgesamt hat der European XFEL im Jahr 2024 so viele Photonenpulse produziert wie alle anderen Anlagen weltweit für harte Röntgenstrahlung zusammen seit dem Jahr ihrer jeweiligen Inbetriebnahme.

DESY ist nicht nur für den Betrieb des linearen Beschleunigers des European XFEL verantwortlich, sondern spielt auch eine bedeutende Rolle als Nutzer für das Forschungsprogramm. Darüber hinaus entwickeln DESY-Wissenschaftler und Forschungsgruppen des Helmholtz-Programms „From Matter to Materials and Life“ (MML) Laser und Detektoren für den Einsatz am European XFEL und sind an mehreren Nutzerkonsortien beteiligt, darunter die drei größten:

Die serielle Femtosekunden-Kristallographie (SFX) hat sich zu einer ausgereiften Technik am European XFEL entwickelt. Das SFX-Konsortium arbeitet mit dem Instrument „Single Particles, Clusters and Biomolecules and Serial Femtosecond Crystallography“ (SPB/SFX) am European XFEL, um Methoden zur Strukturbestimmung mithilfe intensiver XFEL-Pulse voranzutreiben. Diese etablierte Technik ermöglicht eine zerstörungsfreie Bestimmung makromolekularer Strukturen ohne kryogene Kühlung und erlaubt dadurch zeitaufgelöste Messungen von z.B. Enzymen zur Untersuchung ihrer Funktionalität. Der European XFEL liefert Pulse mit Megahertz-Wiederholrate in Pulszügen, was potenziell die höchsten Messgeschwindigkeiten für SFX-Experimente ermöglicht. Zur Optimierung der Probenverwertung testete das SFX-Konsortium kürzlich Tropfen-auf-Anforderung-Methoden im Rahmen eines Block Allocation Group (BAG)-Proposals. Darüber hinaus wurde ein neuartiger Ansatz von Alke Meents und seinem Team am DESY entwickelt, bei dem der schnelle Pulszug über eine stationäre Membran mit aufgetragenen Protein-Mikrokristallen geführt wird.

Im Jahr 2024 war die HIBEF-Anlage (Helmholtz International Beamline for Extreme Fields) am European XFEL für den vollen Benutzerbetrieb und Experimente verfügbar. Die Einzigartigkeit und herausragende Leistung von HIBEF wurde bei der Begutachtung des HED-Instruments hervorgehoben. Seit diesem Jahr stehen den HIBEF Nutzern mehrere neue Techniken zur Verfügung: erstmalig wurde Spektroskopie als Diagnoseverfahren für Experimente mit dem DiPOLE 100X-Laser eingesetzt, der Aufbau für gepulste hohe Magnetfelder wurde in einer Strahlzeit unter Mithilfe der Nutzergemeinschaft in Betrieb genommen, und in HIBEF-Priority-Access-Time konnten bildgebende Verfahren mit MHz Zeitauflösung in Diamantstempelzellen entwickelt werden.

Das internationale Konsortium „Heisenberg Resonant Inelastic X-ray Scattering“ (hRIXS) wird von der Universität Potsdam in enger Zusammenarbeit mit DESY und European XFEL koordiniert. hRIXS befindet sich in vollem Nutzerbetrieb mit wechselnden Ausschreibungen für Vorschläge in den modularen Probenumgebungen für Festkörperphysik und Chemie. Neben den Helmholtz-Forschungsthemen, die vom Konsortium untersucht werden, hat sich die Gemeinschaft weit über die ursprünglichen Antragsteller und Themen hinaus entwickelt und ist zu einer lebendigen Benutzergemeinde gewachsen, die die experimentellen Instrumentenparameter, die weitaus besser sind als ursprünglich prognostiziert (Zeitauflösung von 30-100 fs, Energieauflösung von mehreren zehn meV), nutzt. Wie der Name schon vermuten lässt, nähert man sich den Grenzen, die durch die Heisenbergsche Unschärferelation in Energie und Zeit gesetzt sind, immer weiter an. Die verschiedenen bahnbrechenden Experimente des Benutzerkonsortiums im Jahr 2024 haben gezeigt, dass das modulare Design der Probenumgebungen in Kombination mit dem konfokalen Design des Strahlengangs und dem hRIXS-Spektrometer-Quellenpunkt exzellent gewählt sind. Damit werden weltweit einzigartige Leistungsparameter des hRIXS-Spektrometers erreicht, die im vergangenen Jahr neuartige ultraschnelle RIXS-Experimente ermöglicht haben.

2.2. Entwicklung der Kennzahlen und Ressourcen

Senatsempfehlung [in TEUR]	Plan 2021	Plan 2022	Plan 2023	Plan 2024	Plan 2025	Plan 2026	Plan 2027	Summe 2021-2027
Kosten der Forschungsinfrastruktur XFEL (DESY)	64.480	65.770	67.085	68.427	69.796	71.191	72.615	479.365

Ist-Kosten Stand: Februar 2024 [in TEUR]	Ist 2021	Ist 2022	Ist 2023	Plan 2024	vorl. Ist 2024	Plan 2025
Ist-Kosten der Forschungsinfrastruktur	79.405	81.979	87.644	91.427	84.355	102.182

Abweichung Ist-Kosten zu Senatsempfehlung [in %]	23%	25%	31%	34%	23%	46%

Ist-Kosten und Senatsempfehlung weichen voneinander ab, hierfür werden DESY 23.000 T€ als weitere Institutionelle Förderung von den Zuwendungsgebern zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich zu dem Gesellschafterbeitrag wurden DESY im Rahmen des Härtefallfonds Mittel in Höhe von 2.802 T€ zur Weiterleitung an die European XFEL GmbH zur Verfügung gestellt. Diese sind in den Kosten (Ist 2023) enthalten.

Darüber hinaus erhielt DESY 2024 Mittel für Mehrbedarfe der European XFEL GmbH für den Ausfall des Russischen Gesellschafterbeitrags in Höhe von 7.072 T€. Diese Mittel waren seitens der Zuwendungsgeber gesperrt und in das Jahr 2025 im Wesentlichen als SBM übertragen worden. Im Februar 2025 wurden diese Mittel entsperrt und an die European XFEL GmbH überwiesen.

2.3. Wissenschaftliche Highlights

Im Jahr 2024 erreichte ein internationales Wissenschaftlerteam am European XFEL und DESY zahlreiche bedeutende Meilensteine und veröffentlichte herausragende wissenschaftliche Arbeiten, die ohne Röntgendaten der FEL-Anlagen nicht möglich gewesen wären. Beispielhaft seien als Highlights folgende Ergebnisse genannt:

- Mit Hilfe des SPB/SFX-Instruments konnten neue Erkenntnisse über die Funktionsweise der Hauptprotease (M^{Pro}) des SARS-CoV-2-Virus gewonnen werden. Dieses Enzym ist ein wichtiges Zielmolekül für Medikamente, aber die meisten Strukturen des

Makromoleküls - mit und ohne Bindung von Medikamenten - wurden bei Tiefsttemperaturen bestimmt. Es war jedoch bekannt, dass M^{Pro} seine Funktionalität bei Oxidation reversibel reduziert, was darauf hindeutet, dass die Aktivität reguliert wird, um oxidative Umgebungen überleben zu können. Serielle Femtosekunden-Kristallographie-Messungen wurden unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt und ergaben, dass die Aktivität durch die Bildung von schützenden Cystein-Lysin-Cystein- (SONOS) und Lysin-Cystein- (NOS) Bindungen unter Oxidation reduziert wird, was M^{Pro} daran hindert, sich zu hochaktiven Dimeren zu verbinden (doi: [10.1038/s41467-024-48109-3](https://doi.org/10.1038/s41467-024-48109-3)).

- Die DESY-Gruppen erweitern zudem die Empfindlichkeit der Messungen, um die Beugung von Nanokristallen bis hin zu den kleinstmöglichen Kristallen, d.h. einem einzelnen Makromolekül, aufzeichnen zu können. Im Rahmen dieser Bemühungen wurde eine neue aerodynamische Linse zur Fokussierung von Strahlen aus aerosolierten Partikeln entwickelt und getestet (doi: [10.1016/j.nima.2023.168820](https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168820)). Die aerodynamische Linse wurde kürzlich erfolgreich für die hochauflösende Beugung von einzelnen Makromolekülen an der SPB/SFX-Station eingesetzt.
- Die wissenschaftliche Bedeutung der einzigartigen HIBEF DAC Plattform für die Planetenforschung wird durch zwei herausragende Veröffentlichungen sichtbar (doi: [10.1038/s41550-023-02147-x](https://doi.org/10.1038/s41550-023-02147-x), [10.1038/s41467-024-52505-0](https://doi.org/10.1038/s41467-024-52505-0)).

IV. Forschungsbereich Erde und Umwelt: Bericht der Koordinatorin an den Senat

Koordinatorin: Prof. Dr. Susanne Buiter (GFZ)

Beteiligte Helmholtz-Zentren: AWI, FZJ, GEOMAR, GFZ, Hereon, KIT, UFZ

1. Der Forschungsbereich im Überblick

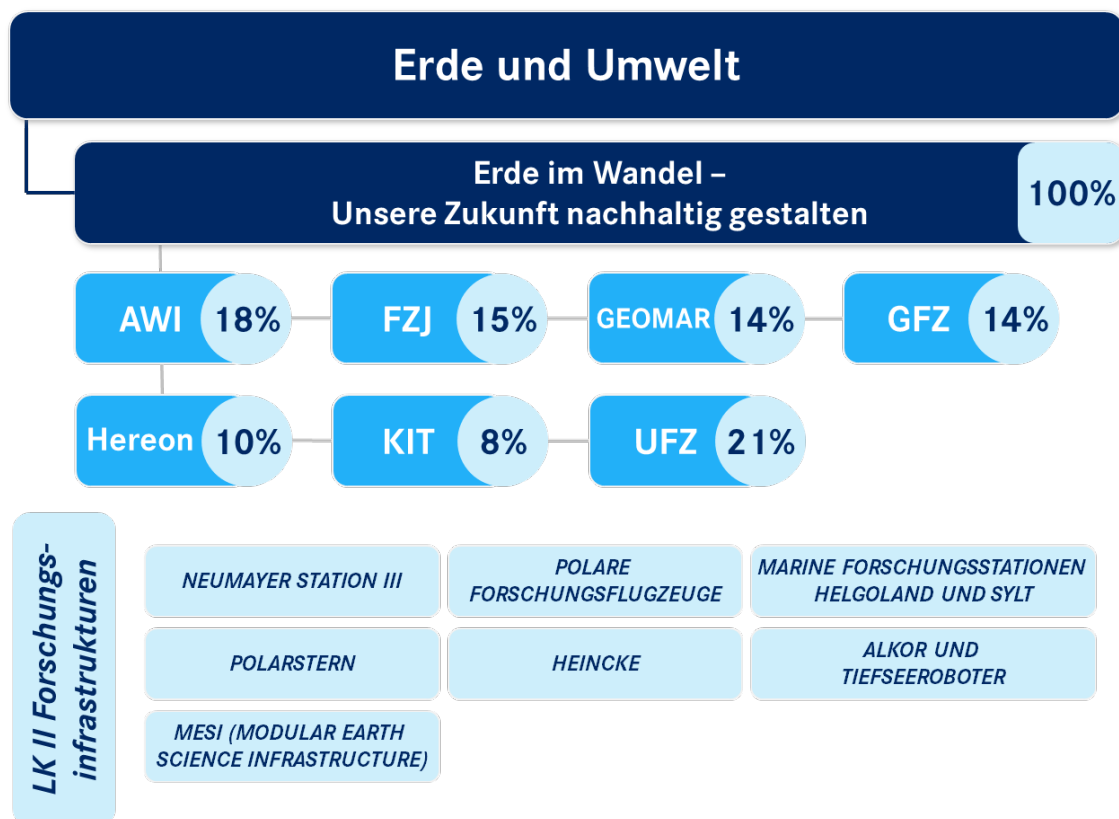


Abb. 1: Der Forschungsbereich Erde und Umwelt, ein Programm "Erde im Wandel - Unsere Zukunft nachhaltig gestalten", beteiligte Zentren (die Prozentsätze beziehen sich auf die Programmkosten, ohne zugehörige LK II-Infrastruktur) und LK II Forschungsinfrastrukturen.

Die sieben beteiligten Helmholtz-Zentren des Forschungsbereichs Erde und Umwelt (FB EuU) arbeiten in einem fokussierten und integrierten Programm „Erde im Wandel - Unsere Zukunft nachhaltig gestalten“ zusammen. Das Programm wird durch neun Forschungstopics sowie mehrere verbindenden Querschnittselementen (CCA, „cross-cutting activities“) gebildet. Das Jahr 2024 war das vierte von sieben Jahren der Programmorientierten Förderung (PoF IV, 2021-2027). Koordinator:in des FB EuU war im Berichtszeitraum Prof. Dr. Susanne Buiter (GFZ, Amtszeit: 01.01.2024 - 31.12.2025). Mit diesem Amt verbunden ist die Vizepräsidentschaft der Helmholtz-Gemeinschaft. Das Management Board (MB) als Diskussions- und Entscheidungsplattform des FB EuU tagte im Jahr 2024 sieben Mal unter dem Vorsitz der Koordinatorin. Programmsprecher im Berichtszeitraum ist Prof. Dr. Colin Devey (GEOMAR, Amtszeit: 01.01.2024 - 31.12.2025).

Das Forschungsprogramm „Erde im Wandel - Unsere Zukunft nachhaltig gestalten“ kam am 27. und 28. November 2024 zu seiner **Generalversammlung (General Assembly) in Kiel** zusammen. Rund 270 Teilnehmende aus den sieben Helmholtz-Zentren, die zum Programm beitragen, tauschten sich zu Fortschritten in den Forschungstopics, den Programmzielen, den CCAs, InnoPool-Projekten sowie zur Arbeit des SynCom-Teams aus. In interaktiven Formaten wie Poster-Sessions, einem Ideenmarkt, Breakout-Gruppen und Vorträgen wurden neue Ideen entwickelt, Erkenntnisse geteilt und gemeinsame Strategien erarbeitet. Mit ausreichend Raum für den offenen Austausch förderte die Generalversammlung auch in diesem Jahr die enge Zusammenarbeit innerhalb des Programms.

Am 16./17.05.2024 fand die vierte **Sitzung des Strategischen Beirats (SAB)** am UFZ in Leipzig statt. In der Sitzung berichteten Prof. Dr. Katja Matthes (GEOMAR, Vizepräsidentin FB EuU im Zeitraum 01.04.2022 - 31.12.2023) und Prof. Dr. Charlotte Krawczyk (GFZ, Programmsprecherin 01.04.2022 - 31.12.2023) über die Fortschritte im Jahr 2023 und stellten Highlights aus den Topics und Querschnittsthemen vor. Prof. Dr. Susanne Buitter (Vizepräsidentin FB EuU 2024-2025) berichtete über die Strategie des FB auf den Weg zu der nächsten Förderperiode PoF V. Gemeinsam warfen sie strategische Fragen zu aktuellen Themen auf und baten schließlich um Rückmeldungen der Beiratsmitglieder. Der SAB bescheinigte dem FB EuU eine exzellente Entwicklung und hebt insbesondere die Erfolge bei der Einwerbung von ERC Grants und Young Investigator Groups (YIG) hervor. Die Integration zwischen den Themen und Zentren wurde weiter verbessert, und die Wissenschaftler:innen fühlen sich dem übergeordneten Programm zugehörig, ohne die Identifikation mit ihren Zentren zu verlieren. Besonders positiv bewertete der SAB die SynCom als Beispiel für erfolgreiche Zusammenarbeit über verschiedene Arbeitsgruppen und Zentren hinweg. Zudem wurde empfohlen, das aktuelle Programm der PoF IV konsequent und stark fortzusetzen und bestehende Infrastrukturen zu erhalten. Der internationale Beirat äußerte seine ausdrückliche Unterstützung für das Infrastrukturvorhaben ATMOSense sowie die Forschungsdateninfrastruktur DataHub. Der SAB stellt fest, dass die hybride Begutachtungsstruktur die Integration des Programms erschwert. Um notwendige Anpassungen an eine sich schnell verändernde Welt und Forschungslandschaft effizient umsetzen zu können, sollte der Rahmen von PoF V flexibel gestaltet werden. Besonders positiv bewertet der Beirat das Nachwuchsprogramm der Zentren, das mit einer herausragenden Anzahl an Young Investigator Groups überzeugt. Zudem wird empfohlen, die Zusammenarbeit mit anderen HGF-Zentren und Forschungsbereichen weiter zu intensivieren.

Während des Berichtszeitraums wurde die **Entwicklung der Strategie für die kommende Programmperiode PoF V (2028-2034)** weiterentwickelt. Im Anschluss an zwei Strategieworkshops im Dezember 2023 und Februar 2024 wurden neun Topics und deren wissenschaftliche Zielsetzung festgelegt. Die neuen Topics werden auf das erfolgreiche Programm aus PoF IV aufbauen und einen stärkeren Fokus auf die Rolle der Menschen im System Erde einbringen. An den Workshops nahmen neben den wissenschaftlichen Vorstandsmitgliedern der Zentren die Mitglieder des Programmboards teil sowie eine Reihe von Referent:innen und Wissenschaftler:innen an Schlüsselpositionen im Programm (insgesamt 30 bzw. 48 Personen). Inhaltlich wurde der Strategieprozess durch einen Abgleich verschiedener nationaler und europäischer Strategiepapiere mit dem aktuellen Programm der PoF IV („Mapping“) unterstützt. Im August 2024 hat ein Schreibteam unter der Leitung von Prof. Dr. Uli Schurr (FZJ) das Strategiepapier des FB EuU für die PoF V finalisiert. Der Strategieprozess wird durch den engen Austausch mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) zum forschungspolitischen Rahmen der PoF V begleitet. In der FB-Plattform-Sitzung am 25.9.2024 wurde der forschungspolitische Rahmen diskutiert und gemeinsam zu einem Zwischenstand

weiterentwickelt. Die Forschungspolitischen Ziele sollen im Herbst 2025 im Anschluss an die wissenschaftlichen Zentrenevaluierungen finalisiert werden.

2. Stand der Umsetzung der programmübergreifenden Senatsempfehlungen

Über die Umsetzung der Empfehlungen zu den einzelnen Programmen (LK I) wird in den entsprechenden Fortschrittsberichten (Programmfortschrittsbericht 2024, Programm "Erde im Wandel - Unsere Zukunft nachhaltig gestalten", Teil A) informiert.

Senatsempfehlungen:

Die Governance Struktur des Programms soll weiterentwickelt werden.

Die Weiterentwicklung der Governance des Programms wurde ausführlich im Koordinatorenbericht 2022 dargestellt.

Die Umsetzungsstrategie für die Synthese- und Kommunikationsplattform (SynCom) soll weiter vorangebracht und konsequent verfolgt werden.

SynCom als zentrales integrierendes Instrument in EuU

SynCom stärkt die Synthese Topic-übergreifender Forschungsthemen im FB und trägt zu den Zielen des Programms „Erde im Wandel - Unsere Zukunft nachhaltig gestalten“ bei. Mit Stakeholderdialogen, parlamentarischen Veranstaltungen und Projekten mit Datenanalysen sowie transdisziplinärer Forschung fungiert es als zentrale Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Gesellschaft und Politik.

Aktivitäten in den drei SynCom-Projekten in 2024

A. Scaling-up Carbon Dioxide Removal (CDR)

- Drei mehrtägige Syntheseworkshops (je ein Tag wissenschaftlicher/Stakeholder-Networking Fokus)
- Writing Retreat
- CDR Expertise Mapping
- Stakeholder-Dialogprozess: Syntheseworkshops (s.o.), ein Networking Dinner, Besuch eines Direct Air Capture Start-ups in Berlin brachten Forschende und Stakeholder aus Gesellschaft, Industrie und Politik zusammen.
- Parlamentarisches Frühstück im Bundestag & Factsheet

B. Modernizing Chemical Hazard Assessment

- Stakeholderdialog zur Zukunft der Chemikalienregulierung:
 - Vier SynCom Stakeholder-Workshops (NGOs, Gesetzgebung & Regulierung, Unternehmen & Wirtschaftsverbände, Wissenschaft)
 - SynCom Stakeholder-Syntheseworkshop in Berlin mit Teilnehmenden aus BMUV, Wirtschaft, NGOs und Regulierung
- Parlamentarischer Abend im Bundestag und Policy Brief
- Europäische Weiterführung (REACH) in 2025

C. Developing Operational Biodiversity Targets

- Drei Syntheseworkshops in Berlin (mit BMUV und Bundestagsangehörigen)
- Wissenschaftlicher Artikel & Entwicklung neuer Indikatoren für die Nationale Biodiversitätsstrategie

SynCom: Weitere Highlights aus Synthese und Kommunikation

- Synthesepapier „Digital Twins of Planet Earth“, Präsentation in Brüssel für politische Entscheidungsträger:innen aus Europa
- Parlamentarisches Frühstück im Bundestag mit der Leopoldina. Gemeinsames Factsheet „Die Klimawirkung von Methan – eine unterschätzte Gefahr“
- Antragsberatung für neue SynCom-Projekte und Steuerung des Auswahlprozesses. Fokusthemen 2025: Extremwetter, Plastik, kritische Rohstoffe
- Netzwerkpflege mit Politik und Gesellschaft
- Sessions EGU 2024 und Forum Wissenschaftskommunikation 2024

SynCom: Ausblick 2025

SynCom setzt seine Forschungssynthese und Dialoge fort, u.a. mit einer EGU-Session in 2025, einer Delegationsreise ins Europaparlament und einem Workshop zur EU-Chemikalienregulierung. Ziel bleibt die Stärkung des Dialogs zwischen Wissenschaft, Politik und Gesellschaft für evidenzbasierte Lösungen globaler Herausforderungen im Dienst des EuU Programms.

Spezifische forschungspolitische Ziele:

Umsetzung der Digitalisierungsstrategie des Forschungsbereiches

Die Digitalisierungsstrategie des FB EuU verfolgt die Entwicklung eines gemeinsamen digitalen Ökosystems für die Forschung. Kernelemente sind die Zentren- und Topic-übergreifende Initiative DataHub im FB EuU mit dem komplementären DAM-Pilotprojekt "Unterwegs Forschungsdaten". In konsequenter Umsetzung der FAIR-Data und Open Science Prinzipien wird hier der Zugang und das einfache Arbeiten mit Forschungsdaten Kompartiment-übergreifend ermöglicht.

Der DataHub ist als föderierte Dateninfrastruktur implementiert. Schlüsselemente des DataHub sind gemeinsame Qualitätsstandards für Daten, Datenprodukte und Software, sowie generische Viewer und technische Schnittstellen zur Integration relevanter Datenquellen. Dieser in Helmholtz einzigartige Ansatz unterstützt und ermöglicht neue Wege in der inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit in PoF IV und darüber hinaus. Der DataHub ermöglicht intensive KI-Anwendung (wie etwa Foundation Models) auf kuratierten, heterogenen Datensätzen und den Aufbau Digitaler Zwillinge. Mit seinem Zentren-übergreifenden, kooperativen Ansatz entwickelt sich der DataHub zu einer nachhaltigen, verteilten Forschungs(daten)infrastruktur für die Programmforschung, vergleichbar mit den großen Infrastrukturen (LK II) und den Querschnittsaktivitäten (z.B., MOSES, TERENO, siehe Abschnitt 3). Folgende Ziele wurden 2024 umgesetzt:

1. Das übergreifende Portal Earth Data wurde erweitert um „branded portals“, wie TERENO oder Marine Data. Das Angebot des zentralen Einstiegspunktes in die EuU Dateninfrastruktur wird in Umfang und Funktionalität fortlaufend erweitert.
2. Der DataHub wurde Ende 2024 von einem internationalen Expertengremium als herausragend evaluiert und ohne Einschränkung zur Weiterführung empfohlen. Flankiert

wurde das hervorragende Ergebnis durch Empfehlungen für die weitere Entwicklung in den kommenden Jahren.

3. Im Rahmen der weiteren Entwicklung des Forschungsdatenmanagements der Helmholtz-Gemeinschaft ist der DataHub als „role model“ zum Aufbau vergleichbarer Dateninfrastrukturen in anderen Forschungsbereichen etabliert worden.

Die Aktivitäten sind eng abgestimmt mit den Beiträgen des FB EuU zum Helmholtz Information and Data Science Framework, insbesondere der vom FB EuU koordinierten Helmholtz Meta-data Collaboration Plattform (HMC), der Helmholtz-AI Local Unit EuU und den Helmholtz Information and Data Science Schools HeiBRIDS und MarData. Mit seinen Ergebnissen und Angeboten liefert der DataHub einen essentiellen Helmholtz-Beitrag zur Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI), insbesondere in den Konsortien NFDI4Earth and NFDI4Biodiversity, dem Nationalen High Performance Computing (NHR) Netzwerk, der European Open Science Cloud (EOSC) und fachspezifischen Netzwerken und Konsortien auf nationaler wie internationaler Ebene.

Forschung zu nachhaltigen urbanen Räumen

Das Thema urbane Räume und ihre nachhaltige Entwicklung ist eines der zentralen Handlungsfelder der Bundesregierung und Teil der Forschungspolitischen Leitlinien des BMBF für die aktuelle PoF-Periode. Der Forschungsbereich Erde und Umwelt (FB EuU) hat vor diesem Hintergrund die systemische Forschung zu Nachhaltigkeit im urbanen Gebiet als eines von zehn Programmzielen verabschiedet. Im Juli 2021 führte ein extrem heftiges Starkregenereignis zu verheerenden Überschwemmungen in Westdeutschland und das Thema der Entwicklung nachhaltiger Räume durch niederschlagsbedingte Zerstörungen an Infrastrukturen und Gebäuden in mehreren Bundesländern und insbesondere Verletzten, Vermissten und Toten in bisher unvorstellbarem Ausmaß bekam ungewollt große Aufmerksamkeit.

Die Topic-übergreifende Zusammenarbeit und Kommunikation im FB EuU (in Ergänzung zur bilateralen wissenschaftlichen Kooperation) zu diesem Thema wurde seit 2021 (Beginn PoF IV) durch verschiedene Formate gefördert und vorangetrieben. 2021 fand zunächst im Rahmen von Topic 4 und 5 ein erster Workshop zu Science-Society-Interactions statt, bei dem viele Anknüpfungspunkte zu den Themen Klimaanpassung und -mitigation in Städten offengelegt wurden. Im Juni 2022 wurde im nächsten Schritt unter Federführung des UFZ und des KIT ein Topic-übergreifender Workshop in Fulda durchgeführt – die Veranstaltung unterstrich das Potential des FB EuU, mit Hilfe eines systemischen Ansatzes einen „impact“ in Sachen „nachhaltige Stadtentwicklung“ leisten zu können. Parallel erfolgte über das SynCom-Projekt „Städte im Klimawandel“ die Intensivierung der Diskussion mit den Interessenvertretern aus den Kommunen, Land und Bund mit dem Höhepunkt eines Parlamentarischen Abends zu diesem Thema im November 2022 im Berliner Bundestag. Im November 2023 haben wir in einem weiteren Workshop wiederum in Fulda die Topic-übergreifende Diskussion weiter vorangetrieben. Die inhaltlichen Schwerpunkte lagen primär auf dem interdisziplinären Austausch zu einzelnen Zukunftsthemen der nachhaltigen Stadtentwicklung und ermöglichten eine systemische Betrachtung der Stadttransformation vor dem Hintergrund des Klimawandels. Neben Vertreterinnen und Vertretern aus der Wissenschaft war auch das BMBF an der Veranstaltung beteiligt. Das im Rahmen der Helmholtz Sustainability Challenge-Ausschreibung 2024 eingeworbene Satellitenprojekt „Urban Transformations towards Blue-Green Infrastructures“ mit Hereon, KIT und UFZ (Leitung) unterstreicht beispielhaft die immer enger werdende Zusammenarbeit.

Die o.g. inhaltlichen und strategischen Überlegungen haben in 2024 im Rahmen der Strategieentwicklung für die kommende Programmperiode PoF V (2028-2034) dazu geführt, dass das Thema „urbane Räume“ noch stärker adressiert wurde. Im Ergebnis wurde beschlossen, im neuen PoF V-Programm des FB EuU das Thema „urban transformation“ als eines der 9 Topics mit KIT als Topic-Sprecher im Tandem mit GFZ zu etablieren. Erste Gespräche zur Entwicklung dieses Topics haben bereits 2024 stattgefunden, u.a. wurde der Schwerpunkt auch im Rahmen der General Assembly des FB EuU in Kiel im Okt. 2024 in einer eigenen Session weiter entwickelt.

Umsetzung des Personalkonzeptes des Forschungsbereiches

Im Jahr 2024 setzte die zentrenübergreifende Arbeitsgruppe "Talent Management" drei der vier vom MB beauftragten Bausteine aus dem strategischen Personalentwicklungskonzept PoF IV erfolgreich um: **NETWORK**, **COMPASS** und **BRIDGING SPHERES**. Diese Bausteine tragen bereits erkennbar zur Qualifizierung der Teilnehmenden, zu ihrer Karriereplanung und zur Vernetzung unter den Teilnehmenden bei.

Der Baustein **NETWORK** (siehe Beschreibung des Bausteins im Fortschrittsbericht 2023, S. 8) basiert auf den forschungspolitischen Zielen des BMBF und gemeinsamen Kooperationsvereinbarungen der EuU-Zentren. In monatlichen zentrenübergreifenden Treffen werden die anderen Bausteine konzeptionell und organisatorisch vorangetrieben. Dem MB wird halbjährlich Bericht erstattet.

Das Mentoring-Programm **COMPASS** (siehe Beschreibung des Bausteins im Fortschrittsbericht 2023, S. 8/9) verzeichnete bisher 115 Bewerbungen von Wissenschaftler:innen und Wissenschaftsmanager:innen, von denen 68 für die ersten drei Jahrgänge ausgewählt wurden. Die Rückmeldungen der Teilnehmenden und Mentor:innen sind sehr positiv. Der hohe Wert des Bausteins kann durch ausführliche Rückmeldungen der Teilnehmenden gut belegt werden.

Für den ersten Pop-up Campus **BRIDGING SPHERES** (siehe Beschreibung des Bausteins im Fortschrittsbericht 2023, S. 9) am 8.-12. April 2024 wurden aus 42 Bewerbungen 30 Teilnehmende ausgewählt. Das KIT übernahm am Campus Alpin die Gastgeber-Rolle, und Prof. Armin Nassehi (LMU München) wurde als Keynote Speaker gewonnen. Die Teilnehmenden erarbeiteten in drei Workshops eigene Produkte zu den Formaten "Research Statement", "Policy Paper" und "Radio Podcast", geleitet vom RIFS und SynCom. Eine Wiederholung ist für 2026 geplant, sobald ein neues gastgebendes Zentrum identifiziert ist.

Die konzeptionelle Planung für den vierten Baustein **QUALIFY** (siehe Beschreibung des Bausteins im Fortschrittsbericht 2023, S.9) beginnt 2025. Das MB hat entschieden, für diesen Career Tracking und Alumni-Baustein die Umsetzbarkeit und den Nutzen in größerem Rahmen zu prüfen. Da der Baustein NETWORK diese Schritte allein nicht leisten kann, ist ein Antrag bei der VolkswagenStiftung im Bereich "Pioniervorhaben" vorgesehen.

3. Entwicklung im Rahmen der programmübergreifenden Aktivitäten

3.1. Querschnittsthema REKLIM (Regionale Klimaänderungen und Mensch)

- Koordinierende Sprecher: Dr. Klaus Grosfeld (AWI), Prof. Dr. Peter Braesicke (KIT & DWD)
- Beteiligter Forschungsbereich: *Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr*

Der Helmholtz-Forschungsverbund REKLIM arbeitet sehr erfolgreich seit mehr als 15 Jahren zentren- und forschungsbereichsübergreifende zusammen und übersetzt aktuelle Forschungserkenntnisse in anwendungsbezogene Entscheidungshilfen, um nachhaltige Lösungen für gesellschaftliche Fragen und Herausforderungen zu finden. In 2024 wurde das von der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) des BMWK finanzierte Bildungsprojekt „klimafit - wissen.wollen.wandeln“ an Volkshochschulen erfolgreich mit einer großen Konferenz in Berlin abgeschlossen. Dieses Projekt gilt als Leuchtturm im kommunalen Klimaschutz der NKI mit 440 Volkshochschul-Standorten im ganzen Bundesgebiet, mehr als 5.500 Teilnehmenden, mehr als 500 geschulten Kursleitenden als Multiplikator:innen und 430t CO_{2e} Einsparung mit der für das Projekt entwickelten klimafit Challenge. Darüber hinaus wurde eine große und in der Öffentlichkeit extrem gut wahrgenommene Stakeholderkonferenz zusammen mit dem Umweltbundesamt, dem RKI und der Berliner Ärztekammer zum Thema „Regionale Klimaanpassung in Nord- und Ostdeutschland: Herausforderungen und Lösungsansätze“ veranstaltet, die die Stärke von REKLIM in der Vernetzung von Forschung und gesellschaftlichen Akteur:innen deutlich machte.

3.2. Querschnittsthema Helmholtz Klimainitiative / Helmholtz KLIMA

- Koordinierende Sprecher: Prof. Dr. Katja Matthes (GEOMAR); Cluster I: Prof. Dr. Daniela Jacob (Hereon); Cluster II: Prof. Dr. Sabine Attinger (UFZ); Cluster III: Caroline Wichmann (Helmholtz KLIMA)
- Beteiligte Forschungsbereiche: *Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr, Energie, Gesundheit, Information, Materie*

Helmholtz KLIMA wurde als Dialog-Plattform etabliert, in der alle 18 Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft Mitglied sind. Ziel ist es, klimarelevante Expertise und Lösungen aus allen 18 Helmholtz-Zentren wirksam in politische Debatten und Prozesse einzubringen. Helmholtz KLIMA orientiert sich dabei an aktuell diskutierten Themen. Ein neues Team setzt seit Herbst 2024 erste Projekte und Dialogformate um (Politik- und Medientrainings, Online-Experten-Datenbank, Unterhausdebatte).

3.3. Querschnittsthema Remote Sensing

- Koordinierende Sprecher: Prof. Dr. Martin Riese (FZJ), Prof. Dr. Jan Cermak (KIT), Prof. Dr. Jens Wickert (GFZ)
- Beteiligter Forschungsbereich: *Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr*

Ein wichtiges Ziel der Querschnittsaktivität ist die Netzwerkbildung zur gemeinsamen Nutzung von Fernerkundungsdaten. Im Jahr 2024 fand ein 2-tägiger Workshop in Karlsruhe mit ca. 50 Teilnehmenden des FB EuU und des DLR statt. Eine Veröffentlichung von Rhode et al. (2024) zur Unterstützung des ESA Earth Explorer Kandidaten CAIRT (The Changing Atmosphere

InfraRed Tomography Explorer) wurde von der Zeitschrift „Atmospheric Measurement Techniques“ als „Highlight Paper“ ausgezeichnet. Ein Schwerpunkt in der Datenauswertung lag auf der EnMap-Mission mit mehr als 1.800 registrierten Nutzern.

3.4. Querschnittsthema Geoenergy

- Koordinierender Sprecher: Prof. Dr. Ingo Sass (GFZ), Prof. Dr. Thomas Kohl (KIT, FB Energie)
- Beteiligtes Programm: *Materialien und Technologien für die Energiewende* (FB Energie)

Zwei größeren Vorhaben kennzeichnen die Aktivitäten im Querschnittsthema Geoenergie: a) das Vorhaben GEOZEIT, welches darauf zielt, die Speicherung von Stoffen (hier Teilvorhaben HY-PREPARE, laborative, numerische und planerische Vorbereitung eines Wasserstoffspeichers in salinem Aquifer mit Einbindung in einen regionalen Wasserstoff-Hub) zu entwickeln, sowie die Speicherung von Hochtemperatur-Wärmeenergie (hier Teilvorhaben DEEPSTOR, Aquiferspeicherung in 800 bis 1300 m Tiefe mit Einbindung in das lokale Fernwärmenetz) zu demonstrieren. Und b) 2024 begann die Erkundungsphase für das geothermische Untertage-labor GeoLaB, u.a., mittels geoelektrischen Verfahren, eigener GFZ-Vibrationsseismik und der zum Jahresende begonnenen, vollgekernten Forschungsbohrung. Das GeoLaB Team konnte 2024 ein erstes BMBF-Vorhaben, GeoDT beginnen, in dem bereits die Erkundungsdaten in einem digitalen Zwilling zusammengeführt werden. Grundsätzlich soll in den kommenden Jahren u.a. die geothermische Nutzung von Hochflusszonen in heißen kristallinen Gesteinen erforscht werden.

3.5. Querschnittsthema MACE: Mainstreaming Environmental Assessment for Complex Exposure

- Koordinierende Sprecher: Prof. Dr. Beate Escher (UFZ), Dr. Gunnar Gerdtz (AWI), Prof. Dr. Michael Schlöter (HMGU), Prof. Dr. Uli Schurr (FZJ)
- Beteiligtes Programm: *Umweltbedingte und metabolische Erkrankungen* (FB Gesundheit)

Die Querschnittsaktivität MACE wurde als Plattform zur Verknüpfung von Umwelt- und Gesundheitsforschung im Programm „Erde im Wandel - Unsere Zukunft nachhaltig gestalten“ und dem FB Gesundheit etabliert. Ziel ist die Bewertung von Risiken durch neuartige Stoffe wie Chemikalien und Kunststoffe sowie die Entwicklung von Indikatoren zur Expositions-bewertung. 2024 wurden zentrale Initiativen vorangetrieben, darunter eine Breakout-Sitzung auf der Generalversammlung von EuU, um künftige Kooperationen zu diskutieren. Zudem startete eine Initiative zur Definition planetarer Grenzen für Chemikalien, die 2025 weiterverfolgt wird. Das von MACE initiierte SynCom-Projekt ModHaz wurde mit einem Policy Brief und einem parlamentarischen Abend erfolgreich abgeschlossen und soll 2025 als SynCom-Flex-Aktivität mit der Lancierung des Policy Briefs in Brüssel fortgeführt werden.

3.6. Querschnittsthema JL-ExaESM: Exascale Earth System Modeling

- Koordinierende Sprecher: Prof. Dr. Martin Schultz (FZJ), Prof. Dr. Thomas Jung (AWI)
- Beteiligte Programme: *Engineering Digital Futures* (FB Information), *Raumfahrt* (FB Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr)

Das Joint Lab Exascale Earth System Modeling (JL-ExaESM) vereint Expertise aus verschiedenen Helmholtz-Forschungsbereichen, um das Hochleistungsrechnen in der Erdsystemmodellierung voranzutreiben. Im Jahr 2024 etablierte das JL-ExaESM KI für die Erdsystemmodellierung als zentrale Säule neben der Skalierbarkeit von Exascale-Code und Exascale-Workflows. Diese Integration verbessert die Modellgenauigkeit, Effizienz und Prognosefähigkeit. Regelmäßige monatliche Treffen fördern weiterhin den Austausch und die Zusammenarbeit zwischen den Partnern. Mit der erweiterten Förderung aus dem Innovationspool im FB Information stärkt diese Initiative die programmübergreifende Kooperation und ermöglicht es der Helmholtz-ESM-Gemeinschaft, neueste HPC-Technologien in ihre Forschung zu integrieren.

3.7. Querschnittsthema BmE: Bioeconomy meets Energy

- Koordinierende Sprecher: Prof. Dr. Uli Schurr (FZJ), Prof. Dr. Jörg Sauer (KIT, FB Energie)
- Beteiligte Programme: *Energiesystemdesign* und *Materialien und Technologien für die Energiewende* (beide FB Energie)

Ansätze zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse spielen eine zentrale Rolle für einen geschlossenen Kohlenstoffkreislauf und werden in einem integrierten Bioökonomie-Ansatz vorangetrieben. 2024 lag der Fokus auf der Kopplung von Sektoren durch innovative Prozesse, beispielsweise der Nutzung von biogenem Kohlenstoff und erneuerbarer Energie zur Proteinproduktion. Zudem wurden Forschungsarbeiten zu Agri-Photovoltaics (PV) fortgeführt, darunter die ersten Versuche im Themenbereich Biodiversitäts-PV mit Blühstreifen und Brutkästen sowie Messungen zur Pflanzenwachstumshomogenität in großskaligen Systemen mit vertikalen Agri-PV Systemen. Auch die Effekte von PV in Folientunneln auf das Pflanzenwachstum wurden untersucht, welches gerade in südlichen Regionen Europas durch großflächige Installationen zu einem bedeutenden Marktsegment heranwachsen kann. Ein Schwerpunkt war die Entwicklung eines Bioraffineriekonzepts zur Negativemissionsnutzung von Biokohlen. In diesem Kontext startete das HGF-Transferprojekt ReGenFarm mit der Firma Bayer.

3.8. Querschnittsthema Nuclear Repository Research

- Koordinierende Sprecher: Prof. Dr. Michael Kühn (GFZ), Prof. Dr. Olaf Kolditz (UFZ), Prof. Dr. Dirk Bosbach (FZJ, FB Energie)
- Beteiligtes Programm: *Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung (NUSAFE)* (FB Energie)

GFZ und UFZ arbeiten in Kooperation in der Endlagerforschung mit den am NUSAFE-Programm beteiligten Helmholtz-Zentren (FZJ, HZDR, KIT – FB Energie). Das abgeschlossene Projekt "iCROSS" wird als neue Initiative zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses als „Endlager-Kolleg“ fortgeführt. Die Gruppe ist aktiv beteiligt an Feldexperimenten im Untertagelabor Mont Terri (Schweiz) und außerdem an der Forschungsinitiative des „European Joint Programme on Radioactive Waste Management“ (EURAD-2).

3.9. Querschnittsthema MOSES: Modular Observation Solutions for Earth Systems

- Koordinierende Sprecherin: Dr. Ute Weber (UFZ)
- Beteiligte Forschungsbereiche: *Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr, Gesundheit*

MOSES ist ein gemeinsames Beobachtungssystem des FB EuU. Die mobil einsatzfähigen Sensorsysteme erfassen kurzfristige, häufig extreme Ereignisse von ihrer Entwicklung zu den Folgen. In einer ad-hoc Kampagne wurde Anfang 2024 die Elbe-Flut bis in die Deutsche Bucht beprobt. Mit diesem konzertierten MOSES-Einsatz unter Beteiligung von AWI, GEOMAR, Herion und UFZ startete gleichzeitig das BMBF-Projekt ElbeXtreme, an dem auch mehrere Universitäten sowie Bundes- und Landeseinrichtungen beteiligt sind. Zur Unterstützung der „Kurzfristvorhersage und schnellen Risikoanalyse meteorologischer und hydrologischer Extreme“ (KURE) wurden für MOSES 2,1 Mio. € aus den Paktmitteln 2025 bewilligt.

3.10. Querschnittsthema TERENO: Terrestrial Environmental Observatories

- Koordinierender Sprecher: Prof. Dr. Harry Vereecken (FZJ)
- Beteiligter Forschungsbereich: *Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr*

TERENO ist ein interdisziplinäres Beobachtungsnetz zu Auswirkungen des globalen Wandels auf terrestrische Ökosysteme. Die Daten aus den TERENO-Observatorien wurden in das von DataHub entwickelte Sensor-Managementsystem integriert und können nun hier abgerufen werden. Rund 90 internationale Forscher nahmen am 9. TERENO Workshop in Leipzig teil. Ein Rückblick auf 15 Jahre TERENO wurde in der Zeitschrift Earth's Future veröffentlicht.

3.11. Querschnittsthema / Progress CTA „Carbon Sources and Sinks in the Earth's (surface) system“ (CarbonESS)

- Koordinierende Sprecher: Prof. Dr. Dirk Sachse (GFZ), Prof. Dr. Gesine Mollenhauer (AWI)

Um die Forschung zum Kohlenstoffkreislauf aus allen neun Topics des Programms besser zu vernetzen, initiierten GFZ und AWI 2023 eine neue CTA. Bisherige Aktivitäten sind z.B. die Organisation von Sessions (GeoBerlin 2023), Diskussionsgruppen und Ausarbeitung neuer gemeinsamer Anträge. Erfolgreich eingeworben werden konnten z.B. das InnoPool-Projekt CSponge (ab 2025) unter der Leitung des GFZ mit AWI und UFZ und das SynCom-Projekt „Scaling up CDR“ (2023-2024), in dessen Rahmen ein HGF-weites CDR-Netzwerk initiiert wurde (inkl. FB Energy).

3.12. Innovationspoolprojekt ESM: Advanced Earth System Modeling Capacity Planned

- Koordinierender Sprecher: Prof. Dr. Thomas Jung (AWI)
- Beteiligter Forschungsbereich: *Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr*

Die Aktivitäten in diesem Projekt wurden auch 2024 nicht fortgesetzt, da sich der Fokus auf die EU-Initiative *Destination Earth, Foundation Models* und das nationale Erdsystemmodellierungsprojekt *natESM* verlagert hat. Destination Earth entwickelt hochauflösende digitale Zwillinge der Erde zur Simulation von Extremereignissen und ihren Auswirkungen. Foundation Models nutzen KI-gestützte Methoden, um Erdsystemprozesse effizient zu modellieren. Parallel dazu stärkt natESM die nationale Erdsystemmodellierung, indem es Forschung und Supercomputing enger verknüpft. Die Initiative entstand aus der Community in Abstimmung mit PT-DLR und dem DKK. DKRZ und JSC bündeln dabei ihre Expertise für eine effiziente Nutzung zukünftiger HPC-Systeme. Das natESM-Projekt wird vom BMBF gefördert. 2025 sind wieder Treffen der ESM-Community geplant, um zentrale Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen zu diskutieren.

3.13. Innovationspoolprojekt SCENIC

- Koordinierende Sprecher: Dr. Helge Goessling (AWI), Prof. Dr. Luis Samaniego (UFZ)

SCENIC konnte sehr erfolgreich abgeschlossen werden. Regionalisierte Storyline-Simulationen mit bis zu 1km Auflösung wurden für zahlreiche Extremwetterereignisse seit 2014 erzeugt und ausgewertet. Der Einfluss auf Hydrologie, Landwirtschaft und Luftverschmutzung wurde herausgearbeitet. Veränderungen winterlicher Kälteeinbrüche und der Einfluss der AMOC auf Extreme in Europa wurden untersucht. Eine Synthese mit Fokus auf den europäischen Hitze-/Dürresommern 2018–2022 ist in Arbeit ([detaillierte Ergebnisse und Studien](#))

3.14. Innovationspoolprojekt High-CO2

- Koordinierende Sprecher: Dr. Jens Kallmeyer (GFZ), Prof. Dr. Michael Bott, Björn Usadel, Dr. Dietrich Kohlheyer (FZJ), Dr. Sebastian Hölz (GEOMAR)

High-CO₂ erforscht mittels Kultivierung, Metagenomik, Bioinformatik und Biotechnologie die Anpassung von Mikroben im marinen und terrestrischen Umfeld an extreme CO₂-Konzentrationen zur Etablierung CO₂-basierter bioökonomischer Wertschöpfungsketten. Die mikrobielle CO₂-Fixierung in 3-Hydroxypropionat (Vorstufe verschiedener Chemikalien) wurde gentechnisch optimiert. Ein Mikrofluidik-Kultivierungschip mit kontrolliertem Gasaustausch wurde erfolgreich mit verschiedenen Mikroorganismen getestet.

3.15. Innovationspoolprojekt CASCO

- Koordinierende Sprecher:innen: Dr. Cecilia Nievas (GFZ), Dr. Alexey Androsov (AWI), Dr. Laurens Bouwer (Hereon), Prof. Dr. Morelia Urlaub (GEOMAR)

Im CASCO Projekt wurden 2024 zwei Publikationen zur Bewertung des Hochwasserrisikos in Nordost-Sizilien und zu Verlusten, Opfern und Umsiedlungen durch seismische Einwirkungen auf bereits beschädigte Gebäude eingereicht. Eine dritte Publikation über Hitzewellen und Hitzestress im Untersuchungsgebiet ist in Vorbereitung. Das Team wird 2025 weiterarbeiten um die [Erfassung von Unsicherheiten bei Tsunamiauslösern](#) abzuschließen und die abschließenden Veröffentlichungen über die gesamte Risikokette vorzubereiten.

3.16. Innovationspoolprojekt P-LEACH

- Koordinierende Sprecher:in: Prof. Dr. Annika Jahnke (UFZ), Dr. Gunnar Gerdtz (AWI)

P-LEACH nahm die chemische und bioanalytische Charakterisierung von Chemikalien und Partikeln aus verwitterndem Plastik vor (u.a. [Menger et al. 2024](#)). Dies beinhaltete spezielle Granulate mit bekannten Additiven und Produkte mit UV-Stabilisatoren. In Mesokosmen wurde die Aufnahme von Chemikalien in Biofilm und Schnecken untersucht. Gemeinsame Feldarbeit erfolgte auf der MOSES-Elbe-Kampagne. Finale Experimente laufen mit künstlichen Verdauungssäften.

3.17. Innovationsplattform SOOP: Shaping an Ocean Of Possibilities

- Koordinierende Sprecher:in: Dr. Toste Tanhua (GEOMAR), Dr. Jessica Gier (GEOMAR)

Die Helmholtz Innovationsplattform [SOOP](#) fördert innovative Ozeanbeobachtung durch die Entwicklung erschwinglicher, benutzerfreundlicher Messsysteme. Ziel ist es, ein innovatives Marktumfeld zu schaffen, in dem Technologien und Daten für eine nachhaltige Nutzung der Ozeane bereitgestellt werden. Aktuelle Initiativen umfassen die Nutzung von [Kreuzfahrtschiffen](#) und [Rennjachten](#) zur Datenerfassung und die Einführung des Open Source Building Kit ([OSBK](#)) zur Revolutionierung der Ozeanbeobachtung.

4. Strategische Themen

4.1. Talentmanagement

Die Zentren des FB EuU bieten eine Vielzahl von Talentmanagement-Programmen an, die darauf abzielen, die Chancengleichheit zu verbessern, Beruf und Familie in Einklang zu bringen, den wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern und Vernetzungs- und Austauschmöglichkeiten zu bieten (z.B. PhD-Days, Workshops, Sommerschulen, "Buddy"-Programme für Doktorand:innen und Postdocs, "Welcome on Board" Meetings). Early-Career Wissenschaftler:innen werden durch Programme wie Graduiertenschulen, Promotions- und Mentorenprogramme, Coaching, Karriereberatung und Workshops zur Entwicklung von (Führungs-)Kompetenzen unterstützt. Die Verbesserung der Chancengleichheit und der Vereinbarkeit von Familie und Beruf erfolgt durch Beratung und soziale Unterstützung, Vorträge und Online-Schulungen, z.B. in Form des Workshops, Kinderbetreuungsangebote, die Bereitstellung von hausnahen Dienstleistungen und flexible Arbeitsmodelle. Diese Instrumente werden regelmäßig überprüft und durch Zertifikate bestätigt, wie beispielsweise das *Total E-Quality-Prädikat* (FZJ, GEOMAR, UFZ), das Audit familiengerechte Hochschule" (KIT), das „audit berufundfamilie" (AWI, KIT) oder die „Charta der Vielfalt" (GEOMAR, GFZ, Hereon, UFZ).

Mit dem strategischen Personalkonzept für die PoF IV will der FB EuU optimale Rahmenbedingungen für wissenschaftliche Karrieren und langfristige strategische Kompetenzentwicklung an den beteiligten Helmholtz-Zentren schaffen. Im Jahr 2024 wurden drei Bausteine aktiv bearbeitet (vgl. Abschnitt 2).

Wichtige Instrumente zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses sind Nachwuchsgruppen sowie auf der W2/W3-Ebene das Rekrutierungsprogramm Helmholtz Distinguished Professorship und das Professorinnenprogramm 2030 (W2/W3-Programm):

Nachwuchsgruppen

- Dr. Denise **Degen**, GFZ, BMBF-KI-Nachwuchsgruppe (unter Leitung von Frauen im Bereich der Künstlichen Intelligenz) - PBML-HM: Physikbasiertes Maschinelles Lernen für hierarchische Monitoringsysteme (in Bezug auf induzierte Seismizität im Bereich Geothermie), Start September 2024
- Dr. Darja **Deobald**, UFZ, BMBF-Nachwuchsgruppe: „BioKreativ 3 - CoMet: Cobalamin-abhängige Methyltransfer-Systeme als Katalysatoren in der chemischen Industrie“, Start Juli 2024
- Dr. Richard **Fuchs**, KIT, Mischfinanzierung (u.a EU-Horizon Europe, KIT ERC Recognition Grant), „Land Use Data Analysis and Modelling“, Start Juli 2024
- Dr. Till **Harter**, GEOMAR, Emmy Noether-Programm, DFG: „Comparative red blood cell physiology: uncovering novel cellular mechanisms to predict the impacts of climate change on fishes (CRBCP)“, Start Nov. 2024
- Dr. Eva **Pfannerstill**, FZJ, Helmholtz-Nachwuchsgruppe: „Climate stress impacts on forest emissions and secondary organic aerosol formation“, Laufzeit: 01.10.2024 bis 30.09.2029
- Dr. Lettie **Roach**, AWI, Helmholtz-Nachwuchsgruppe SO-ASE - Understanding the drivers of Southern Ocean SST and sea ice change from the satellite era to a warmer world“, Start Nov 2024
- Dr. Veronica Rodriguez Tribaldos, GFZ, Helmholtz-Nachwuchsgruppe: InDySE - Interrogating the Dynamic Shallow Earth, Start Juli 2024

W2/W3 Programme (Helmholtz Distinguished Professorship, Professorinnenprogramm 2030)

- Prof. Dr. Juliane **Dannberg**, GEOMAR/Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, W2-Professur „Computergestützte Geodynamik“, Start Mai 2024
- Dr. Helena **Herr**, AWI/Universität Hamburg, W2-Professur „Ökologie der Meeressäuger“, Start WiSe 2025/2026
- Prof. Dr. Patricia **Martinez Garzon**, GFZ/RWTH Aachen University, W2-Professur „Angewandte Seismologie“, Start März 2025
- Dr. **Qiuguo** Fu, UFZ/TU Berlin, W2-Professur: „Umweltspurenstoffanalytik“, vrs. SoSe 2026
- Prof. Dr. Daniela **Schmidt**, AWI/Universität Bremen, W3-Professur „Marine und polare Paläobiologie“, vsl. Start SoSe 2025

4.2. Vernetzung

Dieses Kapitel enthält eine Auswahl der verschiedenen externen Partner, Universitäten und Konsortien, mit denen der FB EuU zusammenarbeitet, und zeigt die vielfältigen Methoden auf, mit denen Vernetzung und Zusammenarbeit umgesetzt werden.

Exzellenzinitiativen stärken den Aufbau von Netzwerken mit Universitäten. Drei Zentren des FB EuU kooperieren in vier Exzellenzclustern mit Universitäten (Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Exzellenzcluster des FB EuU mit Universitäten

Name des Exzellenzclusters	Partner	Gründungs- jahr
MARUM "The Ocean Floor - Hidden Interface of the Earth"	Universität Bremen, AWI	2019, Verlängerung beantragt 2024/2025
Robotics and Phenotyping for Sustainable Crop Production (<i>PhenoRob</i>)	Universität Bonn, FZJ	2019
<i>Cluster of Excellence on Plant Sciences</i> (CEPLAS)	Heinrich Heine Universität Düsseldorf, Universität Köln, Max Planck Institut für Pflanzenzüchtungsforschung, FZJ	2019
Cluster of Excellence Climate, Climate Change and Society (CLICCS)	Universität Hamburg, Hereon	2019

Mehrere Zentren des FB EuU beteiligen sich an der Bewerbung für neue Exzellenzcluster in der kommenden zweiten Wettbewerbsphase der Exzellenzstrategie der Bundesregierung. Die nächste Ausschreibungsrunde für Folgecluster ab 2027 läuft aktuell (Entscheidung im Mai 2025).

Der FB EuU hat aktuell zwei Helmholtz-Institute: das Helmholtz Institute for Climate Service Science (HICSS) in Hamburg und das Helmholtz-Institut für Funktionelle Marine Biodiversität an der Universität Oldenburg (HIFMB).

Die drei Helmholtz-Zentren mit Schwerpunkt Meeresforschung - AWI, GEOMAR, Hereon - sind Mitglieder der Deutschen Allianz Meeresforschung (DAM). Hier haben sich 24 Universitäten, außeruniversitäre und Ressortforschungseinrichtungen zusammengeschlossen, um die Meeresforschung in Deutschland zu bündeln. Ziel ist, durch eine enge Zusammenarbeit der jeweiligen Mitgliedsinstitutionen konkretes Handlungswissen für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft bereitzustellen und damit den nachhaltigen Umgang mit Küsten, Meeren und Ozeanen zu stärken. Die lösungsorientierten DAM-Forschungsmissionen greifen aktuelle, gesellschaftlich relevante Themen der Meeresforschung auf: Die Missionen "Marine Kohlenstoffspeicher als Weg zur Dekarbonisierung" (koordiniert von GEOMAR und IOW) und "Schutz und nachhaltige Nutzung von Meeresgebieten" (koordiniert von Hereon, AWI) starteten 2021, die dritte DAM-Forschungsmission "Wege zu einem verbesserten Risikomanagement im Bereich mariner Extremereignisse und Naturgefahren" startete im Januar 2024. Zwei der vier Verbundprojekte der dritten Mission werden vom GEOMAR, eines vom AWI koordiniert. Im Jahr 2022 hatte die zweite Phase des Pilotprojekts "Unterwegsdaten" begonnen, welches das Datenmanagement auf deutschen Forschungsschiffen nachhaltig verbessern und deren Integration in Dateninfrastrukturen wie MareHub ermöglichen soll. AWI, GEOMAR und Hereon beteiligen sich aktiv an den Aktivitäten der DAM, inkl. politischer Kommunikation. Mit GEOMAR-Direktorin Prof. Dr. Katja Matthes ist die Helmholtz-Gemeinschaft seit 2021 im DAM-Vorstand vertreten.

Das Deutsche Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig wird seit 2012 als DFG-Forschungszentrum aufgebaut und derzeit durch die Trägerinstitutionen Universität Leipzig, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Friedrich-Schiller-Universität Jena und UFZ sowie die beteiligten Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen

verstetigt. Die Hauptaufgabe von iDiv ist die Entwicklung einer neuen interdisziplinären Wissenschaftsdisziplin, der integrativen Biodiversitätsforschung, zur Erforschung des weltweiten Biodiversitätsverlusts und seiner Konsequenzen für die Gesellschaft - als Basis für die konkrete Umsetzung von Forschungsergebnissen in politische Anwendungen. In Mitteldeutschland ist mit dem iDiv ein Hotspot der nationalen und internationalen Biodiversitätsforschung entstanden, dessen wissenschaftliche Erkenntnisse von höchster Relevanz für die Zukunft unserer Gesellschaft sind.

Das Konsortium für Erdsystemwissenschaften (NFDI4Earth) als Vernetzungskomponente zum Thema Datenmanagement ist ein wesentlicher Bestandteil der NFDI und bringt die führenden nationalen Institutionen (insgesamt 61 Partnerinstitutionen) in den Erdsystemwissenschaften zusammen (vgl. Abschnitt 2, Umsetzung der Digitalisierungsstrategie). NFDI4Earth ist eines von zehn Konsortien mit einer Laufzeit von fünf Jahren, beginnend 2021. Alle Zentren des FB EuU sowie das DLR und das Helmholtz Coastal Data Center (HCDC) sind an diesem Konsortium beteiligt. NFDI4Earth wird von der TU Dresden koordiniert. Das GFZ übernimmt eine zentrale Rolle als Co-Sprecher des Konsortiums.

Gemeinsame Berufungen und DFG-Schwerpunktprogramme (SPPs) spielen eine zentrale Rolle bei der Vernetzung von Forschungseinrichtungen und Hochschulen. Die Zentren des FB EuU führen 2024 etwa 150 gemeinsame Berufungen mit Hochschulen. Nachfolgend findet sich eine Liste im Jahr 2024 laufenden laufende DFG-Schwerpunktprogramme:

- SPP 527: Bereich Infrastruktur - "International Ocean Discovery Program" (IODP) (AWI, GEOMAR, GFZ)
- SPP 1006: Bereich Infrastruktur - Internationales Kontinentales Bohrprogramm (ICDP) (GFZ)
- SPP 1158: Bereich Infrastruktur - Antarktisforschung mit vergleichenden Untersuchungen in arktischen Eisgebieten (AWI, GEOMAR, GFZ)
- SPP 1294: Bereich Infrastruktur - Atmospheric and Earth system research with the "High Altitude and Long Range Research Aircraft", HALO (FZJ, KIT)
- SPP 1374: Biodiversitäts-Exploratorien (KIT, UFZ)
- SPP 1704: Flexibilität entscheidet: Zusammenspiel von funktioneller Diversität und ökologischen Dynamiken in aquatischen Lebensgemeinschaften (AWI)
- SPP 2017: Gebirgsbildungsprozesse in 4-Dimensionen (4D-MB) (GFZ)
- SPP 2089 - Rhizosphere Spatiotemporal Organisation – a Key to Rhizosphere Functions (FZJ, UFZ)
- SPP 2100: Soft Material Robotic Systems (GEOMAR)
- SPP 2125 - Deconstruction and Reconstruction of the Plant Microbiota, DECrypT (UFZ)
- SPP 2170 - Neuartige Produktionsverfahren durch skalenübergreifende Analyse, Modellierung und Gestaltung von Zell-Zell- und Zell-Bioreaktor-Interaktionen, InterZell (FZJ, UFZ)
- SPP 2238: Dynamik der Erzmetallanreicherung, DOME (GEOMAR, GFZ)
- SPP 2240 - Bioelectrochemical and Engineering Fundamentals, eBiotech (UFZ)
- SPP 2299: Tropische Klimavariabilität und Korallenriffe. Von der Vergangenheit in die Zukunft - Ein Blick auf aktuelle Änderungsraten in ultrahoher Auflösung (GEOMAR)
- SPP 2322 - Systems Ecology of Soils – Energy Discharge Modulated by Microbiome and Boundary Conditions, SoilSystems (UFZ)

- SPP 2330 - Neue Konzepte der Virus-Wirt-Interaktion in Prokaryoten – von Einzelzellen zu mikrobiellen Gemeinschaften (FZJ, UFZ)
- SPP 2361 - On the Way to the Fluvial Anthroposphere (UFZ)
- SPP 2389 - Emergente Funktionen der bakteriellen Multizellularität (UFZ)
- SPP 2404: Rekonstruktion der Dynamik des tiefen Erdinnern über geologische Zeiträume (DeepDyn) (GFZ)
- SPP 2416: CodeChi - Chitin, Chitosan und Chito-Oligosaccharide und ihre Interaktion mit Proteinen der extrazellulären Matrix und zellulärer Signalwege (FZJ)

4.3. Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

In diesem Absatz wird exemplarisch ein Transferbeispiel aus jedem Zentrum vorgestellt, das einer der beiden Kategorien “Technologietransfer” oder “Wissen für Entscheider” zugeordnet ist.

Technologietransfer

2024 wurde eine Kooperation zwischen dem jungen Unternehmen Vyld GmbH und der Marinen Aquakultur-Gruppe des AWI begonnen. In dem Projekt “Green Hygiene” wird die Entwicklung von Hygiene-Produkten aus bioabbaubaren Algen-Polymeren vorangebracht. Vielversprechendes gemeinsames Ziel ist die Reduktion des immensen Aufkommens an nichtabbaubarem Plastikmüll, welcher zu einem erheblichen Anteil in die Meere gelangt.

Das **Jülicher Team** „Drought Analytics“ hat sich erfolgreich bei der Start-Up Transfer.NRW-Förderung beworben und wird seit Oktober 2024 mit rund 300.000 € gefördert. Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Webportals, mit dem Agrarversicherungen, landwirtschaftliche Unternehmen und Wasserverbände das kurz- und mittelfristige Dürrierisiko in der Landwirtschaft und der Wasserversorgung quantifizieren und vorhersagen können. Die Prototypen und Modelle zur Berechnung der deutschlandweiten und standortbezogenen Vorhersage werden optimiert, erste Testkunden akquiriert und das Geschäftsmodell evaluiert.

Die LHZ analytics GmbH ist ein Spin-off des **Hereon**, das sich als spezialisiertes chemisch-analytisches Labor gegründet hat. Die zentrale Dienstleistung besteht in der Untersuchung von Mikroplastik in Umweltproben. Das Leistungsportfolio beinhaltet außerdem Beratungsdienstleistungen zu Themen wie Beprobung, Probenvorbereitung und Analyse von Mikroplastik, sowie die Durchführung von Demomessungen. Das Unternehmen widmet sich primär der Untersuchung von Trinkwasser und wässrigen Umweltproben wie Meerwasser, aber auch komplexeren Proben (Lebensmittel, Gewebe oder Sedimente). LHZ analytics wurde Anfang 2024 gegründet und erhält mittels eines Nutzungsvertrags den Zugang zur notwendigen Laborinfrastruktur. Bis zum Ende des ersten Geschäftsjahres haben die beiden Gründer bereits drei Mitarbeitende eingestellt. Beide Gründer Dr. Lars Hildebrandt und Dr. Tristan Zimmermann sind derzeit als wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Umweltchemie des Küstenraums, Abteilung Anorganische Umweltchemie, tätig.

Seit März 2024 berücksichtigt das operationelle Wettersvorhersagesystem des Deutschen Wetterdienstes (DWD) erstmals Mineralstaub-Aerosole in seinen gemischten Ensemble-Berechnungen.

nungen – ein weltweit einzigartiger Ansatz. Das am **KIT** entwickelte ICON-ART-Modell verbessert so die Wettervorhersage in Deutschland, insbesondere die Prognose der solaren Strahlung, die für die Solarenergie entscheidend ist. Seit Januar 2024 ist der Modellcode als Open Source verfügbar, was Transparenz fördert und die internationale Zusammenarbeit in der Wetter- und Klimaforschung stärkt.

Wissen für Entscheider

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mit rund 1,7 Millionen Euro geförderte **GEOMAR** Projekt „Carbon Removal Atlas“, stellt die Potenziale von CDR-Methoden visuell und interaktiv dar. Entscheidungstragende in Regierungen, Regulierungsbehörden, der Industrie und der wissenschaftlichen Gemeinschaft sollen damit ein Hilfsmittel an die Hand bekommen, mit dem sie die quantitativen und qualitativen Potenziale verschiedener CO₂-Entnahmemethoden vergleichen und relevante CDR-Maßnahmen auf lokaler und globaler Ebene identifizieren können.

Neues Informationsportal zum globalen Wasserhaushalt "[Globalwaterstorage.info](https://globalwaterstorage.info)": Im Zuge der Finanzierungszusage für eine dritte GRACE-Satellitenmission, wodurch die Fortsetzung der langjährigen Messung des Wasserhaushalts auf der Erde gewährleistet wird, hat das **GFZ** eine neue Informationsplattform zur globalen Wasserspeicherung für politische Entscheidungsträger:innen und Medien aufgebaut. Auf dem Portal "[Globalwaterstorage.info](https://globalwaterstorage.info)" stehen neben Informationen über die Satellitenmissionen und die Anwendungsfelder der Monitoring-Daten auch ein blog, Grafiken und Faktenblätter zur Verfügung. Ein regelmäßiges 'Bild des Monats' sowie seit Ende 2024 auch eine aktuelle 3D-Datenvisualisierung runden das Angebot dieses Monitors zur Wasserverfügbarkeit ab.

Die Forschungsarbeiten der Helmholtz Klimainitiative und dem BioNET-Projekt des **UFZ** ([BMBF Förderung](#)) bilden die Grundlage für die nationale Langfriststrategie Negativemissionen: Die Deutsche Energie-Agentur wurde vom BMWK beauftragt, für die Bundesregierung die Langfriststrategie Negativemissionen zu entwickeln. Dabei übernahm die Agentur für ihrem Entwurf das am UFZ entwickelte Assessment Framework für Negativemissionen ([Förster et al. 2022](#)) sowie dessen Bewertung von Carbon Dioxide Removal (CDR) Optionen ([Borcher et al. 2024](#)). Dieser direkte Science-Policy Transfer stellt einen großen Erfolg für das UFZ und die Helmholtz KLIMA dar.

4.4. Drittmittelinwerbung

Tabelle 4-2 zeigt eine Auswahl der wichtigsten Erfolge bei der Einwerbung von Drittmitteln für Projekte im Berichtsjahr. Tabelle 4-3 zeigt die Ergebnisse des Calls 2024 bei den ERC-Grants (European Research Council) und Tabelle 4-4 ERC-Grants mit Startdatum 2024 im FB EuU.

Tabelle 4-2 Drittmittelprojekte (Projektbeginn: 2024), Auswahl von jeweils einem Projekt pro Zentrum.

Titel des Projekts, Akronym	Fördermittelgeber	Koordinierende:r Wissenschaftler:in, Zentrum	Budget	Laufzeit
<u>ILLUQ</u> (Permafrost Pollution Health)	EU HORIZON 2020 - Research and Innovation Action	Prof. Dr. Hugues Lantuit, AWI	1,154 Mio € (insgesamt 6 Mio €)	2024 - 2027
Graduiertencluster „AUFBRUCH – Die Transformation in eine nachhaltige regionale Bioökonomie gestalten“	BMBF	Prof. Dr. Dörte Rother, FZJ	insgesamt 12,46 Mio. €	2024–2028
Marine Munition in Europe - Solutions with Economic and Ecological Profits for Efficient Remediation (MMinE-SWEEPER)	EU-HORIZON/HORIZON-CL3-2023-BM-01-02	Prof. Dr. Jens Greinert, GEO-MAR	Budget: 1.153.516 € (gesamt: 5.916.096 €)	Oktober 2024 - März 2028
Neubau einer Satelliten-Laserradarstation (SLR) der 4. Generation mit Hochleistungs- MHz- Impulsverfahren am GFZ	EFRE Infrastruktur	Dr. Christoph Förste, GFZ	1,53 Mio. € gesamt: 2,6 Mio. €	01.04.2024 - 31.03.2030
FOCCUS - Forecasting and observing the open-to-coastal ocean for Copernicus users	EU HORIZON Europe - Research and Innovation Action	Dr. Joanna Staneva, Helmholtz-Zentrum Her-eon	544.531 € (insgesamt 4.99.656 €)	01.01.2024 - 31.12.2026
<u>KI-HopE-DE</u> : KI-gestützte Hochwasserprognose für kleine Einzugsgebiete in Deutschland	BMBF	Dr. Ralf Loritz, KIT	991.714,80 € gesamt: 1,8 Mio. €	1.12.2024 - 30.11.2027
BISON - Biohybrides Sonnenkraftwerk zur Umwandlung von Licht in Chemische Energie – nachhaltig, effizient, ressourcenschonend	Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK); EFRE/JTF	Prof. Dr. Jens Olaf Krömer, UFZ	3.014.477,50 €	06/2024-06/2026

Tabelle 4-3: neue ERC Grants, (**bewilligt 2024, noch nicht gestartet**)

ERC Grant	Name	Zentrum
ERC Starting Grant: COLDSPOT	Dr. Carolina Voigt	AWI
ERC Starting Grant: PhagoPhoRe	Dr. Nils Rädcker	AWI
ERC Starting Grant: DNE	Dr. Ilya Bobrovskiy	GFZ
ERC Synergy Grant: GERACLE	Dr. Monika Korte	GFZ
ERC Consolidator Grant: EXCURSION	Dr. Sanja Panovska	GFZ

Tabelle 4-4: Direkt eingeworbene ERC Grants im FB EuU **mit Startdatum 2024**

ERC Grant	Name	Zentrum
ERC Starting Grant: OSTIA	Dr. Ivy Frenger	GEOMAR
ERC Consolidator Grant: HighBorG	Dr. Eleni Anagnostou	GEOMAR
ERC Consolidator Grant: SEA-THROUGH	Dr. Jan Taucher	GEOMAR
ERC Synergy Grant: WHIRLS	Prof. Dr. Arne Biastoch	GEOMAR
ERC Consolidator Grant: FOXSTORM	Dr. Jeff Carpenter	Hereon
ERC Advanced Grant: SpatioCoexistence	Dr. Thorsten Wiegand (Start 2025)	UFZ
ERC Consolidator Grant: AiCE	Prof. Dr. Pascal Bohleber	AWI
ERC Synergy Grant: i2B	Prof. Dr. Gerrit Lohmann	AWI
ERC Consolidator Grant: RockDeath	Prof. Dr. Nicolas Brantut	GFZ
ERC Consolidator Grant: Glass2Melt	Dr. Sergey Lobanov	GFZ
ERC Consolidator Grant: WIRE	Dr. Dedong Wang	GFZ
ERC Synergy Grant: Archean Park	Dr. Jens Kallmeyer	GFZ
ERC Synergy Grant: ROTTnROCK	Prof. Dr. Thomas Walter	GFZ

4.5. Forschungsinfrastrukturen

FIS

Forschungsinfrastrukturen bilden die Grundlage für wissenschaftliche Fortschritte bei der Bewältigung globaler gesellschaftlicher Herausforderungen, daher strebt der FB EuU eine kontinuierliche Erneuerung und Erweiterung strategisch relevanter Infrastrukturen an. Im Rahmen der in der [Helmholtz-Roadmap 2021](#) skizzierten Strategie geplanter Forschungsinfrastrukturprojekte wurde im Sommer 2024 der Antrag für das Infrastrukturvorhaben **ATMOSense** eingereicht. ATMOSense ist eine modulare und mobile Einrichtung der Atmosphärenbeobachtung. Die Infrastruktur umfasst sowohl in-situ- als auch Fernerkundungs-Komponenten und zeichnet sich durch eine bislang unerreichte räumliche, zeitliche, und stoffliche Auflösung aus, die den „Whole Atmosphere“-Ansatz des Topic 1 im Programm „The Changing Earth- Sustaining our Future“ ermöglicht.

Das von GFZ und GEOMAR eingereichte Infrastrukturprojekt **SAFAtor** zur Überwachung der Weltmeere mit Telekommunikationskabeln wurde im März 2024 von der FIS-Kommission priorisiert, da es in allen Bereichen überzeugen und sich durch sein Alleinstellungsmerkmal deutlich abheben konnte. SAFAtor demonstriert die Nutzung von untermeerischen Glasfaserkabeln, die ein weltumspannendes Monitoring von Naturgefahren und Klimadaten ermöglichen sollen. Zuerst wird dazu in Chile, am Ätna (Italien) und in der Marmarasee (Türkei) ein küstennahes Monitoringsystem aufgebaut, bei dem die Glasfaserkabel selbst als Sensoren dienen. Anschließend wird ein Testkabel mit neu entwickelter Sensortechnik ausgestattet, um die Gewinnung wichtiger Klima- und Geodaten aus der Tiefsee zu demonstrieren. Alle gewonnenen Daten werden in einem vom GFZ betriebenen Datendienst Nutzern weltweit zur Verfügung gestellt.

Die drei großen Meeresforschungsinstitute der Helmholtz-Gemeinschaft – AWI (koordinierendes Zentrum), GEOMAR und Hereon – entwickeln ihre Meerestechnologie im Großprojekt **MUSE** gemeinsam weiter. Das Ziel: Unterwasserrobotik noch effektiver und leistungsfähiger zu machen, damit die Forschung mit den Folgen von Klimawandel, Artenverlust und Umweltverschmutzung Schritt halten kann. Schwerpunkte liegen dabei auf gemeinsamen Weiterentwicklungen von Sensortechnologien und deren Software, Einbindung von künstlicher Intelligenz und Vernetzung der Systeme, Erfassung der essentiellen Ozean Variablen (EOV's) in schwer zugänglichen Bereichen (Tiefsee, unter dem Eis) und extremen Bedingungen, um beurteilen zu können, ob Meeresschutz wirksam wird. Für den Zentren übergreifenden Austausch zur Technologieentwicklung finden regelmäßige Treffen und Workshops statt – gemeinsame Expeditionen und Gerätetests sind in Vorbereitung.

LK I

Die Schiffstaufe des neuen Forschungsschiffs des Hereon, der **CORIOLIS** fand am 18.11.2024 in Anwesenheit der Wissenschaftsministerin des Landes Schleswig-Holstein, Karin Prien, statt. Das Schiff ist ein schwimmendes multithematisches Labor mit einer hochmodernen Ausstattung für die Küsten-, Wasserstoff- und Membranforschung. So ist es Wegbereiter für eine innovative Schifffahrt, die den Umweltschutz und die Klimafreundlichkeit stärkt. Das Schiff wird eine wichtige Rolle in der Küsten- und Klimaforschung des Hereons spielen. Es untersucht unter anderem Kohlenstoffkreisläufe, Nähr- und Schadstofftransporte zwischen den Flüssen und Küsten in Nord- und Ostsee sowie die Auswirkungen von Offshore-Windkraft auf die Umwelt. Die Daten werden in Echtzeit gesammelt und sollen für den Austausch mit anderen Schiffen und Landstationen zugänglich gemacht werden. Der innovative Antrieb des Schiffs besteht aus elektrischen Fahrmotoren, die durch verschiedene Stromerzeuger, einschließlich einer Wasserstoff-Brennstoffzelle, betrieben werden. Der Wasserstoff wird in einem von Hereon entwickelten Metallhydridtank gespeichert, was Wasserstofftechnologien unter realen Bedingungen erprobt

Das UFZ koordiniert den Aufbau der europäischen Forschungsinfrastruktur **eLTER** (eLTER - European long-term ecosystem, critical zone and socio-ecological systems research infrastructure), die 2018 vom Europäischen Strategieforum für Forschungsinfrastrukturen (ESFRI) auf die Roadmap der wichtigsten aufzubauenden Forschungsinfrastrukturen aufgenommen und mit Unterstützung der Europäischen Kommission entwickelt wird. Den Kern von eLTER werden ca. 250 ausgewählte Standorte bilden, die alle biogeografischen Gebiete in Europa abdecken und in denen biologische, biogeochemische, hydrologische und sozio-ökologische Daten nach gemeinsamen Standards erhoben und analysiert werden. Das UFZ gestaltet diese

für die europäische Umweltforschung essentielle Forschungsinfrastruktur maßgeblich mit, etwa durch Übertragung des Konzepts des TERENO-Observatoriums auf die europäische Ebene. Auf diese Weise wird die Integration der verteilten Observatorieninfrastrukturen des UFZ und des Helmholtz-FB EuU in die relevanten europäischen Netzwerke erheblich verstärkt.

LK II

Am 19.12.24 konnte das AWI der Werft thyssenkrupp Marine Systems in Wismar den Zuschlag für den Bau des neuen Forschungseisbrechers Polarstern II erteilen. Ein knapp zweieinhalb-jähriges europaweites Vergabeverfahren kam damit zum Abschluss. Nach fünfjähriger Bauzeit soll die neue Polarstern im Jahr 2030 an die Forschung übergeben werden. Mit einer Länge von ca. 160 Metern, einer Breite von 27 Metern und einer Höhe von 14 Metern wird die neue Polarstern pro Fahrt 60 bis 90 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus der ganzen Welt sowie 50 Crewmitgliedern die Möglichkeit geben, insbesondere aus den Polarregionen entscheidende Erkenntnisse zu den Wirkungen des Klimawandels, zu Funktionen der polaren Lebensgemeinschaften sowie zum Umweltschutz zu gewinnen. Für die interdisziplinäre Erdsystemforschung sind Labore und Werkzeuge für die verschiedensten Fachgemeinschaften eingeplant: von der Geologie und Geophysik über die Biologie und Ozeanographie bis hin zur Meereis- und Atmosphärenforschung. Die neue Polarstern wird an mehr als 300 Tagen pro Jahr auf See unter sich verändernden Eis- und Witterungsbedingungen einsetzbar sein.

Die **METEOR IV** wird voraussichtlich ab 2026 als am GEOMAR betriebene LK II-Infrastruktur die 37 Jahre alte aktuelle METEOR sowie die bereits 2019 außer Dienst gestellte POSEIDON ersetzen. Die METEOR IV wird allen meeresforschenden Disziplinen zur Verfügung stehen und schwerpunktmäßig im Atlantik, aber auch weltweit zum Einsatz kommen. Zu Beginn des Jahres 2024 wurde die Konstruktion der METEOR IV fortgeführt und weitere Ausführungsdetails festgelegt. Gleichzeitig erfolgte in der Neptun-Werft in Rostock-Warnemünde die weitere Ausrüstung der sogenannten Floating Engine Room Unit (FERU), die vom 6.-7.8.2024 von zwei Schleppern über den Nord-Ostsee-Kanal zur Meyer-Werft nach Papenburg überführt wurde. Anschließend wurden der FERU und die in der Meyer-Werft bereits fertiggestellten Blöcke im Baudock zusammengesetzt und die Beschichtung des Unterwasserschiffes bis Ende 2024 fertiggestellt.

5. Erfolgsindikatoren

	Einheit	2020	2021	2022	2023	2024	Veränderung 2024 zu 2023 absolut	Veränderung 2024 zu 2023 prozentual
WoS-, SCOPUS oder Open Research Europe indexierte Publikationen	Anzahl	3.987	4.474	4.131	3.626	3.826	200	6%
... davon Open-Access-Publikationen	Anzahl	3.139	3.596	3.589	3.359			
Andere referierte Publikationen (einschließlich Bücher und Buchkapitel)	Anzahl	380	515	317	272	567	295	108%
Drittmittelträge	TEUR	151.032	163.724	163.362	185.588	194.501	8.914	5%
... davon EU	TEUR	25.136	24.642	25.510	38.760	60.855	22.095	57%
ERC Grants - Bestand aktiver Grants zum 31.12.	Anzahl	19	17	17	26	33	7	27%
Abgeschlossene betreute Promotionen	Anzahl	186	197	209	217	263	46	21%
Postdocs	Anzahl	552	582	581	622	600	-22	-4%
Nachwuchsgruppen	Anzahl	42	38	34	36	46	10	28%
Ausgewählte koordinierte, nationale und intern. Förderprogramme	Anzahl	187	197	249	256	303	47	18%
Kooperationen mit der Wirtschaft und externen nichtwissenschaftlichen Institutionen, öffentlich oder privat finanziert	Anzahl	92	317	616	612	760	148	24%
Ausgründungen (Spin-offs) und kompetenzbasierte Gründungen (Start-ups)	Anzahl	1	3	6	8	5	-3	-38%
Wissenstransferaktivitäten in FTE	FTE	26	67	74	88	88	0	0%
Kapazität der grundfinanzierten Wissenschaftler:innen	PJ	1.281	1.251	1.283	1.295	1.299	4	0%
Kapazität der drittmittel-finanzierten Wissenschaftler:innen	PJ	715	741	743	830	829	-1	0%
Summe Wissenschaftler:innen	PJ	1.995	1.992	2.024	2.125	2.128	3	0%

Tab. 5-1: Quantitative Indikatoren

Kommentierungen zu den dargestellten Erfolgsindikatoren:

Publikationen: Die Anzahl der Publikationen ist entgegen des Trends der Vorjahre wieder gestiegen. Der Peak in 2021 wurde laut den Bibliotheken zusätzlich durch die in der PoF IV neu definierte Jahres-zuordnung hervorgerufen (zuvor wurde das Jahr der finalen, nunmehr das der ersten, Veröffentlichung verwendet). Für 2021 handelt es sich außerdem um die nicht deduplizierte Gesamterfassung der Publikationen. Ab 2022 konnte eine Deduplizierung erfolgen.

Drittmittelträge: Die Drittmittelträge sind im Vergleich zum Vorjahr weiter angestiegen. Der Grund für den sprunghaften Anstieg von 2022 auf 2023 ist eine Vielzahl von BMBF- und EU-geförderten Projekten. Insbesondere beim AWI und GEOMAR haben sie sich mehr als verdoppelt.

Abgeschlossene Promotionen: Auch die Anzahl der abgeschlossenen Promotionen ist angestiegen.

Grundfinanzierte Wissenschaftler:innen: Im Vergleich zum Vorjahr gibt es insgesamt keine wesentliche Veränderung (4 PJ, 0%). Bei den einzelnen Zentren gibt es unterschiedliche Entwicklungen von minus 11% bis plus 12% grundfinanzierte Wissenschaftler:innen in 2024 gegenüber 2023.

Drittmittelfinanzierte Wissenschaftler:innen: Die Anzahl der drittmittelfinanzierten Wissenschaftler:innen ist im Vergleich zum Vorjahr konstant (-1 PJ, 0%).

Kontakt

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Stab und Strategie (STS)
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe
Telefon: +49 721 608-41134
E-Mail: Berichtswesen@sts.kit.edu

Herausgegeben von

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Präsident Prof. Dr. Jan S. Hesthaven
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe
www.kit.edu

Karlsruhe © KIT 2025