

ErUM – Erforschung von Universum und Materie

Forschungsinfrastrukturen als Deep-Tech-Ökosysteme

Technologien, Datenräume und Transfer

Positionspapier der ErUM-Komitees

Juni 2026

Impressum

Dieses Dokument beschreibt strategische Technologiefelder, Forschungsinfrastrukturen und Handlungsfelder der Forschungscommunity „Erforschung von Universum und Materie“ (ErUM).

Das Papier wurde unter Beteiligung der folgenden ErUM-Komitees erarbeitet:

- Komitee für Astroteilchenphysik (KAT)
- Komitee für Elementarteilchenphysik (KET)
- Komitee für Beschleunigerphysik (KfB)
- Komitee für Forschung mit Neutronen (KFN)
- Komitee für Forschung mit Synchrotronstrahlung (KFS)
- Komitee für Forschung mit nuklearen Sonden und Ionenstrahlen (KFSI)
- Komitee für Hadronen- und Kernphysik (KHuK)
- Rat Deutscher Sternwarten (RDS)

Redaktion und Koordination

Prof. Dr. Christian Gutt (KFS, Universität Siegen)
Prof. Dr. Martin Erdmann (RWTH Aachen)
Prof. Dr. Thomas Kuhr (KET, DIGUM, LMU München)
Prof. Dr. Lutz Feld (KET, RWTH Aachen)
Prof. Dr. Kathrin Valerius (KAT, KIT)
Dr. Erik Bründermann (KfB, KIT)
Prof. Dr. Michael Wurm (KAT, JGU Mainz)
Prof. Dr. Michael Block (KHuK, JGU Mainz)
Dr. Andreas Houben (KFN, RWTH Aachen)
Prof. Dr. Bridget Murphy (KFS, DAPHNE4NFDI, CAU Kiel)
Prof. Dr. Judith Reindl (KFSI, Universität Oslo)
Prof. Dr. Stefanie Walch-Gassner (RDS, Universität zu Köln)
Prof. Dr. Jörn Wilms (RDS, FAU Erlangen-Nürnberg)

Executive Summary

Die Forschungscommunity „Erforschung von Universum und Materie“ (ErUM) mit ihren rund 20.000 Forschenden bildet eines der leistungsfähigsten Deep-Tech-Ökosysteme Europas. Universitäten, Forschungszentren und Forschungsinfrastrukturen verbinden wissenschaftliche Exzellenz mit technologischer Leistungsfähigkeit und schaffen gemeinsam zentrale Voraussetzungen für die Schlüsseltechnologien der Hightech Agenda Deutschland.

Forschungsinfrastrukturen sind dabei weit mehr als wissenschaftliche Großgeräte. Sie bilden einzigartige Entwicklungs- und Validierungsplattformen, auf denen neue Technologien unter Bedingungen entstehen und erprobt werden, die in industriellen Entwicklungsumgebungen häufig nicht verfügbar sind. Dieses Zusammenspiel schafft die Grundlage für technologische Innovation und die Ausbildung hochqualifizierter Fachkräfte.

Mehrere hundert Unternehmen nutzen ErUM-Infrastrukturen als integralen Bestandteil ihrer Forschungs- und Innovationsprozesse, von der Wirkstoffentwicklung bis zur Materialcharakterisierung für Energietechnologien. ErUM-Technologien finden Anwendung in medizinischer Bildgebung, Materialanalyse, Raumfahrt und industriellen Inspektionssystemen. Diese Transferwirkung entsteht aus Fähigkeiten, die nur an der Schnittstelle von Universitäten, Forschungszentren und Forschungsinfrastrukturen unter Bedingungen an der wissenschaftlichen und technologischen Grenze aufgebaut werden können.

ErUM-Forschungsinfrastrukturen gehören zugleich zu den datenintensivsten wissenschaftlichen Umgebungen weltweit. Wissenschaftliche KI, autonome Experimente, digitale Zwillinge und AI-for-Science-Anwendungen entstehen hier unter Anforderungen an Datenqualität, physikalische Interpretierbarkeit und Echtzeitfähigkeit, die weit über die Anforderungen vieler industrieller Anwendungen hinausgehen.

Um diese wissenschaftlichen und technologischen Stärken langfristig zu sichern, sind strategische Investitionen in Forschungsinfrastrukturen, wissenschaftliche Daten- und KI-Infrastrukturen sowie neue Transfer- und Talentstrukturen erforderlich. Dieses Papier identifiziert hierfür drei zentrale Handlungsfelder: die langfristige Sicherung strategischer Forschungsinfrastrukturen, den Ausbau wissenschaftlicher Daten- und KI-Infrastrukturen sowie die stärkere Verankerung von Transfer und Talententwicklung.

Dazu werden die langfristige Sicherung strategischer Forschungsinfrastrukturen, die Stärkung von ErUM-Pro und ErUM-Data sowie die neuen Instrumente ErUM Deep-Tech Fellows und ErUM Deep-Tech Innovation Hub vorgeschlagen.

1 Zentrale Empfehlungen der ErUM-Community

Die Forschungscommunity „Erforschung von Universum und Materie“ (ErUM) empfiehlt im Rahmen der Hightech Agenda Deutschland fünf prioritäre Maßnahmen entlang der drei zentralen Handlungsfelder – Forschungsinfrastrukturen (FIS), Daten- und KI-Infrastrukturen sowie Transfer und Talente:

1. Strategische Forschungsinfrastrukturen langfristig absichern

Die Entwicklung von Forschungsinfrastrukturen erfolgt über Jahrzehnte. Deutschland sollte daher für strategische Vorhaben wie PETRA IV, DALI, HBS-I, LEGEND-1000, IceCube-Gen2 und die ET-Vorphase langfristige Planungssicherheit schaffen und den FIS-Prozess für weitere technologiegetriebene Vorhaben fortführen.

2. Technologische Innovationsprogramme an Universitäten stärken

Programme wie ErUM-Pro ermöglichen die wissenschaftliche und technologische Weiterentwicklung von Forschungsinfrastrukturen durch Universitäten. Sie schaffen Freiräume für neue Instrumentierungen, wissenschaftliche Software sowie technologische Vorentwicklungen, die später in Forschungsinfrastrukturen und industrielle Anwendungen einfließen.

3. Daten- und KI-Infrastrukturen nachhaltig ausbauen

ErUM-Forschungsinfrastrukturen gehören zu den datenintensivsten wissenschaftlichen Umgebungen weltweit. Die Weiterentwicklung von ErUM-Data, Forschungsdateninfrastrukturen, wissenschaftlichen Datenräumen sowie der Zugang zu Hochleistungsrechnern und KI-Ressourcen sind zentrale Voraussetzungen für wissenschaftliche KI, autonome Experimente und AI-for-Science-Anwendungen.

4. ErUM Deep-Tech Fellows etablieren

100 zusätzliche Deep-Tech Fellows sollen als gemeinsame Promotionsprojekte von Universitäten, Forschungsinfrastrukturen und Industriepartnern ausgebildet werden. Ziel ist der Aufbau einer strukturierten Transfer- und Talentpipeline für strategische Zukunftstechnologien.

5. Einen ErUM Deep-Tech Innovation Hub aufbauen

Ein nationaler Innovation Hub soll Unternehmen mit den technologischen Kompetenzen der ErUM-Community vernetzen, neue Kooperationen anbahnen und den Transfer von wissenschaftlichen Fähigkeiten in industrielle Anwendungen beschleunigen.

2 ErUM als wissenschaftliches Deep-Tech-Ökosystem

Deep-Tech-Ökosysteme entstehen aus dem langfristigen Zusammenwirken von Grundlagenforschung, technologischer Infrastruktur, industrieller Anwendungserfahrung und hochqualifizierten Fachkräften. Die dafür erforderlichen Fähigkeiten, Netzwerke und Forschungsinfrastrukturen entstehen über Jahrzehnte und lassen sich nicht kurzfristig aufbauen oder ersetzen.

Diese gewachsenen Strukturen prägen die ErUM-Community. Die besonderen Anforderungen moderner Forschungsanlagen, insbesondere hohe Datenraten, Echtzeitdatenverarbeitung, physikalische Interpretierbarkeit und höchste Präzision, eröffnen ein einzigartiges Entwicklungsumfeld für wissenschaftlich validierbare KI-Systeme und AI-for-Science-Anwendungen, Hochleistungsrechnen, Mikroelektronik, Quantentechnologien und Echtzeitsysteme.

Was ErUM von anderen Forschungsverbünden unterscheidet, ist die systemische Tiefe dieser Strukturen: Technologische Fähigkeiten entstehen durch die Beherrschung hochkomplexer Gesamtsysteme unter realen Betriebsbedingungen und mit höchsten Anforderungen an Präzision, Zuverlässigkeit und Skalierbarkeit. Diese Integrationsfähigkeit lässt sich außerhalb großer Forschungsinfrastrukturen nur schwer aufbauen und bildet die Grundlage für Innovation und Transferpotenziale in Halbleitertechnologien, Medizin, Energieforschung und datengetriebenen Industrieanwendungen.

3 Strategische Technologiefelder und Fähigkeiten von ErUM

Die außergewöhnlichen Anforderungen moderner Forschungsinfrastrukturen an Präzision, Datenrate und physikalische Kontrolle treiben Innovationen voran, die mit industriellen Standardtechnologien nicht erreichbar sind. Drei Felder sind dabei von besonderer strategischer Relevanz:

3.1 Wissenschaftliche KI und datenintensive Forschung

ErUM-Infrastrukturen erzeugen Datenströme im Petabyte- bis perspektivisch Exabyte-Maßstab. Deren wissenschaftliche Nutzung erfordert neue Methoden der Datenverarbeitung, Modellierung und Künstlichen Intelligenz. Im Unterschied zu vielen kommerziellen Anwendungen müssen die Ergebnisse wissenschaftlicher KI-Modelle nachvollziehbar, physikalisch konsistent und reproduzierbar sein.

Die hier entstehenden Methoden, von autonomer Experimentsteuerung über datengetriebene Simulation bis zu wissenschaftlichen Foundation Models und digitalen Zwillingen, sind direkt relevant für industrielle Qualitätskontrolle, Cybersicherheit, medizinische Bildgebung und intelligente Sensorsysteme.

Wichtige Entwicklungsfelder sind:

- Echtzeitsteuerung komplexer Anlagen und autonome Experimentführung,
- datengetriebene Simulation und KI-gestützte Rekonstruktion,
- wissenschaftliche Foundation Models und digitale Zwillinge,
- Anomalieerkennung und Unsicherheitsquantifizierung,
- verteilte Forschungs- und Analyseumgebungen für großskalige wissenschaftliche Datenanalysen.

Mit ErUM-Data, dem ErUM-Data-Hub sowie den Beteiligungen an NFDI und EOSC verfügt die ErUM-Community bereits über leistungsfähige Dateninfrastrukturen, Softwareplattformen und KI-Werkzeuge für datenintensive Forschung.

Beispiel: KI für die Entdeckung unbekannter Phänomene

Am Large Hadron Collider werden pro Sekunde bis zu 40 Millionen Kollisionsergebnisse erzeugt. Davon können nur wenige hundert dauerhaft gespeichert werden. KI-basierte Trigger- und Selektionssysteme entscheiden in Echtzeit, welche Ereignisse physikalisch relevant sind, und müssen dabei auch Signaturen erkennen, für die keine Trainingsdaten existieren. Die hierfür entwickelten Verfahren für Echtzeit-KI, Anomalieerkennung und physikalisch interpretierbare KI-Systeme finden Anwendung in der industriellen Qualitätskontrolle, Cybersicherheit und autonomen technischen Systemen.

3.2 Präzisionsinstrumentierung, Mikroelektronik und Quantentechnologien

Die Entwicklung strahlungsharter ASICs, hochauflösender Detektorsysteme, supraleitender Komponenten und kryogener Technologien erfolgt in ErUM unter Bedingungen, die weit über Standardanforderungen hinausgehen. Synchrotron- und Neutronenquellen ermöglichen darüber hinaus die hochpräzise Charakterisierung von Materialien für Quantensysteme mit direkter Relevanz für Quantensensorik und zukünftige informationstechnologische Systeme.

Beispiel: Strahlungsharte Mikroelektronik und Pixeldetektoren

Deutsche ErUM-Gruppen entwickeln in Kooperation mit CERN und internationalen Partnern Pixelchips wie Medipix und Timepix für die präzise Detektion ionisierender Strahlung. Die Systeme verbinden strahlungsharte Mikroelektronik, schnelle Signalverarbeitung und hochauflösende Detektortechnologien unter Anforderungen, die industrielle Entwicklungsumgebungen deutlich übertreffen. Die daraus hervorgegangenen ASIC- und Detektorkonzepte finden heute Einsatz in der medizinischen Bildgebung, Materialanalyse, Raumfahrt sowie in industriellen Sensor- und Inspektionssystemen.

Beispiel: Kryotechnologien für Quantensensorik und Quantencomputing

Im Umfeld astroteilchenphysikalischer Experimente wurden neuartige Kryotechnologien für Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt entwickelt. Die daraus entstandenen Technologien für Verdünnungskryostate, Präzisionskühlung und den Betrieb hochempfindlicher Quantensensoren sind heute auch für Quantensensorik und zukünftige Quantencomputer von hoher Relevanz. Die patentgeschützte Entwicklung führte zur Gründung eines Spin-off-Unternehmens und zeigt exemplarisch, wie aus wissenschaftlichen Extremforderungen industrielle Quantentechnologien entstehen können.

3.3 Forschungsinfrastrukturen als Integrationsplattformen

Moderne Forschungsinfrastrukturen gehören zu den komplexesten technologischen Systemen weltweit. Ihr Aufbau und Betrieb verbinden Sensorik, Mikroelektronik, Präzisionsmechanik, Kryotechnologien, Dateninfrastrukturen, Hochleistungsrechnen und Künstliche Intelligenz zu hochintegrierten Gesamtsystemen. Die dabei entstehenden Anforderungen an Stabilität, Skalierbarkeit und Echtzeitfähigkeit schaffen leistungsfähige Entwicklungs- und Erprobungsumgebungen für Schlüsseltechnologien.

Universitäten, Forschungszentren und Forschungsinfrastrukturen bündeln dabei technologische Expertise aus unterschiedlichen Disziplinen und schaffen technologieübergreifende Innovations- und Kooperationsnetzwerke. Forschungsinfrastrukturen wie CERN, FAIR, European XFEL, BESSY II, PETRA III, ESRF, ESS, ILL, MLZ, CTAO, SKAO, die Teleskope der ESO sowie Missionen der ESA ermöglichen die Erprobung neuer Technologien unter Rahmenbedingungen, die außerhalb großer Forschungsinfrastrukturen nicht verfügbar sind. Dadurch entstehen einzigartige Möglichkeiten zur Systemintegration, Technologievalidierung und Ausbildung hochqualifizierter Fachkräfte. Die Transferwirkung dieser Plattformen zeigt sich bereits heute in zentralen Innovationsfeldern von Mikroelektronik und Quantentechnologien bis hin zu Medizin und Energietechnologien.

Beispiel: Supraleitende Magnetsysteme

In den letzten 15 Jahren hat sich die Entwicklung supraleitender Magnetsysteme (Wiggler und Undulatoren) von der Grundlagenforschung zu einer weltmarktführenden Technologie deutscher Unternehmen entwickelt. Gefördert durch ErUM-Projekte wurden Prototypen an deutschen Beschleunigeranlagen zur Reife gebracht und gemeinsam mit der Industrie zur Marktreife geführt. Seit 2022 werden diese Hightech-Produkte an Synchrotronanlagen in den USA, Australien und Großbritannien exportiert und stärken Deutschlands technologische Souveränität.

Beispiel: Vom European XFEL zum internationalen Industriestandard

Der im Rahmen des Baus des European XFEL gemeinsam mit der Industrie entwickelte MicroTCA.4 Standard (Micro Telecommunications Computing Architecture) ist heute eine Schlüsseltechnologie für Hochleistungssignalverarbeitung und Kontrollsysteme in Forschungsinfrastrukturen. Er kommt weltweit u. a. in Lichtquellen, der Hochenergiephysik und bei Plasmafusionsquellen zum Einsatz. Industrielle Partner sichern die Verfügbarkeit von Standardkomponenten und entwickeln diese gemeinsam mit den Forschungsinfrastrukturen und Universitäten kontinuierlich weiter. Der gezielte Einsatz in zukünftigen, durch das BMFT priorisierten Großforschungsanlagen stärkt nachhaltig die Innovationsführerschaft Deutschlands.

3.4 Beiträge von ErUM zu strategischen Innovationsfeldern der HTAD

An ErUM-Forschungsinfrastrukturen entwickeln Universitäten und Forschungszentren Technologien und Methoden, die weit über die jeweilige wissenschaftliche Anwendung hinaus wirken. Davon profitieren auch mehrere hundert Unternehmen aus Pharma-, Chemie-, Material- und Hochtechnologiebranchen, die jährlich Synchrotronstrahlungsquellen, Neutronenquellen und Freie-Elektronen-Laser für industrielle Innovationsprozesse nutzen — von der Wirkstoffentwicklung über die Katalyseforschung bis zur Materialcharakterisierung für Energietechnologien. Die folgenden Beispiele illustrieren, wie Technologien und Fähigkeiten aus ErUM in strategische Innovationsfelder einfließen.

Biotechnologie und Gesundheitsforschung

Synchrotron- und Neutronenquellen sowie Freie-Elektronen-Laser bilden eine zentrale Forschungsinfrastruktur für die moderne Biotechnologie und Gesundheitsforschung. Sie ermöglichen die hochauflösende Untersuchung biologischer Strukturen, molekularer Maschinen und dynamischer Prozesse.

Die dabei gewonnenen Daten bilden eine wesentliche Grundlage für datengetriebene Biotechnologie. In Verbindung mit Hochleistungsrechnen und wissenschaftlicher KI eröffnen sie neue Möglichkeiten für Wirkstoffentwicklung, Protein-Engineering, molekulares Design und personalisierte Medizin.

Beispiel: Strukturbiologie und Wirkstoffentwicklung während der COVID-19-Pandemie

Während der COVID-19-Pandemie wurden Synchrotron- und Neutronenquellen weltweit genutzt, um die Struktur viraler Proteine aufzuklären, Wechselwirkungen mit Antikörpern zu analysieren und Wirkstoffkandidaten zu charakterisieren. Die schnelle Bereitstellung experimenteller Kapazitäten an den Forschungsinfrastrukturen der ErUM-Community sowie die zeitnahe Erzeugung hochqualitativer Daten unterstützten internationale Forschungsprogramme zur Entwicklung neuer therapeutischer Ansätze und Impfstoffe.

Energie und Nachhaltigkeit

Hochpräzise Materialcharakterisierung, Operando-Analytik und KI-gestützte Materialentwicklung eröffnen neue Möglichkeiten für Wasserstofftechnologien, elektrochemische Energiespeicher und die Fusionsforschung. ErUM-Infrastrukturen sind dabei zentrale Entwicklungs- und Analyseplattformen – von der Batterieforschung über die Katalyse bis hin zu Materialien und Brennstoffkreisläufen zukünftiger Fusionskraftwerke.

Beispiel: Operando-Analytik für Batterien und Wasserstofftechnologien

Synchrotronstrahlungsquellen und Neutronenquellen ermöglichen die Untersuchung von Batterien, Elektrolyseuren und Energiematerialien unter realen Betriebsbedingungen. Dadurch werden Prozesse sichtbar, die mit konventionellen Labormethoden nicht zugänglich sind, etwa Materialveränderungen beim Laden von Batterien oder Reaktionen in der Wasserelektrolyse in Echtzeit. Die Verbindung von Präzisionsanalytik, datenintensiver Auswertung und KI-gestützter Materialforschung beschleunigt die Entwicklung effizienterer Batterien und Wasserstofftechnologien.

Beispiel: Tritiumtechnologien für die Fusionsenergie

Tritium zählt zu den Schlüsseltechnologien zukünftiger Fusionskraftwerke. Aufbau und Betrieb spezialisierter Forschungsinfrastrukturen ermöglichen die Entwicklung von Verfahren für Tritiumtechnologie, Brennstoffkreisläufen sowie deren sicheren Betrieb unter realitätsnahen Bedingungen. Gemeinsam mit der Materialforschung und Präzisionsanalytik an FEL-, Synchrotron- und Neutronenquellen entsteht damit die technologische Grundlage für die zukünftige Nutzung der Fusionsenergie.

Weltraum und Astronomie

Weltraummissionen zählen zu den technologisch anspruchsvollsten Entwicklungsumgebungen für Präzisionsinstrumentierung, strahlungsharte Elektronik und datenintensive Echtzeitanalyse. Die dabei entstehenden Lösungen für Sensorik, Detektortechnologien und Datenverarbeitung wirken weit über die Raumfahrt hinaus und finden heute Anwendung in der Erdbeobachtung, kommerziellen Satellitensystemen, der industriellen Messtechnik und der medizinischen

Bildgebung.

Beispiel: KI und Präzisionsdetektoren für Weltraummissionen

Deutsche Forschungsgruppen entwickelten für Missionen wie Euclid und PLATO hochempfindliche Detektorsysteme, Ausleseelektronik und Methoden der KI-gestützten Datenanalyse unter höchsten Anforderungen an Präzision und Langzeitstabilität. Die dabei entstandenen Lösungen für strahlungsharte Sensorik, Präzisionskalibration und Signalverarbeitung finden heute Anwendung in der Erdbeobachtung, medizinischen Bildgebung und industriellen Messtechnik.

3.5 Deep-Tech-Talententwicklung

ErUM bildet hochqualifizierte Fachkräfte in wissenschaftlicher KI, Datenwissenschaft, Hochleistungsrechnen, Mikroelektronik und komplexer Systemintegration aus. Die Arbeit an internationalen Großanlagen vermittelt nicht nur fachliche Expertise, sondern auch Erfahrung in internationaler Kooperation, Projektkoordination und der Integration komplexer Systeme unter realen Bedingungen. Absolventinnen und Absolventen übernehmen Schlüsselrollen in Wissenschaft, Industrie und öffentlichen Forschungseinrichtungen. Aus diesem Umfeld entstehen technologieorientierte Ausgründungen und neue Innovationspartnerschaften.

Diese Kompetenzen entstehen dort, wo Wissenschaft, Forschungsinfrastrukturen und industrielle Anwendungen dauerhaft zusammenwirken. Internationale Wettbewerber investieren gezielt in attraktive Karrierewege und Transferstrukturen, um diese Talente zu gewinnen. Deutschland muss seine Stärken in diesem Bereich gezielt weiterentwickeln. Die in Abschnitt 4.3 vorgeschlagenen Instrumente setzen hier an.

4 Strategische Handlungsfelder Hightech Agenda Deutschland

Die strategischen Stärken von ErUM sind nicht selbsterhaltend. Sie beruhen auf Investitionen in Forschungsinfrastrukturen, Daten- und KI-Infrastrukturen sowie in die Ausbildung hochqualifizierter Fachkräfte. Diese Investitionen müssen heute getroffen werden, um Deutschlands wissenschaftliche Leistungsfähigkeit und technologische Wettbewerbsfähigkeit dauerhaft zu sichern.

Internationale Wettbewerber handeln hier bereits mit strategischer Konsequenz. Deutschland muss mit einer vergleichbar kohärenten Investitionsstrategie antworten — nicht mit Einzelmaßnahmen, sondern entlang drei prioritärer Handlungsfelder.

4.1 Langfristige Sicherung und Weiterentwicklung strategischer Forschungsinfrastrukturen

Forschungsinfrastrukturen gehören zu den langfristigen technologischen Investitionen moderner Wissensgesellschaften. Entwicklung, Aufbau und Betrieb erfolgen über lange Zeiträume und schaffen wissenschaftliche, technologische und industrielle Fähigkeiten, die kurzfristig weder aufgebaut noch ersetzt werden können. Sie bilden die Grundlage für internationale Sichtbarkeit, technologische Souveränität und die Ausbildung hochqualifizierter Fachkräfte.

Die Initiative des BMFTR zur Entwicklung einer strategischen Shortlist neuer Forschungsinfrastrukturen (FIS) setzt hierfür einen wichtigen Rahmen. Ein verlässlicher Planungshorizont stärkt die wissenschaftliche Leistungsfähigkeit, die technologische Wettbewerbsfähigkeit und die Fähigkeit Deutschlands, in zentralen Schlüsseltechnologien international anschlussfähig zu

bleiben. Die Berücksichtigung von PETRA IV, DALI, HBS-I, LEGEND-1000, IceCube-Gen2 und der ET-Vorphase ist hierfür ein wichtiger Schritt. Der FIS-Prozess sollte fortgeführt werden für weitere Vorhaben, die Schlüsseltechnologien der Hightech Agenda direkt stärken.

Ergänzend bleibt die Förderung technologie- und instrumentierungsorientierter Entwicklungsprogramme innerhalb der ErUM-Community entscheidend. Das Programm ErUM-Pro ist ein zentrales Instrument für die wissenschaftliche und technologische Weiterentwicklung von Forschungsinfrastrukturen durch die Universitäten. Es eröffnet Freiräume für neuartige experimentelle Methoden, Präzisionsinstrumentierung, wissenschaftliche Software und technologische Vorentwicklungen, aus denen zukünftige Forschungsinfrastrukturen, neue Technologien und industrielle Transferpotenziale hervorgehen. Technologietransfer setzt eine starke technologische Basis voraus; ErUM-Pro schafft hierfür die notwendigen Innovationsräume innerhalb der Wissenschaft.

4.2 Auf- und Ausbau nachhaltiger Daten- und KI-Infrastrukturen

Mit ErUM-Data und der NFDI wurden wichtige Grundlagen für wissenschaftliche Dateninfrastrukturen und KI-Anwendungen geschaffen. Ihre strategische Wirkung hängt nun davon ab, bestehende Infrastrukturen dauerhaft verfügbar zu halten, kontinuierlich weiterzuentwickeln und den Zugang zu wissenschaftlichen Hochleistungsrechen- und KI-Ressourcen nachhaltig zu sichern.

Dazu gehören die Fortführung der erfolgreichen ErUM-Data-Förderlinie, leistungsfähige Forschungsdateninfrastrukturen sowie international anschlussfähige Datenräume nach FAIR-Prinzipien. Nur so können wissenschaftliche KI-Systeme, autonome Forschungsinfrastrukturen, datenintensive Forschung und AI-for-Science-Anwendungen international wettbewerbsfähig entwickelt und betrieben werden. Gleichzeitig entstehen Methoden und Technologien für wissenschaftliche KI, Echtzeitdatenanalyse und autonome Experimente, die Deutschlands Fähigkeiten im Bereich wissenschaftlicher KI und datenintensiver Forschung nachhaltig stärken.

4.3 Transfer-, Innovations- und Talentstrukturen stärken

Technologische Fähigkeiten aus Universitäten und Forschungsinfrastrukturen entfalten ihre wirtschaftliche und gesellschaftliche Wirkung nur, wenn Transfer strukturell verankert ist, nicht als nachgelagerter Schritt, sondern als dauerhafte Verbindung zwischen wissenschaftlicher Exzellenz, technologischer Entwicklung und industrieller Anwendung.

Mit rund 1.000 Promotionen pro Jahr verfügt die ErUM-Community über eine außergewöhnlich leistungsfähige wissenschaftliche Talentpipeline. In diesen Promotionsprojekten zur Erforschung von Universum und Materie spielen wissenschaftliche KI, Datenwissenschaft, Mikroelektronik, Präzisionsinstrumentierung und komplexe Systemintegration bereits heute eine zentrale Rolle, wobei eine aus der Grundlagenforschung motivierte Zielsetzung im Vordergrund steht.

Die Ausbildung hochqualifizierter Fachkräfte ist damit nicht die zentrale Herausforderung. Die eigentliche Transferlücke liegt darin, dass das dabei entstehende Wissen Erfahrungswissen ist: Wie man ein Echtzeit-Triggersystem oder einen strahlungsharten ASIC baut, lässt sich nicht lizenzieren oder in Datenbanken ablegen — es lässt sich nur über einen Menschen übertragen, der es selbst kann. Technologischer Transfer in Deep-Tech-Feldern erfolgt daher nicht primär über Patente oder Dokumentation, sondern über Menschen, die dieses Wissen erworben und angewendet haben. Promovierende sind genau dieser Übertragungsvektor.

Zur Stärkung dieser Verbindung werden zwei komplementäre Instrumente vorgeschlagen.

ErUM Deep-Tech Fellows schaffen eine zusätzliche Pipeline von rund 100 Deep-Tech-

Talenten, die im Rahmen gemeinsamer Promotionsprojekte von Universitäten, Forschungsinfrastrukturen und Industriepartnern ausgebildet werden. Die Fellowships ergänzen die bestehenden wissenschaftlich motivierten Promotionsvorhaben der ErUM-Community um einen strukturierten Transferpfad an der Schnittstelle von Forschung und industrieller Anwendung. Substanzielle Industriebeiträge und ein klarer Transferauftrag verankern Innovation bereits in der Qualifizierungsphase und schaffen dauerhafte Verbindungen zwischen wissenschaftlicher Spitzenforschung, Forschungsinfrastrukturen und industrieller Wertschöpfung.

ErUM Deep-Tech Innovation Hub identifiziert gemeinsame Innovations- und Anwendungspotenziale, unterstützt die Vernetzung von Unternehmen mit den technologischen Kompetenzen der ErUM-Community, erleichtert die Anbahnung neuer Kooperationen und stärkt die Sichtbarkeit technologischer Expertise gegenüber Industrie, Politik und internationalen Partnern. Lokale Ansprechpartner an den beteiligten Standorten sowie eine zentrale Koordinierungsstelle bilden die Grundlage für ein nachhaltiges Deep-Tech-Netzwerk.

Daraus folgen mehrere konkrete Wirkungen. Die Promotionsdauer von drei bis vier Jahren passt zum Reifungshorizont, in dem eine Frontier-Fähigkeit – also eine neu entstehende wissenschaftliche oder technologische Kompetenz an der Grenze des Machbaren – Richtung Anwendung wandert. Die gemeinsame Betreuung erzeugt eine dauerhafte persönliche Brücke zwischen Wissenschaft und Industrie: Die Fellows werden zu Mittlerfiguren, die später als Gründerinnen, Technologievorstände oder Industrieforscher den Kanal über Jahrzehnte offenhalten. Für die Industrie ist ein kofinanzierter Fellow eine mehrjährige Option auf eine Frontier-Fähigkeit, zu einem Bruchteil interner Forschungs- und Entwicklungskosten und am Ende mit einer ausgebildeten Fachkraft. Und das Instrument adressiert unmittelbar das Talentbindungsziel der Hightech Agenda: strukturierte Karrierepfade an der Schnittstelle von Wissenschaft und Industrie bremsen Abwanderung und machen Deutschland als Forschungsstandort attraktiver.

Ohne die gemeinsame Struktur entstehen diese Promotionen entweder gar nicht, weil das industrielle Problem als Rahmen fehlt, oder rein akademisch ohne Transfer, oder die Köpfe gehen ins Ausland. Hier setzt der ErUM Deep-Tech Innovation Hub an: Er schafft die strukturellen Voraussetzungen, damit aus einzelnen Fellows und Projekten ein skalierendes Netzwerk wird und wissenschaftliche Spitzenkompetenz dauerhaft in wirtschaftliche Wertschöpfung überführt werden kann.

Gemeinsam schaffen ErUM Deep-Tech Fellows und der ErUM Deep-Tech Innovation Hub dauerhafte Verbindungen zwischen Universitäten, Forschungsinfrastrukturen und Industrie und stärken damit den Transfer technologischer Fähigkeiten in wirtschaftliche Anwendung.