



Pakt für Forschung und Innovation Monitoring-Bericht 2026

Band I



Gemeinsame Wissenschaftskonferenz (GWK)

Büro
Godesberger Allee 20
53175 Bonn
Telefon: (0228) 99 5402-0
Telefax: (0228) 99 5402-150
E-Mail: gwk@gwk-bonn.de
Internet: www.gwk-bonn.de

ISBN 978-3-947282-35-7



Pakt für Forschung und Innovation Monitoring-Bericht 2026

Band I

Band I:	Inhalt
	1 Vorbemerkung
	2 Bewertung
	3 Rahmenbedingungen und Wissenschaftsfreiheitsgesetz
	4 Impact-Beispiele
Band II:	5 Sachstand (online-Publikation)
	6 Anhang: Tabellen
	7 Anhang: Indikatoren für den Monitoring-Bericht 2026
	8 Anhang: Umsetzungsstand der Zielvereinbarungen

INHALT

1 Vorbemerkung	2
2 Bewertung.....	4
Dynamische Entwicklung fördern	4
Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft stärken	4
Vernetzung vertiefen.....	5
Die besten Köpfe gewinnen und halten.....	5
Infrastrukturen für die Forschung stärken.....	6
3 Rahmenbedingungen und Wissenschaftsfreiheitsgesetz	7
4 Impact-Beispiele	9
4.1 Dynamische Entwicklung fördern	9
Biodiversitätswandel sichtbar machen (Deutsche Forschungsgemeinschaft)	9
Sicherheit und Privatsphäre im digitalen Raum schützen (Max-Planck-Gesellschaft)	12
4.2 Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft stärken	15
Aussicht auf Durchbrüche in der Tuberkulosetherapie (Leibniz-Gemeinschaft)	15
Wundversorgung für den Weltraum (Fraunhofer-Gesellschaft)	19
4.3 Vernetzung vertiefen	21
Resiliente Vernetzung in geopolitisch unsicheren Zeiten (Max-Planck-Gesellschaft)	21
KI-gestützte Kristallzüchtung für Zukunftstechnologien in Elektronik und Photonik (Leibniz-Gemeinschaft)	24
4.4 Die besten Köpfe gewinnen und halten	27
Interdisziplinäre Promotionsprogramme für Data Science und Domänenforschung (Helmholtz-Gemeinschaft)	27
Patientenversorgung und medizinische Forschung vereinen (Deutsche Forschungsgemeinschaft)	29
4.5 Infrastrukturen für die Forschung stärken	31
Industrielle Revolution für die Krebstherapie (Fraunhofer-Gesellschaft)	31
DESY – von der Grundlagenforschung zur Gestaltung eines lebendigen Innovations- ökosystems (Helmholtz-Gemeinschaft)	34
Impressum	38

1 VORBEMERKUNG



Der Pakt für Forschung und Innovation (PFI) ist ein Grundpfeiler der Wissenschaftslandschaft in Deutschland. Gemeinsam investieren Bund und Länder mit dem PFI in die Wettbewerbsfähigkeit unserer Volkswirtschaft: Durch exzellente Forschung, die Grundlagen für Innovationen schafft, die klügsten Köpfe aus aller Welt nach Deutschland holt und an Lösungen arbeitet für die Herausforderungen unserer Zeit. Der PFI kombiniert auf international einzigartige Weise finanzielle Planungssicherheit mit gemeinsamen forschungspolitischen Zielen. So können die Forschungsorganisationen *Fraunhofer-Gesellschaft, Helmholtz-Gemeinschaft, Leibniz-Gemeinschaft* und *Max-Planck-Gesellschaft* sowie die Forschungsförderorganisation *Deutsche Forschungsgemeinschaft* nicht nur langfristig strategisch planen, hochinnovative Forschungsfragen verfolgen und die Anwendung von Erkenntnissen vorantreiben. Sie können zeitgleich auch stetig die Rahmenbedingungen weiterentwickeln, in denen sie arbeiten – von fortschrittlicher Personalentwicklung über modernste Infrastrukturen bis hin zu weit verzweigten (inter-)nationalen Kooperationen.

Der PFI bildet dafür seit mehr als 20 Jahren einen verlässlichen Rahmen. Die aktuell vierte Laufzeit hat im Jahr 2021 begonnen und umfasst erstmals zehn Jahre bis 2030. Für diesen Zeitraum haben sich Bund und Länder auf fünf übergeordnete forschungspolitische Ziele für die Paktorganisationen verständigt:

1. Dynamische Entwicklung fördern
2. Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft stärken
3. Vernetzung vertiefen
4. Die besten Köpfe gewinnen und halten
5. Infrastrukturen für die Forschung stärken

Zu jedem der Ziele haben die PFI-Organisationen jeweils individuelle Zielvereinbarungen mit Bund und Ländern geschlossen, in denen sie sich zur Umsetzung vielfältiger Maßnahmen verpflichten. Die Organisationen berichten Bund und Ländern jährlich über die Fortschritte beim Erreichen ihrer Ziele. Anhand umfangreicher qualitativer wie quantitativer Indikatoren werden im jährlichen Monitoring zudem langfristige Entwicklungen der PFI-Organisationen sichtbar. Eine wissenschaftliche Analyse bibliometrischer Indikatoren der Forschungsorganisationen setzt die wissenschaftliche Leistungsmessung u.a. auch in einen internationalen Kontext und fließt ebenso in das jährliche Monitoring ein.

Das diesjährige PFI-Monitoring ist in mehrfacher Hinsicht außergewöhnlich. **Erstens** betrachtet es mit dem Berichtsjahr 2025 das letzte Jahr, in dem die „alten“ Zielvereinbarungen der Paktorganisationen galten. Für die zweite Hälfte der Paktlaufzeit (2026 bis 2030) gelten weiterentwickelte Zielvereinbarungen

der Organisationen¹, die vergangenes Jahr von der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz von Bund und Ländern (GWK) beschlossen wurden. **Zweitens** wird der vorliegende Band I des PFI-Monitorings in diesem Jahr erstmals nur eine stark verkürzte forschungspolitische Bewertung enthalten, die die wichtigsten Entwicklungen des Berichtsjahres zusammenfasst und einen Blick auf die Umsetzung des Wissenschaftsfreiheitsgesetzes wirft. **Drittens** enthält Band I dafür erstmals ausgewählte Impact-Beispiele der Organisationen, die einen Eindruck von der langfristigen Wirkung des PFI vermitteln sollen (ab Seite 9).

2025 startete darüber hinaus das erste Paktforum zum Thema „Künstliche Intelligenz“. Der Bericht der PFI-Organisationen zum Paktforum, in dem die Organisationen von ihren gemeinsamen Aktivitäten berichten und einen Ausblick auf künftige Maßnahmen geben, wird parallel zum PFI-Monitoring-Bericht veröffentlicht.

Diese Änderungen im PFI-Monitoring hat die GWK vergangenes Jahr beschlossen. Die verkürzte forschungspolitische Bewertung und die Impact-Beispiele der Organisationen sind ebenso für die Jahre 2028 und 2029 vorgesehen. In den Jahren 2027 und 2030 wird es dagegen wieder eine ausführlichere forschungspolitische Bewertung und Organisationsberichte geben. Band II des Monitorings mit allen Kennzahlen und den Tabellen zur Nachverfolgung der Zielvereinbarungen wird dagegen kontinuierlich in allen Jahren fortgeschrieben.

¹ https://www.gwk-bonn.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/Papers/PFI-IV>Weiterentwickelte_Zielvereinbarungen_2026-2030.pdf

2 BEWERTUNG

Zusammengefasst halten Bund und Länder fest: Bund und Länder würdigen die vielfältigen strategischen Aktivitäten der PFI-Organisationen, die maßgeblich zur Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit beitragen. Ein Blick auf die stabile Rate hochzitiert Autorschaften der Forschungsorganisationen gibt einen Hinweis auf ihre wissenschaftliche Exzellenz. Bund und Länder würdigen außerdem die Erfolge in Form von einer insgesamt wachsenden Zahl von Ausgründungen, Erfindungsmeldungen und Patenten, die der seit Jahren forcierte strategische Ausbau der Transferstrukturen bei den Organisationen zeigt. Die PFI-Organisationen agieren kooperativ und haben in den letzten Jahren insbesondere ihre Zusammenarbeit mit der Wirtschaft weiter intensiviert. Die Organisationen sind zudem Treiber vielfältiger internationaler Netzwerke und verantworten damit auch in geopolitisch unsicheren Zeiten ein stabiles Gerüst internationaler Beziehungen. Bund und Länder mahnen wiederholt dazu, Fragen der Chancengerechtigkeit mit Priorität zu behandeln und chancengerechte Bedingungen im Wettbewerb um die besten Köpfe als Standortvorteil zu begreifen. Die unterschiedlich hohen Befristungsquoten von Männern und Frauen sind fachlich nicht zu rechtfertigen. Auch im internationalen Vergleich hinkt Deutschland – trotz positiver Entwicklungen der letzten Jahre – weiter in Gleichstellungsfragen hinterher, wie etwa die Anteile von Autorinnen an allen Autorschaften wissenschaftlicher Publikationen belegen.

Dynamische Entwicklung fördern

- Steigerung der Drittmiteinnahmen aus der Wirtschaft bei allen Forschungsorganisationen zusammen um 8 Prozent von 2024 auf 2025, insgesamt mehr als 1 Mrd. Euro – so viel wie nie zuvor. Der Löwenanteil davon liegt missionsbedingt bei der *Fraunhofer-Gesellschaft*.
- Rückgang bei EU-Drittmitteln aus Horizon bei allen Forschungsorganisationen innerhalb der üblichen Schwankungsbreite.
- Bibliometrie-Studie²: Die Forschungsorganisationen haben ihren Publikationsoutput zuletzt weiter gesteigert, dennoch ist der deutsche Anteil am weltweiten Publikationsaufkommen mit aktuell 5,1 Prozent rückläufig (analog zu anderen europ.

Staaten, Japan oder USA) wegen des wachsenden int. Wettbewerbs vor allem durch China. Auch die Exzellenzrate der am häufigsten zitierten Publikationen ist ähnlich wie die anderer OECD-Staaten rückläufig, bei den deutschen Forschungsorganisationen liegt sie aber weiterhin deutlich über dem int. Durchschnitt von zehn Prozent in einer Spannbreite von 14 Prozent bei der *Fraunhofer-Gesellschaft* bis 20 Prozent bei der *Max-Planck-Gesellschaft*.

- Die *Deutsche Forschungsgemeinschaft* hat sich als größte deutsche Forschungsförderorganisation im Berichtsjahr mit einem strategischen Fokus auf KI befasst und u.a. Leitlinien KI in der Begutachtung sowie eine strategische Förderinitiative KI aufgesetzt.

Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft stärken

- Deutliche Zuwächse bei Ausgründungen im Jahresvergleich (2024 insgesamt 60, 2025: 85), vor allem bei *Helmholtz-Gemeinschaft* (plus 12 auf 36), *Fraunhofer-Gesellschaft* (plus 8 auf 29) und *Max-Planck-Gesellschaft* (plus 6 auf 14). Sehr hohe Bestandsquoten (36 Monate nach Gründung waren alle Ausgründungen noch aktiv).
- *Fraunhofer-Gesellschaft* und *Helmholtz-Gemeinschaft* legen noch einmal zu bei Erfindungsmeldungen, ebenso bei Beteiligung an Verfahren zu Normung/Standardisierung. Bei der *Leibniz-Gemeinschaft* waren die Zahlen bei den Erfindungsmeldungen in den letzten Jahren rückläufig; bei der *Max-Planck-Gesellschaft* bewegt sich in den letzten Jahren die Zahl der Erfindungsmeldungen in einem Korridor.
- Die Zahl der angemeldeten Patente wurde noch einmal deutlich gesteigert von insgesamt 1095 im Jahr 2024 auf 1256 im Berichtsjahr, Treiber sind besonders *Fraunhofer-Gesellschaft* und *Helmholtz-Gemeinschaft*, aber auch *Max-Planck-Gesellschaft* und *Leibniz-Gemeinschaft* legen zu.
- Bibliometrie-Studie: Der Anteil der Open Access-Veröffentlichungen wächst weiter, Deutschland ist auf diesem Gebiet international herausragend, auch die Zahl gemeinsamer Publikationen mit Unternehmen wächst. Die *Deutsche Forschungs-*

² <https://www.bmftr.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/2026/bibliometriebericht2026.pdf>

gemeinschaft unterstützt die Etablierung einer nationalen Servicestelle für Diamond Open Access (keine Gebühren für Autorinnen und Autoren/Leserinnen und Leser).

- Die PFI-Organisationen sind in der Wissenschaftskommunikation und in der Politikberatung aktiv. Sie bieten immer mehr partizipative Forschungsformate an und binden Bürgerinnen und Bürger in zahlreiche Veranstaltungen ein. In diesem Bereich hat die *Leibniz-Gemeinschaft* im Berichtsjahr beispielsweise eine digitale Plattform für 7000 Museen und Science Center in Deutschland zur Publikums- und Wirksamkeitsforschung geschaffen.

Vernetzung vertiefen

- Der Grad der Vernetzung zeigt sich u.a. bei den wissenschaftlichen Publikationen. Mehr als 90 Prozent der Publikationen der Forschungsorganisationen erscheinen laut Bibliometrie-Studie als nationale oder internationale Ko-Publikation, bei den Universitäten sind es 80 Prozent. Die PFI-Organisationen sind also besonders stark vernetzt. Int. Ko-Publikationen gewinnen dabei weiter an Bedeutung, auch die Interdisziplinarität nimmt während der Laufzeit des PFI IV weiter zu.
- Die Vernetzung mit den Hochschulen zeigt sich u.a. im Instrument der Gemeinsamen Berufungen, von denen im Berichtsjahr insgesamt 1681 bestanden haben. Die Zahl entwickelt sich im PFI IV weiter positiv, vor allem *Helmholtz-Gemeinschaft*, *Fraunhofer-Gesellschaft* und *Leibniz-Gemeinschaft* nutzen dieses Instrument intensiv, die *Max-Planck-Gesellschaft* hingegen macht nur punktuell Gebrauch davon. Das wiss. Personal der Forschungsorganisationen trug 2025 mit mehr als 33.000 Semesterwochenstunden zur Lehre an Hochschulen bei. Die Vernetzung der Forschungsorganisationen mit den Hochschulen im Rahmen der Exzellenzstrategie wird in der ausführlicheren forschungspolitischen Bewertung 2027 aufgegriffen werden.
- Die *Deutsche Forschungsgemeinschaft* hat im Rahmen ihrer neuen Europastrategie den Ausbau europ. Kooperationen vorangetrieben und bringt sich in die Gestaltung europäischer Rahmenbedingungen wie dem Forschungsrahmenprogramm ein.
- Die *Max-Planck-Gesellschaft* hat im Berichtsjahr ihr Max-Planck-Center-Programm ausgeweitet und das Max-Planck-Center for Democracy, Se-

curity and Human Rights in Kooperation mit der Hebrew University of Jerusalem in Israel eröffnet.

Die besten Köpfe gewinnen und halten

- Im Berichtsjahr wurden von allen Forschungsorganisationen mehr als 21.000 Promovierende betreut, was den großen Beitrag der Organisationen zur Ausbildung hochqualifizierter Fachkräfte deutlich macht. Bei der *Leibniz-Gemeinschaft* ist die Zahl der Promovierenden in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen, bei den anderen Organisationen blieb sie zuletzt stabil bzw. unterlag Schwankungen. Der Grad der int. Vernetzung ist dabei hoch, mehr als 6000 der Promovierenden hatten eine ausländische Staatsangehörigkeit. Zudem wurden mehr als 2500 Auszubildende betreut.
- Partiiell gab es im Berichtsjahr leichte Rückgänge in den Befristungsquoten von Forschenden in frühen Karrierestufen. Nach wie vor bestehen zu große Unterschiede in den Befristungsquoten von Männern und Frauen bei den E14-/E15-Anstellungen, teilweise existiert ein Unterschied von zehn Prozentpunkten bei *Leibniz-Gemeinschaft*, *Helmholtz-Gemeinschaft* und *Max-Planck-Gesellschaft*. Diese strukturelle Ungleichheit hält sich in den vergangenen Jahren hartnäckig, nur bei der *Fraunhofer-Gesellschaft* ist das Verhältnis über die Vergütungsgruppen hinweg ziemlich ausgeglichen, sie ist die einzige Organisation mit einer Leitlinie zur Überwachung der Befristungspraxis.
- Die PFI-Organisationen haben sich für die erste Hälfte der aktuellen Paktlaufzeit (2021 bis 2025) unterschiedlich ambitionierte Zielquoten für die Anteile von Frauen in Führungspositionen auf verschiedenen Ebenen gesetzt. Für die beiden obersten Führungsebenen ergibt sich ein gemischtes Bild: Die *Max-Planck-Gesellschaft* hat die Quoten auf beiden Ebenen (1. Führungsebene: Soll 22,8 Prozent, Ist: 26,1 Prozent; 2. Führungsebene: Soll 41,3 Prozent, Ist: 43,7 Prozent) übertroffen, die *Leibniz-Gemeinschaft* auf der 1. Führungsebene deutlich übertroffen (Soll: 30, Ist: 35,3 Prozent), auf der 2. Ebene trotz deutlich erkennbarer Anstrengung nicht erreicht (Soll: 40 Prozent, Ist: 31,7 Prozent), die *Helmholtz-Gemeinschaft* hat ihre Quote auf der 1. Führungsebene übertroffen (Soll: 26,8 Prozent, Ist: 30,5 Prozent) auf der 2. Führungsebene knapp verfehlt (Soll: 27,2 Prozent, Ist: 27,0 Prozent), die *Fraunhofer-Gesellschaft* hat beide Zielquoten deut-

lich verfehlt (1. Führungsebene: Soll 20 Prozent, Ist: 16,8 Prozent; 2. Führungsebene: Soll 21 Prozent; Ist: 18,5 Prozent).³

- Alle Forschungsorganisationen erreichen hohe und stabile Positionen beim Anteil an hochzitierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern im int. Vergleich. Bei der *Max-Planck-Gesellschaft* gehört knapp ein Viertel der Autorschaften dieser herausragenden Spitzengruppe an, knapp dahinter die *Leibniz-Gemeinschaft* mit 21 Prozent (*Helmholtz-Gemeinschaft* 18 Prozent, *Fraunhofer-Gesellschaft* 12,5 Prozent). Der Anteil der hochzitierten Autorschaften ist damit bei einem Großteil der Organisationen weit höher als bei den Universitäten mit 15,9 Prozent.⁴
- Im Zeitverlauf sind die Anteile von Autorinnen an allen Autorschaften bei allen Organisationen gestiegen, aber im int. Vergleich bleibt Deutschland hier weiter zurück. Während Länder wie Australien, Kanada, Finnland oder Italien fast Parität erreicht haben, liegt der Wert für Deutschland bei 39 Prozent. Einzeln betrachtet schneidet hier die *Leibniz-Gemeinschaft* mit 41 Prozent Anteil von Autorinnen an allen Autorinnen und Autoren am besten ab.

Infrastrukturen für die Forschung stärken

- Die Forschungsorganisationen waren im Berichtsjahr an 113 der nationalen wie internationalen großen Forschungsinfrastrukturen beteiligt (Vorjahr: 107).
- Die *Helmholtz-Gemeinschaft*, die missionsbedingt besonders stark an nationalen wie internationalen großen Forschungsinfrastrukturen beteiligt ist, hat u.a. an allen Zentren zentrale Ansprechpartner für Anfragen aus der Wirtschaft zur Nutzung von Infrastrukturen verankert.
- Die *Deutsche Forschungsgemeinschaft* startete im Berichtsjahr u.a. eine Förderinitiative zur Sicherung gefährdeter Datenbestände und Stärkung der Resilienz von Dateninfrastrukturen.

³ Vgl. Sachstand, Band II, Tabelle 46

⁴ Als hochzitiert gelten Autorinnen und Autoren hier, wenn sie zu den Top 10 Prozent eines Jahres in der Summe aller erhaltenen Zitierungen in einem Wissenschaftsfeld zählen.

3 RAHMENBEDINGUNGEN UND WISSENSCHAFTSFREIHEITSGESETZ

- Die Wissenschaftseinrichtungen stehen im internationalen Wettbewerb um Spitzenkräfte und Forschungsprojekte. Attraktive Rahmenbedingungen für die Wissenschaft in Deutschland sind Voraussetzung dafür, sich im Wettbewerb um Fachkräfte, Forschungsprojekte und innovative Infrastrukturen behaupten zu können.
- Das Wissenschaftsfreiheitsgesetz (WissFG) erlaubt es Wissenschaftseinrichtungen mit Bezug auf Regelungen der Bundeshaushaltsordnung flexibel mit den Mitteln, die ihnen im Rahmen der institutionellen Förderung gewährt werden, umzugehen.
- Nicht verausgabte Mittel können nach § 3 WissFG durch Ausweisung zur Selbstbewirtschaftung überjährig genutzt werden. Ziel ist ein effizienter und wissenschaftsadäquater Einsatz. Des Weiteren lässt § 4 WissFG Ausnahmen vom Besserstellungsverbot für die Zahlung von Gehältern und Gehaltsbestandteilen an Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen zu. § 5 WissFG regelt eine Verfahrensvereinfachung für die Beteiligung an Unternehmen und § 6 WissFG Verfahrensvereinfachungen für die Durchführung von Bauverfahren.
- Insbesondere von der Möglichkeit nach § 3 WissFG, Selbstbewirtschaftungsmittel (SBM) zu bilden, haben alle Paktorganisationen im Berichtsjahr Gebrauch gemacht. Zudem haben die Paktorganisationen mit Ausnahme der *Fraunhofer-Gesellschaft* auch aus Landeszuwendungen auf Grundlage der jeweiligen Landesregelungen Selbstbewirtschaftungsmittel gebildet bzw. die Möglichkeit der überjährigen Mittelverwendung durch ein sonstiges haushaltsrechtliches Instrument genutzt.
- Als Gründe für die Verzögerungen bei der Mittelverausgabung geben bis auf die DFG alle Paktorganisationen Verzögerungen bei der Umsetzung von Baumaßnahmen als Hauptgrund an. Folgende Faktoren werden als ursächlich genannt:
 - Erforderliche Umplanungen durch u.a. gestiegene Baukosten (FhG, HGF)
 - Änderungen technischer Anforderungen (MPG, HGF, FhG)
 - Verzögerungen in Genehmigungs- und Vergabeprozessen (FhG, MPG) sowie bei der Umsetzung von IT- und Digitalisierungsprojekten (WGL)
 - Lieferschwierigkeiten/Lieferengpässe (WGL, HGF, FhG), u.a. aufgrund speziellen Materials bzw. Schwierigkeiten in der Beschaffung von Spezialgeräten (MPG)
 - Schwierigkeiten bei der planmäßigen Besetzung von Stellen (FhG, MPG)
 - DFG: nutzt die überjährige Verfügbarkeit von Mitteln, um Liquiditätsschwankungen aufgrund von Anpassungen der Volumina bei Neubewilligungen sowie Schwankungen im Abrufverhalten der geförderten Einrichtungen auszugleichen
- Die Höhe der im Berichtsjahr 2025 von den Paktorganisationen gebildeten Selbstbewirtschaftungsmittel aus Bundesmitteln beläuft sich auf 1.919 Mio. Euro (Vorjahr: 1.963 Mio. Euro). Das entspricht einem Rückgang um 2,24 Prozent. Damit konnten das zweite Jahr in Folge die Selbstbewirtschaftungsmittel gesenkt werden. Aus Landesmitteln standen den Paktorganisationen 439 Mio. Euro überjährige Mittel zur Verfügung. Das entspricht einem Rückgang um 6,99 Prozent (Vorjahr: 472 Mio. Euro).
- Entwicklung überjährig verfügbarer Mittel aus Grund- und Sonderfinanzierungen⁵ nach Paktorganisationen:
 - *Deutsche Forschungsgemeinschaft*: Rückgang aus Bundeszuwendungen auf 11 Mio. Euro (Vorjahr: 20 Mio. Euro), aus Landeszuwendungen auf 7 Mio. Euro (Vorjahr: 12 Mio. Euro).⁶

⁵ Beträge gerundet auf Millionen Euro.

⁶ Die Länder-Zuwendungen beinhalten neben SBM auch andere Instrumente zur jährlichen Mittelübertragung (Ausgabereste u.ä.).

- *Fraunhofer-Gesellschaft*: Rückgang aus Bundeszuwendungen auf 377 Mio. Euro⁷ (Vorjahr: 385 Mio. Euro); jene aus Landeszuwendungen blieben bei 0 Euro.
 - *Helmholtz-Gemeinschaft*: Rückgang aus Bundeszuwendungen auf 1.006 Mio. Euro (Vorjahr: 1.083 Mio. Euro), Anstieg aus Landeszuwendungen auf 60 Mio. Euro⁸ (Vorjahr: 57 Mio. Euro).
 - *Max-Planck-Gesellschaft*: Anstieg aus Bundeszuwendungen auf 209 Mio. Euro⁹ (Vorjahr: 181 Mio. Euro), Rückgang aus Landeszuwendungen auf 61 Mio. Euro (Vorjahr: 139 Mio. Euro).
 - *Leibniz-Gemeinschaft*: Anstieg aus Bundeszuweisungen auf 316 Mio. Euro (Vorjahr: 294 Mio. Euro), aus Landeszuwendungen auf 311 Mio. Euro (Vorjahr: 264 Mio. Euro).
- Aus Sicht der Zuwendungsgeber stellt die überjährige Verfügbarkeit von Mitteln ein wichtiges Instrument dar, um auf unvorhergesehene Änderungen bei der Verausgabung von Mitteln flexibel und wissenschaftsadäquat reagieren zu können. Die Zuwendungsgeber begrüßen ausdrücklich, dass es auch im Jahr 2025 gelungen ist, die Selbstbewirtschaftungsmittel in Summe zu reduzieren. Auch die zwischen dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) und der *Helmholtz-Gemeinschaft* vereinbarten Selbstverpflichtungsquoten für den Investitions- als auch Betriebsbereich konnten im Berichtsjahr durch die *Helmholtz-Gemeinschaft* deutlich unterschritten werden. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass der Anstieg der Selbstbewirtschaftungsmittel aus Bundeszuwendungen bei der *Leibniz-Gemeinschaft* ausschließlich auf die Sonderfinanzierung des Zukunftsplans beim Museum für Naturkunde (Berlin) zurückzuführen ist. Die Zuwendungsgeber erwarten weiterhin, dass

alle Paktorganisationen große Anstrengungen unternehmen, um den Bestand der überjährig zur Verfügung stehenden Mittel weiter abzubauen. Insbesondere sind die in den Jahren 2022 und 2024 in Abstimmung mit dem BMFTR erarbeiteten Abbaukonzepte der teilnehmenden Einrichtungen der *Helmholtz*¹⁰- und *Leibniz-Gemeinschaft* konsequent weiter umzusetzen.

⁷ Zahlen der *Fraunhofer-Gesellschaft* inklusive der Selbstbewirtschaftungsmittel aus dem Bereich der Wehrforschung (BMVg).

⁸ Wie im Berichtsjahr 2024 sind die Zahlen der *Helmholtz-Gemeinschaft* inklusive aus Sonderfinanzierungen gebildeter Selbstbewirtschaftungsmittel des DLR.

⁹ Wegfall der paritätischen Ausweisung der überjährig verfügbaren HH-Mittel bei der *Max-Planck-Gesellschaft* aufgrund der BNBest-Abruf. Dadurch im Berichtsjahr vorrangige Verausgabung von Landesmitteln. In Summe konnte die *Max-Planck-Gesellschaft* im Jahr 2025 ihre Selbstbewirtschaftungsmittel senken.

¹⁰ Die damals im Epl. 30 veranschlagten Einrichtungen der *Helmholtz-Gemeinschaft* (exklusive DLR) haben dem Haushaltsausschuss des deutschen Bundestags im Jahr 2022 ein Abbaukonzept für Selbstbewirtschaftungsmittel im Investitionsbereich und im Jahr 2024 ein Abbaukonzept für Selbstbewirtschaftungsmittel im Betriebsbereich vorgelegt. Im Jahr 2024 haben die Institute und Länder der *Leibniz-Gemeinschaft*, die besonders hohe Stände an Selbstbewirtschaftungsmitteln hatten, dem Haushaltsausschuss jeweils individuelle Abbaupläne vorgelegt.

4 IMPACT-BEISPIELE

Mit dem vorliegenden Monitoringbericht haben die PFI-Organisationen erstmals „Impact-Beispiele“ zu allen forschungspolitischen Zielen des PFI vorgelegt. Die Beispiele sollen einen plastischen Eindruck von der langfristigen Wirkung des Pakts und der Arbeit der PFI-Organisationen vermitteln. Jede PFI-Organisation hat dafür zwei Beispiele zu zwei verschiedenen Zielen ausgewählt. Die Texte zu den Impact-Beispielen und das Bildmaterial stammen von den PFI-Organisationen. Auch für die Jahre 2028 und 2029 sind Impact-Beispiele vorgesehen, dabei sollen die Ziele, zu der eine Organisation Beispiele vorlegt, jeweils wechseln.

4.1 Dynamische Entwicklung fördern

Biodiversitätswandel sichtbar machen (Deutsche Forschungsgemeinschaft)

Als Folge menschlicher Aktivitäten sind die Populationen wild lebender Arten in den vergangenen 40 Jahren um rund 60 Prozent zurückgegangen. Es wird geschätzt, dass weitere eine Million Arten in den nächsten Jahrzehnten vom Aussterben bedroht sind. Diese Zahlen führen eindrucksvoll vor Augen, dass die Biodiversitätskrise neben dem Klimawandel eine der großen Herausforderungen unserer Zeit ist. Biodiversität bezeichnet die Vielfalt des Lebens in allen seinen Formen: Arten, genetische Variationen sowie das Zusammenspiel dieser Lebensformen in komplexen Ökosystemen. Menschliche Landnutzung, Ressourcenausbeutung oder Umweltverschmutzung haben diese komplexen Systeme aus dem Gleichgewicht gebracht. Der Erhalt biologischer Vielfalt ist zentral für die Sicherung von Lebensräumen und Ernährungsgrundlagen sowie zur Abmilderung der Folgen des Klimawandels. Vor diesem Hintergrund wurde das **Deutsche Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung Halle-Jena-Leipzig (iDiv)** gegründet mit dem Ziel die Erkenntnisse zum Erhalt und zur nachhaltigen Nutzung biologischer Vielfalt zu gewinnen.

Zur Erreichung dieses anspruchsvollen Ziels sind Perspektiven, Methoden und Erkenntnisse vielfältiger Disziplinen notwendig. Dies ist ein zentrales Anliegen der **Forschungszentren der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)**, der größten

Einrichtung zur Förderung der Forschung in Deutschland. Innerhalb dieses Förderprogramms können an deutschen Hochschulen international sichtbare und innovative Forschungseinrichtungen etabliert werden, um hochschulische Profile zu schärfen und Prioritäten zu setzen. DFG-Forschungszentren werden thematisch gezielt ausgeschrieben und dienen als strategisches Förderinstrument, durch das gezielt Impulse gesetzt, Forschungsfelder konsolidiert und verstärkt werden sollen. So trägt die DFG zur Förderung der dynamischen Entwicklung der Wissenschaft in Deutschland bei.

Entstehung und Entwicklung des iDiv

Das iDiv stellt ein eindrucksvolles Beispiel für die **strategische Erschließung und Strukturierung eines Forschungsfeldes durch die DFG** dar. Die um 2010 auf verschiedene deutsche Standorte verteilte Expertise der damals noch jungen Biodiversitätsforschung zeigte eine strukturelle Schwäche: Es fehlte ein integratives Zentrum, das die verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen synergetisch bündeln könnte. Diesen Standortnachteil galt es zu beheben, um den Wissenschaftsstandort Deutschland in einem dynamischen Forschungsfeld international wettbewerbsfähig zu machen. Es folgte eine Ausschreibung der DFG zur Einrichtung eines neuen Forschungszentrums für Biodiversitätsforschung, auf die sich 2010 die **Universitäten Halle-Wittenberg, Jena und Leipzig** gemeinsam bewarben. Im von der DFG organisierten wettbewerblichen Verfahren der Begutachtung setzten sie sich gegen zahlreiche konkurrierende Anträge durch. Die Förderung des iDiv durch die DFG begann 2012.

Dank einer Programmanpassung der DFG, die das ursprünglich geltende Ortsprinzip der Forschungszentren aufhob, konnten die drei Universitäten in drei unterschiedlichen Bundesländern ihre Kräfte bündeln, um der Biodiversitätsforschung in Deutschland ein bis dato fehlendes strukturelles Gewicht zu verleihen. Neben den Universitäten waren und sind weitere Einrichtungen der Pakt-Organisationen beteiligt: das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, vier Leibniz-Institute sowie drei Max-Planck-Institute. Als gemeinsamer Arbeitsort für Professuren und Arbeitsgruppen wurde Leipzig festgelegt. Die Förderung durch die DFG umfasste drei Förderperioden,



Das Deutsche Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung Halle-Jena-Leipzig (iDiv).

von 2012 bis 2024 mit einer Gesamtfördersumme von rund 135 Millionen Euro. Nach Auslaufen der DFG-Förderung erklärten sich die vier zentralen Partner – die Universitäten Halle-Wittenberg, Jena und Leipzig sowie das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – und die drei beteiligten Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen bereit, die Förderung des iDiv mit jährlich 12,5 Millionen Euro fortzusetzen.

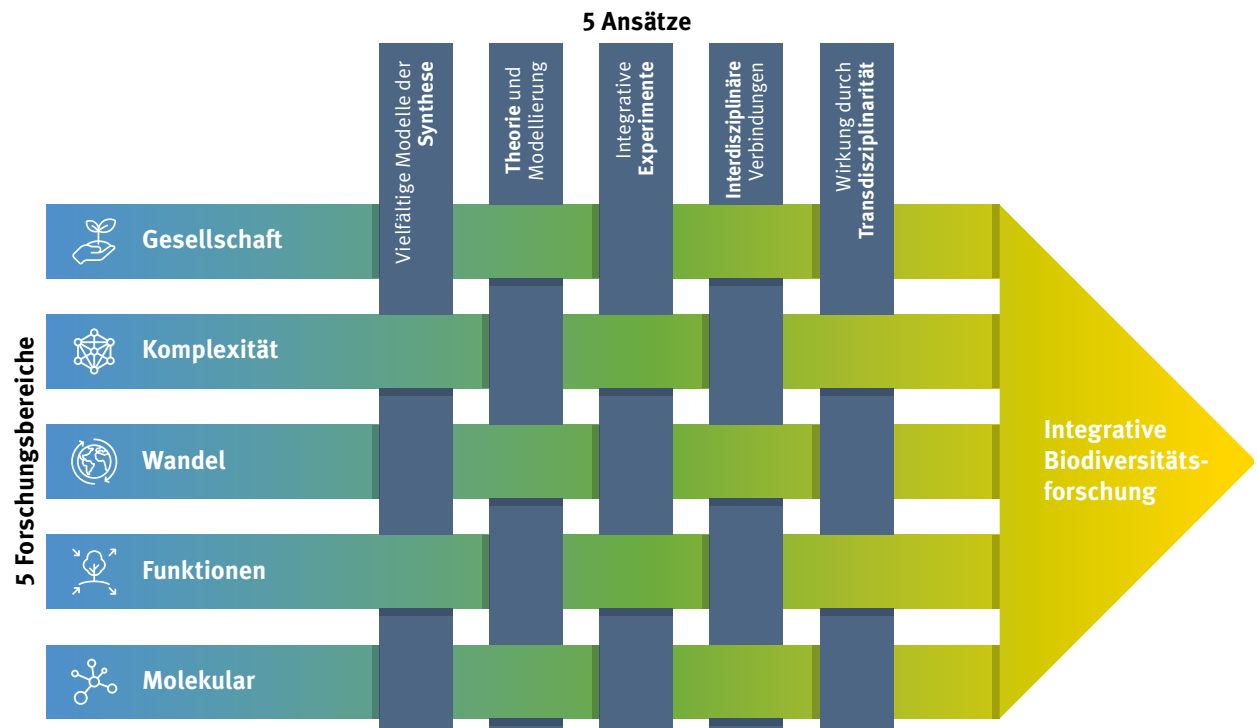
Forschung am iDiv

Während der Förderung durch die DFG konzentrierte sich die Forschung des iDiv auf eng verzahnte Forschungsfelder, von der Untersuchung des Biodiversitätswandels unter anthropogenen Einflüssen bis hin zum Verständnis molekularer Mechanismen von Biodiversitätsprozessen. Durch diesen breiten, aber integrativen Fokus prägte das iDiv die internationale Biodiversitätsforschung. So wurde das Forschungsgebiet der integrativen Biodiversitätsforschung am iDiv maßgeblich mitentwickelt und geformt. Ein anschauliches Maß für den Erfolg der Arbeit des Forschungszentrums ist der Umfang der vom Konsortium zusammengetragenen, kategorisierten und analysierten Biodiversitätsdaten. Zur internationalen Strahlkraft des iDiv trug auch das Synthesezentrum sDiv bei. Es

ermöglicht der wissenschaftlichen Community, offene Forschungsfragen an das iDiv heranzutragen, um in gezielten Workshops gemeinsame Datenanalysen, Metastudien und Theoriebildung durchzuführen. Diese Syntheseleistung war einer der Kerngedanken bei der Konzipierung des Forschungszentrums und wurde zu einem der Erfolgsschlüssel.

Wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Impact

Während der DFG-Förderung entwickelte sich das iDiv zu einem international anerkannten Zentrum mit neun Kernprofessuren, zehn Nachwuchsgruppen, 290 Mitarbeitenden, 171 Mitgliedern und bedeutenden Forschungsinfrastrukturen heran; zudem wurden über 80 Promotionen abgeschlossen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler veröffentlichten in dieser Zeit über 4.700 Publikationen, davon 630 in hochrangigen Fachzeitschriften, die insgesamt mehr als 200.000-mal zitiert wurden. Forschende des iDiv fanden sich regelmäßig auf den Listen der am häufigsten zitierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ihres Fachgebiets. Darüber hinaus erhielten Forschende und Mitglieder zahlreiche Auszeichnungen und Preise und warben renommierte Drittmittel-Förderungen ein.



Fünf Forschungsbereiche und fünf Forschungsansätze machen die integrative Biodiversitätsforschung aus.

Die Erfolge und der Impact des iDiv zeigen sich auch jenseits der wissenschaftlichen Community: Der direkte Dialog mit Politik und Gesellschaft über Erkenntnisse der Biodiversitätsforschung war von Beginn an ein besonderes Anliegen. Mitglieder des iDiv bringen ihre wissenschaftliche Expertise erfolgreich in internationale Gremien wie den Weltbiodiversitätsrat ein. Dort sowie in weiteren Organisationen und in politischen Gremien bilden die verlässlichen Prognosen des iDiv und die daraus erwachsenden Handlungsoptionen die Grundlage für weitsichtige politische Entscheidungen. Ob es um naturschutzpolitische Prozesse, um Agrar-, Umwelt- und Klimamaßnahmen oder um den Erhalt und die ökonomische Bewertung von Artenvielfalt geht – ganz sicher sind Mitglieder des iDiv unter den befragten Expertinnen und Experten. Forschende des iDiv treten regelmäßig in den Dialog mit der Gesellschaft, etwa bei öffentlichen Veranstaltungen oder im Rahmen von Citizen Science-Projekten.

Die Leistungen des iDiv in der integrativen Biodiversitätsforschung, sowie im Dialog mit Politik und Gesellschaft, sind ein leuchtendes Beispiel dafür, dass sich langfristige Investitionen dieser Art auszahlen

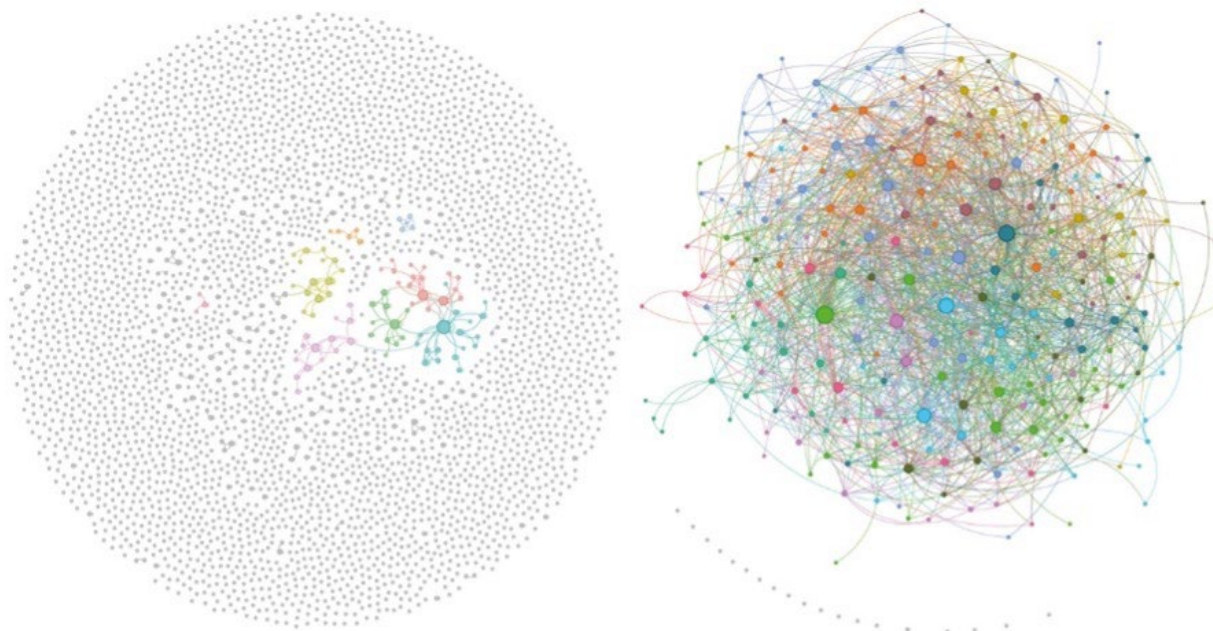
– unmittelbar für Forschung und Fortschritt, ebenso wie für Politikberatung und gesellschaftlichen Transfer. Die strategische Förderung eines entstehenden Forschungsfeldes durch die DFG hatte somit direkte Auswirkungen auf die internationale Anziehungskraft und die Innovations- und Leistungsfähigkeit des deutschen Wissenschaft- und Wirtschaftsstandorts. Angesichts akuter Klimaphänomene und gefährdeter Ökosysteme ist die Arbeit des iDiv heute wichtiger denn je. Die dafür notwendigen stabilen Rahmenbedingungen konnte die DFG durch die langfristige Finanzierung des PFI bieten. Nur so konnte die DFG die Bedarfe dieses aufstrebenden Forschungsfeldes erkennen und mit Hilfe ihres Förderinstruments der Forschungszentren die vollen Potenziale durch Impulssetzung passgenau erschließen.

Sicherheit und Privatsphäre im digitalen Raum schützen (Max-Planck-Gesellschaft)

Auch in Zeiten maximaler Verunsicherung ist eines sicher: Daten regieren die Welt – unsere Daten. In sozialen Medien und im Netz scheinen Falschinformationen freie Bahn zu haben. Das Max-Planck-Institut für Sicherheit und Privatsphäre hat sich durch die Berufungen von Carmela Troncoso und Meeyoung Cha der Lösung dieses Problems verschrieben. Neue Methoden und Algorithmen sollen einen fairen Dialog im Netz ermöglichen, persönliche Daten schützen und Daten in den Dienst der Gesellschaft stellen. Seit der Institutsgründung 2018 mit den beiden Direktoren Gilles Barthe und Christof Paar wurde das Institut schrittweise aufgebaut, bis der Prozess 2025 mit Besetzung aller sechs Abteilungen erfolgreich abgeschlossen wurde. Das erforderte langfristige finanzielle Planbarkeit, ermöglicht durch den Pakt für Forschung und Innovation.

2022 ging das erste Large Language Modell, ChatGPT, online. Die zwei Buchstaben K-I waren plötzlich überall, doch nur wenigen ist klar, was wirklich dahinter steckt. Tatsache ist: Antworten von Sprachmodellen sind je nach Kontext mehr oder weniger unscharf und abhängig von der Art der Daten, mit denen sie trainiert wurden. Dadurch verschwimmen schnell die Grenzen zwischen Fakt und Fake. Da aber viele Inhalte im Netz künstlich generiert sind, stellt sich die Frage, wem oder was Nutzerinnen und Nutzer noch vertrauen können?

Genau damit befasst sich das MPI für Sicherheit und Privatsphäre. Meeyoung Cha und Carmela Troncoso stellen Datenwissenschaften in den Dienst der Gesellschaft. Sie können das insbesondere dank des PFI und seiner langfristigen, planbaren Finanzierung, denn das Gemeinwohl wirft im ökonomischen Sinn keine Gewinne ab. Der PFI ermöglicht es der MPG, ihre Mission zu verfolgen, nämlich Grundlagenforschung an den Grenzen des Wissens zu betreiben, sich dynamisch neu auszurichten und neue, gesell-



In diesem Diagramm repräsentiert jeder Punkt einen Telegram-Account. Eine Linie zeigt an, dass ein Account einen Kommentar eines anderen Accounts mit gleichem Wortlaut wiederholt hat. Die Darstellung zeigt, dass Propaganda-Accounts (rechts) sich deutlich anders verhalten als normale Accounts (links). Sie erzeugen Netzwerke, die immer wieder die gleichen Inhalte wiederholen.



Architekturvisualisierung des Neubaus des Max-Planck-Instituts für Sicherheit und Privatsphäre, Ansicht Quartiersplatz mit Haupteingang.

schaftlich relevante Forschungsfelder frühzeitig zu etablieren. Innovation ist immer auch riskant, wissenschaftliche Erfolge und Forschungsdurchbrüche kaum planbar, aber zeit- und ressourcenintensiv. Der PFI bietet die Stabilität, um mit dem Bochumer Institut ein Forschungsumfeld für die talentiertesten Köpfe aufzubauen. Solche Institutsgründungen sind kein Routinegeschäft – sie sind eine strategische, langfristige Investition in die Zukunft.

Kampfansage gegen Falschinformationen

Schon während der Covid-19-Pandemie verbreiteten sich Falschinformationen schneller als das Virus selbst. Im Wissenschaftsmagazin Science warnen die Autorinnen und Autoren um Meeyoung Cha davor, dass KI-Agenten in sozialen Netzwerken menschliche Nutzer imitieren und dabei so eloquent auftreten könnten wie die KI-Sprachmodelle, die ihnen zugrunde liegen. Schnell entsteht die Illusion des „Alle sagen das“ – auch wenn es sich um gezielte Falschinformationen handelt – eine Gefahr für die Demokratie. Diese Arbeit ist hoch innovativ und blickt über den Tellerrand der Disziplinen: Beteiligt waren Forschende computerwissenschaftlicher und sozialwis-

senschaftlicher Institute. Eine wankende Demokratie ist keine Dystopie. Schon heute nutzen rechtspopulistische Parteien und Kräfte Bots und Algorithmen, um gezielt Falschinformationen zu streuen.

Meeyoung Cha setzt das gewonnene Wissen ein, um Interaktionsdynamiken in sozialen Netzwerken proaktiv zum Positiven zu verändern. Auch sie nutzt KI, um etwa nachzuverfolgen, wie sich Falschinformationen genau verbreiten. Dank jahrelanger Grundlagenforschung konnte das Team schon während der Pandemie schnell reagieren: Sie starteten die Aktion *Facts before Rumors*, mit der sie Fake News zuvorkamen. „Wir kannten dank unserer Forschung ihre Verbreitungsmuster, folglich konnten wir überall auf der Welt gezielt Faktenchecks verbreiten, noch bevor die entsprechenden Falschinformationen überhaupt dort angekommen waren.“

Soziale Medien oder Messengerdienste wie WhatsApp oder Telegram sind nicht per se schlecht, wirken aber in solchen Fällen wie Brandbeschleuniger. „Nutzerinnen und Nutzer müssen den Plattformen vertrauen, dass ihre Informationen und Fotos nicht

missbraucht werden“, sagt Meeyoung Cha. Sie sieht eine besondere Verantwortung bei den Anbietern. Statt den eigenen Profit zu steigern, könnten sie auch Inhalte anzeigen, die das Leben der Menschen wirklich bereichern. Meeyoung Cha forscht mit Kolleginnen und Kollegen am Institut sowie an den sozial- und neurowissenschaftlichen Instituten der MPG an verbesserten, gemeinwohlorientierten Algorithmen, um soziale Medien gegen Fake News, Hassrede oder Schädigungen der psychischen Gesundheit zu schützen.

„Es ist nicht das Geschäftsmodell großer Tech-Firmen, auf digitale Hygiene zu achten“, sagt Troncoso. Carmela Troncoso und Co-Forschende haben 2025 mithilfe künstlicher Intelligenz 13,7 Millionen Kommentare aus 13 Telegram-Kanälen analysiert. Ihre gewonnenen Erkenntnisse sind der erste Schritt zu einer fairen Moderation des Internets mithilfe von KI. Das wäre schneller, günstiger und effektiver als eine Moderation durch den Menschen. Aber eine solche mit KI automatisierte Moderation birgt auch Gefahren: „Sie könnte Randgruppen zum Schweigen bringen“, warnt Troncoso. Die KI filtert basierend auf Schlüsselbegriffen und könnte nicht nur Mobbing, sondern auch Gemobbte im Netz wegmoderieren. Deshalb erfassen die Forschenden nicht nur einzelne fragwürdige Nachrichten, sondern das gesamte Netzwerk dahinter. Sie haben etwa ein pro-russisches und ein kleineres pro-ukrainisches Propagandanetzwerk in Telegram entlarvt, die Antworten auf Nachrichten mit bestimmten Schlüsselwörtern wie „Krieg“, „Zelensky“ oder „Putin“ in mehreren Telegram-Kanälen streuten.

Das MPI forscht nah an gesellschaftlich relevanten Fragestellungen, es macht globale Ungleichheiten sichtbar und begleitet Veränderungsprozesse auf langen Zeitskalen, ohne dass Ergebnisse immer sofort messbar sind. Dank des akkumulierten Wissens und der Planungssicherheit des PFI können die Forschenden am Institut aber auch schnell Ressourcen umlenken und etwa auf akute Notlagen reagieren. Carmela Troncoso arbeitet mit NGOs in Krisenregionen der Welt und entwickelte noch vor ihrer Zeit am Institut die SwissCovid-Tracing-App. Diese verfolgte Kontakte im Umkreis einer mit Covid-19 infizierten Person, ohne sensible Informationen, wie Bewegungsprofile, zu übermitteln.

Troncoso verdankt es einem glücklichen Umstand, dass sie damals so viel Zeit investieren konnte, um

diese App zu entwickeln. „Bei Max-Planck haben wir dieses Privileg die ganze Zeit!“, sagt Troncoso. „Das war der Grund, warum ich an das MPI für Sicherheit und Privatsphäre gewechselt bin“. Meeyoung Cha und Carmela Troncoso betonen außerdem, wie effektiv die Forschung an einem Max-Planck-Institut ist. „Wir arbeiten hier mit den Besten aus der ganzen



Carmela Troncoso ist wissenschaftliche Direktorin am MPI-SP und stellt die Datenwissenschaften in den Dienst der Gesellschaft. Sie kooperiert dazu eng mit NGOs und sucht auch mithilfe von KI nach Wegen für eine faire Moderation im Internet.



An der Schnittstelle von Informatik und Gesellschaft: Meeyoung Cha untersucht unter anderem, wie Menschen über das Internet in Verbindung treten und wie sich Informationen über die sozialen Medien verbreiten.

Welt an einem Ort, während das gesamte Ökosystem der Max-Planck-Gesellschaft inter- und transdisziplinären Austausch ermöglicht“, sagt Meeyoung Cha. „Diese Bedingungen sind weltweit einzigartig“.

Für Carmela Troncoso und Meeyoung Cha steht im Pakt-Zeitraum bis 2030 noch viel Arbeit an. Autoritäre Kräfte nutzen KI und soziale Netzwerke schon heute für ihre Ziele, die auch die Forschungsfreiheit und -finanzierung bedrohen – und damit ein zentrales Mittel unserer Gesellschaft, die eigene Resilienz zu stärken und die Freiheit und Sicherheit aller Menschen im digitalen Raum zu ermöglichen. Dazu zählt auch, Daten schon heute gegen Angriffe zukünftiger überlegener Quantencomputer zu schützen. Dank der Planbarkeit und Stabilität der PFI-Finanzierung kann die Wissenschaft nicht nur reagieren, sondern proaktiv gestalten.

4.2 Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft stärken

Aussicht auf Durchbrüche in der Tuberkulosetherapie (Leibniz-Gemeinschaft)

Vierundzwanzig Einrichtungen der Leibniz-Gemeinschaft leisten in vernetzter Weise exzellente Beiträge für eine nachhaltige Gesundheitsforschung. Ein Alleinstellungsmerkmal ist dabei Spitzenforschung entlang der gesamten wissenschaftlichen Wertschöpfungskette: von molekularer Biotechnologie, Wirkstoff- und erregerspezifischer Infektionsforschung über translationale Krankheitsmodelle und Systemmedizin bis hin zu technologiegestützter Diagnostik, Prävention, neuen Therapiekonzepten sowie Medizintechnik und Gesundheitsökonomie. Diese interdisziplinäre Zusammenarbeit stellt einen kritischen Erfolgsfaktor für Innovationen dar, die wissenschaftliche Erkenntnisse frühzeitig in anwendungsnahe Technologien und Produkte überführen und dabei technologische, klinische und gesellschaftliche Herausforderungen gemeinsam adressieren. Mithilfe der Mittel des PFI konnte dieses Themenfeld in den vergangenen Jahren sukzessive erweitert werden. So wurde die Leibniz-Gesundheitsforschung durch die Aufnahmen der Leibniz-Institute für Resilienzforschung (LIR, 2020) und für Immuntherapie (LIT, 2022) ergänzt. Hinzukommen 26 kleine strategische Erweiterungen bestehender Institute, die gezielt zur dauerhaften inhaltlich-strategischen Stärkung der

Gesundheitsforschung genutzt werden. Auf Projektebene werden mithilfe des organisationsinternen Wettbewerbs Forschungsfelder dynamisch entwickelt und alle Elemente der Wertschöpfungskette abgebildet. Zudem können die Leibniz-Institute dank des PFI erheblich dazu beitragen, die besten Köpfe zu gewinnen und zu halten, weitere Mittel einzuwerben sowie den Transfer von Forschungsergebnissen zu stärken.

Beispielhaft für erheblichen Impact in diesem Bereich steht die gemeinsam mit Partnern aus Hochschulen und Industrie durchgeführte Tuberkulose-Forschung am Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie – Hans-Knöll-Institut (HKI) und am Forschungszentrum Borstel, Leibniz-Lungenzentrum (FZB). Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sterben jedes Jahr circa 1,6 Millionen Menschen an Tuberkulose, insbesondere in Südostasien, Afrika und der Westpazifik-Region. Prognosen zufolge könnte diese Zahl bis 2050 auf bis zu 40 Millionen pro Jahr steigen. Auch in Deutschland ist die Zahl der Neuinfektionen mit mehr als 4.000 Fällen jährlich hoch. Die zunehmenden Resistenzen gegenüber den gängigen Antibiotika-Therapien entwickeln sich dabei zu einem immer größeren Problem. Die Entwicklung neuer resistenzbrechender Antibiotika mit neuen Wirkmechanismen wird deshalb immer dringlicher. Hoffnung macht nun der am HKI entdeckte und mit Partnern in die präklinische und klinische Forschung überführte Wirkstoff BTZ-043 gegen multiresistente Tuberkulose. Derzeit ist er eines der aussichtsreichsten neuen Medikamente gegen Tuberkulose und bekämpft auch die für Europa wichtigen antibiotikaresistenten Erreger. Zugleich handelt es sich um das erste in Deutschland entwickelte Antibiotikum seit Jahrzehnten. Das Besondere an dem Wirkstoff ist sein neuartiger Mechanismus. Bisherige Antibiotika gegen Tuberkulose verhindern unter anderem die Vermehrung der Bakterien. Doch viele dieser Medikamente verlieren durch Resistenzen zunehmend ihre Wirkung. Die Zellwand der Tuberkulose-Bakterien bildet durch ihre wachsartige Struktur eine sehr wirksame Barriere, die unter anderem das Eindringen von Antibiotika erschwert. Deshalb ist es im Unterschied zu den meisten anderen bakteriellen Infektionen erforderlich, über mehrere Monate hinweg mit einer Kombination aus bis zu vier verschiedenen Antibiotika zu behandeln. An der für den Tuberkuloseerreger spezifischen Zellwand-

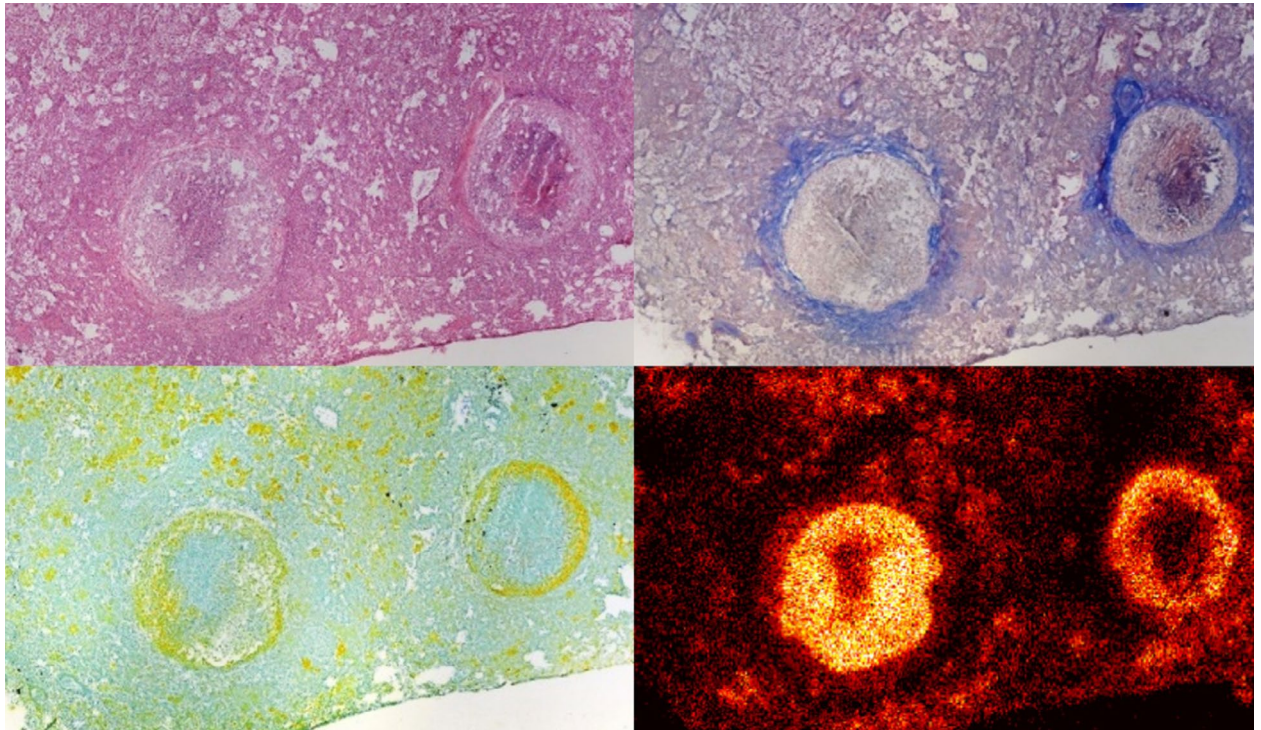
struktur setzt das neue Antibiotikum an: Es stört den Aufbau von Arabinanen, die die äußere Schicht der Zellwand auf der Zelle verankern. Die Schutzschicht wird instabil und löst sich teilweise ab, was die Bakterienzelle zum Platzen bringt. Zudem erkennt das Immunsystem die Erreger sehr viel besser und kann sie abtöten.

Die Phase-I-Studie wurde in Deutschland an gesunden Freiwilligen durchgeführt. Sie zeigte eine gute Verträglichkeit von BTZ-043. Die darauffolgende klinische Studie der Phase IIa wurde an Tuberkulosepatienten in Südafrika durchgeführt. Sie bestätigte die Sicherheit und Wirksamkeit von BTZ-043. Damit ist ein wichtiger Schritt bei der Entwicklung eines neuen Medikaments erreicht. Auch die Kombination des Wirkstoffs mit anderen Antituberkulotika ist möglich. Somit ist es nun greifbar geworden, dass BTZ-043 herkömmliche Antibiotika in einer Kombinationstherapie ersetzen kann, gegen die auf Grund

des jahrzehntelangen Einsatzes Resistenzen entwickelt wurden. Aber auch völlig neue Kombinationen mit BTZ-043 als einer Komponente sind denkbar, um die Resistenzgefahr weiter zu minimieren und im besten Falle die Behandlungsdauer der Tuberkulose deutlich zu verkürzen. Wichtige Fortschritte bei der Erforschung dieses Medikaments konnten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Deutschen Zentrums für Infektionsforschung unter Beteiligung des FZB, des HKI, des Tropeninstituts des LMU Klinikums München und der Johns Hopkins University erreichen. Die Ergebnisse wurden 2025 in der renommierten Fachzeitschrift *Nature Communications* veröffentlicht. Die Studie zeigt an einem Mausmodell, dass BTZ-043 wirksam in nekrotische Tuberkulose-Granulome eindringt, die normalerweise schwer mit Antibiotika zu erreichen sind. Die Konzentrationen des Wirkstoffs lagen deutlich über der minimalen Hemmkonzentration gegen den Tuberkuloseerreger und führten zu einer starken Reduktion



Die Entwicklungsleiterin der Transfergruppe Antiinfektiva, Sina Gerbach, mit einem 3D-Modell des Enzyms DprE1, das für die Tuberkulose-Bakterien lebenswichtig ist (blau). Der neue Wirkstoff (weiß) passt exakt in das aktive Zentrum des Enzyms und blockiert es damit. Im Hintergrund ein Schema des bisher absolvierten Studienprogramms.



Granulomstruktur und Verteilung des Antibiotikums BTZ-043 in unterschiedlich gefärbten Gewebeschnitten zweier Tuberkulosegranulome. Die Färbungen zeigen (von links oben nach rechts unten): die nekrotischen Granulomzentren, Bindegewebskapseln, Immunschichten und die Anreicherung von BTZ-043 in den Granulomen.

der bakteriellen Last, auch im nekrotischen Gewebe. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass BTZ-043 ein vielversprechender Kandidat für kürzere und wirksamere Tuberkulose-Therapien sein könnte.

Das Leibniz-HKI hat seine Forschungsinfrastruktur strategisch ausgebaut, um neue Wirkstoffkandidaten effizient für die künftige Anwendung am Menschen zu entwickeln. Mit einer modularen Robotik-Anlage, dem Biotechnikum, und der Transfergruppe Antiinfektiva verfügt das Institut über eine durchgehende Translationsstruktur für therapeutisch wirksame Naturstoffe und Synthetika, wie am Beispiel des BTZ-043 demonstriert wurde. So können in einer automatisierten Laborumgebung mit dem Namen JenXplor Substanzbibliotheken in hohem Durchsatz auf neue antibiotisch aktive Moleküle durchmustert werden, für die im Biotechnikum anschließend Herstellverfahren entwickelt werden. Die Transfergruppe Antiinfektiva übernimmt schließlich die gesamte Wirkstoffanalytik und die präklinische Entwicklung bis hin zum Tiermodell, während die klinischen Pha-

sen durch Partnereinrichtungen wie das LMU Klinikum München übernommen werden.

Als nächstes steht die dritte klinische Phase an. Die Chancen stehen gut, dass das Medikament in absehbarer Zeit zur Behandlung des Menschen genutzt werden kann. Damit stünde nach zwanzigjähriger Leibniz-Forschung ein Wirkstoff zur Verfügung, der weltweit Millionen Menschenleben retten könnte.



Die Entwicklungsleiterin der Transfergruppe Antiinfektiva, Sina Gerbach, im Syntheselabor. In der Hand hält sie das Antibiotikum in Kapseln verpackt.

Wundversorgung für den Weltraum (Fraunhofer-Gesellschaft)

Im Projekt StellarHeal haben Forschende eine innovative Wundversorgung für den Weltraum entwickelt. Eine Idee, von der auch viele Menschen auf der Erde profitieren können.

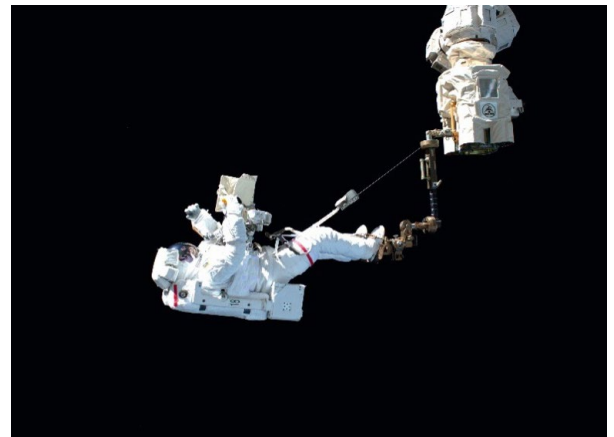
Weiche Bewegungen, schwebende Körper, ein Vorkommen wie in Zeitlupe: Im All wirkt alles ganz leicht. Doch das täuscht: Auch in der Schwerelosigkeit verletzen sich Astronauten im Raumschiff oder an Bord der Weltraumstation ISS, etwa durch scharfe Gegenstände oder Verbrennungen. Wunden, die auf der Erde kaum mehr als Desinfektionsspray und ein Pflaster erfordern, können im Weltall schnell zum Problem werden. Strahlung schädigt die DNA und hemmt die Zellteilung, während Mikrogravitation die Zellbewegung und das Zellwachstum abbremst, was eine verzögerte Wundschließung und schlechte Narbenbildung zur Folge hat. Die Bedingungen im All schwächen außerdem die körpereigene Immunaktivität, sodass das Infektionsrisiko erhöht ist.



Im Projekt StellarHeal haben Forschende eine innovative Wundversorgung für den Weltraum entwickelt.

Erste Hilfe für den Alltag im All: Im Projekt StellarHeal arbeitet ein Forschungsteam an den Fraunhofer-Instituten für Silicatforschung ISC und für Toxikologie und Experimentelle Medizin ITEM

an einer Art »Superpflaster« für die Wundversorgung bei Astronauten – gemeinsam mit dem Dresdner Institut für Luft- und Kältetechnik ILK und der Medizinischen Hochschule Hannover. »Das Pflaster basiert auf vier bereits bestehenden Technologien, von denen drei aus den Fraunhofer-Laboren stammen und eine vom ILK«, erklärt Projektleiter Dr. Dieter Groneberg, der am Fraunhofer ISC in Würzburg das Thema Skin-Research verantwortet. Die Idee ist, die Wunde nicht einfach mit einem schützenden Pflaster zu verschließen, sondern vorab eine spezielle Watte aufzulegen, die aus stabilisierenden Kieselgel-Fasern besteht und die Blutung stoppt. Zusätzlich wird nach dem Stop-



Völlig losgelöst? Auch in der Schwerelosigkeit kann es zu Verletzungen kommen – die auch schwerer heilen.

pen der Blutung die Watte mit stammzellbasierten Fibroblasten und Makrophagen angereichert, die sich in einem Schutzgel befinden. Dies enthält ausreichend Nährstoffe, sodass die Fibroblasten und Makrophagen überleben und ihrer Aufgabe nachkommen können, bevor sie an die normale Blutversorgung angedockt werden. Während Makrophagen – auch bekannt als Fresszellen – Krankheitserreger abwehren und Zellreste beseitigen sowie aktiv die Wundheilung steuern, spielen Fibroblasten eine entscheidende Rolle für die Reparatur von Gewebeschäden und beim Neuaufbau von Gewebe. Ein solches Power-Pflaster unterstützt die Heilung im All somit gleich mehrfach: Die Wunde schließt sich schneller, das Infektionsrisiko wird gesenkt und weniger Narbengewebe gebildet.

»Ein weiterer Bonus ist, dass das Nährmedium, in dem die Fibroblasten und Makrophagen eingebettet sind, kryokonserviert werden kann – also haltbar gemacht durch Einfrieren«, so Biochemiker Grone-

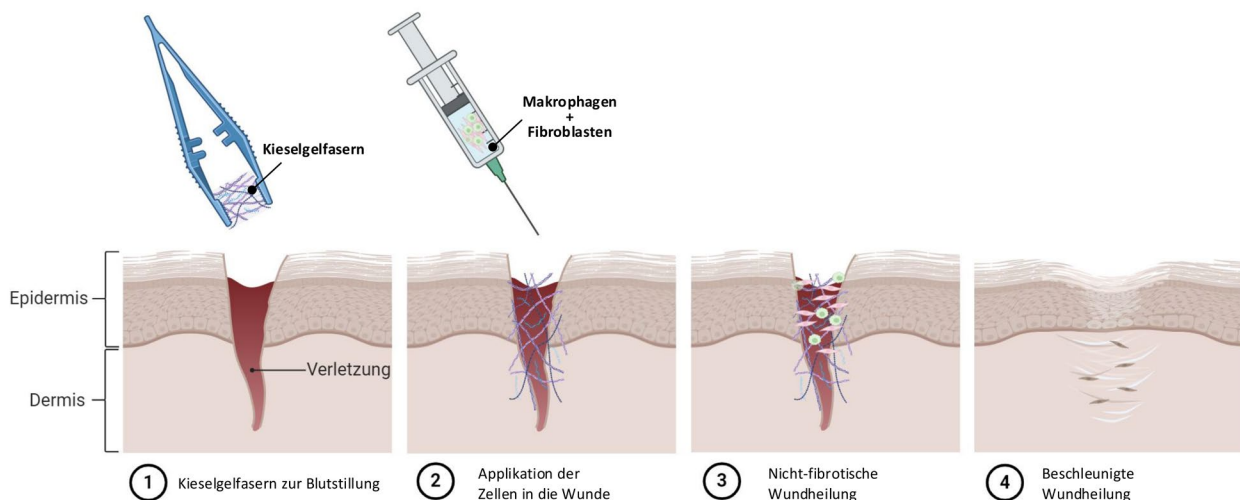
berg. »Eine Wundheilpaste, die über Jahre sicher aufbewahrt werden kann, ist ein großer Vorteil für Raumstationen, die nicht mal schnell von der Erde aus versorgt werden können.«

Etwas weiter in die Zukunft gedacht, könnte die innovative Pflaster-Technologie sogar eine personalisierte Wundversorgung von Astronauten und damit eine noch bessere Heilung ermöglichen: Vor dem Start ins All müssten hierfür Körperzellen des Weltraumpersonals durch Reprogrammierung in pluripotente Stammzellen umgewandelt und diese dann als Quelle für die benötigten Fibroblasten und Makrophagen verwendet werden. Noch ein bisschen weiter in die Zukunft gedacht, könnte dies eine spannende Lösung sein, um eine Besiedelung von Mond oder Mars sicherer zu gestalten.

Aber auch auf Erden gibt es ausreichend Menschen, die von StellarHeal profitieren könnten. »Alleine in Deutschland leiden mehr als 400 000 Menschen unter chronischen Wunden, etwa infolge von Diabetes oder Dekubitus«, erklärt Dieter Groneberg. »Die Kosten für die medizinische Wundversorgung dieser Patientinnen und Patienten belaufen sich auf rund acht Milliarden Euro pro Jahr.« Gut 40 Prozent dieser Summe entstehen durch Wundversorgungsmaterial. Schätzungen zufolge werden die Kosten für chronische Wunden bis 2030 auf knapp zehn Milliarden Euro in Deutschland ansteigen.

Die Hoffnung der Forschenden ist, dass das neue Super-Pflaster hier sowohl Leid lindern als auch die Ausgaben im Gesundheitswesen senken kann. Die darin eingebetteten Makrophagen lassen sich gezielt polarisieren und so an unterschiedliche Wundheilungsszenarien anpassen, erläutert Projektleiter Groneberg: »Da Wunden im Weltall mit überschießender Narbenbildung reagieren, setzen wir hier anti-fibrotisch polarisierte Makrophagen ein, um einer übermäßigen Gewebefibrose entgegenzuwirken. Bei diabetischen Wunden, bei denen oft eine unzureichende Kollagenbildung besteht, könnten dagegen profibrotisch wirkende Makrophagen helfen, die Geweberegeneration zu fördern.«

Aktuell sind die Forschenden dabei, die einzelnen Komponenten des Weltraum-Pflasters bestmöglich zu kombinieren, bevor dann die Phase der klinischen Tests startet. Der interdisziplinäre Ansatz des StellarHeal-Projekts – also die Kombination von Materialwissenschaft, Biotechnologie und Kryotechnologie – hat die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR bereits überzeugt: Bei den »INNOspace Masters 2024« der Organisation belegte das Forschungskonsortium von Fraunhofer und ILK Dresden in der Kategorie DLR Challenge 2024 »Applied Research for Disruptive Innovation« Platz 1. Und galt damit schon zu Projektbeginn als galaktisch gut.



So funktioniert das „Superpflaster“ für Astronauten.

4.3 Vernetzung vertiefen

Resiliente Vernetzung in geopolitisch unsicheren Zeiten (Max-Planck-Gesellschaft)

Internationale Forschung steht unter Druck: Geopolitische Spannungen erschweren den wissenschaftlichen Austausch. Gleichzeitig machen globale Herausforderungen wie Klimawandel oder Pandemien internationale Zusammenarbeit dringender denn je. Die Max-Planck-Gesellschaft setzt daher auf langfristige Partnerschaften mit führenden Forschungseinrichtungen weltweit. In Max Planck Centern arbeiten Forschende über Ländergrenzen hinweg zusammen, bündeln Infrastruktur, Daten und Expertise und bilden den wissenschaftlichen Nachwuchs gemeinsam aus. Möglich wird diese strategische Vernetzung durch den Pakt für Forschung und Innovation (PFI), dessen langfristige Finanzierung Stabilität für internationale Kooperation schafft – auch unter veränderten politischen Rahmenbedingungen.

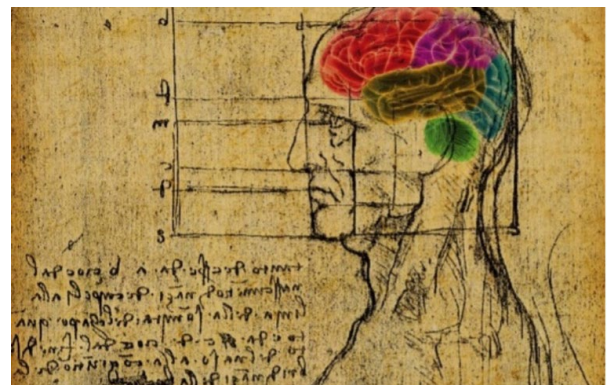
Zwischen Berlin-Wilmersdorf und dem Londoner Russell Square erforschen Teams des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung und des University College London gemeinsam, weshalb Menschen unterschiedlich altern – und warum manche psychiatrische Erkrankungen entwickeln, andere nicht. Am Max Planck UCL Centre for Computational Psychiatry and Ageing Research analysieren sie mithilfe rechnergestützter Modelle, wie sich Beziehungen zwischen Gehirn und Verhalten über die Lebensspanne hinweg verändern. „Die Kooperation verschafft uns eine dauerhaft gesicherte Anbindung an klinische Expertise, hochentwickelte Bildgebungsinfrastruktur und internationale Datennetzwerke“, sagt Ulman Lindenberger, Direktor am MPI für Bildungsforschung. Beide Standorte verfügen über hochentwickelte Bildgebungs- und Experimentalplattformen – u.a. MRT-, MEG- und EEG-Systeme, Virtual-Reality-Umgebungen, Verhaltenslabore und leistungsfähige Rechencluster, die die Grundlage für große Datensätze und komplexe Modelle darstellen. Die enge Zusammenarbeit spiegelt sich in den mehr als 1200¹¹ gemeinsamen Publikationen wider.

Verlässliche Strukturen für internationale Kooperation

Der Zugang zu einzigartiger Forschungsinfrastruktur ist eines der zentralen Merkmale der Max Planck Center. In diesen langfristigen Kooperationen arbeiten Max-Planck-Institute mit weltweit führenden Forschungseinrichtungen zusammen, bündeln ihre wissenschaftlichen Ressourcen und bieten einen institutionellen Rahmen für gemeinsame Programme und abgestimmte Governance-Strukturen. In der Regel sind sie auf bis zu zehn Jahre angelegt (initial fünf Jahre, Verlängerung möglich); in einzelnen Fällen führen die Partnerinstitutionen die Zusammenarbeit darüber hinaus eigenständig fort.

Seit 2010 wurden 45 Center bewilligt. Aktuell sind 19 Center aktiv, darunter sieben in der zweiten Förderperiode sowie zwei in der dritten (selbstfinanzierten) Phase. Weitere, neue Kooperationen befinden sich in Vertragsverhandlungen oder im Begutachtungsverfahren.

Die Center kooperieren mit Partnerinstitutionen in zwölf Ländern. Schwerpunkte liegen in Europa und Nordamerika, aber auch in Asien, Afrika und Australien. Damit bilden Max Planck Center ein strategisch positioniertes Netzwerk in zentralen internationalen Wissenschaftsräumen. Die Planbarkeit des PFI ermöglicht es, diese Kooperationen flexibel aufzubauen und erfolgsabhängig fortzusetzen.



Wie Gehirn und Verhalten zusammenwirken, steht im Mittelpunkt der Forschung am Max Planck UCL Centre for Computational Psychiatry and Ageing Research. Computergestützte Modelle helfen zu verstehen, warum sich kognitive Fähigkeiten und psychische Gesundheit im Laufe des Lebens unterschiedlich entwickeln.

¹¹ <https://www.mps-ucl-centre.mpg.de/publications>



Kontinuität der Zusammenarbeit: Geraint Rees, Vice-Provost (Research, Innovation and Global Engagement) des University College London, und Max-Planck-Präsident Patrick Cramer unterzeichnen im Februar 2025 in München die Vereinbarung zur Verlängerung des Max Planck UCL Centre for Computational Psychiatry and Ageing Research bis 2030.

Max Planck Center gehen weit über klassische bilaterale Kooperationsprojekte hinaus: Statt punktueller Zusammenarbeit entsteht ein thematisch breit und langfristig angelegtes Forschungsprogramm mit klarer gemeinsamer Agenda. Das Besondere: Indem sie komplementäre Methoden und Wissen kombinieren und exklusiv vorhandene, oft modernste und hochspezialisierte Infrastruktur nutzen, entsteht für alle Beteiligten ein wissenschaftlicher Mehrwert. Hierzu bringen Partnerinstitutionen eigenes Personal, Infrastruktur und finanzielle Mittel ein.

Internationale Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Ein weiterer zentraler Baustein ist die gemeinsame Ausbildung: Promovierende und Postdocs arbeiten in internationalen Teams, werden von Forschenden beider Institutionen betreut und wechseln zwischen den beteiligten Standorten. So entwickeln sich wissenschaftliche Netzwerke und ein dynamischer Austausch.

Auch für junge Forschende des Max Planck UCL Centre for Computational Psychiatry and Ageing Research spielt sich der Forschungsalltag zwischen Ber-

lin und London ab. Sie arbeiten mit Datensätzen beider Standorte, entwickeln gemeinsam Modelle und diskutieren ihre Ergebnisse standortübergreifend. Organisiert wird diese Zusammenarbeit über die International Max Planck Research School on Computational Methods in Psychiatry and Ageing Research (IMPRS COMP2PSYCH). „Diese strukturierte Ausbildung stärkt die Bindung von Talenten und erhöht die Attraktivität Deutschlands für exzellente Forschende im Bereich datengetriebener Medizin“, sagt Lindenberg.

Strategische Bedeutung und geopolitische Rolle

Max Planck Center stärken die wissenschaftliche Qualität, erhöhen die Attraktivität Deutschlands als Wissenschaftsstandort und fördern die „Brain Circulation“. Sie ermöglichen den Zugang zu spezialisierten Laboren, Datensätzen und technischen Plattformen, die national nicht in gleicher Breite verfügbar sind. Die Wirkung reicht weit über die Förderlaufzeit hinaus: gemeinsame Publikationen, qualifizierte Fachkräfte und zusätzliche Drittmittel.



Die Partner der Max-Planck-Institute in den Max Planck Centern sind weltweit verteilt. Seit 2010 wurden 45 Center bewilligt, derzeit sind 19 Kooperationen aktiv. Die Partnerinstitutionen verteilen sich über zwölf Länder mit Schwerpunkten in Nordamerika und Europa sowie weiteren Kooperationen in Asien, Afrika und Australien. (Stand: März 2026)

Die Max-Planck-Gesellschaft nutzt dieses Instrument strategisch, um ihre internationalen Partnerschaften unter sich verändernden geopolitischen Rahmenbedingungen stärker zu diversifizieren. 2024 wurden im Rahmen einer Sonderausschreibung acht neue Center mit Partnerinstitutionen in Asien (Singapur, Südkorea, Indien, Taiwan) bewilligt. 2025 folgte eine Ausschreibung für Kooperationen mit US-Einrichtungen, um den wissenschaftlichen Austausch auch unter veränderten politischen Rahmenbedingungen zu stärken. Gerade in geopolitisch unsicheren Zeiten gewinnen langfristige und finanziell abgesicherte Partnerschaften an Bedeutung. Kooperationen wie die zwischen Berlin und London zeigen, dass langfristig angelegten Verbünde auch politische Veränderungen – wie den Brexit – überdauern können.

Neben der Förderung exzellenter Forschung durch Vernetzung, verfolgen die Max Planck Center weitere Zielsetzungen unter dem PFI: Durch Promotionsprogramme und personellen Austausch etwa tragen sie

zum Ziel „Beste Köpfe“ bei. Zugleich erschließen sie neue Forschungsfelder im internationalen Kontext, erhöhen die Sichtbarkeit und stärken die Dynamik des deutschen Wissenschaftssystems. Sie eröffnen Zugang zu Infrastrukturen und Innovationsökosystemen und steigern die internationale Wettbewerbsfähigkeit. Die eingesetzten Mittel tragen zu zentralen wissenschaftspolitischen Zielen bei, stärken das deutsche Wissenschaftssystem und erhöhen die Attraktivität des Forschungsstandorts Deutschland.

Weiterführende Informationen sowie eine Liste aller Max Planck Center ist online abrufbar unter: <https://www.mpg.de/maxplanckcenter>

KI-gestützte Kristallzüchtung für Zukunftstechnologien in Elektronik und Photonik (Leibniz-Gemeinschaft)

Damit Künstliche Intelligenz (KI) verlässlich, effizient und nachvollziehbar arbeitet, braucht es starke mathematische Grundlagen, qualitätsgesicherte Dateninfrastrukturen und den Brückenschlag zur Anwendung. In der Leibniz-Gemeinschaft ist diese Kette bis hin zu qualitätsgesicherten Daten- und Wissensinfrastrukturen und anwendungsnahen Lösungen, etwa an material- und mikroelektronikorientierten Forschungsinstituten und in anwendungsnahen Forschungsbereichen in Medizin, Klima, Umwelt und Gesellschaft institutionell verankert. So entstehen KI-Verfahren als zielorientierte Werkzeuge für konkrete Zukunftsaufgaben. Mithilfe der Mittel des Pakts für Forschung und Innovation (PFI) konnten diese Strukturen in den vergangenen Jahren gezielt ausgebaut und stärker vernetzt werden.

Als verbindendes Element wirkt das Leibniz-Forschungsnetzwerk „Mathematische Modellierung und Simulation“ (MMS) mit 40 Partnerinstituten. Koordiniert durch das Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik (WIAS) bündelt es seit über zehn Jahren instituts- und sektionsübergreifend Kompetenzen, verdichtet den interdisziplinären Diskurs und macht moderne Methoden für KI-nahe Modellierung, Simulation und Optimierung in unterschiedlichsten Anwendungsfeldern verfügbar. Zur Wirkung der Forschung gehören Effizienz- und Qualitätssteigerung bei Produktionsprozessen, zuverlässigere Voraussagen bei gefährlichen oder unmöglichen Experimenten (Klima, Medizin) und gesicherte Schätzverfahren in Geistes- und Sozialwissenschaften. Formate wie die (bereits neun Mal ausgerichteten) *Leibniz MMS Days* sowie Nachwuchsformate wie *Mathematical Methods for Machine Learning* und die *AI School* stärken Vernetzung und die Qualifizierung über Disziplinen hinweg. Ergänzend trägt das WIAS seit 2019 die operative Leitung des NFDI-Konsortiums MaRDI für Forschungsdaten in der Mathematik, das Standards und Strukturen für mathematische Forschungsdaten schafft.

Wie diese vernetzte KI-Kompetenz in Anwendungen – insbesondere für Effizienz- und Qualitätssteigerungen bei Produktionsprozessen – überführt wird, zeigt beispielhaft das **Leibniz-Institut für Kri-**



Am IKZ mittels Float Zone Verfahren gezüchtete Siliziumkristalle (zwischen 2'' und 6'').

tallzüchtung (IKZ). Die zentralen Komponenten für klimaneutrale Energiesysteme, nachhaltige Mobilität oder digitale Infrastruktur, von energieintensiven Rechenzentren bis zu Hochleistungsbau-elementen für die Leistungselektronik, Sensorik oder modernen Lasersystemen, beruhen auf Halbleitern und anderen kristallinen Materialien. Ihre Leistungsfähigkeit, Effizienz und Zuverlässigkeit hängen maßgeblich davon ab, dass diese Kristalle in hoher Perfektion und mit präzisen Eigenschaften hergestellt werden. Diese hochwertigen Kristalle sind die Voraussetzung für industriell nutzbare Substrate aus hochreinen Einkristallen (sog. Wafer) und Schichten, d.h. darauf aufgetragenen Materiallagen: Viele neue Technologien scheitern daran, dass geeignete Materialien nicht in ausreichender Qualität, Größe oder mit der notwendigen Reproduzierbarkeit verfügbar sind. Kristallzüchtung und die Abscheidung von kristallinen Schichten sind deshalb die grundlegende Voraussetzung, damit Forschung und Unternehmen verlässliche Bauelemente, etwa für Halbleitertechnik, entwickeln können. Als größtes Forschungszentrum für kristalline Materialien in Europa entwickelt und fertigt das IKZ verlässliche Materialien und Schichten für Wirtschaft und Forschung. Über die gesamte Laufzeit des PFI hinweg forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am IKZ an neuen, innovativen Materialien als Grundlage für zukünftige Produkte und Technologien. Mit der Erweiterung seiner Institutsstrategie (2018) und mit Hilfe des STB

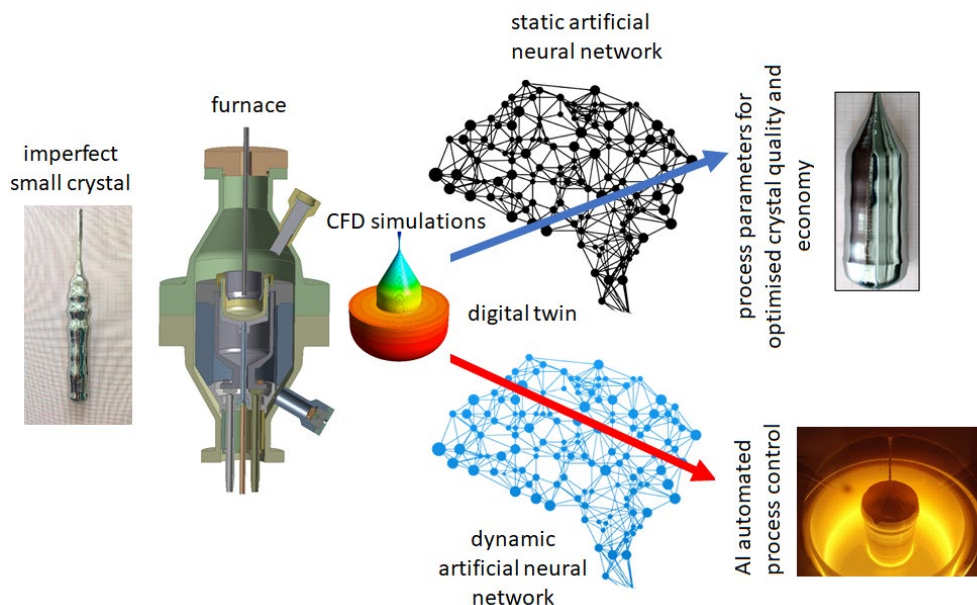
Kristalltechnologie für Technologiesouveränität wurde eine Abteilung etabliert, die kristalline Materialien als Prototypen zur Technologieentwicklung an Forschungs- und Industriepartner bereitstellt. Damit leistet das Institut einen zentralen Impact zur Wettbewerbsfähigkeit und Technologiesouveränität Europas.

Um Anlagen und Prozesse in der Kristallzüchtung zu optimieren und Qualität in Produktionsprozessen zu steigern, kommt KI am IKZ für Materialien für Elektronik und Photonik zur Anwendung. Für effiziente, robuste Elektronik in Energiewende, E-Mobilität und Rechenzentren sind besondere kristalline Materialien wichtig, sog. *Wide-Bandgap-Halbleiter* (z. B. Aluminiumnitrid, Galliumoxid). Wide-Bandgap-Materialien ermöglichen in der Leistungselektronik kompaktere und leistungsfähigere Bauelemente und verringern Energieverluste. Kurz gesagt: Sie halten höhere Spannungen aus, arbeiten auch bei hohen Temperaturen zuverlässig und setzen Energie effizienter um.

Forschende am IKZ verbinden mathematische Optimierung mit KI-Methoden wie Physik-informiertes Machine Learning (ML), um Kristallwachstumspro-

zesse zu simulieren und zu steuern. Zusätzlich werden dynamische künstliche neuronale Netze (KNN) genutzt, um die komplexen Züchtungsprozesse zu optimieren und die Entwicklungszeit neuer Kristalle zu verkürzen. Der Prozessverlauf wird in Echtzeit vorhergesagt und schnelle Eingriffe ermöglicht. Aus diesen Bausteinen entsteht ein klarer Methodenrahmen: Entwicklungszeiten werden damit deutlich verkürzt, Ressourcen effizienter genutzt und der Transfer neuer Materialien in technologische Anwendungen beschleunigt. Ergebnisse werden nicht nur in hochrangigen Journals veröffentlicht, sondern entfalten einen direkten Impact auf die industrielle Produktion in verschiedenen Bereichen.

Grundlage sind gut aufbereitete Daten. Als Partner im NFDI-Konsortium FAIRmat bereitet das IKZ Materialdaten in der *NOMAD* (Novel Materials Discovery)-Umgebung auffindbar, nachvollziehbar und direkt nutzbar für KI-Analysen (*FAIR*) auf. In der Praxis erlaubt dies bereits heute Projekte und Prototypenentwicklungen in stabileren Prozessen und mit deutlich weniger Material- und Energieeinsatz.



Beschleunigte Prozessentwicklung am IKZ mittels künstlicher Intelligenz sorgen für optimierte Prozessparameter und bessere Kristallqualität und Wirtschaftlichkeit.

Mit seinen Ausgründungen stärkt das IKZ den Transfer in die Anwendung und trägt zur Technologie- und Versorgungssouveränität bei: *NextGo Epi* beispielsweise entwickelt und produziert hochwertige Galliumoxid-Halbleiter für die Leistungselektronik, wobei der Schwerpunkt auf dem Einsatz von KI zur Überwachung des Herstellungsprozesses und der Produktqualität liegt. Ein Algorithmus überwacht den Produktionsprozess, sodass schon während des Wachstums wichtige Eigenschaften gesteuert werden. In den Anwendungsbereichen erneuerbare Energien, E-Mobilität, Luft- und Raumfahrt und Energieversorgung ermöglichen die Produkte des Startups die Herstellung von innovativen elektrischen Leistungselektroniksystemen, die effizienter, zuverlässiger und kompakter sind.

Dank europäischer Wertschöpfungsketten leistet das IKZ einen bedeutenden Beitrag zu Technologie- und Versorgungssouveränität.

Das auf seinem Forschungsfeld in Europa führende IKZ hat mit Partnern eine *interaktive EU-Karte* zu

Forschungs- und Industrieaktivitäten bei kristallinen Materialien erstellt, die als „Wissensmakler“ Partnerfindung, Statusanalysen zu Lücken und Lieferketten sowie den Aufbau europaweiter Netzwerke unterstützt, um die strategische Wettbewerbsfähigkeit der EU in Elektronik und Photonik zu stärken.

Auch über die Leibniz-Gemeinschaft hinaus wirken die PFI-gestützten Vernetzungsstrukturen: Als globaler Treffpunkt für die internationale Informatik-Community bringt Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik (LZI) Spitzenforscher zusammen und stärkt die Entwicklung von ML, neuronalen Netzen oder KI-Grundlagen sowie deren Anwendungen. Die direkt hieraus entstehenden Arbeiten – rund 1.650 Publikationen in der Laufzeit des PFI – erscheinen in Top-Journals oder Konferenzen (siehe *Dagstuhl's Impact*). In den vergangenen Jahren wurden in mehreren Linien rund 40 Seminare etwa zu „vertrauenswürdiger KI“ und zu anwendungsorientierter KI-Forschung in den Feldern Klimaforschung oder Raumfahrt organisiert.



Grafische Darstellung der Vernetzung in der EU bezüglich Wissenschaft und Technologie bei strategischen Kristallen.

4.4 Die besten Köpfe gewinnen und halten

Interdisziplinäre Promotionsprogramme für Data Science und Domänenforschung (Helmholtz-Gemeinschaft)

Die Bearbeitung komplexer Fragestellungen in Forschung und Anwendung erfordert heute Wissenschaftler:innen, die fachliche Problemstellungen durchdringen und zugleich datenwissenschaftliche Methoden sicher einsetzen können. An dieser Schnittstelle entstehen Kompetenzprofile, die neue Erkenntnisse hervorbringen und zugleich dazu beitragen können, Lösungen für gesellschaftlich und wirtschaftlich relevante Anwendungsfelder zu entwickeln.

Mit dem Helmholtz Information & Data Science School System (HIDS School System) hat die Helmholtz-Gemeinschaft ein Qualifizierungssystem geschaffen, das genau auf dieses Kompetenzprofil zielt. In interdisziplinären Promotionsprogrammen werden Promovierende an der Schnittstelle von Data Science und Domänenforschung qualifiziert und in einem Umfeld gefördert, das die Verbindung beider Perspektiven systematisch unterstützt. Hierfür investiert die Helmholtz-Gemeinschaft in das HIDS School System. Bis Ende 2025 belief sich das Investment auf über 40 Mio. Euro aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds bzw. der Grundfinanzierung. Hinzu kommen weitere Beiträge der Zentren.

Interdisziplinäre Qualifizierung

In den sieben Research Schools forschen Promovierende in interdisziplinären Betreuungskonstellationen und Forschungszusammenhängen, die fachliche Expertise, methodische Reflexion und Austausch über institutionelle Grenzen hinweg verbinden. Die Helmholtz Information & Data Science Academy (HIDA) stärkt dieses Umfeld als Dachstruktur, indem sie übergreifende Angebote ermöglicht, die Schools verbindend und koordinierend unterstützt und damit gemeinsame Qualitätsprinzipien und Sichtbarkeit nach außen fördert.

Seine Wirkung entfaltet das HIDS School System über die Personen, die es qualifiziert. Sie tragen ihre Fähigkeit, unterschiedliche Perspektiven zu verbinden, in Forschung, Wirtschaft und Gesellschaft hinein und können dort zu belastbareren Erkenntnissen, besseren Entscheidungen und neuen Lösungswegen beitragen.

Die Breite dieser Wirkung zeigt sich auch in der Dimension des Systems. Ende 2025 waren 453 Promovierende eingeschrieben, 109 Promotionen erfolgreich abgeschlossen und 428 peer-reviewte Publikationen allein im Jahr 2025 veröffentlicht. Die weiteren Wege von Absolventinnen und Absolventen führen an Universitäten und Forschungseinrichtungen, in datenintensive Unternehmen, in die Energie- und Technologiebranche, in Beratungskontexte und in anwendungsnahe Felder mit hoher gesellschaftlicher Relevanz.

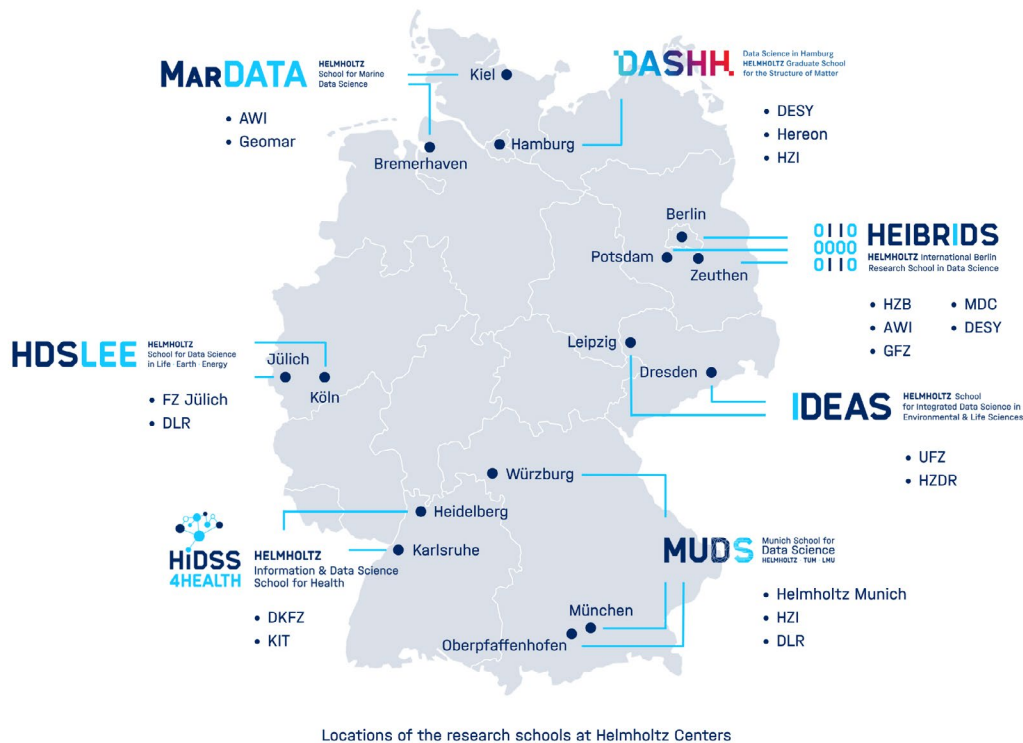
Kompetenz in gesellschaftlich relevanten Anwendungsfeldern

Besonders greifbar wird das im HIDS School System aufgebaute Kompetenzprofil dort, wo datenwissenschaftliche Methoden in sensible Entscheidungszusammenhänge hineinwirken. Dies betrifft Felder, in denen wissenschaftliche Erkenntnisse unter hoher fachlicher Verantwortung in konkrete Handlungszusammenhänge übersetzt werden müssen, etwa in der Energieversorgung, in kritischen Infrastrukturen oder in der Gesundheitsversorgung. Das Wirkungspotenzial einer solchen Qualifizierung wird in einem Promotionsprojekt an der Helmholtz Information & Data Science School for Health (HIDSS4Health) am DKFZ in Heidelberg deutlich. Paula Breitling hat zur Entwicklung des „Knowledge Connector“ beigetragen, einer Software, die genetische Befunde, Mutationen, Medikamenteninformationen, Studien und aktuelle Literatur patientenbezogen verknüpft und strukturiert zugänglich macht. In der personalisierten Krebsmedizin, in der klinisch relevante Evidenz häufig in getrennten Systemen und Formaten vorliegt, kann ein solcher Ansatz dazu beitragen, Entscheidungsprozesse konsistenter, transparenter und methodisch besser abgesichert zu gestalten. Daran zeigt sich, wie aus dieser Qualifizierung Beiträge für gesellschaftlich relevante Anwendungskontexte entstehen können.

Kompetenz für komplexe Zukunftsfragen

Wo aus großen und komplexen Datenbeständen belastbare Modelle, Vorhersagen und methodisch abgesicherte Einschätzungen entstehen müssen, kommt es besonders auf diese Form der Qualifizierung an. Solche Anforderungen prägen Felder, in denen Unsicherheit, Rechenaufwand und Prognosefähigkeit zentral sind, etwa in der Klimaforschung und in technologischen Zukunftsfeldern. Welches Potenzial in

Helmholtz Information & Data Science Schools



Übersicht der sieben Helmholtz Information & Data Science Schools. Die blauen Linien zeigen die Standorte der jeweils beteiligten Helmholtz-Zentren an.

einer solchen Qualifizierung liegt, zeigt ein Promotionsprojekt an der Helmholtz School for Marine Data Science (MarDATA). Sonal Pravinbhai Rami hat auf Basis maschinellen Lernens Verfahren entwickelt, um ozeanische Dynamik effizienter zu rekonstruieren und verlässlicher vorherzusagen. Diese Arbeiten verbessern die Grundlage, auf der Klimaprojektionen verglichen, Unsicherheiten eingeordnet und Risiken bewertet werden können. In eine ähnliche Richtung weist das Promotionsprojekt an der Helmholtz Graduate School for the Structure of Matter (DASHH), das softwarebasierte Verfahren zur Fehleranalyse und -kompensation im Quantencomputing entwickelt. Es entstehen so Kompetenzen, mit denen komplexe Entwicklungen belastbarer modelliert und projiziert werden können.

Kompetenz für den Transfer in wirtschaftliche Kontexte

Die Verbindung der Perspektiven schafft besondere Voraussetzungen dafür, dass aus Domänen- und datenwissenschaftlicher Expertise Innovation wird. Sie ermöglicht, Forschungsfragen im Austausch mit Praxispartnern zu entwickeln, methodische Ansätze an realen Daten und Prozessen zu erproben und die eigene Arbeit auf Anforderungen außerhalb des akademischen Umfelds zu beziehen. Wie die HIDS Schools auf solche Kontexte vorbereiten, zeigt der Industry Track der Munich School for Data Science (MUDS), der Unternehmen und wissenschaftlichen Nachwuchs gezielt für gemeinsame Forschungsvorhaben zusammenführt. In Kooperationen mit Partnern wie Roche oder Boehringer Ingelheim entstehen Konstellationen, in denen neue KI-Methoden früh in industrielle Entwicklungszusammenhänge gelangen und zugleich Kompetenzen aufgebaut werden, die

über die Promotionsphase hinaus tragfähig bleiben. Auf diese Weise entstehen Qualifikationen, die später in wirtschaftlichen Kontexten in Innovation, Entwicklung und Anwendung wirksam werden können.

Von Kompetenz zu Wirkung

Die HIDS Schools tragen mit ihrem Ausbildungssystem dazu bei, komplexe gesellschaftliche Herausforderungen anzugehen. Sie qualifizieren Forschende, die datenbasierten Lösungen in sensiblen Anwendungsfeldern entwickeln, komplexe Zusammenhänge belastbarer modellieren und Innovation im wirtschaftlichen Kontext voranbringen.

Patientenversorgung und medizinische Forschung vereinen (Deutsche Forschungsgemeinschaft)

Das vierte forschungspolitische Ziel des Pakts für Forschung und Innovation (PFI) IV ist darauf ausgerichtet, exzellente Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für das deutsche Wissenschaftssystem zu gewinnen und ihnen attraktive Karrierebedingungen über die gesamte wissenschaftliche Laufbahn zu bieten. Explizit gewünscht sind dabei auch Entwicklungspfade für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in frühen Karrierephasen neben und außerhalb der Wissenschaft. An diesem Punkt setzt die Clinician Scientist-Förderung der DFG an, die illustriert, wie die besten Köpfe in der medizinischen Forschung gefördert werden und wie ihre Forschung direkten Impact in der Patientenversorgung entfalten kann.

Zur Vereinbarkeit von Forschung und Facharztweiterbildung

Clinician Scientists sind Ärztinnen und Ärzte, die klinisch arbeiten und gleichzeitig wissenschaftlich forschen – sie schlagen die Brücke zwischen Krankenbett und Labor, behandeln Patientinnen und Patienten und führen eigenständige Forschung durch. Wissenschaftlich aktive Medizinerinnen und Mediziner sind für die klinische Forschung im Allgemeinen sowie für die Universitätsmedizin im Speziellen unverzichtbar, denn sie helfen, die Lücke zwischen hochwertiger Patientenversorgung und Forschung zu schließen. Darüber hinaus sichern sie den Transfer neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Praxis. Gleichzeitig sind Clinician Scientists für die gesamte lebenswissenschaftliche Forschung von

großer Bedeutung, da sie als hoch ausgebildete Spezialistinnen und Spezialisten wichtige Ansprechpersonen für Technologieentwicklung und Grundlagenforschung sind. Der Balanceakt, immer wieder zwischen Patientenversorgung auf der einen und Forschung auf der anderen Seite zu vermitteln, stellt somit eine Grundbedingung universitätsmedizinischer Forschung dar.

Diese spezifische Position der Clinician Scientists stellte lange Zeit eine große Herausforderung dar und war hinsichtlich Karriereentwicklung und Vereinbarkeit beider Tätigkeiten von ungelösten Schwierigkeiten geprägt. Merklich ließ das Engagement für wissenschaftliche Leistungen und Qualifikationen zwischen dem 30. und 40. Lebensjahr – parallel zur Facharztqualifikation – nach. Die Aufrechterhaltung von Forschungsaktivitäten wurde zusätzlich dadurch erschwert, dass vielfach gleichzeitig Forschungs-Expertise erworben, die Facharztweiterbildung absolviert und eine Familie gegründet wurde. Aus dem Kreis wissenschaftlich Forschender in frühen Karrierephasen wurden regelmäßig Forderungen nach definierten und verlässlichen Karrierewegen in der Universitätsmedizin, besserem Kompetenzerwerb in der Forschung, besserer Sichtbarkeit, kollegialer Akzeptanz und angemessenerer Vergütung für klinisch und wissenschaftlich tätige Ärztinnen und Ärzte erhoben.

Zur Entstehung der Clinician Scientist-Förderung der DFG

Das wissenschaftliche Gremium der DFG, der Senat, richtet zu verschiedensten Themen Senatskommissionen ein, die Stellungnahmen zu gesellschaftlich relevanten Fragestellungen geben und Fragen mit besonderem Koordinierungsbedarf bearbeiten. Letzteres setzte die DFG-Senatskommission für Grundsatzfragen in der Klinischen Forschung 2015 um, als sie Empfehlungen zur Etablierung eines integrierten Forschungs- und Weiterbildungsprogramms für Clinician Scientists parallel zur Facharztweiterbildung gab. Befürwortet wurde die Einrichtung von Clinician Scientist-Programmen zur Strukturierung der ärztlichen Qualifikationsphase hinsichtlich wissenschaftlicher, um die Motivation für wissenschaftliches Arbeiten klinisch tätiger Ärztinnen und Ärzte aufrechtzuerhalten und kontinuierliches wissenschaftliches Denken und Arbeiten zu fördern.

Diesen Empfehlungen folgend, hat die DFG 2018 erstmalig die Förderung von Clinician Scientist-Programmen in der Universitätsmedizin ausgeschrieben, eine zweite Ausschreibung folgte 2021. Im Rahmen der Ausschreibungen konnten bei der DFG Mittel für die geschützte Forschungszeit von Clinician Scientists für jeweils drei Jahre beantragt werden. Konkret übernahm die DFG 80 Prozent der Kosten für die sogenannten Rotationsstellen, während Medizinische Fakultäten die restliche Forschungszeit sowie die Finanzierung der klinischen Weiterbildung tragen sollten, um eine gesicherte Integration von Forschung und Klinik zu ermöglichen. Die Programme sollten zudem Qualifizierungs- und Mentoringkonzepte sowie Maßnahmen zur Förderung der Chancengleichheit und zur Vereinbarkeit von wissenschaftlicher Karriere und Familie enthalten. Auch die Nachhaltigkeit der geschaffenen Strukturen war von Anfang an mitgedacht: Nach Abschluss der DFG-Förderung sollten die Programme dauerhaft in der Universitätsmedizin verankert werden.

Es zeigte sich ein breites Interesse der medizinischen Community: 35 der damals 38 Medizinischen Fakultäten stellten innerhalb der zwei Ausschreibungen einen Antrag. Im Rahmen der beiden Ausschreibungsrunden wurden Clinician Scientist-Programme an insgesamt 23 Standorten etabliert. Thematisch decken sie die gesamte Breite der medizinischen Forschung ab. Dazu zählen Volkskrankheiten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Krebs, ebenso wie Autoimmun- und Infektionskrankheiten. Darüber hinaus widmen sich die Programme innovativen Ansätzen, wie beispielsweise der digitalen und evolutionären Medizin. Sie werden mit rund 72 Millionen Euro und einer Laufzeit von bis zu fünf Jahren gefördert. Davon wurden circa 60 Millionen Euro für die Förderung von rund 400 Personen aufgewendet; weitere zwölf Millionen Euro dienten dem Aufbau fester Qualifizierungs- und Unterstützungsstrukturen.

Zum Impact der Förderung

Seit den Empfehlungen der DFG-Senatskommission im Jahr 2015 und der ersten Ausschreibung hat sich die Landschaft der Clinician Scientist-Förderung in Deutschland nachhaltig verändert. Wie eine Umfrage des Medizinischen Fakultätentags aus dem Jahr 2023 zeigt, kam es zu einer flächendeckenden Institutionalisierung von Clinician Scientist-Programmen: mittlerweile bieten 38 der 39 Medizinischen

Fakultäten in Deutschland derartige Programme an, insgesamt existieren nun 131 Programme. Dabei ist die DFG der größte Drittmittelgeber, andere Förderer sind u. a. die Else Kröner-Fresenius-Stiftung oder die Deutsche Krebshilfe. Das Konzept der strukturierten Förderung wurde konsequent weiterentwickelt und auch auf spätere Karrierestufen ausgeweitet. So unterstützt das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFT) seit 2021 sogenannte Advanced Clinician Scientist-Programme für Ärztinnen und Ärzte nach Abschluss der Facharztweiterbildung. Die flächendeckende Institutionalisierung und Erweiterung der Programme zeigt deutlich, dass Clinician Scientists als Berufsbild mittlerweile fest etabliert sind und die spezifischen Bedarfe dieser wissenschaftlichen Community durch die Förderung der DFG und weiterer Organisationen adressiert wurden. Auch international hat der in Deutschland gewählte Ansatz Beachtung gefunden, etwa durch einen Beitrag in der renommierten Fachzeitschrift *Nature Medicine*.

Stets auf die bestmögliche Wirkkraft ihrer Förderinstrumente bedacht, plant die DFG eine Überprüfung des Programms, um die Passung von Förderzielen und -resultaten zu evaluieren. Dieses Ziel verfolgte auch ein im Frühjahr 2025 durchgeführtes Austauschgespräch von im Rahmen der Clinician Scientist-Programme geförderten Forschenden. Zentral bleibt die Frage der Verstetigung der Programme nach Auslaufen der DFG-Förderung, um eine verlässliche, langfristige Finanzierung sicherzustellen. Auch die konzeptionelle Arbeit an den Karriereperspektiven der forschenden Ärztinnen und Ärzte ist noch nicht abgeschlossen. So hat 2025 die DFG-Senatskommission für Grundsatzfragen in der Klinischen Forschung Empfehlungen für mögliche Karrierewege und Zielpositionen für Clinician Scientists in der Universitätsmedizin ausgesprochen. Um den begonnenen Prozess weiter zu unterstützen und die dualen Strukturen in der Universitätsmedizin auszubauen, spricht sich die DFG für eine transparente, verbindliche und nachhaltige Personalentwicklung – ähnlich dem wissenschaftlichen Tenure Track – aus. Hierfür müssen ausreichend viele und vielfältige Stellenprofile geschaffen werden, um Ärztinnen und Ärzten langfristige, planbare und attraktive Perspektiven zu bieten. Nur so kann sichergestellt werden, dass die besten Köpfe weiterhin für die medizinische Forschung zur Verfügung stehen und ihre Erkenntnisse

DFG-geförderte Clinician Scientist-Programme an staatlichen Medizinischen Fakultäten



in neue präventive, diagnostische und therapeutische Verfahren einbringen können. Zur weiteren Bearbeitung dieser Fragen sowie für die Finanzierung der besten medizinischen Forschung bietet der PFI mit seiner garantierten, langfristigen Finanzierung eine ideale Grundlage.

4.5 Infrastrukturen für die Forschung stärken

Industrielle Revolution für die Krebstherapie (Fraunhofer-Gesellschaft)

Künstliche Intelligenz statt Handarbeit: Die hochautomatisierte Herstellung soll die CAR-T-Zelltherapie bezahlbar machen. Eine erste Produktionsplattform existiert bereits.

Die CAR-T-Zelltherapie ist ein Lichtblick in dem düsteren Kapitel der Krebserkrankungen. Doch dieser neue Ansatz hat seinen Preis: Die Hersteller verlangen bis zu 300 000 Euro allein für die Produktion der individuellen genmodifizierten Immunzellen für an Krebs erkrankte Menschen.

Bislang ist diese Behandlung lediglich zugelassen für spezielle Formen von Leukämie und Lymphom. Da die CAR-T-Zelltherapie jedoch intensiv beforscht wird, könnte sie bald auch für andere Krebsarten infrage kommen oder gar präventiv eingesetzt werden. Gut aus Sicht der Betroffenen – doch eine finanzielle Last für das ohnehin bereits ächzende Gesundheitssystem.

Am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT entwickeln Forschende deshalb in dem EU-geförderten Projekt AIDPATH (»AI powered, Decentralized Production for Advanced Therapies in the Hospital«) gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI sowie Unternehmen und Einrichtungen aus sieben Ländern eine Anlage, die CAR-T-Zellen hochautomatisiert herstellt. Seit Sommer 2025 steht der Prototyp einer solchen Laborplattform im Universitätsklinikum Würzburg.

Von der T-Zelle zum versandfertigen Endprodukt

Was bislang von Fachkräften händisch erledigt werden muss, übernimmt jetzt die Maschine: »In einem ersten Schritt werden die T-Zellen aus dem Blut der Patientin oder des Patienten separiert und aktiviert, sodass sie sich vermehren«, erklärt Medizintechniker Dr.-Ing. Bastian Nießing, Abteilungsleiter Bio-Adaptive Produktion am Fraunhofer IPT und Projektkoordinator. »Im nächsten Step wird der passende CAR-Rezeptor in die T-Zellen eingefügt – entweder über einen Virus oder aber via Elektroporation, also eine elektrisch induzierte Durchlässigkeit der Zellmembran.« Danach werden die CAR-T-Zellen in einem Bioreaktor vermehrt, schließlich geerntet, aufgereinigt, abgefüllt und kontrolliert. Das Endprodukt ist bereits tiefgekühlt und damit transportfähig.

Der hohe Automatisierungsgrad senkt nicht nur die Personalkosten der Produktion, sondern auch die Fehlerquote. Nießing: »Viele der Tätigkeiten in der händischen Herstellung von CAR-T-Zellen sind sehr repetitiv und dadurch fehleranfällig. Die Maschine hingegen arbeitet rund um die Uhr auf gleichbleibendem Qualitätsniveau.« Die am Fraunhofer IPT entwickelte Software COPE ermöglicht eine einfache Bedienung der Plattform.

Die Verwendung Digitaler Zwillingszellen erlaubt zudem eine KI-gestützte Produktionsplanung. Mittels Künstlicher Intelligenz werden etwa die Parameter



Produktion direkt am Ort der Behandlung: Prof. Dr. Michael Hudecek, Fraunhofer IZI, und Dr. Bastian Nießing, Fraunhofer IPT, bei der Übergabe der AIDPATH-Plattform an ihren finalen Einsatzort, dem Universitätsklinikum Würzburg.

im Bioreaktor optimiert, sodass die Zellkulturen dort im idealen Tempo wachsen und zum bestmöglichen Zeitpunkt geerntet werden können. Nießing: »Das garantiert, dass ich – unabhängig von der Anzahl oder Güte der Zellen zu Beginn des Prozesses – am Ende immer ein patientenindividuelles, qualitativ hochwertiges und sicheres Produkt erhalte.« Durch die Integration von Patientendaten, Produktionsparametern und Therapie-Monitoring verbessert sich die KI kontinuierlich.

Die CAR-T-Zellen werden durch die Produktionsplattform nicht schneller hergestellt, »das ist ein biologisch limitierter Prozess, der nun einmal zwei bis drei Wochen benötigt«, erklärt Nießing. Die Skalierungsmöglichkeiten der Technologie liegen also nicht in der Geschwindigkeit, sondern in der Menge pro Zeitraum. Der Plattform-Prototyp kann bereits Zellen für bis zu zwölf Krebserkrankte parallel herstellen. Das Fraunhofer IPT arbeitet zudem mit einem Lizenznehmer an einer Anlage, die bis zu 10.000 Produkte pro Jahr generieren kann. Dadurch ließen sich die Produktionskosten im Vergleich zur manuellen Herstellung langfristig um ein Drittel senken, glaubt Nießing.

Inwiefern diese Ersparnis sich im Endpreis einer CAR-T-Zelltherapie niederschlagen wird? Nießing vermutet, dass sich die Therapiekosten bei 150 000 bis 200 000 Euro einpendeln werden – und damit gleichziehen mit denen für eine Chemotherapie. Für die Patientinnen und Patienten wäre das bereits ein Gewinn.



Die Immunzellen des Patienten und das genetische Material für den Rezeptor werden in einer Küvette zusammengeführt. Durch das Anlegen elektrischer Impulse gelangt die Erbinformation in das Genom der Zelle.

CAR-T-Zelltherapie: Neue Hoffnung gegen Krebs

In der CAR-T-Zelltherapie (chimärischer Antigen-Rezeptor, CAR) werden Immunzellen des Körpers, die sogenannten T-Zellen, genetisch modifiziert und mit einem Rezeptor versehen, der Tumorzellen erkennt und gezielt angreift. Bisher konnte die Therapie nur gegen Blutkrebs eingesetzt werden. Eine neue Therapievariante zielt jetzt auch auf solide Tumore wie Eierstock- oder Brustkrebs. CAR-T-Zellen können Metastasen im Körper erkennen und bekämpfen. Deshalb könnten gerade Patientinnen und Patienten mit metastasierten Tumoren von der neuen Therapie profitieren.

Fraunhofer hilft, die wissenschaftliche Exzellenz in die Praxis zu bringen: Die Forschungsteams decken das Spektrum vom Design der Zellprodukte bis hin zu klinischen Studien ab.

DESY – von der Grundlagenforschung zur Gestaltung eines lebendigen Innovations-ökosystems (Helmholtz-Gemeinschaft)

Forschung an der Grenze des Machbaren: wie eine Großforschungsanlage zum Hebel für Innovation wird

Es gibt auf der Welt nur eine Handvoll Röntgenlichtquellen, die so leistungsfähig sind wie PETRA III. Mit ihr blicken Forschende am Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY in Hamburg tief in die molekularen Strukturen ihrer Proben. Sie analysieren die Anordnung der Atome in Kristallgittern und entschlüsseln sogar dynamische Prozesse und chemische Reaktionen im Innersten von Materialien. PETRA III ist ein mächtiges Gerät der Grundlagenforschung, für dessen Bau und Betrieb seit 2007 rund 850 Mio. Euro investiert wurden. Wie sehr sich das schon ökonomisch lohnt, belegt eine Studie des Fraunhofer ISI: Allein durch Beschäftigung und Beschaffung ist mit PETRA III bereits ein Zusatznutzen von etwa 2,25 Mrd. Euro entstanden.¹² Die Pakt-Finanzierung ermöglicht den Betrieb von PETRA III als Anlage für universitäre, außeruniversitäre sowie industrielle Nutzung. So wird diese große Forschungsinfrastruktur zu einem Hebel, der Nutzen auf vielen Ebenen stiftet.

Ein offensichtlicher Nutzen liegt in der **Forschung** selbst: Mehr als 3.500 internationale Nutzer:innen führen pro Jahr mit PETRA III Experimente durch. 44 von 57 Exzellenzclustern der 1. Förderperiode nutzten bis Oktober 2025 DESYs Forschungsinfrastruktur und Expertise. An PETRA III entfallen rund 30 % der Strahlzeit auf Life Sciences (z. B. Proteinkristallografie, hochauflösende Bildgebung) und etwa 27 % auf materialwissenschaftliche Fragestellungen vor allem im Bereich Energie wie z. B. für Batterien oder Solarzellen. Für einzelne Forschungsfragen entstehen am DESY außerdem oft völlig **neue Mess- und Analyseverfahren**, etwa X-Ray Fluorescence Imaging (XFI) für biomedizinische Anwendungen. Diese Methoden aus der Grundlagenforschung stehen dann im nächsten Schritt auch für Industrie und angewandte Wissenschaft zur Verfügung. So ist PETRA III längst ein Musterbeispiel geworden für

den **ganzheitlichen Nutzen von Röntgenlichtquellen** für verschiedenste Herausforderungen. Das alles schafft eine sehr besondere Umgebung für die **Qualifizierung von Fachkräften und Sensibilisierung für MINT**: Jährlich arbeiten über 1.000 Nachwuchswissenschaftler:innen an PETRA III. Zusätzlich bildet DESY durchgehend rund 100 Auszubildende in mehr als zehn Berufen aus und heißt jedes Jahr ca. 7.000 Schüler:innen in seinem Schülerlabor willkommen. Und das DESY Start-up Office organisiert über 50 Beratungsangebote und Schulungen pro Jahr zu Entrepreneurship.

Im Kontext der Helmholtz Innovation Plattform „Hi-Acts“, die den effizienten Zugang zu Beschleunigertechnologien und Anlagen wie PETRA III für Partner aus Industrie und Medizin ermöglicht, wird ebenso die direkte Wirkung von Pakt-Mitteln deutlich. Zentral durch DESY gemanagt, bündelt sie auch die Expertise der Helmholtz-Zentren GSI, Hereon, HZDR und HZB.

Exzellenz und Forschungskompetenz: zählbare Erfolge

Die Ergebnisse dieser Aktivitäten sind beeindruckend vielfältig. Seit 2010 sind auf Basis von PETRA-III-Daten über **7.000 Fachpublikationen** erschienen, viele in hochrangigen Journalen wie Nature oder Science. Die Illustration der Themencluster (nachfolgende Abbildung) zeigt, dass auch die Schlüsseltechnologien der Hightech Agenda Deutschland seit Langem an PETRA III erforscht werden. Zu Fragen der Mikroelektronik etwa sind mehr als 650 Arbeiten erschienen (blau), Experimente zu klimaneutraler Mobilität und Energie sind mit fast 900 Publikationen (grün) vertreten.

Dass viele dieser Forschungsergebnisse ganz praktischen Nutzen haben, belegen Zitate in **530 Patentfamilien** und Drittmittel in Höhe von rund 25 Mio. Euro, die für Transferprojekte eingeworben wurden. Auch eine Kooperation zwischen DESY und Fraunhofer mit bislang 25 gemeinsamen Pilotprojekten sorgt für den stetigen Austausch zwischen Grundlagenforschung und der Entwicklung von

¹² Kroll, H.; Stahlecker, T.; Zenker, A. (2023): Impact-Studie für die Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III im Kontext des Forschungs- und Innovationsökosystems DESY, mit Ausblicken auf das strategische Erweiterungsvorhaben PETRA IV. Fraunhofer ISI, Karlsruhe. <https://doi.org/10.24406/publica-1929>

Hightech-Anwendungen. DESYs Einnahmen aus Industriestrahlerzeit, gemeinsam mit den Campuspartnern Hereon und Europäisches Molekularbiologie-Laboratorium (EMBL), sind auch durch solche Projekte von etwa 120.000 Euro (2018) auf rund 1,5 Mio. Euro (2025) gestiegen.

Und so schließt sich der Kreis der positiven Wirkungen: Auch Industrieprojekte beflügeln nämlich ihrerseits wieder den Wissenschaftsbetrieb. Sie tragen dazu bei, dass insgesamt rund **120 Promovierende pro Jahr** ihre Dissertationen an PETRA III abschließen, immer öfter mit praxisnahen Themen. In der **DESY Start-up School** entwickelten zudem seit 2022 rund 90 Teilnehmer:innen aus Forschungsergebnissen mehr als 30 Geschäftsideen.

Auch die Innovationsplattform Hi-Acts hat bereits 22,3 Mio. Euro an Drittmitteln für Industriekooperationen mobilisiert. Das alles ist nicht bloß der Erfolg von DESY oder PETRA III allein. Er wird getragen von einer Community aus **105 mitwirkenden Institutionen**. Mit Präsenzen auf 117 Branchenevents, eigenen Fachveranstaltungen sowie einer Online-Community mit 1.500 Followern forciert Hi-Acts den direkten Technologietransfer zwischen Forschung und Wirtschaft.

Erkenntnisgewinn und Wertschöpfung für Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft

„PETRA III bietet Zugang zur bildgebenden Analytik“ – das mag abstrakt klingen. Aber die Nutzung der Röntgenlichtquelle eröffnet in unterschiedlichsten Feldern sehr konkrete neue Handlungsmöglichkeiten im globalen Wettbewerb. So nutzen etwa Pharmafirmen High-Throughput-Analysemethoden aus der DESY-Forschung, um die **Entwicklungszeiten neuer Medikamente** zu verkürzen – und können damit ihre Innovationskraft erhöhen. Die Röntgenanalytik ermöglicht auch neue Ansätze in Medizin und Pathophysiologie. Mit 3D-Rekonstruktionen von Lungengewebe können etwa molekularbiologische **Mechanismen von Erkrankungen** besser verstanden und Therapien zielsicherer entwickelt werden. Und mit Untersuchungen an Halbleiterkristallen wollen Unternehmen und Institute ganz konkret Materialien für **effizientere Solarzellen oder Mikrochips** entwickeln. Ergebnisse aus Material-, Energie- und Gesundheitsforschung liefern den Verantwortlichen in Wirtschaft und Politik die Grundlagen für evidenzbasierte Entscheidungen – von der konkreten Produktentwicklung eines Unternehmens bis hin zu allgemeinen Regeln und Gesetzen – und



PETRA III Publikationen (N=7.337, 2010–2025, Listung in WoS & ISI) – nach ihrer inhaltlichen Nähe angeordnet.

leisten so auch einen wichtigen Beitrag zu Technologiesouveränität und gesellschaftlicher Resilienz.

Große Forschungsinfrastruktur – große Wirkung

Zwei DESY-Beispiele sollen illustrieren, wie eine Anlage wie PETRA III wahrhaft globale Herausforderungen auf mehreren Ebenen angehen hilft.

Zu Beginn der Corona-Pandemie wurde PETRA III genutzt, um die Struktur von Lipid-Nanopartikeln zu analysieren, die als Transporter für **mRNA-Impfstoffe** dienen. An der vom Europäischen Molekularbiologie-Laboratorium (EMBL) betriebenen Messstation P12 untersuchte die Firma BioNTech zusammen mit den Universitäten Mainz, Tel Aviv und Leiden sowie dem Forschungszentrum Jülich, wie sich die sogenannte Boten-RNA besser verpacken lässt, um eine bessere Wirkung im Zielorganismus zu erzielen. Ein wissenschaftliches Rätsel auf der Nano-Ebene. Aber mit erwiesener großer Wirkung: Der schnelle Zugang zur Röntgenstrahlung verkürzte die Entwicklungsprozesse erheblich und trug zur Optimierung der Impfstoffe bei. Diese Kooperation demonstrierte den direkten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Mehrwert der Großforschung bei der Bewältigung globaler Krisen.¹³

Ein zweites Beispiel: **Nachhaltige Elektromobilität**. Kupfer ist ein zentrales Material für Batterien, Motoren, Leistungselektronik. Doch seine industrielle Verarbeitung mit Standard-Schweißtechniken im Infrarotbereich ist aufwändig und ineffizient – weil Kupfer Infrarotstrahlung stark reflektiert. In einer Kooperation zwischen dem Unternehmen TRUMPF, dem Fraunhofer ILT und den Helmholtz-Zentren Heereon und DESY wurde gezeigt: Mit grünem Laserlicht nehmen die Elektronen im Kupfer die Energie besser auf, der Schweißprozess wird stabiler und effizienter. Diese Erkenntnis führt direkt zu einer günstigeren Produktion von Elektrofahrzeugen: ein unmittelbares Ergebnis der Zusammenarbeit der beiden Pakt-Organisationen Helmholtz und Fraunhofer mit einem Industriepartner.

Akkumulationseffekte im Innovationsökosystem: die Science City Hamburg Bahrenfeld als Start-up-Hotspot

Wie gezeigt wurde, funktioniert das „PETRA-III Teamwork“ schon mit Partnern in ganz Deutschland und Europa. Aber in direkter räumlicher Nachbarschaft wirkt es noch intensiver. Mit der Science City Hamburg Bahrenfeld entsteht rund um den DESY-Campus ein weltweit einzigartiges Wissenschafts- und Innovationsökosystem. Schon heute sind lokale Partner wie die Universität Hamburg, die TUHH und das Uniklinikum Eppendorf hier vertreten, ebenso wie Institute von Max-Planck, EMBL oder Gastforscher:innen von Fraunhofer. Die Forschungsinfrastruktur PETRA III wirkt wie ein Gravitationszentrum der Science City, in der sich bislang rund 40 Start-ups angesiedelt haben.

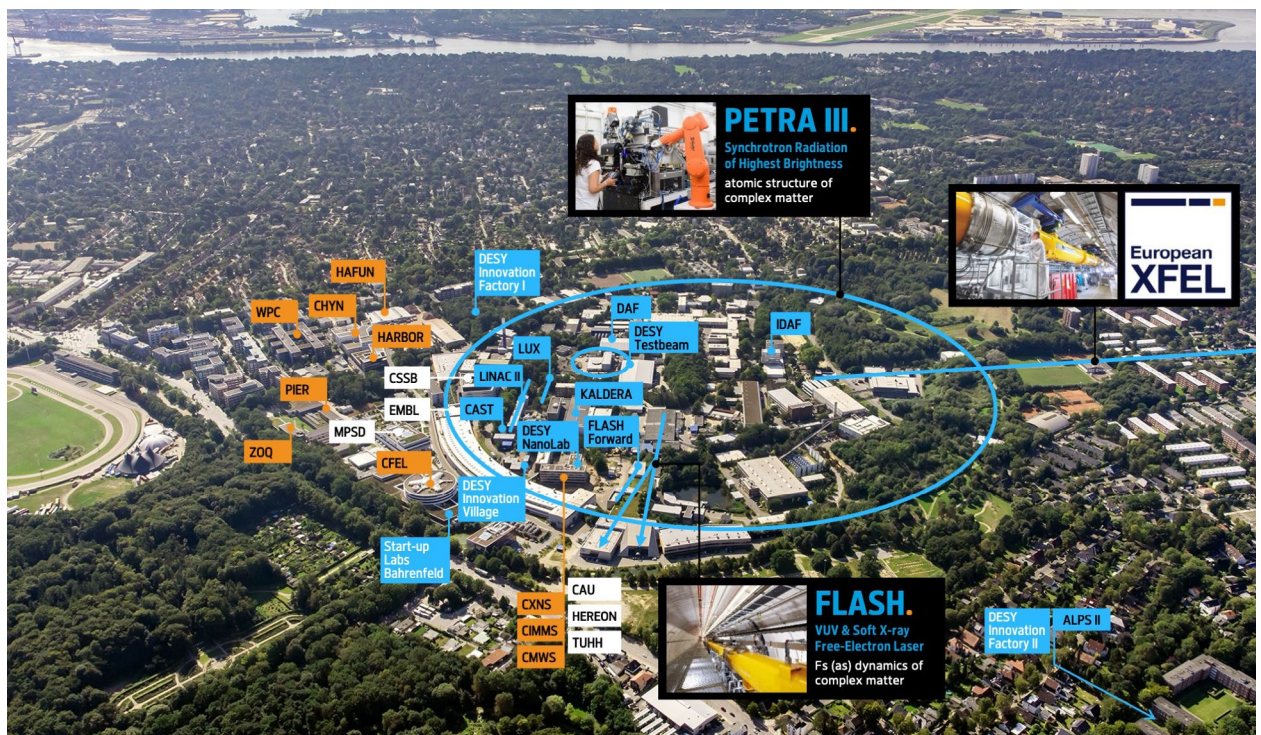
Und genau so ist das auch geplant. Denn die Nähe zur Forschungsinfrastruktur und zum Wissenschaftsbetrieb ist für junge DeepTech-Unternehmen essenziell. Das hat z. B. Haystack Oncology (Krebsdiagnostik) und Provirex (HIV-Gentherapie) angezogen, ebenso wie CrystalsFirst (Medikamentenentwicklung), Dinaqor (Therapien für Herzerkrankungen), X-Spectrum (Detektortechnologie) oder Cycle (Ultrapräzisionslaser). Und damit das Ökosystem immer dichter besiedelt wird, macht DESY es interessierten Firmen systematisch leicht: mit Einrichtungen wie dem DESY Innovation Village, den Start-up Labs oder dem techHub der Stadt Hamburg. Zwei weitere Gebäude der DESY Innovation Factory mit insgesamt 8.000 m² für Hightech-Labore und Büros befinden sich im Bau.

Spitzenforschung in ganz neuem Licht: PETRA IV

Große Forschungsinfrastrukturen sind die Ergebnisse langfristiger Investitionen. Durch sie entstehen nicht nur wissenschaftliche Erkenntnisse, sondern auch Anwendungen, Wertschöpfung und regionale Innovationsökosysteme. Mit dem bis 2032 angestrebten Upgrade auf die weltweit leistungsfähigste **Röntgenlichtquelle PETRA IV** wird dieser Effekt weiter skaliert. PETRA IV wird u. a. mit KI-Tools ausgestattet, um aus riesigen Datenmengen noch schneller neue Erkenntnisse und Ideen herauszuarbeiten. Ob bei der

¹³ https://www.desy.de/aktuelles/news_suche/index_ger.html?openDirectAnchor=1977&two_columns=0

Entwicklung besserer Batterien oder bei der Beschleunigung medizinischer Durchbrüche – PETRA IV wird als Innovationstreiber fungieren, der dazu beiträgt, wissenschaftliche Exzellenz in technologische Souveränität, wirtschaftliche Stärke und nachhaltigen gesellschaftlichen Fortschritt zu übersetzen.



DESY-Campus im Herzen der Science City Hamburg Bahrenfeld mit DESY-Großforschungsanlagen (schwarz), weiteren DESY-Anlagen (hellblau) und Innovationsinfrastrukturen (weiße Schrift), Campuspartner und Universitäten (weiß) sowie interdisziplinären Zentren und Initiativen (orange).

IMPRESSUM

Herausgeber

Gemeinsame Wissenschaftskonferenz (GWK)

Büro

Godesberger Allee 20

53175 Bonn

Telefon: (0228) 99 5402-0

Telefax: (0228) 99 5402-150

E-Mail: gwk@gwk-bonn.de

Internet: www.gwk-bonn.de

Bildnachweise

Titel: Adobe Stock/Luiz

S. 2: Adobe Stock/gumpapa

S. 10: iDiv/Stefan Bernhardt

S. 11: Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung Halle-Jena-Leipzig (iDiv)

S. 12: Klim Kireev, Yevhen Mykhno, Carmela Troncoso und Rebekah Overdorf unter Einsatz von Gephi

S. 13: Eller + Eller Architekten GmbH

S. 14: MPI für Sicherheit und Privatsphäre (oben und unten)

S. 16: Leibniz-HKI/Ramm

S. 17: CC BY 4.0/Bilder modifiziert von: Römpp, A., Treu, A., Kokesch-Himmelreich, J. et al. The clinical-stage drug BTZ-043 accumulates in murine tuberculosis lesions and efficiently acts against Mycobacterium tuberculosis. Nat Commun 16, 826 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56146-9>

S. 18: Leibniz-HKI/Ramm

S. 19: Fraunhofer ISC/Dieter Groneberg. Bild KI- generiert per DALL E (links); ESA (rechts)

S. 20: Fraunhofer ISC/Dieter Groneberg

S. 21: Gemeinfrei

S. 22: MPG/Daniel Gerst

S. 23: MPG

S. 24: IKZ/Moritz Thau

S. 25: IKZ

S. 26: IKZ/Anne Riemann

S. 28: Helmholtz

S. 31: DFG

S. 32: Universitätsklinikum Würzburg

S. 33: Fraunhofer IZI

S. 35: DESY/Christian Schroer

S. 37: DESY/Reimo Schaaf und Britta Liebaug

ISBN 978-3-947282-35-7