



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Erforschung von Universum und Materie – ErUM

Rahmenprogramm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	2
Mit neuem Wissen für die Zukunft vorsorgen	4
Teilchen, Materie und Universum erforschen	6
Teilchen: Was die Welt zusammenhält	6
Materie: Verstehen und verbessern	8
Universum: Empfang auf allen Frequenzen	8
Forschungsinfrastrukturen liefern Antworten	9
Gemeinsam Strategien entwickeln	12
Strategieprozesse zusammenführen	12
Leitziele und Handlungsfelder	14
Aktionspläne	15
Die Handlungsfelder des Programms	16–33
Die Großgerätelandschaft gestalten	16
Nachwuchs fördern, Spitzenkräfte gewinnen	22
Wissenschaft national und international vernetzen	26
Innovation stimulieren und Partizipation ermöglichen	30
Operative Umsetzung	34
Struktur des Programms	34
Förderinstrumente	35
Fachinformation	37
Fördermittel	37
Glossar	38
Impressum	41

Vorwort

Grundlagenforschung macht Deutschland fit für die Zukunft, dient sie doch weit mehr als nur dem reinen Erkenntnisgewinn: Aus ihr können auch technische Innovationen entstehen. Grundlagenforschung ist somit der Schlüssel, um wesentliche Fragen unserer Zeit zu beantworten: ganz gleich, ob es um Gesundheit, Mobilität oder zum Beispiel die Energieversorgung geht. Ohne naturwissenschaftliche Grundlagenforschung wäre der Fortschritt in unserem Land nicht möglich.

Allerdings gibt es dafür eine Voraussetzung – und das ist eine Wissenschaft, die offen, exzellenzbasiert und leistungsfähig ist. Nur sie kann neue, ungeahnte Perspektiven eröffnen. Denn wo oder wie man die neuen Erkenntnisse später anwenden kann, ist oft nicht vorhersehbar. Die Erfahrung lehrt uns aber, dass sie früher oder später ihren Weg in unseren Alltag finden. Ein Beispiel dafür ist Albert Einsteins Relativitätstheorie. Ursprünglich rein wissenschaftsgetrieben, findet sie heute unter anderem in Navigationssystemen Anwendung. An ihren Großgeräten untersuchen Grundlagenforscher die Struktur und Wirkung von Proteinen. Oder sie beobachten Batterien im Betrieb, um die für die Energiewende notwendigen Energiespeicher zu verbessern. Auf diese Weise erreicht uns aus der Grundlagenforschung ein kontinuierlicher Strom von Ideen und neuen Technologien mit Anwendungen in Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft.

Mit dem vorliegenden Rahmenprogramm „Erforschung von Universum und Materie“ fördert das BMBF exzellente naturwissenschaftliche Grundlagenforschung – von der Untersuchung aller kleinster Teilchen bis zur Erkundung der Weiten des Universums. Hierzu unterhält Deutschland modernste Forschungsinfrastrukturen in der ganzen Welt, auch in internationaler Zusammenarbeit. Wir stärken kompetenten wissenschaftlich-technischen Nachwuchs, der diese Forschungslandschaft lebendig macht. So schaffen wir erstklassige Bedingungen für Spitzenforschung in und aus Deutschland. Es entsteht ein attraktives Umfeld, in dem Visionen und Ideen zu neuen Erkenntnissen und Technologien reifen.

Mit dem Rahmenprogramm nimmt das BMBF gleichzeitig die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in die Verantwortung: Denn zu ihren Aufgaben gehört es auch, mit der Gesellschaft in einen breiten Dialog zu treten und ihre Arbeit zu erklären. Damit die Menschen der Forschung auch weiterhin offen gegenüberstehen, ist es erforderlich, dass sie den wissenschaftlichen Antrieb und den Nutzen wissenschaftlicher Erkenntnisse nachvollziehen können. Die Bürgerinnen und Bürger müssen dabei erkennen können, dass die Forschung ihnen auch direkt zugutekommt. Nur dann kann sich das Potenzial der Forschung voll entfalten. Auch die Wirtschaft ist Teil dieses Netzwerks. Gute Ideen und digitale Methoden aus der Grundlagenforschung müssen ihren Weg schneller in konkrete Anwendungen finden. Solche Technologien sollen möglichst schnell zum Nutzen der Menschen eingesetzt werden. Deshalb ist das Rahmenprogramm auch in die Hightech-Strategie 2025 des Bundes eingebettet.

Deutschland investiert in Grundlagenforschung, damit es auch künftig ein führender Wissenschafts- und Innovationsstandort ist. Von starker Forschung profitieren alle: die Hochschulen und Wissenschaftsorganisationen, genauso wie Wirtschaft und Gesellschaft.

Ihr Bundesministerium für Bildung und Forschung



Die Photonenquelle PETRA III in Hamburg ist weltweiter Anziehungspunkt für Expertinnen und Experten aus Physik, Chemie, Biologie, Materialforschung und anderen Forschungsfeldern.



Mit neuem Wissen für die Zukunft vorsorgen

Grundlagenforschung ist Zukunftsvorsorge für nachfolgende Generationen. Die Erforschung von Teilchen, Materie und Universum erweitert das Wissen von heute und schafft die Grundlage für Technologien von morgen und übermorgen. Intensive Forschungsanstrengungen sichern Deutschlands wirtschaftliche Zukunft und damit langfristig den Wohlstand unserer Gesellschaft. Dabei nutzt die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung faszinierende Techniken an der Grenze des Machbaren und bringt exzellente neue Ideen hervor. Die langfristig angelegte Förderung erstklassiger Grundlagenforschung macht Deutschland zu einem attraktiven Standort für die besten Forscherinnen und Forscher aus aller Welt.

Einer der ersten Handgriffe am Morgen gilt heute bei vielen Menschen dem Smartphone – um den Wecker abzuschalten, um einen Blick auf die aktuellen Nachrichten zu werfen oder um schnell die Termine und das Wetter des beginnenden Tages zu prüfen. Während des ganzen Tages ist dieser tragbare Hochleistungscomputer ein ständiger Begleiter und dient der Kommunikation, Navigation, Entspannung und Unterhaltung. Das Smartphone vereint viele der technischen Innovationen der letzten Jahrzehnte in sich, die aus weit über hundert Jahren Grundlagenforschung hervorgegangen sind: In ihm sind Radiowellensender und -empfänger für verschiedene Frequenzbereiche verbaut, sowohl für Telefon und WLAN als auch für Bluetooth und das Navigationssystem GPS. Die Kamera, die in manchen Modellen sogar kinotaugliche Filme aus dem Taschencomputer zaubert, die winzigen Datenspeicher für

hunderte von Fotos und die hochauflösenden Displays beruhen auf Effekten der Quantenphysik: All diese technischen Innovationen wären undenkbar ohne die Fortschritte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung.

Schon in der Urzeit haben naturwissenschaftliche Erkenntnisse die Gesellschaft geprägt. Der Blick in die Sterne fasziniert Menschen seit Jahrtausenden. Jenseits dieser Faszination hat das aus der Beobachtung gesammelte Wissen eine oft lebenswichtige Bedeutung. Aus der Kenntnis des Laufs der Gestirne ließen sich Termine für Aussaat oder Ernte ablesen. Die ersten Astronomen haben mit ihren Beobachtungen die Grundlage für die Agrargesellschaft gelegt.

Auch heute ist die Neugierde der Forscherinnen und Forscher die Triebfeder für Erfindungen und Entdeckungen, die – manchmal sofort, oft aber erst später – als gesellschaftliche Errungenschaften wahrgenommen werden.

Mit der Erforschung der kleinsten Teilchen, des Aufbaus und der Funktion der Materie sowie des Universums verschieben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Grenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnis und liefern Beiträge zu wichtigen gesellschaftlichen Fragestellungen. Dazu sind moderne und immer komplexere Forschungsinfrastrukturen notwendig – beispielsweise Teilchenbeschleuniger wie der Large Hadron Collider (LHC) in Genf oder Groß-



Die Neugier, die immer wieder neu gestellte Frage nach dem „Warum, Woher und Wohin“, ist eine tiefe menschliche Regung. Die Antworten, die die Wissenschaft liefert, berühren alle Menschen genauso, wie sonst nur Musik, Kunst oder Literatur. Das Mitfiebern bei der Mondlandung ist dafür ebenso Beleg wie das große öffentliche Interesse an der erfolgreichen Suche nach dem Higgs-Boson mithilfe des Teilchenbeschleunigers LHC in Genf.

teleskope wie das Very Large Telescope (VLT) in Chile. Solche Großgeräte sind ein wesentlicher Bestandteil unseres Wissenschaftssystems und bieten einzigartige Forschungsmöglichkeiten.

Die Wissenschaft stellt hohe Anforderungen an Präzision und Komplexität der Forschungsinfrastrukturen. Für Wirtschaftszweige wie Maschinenbau, Bauwesen und die feinmechanisch-optische Industrie sind sie ein wichtiger Technologietreiber, etwa bei der Entwicklung und dem Bau neuer Teilchenbeschleuniger, Photonquellen oder Teleskope.

Die Vielfalt der potentiellen Erfindungen und Anwendungen, die entstehen, ist nicht vorhersagbar. Der Bund schafft geeignete Rahmenbedingungen und einen Nährboden, damit hieraus Innovationskeime und später Innovationen erwachsen können. Voraussetzung für hohe Innovationsleistung ist ein offenes, exzellentes und attraktives Wissenschaftssystem.

Ein langer Atem kann dabei notwendig sein: Von Maxwells Gleichungen der Elektrodynamik über die Erzeugung elektromagnetischer Wellen durch Heinrich Hertz bis zum Beginn der Funktechnik durch die Pioniere Ferdinand Braun, Guglielmo Marconi und andere waren es rund dreißig Jahre – bis darauf aufbauend ein modernes Smartphone entstand etwas mehr als weitere hundert Jahre.

Die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung soll auch zukünftig unsere Gesellschaft bereichern. Daher stellt die Bundesregierung mit diesem Rahmenprogramm die Weichen für wissenschaftliche Spitzenleistungen und Zukunftstechnologien sowie für Innovationskeime und den wissenschaftlichen Nachwuchs von morgen. Dafür setzt das Bundesforschungsministerium forschungspolitische Schwerpunkte in vier Handlungsfeldern:

- Großgerätelandschaft,
- MINT-Nachwuchs¹,
- Vernetzung sowie
- Transfer und Partizipation.

In diesen vier Feldern gestaltet das Bundesforschungsministerium die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung an Großgeräten in einem strategischen Prozess. Das vorliegende Programm bildet den strategisch-thematischen Rahmen – für den Blick in die Tiefen der Materie und die Weiten des Universums.

¹ MINT – Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik

Teilchen, Materie und Universum erforschen

Das Bundesforschungsministerium stärkt den Wissenschaftsstandort Deutschland mit der Förderung ausgewählter Forschungsfelder von winzigen Teilchen bis zum Universum. Nur mit modernen Forschungsinfrastrukturen lassen sich heute die Themengebiete von den kleinsten Bausteinen bis zu den Weiten des Universums erschließen.

Die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung spannt einen weiten Bogen, vom Aller kleinsten bis zum Aller größten. In diesem Programm konzentriert sich das Bundesforschungsministerium auf drei Themengebiete: Teilchen, Materie und Universum. Die Erforschung der kleinsten Bausteine der Materie – der Teilchen – ist Basis für ein grundlegendes Verständnis der Natur. Aus den Eigenschaften dieser Bausteine und deren Zusammenspiel erhalten Werkstoffe, Biomoleküle oder Organismen – die Materie – ihre Funktion. Diese zu verstehen und gezielt zu verändern, eröffnet zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten in Medizin und Technik. Das Universum fasziniert die Menschen und regt wissenschaftliche Neugier an. Seine Erforschung liefert zum Beispiel wissenschaftliche Antworten auf die Frage nach dem Ursprung unseres Planeten.

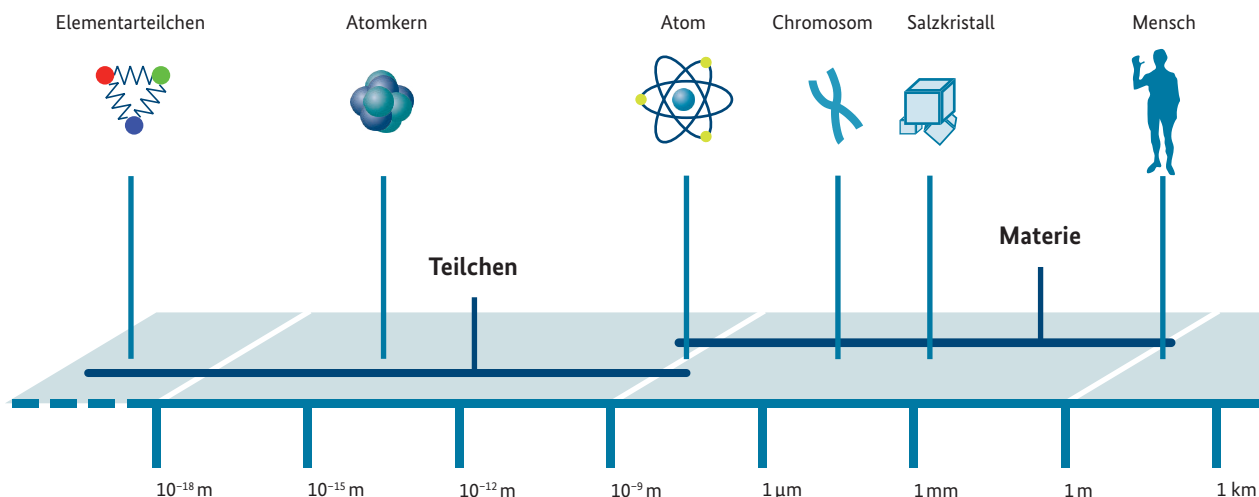
In diesen Themengebieten identifiziert das Bundesforschungsministerium Forschungsfelder von besonderer Bedeutung. In den ausgewählten Feldern wird eine Forschungslandschaft gestaltet, die wissenschaftliche Spitzenleistung ermöglicht. Mit dieser strategischen Forschungspolitik für die Themengebiete Teilchen, Materie und Universum sichert das Bundesforschungs-

ministerium mit neuem Wissen die Zukunft – sowohl mit wissenschaftlichen und technischen Fortschritten, als auch in Form von Kulturleistungen, die unser Alltagsleben vielfältig bereichern werden.

Teilchen: Was die Welt zusammenhält

Nicht erst seitdem Goethe seinen Faust fragen ließ, was denn die Welt im Innersten zusammenhalte, fasziniert den Menschen das Rätsel, woraus er selbst und die Natur um ihn herum bestehen. Eines der Themengebiete, die das Bundesforschungsministerium unterstützt, beschäftigt sich mit eben dieser Frage: Woraus besteht die Materie, was sind die kleinsten Bausteine und wie funktioniert ihr Zusammenspiel?

Heute lässt sich jede Form und Art der Materie auf wenige elementare Grundbausteine – wie Quarks – zurückführen. Ihr Zusammenwirken wird im sogenannten Standardmodell der Elementarteilchenphysik beschrieben. Der letzte fehlende Baustein dieses Modells wurde von Peter Higgs und François Englert in den 1960er Jahren vorhergesagt. Internationale Forschungsteams machten sich auf die spannende Suche nach diesem fehlenden Elementarteilchen, das allen anderen Grundbausteinen ihre Masse verleiht. Sie trieben die technischen Entwicklungen für den größten Teilchenbeschleuniger der Welt voran: für den LHC am Forschungszentrum CERN nahe Genf und die notwen-



digen Detektoren ATLAS und CMS. Diese internationale Kooperation wurde im Jahr 2012 von Erfolg gekrönt: Die Entdeckung des Higgs-Bosons ist ein Meilenstein der Physik, an dem Forscherinnen und Forscher aus Deutschland mit Förderung des Bundesforschungsministeriums einen sehr großen Anteil hatten. 2013, kurz nachdem das Teilchen nachgewiesen wurde, erhielten Peter Higgs und François Englert für ihre Vorhersage den Nobelpreis für Physik.

Der Nachweis des Higgs-Bosons klärte eine zentrale Fragestellung der Physik des letzten Jahrhunderts. Dennoch bleiben Fragen offen, beispielweise: Woraus bestehen Quarks, kennen wir bereits alle und können sie zu weiteren Teilchen kombiniert werden? Führen die Antworten darauf zu heute noch nicht vorstellbaren technischen Neuerungen?

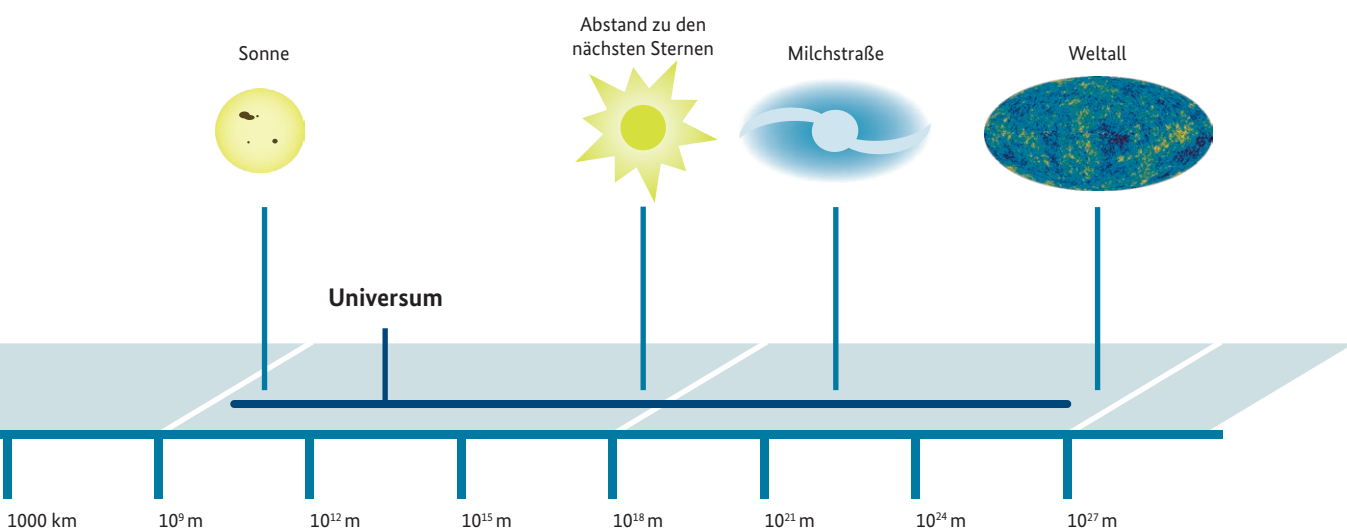
Aus Quarks zusammengesetzte Teilchen heißen Hadronen. Die Atomkerne aller Elemente bestehen aus solchen Hadronen: den Protonen und den Neutronen. Hadronen- und Kernphysik erforschen diese Teilgebiete der Physik. Auch hier gibt es ungelöste Rätsel, wie bereits der einfache Kern des Wasserstoffatoms verdeutlicht. Trotz intensiver Forschungsanstrengungen sind die Eigenschaften des Wasserstoffkerns – des Protons – auch heute noch nicht im Detail verstanden. Wenn es gelingt, sie zu entschlüsseln, ist dies ein weiterer Schritt, das Zusammenspiel der elementaren Grundbausteine und der daraus aufgebauten Atome zu verstehen. So können dann auch die Eigenschaften der komplizierteren chemischen Elemente erklärt werden: ein weiteres Puzzlestück für die Antwort auf die faustische Frage, was die Welt im Innersten zusammenhält.

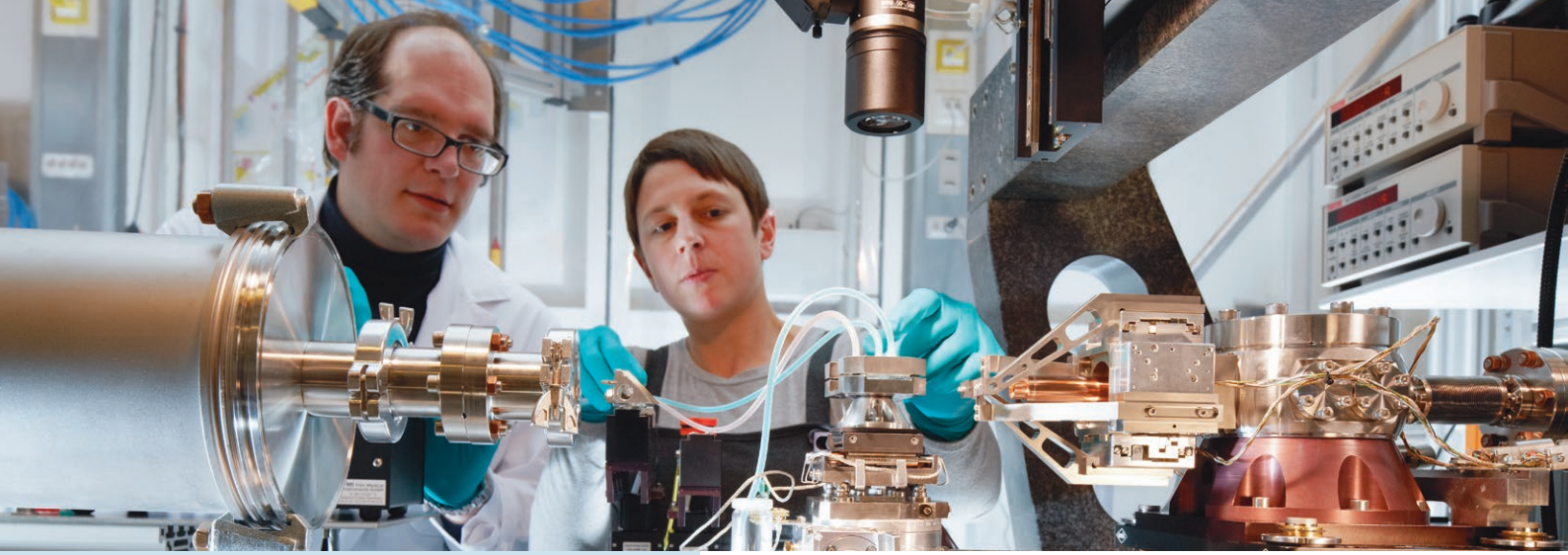
Teilchen – beschleunigen und erschaffen

Mit Teilchenbeschleunigern wird nach den elementaren Grundbausteinen der Materie gefahndet. Diese Maschinen bringen geladene Teilchen fast auf Lichtgeschwindigkeit, um sie dann gezielt kollidieren zu lassen. Bei solchen Kollisionen können neue, bislang unbekannte Teilchen entstehen. Sie sind in der Regel instabil und zerfallen in Bruchstücke, welche mit riesigen Detektoren vermessen werden. Anhand dieser Messdaten ist es möglich, die Eigenschaften des zuerst entstandenen Teilchens zu untersuchen.

Der weltweit leistungsfähigste Teilchenbeschleuniger ist der LHC des CERN. Das CERN wird zu 20 Prozent von Deutschland mitfinanziert. In einem knapp 27 Kilometer langen, kreisförmigen Tunnel treffen im LHC Wasserstoffkerne mit nie zuvor erreichter Energie aufeinander. Dabei entstehen bisher unbeobachtete Materiezustände und subatomare Teilchen. Vermessen werden sie unter anderem mit dem ATLAS-Detektor, einem weiteren Superlativ: Das Nachweisgerät ist mit einer Länge von 46 Metern und einem Durchmesser von 25 Metern der bisher größte Detektor, der jemals an einem Teilchenbeschleuniger zum Einsatz kam. Er und sein kompakterer, aber schwererer Counterpart CMS wurden zu wesentlichen Teilen von deutschen Hochschulen und Forschungseinrichtungen mit Mitteln des Bundesforschungsministeriums entwickelt und aufgebaut.

Die Struktur von sogenannten Hadronen nehmen Forscherinnen und Forscher mit dem ALICE-Detektor am LHC und zukünftig mit dem im Bau befindlichen Beschleunigerkomplex FAIR bei Darmstadt unter die Lupe. FAIR erzeugt Strahlen geladener Teilchen in bisher unerreichter Intensität und Qualität. Hier werden Bedingungen reproduziert, wie sie im Inneren von Sternen oder sogar beim Ausbruch einer Supernova herr-





schen. So lässt sich im Labor nachvollziehen, auf welchen komplexen Wegen sich chemische Elemente bilden. Deutschland ist an FAIR als größter von zehn Partnern beteiligt und stellt wesentliche Weichen für seine wissenschaftliche Ausrichtung als eine weltweit führende Experimentiereinrichtung.

Materie – Einblick und Durchblick

Das Bundesforschungsministerium fördert als Hauptgeldgeber der Forschungsinfrastrukturen drei sich ergänzende Arten von Nutzerplattformen zur Erforschung der Materie. Aufgrund ihrer technischen Alleinstellungsmerkmale, wie etwa der räumlichen und zeitlichen Auflösung der Experimente, unterscheiden sich ihre Anwendungsmöglichkeiten. Sie ermöglichen die Beantwortung unterschiedlichster Fragestellungen aus vielfältigsten interdisziplinären Forschungsfeldern.

Photonenquellen

Gebündelte, hochintensive Röntgenstrahlen zum Durchleuchten oder Beleuchten von Materialproben können nur von speziellen Teilchenbeschleunigern produziert werden: den Photonquellen. Ringquellen – sogenannte Synchrotrone – und lineare Quellen – sogenannte Freie-Elektronen-Laser (FEL) – unterscheiden sich in Anwendungszweck und Aufbau. Synchrotrone erzeugen lange Pulse mit hoher Gesamtintensität; FEL erzeugen kurze Laserblitze mit sehr hohen Intensitäten im Einzelpuls.

In Deutschland tätige Forscherinnen und Forscher gehören zur weltweiten Spitze bei Bau und Nutzung von Photonquellen. Der große Erfolg deutscher Forschungsgruppen beruht auf der erstklassigen Infrastruktur und dem breiten Anwendungsspektrum. Die Messplätze werden für vielfältige Forschungsarbeiten genutzt, beispielsweise zur Entwicklung neuer Medikamente, zur Verbesserung von Werkstoffen oder zur Analyse von Materialproben unter extremem Druck.

Materie: Verstehen und verbessern

Was gibt einem Material seine Eigenschaften? Wie kann man sie an medizinische oder technische Erfordernisse anpassen? Nur einfach zu wissen, dass ein bestimmtes Material aus einer oder mehreren Sorten von Atomen besteht, reicht nicht aus, um diese Fragen zu beantworten. Vielmehr ist es die Struktur, die wie bei Diamant und Graphit den Unterschied macht: Beide Materialien bestehen einzig aus Kohlenstoffatomen. Nur ihre Atomanordnung unterscheidet sich. Sie legt Härte, Leitfähigkeit oder andere Eigenschaften des Materials fest. Mit modernen Forschungsinfrastrukturen werden solche Atomanordnungen exakt bestimmt, sodass neue Materialien mit angepassten Eigenschaften entworfen werden können. Dabei werden Methoden entwickelt, mit denen man beispielsweise Biomoleküle oder Katalysatoren bei der Arbeit zusehen kann. Der European XFEL wird regelrechte Zeitlupenvideos der zugrundeliegenden Reaktionen aufnehmen.

Mit der gezielten Förderung der Infrastrukturen für diese Forschung legt das Bundesforschungsministerium die Grundlagen zur Entwicklung und Verbesserung pharmazeutischer Wirkstoffe, elektronischer Bausteine, Katalysatoren und neuartiger Werkstoffe.

Von den neuen Erkenntnissen und Methoden profitieren neben der Physik ebenso die Lebens- und Umweltwissenschaften, die Energie-, Material- und Werkstoffforschung sowie technische und ingenieurwissenschaftliche Anwendungen. Der Pharmaindustrie helfen die Methoden bei der systematischen Suche nach Leitstrukturen für neue Arzneimittel.

Universum: Empfang auf allen Frequenzen

Seit Menschengedenken blickt der Mensch an den Nachthimmel und versucht zu verstehen, wie das

Universum funktioniert. Mittlerweile wissen wir viel über das Universum – dass es durch den Urknall vor 13,8 Milliarden Jahren entstand, dass es sich seitdem ausdehnt – und doch gibt es uns bis heute große Rätsel auf. Ende der 1990er Jahre wurden neue Fragen mit der Feststellung aufgeworfen, dass es „Dunkle Materie“ und „Dunkle Energie“ gibt, die für den Zusammenhalt der Galaxien bzw. die beschleunigte Ausdehnung des Universums verantwortlich sind. Doch was sind die bisher unentdeckten Bestandteile des Universums, aus denen Dunkle Materie und Dunkle Energie bestehen?

Astrophysik, Astroteilchenphysik und Astronomie widmen sich noch weiteren Themen: Wir kennen heute über 2500 Planetensysteme außerhalb unseres Sonnensystems – und wöchentlich finden die Astronomen neue. Damit liegt die Antwort auf eine Frage, die der Mensch sich schon lange stellt, heute näher als jemals zuvor: Gibt es Leben auf anderen Planeten? Noch ist es nicht gelungen, auf einem dieser über 3500 bisher bekannten Planeten Spuren von Leben zu finden. Die Suche danach ist in vollem Gange.

Auch andere Fragen sollen beantwortet werden: Was führte zur Entstehung verschiedener Galaxientypen und zur Planetenbildung und legte damit die Grundlage für unser Leben? Welche Extremprozesse laufen im Kosmos ab, etwa wenn Sterne das Ende ihrer Lebensdauer erreichen oder wenn Materie auf ein Schwarzes Loch fällt?

Forschungsinfrastrukturen liefern Antworten

Die Zeiten, in denen nur kleine Forschungsteams am Labortisch die großen Fragen der Menschheit entschlüsselten, sind in vielen Forschungsfeldern schon lange vorbei. Um die kleinsten Strukturen zu erforschen, die Materie zu verstehen oder tief ins Universum zu blicken, kommen die besten Köpfe der Welt heute an Forschungsinfrastrukturen der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung zusammen:

- Mit Teilchenbeschleunigern werden Eigenschaften von Atomen, Atomkernen und elementaren Grundbausteinen erforscht.

Beispiele für solche Anlagen sind die Speicherringe PETRA III in Hamburg, die European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) in Grenoble und BESSY II in Berlin, sowie der Freie-Elektronen-Laser FLASH in Hamburg. Als leistungsfähigster Röntgenlaser wurde in den letzten Jahren in Norddeutschland der Europäische Röntgenlaser (European XFEL) errichtet. Er wird zu zwei Dritteln von Deutschland finanziert. Dieses Großgerät ermöglicht mit extrem intensiven Röntgenblitzen, selbst jene Proteine genau unter die Lupe zu nehmen, die sich mit bisherigen Photonenquellen noch nicht analysieren ließen.

Dass die Forschung an Photonenquellen hochgradig interdisziplinär ist, zeigte eine Nutzerbefragung an PETRA III und FLASH aus dem Jahr 2016. Lebenswissenschaften und Energie bilden den Anwendungsschwerpunkt. Etwa 15 Prozent der Nutzergruppen entwickeln die Instrumentierung der Quellen weiter. Sie werden hierbei durch die Projektförderung des Bundesforschungsministeriums, die Verbundforschung, unterstützt. Die übrigen 85 Prozent der Nutzergruppen profitieren bei ihrer Forschung von dieser Entwicklungsarbeit. Ihre Forschung selbst wird über entsprechende Programme gefördert.

Neutronenquellen

Neutronenquellen ergänzen das Anwendungsspektrum der Photonenquellen: Neutronen durchdringen ganze technische Objekte wie Motoren, Akkus oder Festplattenspeicher, deren Inneres sich daher sogar im Betrieb untersuchen lässt. Es gibt Neutronenquellen zweier unterschiedlicher Typen: Hochflussreaktoren bieten einen konstanten und sehr hohen Neutronenfluss. Die Nutzung von Neutronenpulsen ist mit sogenannten Spallations-Neutronenquellen möglich. In den Hochflussreaktoren können somit statische und langsame Prozesse besonders genau betrachtet werden, während mit den Neutronenpulsen auch „Zeitlupenaufnahmen“ gelingen.

Aktuelle Neutronenquellen sind der Forschungsreaktor FRM II in München, der BER II in Berlin und der Hochflussreaktor HFR am Institut Laue-Langevin (ILL) im französischen Grenoble. Derzeit wird im schwedischen Lund die europäische Spallations-Neutronenquelle ESS (European Spallation Source) mit großer Beteiligung deutscher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie mit deutschem Know-how gebaut. In Zukunft wird diese Neutronenquelle mit ihrer gepulsten Strahlung neue physikalische und interdisziplinäre Anwendungen ermöglichen.



Entlegen platziert, um die fernen Weiten des Universums zu erkunden: Einige der insgesamt 66 Antennen des Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array, ALMA, das in der Atacamawüste in Chile steht und das leistungsfähigste Teleskop der Welt für diesen Wellenlängenbereich ist.

Quellen geladener Teilchen

Photonen und Neutronen werden insbesondere zur Analyse von Materialien und Oberflächen genutzt. Sollen Materialien hingegen verändert oder veredelt werden, wird oft Strahlung aus elektrisch geladenen Teilchen eingesetzt. Sie werden meist an Linear- oder Ringbeschleunigern für Experimente bereitgestellt.

Das Anwendungsspektrum der Quellen geladener Teilchen reicht von der Nanostrukturierung, Dotierung und Analyse von Materialien bis hin zur Medizin: Industriebetriebe härten mit Hilfe von speziellen Beschleunigern die Oberflächen von Smartphone-Bildschirmen, stellen mit ihnen extrem leistungsfähige Elektronikkomponenten wie Bildsensoren oder schnelle Mikrochips her oder entwickeln strahlungsresistente Halbleiterbauelemente für den Einsatz unter schwierigen Umweltbedingungen oder im Katastrophenschutz. In der Medizin werden geladene Teilchen zur Diagnose und Therapie von Krebserkrankungen eingesetzt. Die Quellen geladener Teilchen dienen somit gleichermaßen der Grundlagenforschung, medizinischen Anwendungen und als Werkbänke der Hightech-Forschung.

Aktuell werden Ionenstrahlen bei ELBE nahe Dresden, bei NEPOMUC am FRM II und an ISOLDE am CERN bereitgestellt. In Zukunft werden neue Möglichkeiten an FAIR dieses Leistungsspektrum ergänzen.

- Mit Photonen-, Neutronen- und Ionenquellen werden Materialien in Aufbau und Funktion analysiert und modifiziert.
- Mit Teleskopen und Observatorien wird das Universum beobachtet.

Solche Forschungsinfrastrukturen sind typischerweise hochkomplexe Forschungsanlagen an der Grenze des technisch Machbaren.

Großgeräte können sehr unterschiedlich konzipiert sein: Einige sind speziell auf wenige Fragestellungen der Grundlagenforschung – oder sogar nur eine einzige – ausgerichtet. An solchen Einrichtungen, wie dem ATLAS-Detektor am LHC oder der Neutrinowaage KATRIN, arbeiten hunderte, oft sogar tausende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in internationalen Kollaborationen zusammen. Andere Großgeräte sind thematisch breit aufgestellte Nutzerplattformen. An Teleskopen werden vielfältige astrophysikalische Phänomene erforscht. Die Großgeräte zur Erforschung der Materie sind sogar als interdisziplinäre Nutzerplattformen ausgelegt: Naturwissenschaften, Medizin, Energie- und Materialforschung sowie andere Disziplinen wie Archäologie und Kunstgeschichte gewinnen hier einzigartige Erkenntnisse.

In vielen Fällen ist das Bundesforschungsministerium der hauptverantwortliche Gestalter und größte Geldgeber der Großgeräte. Die so entstandene Forschungslandschaft setzt international Maßstäbe: Deutsche Großgeräte und Großgeräte mit deutscher Beteiligung gehören zur weltweiten Spitze und regen die interdisziplinäre Zusammenarbeit an. Diese Forschungsinfrastrukturen üben eine hohe Anziehungskraft auf die weltbesten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ihrer jeweiligen Forschungsfelder aus. Rund um die Forschungsinfrastrukturen entsteht ein herausragen-

des Netzwerk von Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Hier wird wissenschaftlicher und technischer Nachwuchs auf höchstem Niveau ausgebildet. So wird exzellente Forschung in Deutschland betrieben, die zu herausragenden wissenschaftlichen Resultaten in und aus Deutschland führt und den Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort nachhaltig stärkt.

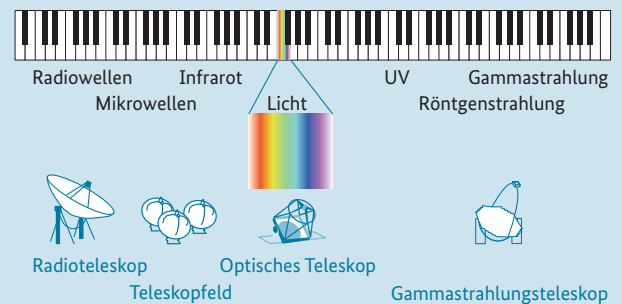
So wie erst die Töne aller Oktaven des Klaviers ein komplexes Musikstück ergeben, müssen auch alle Wellenlängenbereiche der elektromagnetischen Strahlung beobachtet werden, um das Universum zu verstehen. Das sichtbare Licht macht dabei nur einen kleinen Teil der Klaviatur aus.

Universum – beobachten und verstehen

Unsere Sonne – einer von Abermilliarden von Sternen – ist für uns die Quelle von Licht und Wärme. Tatsächlich sendet sie auch noch elektromagnetische Strahlung anderer Wellenlängenbereiche aus, die aber weitgehend von der Erdatmosphäre blockiert oder von uns nicht bemerkt wird, weil der menschliche Körper dafür keine Sensoren besitzt.

Die Objekte des Universums senden Licht in den verschiedensten Bereichen des elektromagnetischen Spektrums – von der sehr langwelligen Radiostrahlung aus der Frühphase des Universums über das sichtbare Licht bis hin zur energiereichen Röntgen- und Gammastrahlung. Die Astrophysik hat in den letzten hundert Jahren gelernt, alle Spektralbereiche zu beobachten. Mit langwelligen Radioobservatorien, klassischen Radioteleskopen, Mikrowellenteleskopen, Infrarot-Satelliten, optischen Instrumenten, UV- und Röntgenteleskopen oder Detektoren für Photonen höchster Energie aus dem Kosmos. Dazu kommt die Beobachtung von energiereichen Teilchen und seit Kurzem auch von Gravitationswellen. Erst mit der Kenntnis aller Wellenlängenbereiche und aller anderen kosmischen Boten entsteht ein vollständiges Bild des Universums. Nur dann können wir etwa die Atmosphären von Planeten anderer Sonnensysteme besser verstehen oder neuartige Prozesse in den Kernen von Galaxien und am Rande des Universums. So erst können Bestandteile der „Dunklen Materie“ und „Dunklen Energie“ gefunden und verstanden werden.

Viele der weltgrößten und leistungsfähigsten Teleskope werden von der Europäischen Südsternwarte ESO betrieben, deren größtes Mitgliedsland Deutschland ist. Sitz des



ESO-Hauptquartiers ist Garching bei München. Wichtigste Großgeräte der ESO sind die vier Acht-Meter-Teleskope des Very Large Telescopes (VLT) für die optische Astronomie und das Antennenfeld des ALMA-Observatoriums für den sogenannten Millimeter- und Submillimeterbereich. Das nächste große Projekt der ESO ist der Bau des Extremely Large Telescope (ELT). Es wird mit 39 Metern Spiegeldurchmesser das bei weitem größte optische Teleskop der Welt sein. Mit diesen Teleskopen beantworten die Astronominen und Astronomen grundlegende Fragen zum Ursprung des Universums und seiner Bestandteile: zur Entstehung von Galaxien, Sternen und Planeten oder zur Suche nach erdähnlichen Planeten und nach Spuren von Leben.

In Argentinien analysiert das Pierre-Auger-Observatorium die energiereichsten kosmischen Teilchen, um ihre Herkunft und Eigenschaften zu ergründen. Die Teleskope H.E.S.S. und MAGIC sowie das in Planung befindliche Cherenkov Telescope Array (CTA) messen die auf der Erde auftreffende Gammastrahlung. Solche hochenergetischen Boten der energiereichsten Prozesse im Universum ermöglichen beispielsweise die Untersuchung des Materieinfalls in Schwarze Löcher oder das Studium der Überreste von Sternexplosionen.



Gemeinsam Strategien entwickeln

Das Bundesforschungsministerium gestaltet die Landschaft von weltweit führenden Forschungsinfrastrukturen in einem strategischen Prozess – dem Prisma-Prozess. Unter Berücksichtigung der wissenschaftlichen Entwicklungen und der gesellschaftlichen Anforderungen setzt das Bundesforschungsministerium forschungspolitische Leitziele in Handlungsfeldern und Aktionsplänen um.

Strategieprozesse zusammenführen

Gesellschaftliche Ziele und Prioritäten unterliegen einem Wandel. Damit ändern sich auch die Erwartungen der Gesellschaft an die Wissenschaft. Neue wissenschaftlich-technische Möglichkeiten wie zum Beispiel die mobile Kommunikation prägen unsere Gesellschaft. Das Bundesforschungsministerium beobachtet und analysiert diese Entwicklungen und greift Impulse von Wissenschaft und Gesellschaft im Kontext der Erforschung von Teilchen, Materie und Universum auf. Die bestehenden Schwerpunkte werden auf ihre Relevanz, Aktualität und Priorität geprüft und Zukunftsthemen

identifiziert. Das Bundesforschungsministerium sichert damit die Zukunftsfähigkeit der forschungspolitischen Ausrichtung dieses Wissenschaftsgebiets. Es führt dafür den „Prisma-Prozess“ als zentralen Strategieprozess des vorliegenden Rahmenprogramms ein.



Hochschulen, Wissenschaftsorganisationen und der internationale Forschungsraum tragen die Erforschung von Teilchen, Materie und Universum – dargestellt durch drei Seiten eines Prismas. Sie nutzen unterschiedliche, bisher erfolgreiche Strategieprozesse zu Konzeptionierung, Bau, Betrieb und Weiterentwicklung von Forschungsinfrastrukturen. Um den neuen Herausforderungen an Komplexität und Internationalisierung der naturwissenschaftlichen Grundlagen-

forschung an Großgeräten zu begegnen, werden diese Strategieprozesse von den Verantwortlichen individuell optimiert und im Prisma-Prozess stärker als bisher miteinander verknüpft.

Das Bundesforschungsministerium gestaltet diese Verknüpfung mit einander ergänzenden Elementen:

Prisma-Radar: Das Bundesforschungsministerium beobachtet kontinuierlich wissenschaftliche und gesellschaftliche Entwicklungen sowie das Umfeld nationaler und internationaler Forschungsinfrastrukturen wie beispielsweise Roadmaps anderer Nationen. Das Radar liefert Impulse für das Forum, für Trialoge, Strategiegelgespräche und Konferenzen des Prisma-Prozesses.



Prisma-Forum: Dieses Forum ist das strategische Beratungsgremium des Bundesforschungsministeriums zur Weiterentwicklung von Leitzielen, Handlungsfeldern und Themengebieten. Es wird mit hochrangigen Persönlichkeiten mit unterschiedlichen Blickwinkeln auf die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung an Großgeräten besetzt. Das Forum erarbeitet Empfehlungen zur strategischen Ausrichtung dieser Forschung und für Trialoge. Es gibt Impulse für Strategiegelgespräche und Konferenzen des Prisma-Prozesses.



Prisma-Trialoge: Zur Weiterentwicklung eines Querschnittsthemas oder Handlungsfeldes werden Trialoge einberufen. Sie führen die Sichtweisen von Fachleuten aller drei Prisma-Seiten zusammen. Das Bundesforschungsministerium lädt dazu Vertreterinnen und Vertreter von Hochschulen, Wissenschaftsorganisationen und internationalen Einrichtungen ein. Sie analysieren das Handlungsfeld oder Querschnittsthema und leiten Handlungsempfehlungen ab. Dazu entwickeln sie abgestimmte Konzepte, die in die Entscheidungsfindung des Bundesforschungsministeriums für neue Fördermaßnahmen einfließen.



Prisma-Strategiegelgespräche: Themenbezogene Strategiegelgespräche dienen der Ausgestaltung von Fördermaßnahmen.



Zu den Gesprächen lädt das Bundesforschungsministerium Fachleute aus den jeweiligen Themengebieten ein. Sie diskutieren auf Grundlage von Strategiepapieren, insbesondere denen gewählter Komitees der Wissenschaft. Die Gesprächsergebnisse geben dem Bundesforschungsministerium wichtige fachliche Anregungen für seine Förderbekanntmachungen.

Prisma-Konferenzen: Das Bundesforschungsministerium initiiert Prisma-Konferenzen, um eine breite wissenschaftliche und gesellschaftliche Kommunikation sicherzustellen. Die für einen breiten Personenkreis offenen Konferenzen gehen über rein wissenschaftliche Themen oder den von „Wissenschaft im Dialog“ initiierten Austausch zu gesellschaftlich relevanten und kontroversen Themen der Forschung hinaus. Die Veranstaltungen greifen neue Chancen oder Themen von übergeordnetem Interesse auf, wie beispielsweise



Der Prisma-Prozess greift verschiedene Ebenen auf. Alle Themengebiete, Querschnittsthemen und Handlungsfelder finden Eingang in diesen Prozess. Sie werden unter Beteiligung der drei Seiten Hochschulen, Wissenschaftsorganisationen und internationaler Forschungsraum adressiert.

das Management von Forschungsinfrastrukturen. Neue Blickwinkel werden eingebracht und der forschungspolitische Bedarf diskutiert.

Das Bundesforschungsministerium bewertet die einzelnen Impulse dieser Elemente in Bezug auf ihre forschungspolitische Bedeutung, ihre gesellschaftliche Relevanz und ihr Innovationspotenzial. Es führt sie zu einer kohärenten Gesamtstrategie zusammen. Diese findet Einzug in die Ausgestaltung und die Weiterentwicklung des Rahmenprogramms.

Leitziele und Handlungsfelder

Das Bundesforschungsministerium hat für die Erforschung von Teilchen, Materie und Universum strategische Leitziele entwickelt, mit denen es flexibel auf den sich wandelnden gesellschaftlichen Bedarf reagiert:

- Wissenschaftliche Spitzenleistungen ermöglichen.
- Zukunftstechnologien, Energieforschung, Material- und Lebenswissenschaften stärken.

Strategische Leitziele

Wissenschaftliche Spitzenleistungen ermöglichen.

Zukunftstechnologien, Energieforschung, Material- und Lebenswissenschaften stärken.

Innovationskeime durch Forschung als Technologietreiber schaffen.

Fach- und Führungskräfte für Wissenschaft und Wirtschaft heranbilden.

Partizipation der Gesellschaft an Erkenntnissen und Erfolgen der Forschung sicherstellen.

Handlungsfelder

Großgerätelandschaft

- Zugang zu weltweit führenden Forschungsinfrastrukturen sichern.
- Landschaft der naturwissenschaftlichen Großgeräte bedarfsgerecht ausgestalten.
- Nutzerplattformen für Schlüsseltechnologien, Energie-, Material- und Lebenswissenschaften ausbauen.

MINT-Nachwuchs

- Nachwuchs für MINT-Fächer faszinieren.
- Wissenschaftlichen Nachwuchs qualifizieren.
- Karriereperspektiven schaffen.

Handlungsfeld „Großgerätelandschaft“

Das Bundesforschungsministerium sichert Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Deutschland Zugang zu international führenden Forschungsinfrastrukturen und gestaltet dazu die Großgerätelandschaft: Bau und Betrieb von Forschungsinfrastrukturen werden an den forschungspolitischen Prioritäten und am wissenschaftlichen Bedarf ausgerichtet.

Das Bundesforschungsministerium begleitet Großgeräte über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg. Bei Großgeräten im Themengebiet Materie liegt das Augenmerk auf der Stärkung von Technologien, die zur Lösung gesellschaftlicher Zukunftsaufgaben beitragen. In grundlegenden Technologiebereichen entstehende Synergien können oft interdisziplinär genutzt werden.

→ Seite 16

Handlungsfeld „MINT-Nachwuchs“

Das Bundesforschungsministerium beginnt mit der Nachwuchsförderung im Kindesalter. Vom Kindergarten über Schule und Hochschule bieten unterschiedliche Formate Einblicke in die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung und die anspruchsvolle Technik der Großgeräte. Informationsplattformen und Veranstaltungsreihen laden zur Vertiefung ein. Durch die Verbundforschung erhalten junge Menschen die Möglichkeit ihre Kompetenzen an Forschungsinfrastrukturen in einem internationalen Umfeld weiterzuentwickeln.

Management- und Führungsqualitäten von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern werden gezielt gefördert. So erhalten sie attraktive Karriereperspektiven und decken den Bedarf von Arbeitgebern aus Wissenschaft wie Wirtschaft.

→ Seite 22

- Innovationskeime durch Forschung schaffen.
- Fach- und Führungskräfte für Wissenschaft und Wirtschaft heranbilden.
- Partizipation der Gesellschaft an Erkenntnissen und Erfolgen der Forschung sicherstellen.

Die strategischen Leitziele werden in den Handlungsfeldern Großgerätelandschaft, MINT-Nachwuchs, Vernetzung sowie Transfer und Partizipation konkretisiert.

Aktionspläne

Das Programm wird in Aktionsplänen ausgestaltet. Diese setzen mit Fördermaßnahmen die Leitziele in den Handlungsfeldern um: mit der institutionellen Förderung von Wissenschaftsorganisationen und Forschungsinfrastrukturen, Beiträgen zu internationalen Einrichtungen und der Projektförderung (Seite 35).

Vernetzung

- Kompetenzen von Hochschulen und Forschungsinstituten bündeln.
- Forschung international vernetzen.

Transfer und Partizipation

- Wissenstransfer von Forschung in Wirtschaft und Gesellschaft anregen.
- Dialog zwischen Forschung und Bürgerinnen und Bürgern intensivieren.

Aktionspläne

ErUM-Pro

Projektförderung zur Einbindung von Hochschulen in die Weiterentwicklung von Großgeräten

ErUM-Data

Beiträge zur Digitalen Agenda

Weitere Aktionspläne nach Bedarf

Handlungsfeld „Vernetzung“

Die Vernetzung in der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung steigert die Qualität und Effizienz der Forschung. Das Bundesforschungsministerium baut die Vernetzung in der Wissenschaft auf nationaler wie internationaler Ebene aus: Es befördert die Interaktion zwischen den Helmholtz-Zentren, den Max-Planck-Instituten und Einrichtungen der Leibniz-Gemeinschaft.

Die Verbundforschung integriert die Hochschulen in dieses Netzwerk. Zur europäischen Vernetzung engagiert sich Deutschland auch weiterhin bei der Ausgestaltung eines gemeinsamen Forschungsraums.

→ Seite 26

Handlungsfeld „Transfer und Partizipation“

Naturwissenschaftliche Grundlagenforschung an Großgeräten und deren Erkenntnisse sind Keime für Innovationen. Das Bundesforschungsministerium unterstützt und beschleunigt den Weg von Erkenntnissen in die Wirtschaft. Es verbessert die Rahmenbedingungen zur industriellen Nutzung von Forschungsinfrastrukturen, die als High-Tech-Labore und -Werkbänke für die Industrie immer attraktiver werden.

Das Bundesforschungsministerium stärkt den Technologie- und Wissenstransfer naturwissenschaftlicher Erkenntnisse in die Industrie und die Gesellschaft. Mit partizipativen Elementen wird der Dialog zwischen Forschung und Zivilgesellschaft intensiviert.

→ Seite 30



Die im Bau befindliche Europäische Spallationsquelle in Lund wird ein neuer Baustein der europäischen Landschaft der Forschungsinfrastrukturen.

Die Großgerätelandschaft gestalten

Das Bundesforschungsministerium gestaltet die strategische Entwicklung der Forschungsinfrastrukturen entlang ihres Lebenszyklus. Es stärkt die interdisziplinäre Forschung und ermöglicht so die Umsetzung gesellschaftlicher Zukunftsaufgaben.

Von Anfang an begleiten

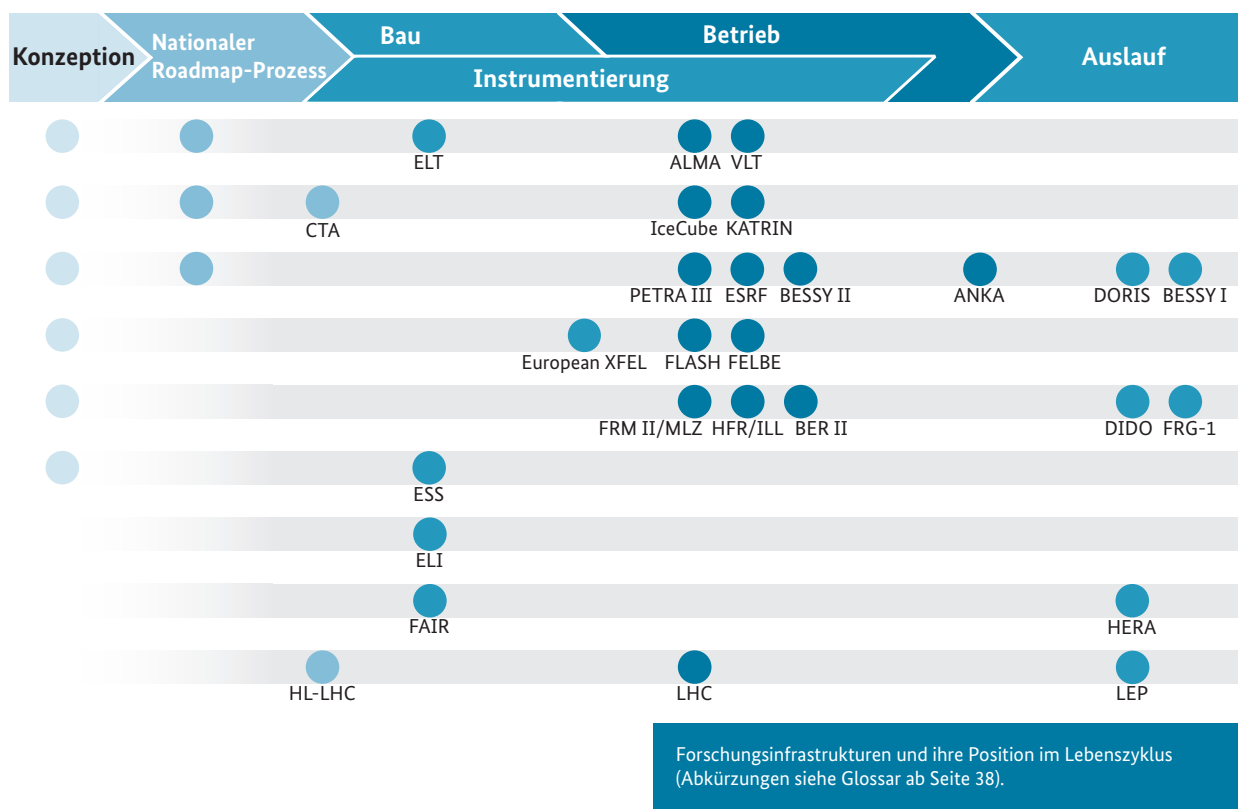
Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Deutschland benötigen für ihre Forschungsarbeiten Zugang zu einem Portfolio von nationalen und internationalen Großgeräten. Deshalb ist Deutschland weltweit an mehr als zwei Dutzend einzigartigen Großgeräten beteiligt. Das Bundesforschungsministerium fördert diese Forschungsinfrastrukturen entsprechend des wissenschaftlichen Bedarfs sowie der forschungspolitischen Prioritäten und gestaltet sie entlang ihres Lebenszyklus, der in fünf Phasen gegliedert ist:

- Konzeption
- Nationaler Roadmap-Prozess
- Bau und Instrumentierung
- Betrieb und Instrumentierung
- Auslauf

Bei ihrer konkreten Ausgestaltung unterstützt das Bundesforschungsministerium durch gezielte Forschungsförderung und langfristiges strategisches Handeln.

1. Konzeption

Der wissenschaftliche Bedarf für neue Großgeräte wird innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft identifiziert, diskutiert und zu Konzepten weiterentwickelt. Das Bundesforschungsministerium kann die Konzep-



tion neuer Forschungsinfrastrukturen mit institutioneller Förderung und mit Mitteln aus der Projektförderung unterstützen. Ausreichend zukunftssträngige und ausgereifte Konzepte können sich um die Aufnahme in die „Nationale Roadmap für Forschungsinfrastrukturen“ bewerben.

2. Nationaler Roadmap-Prozess für Forschungsinfrastrukturen

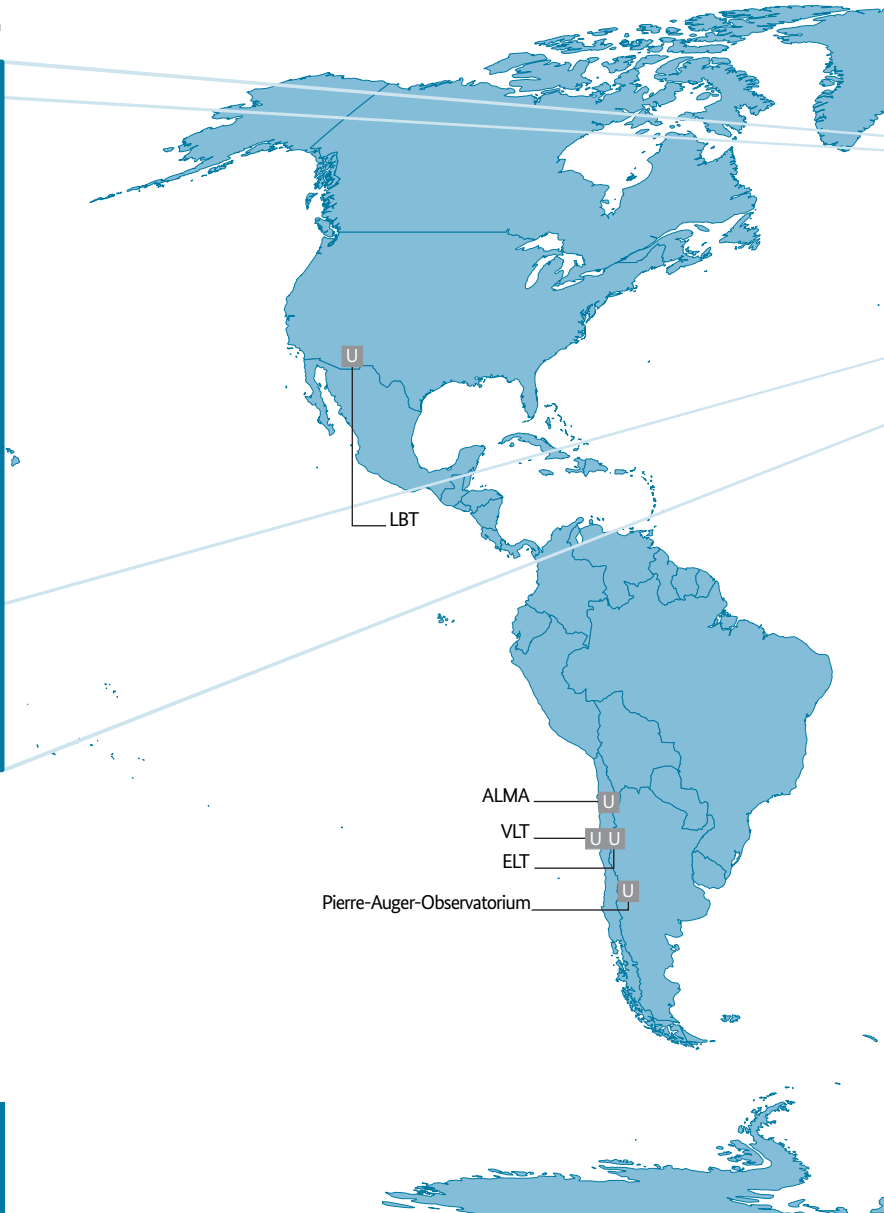
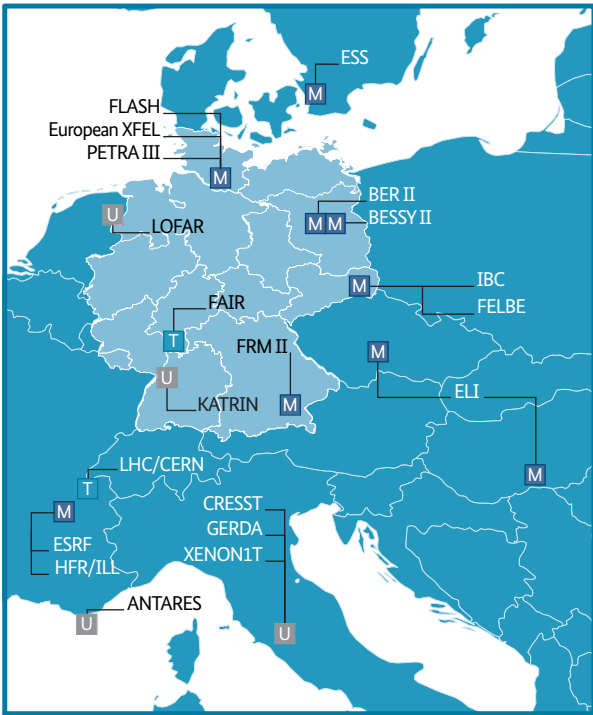
Der Nationale Roadmap-Prozess für Forschungsinfrastrukturen ist ein strategisches Instrument zur forschungspolitischen Priorisierung von zukünftigen und langfristigen Investitionen. Er wurde durch das Bundesforschungsministerium etabliert. Übergeordnetes Ziel dieses Prozesses ist es, geplante Forschungsinfrastrukturen nach einem einheitlichen, fairen und transparenten Verfahren zu bewerten.

Forschungsinfrastrukturen im Sinne des Nationalen Roadmap-Prozesses sind umfangreiche und langlebige

Ressourcen in allen Wissenschaftsgebieten, die der Forschung dienen. Forschungsinfrastrukturen der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung werden im Nationalen Roadmap-Prozess bewertet, wenn der deutsche Anteil der geplanten Aufbaukosten mindestens 50 Millionen Euro beträgt und damit einen umfangreichen nationalen Entscheidungsprozess rechtfertigt. Der Roadmap-Prozess ist für Forschungsinfrastrukturen dieser Größenordnung bindend.

Die Konzepte durchlaufen verschiedene Begutachtungsverfahren: Hohe wissenschaftliche Qualität, eine wirtschaftlich belastbare Planung und große gesellschaftliche Bedeutung sind die wichtigsten Bewertungsmaßstäbe. Auf der Grundlage der Begutachtungsergebnisse entscheiden das Bundesforschungsministerium oder gegebenenfalls andere zuständige Ressorts über die Aufnahme auf die Roadmap. Mit der Aufnahme auf die Roadmap ist eine grundsätzliche Finanzierungsabsicht verbunden.

T Teilchen M Materie U Universum



Das Bundesforschungsministerium sichert Forscherinnen und Forschern aus Deutschland den Zugang zu weltweit führenden Forschungsinfrastrukturen (Stand 2016).

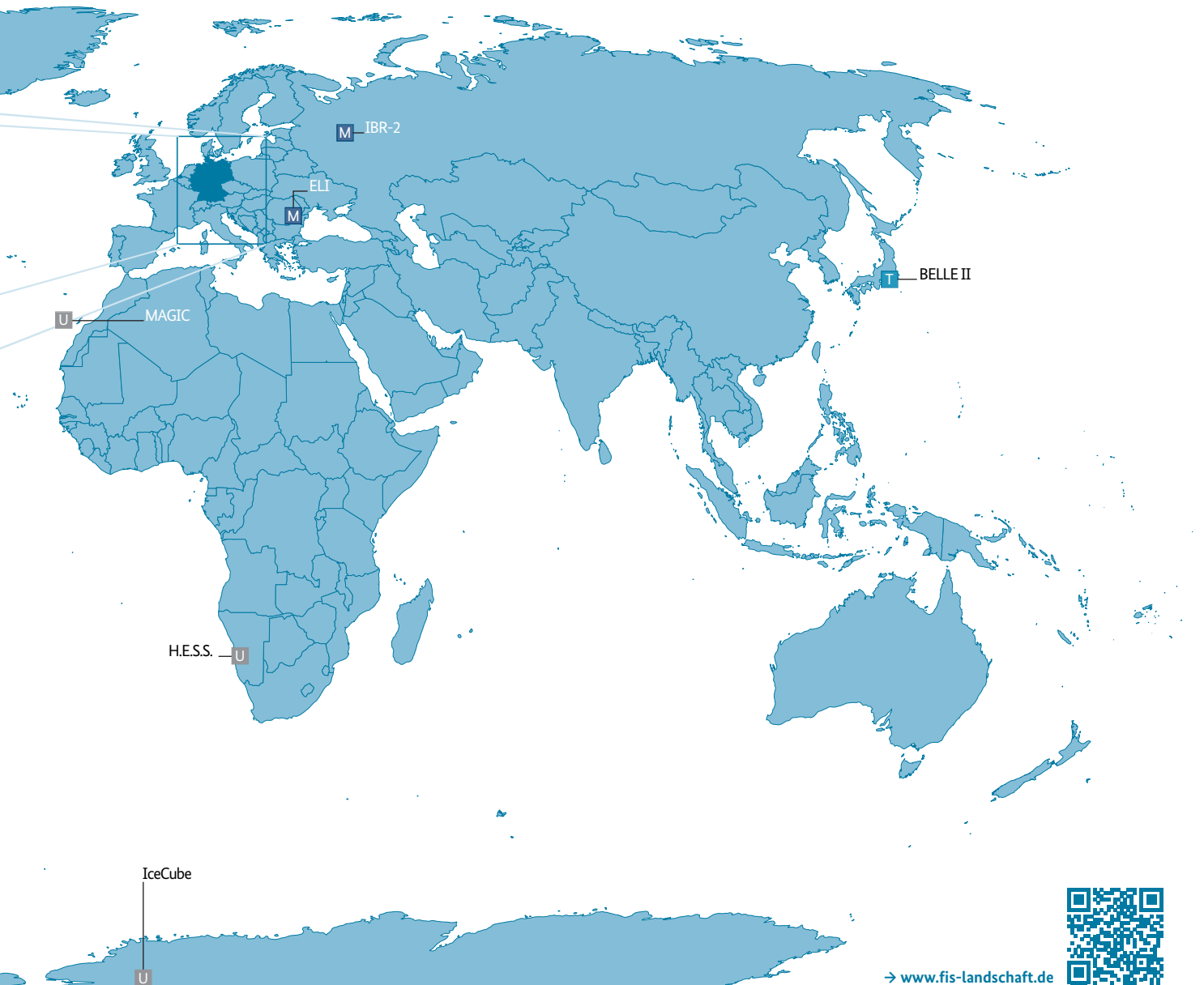
3. Bau und Instrumentierung

Der Bau einer solchen Forschungsinfrastruktur nimmt mehrere Jahre in Anspruch. Nationale Forschungsinfrastrukturen in der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung werden zum überwiegenden Teil vom Bundesforschungsministerium finanziert – sowohl durch institutionelle Förderung als auch durch Projektförderung. Das Bundesforschungsministerium stellt daher hohe Ansprüche an die stringente Planung und effiziente Umsetzung von Baumentscheidungen. Um den effizienten Ablauf der Bauprojekte zu gewährleisten,

richtet der Bund Controlling- und Überwachungsmaßnahmen für die Bauphase ein. Beratungsgremien werden eingesetzt, um die Planungs- und Bauphasen zu unterstützen bzw. zu überwachen. Bereits parallel zum Bau wird die Entwicklung neuer Messmethoden und technischer Komponenten der geplanten Instrumentierung durch Hochschulen vom Bund gefördert.

4. Betrieb und Instrumentierung

Mit der Inbetriebnahme steht eine neue Forschungsinfrastruktur Nutzern aus der Wissenschaft sowie der



Industrie zur Verfügung. Das Management steuert die Forschungsinfrastrukturen und richtet sie unter Aufsicht seiner Gremien strategisch aus. In diesen vertritt das Bundesforschungsministerium die Interessen der Bundesregierung. Wissenschaftliche Beratungsgremien sichern den exzellenzgeleiteten Auswahlprozess für die effiziente Nutzung der Forschungsinfrastrukturen. Während des Betriebs werden die Großgeräte und ihre Instrumentierung weiterentwickelt und an neueste wissenschaftliche Fragen angepasst. Das Bundesforschungsministerium unterstützt dies mit der „Verbundforschung“: Diese Projektförderung ermöglicht Arbeiten der Hochschulen, um das Leistungsspektrum

der Anlagen zu erweitern. Die Betreiber der Großgeräte reagieren mit gezielten Ausbauinvestitionen und Beiträgen aus ihrer Grundfinanzierung auf neue Anforderungen. Diese gemeinsamen Anstrengungen gewährleisten über Jahrzehnte die wissenschaftliche Exzellenz der Forschungsinfrastrukturen.

5. Auslauf

Um eine effektive Steuerung des Portfolios an Forschungsinfrastrukturen sicherzustellen, müssen regelmäßig Evaluationen auf strategischer und operativer Ebene erfolgen und gegebenenfalls tragfähige Aus-



Umnutzung: Seit über fünf Jahrzehnten im Dienst der Wissenschaft

Manchmal haben Anlagen nach dem Ende des eigentlichen Experimentierprogramms die Chance auf eine zweite Karriere, wie etwa die Teilchenbeschleuniger des Forschungszentrums DESY. Die erste Anlage ging 1964 in Betrieb. Experimente liefen dort bis 1978. Seitdem wird die Anlage als Vorbeschleuniger für andere, größere Speicherringe wie HERA und PETRA weiterverwendet. Auch der Teilchenbeschleuniger PETRA wurde nach seiner Betriebsphase weiter genutzt. 1978, als er anlief, war er der weltweit leistungsstärkste Speicherring für Elektronen und Positronen. Von 1990 bis 2007 diente er unter dem Namen PETRA II als Vorbeschleuniger des HERA-Speicherrings. Seit 2010 ist PETRA III die weltweit leistungsstärkste Synchrotronstrahlungsquelle ihrer Art. 2016 wurde die Anzahl ihrer Messplätze um mehr als 50 Prozent erweitert.

Wiederverwertung im Dienste der Völkerverständigung

Eine weitere Möglichkeit ist die Wiederverwertung oder Weiternutzung des Großgerätes oder seiner Komponenten an einem anderen Standort. Bewährte Messplätze des Geesthachter Forschungsreaktors werden beispielsweise als Bestandteil der Instrumentierung des Forschungsreaktors PIK in Gatchina, Russland, mitgenutzt.

Die ehemalige Photonquelle BESSY I bildet den Grundstock für das erste multinationale Forschungszentrum im Nahen Osten: SESAME in Allan, Jordanien. Ähnlich wie das CERN nach dem zweiten Weltkrieg einen Beitrag zur Völkerverständigung in Europa leistete,

In Jordanien nutzt das multinationale Forschungszentrum SESAME Komponenten von BESSY I – die ehemalige Photonquelle trägt so zur Völkerverständigung bei.

soll die gemeinsame Forschungsanlage SESAME Brücken zwischen Ländern aus der Region aufbauen: Ägypten, Bahrain, Iran, Israel, Jordanien, Pakistan, die Palästinensische Autonomiebehörde, die Türkei und Zypern.

Umweltverträgliche Stilllegung und Rückbau von Großgeräten

Für den Rückbau der Großgeräte am Ende ihres Lebenszyklus ist die betreibende Einrichtung verantwortlich. Ein Rückbau- und Entsorgungskonzept gehört deshalb in eine Gesamtbetrachtung der Kosten für den Bau und den Betrieb einer Anlage.

Der Rückbau und die Entsorgung von kerntechnischen Anlagen wie Forschungsreaktoren sind besonders anspruchsvoll: Die Einrichtungen müssen dabei spezielle atom- und strahlenschutzrechtliche Bedingungen erfüllen. Zentrale Ziele sind der Strahlenschutz und eine Minimierung des Abfallaufkommens. Dafür sind entsprechende Dekontaminations- und Zerlegeverfahren notwendig. Eine Besonderheit stellt der inzwischen weit fortgeschrittene Rückbau der kerntechnischen Anlagen aus den 1970er bis 1990er Jahren dar, die der Erforschung der Nutzung der Kernenergie dienten. Das Bundesforschungsministerium unterstützt die umweltverträgliche Stilllegung und Entsorgung der Anlagen in seinem Verantwortungsbereich durch die Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH (KTE) oder die Jülicher Entsorgungsgesellschaft für Nuklearanlagen mbH (JEN). Dies betrifft beispielsweise den Mehrzweckforschungsreaktor in Karlsruhe oder den Atomversuchsreaktor in Jülich.

stiegszenarien entwickelt werden. Großgeräte haben in der Regel eine Nutzungsdauer von Jahrzehnten. In der anschließenden Auslaufphase eröffnen sich drei Möglichkeiten für die Zukunft des Großgerätes und seiner Komponenten: Umnutzung, Wiederverwertung oder Rückbau. Das Bundesforschungsministerium entscheidet unter Berücksichtigung des wissenschaftlichen Bedarfs gemeinsam mit den Trägerinstitutionen über diese Optionen.

Technologien entwickeln

Energie-, Material- und Lebenswissenschaften sind zentrale Themen bei der Umsetzung gesellschaftlicher Zukunftsaufgaben. Dazu zählen der demographische Wandel, der eine starke Medizintechnik erfordert, und die Energiewende, die eine flexible und effiziente Energieversorgung erforderlich macht. Mit der Förderung von Zukunftstechnologien für die Bewältigung dieser Aufgaben leistet das Bundesforschungsministerium einen wesentlichen Beitrag, um Deutschlands Spitzenposition im internationalen Wettbewerb zu sichern – wissenschaftlich wie wirtschaftlich.

Die Forschungsinfrastrukturen im Themengebiet „Materie“ werden von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus den unterschiedlichsten Wissenschaftsdisziplinen genutzt. An diesen interdisziplinären Nutzerplattformen werden unterschiedlichste Fragestellungen in Energieforschung, Lebenswissenschaften, Umweltwissenschaften, Informationstechnologie und weiteren Bereichen erforscht. Sie tragen konkret zur Lösung gesellschaftlicher Zukunftsaufgaben bei. Das Bundesforschungsministerium stärkt diese interdisziplinäre Nutzung auch in Zukunft und fördert die Entwicklung neuer Instrumente und Messmethoden. Darüber hinaus wird eine stärkere Nutzung der Anlagen durch die Industrie angestrebt.

Die Erforschung aller drei Themengebiete dieses Rahmenprogramms nutzt themenübergreifende Technologien: Beschleunigertechnologie, Detektorweiterentwicklung und Data Science sind solche Querschnittsthemen. Sie werden als „Enabling Technologies“ – Ermöglichungstechnologien – bezeichnet, also Technologien, die beispielsweise Ausgangspunkt für neue Forschungsinstrumente, innovative Methoden und die Leistungssteigerung vorhandener und zukünftiger

Großgeräte sein können. Der Bund fördert gezielt Neu- und Weiterentwicklungen auf diesen Gebieten:

- Neue Beschleunigerkonzepte wie die Plasma-Wakefield-Technologie sind ein Schlüssel zu neuen Experimenten, Forschungsfeldern und -infrastrukturen. Sie haben das Potenzial, die Leistungsfähigkeit von Forschungsinfrastrukturen zu steigern sowie die Anlagen kompakter und kostengünstiger zu gestalten. Sie können neue Anwendungsbereiche zum Beispiel in Krebsdiagnose und -therapie erschließen.
- Neue Detektoren können immer detailreichere Bilder der Untersuchungsobjekte oder immer bessere Zeitlupenaufnahmen von Prozessen erstellen. Vorgänge in der Natur können immer präziser erfasst und detaillierter entschlüsselt werden. Von der Weiterentwicklung der Detektortechnologie profitieren sowohl die Forschung als auch die Bürgerinnen und Bürger: Sie findet Verwendung in der Medizintechnik oder der Unterhaltungselektronik, etwa in modernen Smartphones.
- Naturwissenschaftliche Grundlagenforschung ist zentrales Einsatzfeld neuer digitaler Methoden und Techniken. Sie ist maßgeblicher Treiber für die weitere digitale Entwicklung. Steigendem Berechnungsaufwand und komplexem Datenmanagement wird mit standortübergreifenden Arbeitstechniken und der Beseitigung technologischer Flaschenhälse begegnet. Offener Zugang und langfristige Datenhaltung müssen dabei auch in Zukunft die Anforderungen und Spezifika der verschiedenen Forschungsinfrastrukturen berücksichtigen. Der wissenschaftliche Nachwuchs baut im Bereich Datenmanagement eine einzigartige Expertise auf. In Zukunft können auf Basis des Know-hows aus der Grundlagenforschung neue Dienstleistungen und ganzheitliche Lösungen entstehen.



Nachwuchs fördern, Spitzenkräfte gewinnen

Naturwissenschaft und Technik interessieren viele junge Menschen. Förderung, Wettbewerbe sowie interaktive Angebote zu MINT-Themen unterstützen sie auf ihrem Bildungsweg. Mit dem Zugang zu Forschungsinfrastrukturen bietet ihnen das Bundesforschungsministerium hervorragende Entwicklungsmöglichkeiten.

Voraussetzung für eine leistungsfähige Wissensgesellschaft sind kompetente Fachkräfte aus Wissenschaft und Technik. Um die Wissensgesellschaft weiterzuentwickeln, werden in Deutschland jedes Jahr neue Nachwuchskräfte im MINT-Bereich benötigt. Im Jahr 2015 wurden rund 166 000 offene Stellen für akademische und nicht-akademische MINT-Fachkräfte bei der Bundesagentur für Arbeit gemeldet. Jährlich kommen ungefähr 90 000 MINT-Absolventinnen und Absolventen auf den Arbeitsmarkt¹. Um den Bedarf an solchen Fachkräften auch in Zukunft zu sichern, wird schon früh mit der Förderung des naturwissenschaftlich-technischen Nachwuchses begonnen. Im Laufe der Ausbildungsphasen werden den jungen Menschen zudem verschiedene Möglichkeiten geboten, sich zu qualifizieren und eine gute Ausgangsposition für ihre

berufliche Karriere zu legen. Manche Angebote laden zur berufsbegleitenden Weiterqualifikation ein.

Der Bund fördert wissenschaftlich-technische Interessen in unterschiedlichen Lebensphasen. Dies beginnt mit frühkindlicher Förderung, etwa durch das „Haus der kleinen Forscher“, und wird schulbegleitend durch Wettbewerbe wie „Jugend forscht“ fortgesetzt. Wer sich für ein Studium entscheidet, kann von Studierendenförderprogrammen wie BAföG profitieren².

Forschung entdecken

Der breite Maßnahmenkatalog im Bildungsbereich wird durch Nachwuchsförderung in den Themengebieten Teilchen, Materie und Universum gezielt ergänzt. Die Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft bieten Schülerinnen und Schülern früh einen Einblick in die naturwissenschaftliche Forschung. Experimentierlabore für Schülerinnen und Schüler – die „Schülerlabore“ – sorgen dafür, dass die Forschung in diesen Themengebieten Einzug in den Schulalltag der jungen Generation findet. Diese Aktivitäten regen zu einer über den

¹ Bundesagentur für Arbeit: Der Arbeitsmarkt in Deutschland – MINT-Berufe, März 2016

² Für aktuelle, weitere Förderprogramme des Bundesforschungsministeriums siehe www.bmbf.de.

Mit Wettbewerben anspornen

„Jugend forscht“ und „Schüler experimentieren“ ziehen in jedem Jahr 11 000 junge Menschen an. Diese vom Bundesforschungsministerium geförderten Wettbewerbe sind für viele Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Einstieg in eine vertiefte Beschäftigung mit den Naturwissenschaften und der Technik.

Preisträgerinnen und Preisträger von bundesweiten Wettbewerben werden jedes Jahr vom Bundesministerium für Bildung und Forschung zum Tag der Talente nach Berlin eingeladen. Der Tag dient dabei als Austauschplattform für die Forscherinnen und Forscher von morgen, die sich hier schon früh miteinander vernetzen können.



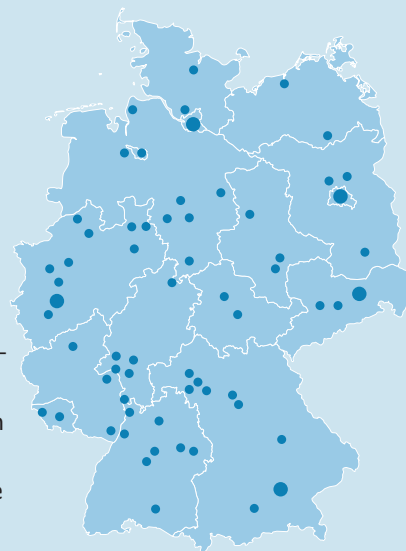
naturwissenschaftlichen Unterricht hinausgehenden Beschäftigung mit den MINT-Fächern an.

Ältere Schülerinnen und Schüler können in verschiedenen Formaten an aktueller Forschung teilhaben. Im vom Forschungsministerium geförderten Projekt „Netzwerk Teilchenwelt“ analysieren junge Menschen Originaldatensätze aus den Forschungsfeldern der Teilchenphysik. Dabei werden sie von erfahrenen Forscherinnen und Forschern unterstützt. Auch Aufenthalte am CERN sind für besonders engagierte Jugendliche Teil des Projekts. Der Wettbewerb „Beamline for Schools“ lädt Schulklassen dazu ein, eigene Experimente zu entwickeln und diese am CERN umzusetzen. Schülergruppen testeten bereits, ob sich eine Webcam als Detektor für Teilchen eignet. Andere Teams haben selbstgezüchtete Kristalle verwendet, um Teilchen nachzuweisen, oder begaben sich mit Experimenten zur Relativitätstheorie auf Einsteins Spuren.

Das Bundesforschungsministerium ermutigt Forscherinnen und Forscher, solche Initiativen verstärkt auf den Weg zu bringen.

Schülerlabore

Standorte in ganz Deutschland reichern das naturwissenschaftliche Lernen an – oft in Kooperation mit Hochschulen oder Forschungseinrichtungen. Ihre Angebote adressieren unterschiedliche Altersgruppen. Die Schülerinnen und Schüler beschä-



tigen sich mit naturwissenschaftlichen Phänomenen, die sich zum Teil an aktuellen Forschungsschwerpunkten orientieren. Anschauliche Experimente klären wie und warum Flugzeuge überhaupt fliegen, wie Supraleitung Züge schweben lässt und wie man aus einfachen Materialien Solarzellen baut. Im Labor lernen die Schülerinnen und Schüler das Funktionsprinzip eines Induktionsherdes kennen und beobachten den Zerfall kosmischer Teilchen in Nebelkammern. Mit den Teilchen- und Welleneigenschaften von Licht und Materie werden sie in die faszinierende Welt der Quantenphysik eingeführt.

→ <http://www.schuelerlabor-atlas.de>

Wissenschaftlichen Nachwuchs qualifizieren

Der Bund fördert die Ausbildung exzellenten Nachwuchses für Wissenschaft und Wirtschaft an Universitäten. Das Forschungsministerium unterstützt die fachspezifische und fachübergreifende Ausbildung von Studierenden, Promovierenden und Promovierten. In der institutionellen Förderung vernetzen gemeinsame Berufungen Forschungseinrichtungen und Hochschulen: Sie sehen die gleichzeitige Berufung einer Wissenschaftlerin oder eines Wissenschaftlers als Professorin bzw. Professor an eine Hochschule und in eine leitende Position an einer außeruniversitären Forschungseinrichtung vor. So erhalten ihre Studierenden Zugang zu einem spezialisierten Lehrangebot an ihrer Hochschule sowie zu den besonderen Forschungsressourcen an den Forschungseinrichtungen.

In Sommerschulen und Praktika vertiefen Nachwuchskräfte ihre fachliche Expertise sowohl in der Grundlagenforschung als auch in Anwendungsfeldern.

Dabei tauschen sie sich mit Teilnehmerinnen und Teilnehmern aus aller Welt aus. Beispielsweise fördert das Bundesforschungsministerium die Nutzung von Neutronen- und Photonenquellen in den Materialwissenschaften mit der Sommerschule MATRAC. Außerdem ermöglicht es gemeinsam mit Russland und Schweden die jährlich stattfindende RACIRI-Sommerschule.

Mit der Verbundforschung stärkt der Bund die Ausbildung exzellenten Nachwuchses in den Themengebieten Teilchen, Materie und Universum. Rund um die Forschungsinfrastrukturen erhalten neben dem wissenschaftlichen Nachwuchs auch technische Fach- und Führungskräfte eine einzigartige Ausbildung von höchstem Niveau dort, wo neueste Ideen und Technologien entstehen.

Im Themengebiet „Teilchen“ fördert das Bundesforschungsministerium das „Deutsche Technische Doktorandenprogramm“ am CERN mit den „Wolfgang-Gentner-Stipendien“. Ziel des Programms ist die Ausbildung von Doktorandinnen und Doktoranden deutscher Hochschulen in einem internationalen, erstklassigen Hochtechnologieumfeld mit engen Kontakten zur Industrie.

Die Arbeit an den nationalen und internationalen Großgeräten bietet einzigartige Möglichkeiten mit modernsten Forschungsmethoden. Die Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler gestalten diese Forschungsinfrastrukturen maßgeblich mit, was sowohl ihre Kompetenzen fördert als auch ihre internationale Sichtbarkeit erhöht.

Ein wichtiger Aspekt bei der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses in der Verbundforschung ist die Vernetzung der Jungwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler. Bei gemeinsamen Experimenten werden wertvolle Kontakte geknüpft. Die regelmäßigen Verbundtreffen erweitern die persönlichen fachlichen Netzwerke. Übergreifende Fragestellungen etwa zur Probenvorbereitung oder Datenauswertung werden dort gemeinschaftlich und interdisziplinär bearbeitet. An den internationalen Großgeräten lernen die Nachwuchskräfte kulturelle Unterschiede kennen und schätzen. In der Zusammenarbeit an komplexen Aufgaben entwickeln sie große Team- und Sozialkompetenz.

Köpfe für Wissenschaft und Wirtschaft

Die naturwissenschaftlichen Großgeräte sind ein wichtiger Baustein in der Bildungs- und Ausbildungsstruktur für einen starken MINT-Standort Deutschland, sowohl für die Wissenschaft als auch für die Wirtschaft. Etwa die Hälfte des wissenschaftlichen Nachwuchses wechselt nach Abschluss ihrer akademischen Forschungsarbeiten in die Wirtschaft. Mit seinen besonderen Kompetenzen ist der Nachwuchs für den Arbeitsmarkt attraktiv. Von der Mitarbeit an Entwicklung, Design und Bau der Großgeräte profitiert der Nachwuchs aus den Bereichen Technik, Ingenieurwesen und Architektur. Ziel des Forschungsministeriums ist es, auch in Zukunft den Bedarf von Wissenschaft und Wirtschaft an hochqualifiziertem Nachwuchs zu decken.

Führungs- und Leitungskompetenzen ausbauen

Professionelles Management in der Forschung erfordert eine hohe Leitungs- und Führungskompetenz. Mit Verantwortung im wissenschaftlichen Planungs- und Organisationsprozess von internationalen und nationalen Großgeräten erwerben junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bereits früh die notwendigen Fähigkeiten. So können in einem internationalen Umfeld Nachwuchsführungskräfte für Forschung, Forschungsmanagement und auch Wirtschaftsunternehmen heranreifen.

Die steigende Komplexität, Größe und Internationalität von Forschungsinfrastrukturen machen zusätzliche spezifische Weiterbildungsangebote für diese Nachwuchskräfte notwendig: Neben den wissenschaftlichen Fähigkeiten müssen auch die Management- und Führungsqualitäten gefördert werden. Das Bundesforschungsministerium ermuntert die Wissenschaft, innovative Formate für entsprechende Qualifikationsmaßnahmen zu entwickeln. Mit der 2007 ins Leben gerufenen Helmholtz-Akademie erfolgte ein erster Schritt in diese Richtung. Mit „Leading for Tomorrow“ wird die Deutsche Physikalische Gesellschaft ab 2017 ein zusätzliches Programm aufsetzen. Neue Initiativen

können auf diesen und anderen Fortbildungsmaßnahmen aufbauen.

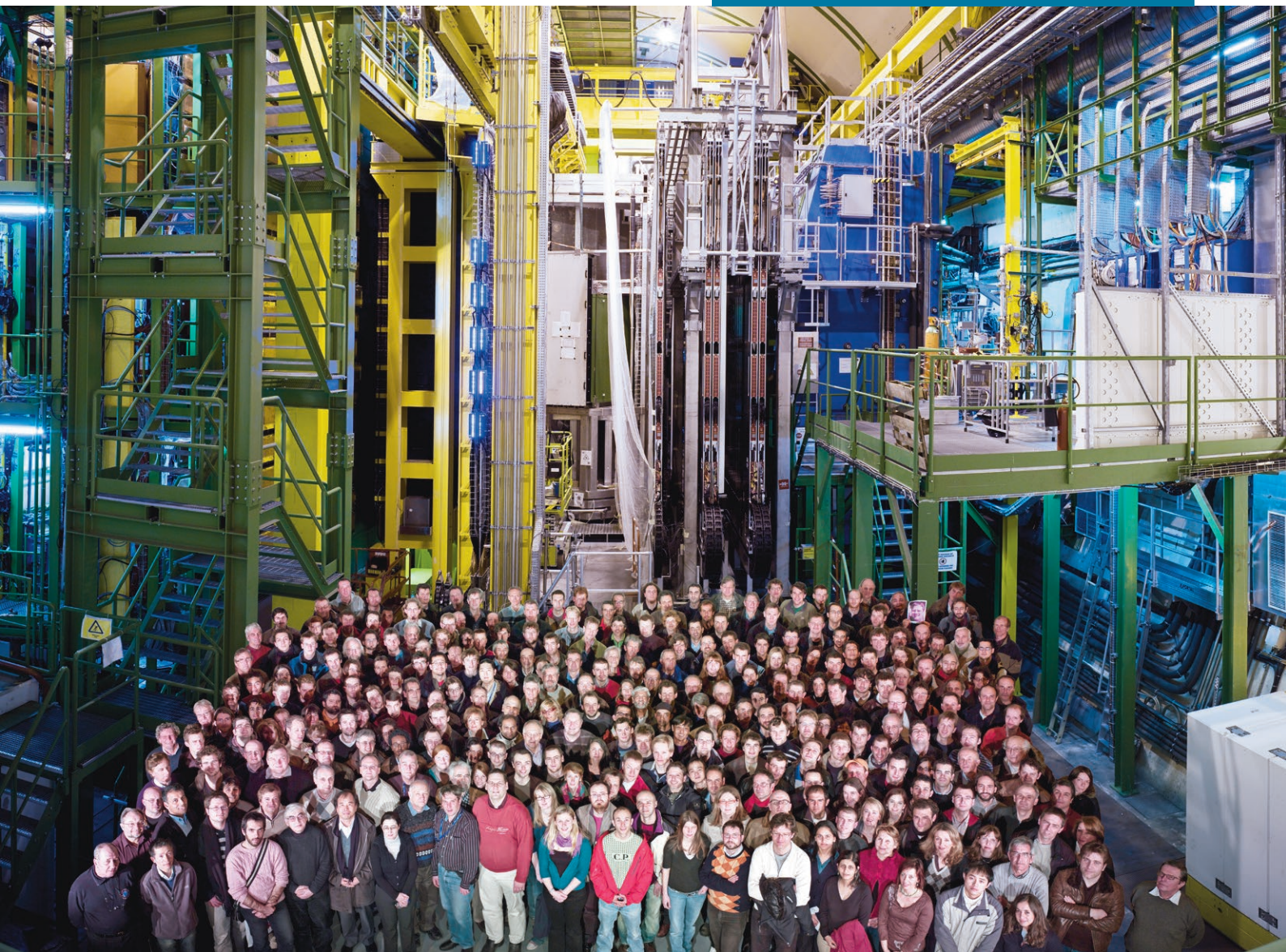
Perspektiven bieten

In Deutschland wird an Universitäten und Forschungszentren exzellenter wissenschaftlicher Nachwuchs in den MINT-Fächern ausgebildet. Die Arbeitsmöglichkeiten an Universitäten und Forschungszentren sind – auch aufgrund der forschungspolitischen Schwerpunktsetzungen des Bundesforschungsministeriums – hervorragend. Für den wissenschaftlich-technischen Nachwuchs bietet das deutsche Wissenschaftssystem attraktive Entfaltungsmöglichkeiten. Mit der Novellierung des Wissenschaftszeitvertragsgesetzes im Frühjahr 2016 hat der Bund die Rahmenbedingungen für planbare berufliche Perspektiven verbessert.

Spitzenkräfte gewinnen

Der Standort Deutschland zieht ausländische Spitzenforscherinnen und -forscher an. Unser Land profitiert davon, wenn sie einen Teil ihrer Karriere an Forschungseinrichtungen in Deutschland verbringen. Der Bund und seine Institutionen schaffen mit Austauschprogrammen, Dual-Career-Möglichkeiten und herausragenden Forschungsmöglichkeiten attraktive Rahmenbedingungen für alle – deutsche und ausländische – Nachwuchskräfte. Auch die Möglichkeit zu einer gemeinsamen Berufung ist für ausländische Spitzenkräfte hochattraktiv, weil sie neben der Funktionsstelle in einer Forschungseinrichtung den Status als Professorin bzw. Professor einer Hochschule erhalten können.

Gemeinsam forschen und voneinander lernen: Zusammenarbeit am LHCb-Detektor des Large Hadron Colliders, LHC.





Wissenschaft national und international vernetzen

Deutschland ist als größte Forschungsnation Europas einer der wichtigsten Gestalter der europäischen und internationalen Forschungslandschaft für die Themengebiete Teilchen, Materie und Universum. Basis hierfür ist Deutschlands eng verzahntes, erfolgreiches Wissenschaftssystem mit seinen vielfältigen Forschungsinfrastrukturen. Der Bund baut diese Vernetzung auf nationaler wie internationaler Ebene weiter aus und stärkt so langfristig Deutschlands und Europas wissenschaftliche Leistungskraft.

Das Bundesforschungsministerium vernetzt die unterschiedlichen Akteure der Erforschung von Teilchen, Materie und Universum national und aktiviert das Know-how der Hochschulen für Forschungsinfrastrukturen: ein gemeinsames Netzwerk aus Helmholtz-Zentren, Universitäten, Max-Planck- und Fraunhofer-Instituten sowie Einrichtungen der Leibniz-Gemeinschaft entsteht.

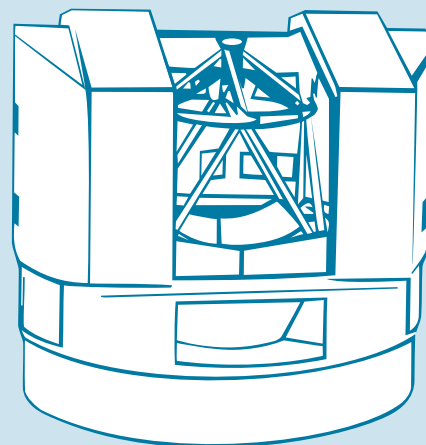
- Einer der sechs Forschungsbereiche der Helmholtz-Gemeinschaft widmet sich der Erforschung von

Teilchen, Materie und Universum. An ihm sind die Helmholtz-Zentren DESY, FZJ, GSI, HZB, HZDR, HZG und KIT beteiligt. Die wissenschaftlichen Themen des Forschungsbereichs werden von den Zentren gemeinsam mit dem Bundesforschungsministerium entwickelt und in der Forschungsbereichsplattform abgestimmt. Die beteiligten Zentren sind innerhalb des Helmholtz-Forschungsbereiches „Materie“ über die programmorientierte Förderung stark vernetzt. Die Forschenden kooperieren dabei – weltweit einmalig – auch über die Grenzen ihrer physikalischen Disziplinen hinweg: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Forschungsfeldern Teilchen-, Hadronen- und Astroteilchenphysik arbeiten gemeinsam an interdisziplinären Fragestellungen. Sie erforschen beispielsweise die Natur der Dunklen Materie oder entschlüsseln die Eigenschaften der Neutrinos.

- Mit der Verbundforschung bindet das Bundesforschungsministerium Hochschulen in dieses Netzwerk ein. Ihre Kompetenzen verbreitern und erhö-

Weiterentwicklung durch Vernetzung

Die Teleskope des Very Large Telescope (VLT) in Chile (Foto links) werden von der ESO gebaut und betrieben. Erst zusätzliche Instrumente ermöglichen Messungen. Dabei wird auf weltweite Expertise zurückgegriffen. Die Instrumente werden entweder direkt von der ESO entwickelt und gebaut, gemeinsam von ESO und Partnern oder vollständig durch internationale Partner. Die deutsche Beteiligung an dieser Instrumentenentwicklung des VLT wird durch die Förderung von Hochschulen in der Verbundforschung ermöglicht. Mit ihrer Hilfe bringen die Hochschulen ihr Wissen ein. Die Vernetzung zwischen verschiedenen Hochschulen bzw. zwischen Hochschulen und Forschungsinfrastrukturen ermöglicht Wissenstransfer und hebt Synergien.



hen die wissenschaftliche Expertise des Netzwerks. In der Evaluation der von 2006 bis 2014 durchgeführten Fördermaßnahmen hat sich das Förderinstrument Verbundforschung als außerordentlich leistungsfähig erwiesen: Die Verbundforschung vernetzt nachhaltig unterschiedliche Wissenschaftsdisziplinen und Akteure, steigert die Leistungsfähigkeit und Attraktivität der Forschungsinfrastrukturen und hat sich so eine international herausragende Stellung erarbeitet. Sie wird daher vom Bundesforschungsministerium langfristig gestärkt und weiterentwickelt.

- Die Institute der Max-Planck-Gesellschaft beteiligen sich an Bau und Betrieb einzelner Großgeräte, wo dies für ihre Forschungsthemen notwendig ist. Ihre vielfältige Forschung profitiert von dem breiten Angebot an Forschungsinfrastrukturen. Die einzelnen Max-Planck-Institute kooperieren zielgerichtet mit Helmholtz-Zentren und Hochschulen. Neue Knotenpunkte entstehen und bestehende werden gestärkt.
- Leibniz-Institute bringen sich insbesondere in der Astro- und Astroteilchenphysik aktiv beim Bau und Betrieb von Großgeräten ein. So fließt ihr Know-how in das Netzwerk zur Erforschung von Teilchen, Materie und Universum ein.

In die Pflege und Weiterentwicklung des Netzwerks werden die Nutzer der Forschungsinfrastrukturen eingebunden. Ihre Partizipation über gewählte Komitees wurde in den letzten Jahren etabliert und hat sich bewährt. In den jeweiligen Komitees erarbeiten Nutzer und Betreiber gemeinsam Strategiepapiere und Empfehlungen zu ihren Forschungsfeldern. Die Komitees repräsentieren insgesamt die Sicht von mehr als fünftausend Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern. Das Bundesforschungsministerium bindet die Expertise der Komitees im Prisma-Prozess (Seite 12) ein.

International zusammenarbeiten

Die Förderung der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung sichert Deutschlands starke Position im globalen Wettbewerb um neues Wissen und Innovationen. Heutige wissenschaftliche Herausforderungen sind in diesem Bereich mit großem technischen und finanziellen Aufwand verbunden. Um diesen Aufwand zu schultern, vernetzt sich Deutschland gezielt mit internationalen Partnern. Viele Projekte können nur gemeinsam – durch Konzentration der Finanzmittel und der wissenschaftlichen Expertise – umgesetzt werden. Davon profitieren alle Partner: Die finanziellen Lasten werden geteilt, verteiltes Know-how wird effektiv eingebunden, der Erkenntnisgewinn kommt allen zugute.

Brücken bauen

Die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit – WTZ – ist für Deutschland von wesentlicher forschungspolitischer Bedeutung. Strategische Forschungspartnerschaften ermöglichen wissenschaftliche Exzellenz auf Basis internationaler Kooperationen und haben eine Vernetzung in thematischen Schwerpunktbereichen zum Ziel.

Art und Format der Zusammenarbeit sind dabei auf die gemeinsamen Interessen und Perspektiven der Partner ausgerichtet. Zum Beispiel werden mit dem schwedischen Wissenschaftsrat im Themengebiet Materie bilaterale Projekte rund um Photonen- und Neutronenquellen gefördert. So sollen in Zukunft insbesondere Synergien der beiden neuen interdisziplinären Nutzerplattformen European XFEL und ESS identifiziert, ausgebaut und gewinnbringend eingesetzt werden. Diese Kooperation trägt Früchte: Schweden stellte 2016 an den in Betrieb befindlichen Photonenquellen PETRA III und FLASH jeweils die drittstärkste Nutzerschaft.

Deutschland und Russland sind gemeinsam an den großen Forschungsinfrastrukturen European XFEL und dem Beschleunigerkomplex FAIR beteiligt. Deutschland ist Partner des internationalen Vereinigten Instituts für Kernforschung in Dubna nahe Moskau. Mit diesen wissenschaftlichen Beteiligungen wird die gemeinsame Expertise in der Beschleunigerphysik zusammengeführt. Das von DESY in Hamburg und dem Kurtschatow-Institut in Moskau gegründete Ioffe-Röntgen-Institut dient als Dachmarke für gemeinsame deutsch-russische Aktivitäten. Als Resultat der erfolgreichen Kooperation haben sich an den nationalen Photonenquellen in Hamburg und Berlin sowie der europäischen Photonenquelle ESRF in Grenoble russische Nutzergruppen in den letzten Jahren erfolgreich etabliert.

Den Europäischen Forschungsraum gestalten

Um Europas Kräfte in der Forschung zu bündeln und nationale Forschungs- und Innovationsaktivitäten zu koordinieren, arbeiten die EU-Mitgliedsstaaten zusammen mit der Europäischen Kommission daran, den gemeinsamen Europäischen Forschungsraum (EFR) fest in Europa zu verankern. Er soll die Freizügigkeit der Forscherinnen und Forscher garantieren und den freien Austausch wissenschaftlicher Erkenntnisse und Technologien ermöglichen. In der Ausgestaltung des EFR werden große Forschungsinfrastrukturen gesamt-europäisch angedacht und umgesetzt.

ESFRI – European Strategy Forum on Research Infrastructures

Im Europäischen Strategieforum für Forschungsinfrastrukturen (ESFRI) arbeiten die europäischen Länder und die EU-Kommission bei der langfristigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Forschung und Entwicklung im globalen Wissenschaftsmarkt zusammen.

ESFRI unterstützt strategiegeleitete Entscheidungen über Forschungsinfrastrukturen in Europa und erleichtert EU-weite und internationale, multilaterale Initiativen sowie die bessere Nutzung und Weiterentwicklung der Infrastrukturen. ESFRI gibt Hilfestellung bei der grundsätzlichen Feststellung des Bedarfs, auch wenn sich erst durch die Rückkopplung mit nationalen Entscheidungsprozessen klären lässt, welche Forschungsinfrastruktur tatsächlich realisiert werden kann.

Die Bundesregierung hat 2014 als erstes EU-Land eine eigene Strategie zum Europäischen Forschungsraum erarbeitet. Teil dieser Strategie ist es, bei Planung, Bau und Betrieb von Forschungsinfrastrukturen eine frühzeitige Abstimmung über gemeinsame europäische Interessen zu erreichen. Dazu sollen nationale und europäische Prozesse in Zukunft stärker miteinander verknüpft werden.

Die gemeinsame Priorisierung neuer Forschungsinfrastrukturen erfolgt im europäischen Strategieforum für Forschungsinfrastrukturen (ESFRI). Es ist das zentrale Forum, in dem die Mitgliedsstaaten ihre Ideen und Überlegungen zu Forschungsinfrastrukturen entsprechend ihrer nationalen Prioritäten einbringen und nach gemeinsamer Diskussion und Evaluierung in passend gestalteten Partnerschaften verwirklichen können. Hierdurch kommen nationale Stärken zur Geltung und werden optimal durch die Stärken der europäischen Partner ergänzt. Als ESFRI-Gründungsmitglied nimmt Deutschland hier seine Rolle als Motor zur kontinuierlichen Weiterentwicklung des Europäischen Forschungsraums wahr.

Auch in Zukunft gestaltet der Bund aktiv den ESFRI-Prozess mit. Ein wichtiger Aspekt wird dabei die Verständigung auf einheitliche Standards für Evaluierungsverfahren und -kriterien auf europäischer Ebene sein. Das starke Engagement der deutschen Wissen-

Die ESFRI-Roadmap hat dazu beigetragen, das Bewusstsein aller Akteure für die Notwendigkeit gemeinsamer strategischer Planungen von Forschungsinfrastrukturen zu schärfen. Etliche Vorhaben haben den Roadmap-Prozess erfolgreich durchlaufen und befinden sich auf dem Weg zur Realisierung. Dabei hat sich gezeigt, dass dieser Weg für eine Beteiligung am Bau und dem späteren Betrieb gemeinsam erstellter Forschungsinfrastrukturen komplex und zeitaufwendig ist. ESFRI sucht daher auch nach Lösungen und Verbesserungen für die vielfältigen Herausforderungen bei der Implementierung der Roadmap-Vorhaben. So wurde beispielsweise auf Anregung von ESFRI durch die EU-Kommission eine neue europäische Rechtsform (ERIC – European Research Infrastructure Consortium) geschaffen, die die Gründung von internationalen Konsortien für den Betrieb von paneuropäischen, nichtkommerziellen Forschungsinfrastrukturen erleichtern soll.



schaft bei Planung, Bau und Betrieb von Forschungsinfrastrukturen wird fortgeführt.

Zentrale Elemente des gemeinsamen Forschungsraums sind darüber hinaus die EU-Rahmenprogramme für Forschung und Innovation, aktuell das Programm „Horizont 2020“. Sie fördern die Kooperation und den Austausch über Ländergrenzen hinweg. Das Bundesforschungsministerium setzt sich dafür ein, die Angebote von Horizont 2020 im Schwerpunkt „Exzellente Wissenschaft“ dort verstärkt für Forschungsinfrastrukturen zu nutzen, wo sich Synergien mit nationalen Prozessen ergeben.

Global handeln

Das Bundesforschungsministerium fördert gezielt die Beteiligung seiner Forschungseinrichtungen am Bau und Betrieb internationaler Großprojekte. Hierzu zählen neben den schon zuvor erwähnten Einrichtungen European XFEL, FAIR, ESS oder ELT beispielsweise CTA. Mit dem Hochenergie-Teleskopfeld CTA wird aktuell eine weltweit einzigartige Forschungseinrichtung geplant. Das gemeinsame internationale Interesse und der hohe technische und finanzielle Aufwand sind Gründe für die globale Zusammenarbeit. Hinzu kommt der Standortfaktor: Nur mit Teleskopen an verschiedenen Standorten in der Nord- und der Südhemisphäre kann das gesamte Universum betrachtet und somit der wissenschaftliche Erfolg sichergestellt werden.

Mit seiner Mitarbeit an internationalen Strategien und seiner Förderung sichert das Bundesforschungsminis-

Internationale Partner bauten von 2009 bis 2016 gemeinsam den European XFEL.

terium den deutschen Zugang zu strategisch relevanten Forschungsinfrastrukturen. Daher wird sich der Bund auch zukünftig global in ausgewählten Projekten engagieren.

Eine wichtige Rolle dabei nimmt die „Group of Senior Officials for Research Infrastructures“ (GSO) der führenden Industrienationen ein. Dieses durch die G7-Forschungsminister beauftragte Gremium befasst sich mit Forschungsinfrastrukturen globaler Bedeutung. Die GSO identifiziert einerseits Möglichkeiten zur konkreten Zusammenarbeit an globalen Forschungsinfrastrukturen. Andererseits diskutiert sie Fragestellungen zu Lebenszyklus, Evaluation sowie gemeinsamen Handlungsmöglichkeiten für Zugang und Datenmanagement.

Die enge friedliche Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus den verschiedensten Ländern trägt auch zur Völkerverständigung bei. Denn Werte der Wissenschaft wie Neutralität, Inklusion und Kooperation fördern Frieden und nachhaltige Entwicklung. Einer der Gründungsgedanken des CERN in den 1950er Jahren war es, die Länder Europas nach dem Zweiten Weltkrieg zusammenzubringen, um in vollständig friedlicher Absicht die Grenzen des menschlichen Wissens zu erweitern. Seither ist aus dieser Vision ein Modell der wissenschaftlichen und technologischen Zusammenarbeit geworden, das einen nachhaltigen Beitrag zu Frieden und Entwicklung leistet.



Innovation stimulieren und Partizipation ermöglichen

Technische Innovationen haben ihren Ursprung häufig in der Grundlagenforschung. Die Bundesregierung fördert den Transfer wissenschaftlicher Ergebnisse und die Umsetzung technologischer Neuerungen in neuartige Produkte. Mit partizipativen Elementen wird die Gesellschaft verstärkt eingebunden.

Neue Innovationskeime schaffen

Die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung an Großgeräten treibt technologische Entwicklungen an. Solche Innovationen können beim Bau, beim Betrieb und aus den wissenschaftlichen Erkenntnissen entstehen.

Innovationen aus dem technologischen Bedarf für Bau und Betrieb von Großgeräten

Großgeräte werden immer am Rande des ingenieurtechnisch Machbaren konzipiert und konstruiert. Die technischen Anforderungen zur Realisierung eines Großgerätes sind Keim für Innovationen.

Zwei Beispiele aus der Astrophysik: Während vor rund fünfzig Jahren Großteleskope mit Spiegeldurchmessern von fünf bis sechs Metern die Grenze der technischen Möglichkeiten darstellten, wird heute das Extremely Large Telescope (ELT) mit einem Spiegeldurchmesser von 39 Metern gebaut. Für diese Konstruktion müssen neue optische und mechanische Verfahren entwickelt und bestehende verbessert werden. Von den dafür neu entwickelten Verarbeitungstechniken und Messmetho-

Für die Positionierung der tonnenschweren ALMA-Teleskope in der unwegsamen chilenischen Hochebene wurden zwei geländegängige Schwertransporter entwickelt – weltweit einzigartige Ingenieurskunst aus Deutschland.

den zur Qualitätskontrolle profitieren dann auch Produktionstechniken in anderen Anwendungsbereichen.

Für den Transport ihrer tonnenschweren Teleskope in der Atacama-Wüste benötigten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neuartige Schwertransporter: Auf unwegsamem Gelände müssen die Teleskope millimetergenau platziert werden. In Deutschland wurden dazu zwei Schwertransporter mit einzigartigen Eigenschaften entwickelt. Jedes Rad kann auf der Stelle gedreht und so ausgerichtet werden, dass es selbst in Hanglagen stabil ist. Diese Entwicklung und die zugrundeliegende Software verhalfen dem deutschen Unternehmen zu einer weltweit führenden Position in diesem Technologiesegment.

Der Bau der Großgeräte schafft hervorragende Möglichkeiten für strategische Partnerschaften zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Dort, wo die Industrie bereits ab der Designphase eingebunden wird, kann sie sich an der Entwicklung der hochtechnologischen Produkte beteiligen und die erforderlichen Fertigkeiten für die Produktion erwerben.

Innovationen aus dem Betrieb der Großgeräte

Die Betriebsphase liefert neues Innovationspotenzial. Manchmal entstehen aus der Nutzung des Großgerätes direkt neue Produkte: Beispielsweise werden am Neutronenflussreaktor FRM II im industriellen Maßstab Siliziumkristalle bestrahlt. Diese Kristalle sind die Basis für neuartige Transistoren, die in den Umspannwerken der Offshore-Windenergieanlagen eine wichtige Komponente der Energiewende bilden.

Am FRM II hergestelltes Lutetium-177 wird erfolgreich bei der radioaktiven Markierung von Arzneimitteln zur Diagnose und Behandlung bestimmter Tumore verwendet: Hierbei handelt es sich um Tumore, die die Prostata oder hormonausschüttende Zellen an vielen Stellen im Körper beeinträchtigen, einschließlich der Bauchspeicheldrüse, des Darms, des Magens und der Lunge. Das Isotop Lutetium-177 kann nur mit Neutronenquellen produziert werden.

Auch die Forschung selbst profitiert von solchen Innovationen. Licht, das bei Teilchenbeschleunigern als

unerwünschtes Nebenprodukt entsteht, hat für andere Zwecke nützliche Eigenschaften. Es wird heute als Synchrotronstrahlung gezielt erzeugt. Synchrotronstrahlungsquellen sind interdisziplinäre Nutzerplattformen für die Erforschung der Materie, etwa für die Optimierung von Katalysatoren oder die Entwicklung von neuen Medikamenten.

Innovationen aus der naturwissenschaftlichen Erkenntnis

Viele technische Produkte wie GPS und Digitalkamera würden ohne die Grundlagenforschung nicht existieren. Ihre Technik beruht auf Ergebnissen der Physik aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, als die Quantenmechanik entwickelt wurde. Bis diese Ergebnisse Anwendung fanden, vergingen Jahrzehnte. Entsprechend erwarten wir, dass Erkenntnisse heutiger Grundlagenforschung in Zukunft ebenfalls in Produkte übergehen, die wir heute noch nicht erahnen. Zukünftige Generationen sind auf den langen Atem der Forschung und der Forschungsförderung angewiesen.

Der Transfer neuer Erkenntnisse in Anwendungen und Produkte ist nicht planbar. Dass es manchmal auch ganz schnell von der Grundlagenforschung zur technischen Innovation gehen kann, zeigt das Beispiel des Riesenmagnetowiderstands. Die Entdeckung von Albert Fert und Peter Grünberg im Jahr 1988 führte zu einem Innovationssprung. Schon acht Jahre später wurde die erste Festplatte gebaut, die diesen Effekt nutzt. Heute basieren alle Festplatten mit hoher Kapazität auf dieser Entdeckung der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung – ohne die Anwendung des Riesenmagnetowiderstands wären Festplatten heute nicht mit Speicherkapazitäten von einigen Terabyte in Hosentaschengröße herzustellen. Fert und Grünberg erhielten für ihre Arbeiten den Nobelpreis für Physik im Jahr 2007.

Mit Forschungsinfrastrukturen die Wirtschaft stärken

In einer möglichst lückenlosen Kette von der Grundlagenforschung bis hin zur Umsetzung sollen Forschungsergebnisse schnell den Weg in innovative Anwendungen finden. Damit tragen sie zu neuem Wohlstand und langfristig sicheren Arbeitsplätzen bei.

Von Grundlagenforschung zur Innovation

Um Fragen der Grundlagenforschung zu lösen, entwickeln Forscherinnen und Forscher innovative Lösungen und bauen einzigartige Forschungsinfrastrukturen. Manchmal braucht es einen langen Atem, bis daraus etwas Neuartiges entsteht, wie das Beispiel Smartphone zeigt. Es kann aber auch schneller gehen, wie diese Beispiele demonstrieren:

Mit Photonenquellen zu effizienteren Katalysatoren

An Photonenquellen wie PETRA III und dem ESRF werden Untersuchungsobjekte durchleuchtet. Diese interdisziplinären Nutzerplattformen helfen, innovative Katalysatoren zu entwickeln, die umweltschonendere Mobilität versprechen. Mit Röntgenstrahlung werden Katalysatoren während des Betriebs untersucht. Auf diesem Weg lernen die beteiligten Industriepartner die Prozesse zu verstehen, die im Inneren auf mikroskopischer Ebene ablaufen. Basierend auf diesen Erkenntnissen entwickeln sie neue, leistungsfähigere Bauteile für die Abgasreinigung, die außerdem 40 Prozent der zurzeit beim Bau eingesetzten Edelmetalle einsparen sollen. Entwicklungen aus der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung weisen so den Weg zu Hocheffizienzfahrzeugen von morgen.

Halbleiter für den Stromtransport

Stromtransport von Windparks ist mit Gleichspannung effizienter als mit Wechselspannung. Zu ihrer Umwandlung werden große Bauelemente aus hochreinem dotiertem Silizium benötigt. Bei einer ungleichmäßigen Verteilung der Phosphordotierung droht eine Überhitzung, die die Stromwandler schädigt. Am Neutronen-

reaktor FRM II wird phosphordotiertes Silizium mit höchster Qualität hergestellt. Der elektrische Widerstand schwankt beim fertigen Bauteil um weniger als fünf Prozent. Seit 2005 wurden dort mehr als achtzig Tonnen des hochwertigen Ausgangsmaterials hergestellt. Damit deckt die Forschungseinrichtung – quasi nebenbei – rund 15 Prozent des Weltbedarfs.

Mit empfindlichen Detektoren auf der Suche nach Krebszellen

Für aktuelle und zukünftige Teilchenbeschleuniger, wie den LHC am CERN, werden Kalorimeter entwickelt – Hightech-Messeinheiten, mit denen die Energie von Elementarteilchen vermessen wird. Die fortschreitende Miniaturisierung der Messsysteme erlaubt es, sie für innovative Bildgebungsverfahren in der medizinischen Tomographie weiterzuentwickeln. Dies verspricht neue diagnostische Möglichkeiten beispielsweise für Prostata- und Bauchspeicheldrüsenkrebs. Die Genauigkeit der Messungen wird verbessert und die Strahlenbelastung für den Patienten verringert sich.

Um von Himmelsobjekten möglichst viele Informationen zu sammeln, entwickeln Astronominen und Astronomen für die Großteleskope Hightech-Detektorsysteme. Mit Fasertechnologie entstehen nur wenige Millimeter große Messapparaturen, die das Licht in seine Bestandteile zerlegen. Diese Entwicklungen werden auf die optische Krebsdiagnose übertragen. Das hat mehrere Vorteile für die Patientinnen und Patienten: Die Untersuchung erfolgt minimalinvasiv, ist schneller und genauer – es muss kein Gewebe entnommen werden. Das Untersuchungsergebnis ist sofort verfügbar und die Bildqualität ist besser als mit bisherigen Methoden.

Die Bundesregierung unterstützt den Weg von der Grundlagenforschung zur Innovation. Das Bundesforschungsministerium greift diesen Aspekt in seinen verschiedenen Fach- und Rahmenprogrammen auf. Existenzgründungen aus der Wissenschaft, Spitzenforschung im Mittelstand und Innovationskraft von kleinen und mittelständigen Unternehmen werden beispielsweise mit Programmen wie Exist, KMU innovativ oder ZIM gefördert.

Innovationskeime aus der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung sind häufig nicht sofort reif für die konkrete Umsetzung. Das Bundesforschungsministerium plant, ihr Wachstum gezielt zu fördern. Die

Innovationskraft der Wissenschaft soll stärker in weiterführende Maßnahmen überführt werden.

Das Bundesforschungsministerium fördert den Technologietransfer besonders an den Helmholtz-Zentren. Geeignete Fortbildungs- und Informationsmaßnahmen schärfen verstärkt das Bewusstsein der Forschenden, aus ihren Entdeckungen und Erfindungen stärker als bisher wirtschaftlich verwertbare Produkte oder Dienstleistungen zu generieren. Mit künftigen Maßnahmen soll vorhandenes Potenzial für Innovationen aus der Forschung identifiziert und genutzt werden.

Die Verbindungsstellen zur Industrie (Industrial Liaison Offices, ILOs) fördern Kontakte nationaler Firmen



Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erproben neue Kommunikationsformate für den Dialog mit der Zivilgesellschaft.

zu den europäischen Forschungseinrichtungen. Aufgabe der ILOs ist es, Industriepartner auf die wettbewerblichen Möglichkeiten der Auftragsvergabe durch europäische Forschungszentren hinzuweisen, etwa durch individuelle Ansprache, Industrietage oder -messen. Unternehmen beteiligen sich an der Entwicklung und am Bau neuer Großgeräte sowie an den technischen Neuerungen während des Betriebs.

Nutzerplattformen für die Wirtschaft erschließen

Besonders die Strahlungsquellen des Themengebiets „Materie“ sind für kommerzielle Anwendungen geeignet. Ein Erfolgsbeispiel ist die Suche nach neuen Wirkstoffen für Pharmazeutika. Die Forschungsinfrastrukturen sind Teil der industriellen Entwicklung neuer Medikamente. An Synchrotronstrahlungsquellen nutzen Pharmaunternehmen standardisierte Messeinrichtungen. Daraus ergibt sich für diese Unternehmen eine hohe Verlässlichkeit für die Durchführung ihrer Messungen. In anderen Anwendungsfeldern werden sie aber noch wenig genutzt. Daher startet das Bundesforschungsministerium einen Prozess, Hürden für den industriellen Zugang abzubauen.

An Wissenschaft partizipieren

Bürgerinnen und Bürger wollen bei Themen aus Wissenschaft und Forschung zunehmend ihre Ideen und Meinungen einbringen. Der Bund unterstützt den öffentlichen Dialog. Die Wissenschaft soll dieses Interesse aufgreifen und ihren Dialog mit der Gesellschaft intensivieren.

Bürgerforschung ist in bestimmten Bereichen der Wissenschaft eine wichtige Unterstützung für die Forschung und beispielsweise in der beobachtenden

Astronomie bereits gelebte Praxis. Auch in den anderen Themengebieten dieses Programms sollen Bürgerinnen und Bürger ermutigt werden, sich zu beteiligen. Das Bundesforschungsministerium erwartet dafür von den beteiligten Einrichtungen eine zunehmende Einbeziehung der Zivilgesellschaft, um die Ziele der „Citizen Science Strategie 2020“ zu erreichen. Diese Strategie zeigt die Aktivitäten des Bundesforschungsministeriums im Bereich der Bürgerwissenschaften auf. Der Transfer von Wissen erfolgt nicht nur von der Forschung in die Gesellschaft, sondern auch umgekehrt von der Gesellschaft in die Forschung. Die Einbindung der Zivilgesellschaft in die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung an Großgeräten wird Thema einer Prisma-Konferenz sein.

Die direkte Vermittlung von Forschungsergebnissen kann am besten durch aktive Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit Kommunikationskompetenz geschehen. Der Bund unterstützt die Weiterbildung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zur Vermittlung ihres Expertenwissens an die interessierte Öffentlichkeit. Die Digitalisierung schafft neue Gestaltungs- und Teilhabemöglichkeiten. Sie zu nutzen, ist eine Herausforderung für die Wissenschaft. Das Bundesforschungsministerium unterstützt mit der Digitalen Agenda die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen. Die Etablierung von Open Access in der Breite der deutschen Wissenschaftslandschaft soll ein erster Schritt auf diesem Weg sein.

Zur weiteren Professionalisierung der Wissenschaftskommunikation soll auch der Vermittlungsprozess des Forschungsministeriums gestärkt werden. Im Bereich der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung werden dazu die erfolgreichen Formate „Highlights der Physik“ und „Welt der Physik“ langfristig weiterentwickelt und neue Ansätze zum Wissenstransfer erprobt.



Operative Umsetzung

Das Bundesforschungsministerium stellt für die Erforschung der Themengebiete Teilchen, Materie und Universum jährlich unter dem Vorbehalt verfügbarer Haushaltsmittel rund 1,5 Milliarden Euro zur Verfügung. Das Rahmenprogramm ErUM ist als lernendes Programm konzipiert und wird stetig an den sich ändernden gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Bedarf angepasst. Maßnahmen zu seiner Umsetzung werden in Aktionsplänen konkretisiert und die Wirksamkeit mit Evaluationen überprüft.

Struktur des Programms

Das Rahmenprogramm ErUM stellt den strategisch-thematischen Rahmen für die Förderung der Grundlagenforschung in den Themengebieten Teilchen, Materie und Universum mit den ineinandergreifenden Förderinstrumenten des Bundesforschungsministeriums dar. Es adressiert unterschiedliche thematische, technologische und strukturelle Handlungsfelder, für die in Aktionsplänen spezifische Förderziele und operative Maßnahmen festgelegt werden.

Aktionspläne

Das Bundesforschungsministerium erarbeitet Aktionspläne, um für spezifische Handlungsfelder Maßnahmen zu definieren und umzusetzen. In den Aktionsplänen werden in der Regel die Ausgangslage und der Handlungsbedarf beschrieben. Daraus resultierende Ziele des Bundesforschungsministeriums werden festgelegt und priorisiert. Zudem werden konkrete Maßnahmen beschrieben, um diese Ziele zu erreichen. Solche Maßnahmen umfassen zum Beispiel thematische Förderrichtlinien, Studien, Vernetzungsaktivitäten oder Pilotprojekte.

Die Aktionspläne zum Rahmenprogramm ErUM entwickelt das Bundesforschungsministerium partizipativ: die relevanten Akteure werden über die Elemente des Prisma-Prozesses eingebunden. Handlungsbedarf wird erörtert und konkrete Maßnahmen werden diskutiert. Das Bundesforschungsministerium wählt geeignete Maßnahmen aus.

Der erste Aktionsplan, „ErUM-Pro“, adressiert die Projektförderung zur Einbindung der Hochschulen in die Weiterentwicklung von Forschungsinfrastrukturen: Mit der Verbundforschung hat das Bundesforschungsministerium ein einzigartiges Instrument hierfür entwickelt. Der Aktionsplan baut auf ihrer Wirkung und ihren bisherigen Erfolgen auf. Basierend auf den Ergebnissen einer Evaluation aus dem Jahr 2016 wird die Verbundforschung weiterentwickelt. Der Aktionsplan erläutert, wie das Bundesforschungsministerium künftig die Vernetzung der Hochschulen mit den Forschungsinfrastrukturen gestaltet. Er soll im ersten Jahr der Programmlaufzeit erarbeitet werden. Zusätzliche Aktionspläne werden sich aus dem Prisma-Prozess entwickeln. Sie gestalten die weiteren in diesem Programm vorgestellten Handlungsfelder aus.

Die Definition geeigneter Kennzahlen zur Evaluation der Maßnahmen ist Teil jedes Aktionsplans. Diese berücksichtigen die wissenschaftliche Qualität, ihre Bedeutung für die Forschungslandschaft sowie Auswirkungen auf die Ausbildung und Förderung des MINT-Nachwuchses. Ergänzend werden Indikatoren zur Exzellenz, strategischen Entwicklung und zur Partizipation ermittelt.

Lernendes Programm

Mit dem vorliegenden Programm wird ein neuer, langfristiger und zukunftsweisender Handlungsrahmen definiert. Die Rahmenbedingungen des Programms, der wissenschaftliche und gesellschaftliche Bedarf wie auch ökonomische und technische Voraussetzungen entwickeln sich weiter. Die Umsetzung erfolgt daher im Sinne eines lernenden Programms: Es ist offen und anpassungsfähig.

Die Themengebiete von ErUM werden fortlaufend auf ihre forschungspolitische Bedeutung hin überprüft. Mit dem Themenradar, das Teil des Prisma-Prozesses ist, werden die Forschungsfelder beobachtet. Die Inhalte des Programms werden dahingehend überprüft, ob sie durch neue Themen und Ansätze ergänzt werden sollten – auf wissenschaftlichem wie auf gesellschaftlichem Gebiet. Mit seinem flexiblen Instrumentarium kann das Bundesforschungsministerium seine Förderaktivitäten maßgeschneidert an sich ändernde Fragestellungen anpassen.

Laufzeit und Evaluation

Das Rahmenprogramm ErUM ist für eine zehnjährige Laufzeit konzipiert. Nach der Hälfte der Laufzeit ist eine Ex-Post-Evaluation zur Wirkungsanalyse vorgesehen. Sie bereitet die Erfahrungen zurückliegender Maßnahmen auf und macht sie für die Gestaltung neuer Programminitiativen nutzbar. In der zweiten Laufzeithälfte wird eine Ex-Ante-Evaluation durchgeführt, die die Fortschreibung oder Verlängerung des Programms vorbereitet. Die Programmlaufzeit kann um fünf Jahre verlängert werden.

Förderinstrumente

Das Bundesforschungsministerium setzt das Rahmenprogramm mit einem abgestimmten Portfolio von sich ergänzenden Förderinstrumenten um.

Institutionelle Förderung

Bund und Länder finanzieren gemeinsam die nationalen Wissenschaftsorganisationen wie die Helmholtz-Gemeinschaft, die Max-Planck-Gesellschaft oder die Leibniz-Gemeinschaft. Knapp ein Drittel der Forschungsfördermittel des Bundesforschungsministeriums entfallen auf die langfristige institutionelle Förderung der Einrichtungen dieser Organisationen.

Die großen Forschungsinfrastrukturen von nationalem Interesse werden in der Regel von der Helmholtz-Gemeinschaft betrieben und den Forschenden zur Verfügung gestellt. An europäischen Forschungsinfrastrukturen, wie European XFEL, ESS und FAIR, beteiligt sich die Helmholtz-Gemeinschaft im Auftrag des Bundes.

Die Helmholtz-Gemeinschaft setzt die mit Bund und Ländern beschlossenen forschungspolitischen Zielvereinbarungen in ihren Forschungsbereichen um, so auch im Forschungsbereich Materie und seinen drei Programmen zur Erforschung von Teilchen, Materie und Universum. In Aufsichtsgremien stellen die Ministerien aus Bund und Ländern die Umsetzung der Programmatik der Zentren sicher. Das Gesamtbudget der Helmholtz-Gemeinschaft wird zu gut zwei Dritteln aus Mitteln der öffentlichen Hand finanziert. Davon werden 90 Prozent vom Bund und 10 Prozent von den

Ländern getragen, die Sitz der jeweiligen Einrichtungen sind.

Beiträge zu internationalen Einrichtungen

Die internationalen Forschungseinrichtungen CERN, ESO, ESRF und ILL werden von mehreren Staaten getragen und gemeinsam finanziert. Mit einem Anteil von jeweils über 20 Prozent ist Deutschland einer der größten Beitragszahler. Diese Beiträge ermöglichen den genannten Einrichtungen den Betrieb und die Umsetzung ihrer mit allen Beitragszahlern abgestimmten Forschungsagenden. Die Bundesregierung steuert in den Leitungsgremien die programmatische Ausrichtung und strategische Weiterentwicklung der Einrichtungen.

Projektförderung

Die Projektförderung bringt die Kompetenz der Hochschulen an die Forschungsinfrastrukturen und unterstützt den Bau von Großgeräten.

Um die besonderen Kompetenzen der Universitäten und Fachhochschulen optimal mit denen der Forschungsinfrastrukturen zu verknüpfen, hat das Bundesforschungsministerium ein weltweit einzigartiges Förderinstrument entwickelt: In der „Verbundforschung“ fördert es Projekte von Hochschulen zur Entwicklung und zum Aufbau innovativer Methoden und Instrumente an den Forschungsinfrastrukturen.

Bei der Darstellung der Zukunft spielt der Fortschritt in Forschung, Technik und Gesellschaft eine wichtige Rolle.



Dieses Modell hat Vorteile für beide Seiten: Die Forscherinnen und Forscher an Hochschulen erhalten Zugang zu weltweit führenden Forschungsinfrastrukturen und können diese genau auf ihren wissenschaftlichen Bedarf hin optimieren. Mit der Inbetriebnahme dieser Weiterentwicklungen steigen langfristig die Leistungsfähigkeit und das Nutzungsspektrum der Großgeräte. Im Wettbewerb erschließen die Hochschulen neue Messmöglichkeiten von höchster wissenschaftlicher Qualität. Das Bundesforschungsministerium entscheidet über die Förderung auf Basis eines exzellenzgeleiteten Begutachtungsprozesses entsprechend seiner forschungspolitischen Prioritäten.

Die Begutachtung orientiert sich an internationalen Standards: Die fachliche Bewertung der Förderprojekte erfolgt grundsätzlich im sogenannten Peer-Review-Verfahren. Dies gilt insbesondere für die Begutachtungsverfahren in der Verbundforschung. Dafür werden nationale und internationale Expertinnen und Experten fachspezifisch für die jeweiligen Gutachterkreise berufen. Sie bewerten geplante Forschungsvorhaben entsprechend im Vorfeld definierter Kriterien. Das Auswahlverfahren der Projektideen über Bekanntmachungen und Ideenwettbewerbe unter Einbeziehung unabhängiger Fachgutachter garantiert eine möglichst große Beteiligung und Mobilisierung der Zielgruppen. Es stellt sicher, dass im Rahmen der forschungspolitischen Prioritäten die jeweils besten Projektvorschläge ausgewählt werden können.

Entscheidungen über Investitionen in Forschungsinfrastrukturen sowie deren Betrieb und Nutzung müssen einen wissenschaftlich begründeten Bedarf ebenso berücksichtigen wie Qualität und Finanzierbarkeit. Meist setzen institutionell geförderte Einrichtungen den Bau der Großgeräte um. Dazu werden die Einrichtungen in vielen Fällen durch Projektförderung unterstützt.

Komplementär zu diesen Fördermaßnahmen finanzieren Bund und Länder die Projektförderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG.

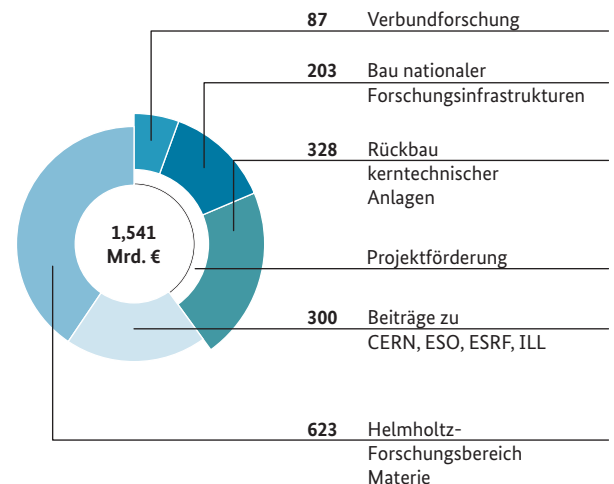
Fachinformation

Die Öffentlichkeit wird über die sich aus dem Rahmenprogramm ErUM ergebenden Aktivitäten kontinuierlich informiert. Ergänzend sollen geförderte Projekte aktuelle Informationen für die Gesellschaft aufbereiten. Sie berichten über Stand und Perspektiven der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung zur Erforschung von Teilchen, Materie und Universum.

Fördermittel

Für Aktivitäten des vorliegenden Rahmenprogramms plant das Bundesforschungsministerium unter dem Vorbehalt verfügbarer Haushaltsmittel bis zu rund 1,5 Milliarden Euro pro Jahr¹ in die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung an Großgeräten zur Verfügung zu stellen. Vom finanziellen Volumen her nimmt dabei die institutionelle Förderung der Helmholtz-Gemeinschaft den größten Teil ein².

Für die institutionelle Förderung ist im Pakt für Forschung und Innovation eine Steigerung von 3 Prozent in der Periode von 2016 bis 2020 beabsichtigt.



Mio € pro Jahr (Stand 2018)

¹ Bundeshaushaltsplan 2018, Einzelplan 30

² Geschäftsbericht 2018 der Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren

Glossar

- ALICE** Teilchendetektor am LHC
- ALMA** Antennenfeld in der Atacama-Wüste (Chile) zur Beobachtung des Universums im Millimeter- und Submillimeter-Wellenlängenbereich, Nutzerplattform betrieben von der ESO
- ATLAS** Teilchendetektor am LHC
- BER II** Neutronenquelle in Berlin für die Forschung zu Energie, Gesundheit und Materie mit Neutronen, interdisziplinäre Nutzerplattform betrieben vom HZB
- BESSY II** Synchrotronstrahlungsquelle in Berlin für die Forschung zu Energie, Gesundheit und Materie mit weicher Röntgenstrahlung, interdisziplinäre Nutzerplattform betrieben vom HZB
- CMS** Teilchendetektor am LHC
- CERN** Europäisches Kernforschungszentrum in Genf (Schweiz) zur Erforschung der kleinsten Teilchen
- CTA** Teleskop-Anordnung mit Standorten auf der Nord- und Südhalbkugel zur Beobachtung des Universums im hochenergetischen Bereich, Nutzerplattform
- DESY** Deutsches Elektronensynchrotron, Helmholtz-Zentrum in Hamburg für Entwicklung, Bau und Betrieb von Teilchenbeschleunigern, Teilchenphysik und die Forschung mit Röntgenstrahlung
- DIDO** Ehemaliger Forschungsreaktor am FZJ
- DORIS** Ehemalige Speicherringanlage des DESY
- ELBE** Linearbeschleuniger in Dresden für die Forschung zu Energie, Gesundheit und Materie, interdisziplinäre Nutzerplattform betrieben vom HZDR
- ELI** Laserforschungsprojekt mit Standorten in Bukarest (Rumänien), Prag (Tschechien) und Szeged (Ungarn)
- ELT** Optisches Großteleskop in der Atacama-Wüste (Chile) zur Beobachtung des Universums im Nah- und Mittelinfrarotbereich, Nutzerplattform betrieben von der ESO
- ESO** European Southern Observatory, Europäische Südsternwarte mit Hauptsitz in Garching und Teleskopen in Chile
- ESRF** Europäische Synchrotronstrahlungsquelle in Grenoble (Frankreich) für die Forschung zu Energie, Gesundheit und Materie mit harter Röntgenstrahlung, interdisziplinäre Nutzerplattform
- ESS** Neutronenquelle in Lund (Schweden) für die Forschung zu Energie, Gesundheit und Materie mit Neutronen, interdisziplinäre Nutzerplattform
- European XFEL** Europäischer Röntgenlaser in Hamburg und Schleswig-Holstein für die Forschung zu Energie, Gesundheit und Materie mit harter Röntgenstrahlung, interdisziplinäre Nutzerplattform
- FAIR** Internationale Ringbeschleunigeranlage für Antiprotonen und Ionen in Darmstadt zur Untersuchung der kleinsten Teilchen
- FLASH** Röntgenlaser in Hamburg für die Forschung zu Energie, Gesundheit und Materie mit weicher Röntgenstrahlung, interdisziplinäre Nutzerplattform betrieben von DESY
- FRG-1** Ehemaliger Forschungsreaktor in Geesthacht
- FRM II** Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz in Garching für die Forschung zu Energie, Gesundheit und Materie mit Neutronen, interdisziplinäre Nutzerplattform betrieben von der TU München
- FZJ** Forschungszentrum Jülich, Helmholtz-Zentrum in Jülich zur interdisziplinären Forschung
- GSI** Helmholtz-Zentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt

HERA Ringförmiger Teilchenbeschleuniger in Hamburg zur Untersuchung des Aufbaus von Teilchen, bis 2007 in Betrieb bei DESY

H.E.S.S. Teleskop in Namibia zur Beobachtung hochenergetischer Strahlung aus dem Universum

IFR/ILL Neutronenquelle am Institut Laue-Langevin in Grenoble (Frankreich) für die Forschung zu Energie, Gesundheit und Materie mit Neutronen, interdisziplinäre Nutzerplattform

HZB Helmholtz-Zentrum Berlin, Forschungseinrichtung für Materialien und Energie

HZDR Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Forschungseinrichtung für Energie, Gesundheit und Materie

HZG Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Forschungszentrum für Material- und Küstenforschung

ISOLDE Ionenstrahlquelle am CERN

KATRIN Großexperiment zur Bestimmung der Neutrinomasse, betrieben vom KIT

KIT Karlsruher Institut für Technologie, Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft für Energie, Materie, Klima und Umwelt, Mobilität, Informationstechnologie sowie Mensch und Technik

LEP Ehemaliger Teilchenbeschleuniger des CERN, Vorgänger des LHC

LHC Ringförmiger Teilchenbeschleuniger in Genf (Schweiz) zur Untersuchung der kleinsten Teilchen, betrieben vom CERN

LHCb Teilchendetektor am LHC

MAGIC Teleskope auf La Palma (Spanien) zur Beobachtung hochenergetischer Strahlung aus dem Universum

NEPOMUC Positronenquelle am FRM II

PETRA III Synchrotronstrahlungsquelle in Hamburg für die Forschung zu Energie, Gesundheit und Materie mit harter Röntgenstrahlung, interdisziplinäre Nutzerplattform betrieben von DESY

Pierre-Auger-Observatorium Detektoranordnung in der Pampa Amarilla (Argentinien) zur Beobachtung kosmischer Strahlung höchster Energie

VLT Optisches Großteleskop in der Atacama-Wüste (Chile) zur Beobachtung des Universums im optischen und Nahinfrarot-Bereich, Nutzerplattform betrieben von der ESO

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium
für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Materie und Univerum
53170 Bonn

Bestellungen

schriftlich an
Publikationsversand der Bundesregierung
Postfach 48 10 09
18132 Rostock
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
Internet: <http://www.bmbf.de>
oder per
Tel.: 030 18 272 272 1
Fax: 030 18 10 272 272 1

Stand

Januar 2022

Druck

BMBF

Redaktion und Gestaltung

awk/jk, Bremen

Bildnachweis

KIT/Markus Breig: Titelseite
Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, Guido Bergmann: Seite 2
DESY/D. Reipka: Seite 3
Antonio Guillem/Thinkstock: Seite 4
ESO/B. Tafreshi (twanight.org): Seite 5
Jens Kube (awk/jk): Seite 6/7
DESY/H. Müller-Elsner: Seite 8
ESO/A. Ghizzi Panizza (www.albertoghizzipanizza.com): Seite 10
Jens Kube (awk/jk): Seite 11
ESO: Seite 12
ESS/Team Henning Larsen Architects: Seite 16
Jens Kube (awk/jk): Seiten 17, 18/19
SESAME: Seite 20
Stiftung Jugend forscht e.V.: Seite 22
Forschungszentrum Jülich/Ralf-Uwe Limbach: Seite 23 l.
Maximilien Brice, Rachel Barbier/CERN: Seite 25
M. Struik (CERN)/ESO: Seite 26
DESY/B. v. Heintze: Seite 27
DESY/D. Nölle: Seite 29
ALMA (ESO/NAOJ/NRAO): Seite 30
DESY/G. Born: Seite 33
Lena Weitz/GSI: Seite 34
Gelmi Estúdio de Arte (www.gelmi.com.br): Seite 36

Text

BMBF, Bonn
Projekträger DESY, Hamburg

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament. Missbräuchlich sind insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Titelbild: Auffälligste Komponente der Neutrinoanlage KATRIN ist ein riesiger evakuierter Edelstahltank.

