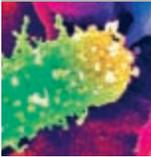


# »Struktur der Materie«



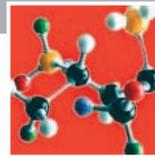
Gesundheit



Energie



Erde und Umwelt



Struktur der Materie



Verkehr und Weltraum



Schlüsseltechnologien



## Inhalt

<b>Vorwort</b>	<b>1</b>
<b>Die Helmholtz-Gemeinschaft</b>	<b>2</b>
<b>Der Forschungsbereich Struktur der Materie</b>	<b>3</b>
<b>Die Programme</b>	
Elementarteilchenphysik	<b>4</b>
Astroteilchenphysik	<b>6</b>
Physik der Hadronen und Kerne	<b>8</b>
Kondensierte Materie	<b>10</b>
Großgeräte für die Forschung mit Photonen, Neutronen und Ionen	<b>12</b>

## Impressum

### Herausgeber

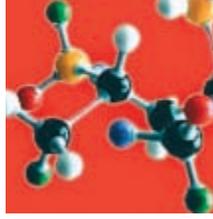
Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft  
 Deutscher Forschungszentren e.V.  
 Im Wissenschaftszentrum  
 Ahrstraße 45, 53175 Bonn  
 Telefon 0228 30818-21  
 E-Mail: [info@helmholtz.de](mailto:info@helmholtz.de)  
[www.helmholtz.de](http://www.helmholtz.de)

### Büro Berlin

Im Wissenschaftsforum am Gendarmenmarkt  
 Markgrafenstraße 37, 10117 Berlin

### Gestaltung

GDE Grafik Design Erdmann  
 Bonn · [www.gde.de](http://www.gde.de)



# Vorwort

Bei der Erforschung der Struktur der Materie geht es darum, die grundlegenden Elemente und fundamentalen Kräfte des Universums, die Gesetze für das Zusammenspiel der Atome, Ionen und Elektronen in den Stoffen unserer Welt zu entschlüsseln. Forscherinnen und Forscher stehen vor der Herausforderung, die Welt in ihren kleinsten und in ihren größten Dimensionen zu verstehen und die Komplexität von Materie zu begreifen. Der Spannungsbogen der Forschung reicht vom unendlich Kleinen, den elementaren Bausteinen der Materie, bis zum unendlich Großen, den Strukturen des Universums in den weiten Distanzen des Weltraums. Er schließt hochkomplexe Phänomene mit ein, verursacht durch die Wechselwirkung der Myriaden von Atomen in kondensierter Materie, zum Beispiel in Flüssigkeiten, Festkörpern und komplexen Bio-Materialien.

Bei der Erforschung des Mikrokosmos suchen unsere Forscherinnen und Forscher nach Antworten auf fundamentale Fragen zum Aufbau der Welt. Die Grundlagenforschung auf dem Gebiet der kondensierten Materie hat größere Nähe zu Anwendungen.

Eine Kernkompetenz der Helmholtz-Forschung sind Großgeräte. Die meisten Großgeräte in Deutschland werden im Forschungsbereich Struktur der Materie der Helmholtz-Gemeinschaft geplant, betrieben und eingesetzt. Ob Teilchenbeschleuniger, Synchrotronstrahlungs-, Neutronen- oder Ionen-Quellen: Diese großen, teilweise weltweit einzigartigen wissenschaftlichen Infrastrukturen werden von zahlreichen Forschern aus dem In- und Ausland genutzt. Mit ihren Groß-

geräten leistet die Helmholtz-Gemeinschaft also einen wesentlichen Beitrag zur Internationalisierung der deutschen Wissenschaft und Steigerung der Attraktivität des Forschungsstandortes.

Im Forschungsbereich „Struktur der Materie“ werden in den nächsten Jahren zwei Projekte mit europäischer Beteiligung realisiert, die für die globale Science Community besonders wichtig sind: Mit dem XFEL (X-Ray Free-Electron Laser) wird die Forschergemeinde künftig über einen Laser verfügen, der Röntgenstrahlen in einer bisher unerreichten Qualität produziert. Damit können beispielsweise sehr schnelle biologische, chemische und physikalische Vorgänge direkt in ihrem zeitlichen Ablauf analysiert werden. Die Forschung mit diesem Gerät ist interdisziplinär und wird Nutzer aus aller Welt zusammenführen. Mit dem Antiproton- und Ionenbeschleuniger FAIR wird es möglich sein, gezielt Antiprotonen und exotische Ionen herzustellen. FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) wird damit zum tieferen Verständnis der Kernmaterie und der starken Wechselwirkung beitragen. Die Erforschung des fünften Aggregatzustands, des Quark-Gluon-Plasmas, ist nur ein Beispiel für die zu erwartende spannende Forschung.

Unsere Pläne sind ehrgeizig. Aber nur wer sich anspruchsvolle Ziele setzt, kann zur Lösung von großen Fragen unserer Zeit nachhaltig beitragen.

Professor Dr. Albrecht Wagner  
Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) Hamburg  
Kordinator des Forschungsbereiches Struktur der Materie in der Helmholtz-Gemeinschaft



# Die Helmholtz-Gemeinschaft

Bild: GSI

» In der Helmholtz-Gemeinschaft haben sich 15 nationale Zentren für naturwissenschaftlich-technische und biologisch-medizinische Forschung mit 24 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und einem Jahresbudget von mehr als zwei Milliarden Euro zusammengeschlossen. Ihr Auftrag ist Forschung, die wesentlich dazu beiträgt, große und drängende Fragen von Wissenschaft, Gesellschaft und Wirtschaft zu beantworten. Dazu bündelt die Gemeinschaft ihre Kräfte in sechs Forschungsbereichen: Energie, Erde und Umwelt, Gesundheit, Schlüsseltechnologien, Struktur der Materie sowie Verkehr und Weltraum. «

Helmholtz-Wissenschaftler erforschen komplexe Systeme, die Mensch und Umwelt bestimmen. Um sie zu entschlüsseln, kooperieren die Forscherinnen und Forscher untereinander und mit externen Partnern – über die Grenzen von Disziplinen, Organisationen und Nationen hinweg. Die Forschung in der Helmholtz-Gemeinschaft zielt darauf, die Lebensgrundlagen des Menschen langfristig zu sichern und die technologische Basis für eine wettbewerbsfähige Wirtschaft zu schaffen. Das Potenzial der Gemeinschaft, diesem Anspruch gerecht zu werden, sind exzellente Köpfe, leistungsfähige Infrastruktur und modernes Forschungsmanagement.

## Die Programmorientierte Förderung

Um ihre Visionen, Ziele und Strategien zu konkretisieren, entwickeln die Helmholtz-Wissenschaftler in jedem Forschungsbereich Programme, die die Beiträge von Forschergruppen zu zentralen Themen zusammenführen. In diesen Programmen bündelt die Gemeinschaft ihre Kompetenzen und Ressourcen. Auf diese

Weise steigert sie die Leistungsfähigkeit, Flexibilität und Zielgerichtetheit ihrer Forschung. Mit den längerfristig angelegten Programmen stellen sich die Wissenschaftler zugleich dem Wettbewerb um finanzielle Förderung. Jedes Programm wird von einer internationalen Expertengruppe evaluiert; deren Votum bildet die Grundlage für die Förderentscheidung von Bund und Ländern.

Die Gutachter bewerten die wissenschaftliche Qualität im internationalen Vergleich. Sie prüfen die strategische Bedeutung der Programme für Wissenschaft, Gesellschaft und Wirtschaft. Außerdem fragen sie nach der Expertise und Kompetenz der Wissenschaftler für die Programmenthemen und analysieren, ob Aufwand und Ziele in einem vernünftigen Verhältnis zueinander stehen. Mit der Förderung von Programmen auf der Basis strategischer Begutachtung durch internationale Experten setzt Helmholtz auf die fruchtbare Spannung von Kooperation und Wettbewerb, um als einer der wichtigen Akteure die europäische und internationale Forschungslandschaft mitzugestalten.



# Der Forschungsbereich Struktur der Materie

» Erkenntnis, was die Welt im Innersten zusammenhält, ist das zentrale Ziel der Arbeit der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Forschungsbereich Struktur der Materie. Vielfach gibt die Suche nach Antworten auf grundlegende Fragen der Naturwissenschaften aber auch den Anstoß für technologische Entwicklungen, die das Leben in der modernen Gesellschaft spürbar verändern. Die vielen modernen Diagnose- und Therapiemethoden sind Beispiele hierfür, ebenso die enorme Entwicklung in der Informationstechnologie oder das von Hochenergiephysikern entwickelte World Wide Web. «

Forschung zur Struktur der Materie in der Helmholtz-Gemeinschaft dient der Aufklärung der Struktur und der Dynamik der Materie, von den kleinsten Bausteinen subatomarer Systeme bis hin zu den größten Strukturen des Universums. Sie ist eingebettet in nationale, europäische und internationale Strategien. Helmholtz-Forscherinnen und -Forscher kooperieren mit Partnern aus Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen, um ihr Potenzial für große Vorhaben optimal auszuschöpfen. Planung, Bau und Nutzung komplexer Infrastrukturen haben hierbei besondere Bedeutung. Die Großgeräte des Forschungsbereichs stellen jährlich vielen Tausend externen Nutzern moderne Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Dabei werden diese hochleistungsfähigen Geräte weit über den Forschungsbereich Struktur der Materie

hinaus eingesetzt, etwa in der Strukturbiologie, den Materialwissenschaften sowie in der Geo- und Umweltforschung.

Insgesamt arbeiten sechs Helmholtz-Zentren im Forschungsbereich Struktur der Materie in fünf zentrenübergreifenden Programmen zusammen:

- Elementarteilchenphysik
- Astroteilchenphysik
- Physik der Hadronen und Kerne
- Physik der Kondensierten Materie
- Großgeräte zur Forschung mit Photonen, Neutronen und Ionen

Koordinator des Forschungsbereichs:

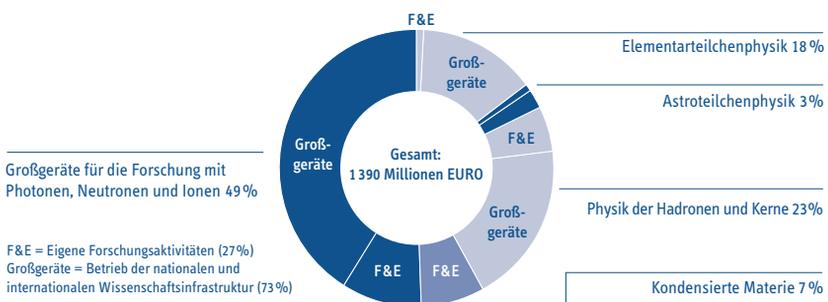
Prof. Dr. Albrecht Wagner, DESY

Kontakt: Dr. Ilja Bohnet

Tel.: 040 8998-4888

E-Mail: [ilja.bohnet@desy.de](mailto:ilja.bohnet@desy.de)

## Kosten des Forschungsbereichs Struktur der Materie 2005 bis 2009, die im Rahmen der Programmorientierten Förderung finanziert werden:



# Das Programm Elementarteilchenphysik

Bild: DESY

» Teilchenphysiker erforschen die elementarsten Bausteine der Materie und ihre Wechselwirkung. Sie wollen die grundlegenden Vorgänge im gesamten Kosmos bis hinunter in den Mikrokosmos mit einer einheitlichen Theorie beschreiben und die Entwicklungsgeschichte des Universums nachvollziehen. Sie arbeiten zu diesem Zweck an großen leistungsstarken Beschleunigeranlagen, deren Bau eine technologische Herausforderung ist. Mit diesen Anlagen untersuchen sie die Materie unter Bedingungen, wie sie in den ersten Sekundenbruchteilen nach dem Urknall geherrscht haben. «

## Was ist das Ziel?

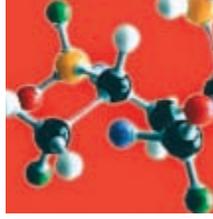
Ziel der Teilchenphysik ist die umfassende einheitliche Beschreibung der Vorgänge im Mikrokosmos. Die aktuelle Theorie der Teilchenphysik (Standardmodell) ist eine der erfolgreichsten naturwissenschaftlichen Theorien. Sie beschreibt beinahe alle experimentellen Ergebnisse, die Teilchenphysiker in den letzten 50 Jahren gewonnen haben und bietet ein schlüssiges Bild von den elementaren Teilchen und ihren Wechselwirkungen. Das Modell lässt jedoch zugleich grundlegende Fragen unbeantwortet. Vor allem deshalb, weil nur etwa 5 Prozent des Universums aus derjenigen Materie bestehen, die es beschreibt, rund 95 Prozent hingegen aus unbekannter Dunkler Materie und Dunkler Energie. Was sich dahinter verbirgt, können Forscherinnen und Forscher nicht mit Hilfe des Standardmodells erklären. Für hohe Energien und Energiedichten, wie sie am Anfang des Universums herrschten, muss es durch eine erweiterte Theorie ersetzt werden.

## Was tut die Helmholtz-Gemeinschaft, um dieses Ziel zu erreichen?

Eingebunden in internationale Kooperationen forschen Helmholtz-Wissenschaftler auf den aktuellen Gebieten der experimentellen und theoretischen Teilchenphysik und entwickeln Zukunftstechnologien für künftige Beschleuniger und Experimente. In Hamburg betreibt die Gemeinschaft eines der führenden Teilchenbeschleuniger-Zentren mit Anlagen für Grundlagenforschung zu einem interdisziplinären Themenspektrum. Das Grid-Rechenzentrum in Karlsruhe ermöglicht Forschern aus aller Welt, die Daten von vier LHC-Experimenten (LHC = Large Hadron Collider) und vier weiteren Hochenergiephysik-Experimenten zu sichten und zu interpretieren.

Bild DESY: Blick in den Tunnel der Hadron-Elektron-Ring-Anlage HERA. Mit einem Umfang von 6,3 Kilometern ist HERA der größte Ringbeschleuniger bei DESY.





»95 Prozent des Universums bestehen aus unbekannter Dunkler Materie und Dunkler Energie. Was sich dahinter verbirgt, wollen Teilchenphysiker auf der ganzen Welt herausfinden.«

## Beispiele aus der Forschung

Die Forschung am Ringbeschleuniger HERA in Hamburg hat gezeigt, dass das Innere des Protons ein dynamisches System ist, in dem Quarkpaare und Gluonen kontinuierlich erzeugt und vernichtet werden. Forscher konnten die Starke Kraft als Funktion des Abstandes zwischen den Quarks genau vermessen und damit ihre Theorie, die Quantenchromodynamik, bestätigen. Zudem haben Messungen an HERA gezeigt, dass bei Abständen von einem Tausendstel der Protongröße die Schwache Kraft und die Elektromagnetische Kraft gleich stark sind. Bei größeren Abständen ist die Elektromagnetische Kraft etwa tausendmal stärker. In den nächsten Jahren werden Forscher mit Präzisionsmessungen an HERA weiter nach Effekten jenseits des Standardmodells suchen.

Das nächste große Projekt der Teilchenphysik ist der International Linear Collider ILC. Weltweit haben sich die Teilchenphysiker geeinigt, dass für diesen 30 bis 40 Kilometer langen Beschleuniger die supraleitende Beschleunigungstechnologie zum Einsatz kommen soll, die unter Federführung Hamburger Forscherinnen und Forscher in internationaler Zusammenarbeit entwickelt worden ist. Ein solcher Linearcollider-Detektor ist ein Hochpräzisionsgerät, für das die Entwickler in technologisches Neuland vordringen. Er soll Antworten auf fundamentale Fragen der Physik liefern, etwa nach dem Ursprung der Masse und der Dunklen Materie.

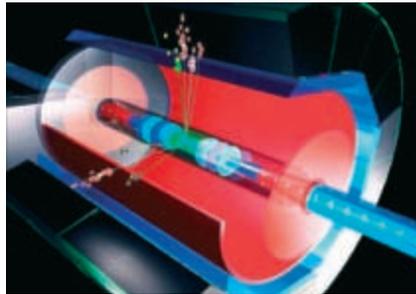


Bild DESY: Schematische Darstellung eines „Linear Collider“-Detektors. Die farbigen Spuren und Kreise symbolisieren die Folgen eines Kollisionsereignisses.

Millionen von Bildern registriert ein Detektor für die Teilchenphysik pro Sekunde. Um dieser Datenflut Herr zu werden, arbeiten Helmholtz-Wissenschaftler in internationalen Kooperationen an Hochleistungsrechnern und neuen Computertechnologien mit. So befindet sich etwa in Karlsruhe eins der zehn weltweit verteilten Rechenzentren für ein extrem leistungsfähiges Rechnernetzwerk, das Grid-Computing. Mit seiner Hilfe wollen Forscher die Datenmassen aus künftigen Teilchenphysikexperimenten bewältigen.

## Beteiligte Helmholtz-Zentren:

Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY)  
Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)

### Programmsprecher:

Prof. Dr. Rolf-Dieter Heuer, DESY

### Pressekontakt:

Dr. Ute Wilhelmssen  
Tel.: 040 8998-4597  
E-Mail: ute.wilhelmssen@desy.de

# Das Programm Astroteilchenphysik

» Astroteilchenphysik ist ein junges, interdisziplinäres Forschungsgebiet an der Schnittstelle von Elementarteilchenforschung, Astrophysik, Astronomie und Kosmologie. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben hier in den letzten Jahren wichtige und überraschende Ergebnisse erzielt. Astroteilchenphysiker untersuchen, wie sich das Weltall jenseits der Erkundung durch elektromagnetische Wellen darstellt. Sie verbinden die kleinsten Teilchen mit den größten Strukturen des Universums, die Quarks mit dem Kosmos. «

## Was ist das Ziel?

Astroteilchenphysiker erforschen die Evolution des Universums, die sie durch die Elementarteilchen und ihre Wechselwirkungen erschließen. Ein Schwerpunkt der Forschung ist die Suche nach der Herkunft und den Beschleunigungsmechanismen der Kosmischen Strahlung, ein anderer die Erkundung der fundamentalen Rolle der Neutrinos, der leichtesten massiven Teilchen im Universum. Was ist ihre Masse? Wie haben sie die Bildung von großen Strukturen beeinflusst? Gibt es astrophysikalische Quellen hochenergetischer Neutrinos? Fragen wie diese leiten die Arbeit der Wissenschaftler.



Bild FZK: Teleskope wie dieses ergänzen die Wasserdetektoren des Pierre Auger-Observatoriums. Sie beobachten Fluoreszenzlicht in der Atmosphäre.

## Was tut die Helmholtz-Gemeinschaft, um dieses Ziel zu erreichen?

Helmholtz beteiligt sich an Entwicklung, Bau und Betrieb großer Detektoranlagen in internationalen Kooperationen. In Argentinien entsteht mit dem südlichen Teil des Pierre Auger-Observatoriums auf einer Fläche von 3 000 Quadratkilometern das weltweit größte Detektorsystem zur Messung kosmischer Strahlung. In Karlsruhe wird das Tritium Neutrino Experiment KATRIN gebaut, um die Masse von Neutrinos zu bestimmen. Hochenergetische Neutrinos aus dem Kosmos werden mit dem AMANDA/IceCube-Detektorsystem im antarktischen Eis registriert.

## Beispiele aus der Forschung

Das Pierre Auger-Observatorium in der argentinischen Pampa ist zurzeit im Aufbau und liefert erste Daten: Hinter dem Ereignis „Nr. 787469“ verbirgt sich ein Teilchen mit einer Energie von  $10^{20}$  Elektronenvolt, einer mehr als hundertmillionenfach höheren Energie, als in den besten irdischen Beschleunigern erreichbar ist. Die Suche nach dem größten Teilchen-



*»Forscherinnen und Forscher sind dem Wesen der kosmischen Strahlung und der fundamentalen Rolle der Neutrinos im Universum auf der Spur.«*

beschleuniger des Universums soll in einigen Jahren auf dem Nordhimmel fortgesetzt werden. An dem Projekt sind 57 Institute aus 16 Ländern beteiligt; die größte Gruppe von Wissenschaftlern und Ingenieuren kommt aus Karlsruhe.



Bild DESY: Die „Augen“ von AMANDA sind druckfeste Glaskugeln mit einem Lichtverstärker, versenkt in kilometertiefe Bohrlöcher in der Antarktis.

Das Neutrino-Teleskop Amanda am Südpol nutzt hochenergetische Neutrinos als einzigartige Sonden für die Astrophysik: Sie ermöglichen den direkten Blick in das Innere der Sonne oder kollabierender Sterne. Bei der Jagd auf hochenergetische Neutrinos ist Amanda rund dreißigfach so sensitiv wie alle vorhergehenden Neutrino-Detektoren. Um nochmals einen Faktor dreißig empfindlicher ist IceCube, das einen Kubikkilometer antarktischen Eises mit Sensoren bestückt. An beiden Experimenten sind Forscherinnen und Forscher aus Zeuthen entscheidend beteiligt.

Das Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment KATRIN führt eine Präzisionsmessung des radioaktiven Zerfalls von Tritium durch. Die dabei entstehenden Elektronen werden im Herzstück von KATRIN auf ihre Energie untersucht, einem 25 Meter langen elektrostatischen Spektrometer. Jede noch so kleine hier identifizierte Energiedifferenz im Vergleich zur Gesamtenergie könnte auf die Masse der Neutrinos zurückzuführen sein, so der Forschungsansatz. Voraussetzungen für den Erfolg des internationalen Großexperiments in Karlsruhe sind: eine traditionsreiche Neutrinoforschung, ein Tritium-Laboratorium sowie langjährige Erfahrungen mit Hochvakuum, Supraleitung und Kryotechnik.

### **Beteiligte Helmholtz-Zentren:**

Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)  
Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY)  
Standort Zeuthen

#### **Programmsprecher:**

Professor Dr. Johannes Blümer, FZK

#### **Pressekontakt:**

Dr. Joachim Hoffmann, FZK  
Tel.: 07247 822860  
E-Mail: joachim.hoffmann@oea.fzk.de

# Das Programm Physik der Hadronen und Kerne

» Die Wissenschaftler dieser Fachdisziplin streben nach einem grundlegenden und quantitativen Verständnis der Atomkerne. Kernbausteine gehören zur Teilchenfamilie der Hadronen, sind aus den elementaren Quarks aufgebaut und unterliegen der Starken Kraft. Sie bindet die Quarks zu Protonen und Neutronen, auf der nächst höheren Stufe die Protonen und Neutronen zu Atomkernen. Wie dies geschieht, ist in weiten Teilen noch unverstanden. Klar ist nur, dass die Starke Kraft die Struktur der Materie und die Evolution des Universums wesentlich beeinflusst. Deutschland gehört traditionell zu den führenden Nationen in der Hadronen- und Kernphysik. Die Helmholtz-Zentren haben daran wesentlichen Anteil: durch den Bau, den Betrieb und die wissenschaftliche Nutzung von großen Beschleuniger- und Experimentieranlagen. «

## Was ist das Ziel?

Hadronen- und Kernphysik geht der Frage nach: „Wie macht die Natur aus Quarks und Gluonen Nukleonen und Kerne?“ Sie sucht damit Antworten auf zentrale Fragen zum Aufbau der Materie und zur Entwicklung des Universums. So wissen die Forscherinnen und Forscher heute zwar, dass Protonen und Neutronen aus drei Quarks zusammengesetzt sind.

Auch kennen sie die Masse der drei Quarks in den Kernbausteinen. Zusammen genommen macht sie aber nur wenige Prozent der Masse der Protonen und Neutronen aus. Die Wissenschaftler wollen deshalb klären: Wie kommt die viel größere Masse der Protonen und Neutronen zustande? Eine andere fundamentale Frage ist die nach der Vielfalt der chemischen Elemente. Sie entstanden und entstehen auch heute noch über Kernreaktionen im Inneren von Sternen und in Sternexplosionen. Was geschieht dabei genau? Mit solchen Themen befasst sich die Hadronen- und Kernphysik.

## Was tut die Helmholtz-Gemeinschaft, um dieses Ziel zu erreichen?

Die Helmholtz-Gemeinschaft betreibt in Darmstadt und Jülich zwei international führende Beschleunigeranlagen für die Hadronen- und Kernphysik. Die Anlagen werden gemeinsam mit über 1200 externen Wissenschaftlern genutzt; sie kommen vor allem von den deutschen Hochschulen, zu einem Viertel auch aus dem Ausland. Zudem wirken die Helmholtz-Zentren maßgeblich an den For-

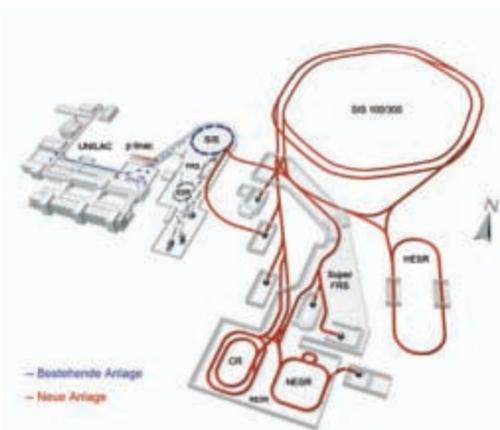


Bild GSI: Das Herzstück von FAIR (rot) ist eine Synchrotron-Doppelringanlage, an die sich Kühl- und Speicherringe sowie die Experimentierhallen anschließen. Die bestehende GSI-Anlage (blau) wird als Injektor für FAIR dienen.



» Im Zentrum der Forschung stehen die Atomkerne. Denn in ihnen stecken die Antworten auf zentrale Fragen zum Aufbau der Materie und zur Entwicklung des Universums.«

schungen des CERN in Genf zur Hadronen- und Kernphysik mit. Wichtigstes neues Vorhaben ist der Bau von FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research). Der Bau dieses internationalen Beschleuniger-



Bild FZJ: Cosy ist ein 184 Meter langer ovaler Cooler-Synchrotron. Hier prallen Protonen in einem gigantischen Teilchen-Crash mit nahezu Lichtgeschwindigkeit auf ein Target.

nigerzentrums für Antiprotonen- und Ionenstrahlen in Darmstadt soll 2007 beginnen.

### Beispiele aus der Forschung

Auf der Erde gibt es 92 Elemente; bestimmt wird die maximale Zahl der natürlichen Elemente durch die Stabilität der Atomkerne: Uran ist mit 92 Protonen im Kern und der entsprechenden Ordnungszahl das schwerste. Im Labor und an Beschleunigern gelang es, zusätzlich weitere 20 Elemente zu synthetisieren. In Darmstadt wurden die bislang schwersten Elemente mit den Ordnungszahlen 107 bis 112 identifiziert, und es gibt Hinweise auf die Existenz von Elementen mit den Ordnungszahlen 113 bis 116. Die Physiker haben vor, mit hochintensiven Ionenstrahlen weitere Elemente zum Periodensystem hinzuzufügen und seine Grenzen zu erkunden.

Schwere Elemente entstehen nach heutigem Kenntnis durch komplexe Prozesse im Inneren großer Sterne und in Supernova-Explosionen. Eine wichtige Rolle dabei spielen Kernreaktionen und ihre Zwischenprodukte, radioaktive Kerne. Um die Elementsynthese quantitativ zu verstehen, müssen Forscher die kernphysikalischen Prozesse im Labor nachvollziehen: etwa mit Hilfe angepasster Neutronenstrahlen am Van-de-Graaff-Beschleuniger in Karlsruhe. Oder mit radioaktiven Strahlen, wie sie bereits heute in Darmstadt zur Verfügung stehen und mit weit höheren Intensitäten an FAIR verfügbar werden.

Nach heutigem Verständnis gingen die Hadronen in der Frühphase des Universums aus einer Ursuppe hervor, dem sogenannten Quark-Gluon-Plasma. In Kern-Kern-Stößen bei sehr hohen Energien können Forscher diese frühe Materiephase für kurze Zeiten wieder herstellen. Ihre detaillierte Untersuchung ist das Ziel der Experimente am ALICE-Detektor, den ein internationales Team aus über 800 Forschern am CERN aufbaut, und – bei höchsten Kerndichten – am CBM-Detektor an FAIR.

### Beteiligte Helmholtz-Zentren:

Forschungszentrum Jülich (FZJ)

Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)

Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI), Darmstadt

#### Programmsprecher:

Prof. Dr. Walter Henning, GSI

#### Pressekontakt:

Dr. Ingo Peter  
Tel.: 06159 712598  
E-Mail: i.peter@gsi.de

# Das Programm Kondensierte Materie

Bild: FZJ

» Warum ist ein Material flüssig, fest oder gasförmig? Weich oder hart? Transparent, magnetisch, metallisch oder gar supraleitend? Darüber entscheidet das Wechselspiel der Elektronen, Ionen und Atome im Material, das die Wissenschaftler in diesem Programm erforschen. Die Entdeckung der Hochtemperatursupraleitung und des Riesenmagnetwiderstands etwa hat revolutionär neue Einblicke in dieses Zusammenspiel geliefert und zu bedeutenden wirtschaftlichen Erfolgen geführt. Mit Sensoren, die auf dem Riesenmagnetwiderstand basieren, konnte die Speicherdichte von Computerfestplatten um das Hundertfache gesteigert werden. Es dauerte nur zwölf Jahre, bis die patentierte Erfindung den Weltmarkt der magnetischen Massenspeicher erobert hatte. Und dies ist nur ein Beispiel von vielen. So hat die Forschung an Kondensierter Materie den Transistor hervorgebracht, ebenso die Festplatte, Hochleistungslegierungen für Kraftwerksturbinen und Flugzeugtriebwerke oder Kunststoffe und Komposit-Werkstoffe für den Fahrzeugbau. «

## Was ist das Ziel?

Ein alter Traum in den Materialwissenschaften ist es, Stoffe mit vorherbestimmten Eigenschaften herzustellen, um diese etwa in der Katalyse, in Sensoren oder an biologischen Zellen einzusetzen. Dazu müssen die Stoffeigenschaften und Herstellungsverfahren auf vielen Längenskalen gleichzeitig kontrolliert werden, von subatomar bis in den Zentimeterbereich. Eine gewünschte Ordnung innerhalb des Materials sollte sich dabei „selbstorganisiert“ ausbilden, wie es die Biologie vornimmt. Helmholtz-Wissenschaftler erkunden neue und ungewöhnliche Zustände von Festkörpern, weicher Materie sowie dünnen Filmen und Grenzschichten von subatomaren bis zu makroskopischen Dimensionen. Und haben dabei auch künftige Anwendungen in Bio-Chips im Blick.

## Was tut die Helmholtz-Gemeinschaft, um dieses Ziel zu erreichen?

Für ihre Arbeit nutzen die Forscherinnen und Forscher die Ressourcen der Großgerätekforschung, etwa Neutronen und Synchrotronstrahlung. Zugleich setzen sie spektroskopische Verfahren ein, Messverfahren für Thermodynamik und Transport, hochauflösende Elektronenmikroskopie, theoretische Modellierung und Computersimulationen. Bei der Weiterentwicklung der Verfahren arbeiten sie eng mit Ingenieuren zusammen, ebenso mit Chemikern, Biologen, Geo-Wissenschaftlern und Medizinern.

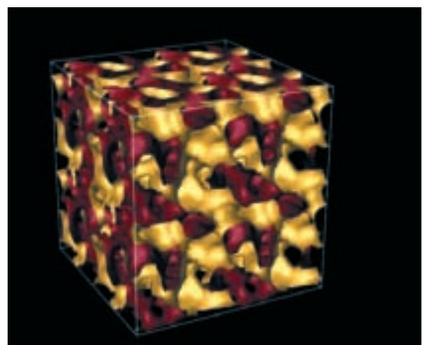
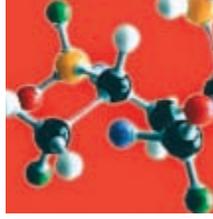


Bild FZJ:  
Computersimulation eines Netzwerkes  
von organischen Membranen in einer  
zweikomponentigen Mikroemulsion



»Die Forscherinnen und Forscher erkunden neue und ungewöhnliche Zustände der Materie. Ihr Ziel ist es, Stoffe mit vorherbestimmten Eigenschaften herzustellen.«

## Beispiele aus der Forschung

Magnetismus und Supraleitung schließen sich im Allgemeinen gegenseitig aus. Nach neuesten Erkenntnissen scheint in bestimmten Materialien die Nähe zur magnetischen Ordnung (etwa Ferromagnetismus wie in Eisen) jedoch geradezu eine Voraussetzung für Supraleitung zu sein. Solche makroskopischen Quanteneffekte der Elektronen in Metallen treten bei Phasenübergängen besonders deutlich auf. Neutronenstreuexperimente geben Aufschluss über neuartige magnetische Phasen in Metallen mit starken elektronischen Wechselwirkungen und deren Entstehung. Mögliche Anwendungsgebiete sind Satellitenfunk, Magnet-schwebetechnik, Energieumwandlung und Messtechnik.

Selbstorganisation und Musterbildung sind lebenswichtig. So ist etwa die Zellmembran, die Haut der Zelle, aus sich selbst organisierenden Riesenmolekülen aufgebaut. Das gleiche Prinzip spielt beim Waschen eine große Rolle: Auch wenn man Tenside (waschaktive Substanzen und Emulgatoren) zu einem Gemisch aus Öl und Wasser gibt, bilden sich Membranen. Das Ergebnis: Öl und Wasser werden mischbar. Steigern lässt sich dieser Effekt durch spezielle Polymere. Das „Kunststoff-Molekül“ versteift die Grenzfläche Öl-Wasser, und beide Flüssigkeiten mischen sich dadurch effizienter. Das spart Tenside und Kosten und schon so die Umwelt.

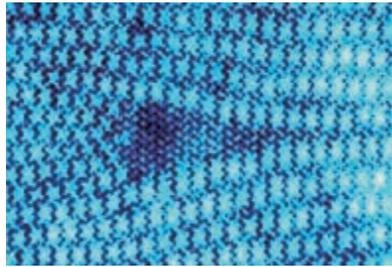


Bild FZJ: Atomstruktur einer riesigen Gitterversetzung in einer „komplexen Legierung“. Erzeugt wurde das Bild mit höchstauflösender Elektromikroskopie.

Um leistungsstarke Nanomaterialien zu entwickeln, muss man jedes Atom richtig platzieren können. Dabei hilft es den Forschern, dass sie jetzt in den unvorstellbar kleinen Bereich jenseits des Nanometers schauen können. Mit einem neuen Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop ist es erstmals gelungen, sogar die leichten Sauerstoffatome direkt sichtbar zu machen und deren Gehalt in atomaren Dimensionen zu messen. Nutzen können Forscherinnen und Forscher die weltweit leistungsfähigsten Elektronenmikroskope im Ernst Ruska-Centrum in Jülich.

## Beteiligte Helmholtz-Zentren:

Forschungszentrum Jülich (FZJ)

Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)

### Programmsprecher:

Prof. Dr. Heiner Müller-Krumbhaar, FZJ

### Pressekontakt:

Peter Schäfer

Tel.: 02461 61 8028

E-Mail: p.schaefer@fz-juelich.de

# Das Programm Großgeräte für die Forschung mit Photonen, Neutronen und Ionen

Bild: DESY

» Photonen, Neutronen und Ionen sind außergewöhnlich leistungsfähige Sonden, um die elektronischen und strukturellen Eigenschaften von Materie zu untersuchen. Die hier kooperierenden Helmholtz-Zentren bieten mehr als 3 500 Nutzern aus dem In- und Ausland hervorragende Möglichkeiten für Forschung auf Gebieten der Physik, Materialwissenschaften, Strukturbiologie, Chemie, der Geo- und Umweltwissenschaften sowie der Ingenieurwissenschaften. «

## Was ist das Ziel?

Ziel des Programms ist eine international wettbewerbsfähige Forschung mit Photonen, Neutronen und Ionen an den Helmholtz-Zentren. Dazu entwickeln die Forscherinnen und Forscher in Zusammenarbeit mit der internationalen Nutzerschaft neue Strahlungsquellen und Instrumente. Gleichzeitig verbessern sie die existierenden Experimentiermöglichkeiten kontinuierlich. Voraussetzungen für den Erfolg ihrer Arbeit sind die zunehmende europäische Vernetzung und eine starke Eigen-Forschung, entsprechend den thematischen Schwerpunkten der Helmholtz-Zentren.

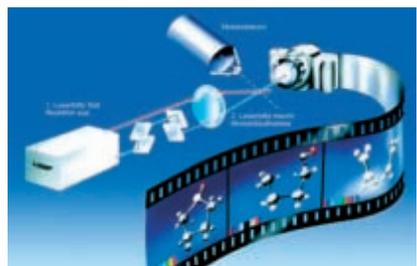
## Was tut die Helmholtz-Gemeinschaft, um dieses Ziel zu erreichen?

Mit DORIS und ANKA stehen Synchrotronstrahlungsquellen in Hamburg und Karlsruhe zur Verfügung. Neutronen liefern die Reaktoren in Jülich, Geesthacht und Berlin. Ionenquellen stehen in Berlin und Darmstadt. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler betreiben die existierenden Anlagen und verfolgen den Bau von vier neuen Großgeräten in Deutschland: Der PETRA III Speicherring wird im Jahre 2009 den Nutzern die in der Welt beste Synchrotronstrahlungsquelle im harten Spektralbereich zur Verfügung

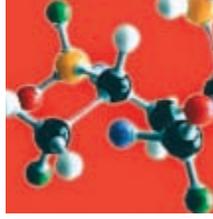
stellen. Der Freie Elektronen Laser im Spektralbereich des VUV ist seit Mai 2005 fertig. Die Europäische Röntgenlaseranlage XFEL in Hamburg soll im Jahr 2012 ihren Betrieb aufnehmen. Für die Forschung mit Ionen wird in Darmstadt die Anlage FAIR errichtet, die stufenweise in Betrieb genommen werden soll. Der Hochleistungslaser PHELIX und die Ionenfalle HITRAP sind dabei von besonderer Bedeutung.

Mit hoher Priorität betreiben die Forscher die Verbesserung der Infrastruktur und der Probenumgebung an den existierenden Anlagen: So entwickeln sie etwa eine Anordnung sehr hoher Magnetfelder für die Forschung mit Neutronen am BER II in Berlin.

Darüber hinaus errichtet die Helmholtz-Gemeinschaft eine Außenstelle für Neutronenstreuung am Forschungsreaktor



Grafik DESY: Der Röntgenlaser XFEL wird es ermöglichen, chemische Reaktionen „filmisch“ aufzulösen. Dazu braucht man intensive Röntgenpulse, die nur milliardstel Sekunden lang sind.



»Nicht nur Physiker, auch Strukturbiologen, Chemiker, Geologen und Umweltwissenschaftler aus dem In- und Ausland nutzen diese leistungsfähigen Sonden.«

FRM II in München und baut eine komplette Strahlführung an der stärksten gepulsten Neutronenquelle SNS in Oak Ridge in den USA auf.

### Beispiele aus der Forschung

Synchrotronstrahlung ist heute ein unverzichtbares Werkzeug, etwa für die In situ-Charakterisierung von Nanomaterialien und ihrer Synthese. Mit dem geplanten Röntgenlaser XFEL wollen die Forscher einzelne Moleküle oder Nanopartikel mit atomarer Auflösung abbilden. Und das mit einer Zeitauflösung im Bereich von Femtosekunden ( $10^{-15}$ s), was zum Beispiel eine direkte Beobachtung der Funktion von biomolekularen Maschinen wie Ribosomen und Viren erlaubt. In Vorbereitung dieser Experimente haben Wissenschaftler mit der ersten Stufe des VUV-FEL in Hamburg erstmals den Prozess der Wechselwirkung solcher Strahlung mit Edelgasclustern bei Wellenlängen um 100 Nanometer studieren können.

Neutronen dringen besonders tief in Materie ein. Mit ihrer Hilfe erkunden Forscher daher Eigenschaften im Innern von großen Proben: etwa die inneren Spannungen, die beim Schweißen von Aluminium-Blechen für die Außenhaut von Flugzeugen entstehen. Diese Eigenspannungen können so groß sein, dass die Bleche nach dem Schweißen verbiegen. Forscher in Geesthacht haben in Kooperation mit der Industrie diese Eigenspannungen mit Neutronen systematisch untersucht. Es gelang ihnen, ein Schweißverfahren zu entwickeln, bei dem das Verbiegen der Bleche vermieden werden kann.



Bild GKSS: Zwei mit dem Reibrührschweißverfahren in Geesthacht zusammengefügte Aluminiumbleche. Zu sehen ist die Messung von Eigenspannung in der Schweißnaht mit Neutronen am Forschungsreaktor in Geesthacht.

Nano-Drähte werden eine große Rolle in der Elektronik der Zukunft spielen. Die Forschung setzt zum Beispiel Ionen ein, um solche Drähte herzustellen und ihre Merkmale zu erkunden. So gelang es, Schwerionenspuren auf Polymerfolien zu ätzen und dadurch extrem dünne Kanäle zu produzieren. Durch die elektrochemische Abformung dieser Kanäle erzeugten die Forscher glatte und homogene Kupfer-Nanodrähte. Sie konnten sogar identifizieren, bei welcher Temperatur diese Nano-Drähte instabil werden, gleichsam zerreißen und in gleichgroße Kugeln zerfallen: für die spätere Anwendung in der Elektronik eine wichtige Erkenntnis.

### Beteiligte Helmholtz-Zentren:

Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg  
Forschungszentrum Jülich (FZJ)

Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht (GKSS)

Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI),  
Darmstadt

Hahn-Meitner-Institut Berlin (HMI)

#### Programmsprecher:

Prof. Dr. Jochen R. Schneider, DESY

#### Pressekontakt:

Dr. Ute Wilhelmssen

Tel.: 040 8998-4597

E-Mail: ute.wilhelmssen@desy.de

Wir leisten Beiträge zur Lösung  
großer und drängender Fragen  
von Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft  
durch strategisch-programmatisch ausgerichtete  
Spitzenforschung in den Bereichen  
Energie, Erde und Umwelt, Gesundheit,  
Schlüsseltechnologien, Struktur der Materie, Verkehr und Weltraum.

Wir erforschen  
Systeme hoher Komplexität  
unter Einsatz von Großgeräten  
und wissenschaftlichen Infrastrukturen  
gemeinsam mit nationalen und internationalen Partnern.

Wir tragen bei zur Gestaltung unserer Zukunft  
durch Verbindung von  
Forschung und Technologieentwicklung  
mit innovativen Anwendungs- und Vorsorgeperspektiven.

**Das ist unsere Mission.**

[www.helmholtz.de](http://www.helmholtz.de)

