

Jahresheft 2005

Research Crosses Borders

Schlüsseltechnologien
Verkehr und Weltraum
Erde und Umwelt
Energie
Gesundheit
Struktur der Materie
Hochschulkooperation
Nachwuchs
Chancengleichheit





Impressum

Jahresheft 2005

Herausgeber Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e. V.

Redaktion Dr. Anne Rother, Helmholtz-Gemeinschaft (verantwortlich)
Dipl.-Phys., Dipl.-Journ. Julia Förster, Hannover
Antje Schillo, Redaktion Königswinter (Koordination)
E-Mail: antje.schillo@t-online.de

Gestaltung axeptDESIGN, Berlin
Internet: www.axeptdesign.de

Druck in puncto druck + medien gmbh, Bonn

Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren
Kommunikation und Medien
Leitung: Dipl.-Biol., Dipl.-Journ. Thomas Gazlig
Postfach 20 14 48, 53144 Bonn
Ahrstraße 45, 53175 Bonn
Telefon: 0228-3081821
Telefax: 0228-3081840
E-Mail: info@helmholtz.de

Büro Berlin
im Wissenschaftsforum am Gendarmenmarkt
Markgrafenstraße 37, 10117 Berlin
Internet: www.helmholtz.de

Titelbild Frauengesicht in Binärzahlen
Foto: mauritius-images

Bildmarken David Ausserhofer (100-102), Bierstedt/GBF (66-80), creativ collection (27-50),
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (20-26), Karl-Heinz Hick/JOKER (94-96),
Leitgib/mediacolors (8-19), Thomas Oberländer/Helios-Klinikum Berlin (96-99),
PhotoDisc (51-65, 81-93).

ISSN 1431-1348

Inhalt

Vorwort des Präsidenten der Helmholtz-Gemeinschaft

Seite

7

Schlüsseltechnologien

GKSS | **Mit Leichtigkeit in die Zukunft**
Leichtbau im europäischen Netzwerk sichert
Wettbewerbsvorteile.

Seite

8

GKSS | **Vielversprechende Verbindung**
Mit moderner Technologie fügen Forscher neuartige
Werkstoffe.

12

FZJ | **Ein Gedächtnis für Computer**
Neue Nanoelektronik hilft vergesslichen Speichern.

16

Verkehr und Weltraum

DLR | **Nachrichten aus den Tiefen des Sonnensystems**
Die amerikanisch-europäische Mission Cassini/Huygens
erforscht den Saturn und seine Monde.

Seite

20

DLR | **Bahn frei für Europa**
In Braunschweig läuft der Schienenverkehr schon
grenzenlos – als Simulation.

24



Erde und Umwelt

UFZ | **Auf Gift gebaut**

Ein internationales Team sucht Alternativen für das Management riesiger Sanierungsgebiete.

27

UFZ | **Die Stadt – ein Auslaufmodell?**

Leipziger Wissenschaftler untersuchen Stadt-Schicksale.

31

GFZ | **Was wäre wenn ... ?**

Szenarien für eine bessere Katastrophenvorsorge.

35

AWI | **Expedition in die Tiefsee**

Ein internationales Forscherteam an Bord der Polarstern erkundet die wunderbare Welt am Meeresgrund.

39

FZJ | **Loch überm Nordpol**

Wissenschaftler aus sechs Ländern erforschen die Ozonschicht.

44

FZK | **Abstand schafft Durchblick**

Von Bord des europäischen Umweltsatelliten Envisat sammelt das hochempfindliche Instrument MIPAS wichtige Daten für die Klimaforschung.

47



Energie

DLR | **Sonnensammler im Turm**

In Südeuropa steht die Stromerzeugung aus Solarthermischen Kraftwerken vor der Markteinführung.

51

HMI | **Sonnensegel im All**

Neue Materialien und Technologien machen Solarzellen für die Raumfahrt noch attraktiver.

54

IPP | **Europa baut für Greifswald**

Das Fusionsexperiment Wendelstein 7-X nimmt Formen an.

58

FZK | **Die Verwandlung**

Forscher aus ganz Europa kooperieren, um das Gefahrenpotenzial von hochradioaktivem Abfall durch Transmutation entscheidend zu verringern.

63



Gesundheit

DKFZ | **Angriff der Parvoviren**

Deutsch-französische Krebsforschung geht in die zweite Runde.

66

GBF | **Gemeinsam gegen AIDS**

In einem multinationalen Netzwerk erforschen Wissenschaftler neue Impfstoffe gegen den HIV-Erreger.

70

MDC | **Schuld ist der Genschalter**

Berliner Forscherinnen und Forscher haben entdeckt: Der Genregulator NF-kappaB ist lebenswichtig – und einflussreich.

74

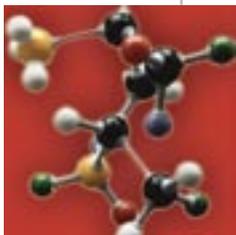
GSF | **Modellfall Maus**

In der Nähe von München wächst ein europäisches Archiv aus Maus-Mutanten heran.

77



Struktur der Materie



FZK | **Hauptrolle für ein Leichtgewicht**

Am Karlsruhe Tritium Neutrino-Experiment KATRIN wird die Masse des Neutrinos bestimmt – ein Meilenstein für die Physik.

82

GSI | **Wie kam die Masse in die Welt?**

Experimente an „exotischen“ Atomen bestätigen Theorien über den Ursprung der Masse.

86

DESY | **Filme aus dem Mikrokosmos**

Der Röntgenlaser XFEL verspricht der europäischen Forschergemeinschaft völlig neue Einsichten.

89

Hochschulkooperation



Gemeinsam mehr erreichen

Die Helmholtz-Gemeinschaft wird noch enger mit den Hochschulen kooperieren.

Seite

94

Nachwuchs



DKFZ | **Fördern und Fordern**

Seit 2003 gibt es in Heidelberg Doktoranden-Ausbildung der Extraklasse.

Seite

97

GBF | **Training für junge Infektionsforscher**

In Braunschweig arbeiten Hochschule und Forschungszentrum eng zusammen, um Doktoranden erstklassig auszubilden.

98

IPP | **Atome im Kindergarten**

Wissenschaft für die Kleinsten: ein Pilotprojekt.

99

Chancengleichheit



Bessere Chancen für Forscherinnen – jetzt!

Ein Fünf-Punkte-Programm soll die Situation von Frauen in der Helmholtz-Gemeinschaft verbessern.

Seite

100

Exzellent ...

Wissenschaftliche Auszeichnungen für Helmholtz-Forschung.

Seite

103

Die Chemie muss stimmen

Karlsruher Forscherteam erhielt Erwin-Schrödinger-Preis.

104

Auszeichnungen für den Nachwuchs.

106

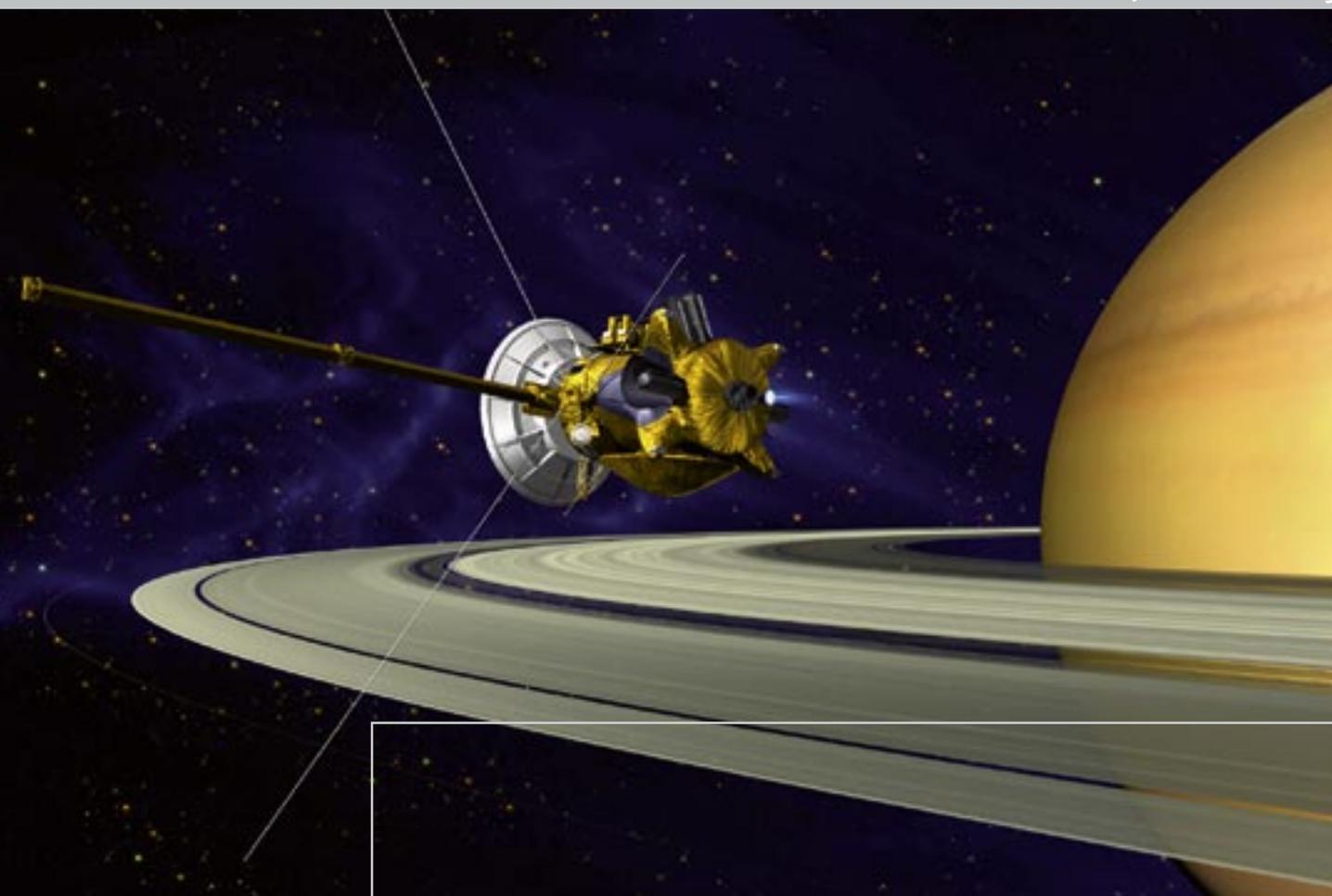


Bild: NASA / JPL / RPIF / DLR

Die Mission Cassini ist eine der ehrgeizigsten in der Geschichte der Raumfahrt (mehr dazu auf Seite 20). Nach sieben Jahren Reise durchs All schwenkte das Raumschiff im Sommer 2004 exakt wie geplant auf eine Umlaufbahn um den Saturn ein. Dabei musste es zweimal eine Lücke zwischen den Ringen des Planeten finden und für genau 96 Minuten seine Brems-triebwerke zünden. Das einmalige Manöver gelang perfekt. Weltweit warten Planetenforscher seitdem gespannt auf immer neue Nachrichten vom Saturn und seiner Umgebung: um mehr über die Frühgeschichte des Sonnensystems zu erfahren und dabei die bisherigen Grenzen des Wissens über unsere Welt zu durchbrechen.

Vorwort



Research crosses borders: Was bedeutet dies für die größte Wissenschaftsorganisation in Deutschland?

Unser Namenspatron Hermann von Helmholtz hat einmal gesagt: Je mehr der einzelne Forscher gezwungen ist, das Feld seiner Arbeit zu verengen, desto mehr spürt er das Bedürfnis, den Zusammenhang des Ganzen nicht zu verlieren. Wo sonst solle er die Kraft und die Freude für seine mühsame Arbeit hernehmen? Wenn nicht aus der Überzeugung, dass er einen Baustein geliefert hat zu dem großen Ganzen der Wissenschaft im Dienste der sittlichen Zwecke der Menschheit. Altmodische Formulierungen des 19. Jahrhunderts. Aber der Inhalt stimmt noch immer. Die Helmholtz-Gemeinschaft will Bausteine liefern zur Lösung großer Fragen und drängender Probleme der modernen Gesellschaften. Wir stellen uns den globalen Herausforderungen.

Deshalb müssen wir Grenzen überschreiten: innerhalb unserer Gemeinschaft und darüber hinaus. Helmholtz-Forscherinnen und -Forscher arbeiten in internationalen Teams. Sie kooperieren weltweit in strategischen Allianzen, an denen sich unterschiedliche Institutionen beteiligen und in denen Interdisziplinarität die selbstverständliche Arbeitsform ist. Nur so können wir die Grenzen des Wissens immer weiter verschieben, relevante Erkenntnisfort-

schritte erzielen und mit unseren Ergebnissen die Brücke zu innovativen Anwendungen schlagen.

In diesem Heft zeigen Beispiele aus der Forschungsarbeit der Helmholtz-Zentren, was „research crosses borders“ in der Praxis bedeutet. Ob reibungsloser Bahnverkehr in Europa, Sanierung großer belasteter Gebiete oder Energie aus solarthermischen Kraftwerken, ob Impfstoff gegen Aids, neue Materialien für den Automobilbau oder ein Röntgenlaser, der Filme im Mikrokosmos „drehen“ kann: So unterschiedlich und komplex die Themen sind, wir bearbeiten sie mit der gleichen Strategie. Wir bündeln Kräfte – auf nationaler Ebene, in europäischen Kooperationen und großen internationalen Projekten –, um gemeinsam mit unseren Partnern mehr zu erreichen. Aber lesen Sie selbst.

A handwritten signature in black ink, reading 'Walter Kröll'.

Prof. Dr. Walter Kröll
Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft



Beispiel für innovativen Leichtbau:
Das 1-Liter-Auto von Volkswagen wiegt nur
260 Kilogramm. Für die Karosserie wurden
25 Kilogramm Magnesium verwendet.

Mit Leichtigkeit in die Zukunft

Leichtbau im europäischen Netzwerk sichert Wettbewerbsvorteile.

Ein Beitrag aus dem GKSS-Forschungszentrum Geesthacht

Wenn Autos immer sicherer und komfortabler werden, aber trotzdem leicht und außerdem natürlich bezahlbar bleiben sollen, dann ist das ein Fall für die Leichtbau-Experten am GKSS-Forschungszentrum Geesthacht. Dort werden in internationaler und interdisziplinärer Zusammenarbeit Grundlagen und Anwendungen neuer leichter Werkstoffe erforscht.

Mitte der 70er Jahre brachte ein Fahrzeug der Golfklasse etwa 800 Kilogramm auf die Waage. 30 Jahre später sind es im Schnitt 1.200 Kilogramm. Grund für die Gewichtszunahme: höhere Anforderungen an Sicherheit und Komfort. Eine merkliche Reduktion des Kraft-

stoffverbrauches und der Emissionen wurde bis heute nicht realisiert. Hohe Preise für fossile Brennstoffe und Konstruktionswerkstoffe wie Stahl, Aluminium und Polymere steigern parallel dazu die Produktionskosten und damit die Preise für die Endverbraucher.



Im Institut für Werkstofforschung braucht niemand schwer zu tragen: Motorradfelge, Lenkrad und Getriebegehäuse haben dank Magnesium nur geringes Gewicht.



Schlüsseltechnologien



Foto: Volkswagen

Karosseriewerkstoffe

- Aluminium-Strang
- Aluminium-Blech
- Magnesium-Strang
- Magnesium-Blech
- Magnesium-Guss
- kohlenfaserverstärkte Kunststoffe



Wettbewerbsvorteil Leichtigkeit

Wenn europäische Hersteller von Fahrzeugen und Anlagen ihre beträchtlichen Weltmarktanteile langfristig halten oder sogar ausbauen wollen, gibt es für sie deshalb nur eine Möglichkeit: Die Anstrengungen für eine reale Reduzierung des Fahrzeuggewichtes müssen verstärkt werden, um Effizienz und Umweltverträglichkeit ihrer Produkte entscheidend zu verbessern. Eins der Schlüsselwörter dabei heißt Leichtbau.

Leichtbaukonzepte reduzieren Gewicht und Trägheitskräfte. Sie erfordern leichte, korrosionsbeständige und zugleich extrem feste Materialien, die teilweise gegenläufigen Anforderungen gerecht werden müssen. Die Lösung sind moderne Komponenten aus einer Kombination unterschiedlicher monolithischer Werkstoffe. Forschung und Industrie setzen deshalb auf den Mix in so genannten Materialverbunden, die multifunktionalen Anforderungen besser gerecht werden.

Fragen an ein neues Werkstoffsystem

Bei der Entwicklung solcher neuartiger Werkstoffsysteme stehen die Forscherinnen und Forscher noch am Anfang. Um die Leistungsfähigkeit neuer Materialien voll auszuschöpfen, müssen sie in interdisziplinärer Zusammenarbeit entscheidende Fragen klären: Welche Werkstoffe eignen sich überhaupt für ein Leichtbaudesign? Wie verhalten sie sich im Einsatz? Ein wichtiger Punkt sind auch die Korrosionseigenschaften eines Werkstoffs – allein und in Kontakt mit anderen Materialien. Um neue Werkstoffe herzustellen und zu verarbeiten, müssen zudem Fertigungsprozesse angepasst oder sogar neu entwickelt werden – und das alles unter der Randbedingung kostengünstiger Werkstoffkreisläufe.

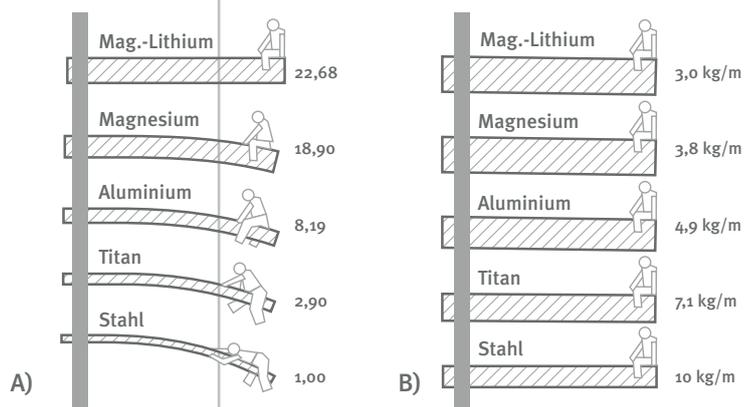
Eine so komplexe Aufgabe, bei der viele Disziplinen zur Lösung beitragen müssen, passt gut ins Profil von Helmholtz-Zentren; das GKSS-Forschungszent-

rum engagiert sich daher gleich mehrfach in Sachen Leichtbau: Forschungsschwerpunkte von GKSS-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftlern sind neuartige intermetallische Titanaluminide, die außergewöhnliche thermophysikalische Eigenschaften besitzen, und Magnesium-Legierungen, die ein extrem hohes Leichtbaupotenzial haben. Deshalb sind diese beiden Werkstoffe für neue Leichtbaukonzepte im Verkehr und in

Steifigkeit von Magnesiumlegierungen im Vergleich zu Stahl.

In der linken Spalte (A) sind die Balken gleich schwer. Vergibt man für Stahl den Wert 1, ergibt sich für die Legierung Magnesium-Lithium eine 22,68-mal höhere Steifigkeit.

In der rechten Spalte (B) besitzen alle Balken dieselbe Steifigkeit, sind aber unterschiedlich schwer. Magnesium-Lithium weist zwar die größte Dicke/Stärke auf, wiegt trotzdem aber nur drei Kilogramm je Meter, während Stahl im Vergleich dazu zehn Kilogramm je Meter wiegt.



Zeichnung: GKSS

Quelle: Brooks u. Perkins



Schlüsseltechnologien



GKSS



Foto: Johannes Backes/Images.de

Wartung von Turbinenteilen aus Leichtmetall-Verbindungen.

des Motors im Verhältnis zur Energie, die er für diese Leistung braucht. Die Be- und Verarbeitung von Titanaluminiden ist allerdings sehr schwierig. Sie haben einen hohen Schmelzpunkt, und die Reaktionen in der Legierung während der Herstellung und der Verarbeitung sind kompliziert, das Material neigt zu Spaltbruch. Die Wissenschaftler nutzen daher moderne festkörperphysikalische Methoden, um die Legierung zu optimieren.

Mit ebensolchen Verfahren haben die Experten am GKSS-Forschungszentrum eine neue Generation von Titanaluminid-Legierungen entwickelt, die sich durch außergewöhnliche Festigkeit auszeichnet. Ein neuer Werkstoff wie dieser ist trotz der verbesserten Eigenschaften aber erst dann eine echte Innovation, wenn auch die Herstellung zuverlässig und kostengünstig ist. In Zusammenarbeit mit mehreren europäischen Industrieunternehmen forschen die Wissenschaftler deshalb jetzt intensiv an geeigneten Herstellungsverfahren und der Darstellung von Prototypen.

Günstiger Auto fahren mit Magnesium

Beispiel zwei: Magnesiumlegierungen. Sie haben als Alternative zu Aluminium das Potenzial, bis zu 30 Prozent Gewicht einzusparen. Im Vergleich mit Stahl ergibt sich sogar eine mögliche Einsparung von mehr als 70 Prozent. Eines der Ziele der GKSS-Forscher ist daher, kostengünstige Magnesiumlegierungen im Antriebsstrang von Fahrzeugen einzusetzen, also in der Verbindung zwischen Motor und Antriebswelle. Gelingt es nämlich, das Gewicht des Autos in diesem Bereich zu reduzieren, kann man den Kraftstoffverbrauch drastisch senken. Eine zweite Möglichkeit der Reduzierung ist der Einsatz von Magnesium-Knetlegierungen im Bereich der Struktur, also den tragenden Teilen sowie der Karosserie. Um die hohe Festigkeit

der Luftfahrt besonders interessant. Gemeinsam mit anderen Helmholtz-Zentren arbeitet GKSS zudem an einem so genannten Expertensystem für das Lebenszyklusmanagement von lasttragenden Leichtbau-Materialien. Das sind Richtlinien, die von Experten für den Anwender zusammengestellt werden: als Datenbanken, Software oder Handbücher.

Besser fliegen mit Titanaluminiden

Beispiel: Titanaluminide. Das sind leichte, korrosionsbeständige und zugleich hochfeste Werkstoffe. Deshalb kann man sie in Triebwerken von Flugzeugen und Motoren von Kraftfahrzeugen einsetzen, um die Betriebstemperatur zu erhöhen und Trägheitskräfte zu verringern. Und genau das macht sie für die Forscherinnen und Forscher interessant: Denn so können sie den Wirkungsgrad verbessern, also die Leistung





Schlüsseltechnologien



Foto: GKSS

Arbeit an neu entwickelten Magnesium-Legierungen.

tigkeit zu erreichen, werden die Knetlegierungen mit Umformverfahren wie Strangpressen, Walzen oder Schmieden verarbeitet.

Selbstverständlich müssen Komfort und Sicherheitsstandards erhalten bleiben. Schon heute zeigen erste Untersuchungen, dass moderne Magnesium-Knetlegierungen geeignet sind, Stahl-Werkstoffe zu ersetzen. Mit Magnesiumlegierungen lassen sich demnach, so die Erwartung der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, deutlich leichtere und steifere Strukturen konstruieren. Mit der Chance, nicht nur das Fahrzeuggewicht zu reduzieren, sondern auch steigende Sicherheitsanforderungen problemlos zu erreichen.



Das GKSS-Expertensystem für das Lebenszyklusmanagement von lasttragenden Leichtbau-Materialien soll Nutzern helfen, Bauteile besser zu bewerten – vor allem dann, wenn im Betrieb rissartige Fehler auftauchen. Ein Riss an sich ist schließlich noch kein Drama.

Erst wenn er zu stark, also überkritisch belastet wird, können die Folgen fatal sein – für Mensch, Umwelt und eingesetztes Kapital. Wie dramatisch die Folgen tatsächlich sind, belegt eine Zahl: Die volkswirtschaftlichen Schäden, die durch Bruch und Korrosion entstehen, belaufen sich in westlichen Industrienationen alljährlich auf etwa acht Prozent des Bruttosozialprodukts.

Beim Leichtbau kommt es also darauf an, für jedes Material und jeden Einsatz die ideale Wanddicke zu fin-

den: so dünn und leicht wie möglich, so dick wie nötig, um etwa beim Auftreten von Rissen auf der sicheren



Seite zu sein. Das Expertensystem ist ein Schritt auf diesem Weg. Denn mit den modernen Methoden der Bruch- und Schädigungsmechanik, wie sie am GKSS eingesetzt werden, können die Wissenschaftler heute verlässliche Aussagen zum optimalen Materialeinsatz machen.

Erfolgreicher managen mit Expertensystem

Erfolgreiche neue Technologien zu entwickeln, dies allein reicht jedoch nicht aus, um einem Unternehmen einen signifikanten Wettbewerbsvorsprung zu sichern. Mindestens ebenso wichtig sind zum einen niedrige Lebenszykluskosten von der Produktion bis zur Entsorgung des Materials und zum anderen eine schnelle Umsetzung der neuartigen Technologien in konkurrenzfähige Produkte.

Computersimulationen, die sowohl Herstellungstechnologien und Eigenschaften des Produkts als auch dessen Lebensdauer mit hoher Genauigkeit beschreiben, helfen, diese beiden Erfolgskriterien zu erreichen.



6



Fotos Kleinbauteile: GKSS

Komplexe Titan-Kleinbauteile aus Laboren der GKSS
1 und 4: Teile eines Gelenkstückes, 2: Wirbelschraube,
3: Zugprobe, 5: Herzklappenflügel, 6, 7 und 8: Probekörper,
9: Herzklappenring,
10: Laufräder für Abgas-Turbolader, hergestellt mit einer Titanaluminid-Feingusstechnik.

Dr. Norbert Hort

Institut für Werkstofforschung
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht



10



Vielversprechende Verbindung

Mit moderner Technologie fügen Forscher neuartige Werkstoffe. Und rücken so der Vision vom Flugzeug ohne Nieten näher.

Ein Beitrag aus dem GKSS-Forschungszentrum Geesthacht

Der „Superjumbo“ A 380 von Airbus soll mit zahlreichen Innovationen in die Luft gehen. Eine davon sind weniger Nieten. Ehrgeizige Idee: Denn normalerweise sind in einem großen Passagierflugzeug Millionen von Nieten verbaut. Stattdessen arbeiten die Konstrukteure für den A 380 mit einer besonderen Schweißkonstruktion. Das verspricht etwa zwölf Prozent Gewichtsersparnis und bis zu 15 Prozent Einsparung bei den Herstellungskosten. Forschungspartner in diesem anspruchsvollen Projekt ist das GKSS-Forschungszentrum.

Dröhnende Niethämmer waren über Jahrzehnte das charakteristische Geräusch im Schiffbau. Dort aber sind sie schon seit dem Zweiten Weltkrieg passé. Im modernen Schiffbau wird geschweißt. So weit ist die Flugzeugindustrie nicht. Hier ist Schweißen noch eine Herausforderung für die Forschung. Denn Flugzeuge werden nicht wie Schiffe aus Stahl, sondern aus Aluminium konstruiert – und herkömmliche, hochfeste Aluminiumlegierungen sind nicht schweißbar.

Leichter fliegen mit europäischer Technologie

So war es bisher, und hier kommen das europäische Flugzeugkonsortium Airbus und das Forschungszentrum GKSS ins Spiel. Gemeinsam haben sie echte Pionierarbeit für



Foto: Peter Frischmuth/argus

Im Hamburger Airbus-Werk wird die Fertigstellung der ersten Rumpfsektion des A 380 gefeiert.



Schlüsseltechnologien



Foto: GKSS

Reiben, rühren – hält!

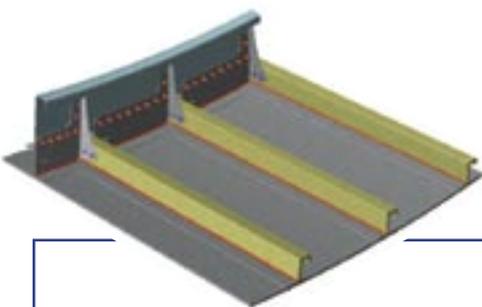


Beim Reibrührschweißen (Friction Stir Welding, FSW) wird ein verschleißfestes Werkzeug zwischen zwei zu verbindenden Werkstücken mit relativ niedriger Schmelztemperatur schnell drehend bewegt. Die entstehende Reibungswärme macht die beiden Werkstoffe teigig; sie werden miteinander „verrührt“. Die so entstehenden Schweißnähte sind qualitativ hochwertig. ■

den Leichtbau geleistet: Sie haben für neue Aluminiumlegierungen die passende Fügetechnik, ein besonderes Schweißverfahren, erforscht und entwickelt und das Versagensverhalten von Schweißverbindungen analysiert. Die so geschweißten Bauteile werden bereits in einigen Flugzeugtypen eingesetzt. Sie leisten, was sie sollen: Reduktion von Gewicht und Treibstoffverbrauch. Damit sinken Betriebskosten, und es entstehen weniger klimaschädliche Abgase – gut für Mensch und Umwelt. Und davon profitiert die europäische Luftfahrtindustrie. Denn die Forschung zum

A 380 wird die europäische Idee vom völlig nietfreien Flugzeug der Realisierung ein gutes Stück näher bringen.

Entwickelt wurde die Vision von der Europäischen Kommission, die 2001 das Strategiepapier „European Aeronautics: A Vision for 2020“ veröffentlichte. Das Luftfahrtvolumen wird sich bis 2020 verdreifachen. So prognostiziert die Kommission in ihrer Strategie und fordert in Konsequenz von der Forschung, sich auf die Entwicklung leichter Flugzeugkonstruktionen und Turbinen zu konzentrieren.



Grafik: GKSS

Fügen fürs Flugzeug

Bisherige Einsatzmöglichkeiten für Laserschweißungen (rote Linien) an einem Ausschnitt im Flugzeugrumpf. Farblich gekennzeichnet sind unterschiedliche Werkstoffe, die aufgrund ihrer Eigenschaften gezielt eingesetzt werden.

Die neue Integralbauweise (geschweißt) bietet folgende Vorteile gegenüber der konventionellen Differentialbauweise (genietet):

- Gewichteinsparung durch den Wegfall von Nieten und eine andere Versteifungstechnologie.
- Kostensenkung durch hohen Automatisierungsgrad und hohe Fertigungsgeschwindigkeiten.
- Bessere Korrosionsbeständigkeit, da spaltfreie Verbindungen und keine Nietbohrungen.



Schlüsseltechnologien

Um die Integralbauweise für Flugzeug-Rumpfschalen weiterzuentwickeln, sind genaue Kenntnisse der Festigkeits- und Ermüdungseigenschaften von lasergeschweißten Luftfahrt-Aluminium-Legierungen notwendig. Im GKSS-Forschungszentrum testen Wissenschaftler Modelle mit lasergeschweißten Stringern (Versteifungen im Flugzeugbau) und analysieren das Versagensverhalten von Schweißverbindungen.

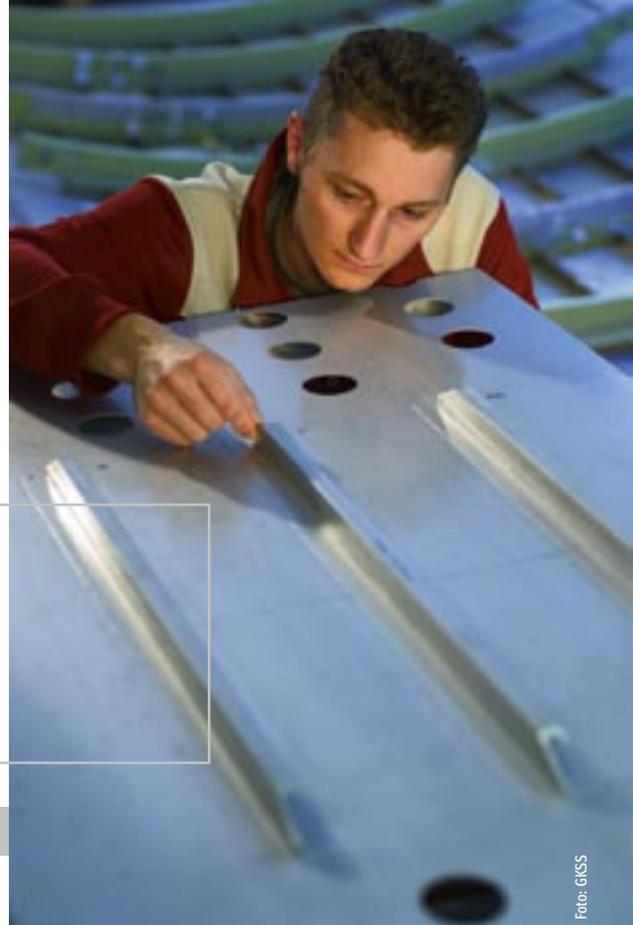


Foto: GKSS

GKSS

Neues Material braucht neue Fügetechnik

Und genau dazu leistet das europäische Kooperations-Projekt von Airbus und GKSS einen wichtigen Beitrag mit den von ihnen entwickelten Laserstrahl-Fügeverfahren für den Flugzeugrumpf. In einem anderen Projekt arbeiten GKSS-Wissenschaftler – ebenfalls gemeinsam mit Airbus – an einer Erweiterung des „Damage Tolerance Design“-Konzepts für geschweißte Flugzeugbauteile. Das Ziel ist hier, die Riss-Widerstandsfähigkeit so konstruierter Teile zu erhöhen.

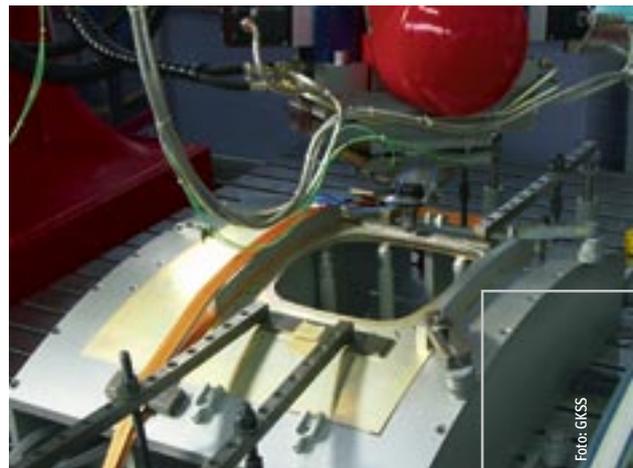
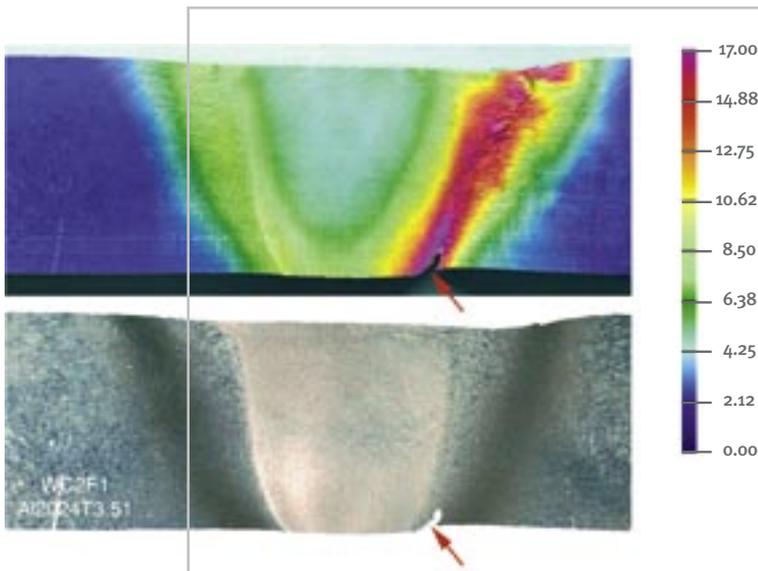


Foto: GKSS



Technische Dehnung (in Prozent)

Komplexer Verformungs- und Bruchvorgang von Reibrührschweißverbindungen an Luftfahrt-Aluminium-Legierungen unter Belastung. Die Lokalisierung der plastischen Verformung (rot) an der Seite der Schweißnaht zeigt die kritische Fügezone, wo die Schädigung beginnt (roter Pfeil). Das untere der beiden Bilder zeigt die mikroskopische Aufnahme einer Reibrührschweißverbindung, beim oberen Bild handelt es sich um eine digitale Analyse desselben Werkstücks.

Foto: GKSS



Fügetechnologie – Schlüsseltechnologie

Immer geht es im modernen Leichtbau um Hybridkonstruktionen, in denen verschiedene Werkstoffe benutzt werden. Nur wenn die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler genau erforscht und verstanden haben, wie sich neuartige Materialien bearbeiten und verbinden lassen, eröffnen sich der Industrie Möglichkeiten, diese Werkstoffe im Leichtbau einzusetzen. Die sind dann allerdings fantastisch: Nicht nur im Flugzeug-, sondern beispielsweise auch im Automobilbau erreicht man durch den Einsatz der „multi-material“ Leichtbauweise eine erhebliche Gewichtsreduktion. (Siehe hierzu auch den Beitrag „Mit Leichtigkeit in die Zukunft“ auf Seite 8.)

Das ist der Grund, warum die Fügetechnologie so eine wichtige Rolle spielt: Nur mit ihrer Hilfe können neuartige Strukturwerkstoffe in unterschiedlichen Branchen in die Anwendung kommen, etwa als Bauteile aus Aluminium, aber auch aus Titan oder Magnesium.

Derzeit konzentrieren sich die GKSS-Forscherinnen und -Forscher darauf, Schweißnaht- und Bauteileigenschaften zu verstehen, um sie dann im zweiten Schritt optimieren zu können. Der Schweißprozess verursacht Veränderungen im Werkstoff, die zu vielfältigen Versagensmechanismen

FITNET – Standard für Europa



Mit Hilfe der EU-Fehlerbewertungsprozedur FITNET (Fitness-for-Service-Thematic Network) können über 45 Partnerfirmen und -institutionen aus 17 europäischen Ländern die Schädigungsentwicklung geschweißter Leichtbauwerkstoffe unter statischer und zyklischer Beanspruchung beschreiben. Die vier Versagenstypen für metallische Bauteile – Bruch, Ermüdung, Korrosion und Kriech als zeitabhängiges Versagen unter Hochtemperaturbedingungen – werden dort erstmals einheitlich als europäischer Standard erfasst. Koordiniert wird dieses EU-Projekt von GKSS. ■

des Bauteils führen können. Es ist also wichtig, die zum Schaden führenden Prozesse zu identifizieren und zu analysieren. Um eine sichere und lange Bauteillebensdauer zu gewährleisten, analysieren die Forscher den Einfluss jedes beteiligten Werkstoffs und der Fügezone auf das Betriebsverhalten der gesamten Struktur. GKSS arbeitet bereits seit dem dritten Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Gemeinschaft mit führenden Industrie- und Wissenschaftspartnern an zahlreichen gemeinsamen Forschungsprojekten, um ein Kompetenz-Zentrum für geschweißte Strukturen zu schaffen.

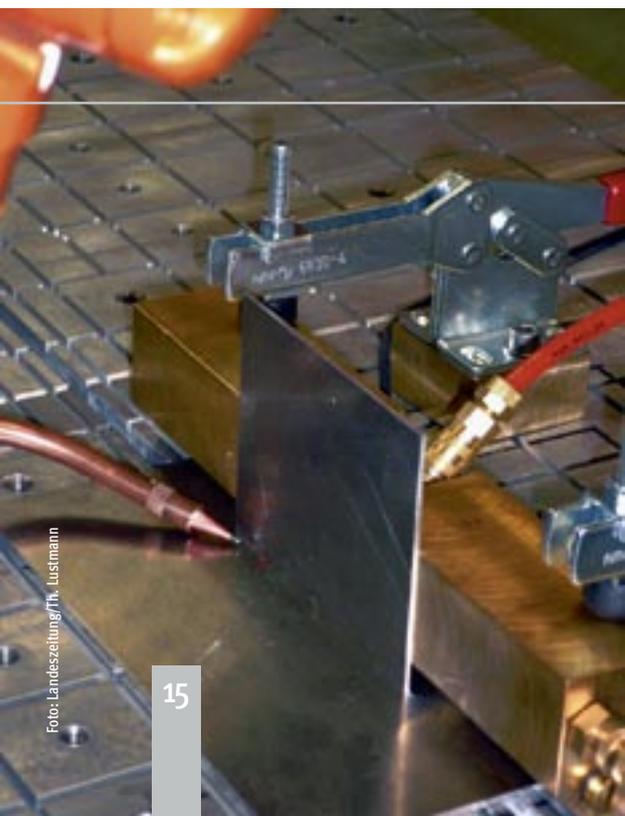
Forschung für die Zukunft „light“

Insgesamt hat sich das GKSS-Forschungszentrum seit 1996 in insgesamt 17 EU-Kooperations-Projekten mit dem Schwerpunkt „Leichtbau“ als Forschungspartner für Industrie und Wissenschaft engagiert. Dabei haben die Partner bereits viel erreicht. Aber neue Leichtbauwerkstoffe, moderne Schweißverfahren – etwa Laser- und Reibrührschweißen – und geschweißte Verbund-Strukturen sind trotzdem bisher noch unzureichend erforscht. Es bleibt noch viel zu tun für GKSS und seine europäischen Partner.

Dr. Mustafa Koçak

Institut für Werkstoffforschung
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht

Links: Robotic Reibrührschweißen von Flugzeugpaneelen beim GKSS.
Unten: „Kurz-Naht“ – Laserschweißen im Modellversuch.
Ein EU-Kooperationsprojekt mit Airbus beim GKSS.





Ein Gedächtnis für Computer

Neue Nanoelektronik hilft vergesslichen Speichern.

Ein Beitrag aus dem Forschungszentrum Jülich

Die theoretischen Grundlagen kommen aus Lüttich, die Nanoschichten und das Know-how aus vier Instituten in Deutschland, am Forschungszentrum Jülich laufen die Fäden zusammen. Gemeinsam wollen die Wissenschaftler nicht nur die Arbeitsspeicher der nächsten Computergeneration entwickeln, sondern auch die grundsätzlichen Eigenschaften der Ferroelektrizität im Nanokosmos verstehen.

Wenn Hermann Kohlstedt Neugierigen einen Blick in den gelb leuchtenden Reinraum im ersten Stock des Jülicher Instituts für Festkörperforschung gewährt und im Depositionslabor auf violett leuchtende Plasmen hinweist, dann scheint sich das in Sphären abzuspielen, die mit unserem Alltag wenig zu tun haben. Aber das täuscht. Die Verbindung zur „normalen“ Welt ist allgegenwärtig: Jedes Mal, wenn ein Computer hochfährt und dafür beträchtliche Zeit braucht, hängt das mit jenen elektronischen Bauteilen zusammen, für die der Physiker Kohlstedt und sein Team neue Lösungen entwickeln.

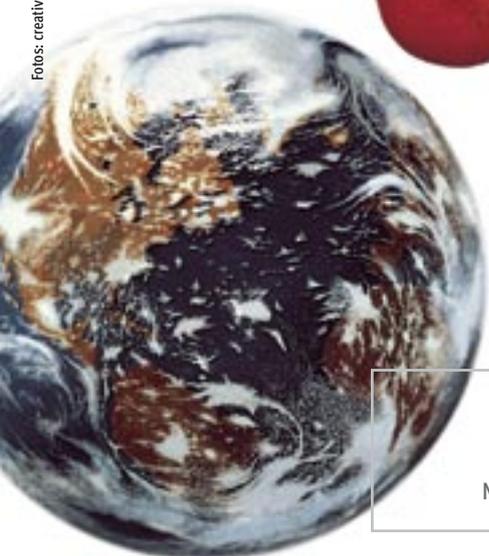
RAM ist der „Familiennamen“ dieser Arbeitsspeicher: Random Access Memory. Mit den zurzeit üblichen lassen sich bis

zu einer Milliarde Einzelinformationen – 1 oder 0 – verwalten. Bisher allerdings nur flüchtig. Sobald die Stromversorgung unterbrochen ist, gehen die Informationen verloren. Die Folge: Bei jedem Start müssen das Betriebssystem und die Programme ihre Datensätze neu in den Arbeitsspeicher laden. Das dauert.

Erinnerung für Gameboys

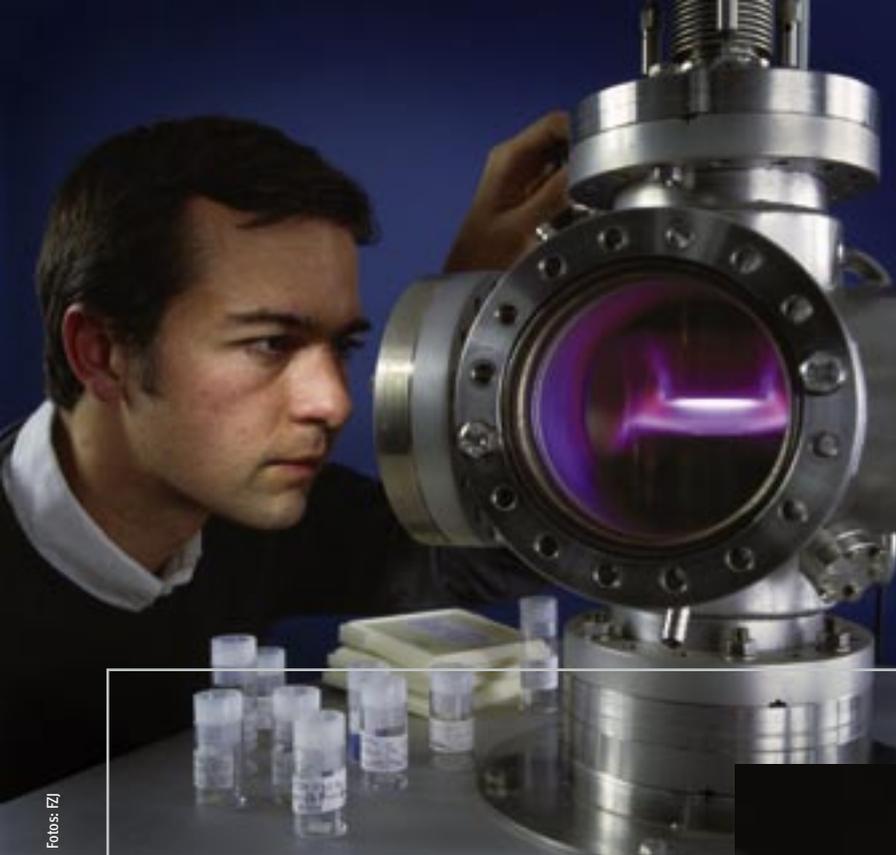
Deshalb suchen Forscherinnen und Forscher nach Alternativen. Keine Lösung bieten so genannte nicht-flüchtige Flash-Halbleiterspeicher. Sie brauchen hohe Betriebsspannungen, sind langsam und überleben nur eine begrenzte Anzahl von Schaltzyklen. In Jülich und weltweit verfolgen Wissenschaftler deshalb eine andere Spur. Einer der vielversprechenden Ansätze heißt FeRAM.

Wie klein ist der Nanokosmos? Das Größenverhältnis einer Kirsche zur Erde entspricht dem Verhältnis von einem Nanometer zu einem Meter.



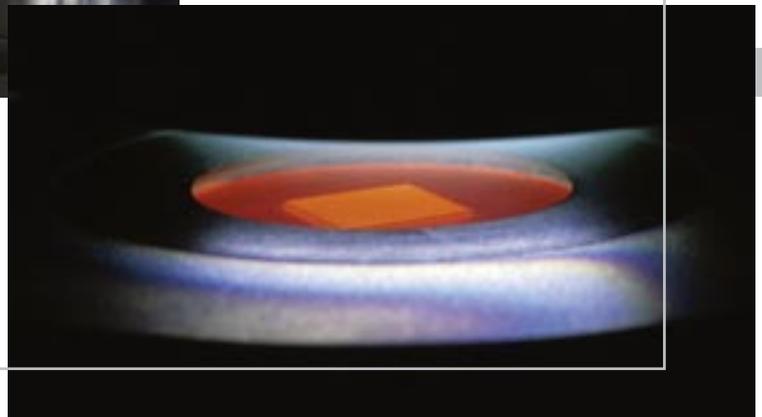


Schlüsseltechnologien



Fotos: FZJ

In dieser Plasmadepositions-Anlage stellen Wissenschaftler die extrem dünnen ferroelektrischen Schichten her. Im violett leuchtenden Plasma scheidet sich eine gleichmäßige Schicht auf dem Substrat (orangefarbenes Plättchen im nebenstehenden Bild) ab. Mehrere dieser Schichten können nacheinander abgeschieden werden.



Dahinter verbirgt sich ein Speicher, der auf herkömmlicher Siliziumtechnologie basiert, aber ein ferroelektrisches Gedächtnis hat. FeRAMs sind bereits so weit entwickelt, dass sie schon ihren Platz in unserem Alltag gefunden haben: in Spielkonsolen etwa oder in Smart Cards, die zur Datenerfassung nur noch vor das entsprechende Lesegerät gehalten werden. In anderen lukrativen Anwendungen wie Personal Digital Assistants, digitalen Kameras oder USB-Sticks sind FeRAMs noch nicht zu finden – zu wenig Speicherkapazität.

Klein, kleiner, Nanometer

Es gibt noch einen weiteren Grund, warum der Siegeszug der FeRAMs in die Computer der nächsten Generation bislang auf sich warten lässt: Er verbirgt sich im Mooreschen Gesetz. Dieses Gesetz beschreibt, dass sich die Leistungsfähigkeit von Computern etwa alle 18 Monate verdoppelt. Auch in Zukunft wird sich dieser Trend vermutlich fortsetzen. Denn Hersteller müssen dafür sorgen, dass sie regelmäßig Kaufanreize schaffen: mit immer kleineren Computern, die zugleich mehr Speicherplatz haben. Aus ökonomischen und aus Platzgründen müssen Speicherzellen also immer kleiner werden – in wenigen Jahren werden sie die 50-Nanometer-Marke unterschreiten.

Und hier wird es für die Jülicher Grundlagenforscher um Hermann Kohlstedt und ihre Projektpartner spannend. Denn was passiert mit der Ferroelektrizität, wenn die Schichten eines Bauelements immer dünner und schmaler werden? Das ist die Frage, der sie sich verschrieben haben und der sie seit vier Jahren nachgehen – unterstützt von der VolkswagenStiftung und unter hoffnungsvoller Beobachtung der Halbleiterindustrie. Die Antwort ist entscheidend: Denn viele Fragen, die in der „Roadmap“ der Halbleiterindustrie auftauchen, lassen sich auf diese eine, grundlegende reduzieren. Und solange nicht klar ist, was mit der Ferroelektrizität auf kleinsten Skalen passiert, sind langfristige und teure Investitionen für die Industrie zu riskant.

„Die ferroelektrischen Schichten sind ja nur noch einige Atomlagen dick“, verdeutlicht Kohlstedt die Dimensionen, „da müssen wir beim Herstellen sogar aufpassen, dass die Stöchiometrie – das Verhältnis der Komponenten in einem ferroelektrischen



Oxid wie Bleizirkoniumtitanat – überall erhalten ist.“ Anhäufungen einzelner Elemente – also von Blei, Zirkonium, Titan und Sauerstoff – sind eben keine gute Voraussetzung, weder für verlässliche Forschung noch für künftige elektronische Bauteile. „Und das ist nur eins von zahllosen Details, die wir in der Nanowelt berücksichtigen müssen, allein bei der Herstellung unserer Proben“, bemerkt Hermann Kohlstedt.

Je kleiner eine Probe wird – vor allem aber: je dünner –, desto unwahrscheinlicher wird Ferroelektrizität. Denn sie beruht auf einem „kollektiven Effekt“ des Kristallgitters: Die unterschiedlichen Atome des Oxids ordnen sich in einer regelmäßigen Struktur so an, dass der positive und der negative Ladungsschwerpunkt nicht exakt übereinander liegen. Die Forscher sprechen von Polarisierung in Richtung der Ladungsschwerpunktachse. Diese Polarisierung lässt sich mit einem elektrischen Feld auch in die entgegengesetzte Richtung drehen. Wenn man die beiden Richtungen mit 1 oder 0 identifiziert, hat man das gewünschte Gedächtnis für einen nichtflüchtigen Speicher.

Speichern ohne Grenzen



Das Wesen der Ferroelektrizität in aller kleinsten Dimensionen zu erforschen, erfordert Höchstleistungen – physikalisch, chemisch, elektronisch. Neben den koordinierenden Jülicern beteiligen sich deshalb vier weitere Institute an diesem Fach- und Ländergrenzen überschreitenden Projekt: das Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen und Bauelemententechnologie in Erlangen, das Max-Planck-Institut Halle und die RWTH Aachen auf der experimentellen Seite, die Universität Lüttich in Belgien auf der theoretischen.

In Jülich selbst ist das Projekt eingebunden in das erst 2003 gegründete CNI – Center of Nanoelectronic Systems for Information Technology. Die Aktivitäten von sieben Instituten des Forschungszentrums werden in diesem Zentrum gebündelt, um den Übergang von der Mikro- zur Nanoelektronik maßgeblich mitzugestalten. ■



Dominospiel für Ferroelektriker

Die gesuchte „Kleinheitsgrenze“ für das ferroelektrische Gedächtnis kann man sich so vorstellen: Ein Dominostein steht aufrecht auf einem Tisch. Kippt man den Stein um, entspricht das einer bewussten Änderung des Bits 1 auf das Bit 0. Macht man aber den Stein immer dünner, reicht eine Luftbewegung, um ihn umzukippen, später reicht sogar die zufällige Bewegung der Moleküle um ihn herum. Ob der Stein steht oder liegt, ist dann zufällig. Als Speicher ist er so nicht mehr zu benutzen.



Foto: creativ collection



Widerstand mit Zukunft



Die Jülicher Forscher versuchen nicht nur, immer kleinere ferroelektrische Speicher zu bauen, sie entwickeln auch neue Varianten. Beispielsweise lässt sich die Information 1 oder 0 auch anders als nur über Polarisationswerte speichern: Ihr noch ganz „junger“, so genannter ferro-resistiver Speicher (FRRAM) besitzt eine elektrische Leitfähigkeit. In diesem Speicher beeinflusst die Polarisierung die elektrische Leitfähigkeit und damit den elektrischen Widerstand. Jetzt bedeuten 1 oder 0 nicht zwei Polarisationswerte, sondern zwei verschiedene Widerstandswerte. Der große Vorteil eines solchen Widerstandsspeichers: Wenn die Information abgefragt wird, bleibt sie trotzdem gespeichert und muss nicht ständig erneuert werden.

Dieser Speicher würde sein Gedächtnis also nicht nur behalten, wenn der Computer ausgeschaltet wird, sondern bräuchte auch für einen einmal gespeicherten Wert keine ständige „Erfrischung“, wenn damit gearbeitet wird.

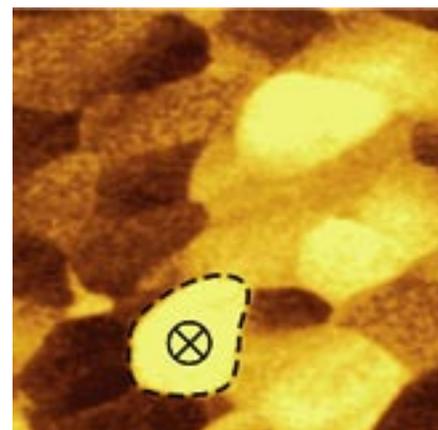
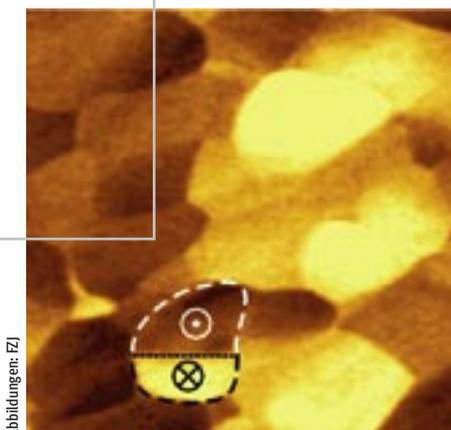
Die Erforschung dieser Variante steht allerdings noch am Anfang. Zwar entspricht ihr im Detail kompliziertes Verhalten fast genau den Simulationswerten, die der Jülicher Teamkollege René Meyer bereits errechnet hat. Weitere Experimente sind aber notwendig, um sicherzugehen, dass im FRRAM auch wirklich das geschieht, was die Forscher vermuten. Wenn sie Recht haben, könnte ihm eine große Zukunft bevorstehen. ■

Im Forscherleben eines Ferroelektrikers heißt der Fremdeinfluss nicht Luftbewegung, sondern Tunnelstrom, Grenzflächenchemie, mechanischer Stress, dielektrische Ermüdung oder Alterung. Wirklich verstehen lassen sich die Natur der Ferroelektrizität und ihr Zusammenspiel mit diesen Einflüssen erst, wenn man theoretische Ansätze einbezieht. Der theoretische Physiker Philippe Ghosez und sein Team von der Universität Lüttich in Belgien sind auf die mathematische Beschreibung der Ferroelektrizität spezialisiert. Sie bilden die Vorgänge mit Hilfe von Berechnungen ab, die allein auf grundsätzlichen Prinzipien der Physik beruhen.

Gemeinsam konnten die Teams nachweisen, dass trotz störender Einflüsse der ferroelektrische Effekt selbst bei einer Dicke von nur sechs Nanometern – oder lediglich 15 übereinander gestapelten Zellen des Kristallgitters – messbar und verwertbar bleibt.

Das nächste Ziel sieht Hermann Kohlstedt schon klar vor Augen: vier und dann zwei Nanometer. Das bedeutet viel mehr als nur eine Verbesserung um einen Faktor X, denn: „In der Quantenwelt, die wir damit endgültig betreten, gelten wieder andere Regeln. Und wie die mit der Ferroelektrizität zusammenspielen, das müssen wir erst herausfinden.“

Neue Arbeitsspeicher mit Gedächtnis: Winzige Körnchen einer ferroelektrischen Substanz (hier Bleititanat) lassen sich gezielt ansteuern und „umklappen“ – das zeigt die Piezoresponse-Kraft-Mikroskopie.



Abbildungen: FZI

Dipl.-Phys., Dipl.-Journ. Julia Förster

Wissenschaftsjournalistin, Hannover



Nachrichten aus den Tiefen des Sonnensystems

Die amerikanisch-europäische Mission Cassini/Huygens erforscht den Saturn und seine Monde.

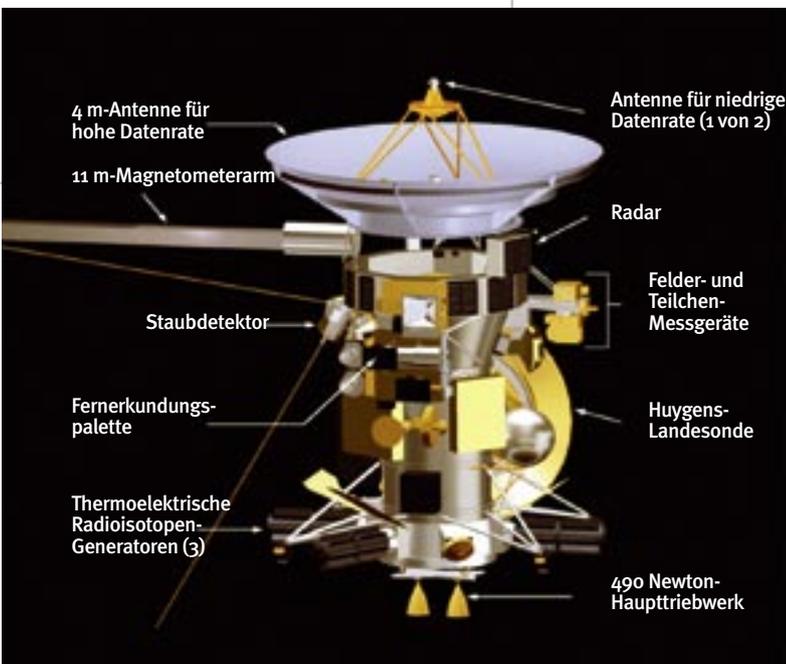
Bild: NASA / JPL / University of Colorado

Ein Beitrag aus dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Cassini ist eine Mission der Superlative: Eines der größten und schwersten Raumschiffe, das jemals gebaut wurde, fliegt dreieinhalb Milliarden Kilometer durch das All. Ausgeklügelte Manöver beschleunigen das Raumschiff in einem kosmischen Billardspiel und führen es exakt dorthin, wo die Planetenforscher noch viele Geheimnisse lüften wollen: zum Saturn und seinen Monden, in die fernen Regionen unseres Sonnensystems. Großer europäischer Beitrag zur Mission ist die Sonde Huygens. Mitte Januar ist sie erfolgreich auf dem Saturnmond Titan gelandet und hat dabei spektakuläre Daten und Bilder gesendet: Huygens wurde zu einem Meilenstein der Raumfahrt.

Der fast sieben Meter hohe Cassini-Orbiter ist das größte je gebaute Raumschiff zur unbemannten Erkundung des Sonnensystems. Zwölf Instrumente werden zur Erforschung des Saturn, seiner Ringe, der Monde und der Magnetosphäre eingesetzt. An Cassini angebracht ist die europäische Titanlandesonde Huygens.

Bild: NASA / JPL / RPIF / DLR



Der Saturn und seine Trabanten sind noch kaum erforscht: eine Welt aus Gas, Eis und Gestein, die den Wissenschaftlern viele Rätsel aufgibt. Mehr wissen wollen die Forscher vor allem über Ringe, Monde, Magnetfeld und Atmosphäre des Saturn. Sie fragen etwa, warum der Planet viel mehr Energie abstrahlt, als er von der Sonne erhält. Oder wie die gewaltigen Stürme in seiner Atmosphäre entstehen. Und woher rührt die Vielgestaltigkeit der Monde? „Dabei treibt uns nicht pure Neugier“, erklärt Dr. Ralf Jaumann vom Institut für Planetenforschung des DLR und Mitglied des Spektrometerteams von Cassini. „Von einem genaueren Verständnis der Verhältnisse am Saturn erhoffen wir uns Aufschluss über die Frühgeschichte des Sonnensystems. Dies bringt wichtige Erkenntnisse über die anfängliche Entwicklung der Erde mit sich.“ 260 Forscherinnen und Forscher aus den USA und 17 europäischen Ländern kooperieren, um dem Saturnsystem auf die Spur zu kommen.



Verkehr und Weltraum

Cassini enthüllte mit seinen Ultraviolett- (links) beziehungsweise Infrarot-Messungen (unten), dass die Temperatur der Saturnringe von innen nach außen variiert und abnimmt, hier dargestellt in Falschfarben. Rote Ringsegmente sind etwa 110 Kelvin oder minus 150 Grad Celsius „warm“, während die weiter außen gelegenen, grün dargestellten Regionen der Ringe 20 Grad kälter sind. Noch kälter, nämlich bis zu minus 200 Grad Celsius, sind die blau dargestellten Ringe.

Die Flugbahn: Feinste Maßarbeit in gigantischer Entfernung

Herausforderung Nummer eins ist die Beschleunigung des Raumschiffs. Denn Cassini, mit allen Instrumenten und Treibstoff beladen, ist ungeheuer schwer. Beim Start 1997 wog das Raumschiff fast sechs Tonnen. Es gab keine Chance, dieses Gewicht auf einem direkten Weg zum Saturn zu bringen. Um es dennoch mit dem nötigen Schwung für den langen Flug durchs All auszustatten, haben die Flugingenieure eine Route ausgeklügelt, auf der das Raumschiff durch Vorbeiflüge an Planeten des inneren Sonnensystems immer wieder Schwung holt.

Durch seine nahen Passagen an der Venus, der Erde und schließlich dem Jupiter wurde das Raumschiff beschleunigt, um den weiten Weg in weniger als sieben Jahren zu bewältigen. Doch am Ende der Reise war Cassini dann zu schnell, um direkt auf eine Saturn-Umlaufbahn einschwenken zu können. Also steuerte man im Sommer 2004 das Raumschiff mit der Antenne voraus, als Schutzschild vor Staubteilchen, durch eine Lücke der Saturnringe. Programmgemäß drehte es sich dann um 180 Grad und bremste mit dem Triebwerk voraus anderthalb Stunden lang so stark ab, dass die Schwerkraft des Planeten Cassini auf eine elliptische Umlaufbahn ziehen konnte. Dieses Manöver zum Einbremsen Cassinis in einen Saturnorbit war in seiner Kühnheit, aber auch in der Präzision, mit der es ablief, einmalig.

Die Flugingenieure hatten es zwar seit Jahren minutiös, ja auf Bruchteile von Sekunden geplant und im Bordcomputer einprogrammiert. In der Realität konnten sie es dann aber nicht mehr korrigieren. Ein Funk-signal von Cassini benötigte zu diesem Zeitpunkt für die einfache Strecke zur Erde 84 Minuten. Das bedeutet: Das Bodenkontrollteam am Jet Propulsion Laboratory der NASA in Pasadena (Kalifornien) erfuhr von dem erfolgreichen Manöver erst, als es längst abgeschlossen war.

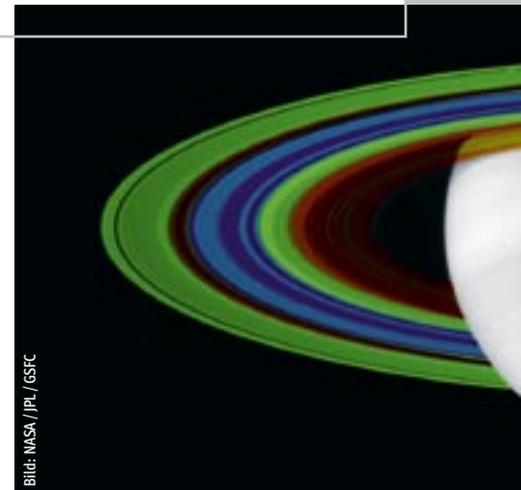


Bild: NASA / JPL / GSFC

Die Instrumente: Schon die ersten Ergebnisse sind erstaunlich

Um die Welt des Saturn und seiner Umgebung abzubilden, zu dokumentieren und zu analysieren, sind zwölf Instrumente an Bord des Raumschiffs untergebracht. Dies sind optische Fernerkundungsinstrumente wie Kameras und Spektrometer, aber auch so genannte Magnetometer- und Plasmamessinstrumente. Mit ihrer Hilfe können die Wissenschaftler kosmischen Staub, Moleküle, geladene Teilchen im interplanetaren Raum und das Magnetfeld des Saturn untersuchen. Dazu kommt die Hauptantenne, gebaut in Italien, die für die Kommunikation mit der Erde zuständig ist und vor allem den gewaltigen Datenstrom der Experimente zum Heimatplaneten bündelt.

Bereits einige Monate vor dem mit Spannung erwarteten Abstieg der Sonde Huygens auf den Titan lieferten die Instrumente von Bord des Orbiters faszinierende Ergebnisse: Der äußere Saturnmond Phoebe wurde in hoher Auflösung fotografiert – eine bizarre kleine Eis-Welt, von planetarem Staub bedeckt. Wissenschaftlich bedeutsam sind auch die Aufnahmen der beiden ersten sehr nahen Vorbeiflüge am Titan im Oktober und Dezember 2004, bei denen sich das Raumschiff dem ungewöhnlichen Trabanten bis auf 1.200 Kilometer näherte. „Wir sehen eine Oberfläche, die wenig Ähnlichkeit mit bisher Bekanntem aufweist“, beschreibt Dr. Ralf Jaumann vom Institut für Planetenforschung des DLR die Titan-Aufnahmen des abbildenden Spektrometers, die dabei entstanden. „Die Titanoberfläche ist weit vielgestaltiger, als wir angenommen hatten. Möglicherweise hat er hohe Berge, vielleicht sogar Vulkane aus Kohlenwasserstoffverbindungen. Doch vieles bleibt vorerst noch sehr rätselhaft.“

DLR

Der Titan: Forscher lüften sein Geheimnis

Der Titan interessiert die Wissenschaftler bei dieser Mission besonders, weil die Zusammensetzung seiner Stickstoff-Atmosphäre es ihnen ermöglicht, einen Blick zurück in die Frühzeit der Erde zu werfen, als sich in deren Gashölle Stickstoff auf Kosten von Kohlendioxid anreicherte und sich wenig später erste Lebensformen entwickelten.

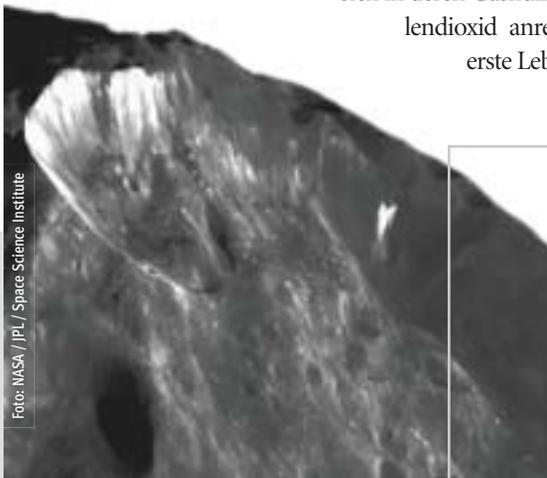


Foto: NASA / JPL / Space Science Institute

Der nur 220 Kilometer kleine äußere Mond Phoebe war das erste Ziel von Cassini im Saturnsystem: eine bizarre Kraterlandschaft aus Eis und Staub. Bis zu zwanzig Meter „kleine“ Details fotografierte die Kamera an Bord des Orbiters.



Bild: NASA / JPL / University of Arizona / USGS

Das Spektrometer VIMS nahm beim ersten Titan-Nahvorbeiflug im Oktober 2004 die voraussichtliche Landestelle der Huygens-sonde ins Visier (Ausschnitt). VIMS ist in der Lage, mit ausgewählten Spektralkanälen durch die Wolkenhülle Titans zu blicken und offenbarte eine abwechslungsreiche Landschaft auf dem Saturnmond.

Allerdings war der Titan bislang kaum zu erforschen: Eine Aerosolschicht in 200 bis 300 Kilometern Höhe und ein hoher Methan-Anteil der Atmosphäre machen ihn für die Wellenlängen des sichtbaren Lichts undurchdringlich. Die Oberfläche des Titan war deshalb fast völlig unbekannt. Wissenschaftler vermuteten allerdings, dass sie zum größten Teil aus Eis von Kohlenwasserstoffen besteht und dass es bei Oberflächentemperaturen von minus 180 Grad Celsius Seen oder Eisflächen aus Methan und Ethan geben könnte, vielleicht auch aus Wassereis. Aufregend! Denn dann wäre er außer der Erde der einzige Körper im Sonnensystem, auf dem heute noch Oberflächen-„Gewässer“ existieren. Schon bei den ersten Vorbeifügen des Cassini-Orbiters wurden große, möglicherweise dynamische Wolkengebilde entdeckt. Das rückte sogar einen Flüssigkeitskreislauf mit „Ethanregen“ in den Horizont des Vorstellbaren.

Huygens: Erfolgreicher Abstieg in eine unbekante Welt

Große Hoffnungen der Wissenschaftler, mehr über die Beschaffenheit des Titan zu erfahren, ruhten auf Huygens. Und sie wurden nicht enttäuscht. Denn die Sonde, der große europäische Beitrag zur Mission Cassini, ist am 14. Januar erfolgreich auf dem Ti-

Umgeben von seinen blauviolett-stratosphärischen Schichten und der orangefarbenen Stickstoff-Methan-Atmosphäre, erscheint der Saturnmond Titan in einem sanften Licht. Der Mond war das Ziel der Landefähre Huygens, die am 14. Januar 2005 auf der Oberfläche dieses ungewöhnlichen Trabanten gelandet ist.

Foto: NASA / JPL / Space Science Institute



Verkehr und Weltraum

Mit Huygens in einer neuen, fremden und doch auch ein wenig vertrauten, an die Marslandestellen erinnernden Welt: Die erste Landung auf einem Körper des äußeren Sonnensystems erfolgte auf fester Oberfläche, in einer von Eisblöcken übersäten Ebene. Alle Systeme und Experimente überlebten den Aufprall, auch die Kommunikation mit dem Mutterschiff Cassini wurde nicht unterbrochen.

Foto: ESA/NASA/Univ. of Arizona

„wie durch die Kruste einer Crème Brûlée in einen etwas nachgebenden Untergrund hinein, in seiner Konsistenz ähnlich Lehm oder feuchtem Sand“, wie der französische Missionsleiter der ESA, Jean-Pierre Lebreton, mitteilte. Alles hat perfekt funktioniert, eine Meisterleistung der Raumfahrtgenieure. Permanent lieferte die Sonde dabei Messdaten, selbst nach dem Aufsetzen auf der eiskalten Oberfläche konnte Huygens noch für über eine Stunde Kontakt mit Cassini halten. Die Bilder der Abstiegskamera liefern jetzt wie erhofft den Schlüssel, um mehr über die Geologie des Mondes zu erfahren.

Die Perspektive: Datenmaterial für Jahre

Insgesamt wird Cassini den Forschern auf Jahre hinaus Datenmaterial bester Qualität liefern. Denn erst im Juli 2008 nähert sich die Mission ihrem – vorläufigen – Ende. Doch die NASA ist vom ersten Halbjahr des Projektes so angetan, dass Cassini wahrscheinlich noch fast bis zum Ende des Jahrzehnts seine hoffentlich ungestörten Kreise ziehen kann, um weitere Daten zu sammeln. Denn, wie Dr. Jaumann realistisch einschätzt, „so eine komplexe Mission zum Saturn wird es in unserem Forscherleben wohl nicht wieder geben.“ Und weit über die heutige Generation der an Cassini und Huygens beteiligten Wissenschaftler hinaus wird die Auswertung geowissenschaftlicher, physikalischer und chemischer Daten die Forschung in Atem halten, dessen sind sich die Experten sicher: mit Erkenntnissen über die fremde Welt des Saturn, seiner Ringe und der Monde.

Ulrich Köhler

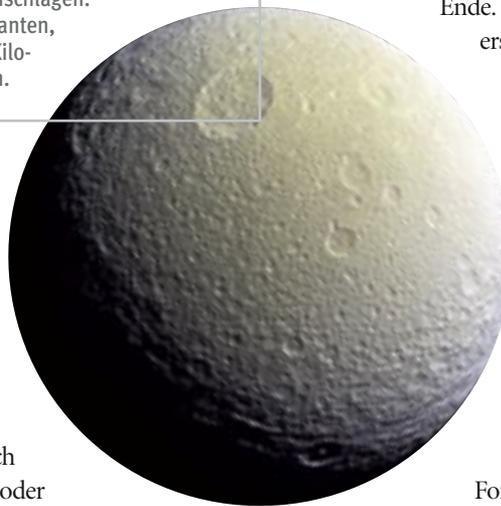
Institut für Planetenforschung
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin

250.000 Kilometer von Cassini entfernt zeigt der Saturnmond Tethys seine Milliarden Jahre alte Oberfläche, die wahrscheinlich aus Wassereis besteht. Die zahlreichen Krater sind das Ergebnis von Meteoriteneinschlägen. Im September 2005 wird Cassini den Trabanten, der einen Durchmesser von etwa 1.060 Kilometern hat, aus nächster Nähe beobachten.

Foto: NASA/JPL/Space Science Institute

tan gelandet. Während ihres über zweistündigen Abstiegs und selbst nach der Landung noch hat Huygens spektakuläre Aufnahmen in hoher Auflösung und Messdaten aller sechs Instrumente gesendet. Die Bilder zeigen, dass die Oberfläche des geheimnisvollen Mondes von einem sich verästelnden Gewässernetz überzogen ist, in dem womöglich ein Gemisch aus Kohlenwasserstoffen floss oder fließt. Sie enthüllen Formationen, die Küstenlinien ähneln, und zeigen an der Landestelle gerundete, an Gerölle erinnernde Eisbrocken, deren chemische Zusammensetzung die Forscher noch nicht kennen. Viel Stoff für die jetzt beginnende Datenanalyse.

Huygens, die erste Sonde, die in Europa gebaut wurde, um danach ins äußere Sonnensystem zu fliegen, war trotz präziser Planung ein gewagtes Unternehmen. Aber das Risiko hat sich gelohnt. Abkopplung vom Raumschiff an Weihnachten, Eintritt in die Gashölle mit einer Geschwindigkeit von 18.000 Stundenkilometern, Abbremsung in drei Minuten auf andert-halb-fache Schallgeschwindigkeit und dann die Messungen während eines fast zweieinhalbstündigen Flugs durch die Titan-Atmosphäre an drei nacheinander entfalteten Fallschirmen. Schließlich eine sanfte Landung,



Bahn frei für Europa

In Braunschweig läuft der Schienenverkehr schon grenzenlos – als Simulation.

Ein Beitrag aus dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt



Foto: DB AG

InterCityExpress 3 (ICE 3) auf der Neubaustrecke Köln – Rhein/Main.

Der Kern des Problems ist, im Vergleich zum komplizierten Geflecht aus Interessen und nationalen Regeln, sehr einfach. Dr. Michael Meyer zu Hörste, Maschinenbau-Ingenieur und Experte für Eisenbahnsicherheit beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig, drückt es so aus: „Als die Eisenbahnen begannen, schneller als 40 Kilometer pro Stunde zu fahren, stieg die Unfallgefahr, und Eisenbahner stellten sich die Frage: ‚Wie hindere ich den Zug daran, zu schnell zu fahren?‘“ In den 1930er Jahren entstanden immerhin nationale einheitliche Sicherheitsstandards. Und national, so Meyer zu Hörste, ist oftmals noch immer „der Denkhorizont“.

Wer heute mit dem Zug unterwegs ist, kann darauf vertrauen, dass ein Rechner an Bord des Zuges im Fall der Fälle automatisch die Bremse zieht. Dieser Kontrollrechner bezieht und übermittelt Standortinformationen über diverse technische Systeme, die sich an den Schienen befinden. Die Systeme variieren allerdings von Land zu Land. Bis zu 24 Antennen müssen deshalb unter europaweit verkehrende Güterzüge montiert werden. Ganz abgesehen von den Kosten: Allein den störungsfreien Betrieb der vielen, parallel angebrachten Antennensysteme zu gewährleisten, ist eine echte Herausforderung.

Manche Lok transportiert 24 Antennensysteme durch Europa. Nicht als Fracht, sondern als notwendige Sicherheitsausrüstung; für jedes Land eine andere Antenne. Wert dieser Sammlung: mehr als eine Viertelmillion Euro – pro Lok. Wer an dieser Ausrüstung spart, bezahlt mit Zeit. Denn eine Lok, die das Sicherheitssystem eines Landes nicht nutzen kann, wird an der Grenze ausgetauscht. So zerrinnt der Zeitvorsprung, den moderne Hochgeschwindigkeitszüge herausfahren, oft auf dem Rangiergleis. Die Lösung liegt nahe: Ein gemeinsames Sicherheitssystem muss her. Beim DLR in Braunschweig wird es getestet.

Gute Idee – zu viele Hindernisse

Bereits vor fast 20 Jahren beschloss die EU, ein gemeinsames System einzuführen. Das Stichwort heißt „Transeuropäische Netze“. Doch die Hindernisse auf dem Weg zum vereinheitlichten „European Train Control System“ ETCS waren zunächst unüberwindbar. Angefangen damit, dass jede Nation ihre eigene Sicherheitsphilosophie hat: Als Folge schlimmer Unfälle sind oft sehr restriktive Bestimmungen entstanden. Wollte man sie alle zugleich befolgen, würde der Bahnverkehr schlicht lahm gelegt. Ein Interessenkonflikt ergibt sich in Deutschland, denn hier gilt die Regel: Was an die Schienen geschraubt wird, ist Infrastruktur und wird vom Staat subventioniert, was im Zug fährt, wird nicht subventioniert. Da ETCS vorwiegend zugseitige Ausrüstung erfordert, bedeutet das europäische System hohe Kosten



Foto: Harald Almonat



Verkehr und Weltraum



Räder und Drehgestellrahmen der Lokomotive Class 66 kommen von General Motors. Im Vordergrund als silberne Box zu erkennen: eine Indusi-Antenne von Siemens für den Einsatz in Deutschland, Österreich und Slowenien. Im Hintergrund: eine Antenne von ABB für ein anderes System. Bis zu 24 solcher Antennen müssen unter einer Lok montiert sein, wenn sie überall in Europa mit den schienenseitigen Systemen kompatibel sein soll.



Foto: dpa

für die Bahnen, die ETCS dementsprechend teilweise ablehnend gegenüberstehen. Und die EU subventioniert zwar die europäische Lösung, jedoch nur, wenn die deutsche Regierung nicht bereits investiert. All das hat dazu beigetragen, dass ETCS lange Zeit nicht recht aus den Startlöchern kam.

Regeln für die Sicherheit

Doch die Konkurrenz der Billigflieger wächst, der Druck aus Brüssel auch. Die ERTMS Users Group (European Rail Transport Management System), in der sich die sechs wichtigsten Bahnen zusammengeschlossen haben, arbeitet seit etwa drei Jahren gemeinsam mit dem DLR daran, aus ETCS endlich eine europäische Erfolgsgeschichte zu machen. Die Braunschweiger Verkehrsforscher haben dabei drei zentrale Aufgaben übernommen: Sie definieren verbindliche Tests für das ETCS und die notwendigen technischen Komponenten, sie entwickeln die Betriebsregeln für den Umgang der Lokführer mit ETCS, und sie haben ein Labor eingerichtet, in dem alle Tests in simulierten Zugfahrten durchgespielt werden. „Das RailSiTe ist das einzige anerkannte und zertifizierte Labor für ETCS“, erläutert Institutsleiter Professor Dr. Karsten Lemmer. „Ein ähnliches Labor gibt es nur in Madrid.“

Begriffe wie „Tests“ und „Betriebsregeln“ klingen abstrakt, behandeln aber durchaus Handfestes. Beispiel Anfahren: Damit die Lok, wenn der

Lokführer sie zu Beginn einer Tour anschaltet, überhaupt weiß, wo sie ist, muss sie über eine so genannte Balise gefahren werden, die an den Schienen angebracht ist. Dabei sendet das ETCS an das streckenseitige ETCS ein „hier bin ich“. Wenn noch eine zweite Balise überfahren wird, ist auch die Fahrtrichtung klar. Ab jetzt wissen das ETCS-Gerät des Zuges und die ETCS-Zentrale des entsprechenden Bereichs immer, wo der Zug unterwegs ist und verfolgen seine Fahrt.

Was heißt Rangieren?

Ob das ETCS diese kurze Blindfahrt für die Anmeldeprozedur tatsächlich erlaubt und nicht etwa wegen der fehlenden Positionsinformation jegliche Fahrt einfach verweigert, das wird im Braunschweiger Labor getestet. Und das ist nur eine von mehr als 1.000 Situationen, die das ETCS immer und überall absolut sicher meistern muss, bevor es als europäischer Standard die nationalen Systeme ersetzen kann. Genauso wichtig sind die

RailSiTe – Simulieren ohne Grenzen

Ein vollklimatisierter Raum, zwölf Computer, 20 Monitore. Und ein Lokführerpult vor einer Projektions-Wand. Auf dieser Wand zieht, sobald die Simulation startet, eine Landschaft vorbei. Außer einem echten Lokführer ist in dieser Simulation nur noch das ETCS – das European Train Control System – wirklich da, in einem Schaltschrank. Wenn man möchte, kann man im Simulations- und Testlabor in Braunschweig aber sogar das simulieren, genau wie die anderen Lokführer, die Stellwerke, die Technik des Zugs und die Landschaft – kurz: eine komplette Fahrt in einem Bahnverkehrsnetz.

Die 15 Forscherinnen und Forscher des DLR-Themenfelds „Bahnsysteme“ haben an der Konstruktion von 1.300 Fällen mitgearbeitet, in denen das ETCS seine Praxistauglichkeit beweisen muss. Diese Fälle haben sie in 62 simulierten Testfahrten gebündelt. In einem Fall etwa hat das ETCS die Balise 11 passiert und erwartet nun die Überfahrt über Balise 12. Stattdessen kommt aber Balise 13. Bevor ein Lokführer lange rätselt, was diese unklare Situation für die Sicherheit des Bahnverkehrs bedeuten könnte, bremst das ETCS den Zug. Das muss klappen – auch dann, wenn die ETCS-Komponenten auf den Schienen von einem anderen Hersteller stammen als die ETCS-Komponenten im Zug.

Beschäftigungslosigkeit brauchen die Braunschweiger Bahnforscher selbst dann nicht zu fürchten, wenn ETCS ausgeliefert sein wird. Schließlich werden Komponenten weiterentwickelt und müssen auf Konformität geprüft werden. Und außerdem gibt es immer noch die ganz speziellen Sonderfälle: In Deutschland beispielsweise dürfen Züge auch geschoben werden. Es kann also durchaus vorkommen, dass eine Lok einen Zug einen Hang hochzieht und eine zweite ihn von hinten nachschiebt. Und gut möglich, dass das ETCS-System der hinteren Lok von Siemens ist, das der vorderen von Alstom. Vorstellbar auch, dass der untere Hangabschnitt mit Alcatel-ETCS-Systemen ausgestattet ist und der obere wieder mit einem System von Siemens. Frage: Kommt der Zug oben an? Wenn nicht, müssen die Bahnexperten des DLR den Fehler finden und korrigieren.

Dank RailSiTe werden solche Fragen rechtzeitig in einem vollklimatisierten Raum entschieden. Und nicht in freier Wildbahn mit einigen hundert Passagieren. ■



Foto: DLR

Im Fahrsimulator der DLR muss das ETCS in 1.300 verschiedenen Situationen korrekt reagieren.

Betriebsregeln. Wenn der Lokführer anfangs auf Sicht fahren muss, betreffen diese Regeln Fragen wie: Was ist Rangieren? Wo und wie schnell darf rangiert werden? Was bedeutet Fahren auf eigene Verantwortung? Das Ziel ist, am Ende ein Handbuch vorzulegen, das europaweit einheitlich und verbindlich regelt, was erlaubt ist.

Versuche laufen inzwischen seit einem Jahr, die ersten Referenztests sind gestartet. ETCS-Systeme sind als Mitfahrer auch schon teilweise unterwegs in Frankreich, Italien, Spanien, Österreich, Ungarn und Deutschland. Nationale Sicherungssysteme durch ETCS zu ersetzen, wird eine

Menge kosten – aber auch eine Menge sparen: die Wartezeit bei Grenzüberfahrten und unter den Loks Antennen im Wert von Einfamilienhäusern. Der Gewinn: freie Fahrt durch Europa.

Dipl.-Phys., Dipl.-Journ. Julia Förster
Wissenschaftsjournalistin, Hannover



Auf Gift gebaut

Ein internationales Team sucht Alternativen für das Management riesiger Sanierungsgebiete.

Ein Beitrag aus dem UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle



Was tun mit Sanierungsfällen in einer Größenordnung von 100 Quadratkilometern? Mit Industriebrachen, vergifteten Böden und belastetem Grundwasser? 13 Partner aus vier Ländern untersuchen in dem EU-geförderten Forschungsprojekt WELCOME solche „Megasites“ und entwickeln mögliche Lösungsansätze für eine Gesundung. Drei europäische Städte haben sie dabei exemplarisch im Blick.



Foto: TNO



Rotterdam ist mit über einer halben Million Einwohnern die zweitgrößte Stadt der Niederlande, eine bedeutende Wissenschafts- und Kulturmetropole. Die wirtschaftliche Entwicklung ist geprägt durch die Lage an der Mündung von Maas und Rhein in die Nordsee und die damit verbundene Entwicklung des Hafens. Heute hat Rotterdam den größten Seehafen der Welt und mit „Pernis“ eine der weltweit größten Erdölraffinerien. 5,6 Millionen Kubikmeter Rohöl werden dort zu Benzin, Industriegasen, Kunststoffen, Ölen und Grundchemikalien verarbeitet. Massive Umweltprobleme gibt es beispielsweise durch Verschmutzungen mit Mineralölen und chlorierten Lösungsmitteln.

UFZ

Bitterfeld, eine kleine Kreisstadt mit 16.000 Einwohnern mitten in Sachsen-Anhalt, ist vornehmlich bekannt als Industriestandort. Seit 1895 gibt es hier chemische Industrie, konzentriert auf chemische Grundstoffe wie Säuren und Salze sowie auf Produkte wie Dünge- und Pflanzenschutzmittel, Farbstoffe, Kunststoffe und Kunststofffasern. Der Chemieverbund, der seit der Wende wieder aufgebaut wird, steht für umweltfreundliche Produktion. Stadt und Region kämpfen jedoch sehr mit den Hinterlassenschaften der letzten 100 Jahre. Vor allem geht es um mehrere hundert Millionen Kubikmeter Grundwasser, die mit einem Schadstoffcocktail aus verschiedensten chlororganischen Verbindungen kontaminiert sind.



Foto: UFZ

Stad und Region kämpfen jedoch sehr mit den Hinterlassenschaften der letzten 100 Jahre. Vor allem geht es um mehrere hundert Millionen Kubikmeter Grundwasser, die mit einem Schadstoffcocktail aus verschiedensten chlororganischen Verbindungen kontaminiert sind.

Foto: Caro / A. Bastian



Katowice ist ein wichtiges Wissenschafts- und Wirtschaftszentrum Polens mit Eisen-, Kupfer- und Zinkverarbeitung, Maschinenbau sowie chemischer und elektrotechnischer Industrie. In der südpolnischen Großstadt leben fast 350.000 Einwohner. Ihre Geschichte von Industrie und Bergbau ist lang – bereits im 13. Jahrhundert begann man, Silber und Blei abzubauen. Als problematisch erweisen sich heute insbesondere die extremen Belastungen von Boden und Grundwasser mit hohen Konzentrationen von Schwermetallen.



Rotterdam – Bitterfeld – Katowice. Drei Städte mitten in Europa, jeweils 600 Kilometer voneinander entfernt. Sie unterscheiden sich nicht nur durch Sprache, Staatszugehörigkeit, Kultur und Religion, sondern auch durch ihre wirtschaftliche Entwicklung.

In einem Punkt aber stimmt die sonst so unterschiedliche Situation in allen drei Städten überein: Überall hat die Industrie die Standorte nachhaltig belastet. Und das weckte das wissenschaftliche Interesse eines internationalen Teams von Forschern und Praktikern. Im Mittelpunkt ihrer Arbeit nämlich steht die Auseinandersetzung mit den

WELCOME

- 13 Projektpartner (Forschungsinstitute, Behörden und mittelständische Firmen) aus vier Ländern
- Projektlaufzeit 2002 bis 2004
- Fördersumme durch die EU: 2,8 Millionen Euro



Foto: Wolfgang Filser



Foto: ddp / Peter Endlig

Links: Noch 1989 leitete eine chemische Fabrik bei Bitterfeld ihre Abwässer ungeklärt in den Silbersee ein. Rechts: Zur EXPO 2000 wurde am Rande der 16.000-Einwohner-Stadt der ehemalige Tagebau Goitsche zu einer „Kulturlandschaft des 21. Jahrhunderts“ umgeformt. Das Projekt gilt als Paradebeispiel für die Umwandlung einer Industriebrache in eine Kulturlandschaft.

industriellen Hinterlassenschaften aus vergangenen Jahrzehnten und Jahrhunderten. Der Rotterdamer Hafen sowie die Industriestandorte Bitterfeld und Katowice dienen dem Team dabei als Modellstandorte, um Methodik und Vorgehensweise zu erproben und zu optimieren.

Schadensfall in XXL

Wachstum oder Stagnation, Ansiedlung neuer Wirtschaftszweige oder industrieller Rückbau, Bevölkerungszuwachs oder Arbeitslosigkeit und Abwanderung der Menschen – das Schicksal dieser Städte und Regionen hängt davon ab, ob und wie das schwierige Erbe bewältigt wird, das die Industrie zurückgelassen hat. Nahe liegende Lösungsansätze zur Sanierung und letztlich zur Risikominimierung für Mensch und Ökosystem, wie sie bei kleineren und überschaubareren Scha-

densfällen anwendbar sind, scheiden bei diesen Größenordnungen aus. Denn niemand kann es verantworten, ganze Regionen aufzugeben, deren Nutzung extrem zu reduzieren oder gar viele Menschen umzusiedeln. Niemand ist technisch dazu in der Lage, herkömmliche Sanierungsverfahren auf den Hundertquadratkilometer-Maßstab zu übertragen. Und vor allem: Niemand hat die dafür notwendigen mehrstelligen Millionenbeträge. Dringend gefragt sind also alternative Konzepte.

Seit Januar 2002 finanziert die Europäische Union deshalb das Forschungsprojekt WELCOME. Diese Kurzformel steht für Water, Environment and Landscape Management at Contaminated Megasites. Das Konsortium aus 13 Projektpartnern verfolgt das ehrgeizige Ziel, ein so genanntes

Die Bitterfelder Auenlandschaft, ein gefährdetes Refugium für die Tier- und Pflanzenwelt, aber auch wichtiges Erholungsgebiet für die Bevölkerung. Wie schützt man sie vor dem stetig näher kommenden, stark verschmutzten Grundwasser?



UFZ



Fotos: UFZ

Biofilme, im Bild als weißliche Beläge auf grünen Algen zu sehen, sind komplexe Gemeinschaften von Mikroorganismen. Sie können Schadstoffe abbauen. Doch welche Lebensbedingungen sind optimal, damit sie maximale Leistungen vollbringen? Wie können sie unterstützt werden? Welche Zeit benötigen sie?

„Integriertes Managementsystem“ für Megasites zu entwickeln. Das ist eine auf Software gestützte Entscheidungshilfe, mit der sich die Verantwortlichen vor Ort leichter für eine individuell angemessene Sanierungsstrategie entscheiden können.

Die Natur beobachten – und lernen

Besonderes Augenmerk legen die Experten auf Verfahren wie „Monitored Natural Attenuation“ und „Enhanced Natural Attenuation“. Die Idee, die sich hinter diesen Begriffen verbirgt, ist einfach: beobachten, was die Natur leistet, und sie darin gezielt unterstützen. Die Natur etwa kann Schadstoffe in Boden oder Grund- und Oberflächenwasser zurückhalten oder abbauen, durch biologische Verwertungsprozesse, An- und Einlagerungen von Schadstoffen an Bodenbestandteile, aber auch durch Verdünnungs- und Verflüchtigungseffekte.

Obwohl bei einer wachsenden Zahl von kleineren Schadensfällen diese Methode zur Sanierung genutzt wird, überwiegen vor allem in Europa Skepsis und Unsicherheit bei Wissenschaftlern, Behörden und potenziellen Anwendern. Die Beweislage ist einfach noch zu dünn, um sich begründet für diese Methode zu entscheiden. Konkrete Handlungsanweisungen und Hilfestellungen für Praktiker fehlen vielfach. Und der Nachweis, dass die Übertragung auf große und komplexe Standorte gelingen kann, ist bislang nicht erbracht. Genau hier setzt WELCOME an. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler untersuchen an den drei Modellstandorten die Natural-Attenuation-Prozesse und ermitteln ihr Potenzial. So können sie Aussagen über die generelle Anwendbarkeit, über potenzielle Einschränkungen oder die mögliche Kombination mit anderen Sanierungsmethoden treffen.

Megasites:

Keine Einzelfälle in Europa

Was tun die Forscher konkret, um das Integrierte Managementsystem für Megasites aufzubauen? Im ersten Schritt erheben sie die naturwissenschaftlichen Fakten. Die Faktenlage kombinieren sie mit einer Risikobewertung der verschiedenen Sanierungsoptionen. Dabei berücksichtigen sie den Handlungsrahmen, den die nationalen Gesetze und die EU-Wasserrahmenrichtlinie setzen. Und fügen im letzten Schritt eine vergleichende Kostenanalyse hinzu.

Gebraucht wird ein solches Managementsystem dringend, denn Rotterdam, Bitterfeld und Katowice sind keine Einzelfälle. Keiner kann genau sagen, wie viele Megasites man in der Europäischen Union zählen muss, geschweige denn in den osteuropäischen Staaten, die noch nicht dazugehören. Die Schätzungen bewegen sich zwischen 10.000 und 100.000 unterschiedlich großen Arealen.

Susanne Hufe

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle

Die Stadt – ein Auslaufmodell?

Leipziger Wissenschaftler untersuchen Stadt-Schicksale.

Ein Beitrag aus dem UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle

Europas Städte entwickeln sich paradox. Einerseits quellen sie ins Umland und begraben Natur unter Shopping-Centern, Gewerbegebieten und Eigenheimsiedlungen. Andererseits sinkt die Zahl der Menschen in den Städten, die Innenstädte verkümmern. Ist diese Entwicklung umzukehren, zu stoppen oder wenigstens zu verlangsamen? Wie sieht die Zukunft der Städte aus? Und wie kann man die Entwicklung gestalten? Am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle kooperieren Soziologen mit Naturwissenschaftlern, um Antworten auf diese Fragen zu finden.



In Weißwasser, der größten Kreisstadt im Niederschlesischen Oberlausitzkreis im Osten des Freistaates Sachsen, sollen bis zum Jahr 2010 rund 5.000 Wohnungen abgerissen werden. Das ist ein Drittel des gesamten Wohnungsbestandes.

Foto: UFZ



Fast ein Jahrtausend lang bedeutete Stadt Wachstum. Trotz aller Katastrophen waren wachsende Einwohnerschaft, wachsende Bausubstanz, wachsendes kulturelles Potenzial scheinbar ein Naturgesetz der Stadtentwicklung. Doch in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts änderte sich das. Im Westen Deutschlands wurden die Städte in den sechziger und siebziger Jahren durch den Drang ins Umland zur Ader gelassen. In den Neunzigern passierte in den neuen Bundesländern Ähnliches, dort allerdings im Zeitraffer und besonders dramatisch: weil die Geburtenzahl abstürzte, weil viele Menschen infolge der Deindustrialisierung anderswo Arbeit suchen mussten und weil die Politik den Eigenheimbau in den Randbezirken förderte.

Fortsetzung auf Seite 33

Nachgefragt



Mit Sozial- und Naturwissenschaften
für die Zukunft unserer Städte.



Foto: privat

UFZ

Frau Kabisch, Sie analysieren die ungesunde Entwicklung von Städten, um daraus Vorschläge abzuleiten, wie das Schlimmste zu verhindern ist. Eine Aufgabe, die man kaum eingrenzen kann. Wo fangen Sie an?

Natürlich sitzen wir nicht nur am Schreibtisch, aber da fängt man tatsächlich an. Wir werten unter anderem vorhandenes empirisches Material aus – zum Beispiel aus Mikrozensus-Befragungen zur Bevölkerungsentwicklung der Regionen. Man erkennt da sehr schnell: In den letzten zehn Jahren ist Dramatisches passiert.

Zum Beispiel?

Der Wohnungsleerstand ist auf 1,3 Millionen Wohnungen allein in Ostdeutschland angestiegen. Trotzdem wird weiter gebaut. Ähnliche Probleme kündigen sich auch in den alten Bundesländern an. Wenn Sie sehen, dass Kernstädte weiter verfallen und unattraktiv werden, ist klar, dass immer mehr Menschen wegziehen werden. Wenn Sie außerdem wissen, dass die Adern einer Stadt – Wasser, Abwasser, Fernwärme – für eine bestimmte Anzahl Menschen ausgelegt sind und Wasserleitungen wegen zu geringem Durchfluss schlicht verkeimen, dann wissen Sie auch, dass Sie dringend Konzepte für die Aufwertung innerstädtischen Wohnens brauchen.

Und wie entstehen solche Konzepte?

Wir führen in den betreffenden Städten und Bezirken neben Experteninterviews vor allem Bevölkerungsbefragungen durch. Vor den Erhebungen gehen wir an die Öffentlichkeit und erklären, woran wir arbeiten und warum die Mitwirkung so wichtig ist. Erst dann verteilen wir bis zu 1.000 Fragebögen und holen sie auch wieder ab. So bekommen wir Rücklaufquoten von traumhaften 80 bis 90 Prozent. Bei den Befragungen geht es unter anderem darum zu erfahren, warum Menschen bleiben oder eben wegziehen. Auf dieser Basis entwickeln wir gezielt unsere Vorschläge.

Sie arbeiten auch mit Naturwissenschaftlern zusammen?

Ja, zwei Beispiele: Mit Kartografen und Geografen entwickeln wir Karten, die Flächennutzungsinformationen mit sozialwissenschaftlichen Entwicklungen verbinden. Mit Epidemiologen und Expositionsforschern untersuchen wir

Krankheitsentwicklungen im urbanen Raum. Es geht aktuell etwa um die Tatsache, dass Allergien gerade in so genannten besseren Gegenden zunehmen. Auch innerhalb der Weltgesundheitsorganisation wird diese Frage zurzeit diskutiert: Wie verteilen sich soziale Faktoren im Raum – und wie hängt das mit dem Auftreten von umweltassoziierten Krankheiten zusammen?

Dann sind Ihre Ergebnisse auch über Deutschland hinaus relevant?

Auf jeden Fall! Wir haben zum Beispiel das Forschungsdesign der aktuellen Reurbanisierungs-Studie für Leipzig generiert, es wird parallel aber auch in den Städten Leon/Spanien, Bologna/Italien und Brunn/Tschechien angewendet; dort gibt es ähnliche Probleme. Neben den vier europäischen Städten sind im Wissenschaftler-Konsortium mit Polen, Slowenien, Großbritannien und der Slowakei noch vier weitere Nationen vertreten. Die Studien werden gemeinsam mit Instituten aus den jeweiligen Ländern durchgeführt, und die Stadtverwaltungen spielen auch mit. Wir sind darauf sehr stolz – und sehr gespannt auf die Ergebnisse.

Die Fragen stellte Julia Förster,
Wissenschaftsjournalistin, Hannover.



Dr. Sigrun Kabisch, Leiterin des Departments Stadt- und Umweltsoziologie am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle.

Überall ufern die Städte ins Umland aus: Das Luftbild zeigt die Alte Hansestadt Lemgo an der Lippe.

Im Jahre 2002 gingen in Deutschland täglich 130 Hektar Boden durch Bebauung verloren, derzeit sind es etwa 100 Hektar. Strategisches Ziel der Bundesregierung ist es, diesen Flächenverlust bis zum Jahr 2020 auf maximal 30 Hektar pro Tag zu reduzieren.



Foto: ARGOS-Luftbild / Detlef Kuplemagel

Die Menschen gehen, die Städte wachsen

Immer weniger Menschen leben also in den Städten. Aber trotzdem ufern Städte immer weiter aus, umgeben sich mit immer mehr bebauten Arealen, überfluten immer mehr Fläche.

Dieser Prozess hat dramatische Folgen für die Ökologie, die sozialen Strukturen und die Infrastruktur der Städte. Grund für die Soziologen des Departments Stadt- und Umweltsoziologie am Umweltforschungszentrum in Leipzig, Stadtentwicklung und ihre Konsequenzen genau unter die Lupe zu nehmen. Neuartig an ihrer Herangehensweise ist, dass sie sich nicht auf die sozialwissenschaftliche Dimension beschränken, sondern die Arbeitsergebnisse von Naturwissenschaftlern am Umweltforschungszentrum einbeziehen. Aktuell arbeiten die Leipziger Wissenschaftler an zwei Studien: „Reurbanisierung unter den Bedingungen des demografischen Wandels“ und „Urban Sprawl: Europäische Muster, Umweltbelastung

und nachhaltige Entwicklung“. Praxispartner der Wissenschaftler sitzen in Rathäusern, Regierungspräsidien, Ministerien und Wohnungsunternehmen.

Ein zentrales Thema für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind die ökologischen Konsequenzen der Veränderung in den Städten: Denn jeder Neubau auf der grünen Wiese schluckt ein Stück der unvermehrten Bodenressourcen, zerstört Ökosysteme und beeinträchtigt durch Bodenversiegelung den natürlichen Wasserabfluss. Gravierend sind zugleich die Veränderungen in den sozialen Strukturen: Die jungen und dynamischen Menschen verlassen die Städte, um dorthin zu gehen, wo es mehr Arbeitsplätze gibt. Die Wohlhabenderen ziehen weg aus den Innenstädten, weil sie sich ein Haus im Grünen leisten können. Und nicht zuletzt leidet das Funktionieren der Stadt. Die vorgehaltene Infrastruktur wird von immer weniger Menschen genutzt – und finanziert. Das stellt Schulen und Klärwerke ebenso in Frage wie Nahverkehrsnetze. Kurz: Was das Wesen einer Stadt ausmacht, muss im 21. Jahrhundert neu bestimmt werden.

Ob Leipzig oder Liverpool: Überall die gleichen Fragen

Beide Studien, an denen die Forscherinnen und Forscher derzeit arbeiten, gehen weit hinaus über die Leipziger Situation, auch über den nahe liegenden deutschen Ost-West-Vergleich. Von Beginn an kooperierten die Wissenschaftler des UFZ im Rahmen von EU-geförderten Programmen mit Kollegen anderer europäischer Regionen und stellten Ähnlichkeiten fest.

Die Probleme in Liverpool beispielsweise sind von denen in Leipzig nicht weit entfernt. Professor Dr. Dieter Rink, einer der beiden Projektleiter, nennt die Parallelen: „In beiden Städten ist die frühere Industrie fast völlig verschwunden, in beiden Städten sind deshalb überdurchschnittlich viele junge und qualifizierte Menschen abgewandert.“



Foto: Sigrun Kabisch

In Liverpool ist es in den vergangenen zwei Jahrzehnten allerdings gelungen, die Bebauung neuer Flächen fast vollständig zu stoppen. In Leipzig dagegen stand man dem gleichzeitigen Brachfallen riesiger innerstädtischer Gewerbegebiete und dem Abwandern der Bevölkerung ins Umland in den 1990er Jahren hilflos gegenüber. Mittlerweile gibt es erste Ansätze zur Reurbanisierung. So werden etwa jetzt Einfamilienhäuser auf innerstädtischen Brachen gebaut.

Schnell und günstig viel Wohnraum an den Stadträndern schaffen – mit dieser Vorgabe entstanden in den 1970er Jahren die Plattenbauten im Leipziger Stadtteil Grünau.

UFZ

Stadt der Zukunft? Zukunft der Stadt?

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Leipzig beginnen bei der Problemanalyse. Sie fragen aber weiter: Wie sieht die Stadt der Zukunft aus? Fußgänger- oder autogerecht? Von sozialer Integration geprägt oder von Grenzziehungen? Ist sie Senioren-Park oder Lebensraum für einen Generationen-Mix? Wie sich der bevorstehende demografische Wandel auf Städte und Siedlungen auswirken wird, ist noch längst nicht ausreichend erforscht. Dabei ist das Problem nicht allein ein deutsches, wie Projektleiterin Dr. Sigrun Kabisch betont: „In allen europäischen Ländern wird sich die Bevölkerungsstruktur ändern; die Jugend wird zur Randgruppe, die Senioren bestimmen das Bild. Wie muss diese Perspektive heutige Entscheidungen beeinflussen?“

Prognosen helfen entscheiden

„Unsere Aufgabe“, erklärt Dieter Rink, „besteht darin, den aktuellen Zustand und seine Ursachen zu analysieren, Prognosen über die künftige Entwicklung zu machen und die Chancen und Grenzen einer möglichen

Reurbanisierung abzuschätzen.“ Diese Prognosen sollen Politikern bei wichtigen Entscheidungen helfen. Und bilden im Idealfall ein Gegengewicht zu kurzfristigen Strategien, die eine Stadt beispielsweise entwickelt, um auf die Schnelle Investoren anzuwerben.

Sigrun Kabisch kennt allerdings die Tabus, die sie mit ihrer Forschung berührt: „Kann sich die Gesellschaft den Luxus leisten, jede derzeit existierende Stadt in ihrer jetzigen Gestalt zu erhalten, obwohl sie immer weniger Einwohner zählt? Wie gehen wir mit so genannten temporären Vierteln um? Das sind Wohngebiete, in die heute noch investiert werden muss, deren zeitliche Existenz aber aufgrund rapide sinkender Nachfrage begrenzt ist. Wie werden Bürger, einmal den Extremfall angenommen, das Ende ihrer Heimatstadt erleben?“

Wenn uns die Folgen der Schrumpfung in absehbarer Zukunft nicht überrollen sollen, da sind sich beide Wissenschaftler einig, dann müssen jetzt Konzepte zur Reurbanisierung und zum Stadtbau entwickelt und entsprechende Entscheidungen getroffen werden. Wissenschaftliche Projekte wie die am UFZ liefern die Grundlagen.



Foto: Sigrun Kabisch

In den gewachsenen Vierteln der Kernstädte verfallen leer stehende Altbauten, wie hier in Leipzig.

Marlis Heinz

Wissenschaftsjournalistin, Leipzig



Was wäre wenn ... ?

Szenarien für eine bessere Katastrophenvorsorge.

Ein Beitrag aus dem GeoForschungsZentrum Potsdam

Das Hochwasser im August 2002 werden die meisten Deutschen so schnell nicht vergessen. 20 Menschen kamen um; die Katastrophe verursachte Schäden in Höhe von rund zehn Milliarden Euro. Um sich besser für Naturkatastrophen wie diese zu rüsten, haben das GeoForschungsZentrum Potsdam und die Universität Karlsruhe das Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) aufgebaut. Forscherinnen und Forscher entwickeln hier Methoden für wissenschaftlich fundierte Schadensszenarien. Sie sollen zu einem intelligenteren Umgang mit Naturgefahren beitragen.

Naturereignisse werden dort zu Katastrophen, wo sich Gefahrenräume mit den Lebens- und Wirtschaftsräumen der Menschen überschneiden. Wer Naturkatastrophen analysieren will, muss deshalb



Karte: IWK

Würde das Neckar-Hochwasser von 1824 heute auftreten, so wären große Flächen in der Stadt Heilbronn überflutet.

Beim Hochwasser 2002 entstanden etwa 40 Prozent der Verluste durch Schäden an der kommunalen und staatlichen Infrastruktur. Mindestens 180 Brücken, 740 Kilometer Straßen, 94 Eisenbahnbrücken und 400 Kilometer Gleise sowie Flussverbauungen und Kanäle wurden zerstört oder beschädigt.



Foto: dpa

Mega-Cities und Naturgefahren: Fallbeispiel Istanbul



Im Jahr 2025 werden etwa 60 Prozent der Weltbevölkerung in Städten leben. Ein immer größerer Anteil von Menschen lebt in so genannten Mega-Cities mit mehr als 10 Millionen Einwohnern. In Entwicklungsländern verdoppelt sich die Einwohnerzahl solcher Megastädte im Schnitt alle 15 Jahre, die Anzahl illegaler Behausungen sogar alle sieben Jahre. Regionalplanung und Infrastruktur können mit dieser Entwicklung in den meisten Megastädten nicht Schritt halten. Daher werden Megastädte immer verletzbarer gegenüber Naturgefahren wie Erdbeben, Hochwasser oder Erdrutsche. Das Katastrophenpotenzial solcher Mega-Cities wächst also rapide – mit möglicherweise schwerwiegenden Folgen: nicht nur für die betroffene Stadt, sondern auch für das Land und in Extremfällen für die Weltwirtschaft.

Das ist der Hintergrund eines Projektes, bei dem das Helmholtz-Forschungsnetzwerk „Integriertes Erdbeobachtungssystem“ und CEDIM zusammenarbeiten. Gemeinsam entwickeln sie Methoden und Werkzeuge für ein verbessertes Katastrophenmanagement der Stadt Istanbul. Die größte Stadt der Türkei ist aus zwei Gründen exemplarisch: einerseits wegen ihrer explosionsartigen Bevölkerungszunahme von einer halben Million Menschen pro Jahr, andererseits wegen ihrer außerordentlichen Gefährdung durch Erdbeben.

Zudem ändert sich die Risikosituation ständig, was Schutzkonzepte berücksichtigen müssen. Deshalb setzen die Forscherinnen und Forscher Fernerkundungsmethoden ein, die beobachten und erfassen, wie sich verletzbarere Siedlungsflächen oder bedeutsame Infrastrukturen verändern. Schnelle Simulationsmodelle verarbeiten die so gewonnenen Informationen und ermöglichen den Wissenschaftlern, Schadensszenarien zu entwickeln. Die Stadt Istanbul hat das außerordentlich hohe Risiko erkannt und arbeitet mit CEDIM zusammen. Forschungsergebnisse fließen also in die Entscheidungsprozesse der Stadtplaner und des Katastrophenmanagements ein. ■

gleichzeitig die natürlichen und anthropogenen Prozesse betrachten. Und deren Wechselwirkungen, die immer komplizierter werden, weil sich die Gesellschaft und ihr Lebensraum verändern. Katastrophenmanagement erfordert deshalb Disziplinen übergreifende Lösungsansätze.

Und genau das ist die Philosophie von CEDIM: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler arbeiten interdisziplinär an Methoden, um Naturrisiken genauer zu quantifizieren, und an Strategien für ein verbessertes Katastrophenmanagement. Von den Geowissenschaften und der Meteorologie über die Ingenieurwissenschaften, die Regionalplanung und die Informatik bis hin zu den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften sind viele Disziplinen beteiligt. Und enge Verbindungen zu Entscheidungsträgern der Katastrophenvorsorge und des Katastrophenmanagements garantieren, dass neue Erkenntnisse auch in der Praxis ankommen.

Besser vorsorgen für den Ernstfall

Zurück zum Hochwasser im August 2002. Es hat gezeigt, dass wir mit Situationen rechnen müssen, denen bestehende Schutzmaßnahmen nicht gewachsen sind. Katastrophenvorsorge bedeutet: sich auf solche Ausnahmesituationen vorbereiten. Die CEDIM-Hochwassergruppe konzentriert sich deshalb auf außergewöhnliche, auch historische Überschwemmungen. Die Forscher simulieren solche Extremhochwasser im Computermodell und berechnen die Auswirkungen, die sie hätten, würden sie uns heute treffen.

Zudem konzentrieren sich die CEDIM-Wissenschaftler darauf, das operative Katastrophenmanagement zu unterstützen. Die Wissenschaftler integrieren meteorologische, hydrologische und hydraulische Analyseverfahren und Modelle, um beim Anlaufen einer Hochwasserkatastrophe die zu erwartenden Gefahren vorzuberechnen.

Droht ein Deichbruch, können sie beispielsweise abschätzen, wie sich im Ernstfall die Hochwasserwelle im Deichhinterland ausbreitet. Und zugleich zeigen, welche Folgen das auf die Hochwasserwelle hat, die sich unterhalb der erwarteten Deichbruchstelle ausbildet. Damit eröffnen sich für die Einsatzleiter im Katastrophenmanagement völlig neue Möglichkeiten. Sie können die Auswirkungen verschiedener Handlungen mit Hilfe der Wissenschaftler im Voraus durchspielen und sich für die Maßnahmen mit der größten Wirksamkeit entscheiden.

Was droht durch Winterstürme?

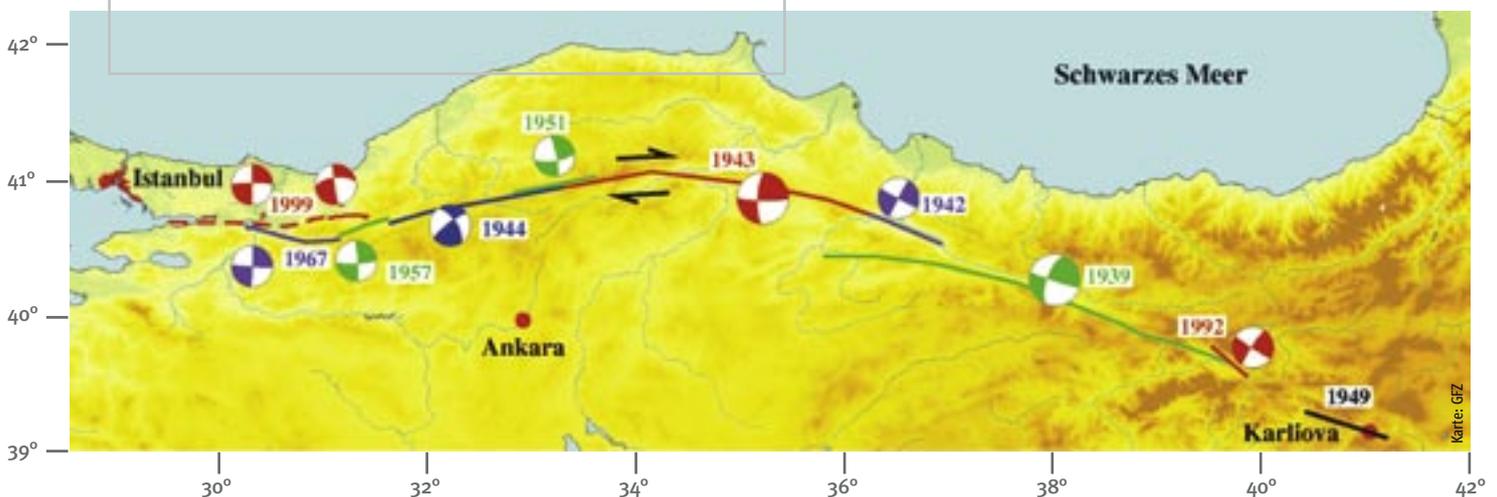
Ein anderes Beispiel für die Themen von CEDIM sind Winterstürme. Sie verursachen – verglichen mit anderen Naturgefahren – in Deutschland die größten Schäden, da sie vergleichsweise häufig auftreten. Ziel der CEDIM-Forscher ist es, eine Karte zu entwickeln, die das Schadensrisiko durch Winterstürme quantifiziert. Dazu analysieren sie historische Stürme, werten Windmessungen statistisch aus und simulieren die Windfelder der 30 stärksten Winterstürme seit 1970 in hoher räumlicher Auflösung. Aus den Modellergebnissen können die Sturmforscher auf die maximalen Windgeschwindigkeiten seltener Sturmereignisse schließen. Im letzten Schritt überlagern sie ihre Ergebnisse zur Sturmgefährdung dann mit Informa-

tionen über Landnutzung und empirischen Kenntnissen zur Schadensanfälligkeit von Gebäuden. Auf diese Weise können sie mit hoher räumlicher Auflösung prognostizieren, welche Sturmschäden im Fall des Falles drohen.

Wie hoch ist das Erdbebenrisiko?

Beim Thema Erdbeben betritt CEDIM Neuland. Zwar muss man in einigen Regionen Deutschlands mit Erdbeben rechnen, die verheerende Schäden an Gebäuden und Infrastruktur verursachen können. Es fehlen aber Untersuchungen: zum Schadenspotenzial durch Erdbeben und zur Anfälligkeit von Krankenhäusern oder Verkehrsknotenpunkten. CEDIM hat mit einer großflächigen Risikokartierung Deutschlands begonnen – ein Novum für Deutschland. Dabei berechnen die Forscherinnen und Forscher nicht nur, mit welcher Wahrscheinlichkeit mit starken Erdbebenerstschütterungen zu rechnen ist. Sie prognostizieren auch die zu erwartenden Schäden. Die von CEDIM entwickelte Erdbebenrisikokarte erlaubt es erstmals, für jede Gemeinde den Schaden an Wohngebäuden abzulesen, der mit einer

Die Nordanatolische Verwerfung ist durch eine Serie von Erdbeben im 20. Jahrhundert fast komplett gebrochen – mit Ausnahme eines Segments unmittelbar südlich von Istanbul. Das Izmit-Beben von 1999 belastet diese „seismische Lücke“ zusätzlich. Dieses letzte Segment wird wegen des erwarteten Fortschreitens der Westwärtswanderung starker Erdbeben wahrscheinlich in absehbarer Zeit brechen. Ein extremes Risikopotenzial für Istanbul.
Die Kreise mit ihrer unterschiedlichen Segmentausrichtung enthalten Informationen über den Bewegungsmechanismus der starken Beben. Farblich sind die Beben den Verwerfungsstücken zugeordnet, die jeweils gebrochen sind. Die Größe der Kreise entspricht der Stärke der Beben.



Wahrscheinlichkeit von zehn Prozent in den nächsten fünf Jahrzehnten durch Erdbeben zu erwarten ist. Damit lassen sich Regionen identifizieren, die besonderen Schutz brauchen. Außerdem hilft die Karte dabei, Schutzvorkehrungen ökonomisch verträglich zu treffen.

Flächendeckende Risikoabschätzungen sind das eine, CEDIM simuliert aber auch einzelne Erdbebenszenarien. Grundlage hierfür sind historische Erdbeben. Dabei zeigt sich: Schon verhältnismäßig geringe Beben verursachen in Deutschland vergleichsweise teure Schäden. Was ein Erdbeben anrichten kann, das wird in Deutschland unterschätzt.

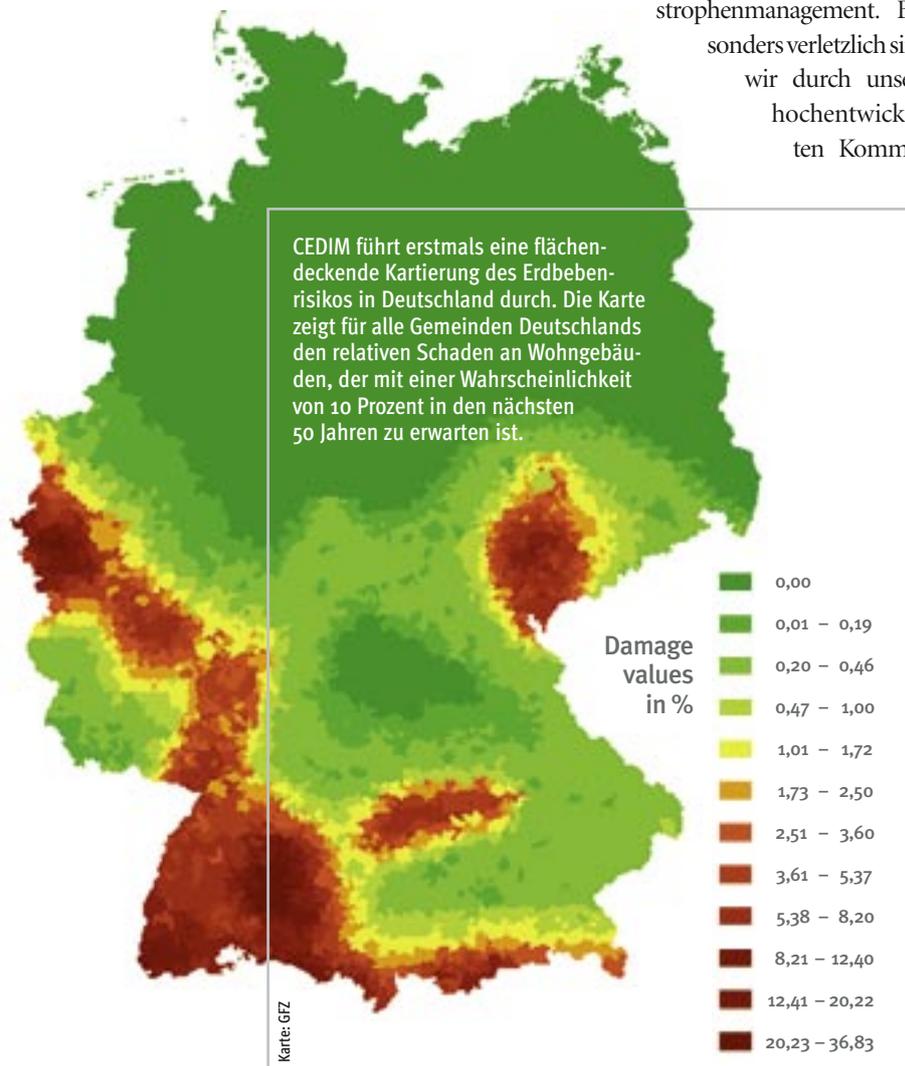
Anfällige Infrastrukturen

Die Anfälligkeit von Infrastrukturen in unseren hoch entwickelten, international vernetzten Gesellschaften nimmt zu. Dies ist ein besonders wichtiger Aspekt im Katastrophenmanagement. Besonders verletzlich sind wir durch unsere hochentwickelten Kommu-

nikations-, Versorgungs- und Verkehrsnetze. So behindert die Unterbrechung kritischer Verkehrsadern Rettungs- und Hilfeinsätze während einer Katastrophe. Außerdem kann sie zu enormen Folgekosten führen, wenn Verbindungen über Tage oder Wochen ausfallen. Beim Hochwasser 2002 entstanden etwa 40 Prozent der Verluste durch Schäden an der Infrastruktur. Mindestens 180 Brücken, 740 Kilometer Straßen, 94 Eisenbahnbrücken und 400 Kilometer Gleise sowie Flussverbauungen und Kanäle wurden zerstört oder beschädigt. Deshalb analysiert CEDIM, wie sich Hochwasserereignisse auf Verkehrsnetze auswirken.

Das Ziel: Die Risikokarte

Hochwasser, Stürme, Erdbeben: Bis heute existieren in Deutschland keine umfassenden Risikoanalysen, die außergewöhnliche Schadenslagen durch die verschiedenen Naturgefahren wissenschaftlich fundiert aufweisen. Weil das Bedrohungspotenzial nicht quantifiziert ist, fehlt eine wichtige Grundlage für die Katastrophenvorsorge und das Katastrophenmanagement. Die optimale Entscheidung können Katastrophenmanager in der kritischen Situation aber nur dann fällen, wenn sie vorher wissen, was eintreten kann und wie die verschiedenen Gefahren zu bewerten sind. Die Vision von CEDIM ist es, die Methoden zur Analyse verschiedener Risiken zusammenzuführen und so eine digitale Risikokarte Deutschlands zu schaffen. Über Internet-basierte Informationssysteme könnten dann umfassende Informationen über die verschiedenen Gefahren, ihre Schadenspotenziale und einzelne Schadensszenarien abgerufen werden.



Dr.-Ing. Bruno Merz

Sektion Ingenieurhydrologie
GeoForschungsZentrum Potsdam



Expedition in die Tiefsee

Ein internationales Forscherteam an Bord der Polarstern erkundet die wunderbare Welt am Meeresgrund.

Ein Beitrag aus dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven



150 Wissenschaftler, Ingenieure, Techniker und Studenten aus sieben europäischen Ländern gingen im Sommer 2003 an Bord des deutschen Forschungsschiffs Polarstern. Von ihrer Expedition kehrten die Forscherinnen und Forscher mit reicher Beute zurück. Dass sie jetzt viele neue Daten, Proben und Eindrücke auswerten können: Dafür sorgte Stargast Victor 6000 – das Tauchfahrzeug des französischen Meeresforschungsinstituts Ifremer.

Die gemeinsame Tiefsee-Expedition in den hohen Norden war der Höhepunkt mehr als zehnjähriger Forschungspartnerschaft von AWI und Ifremer (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer). Und weil das französische Tauchfahrzeug Victor 6000 zu den leistungsstärksten der Welt zählt, war das internationale Interesse an der Expedition groß: 150 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus sieben Ländern gingen mit der Polarstern auf Expedition. Jetzt werden die Ergebnisse von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in Belgien, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Irland, Polen und Russland ausgewertet. Auch die Öffentlichkeit nahm großen Anteil: In Pressemeldungen, Radio- und Fernsehbeiträgen berichteten Journalisten über die Expedition. Die französische Forschungsministerin Claudie Haignère präsentierte sie im Oktober 2003 in Paris beim Fête de la Science deutschen Schülern als gelungenes Beispiel deutsch-französischer Zusammenarbeit.

Fortsetzung auf Seite 41



Das etwa viereinhalb Tonnen schwere französische Tauchfahrzeug Victor 6000 kann in Wassertiefen von bis zu 6.000 Metern ferngesteuert arbeiten.

Foto: AWI

Victor 6000 – ein echter Star



Außer dem bemannten Tauchboot Nautilie besitzt das Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) auch einen Bestseller-Star: Wer den Meeres-Thriller „Der Schwarm“ von Frank Schätzing gelesen hat, kennt auch Victor ...

„Es ist ein Victor 6.000, ein Remotely Operated Vehicle, kurz ROV“, erklärte Alban. „Er kann bis in Tiefen von 6.000 Metern vorstoßen und dort einige Tage arbeiten. Wir steuern ihn von hier oben und empfangen sämtliche Daten in Echtzeit, alle über Kabel. Diesmal bleibt er 48 Stunden unten.“ ...

„Der da in der Mitte im Fahrstand, das ist der Pilot“, erklärte Alban leise. „Rechts daneben der Copilot, der auch den Greifarm bedient. Victor arbeitet sensibel und präzise, aber entsprechend geschickt muss man sein, um mit ihm klarzukommen. Der nächste Sitz gehört dem Ko-

AWI



Fotos: AWI

Victor 6000 besitzt acht Kameras, einen Geräteschlitten, der mit verschiedenen Messgeräten und Probennahmebehältern ausgerüstet wird, sowie zwei ferngesteuerte Greifarme mit einer Greifklaue und einem Saugrüssel.

ordinator. Er unterhält den Kontakt zum Wachoffizier auf der Brücke, damit das Schiff und der Roboter optimal zusammenwirken. Zur anderen Seite hin sitzen die Wissenschaftler.“ ...

„Sie sehen jetzt, was Victor sieht“, erläuterte Alban. „Er verfügt über acht Kameras. Eine Hauptkamera mit Zoom, zwei Pilotobjektive zur Navigation und fünf Zusatzkameras. Die Bildqualität ist außerordentlich gut, selbst in mehreren tausend Metern Tiefe bekommen wir filmreife Szenen zu sehen, gestochen scharf und in brillanten Farben.“ ...

Victor sank entlang einer Steilwand abwärts. Rote und orangefarbene Langusten winkten ihnen mit langen Fühlern zu. Hier unten war es bereits stockdunkel, aber die Scheinwerfer und Kameras brachten die natürlichen Farben der Lebewesen verblüffend intensiv zur Geltung. Victor zog weiter an Schwämmen und Seegurken vorbei, dann wurde das Terrain allmählich flacher.

„Wir sind soweit“, sagte Lund. „680 Meter.“

Mit freundlicher Genehmigung des Verlages aus: Frank Schätzing, *Der Schwarm*.
© 2004 by Verlag Kiepenheuer & Witsch, Köln. ■

Erste Station: Korallenriffe am Rand Europas

Fast zwei Jahre dauerte die Vorbereitung; zuletzt wurde die 140 Tonnen schwere Ausrüstung zum Betrieb von Victor 6000 im französischen Brest installiert. Dann ging es im Frühsommer 2003 los Richtung Nordostatlantik: Er ist nicht nur ein reiches Fischgebiet, sondern auch eine Schatzkammer für Meeresforscher. Erste Station der Polarstern war die Porcupine Seabight, ein Meeresgebiet westlich von Irland.

Kleinwüchsige Korallen kennt man dort schon seit über hundert Jahren. Sie tauchen immer wieder in Fischernetzen auf. Erst seit kurzem jedoch weiß man, dass Korallen hier auch bis zu mehrere hundert Meter hohe Riffe aufbauen können, in riesigen Kolonien zusammen mit einem großen Reichtum an anderen Meeresorganismen. Den Wissenschaftlern an Bord der Polarstern bot sich selbst in über tausend Metern Wassertiefe ein farbenfroher Anblick, wie man ihn sonst nur von tropischen Korallenriffen kennt. Viele Stunden Videomaterial zeichneten die Forscher auf, um die Struktur und den Artenreichtum dieser Kaltwasserriffe später im Labor zu analysieren.

Schätzungen – basierend auf neuen geophysikalischen Messungen – gehen mittlerweile davon aus, dass ungefähr sechzig Prozent der Tiefwasserkorallen entlang des europäischen Kontinentalrandes in irischen Gewässern vorkommen und mehrere hunderttausend Jahre alt sind. Sie bilden mächtige, poröse Gesteinskörper in großer Wassertiefe. Einer der Gründe, weshalb sich auch die Erdöl- und Gasindustrie für sie interessiert, die nach immer tieferen Lagerstätten von fossilen Kohlenwasserstoffen sucht, in denen das Vorkommen von Erdöl oder Erdgas vermutet wird.

Ganz andere Fragen verfolgten die irischen Expeditionsteilnehmer: Wie beeinflusst die kommerzielle Schleppnetzfischerei die Kaltwasserriffe? In welchem Umfang werden die Riffe durch die Fischerei zerstört? Mit Hilfe der erhobenen Daten können die Wissenschaftler das nun beantworten.

In den kühlen Gewässern westlich von Irland entstanden vor mehreren hunderttausend Jahren riesige Korallenriffe, die in ihrer Farbenpracht und Artenvielfalt den tropischen Korallenriffen in nichts nachstehen. Von der Expedition erhoffen sich die Wissenschaftler Aufschluss darüber, wie die Riffe entstehen konnten.



Fotos: Ifremer

Zweite Station: Schlammvulkan am Meeresgrund

Nordwestlich von Norwegen und in rund 1.250 Metern Tiefe liegt die zweite Station, die die Expedition ansteuerte. Nach einem Austausch der wissenschaftlichen Fahrtteilnehmer im irischen Galway hatten Biologen und Geologen den Håkon Mosby Schlammvulkan im Visier. Er speit zwar keine Lava wie ein typischer Vulkan an Land, fördert aber Gas, Wasser und Sedimente aus der Tiefe der Erde an die Oberfläche des Meeresbodens. Mit Hilfe von Victor 6000 entnahmen die Wissenschaftler Proben am Krater, der sich nur wenige Meter vom Meeresboden abhebt.

Aus Schlammvulkanen wie Håkon Mosby entweichen große Mengen des Treibhausgases Methan ins Meer. Das internationale Wissen-

Die Polarstern ist gegenwärtig das leistungsfähigste Polarforschungsschiff der Welt. An nahezu 320 Tagen im Jahr ist sie auf See. Sie ist bei Außentemperaturen bis zu minus 50 Grad Celsius arbeitsbereit und kann mit ihren 44 Besatzungsmitgliedern und den Forschungs-Passagieren notfalls im Eis der polaren Meere überwintern.

schaftler-Team entdeckte 2003 erstmals Bereiche, an denen Methangas sichtbar ausperlte. Den Expeditionsteilnehmern gelang es, die Gasmenge zu ermitteln, die über eine bestimmte Zeitspanne aus dem Meeresboden austritt. Auf Grundlage dieser neuen Daten soll nun erarbeitet werden, wie viel davon letztlich in die Atmosphäre gelangt.

Ein ganz anderes Forschungsgebiet sind die Lebensgemeinschaften am Meeresgrund: Wegen der extrem hohen Gaskonzentration kommen dort spezialisierte Bakteriengemeinschaften vor, die Methan als Kohlenstoffquelle nutzen, um Energie zu gewinnen. Die am Methanumsatz beteiligten Mikroorganismen sind erdgeschichtlich sehr alt und bislang nicht im Labor kultivierbar. Daher ist über ihre Biologie nur wenig bekannt. Die Arbeit mit dem französischen Tauchfahrzeug ermöglichte es, die Bedeutung gashaltiger Sedimente als Energiequelle für Mikroorganismen und die marine Tierwelt unter natürlichen Bedingungen detailliert zu studieren.

Autonome Unterwasserfahrzeuge

Im Gegensatz zu ROVs (Remotely Operated Vehicle) sind autonome Unterwasserfahrzeuge (AUV – Autonomous Underwater Vehicle) nicht über ein Kabel mit einem Schiff verbunden. Sie sind durch ihre freie Beweglichkeit besonders für Forschungsarbeiten in eisbedeckten Regionen des Ozeans geeignet. Dabei werden vorprogrammierte Messungen entlang vorgegebener Wassertiefen und Kurse ausgeführt. Das AUV wird am Ende seiner Mission wieder vom Schiff aufgenommen.

Um möglichst viele wissenschaftliche Fragestellungen mit einem AUV bearbeiten zu können, werden so genannte Nutzlastmodule aus ganzen Instrumentengruppen entwickelt, die für spezielle Messfahrten ein- und wieder ausgebaut werden können. Die Tiefseearbeitsgruppe am AWI arbeitet derzeit an der technischen Entwicklung solcher Nutzlastmodule. Auch hier gibt es eine enge Kooperation mit dem Ifremer, wo seit kurzem ebenfalls an der Integration von Sensoren in AUVs als Trägerplattformen für wissenschaftliche Messinstrumente gearbeitet wird. Ein Ziel der am AWI und dem Ifremer beteiligten Wissenschaftler und Ingenieure ist die Standardisierung von Schnittstellen und Messprotokollen, um teure Messinstrumente austauschen und auf dem jeweils anderen Fahrzeug einsetzen zu können. ■



Foto: AWI



- ...➤ Ausführliche Infos und zahlreiche Fotos zur Polarstern-Expedition mit Victor 6000 finden Sie unter:
<http://www.polarstern-victor.de/>
- ...➤ Näheres zur Tiefseeforschung am AWI unter:
<http://www.awi-bremerhaven.de/Research/ProjectGroups/DeepSea/index-d.html>

Bei der Auswertung der Ergebnisse stellten die Forscherinnen und Forscher fest, dass die Verteilung von Mikro- und Makroorganismen stark von der geologischen Struktur des Håkon Mosby Schlammvulkans abhängt. Besonders im stabilen Randbereich des Vulkans siedeln sich große Mengen von Methan konsumierenden Bakteriengemeinschaften an. Die Wissenschaftler entdeckten, dass die Bakteriengemeinschaften am Rande des Vulkans als effiziente Biofilter fungieren, denn sie „entsorgen“ durch Verbrauch das klimarelevante Treibhausgas.

Dritte Station:

Der „Hausgarten“ in der arktischen Tiefsee

Die letzte Etappe der Reise führte die Wissenschaftler in fast heimatliche Gewässer. 1999 errichtete das Alfred-Wegener-Institut westlich von Spitzbergen ein Tiefsee-Langzeitobservatorium. Der so genannte AWI-Hausgarten besteht aus einer Reihe von Stationen zwischen tausend und fünftausendfünfhundert Metern Wassertiefe, wo einerseits regelmäßig Proben genommen werden, andererseits mit dem Victor 6000 Experimente am Tiefseeboden durchgeführt werden. Damit verfolgen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zwei Ziele: Mit Langzeitmessungen dokumentieren sie die Veränderungen zahlreicher Umweltparameter im Verlauf der Jahreszeiten und im langjährigen Vergleich. Und: Sie wollen verstehen, warum es so außerordentlich viele verschiedene Arten in der Tiefsee gibt.

Meist sind das vergleichsweise kleine Organismen, von Bakterien bis zu wirbellosen Tieren. In unerwartet hoher Zahl besiedeln sie den Meeresboden der Tiefsee und sind dort maßgeblich an Umsatzprozessen an der Sediment-Wasser-Grenzschicht beteiligt. Die Ergebnisse der Expedition mit Victor 6000 belegen, dass winzige Veränderungen der Struktur

des Bodens einen messbaren Effekt auf die Artenzusammensetzung und Dichte dieser Kleinstlebewesen haben können. Durchpflügt beispielsweise ein großer Wurm den Boden, so hinterlässt er eine Miniatur-Hügellandschaft, die im kleinsten Maßstab die Strömung und die Ablagerungsprozesse von sedimentierenden Nahrungspartikeln beeinflussen kann.

Eine wichtige Beobachtung der Forscher: Sie ziehen daraus Konsequenzen für Untersuchungen zur Biodiversität in der Tiefsee. An den Standorten, wo Proben genommen werden, müssen sie auch künftig mit Victor 6000 auf vergleichsweise kleinen räumlichen Skalen arbeiten.

Dr. Michael Klages

Leiter der Projektgruppe AUV-Nutzlast
Entwicklung und Tiefseegradienten

Dr. Torsten Fischer

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Alfred-Wegener-Institut für Polar- und
Meeresforschung, Bremerhaven



Loch überm Nordpol

Wissenschaftler aus sechs Ländern erforschen die Ozonschicht.

Ein Beitrag aus dem Forschungszentrum Jülich

Die Ozonschicht, die uns vor übermäßiger UV-Strahlung schützt, ist im Winter und Frühling über dem Nordpol dünn geworden. Um besser zu verstehen, wie es dort zu dem bedrohlichen Ozonabbau kommt, haben sich 15 Forschungsinstitute aus sechs Ländern für ein Experiment zusammengeschlossen. Initiator: das Forschungszentrum Jülich.



Als Zeitungsleser oder Fernsehzuschauer könnte man meinen, unser Wissen zum Ozonloch sei komplett: Schuld hat das Chlor, das hauptsächlich über FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffe) in die Atmosphäre gelangt ist. Ozonzerstörend wirkt es nur bei den tiefen Temperaturen, wie sie über den Polarregionen herrschen.

Dass die Zusammenhänge in Wirklichkeit viel komplizierter sind, ahnt schon, wer einen Blick in Lexika oder auf Internet-Inforeiten wirft. Dort erfährt man, dass über 150 verschiedene chemische Reaktionen den Ozonabbau beeinflussen. Und dass besonders viel Ozon zerstört wird, wenn in polaren Wolken – Fachsprache: „polar stratospheric clouds“ – Salpetersäure-haltige Kristalle wachsen. In der Nordpolregion bilden sich diese Wolken oft über dem skandinavischen Gebirge als Folge einer Abkühlung in besonderen Windströmungen – „lee wave“ genannt.





Foto: Piero Mazzinghi

Rendezvous in Nordschweden: In der „Arena Arctica“ am Flughafen von Kiruna trafen sich während der EUPLEX-Kampagne das deutsche Forschungsflugzeug Falcon (vorn), das russische Höhenforschungsflugzeug Geophysica (rechts) und das Großraumflugzeug NASA-DC8 der amerikanischen Forscherkollegen (hinten).

Zwar wissen die Forscher bereits, dass an den Wolkenteilchen Reaktionen ablaufen, deren Ergebnis eine gefährlich hohe Konzentration ozonzerstörender freier Chlorkradikale in der Luft ist. „Aber es gibt noch eine ganze Reihe offener Fragen zu den komplexen Prozessen, speziell bei der Wolkenbildung“, sagt Dr. Fred Strohm vom Institut Stratosphäre des Forschungszentrums Jülich. „Und nur wenn man alle Vorgänge in der polaren Stratosphäre im Detail versteht, kann man wirklich zuverlässig das künftige Ausmaß der Ozonzerstörung vorhersagen.“ Um das zu erreichen, rief er mit Jülicher Kolleginnen und Kollegen das „European Polar Stratospheric Cloud and Lee Wave Experiment“ – EUPLEX – ins Leben. An dem EU-geförderten Vorhaben nahmen Forschungsinstitute aus Deutschland, Italien, England, Norwegen, der Schweiz und Russland teil.

Job-Sharing bringt mehr

Anfang 2003 bezogen die EUPLEX-Wissenschaftler für mehrere Wochen Quartier im nordschwedischen Kiruna. Im Mittelpunkt ihres Experiments standen Messflüge mit den Forschungsflugzeugen Geophysica und Falcon. Ihre Arbeit koordinierten sie mit den Nachbarn vor Ort: US-amerikanischen Forschern, die mit einem NASA-Flugzeug ebenfalls den Ozonabbau untersuchten. Mit engen, täglichen Absprachen über die Flugpläne stellten die Wissenschaftler sicher, dass sich die Messdaten beider Experimente optimal ergänzten.

An welchen Orten und in welchen Flughöhen besonders interessante Ergebnisse zu erwarten waren, sagten theoretisch orientierte Forschergruppen mit Hilfe ihrer Computerprogramme ihren messenden Kollegen voraus. Die wiederum teilten die Arbeit nach Spezialgebieten auf. Grund für dieses Job-Sharing unter den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern: Keine Forschergruppe allein könnte alle Reaktionen und Teilchen im Blick behalten, die beim Ozonabbau wichtig sind.

Hard Facts sichern Prognosen

Die Jülicher Forscher um Fred Strohm beispielsweise hatten eigens ein Gerät entwickelt, mit dem sie während des Fluges simultan die Mengen zweier Chlor-Sauerstoff-Verbindungen in der Luft bestimmen konnten. Angebracht unter dem linken Flügel der Geophysica, lieferte es alle zehn Sekunden einen Messwert für die Verbindung mit der chemischen Formel ClO und jede Minute einen für Cl₂O₂. „Das Wechselspiel dieser beiden Chlor-Sauerstoff-Verbindungen gilt als ein wesentlicher Faktor beim Ozonabbau“, erklärt Strohm. Denn die Bildung von Cl₂O₂ aus ClO ist Teil eines mehrstufigen Reaktionszyklusses, in dessen weiterem Verlauf reaktive Chloratome Ozon in Sauerstoff umwandeln.

Das überraschende Ergebnis der Messungen: In den langen arktischen Winternächten ist das Übergewicht von ClO zu Cl₂O₂ je nach herrschender Temperatur 2,5- bis 10-mal größer, als alle Experten auf Grund von Laborversuchen vermutet hatten. Das heißt, die Jülicher Forscher fanden viel mehr ClO als angenommen. Die bisherigen Vorhersagen zum künftigen Ozonabbau müssen deshalb allerdings nicht umgeschrieben werden: Bei der Eingabe der



Erde und Umwelt

neuen Daten errechnete ein Computermmodell aus Jülich nahezu die gleichen Ozonkonzentrationen wie mit den alten Werten. Nur für die Zeiten kurz nach Sonnenaufgang ergaben sich geringfügige Abweichungen. Trotzdem ist der Erkenntnisgewinn für die Forschung erheblich: „Wir haben durch unsere Messungen vertrauenswürdigeren Daten gewonnen und Fehler ausräumen können“, ordnet Fred Strohm die Bedeutung der Ergebnisse ein.

Auch die polaren Stratosphärenwolken mussten den EUPLEX-Forschern ein Geheimnis preisgeben. Die an der Messkampagne beteiligten Wissenschaftler des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) fanden heraus, dass sich Salpetersäure-haltige Kristalle in den Wolken bereits einige Grad über der Temperatur bilden, bei der Eiskristalle entstehen. Vermutlich dient Meteoritenstaub als Wachstumskeim. Die DLR-Forscher sicherten ihre Erkenntnis mit Hilfe von Messungen des stratosphärischen Wasserdampf-Gehaltes ab, die von einem spezialisierten Jülicher Team durchgeführt worden waren. Dieses Ergebnis zeigt: Das Konzept des Job-Sharings trägt Früchte.

Das Messgerät HALOX kurz vor dem Einbau in das Forschungsflugzeug Geophysica. Mit dem Instrument werden ozonangreifende Chlorverbindungen gemessen.

FZJ

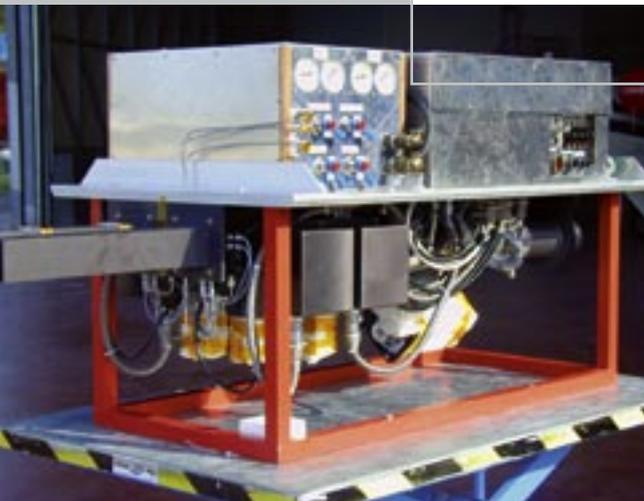
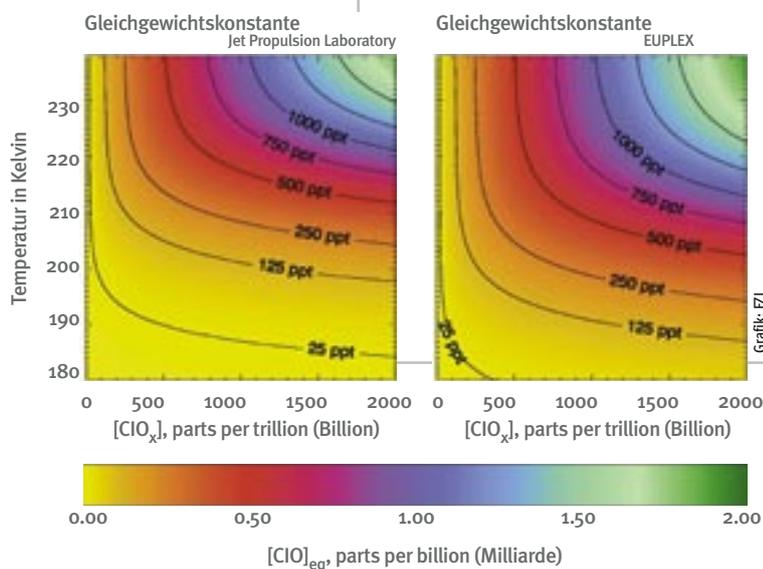


Foto: FZJ



Nächtliche Konzentrationen der Chlor-Sauerstoff-Verbindung ClO. Bei einer deutlich niedrigeren Temperatur oder bei einem geringeren Gesamtgehalt an Chlor-Sauerstoff-Verbindungen wird eine ClO-Konzentration (Linien) erreicht, die oberhalb der bisherigen Vermutungen liegt. Die linke Kurve zeigt die auf Laborversuchen basierenden, bislang gültigen Daten, die rechte Kurve zeigt die aus den aktuellen Jülicher Messergebnissen berechneten Daten.

Grafik: FZJ

Dr. Frank Frick

Wissenschaftsjournalist, Bornheim

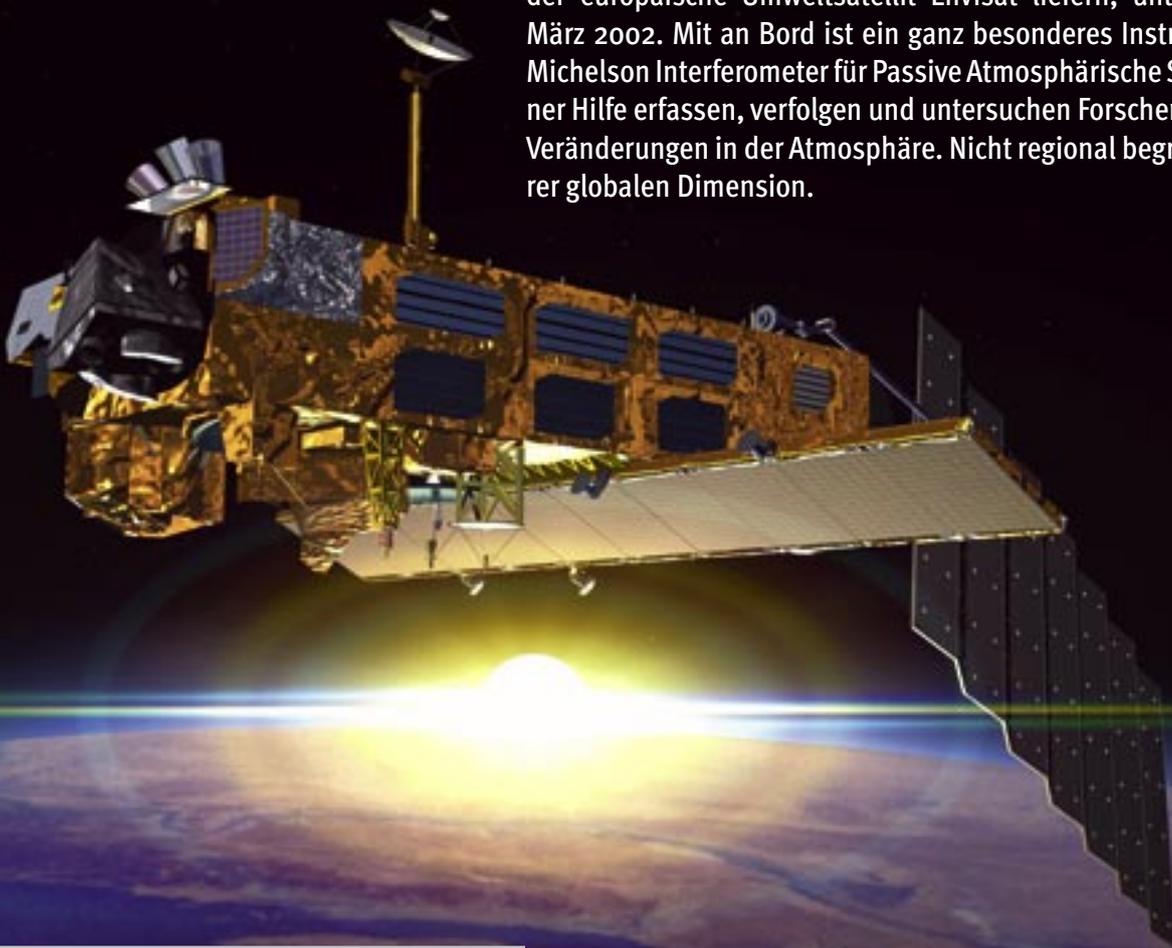


Abstand schafft Durchblick

Von Bord des europäischen Umweltsatelliten Envisat sammelt das hochsensible Instrument MIPAS wichtige Daten für die Klimaforschung.

Ein Beitrag aus dem Forschungszentrum Karlsruhe

Die Erdatmosphäre verändert sich: Die Konzentration von Treibhausgasen steigt, die Ozonschicht wird dünner. Das verändert die Lebensbedingungen. Wie? Wo? In welchem Umfang? Und wann? Neue Erkenntnisse dazu soll der europäische Umweltsatellit Envisat liefern, unterwegs im All seit März 2002. Mit an Bord ist ein ganz besonderes Instrument: MIPAS, das Michelson Interferometer für Passive Atmosphärische Sondierung. Mit seiner Hilfe erfassen, verfolgen und untersuchen Forscherinnen und Forscher Veränderungen in der Atmosphäre. Nicht regional begrenzt, sondern in ihrer globalen Dimension.



Polare Stratosphärische
Wolken über Kiruna/Nord-
schweden im Januar 2000.

Es sind vor allem menschliche Einflüsse des vorigen Jahrhunderts, die die Klimaforschung heute in Atem halten. Problem Nummer eins: Die Konzentration von Treibhausgasen wie Kohlendioxid und Methan hat zugenommen; in der Folge ist auch der Wasserdampfgehalt der Atmosphäre gestiegen. Sehr wahrscheinlich, so die Einschätzung der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wird sich deshalb in den nächsten Jahrzehnten die untere Atmosphäre deutlich erwärmen. Gemeint ist die Troposphäre bis zu einer Höhe von etwa zehn Kilometern. Eine wesentliche Rolle bei diesem Wandel spielt die Konzentration des Wasserdampfs in den Atmosphärenschichten zwischen sechs und neunzehn Kilometern, je nach Breitengrad. Genau für diese Höhe haben Forscherinnen und Forscher allerdings bislang nur wenige genaue Messdaten.

Dringend nötig: Bessere Klima-Prognosen

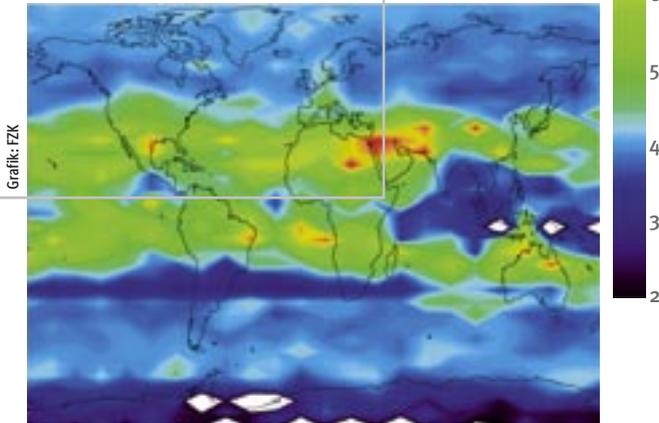
Problem Nummer zwei: Die schützende Ozonschicht wird gefährlich dünn. Schon vor mehr als dreißig Jahren haben Wissenschaftler erkannt, dass bestimmte Stickoxid- und Chlorverbindungen in katalytischen Reaktionszyklen Ozon zerstören. Mitte der Achtzigerjahre wurde das antarktische Ozonloch entdeckt. Seitdem richtet sich die Aufmerksamkeit der Wissenschaft auf die Stratosphäre – den Höhenbereich zwischen etwa zehn und 50 Kilometern. Denn dort spielen sich die entscheidenden Prozesse ab. Forscherinnen und Forscher entdeckten, dass die Polaren Stratosphärischen Wolken für den Ozonabbau wichtig sind, und sie gewannen ein immer besseres Grundverständnis für die atmosphärischen Vorgänge, die dabei ablaufen. (Hierzu siehe auch den Beitrag „Loch überm Nordpol“ auf Seite 44.)

Aber nach wie vor ist es sehr schwierig, zuverlässig vorherzusagen, wie sich die Dicke der Ozonschicht in diesem Jahrhundert verändern wird. Die weltweit besten Klimamodelle weichen in ihren Prognosen noch immer weit voneinander ab. Ein untrügliches Indiz dafür, dass die Forschung noch nicht genug über die atmosphärischen Prozesse weiß.

MIPAS: Unterwegs im Auftrag der Klimaforschung

Große Fortschritte wollen die Klimaforscher mit Hilfe der Daten erzielen, die ihnen MIPAS von Bord des europäischen Umweltsatelliten Envisat liefert. Der größte Erdbeobachtungssatellit, den Europa je baute, wurde am 1. März 2002 in eine polnahe Umlaufbahn geschossen. Seitdem umkreist er einmal in 100 Minuten die Erde in einer Höhe von etwa 800 Kilometern. Und ermöglicht den Forscherinnen und Forschern das, worauf sie dringend angewiesen sind und lange gewartet haben: tägliche Erfassung einer Vielzahl von wichtigen Umweltdaten weltweit.

Die Wasserdampfverteilung im 17-Kilometer-Niveau im Sommer 2003 zeigt eine starke horizontale Variabilität, relativ hohe Konzentrationen in den Subtropen und ein großes trockenes Gebiet über Süd-Ost-Asien; Einheiten in parts per million per volume (ppmv).



Grafik: FZK

dig generiert. Darüber hinaus gewinnen die Wissenschaftler aus den MIPAS-Messungen Erkenntnisse über Staub- und Wolkenpartikel in der Atmosphäre.

Auf der Spur von Wasserdampf

Wichtige Erkenntnisse haben die Forscherinnen und Forscher mit Hilfe von MIPAS bereits über den Wasserdampf gewonnen, der in der Grenzschicht zwischen Troposphäre und Stratosphäre den Treibhauseffekt wesentlich beeinflusst. Wie er sich in dieser Höhenregion verteilt und welche Rolle dabei Transportprozesse spielen: Darüber wussten die Forscher bisher zu wenig. Vor allem fehlten ihnen Daten, weil Satellitenexperimente entweder keine globalen Messungen machen konnten oder in diesem Höhenbereich nicht sensitiv waren. MIPAS kann aber

MIPAS, das in Deutschland konzipierte Instrument an Bord, dient diesem Auftrag. Mehr als zwei Jahre hat das Instrument fast durchweg alle 75 Sekunden die Atmosphäre einmal in der Vertikalen abgetastet – rund um die Erde. Aus den Spektren, die es auf diese Weise gewinnt, können Wissenschaftler die Verteilungen der Temperatur und von mehr als 25 Spurengasen gleichzeitig in einem Höhenbereich von sechs bis 68 Kilometern ableiten. Der Datensatz, den die ESA operationell erzeugt, beschränkt sich zwar auf wenige, leicht auszuwertende Gase; im Forschungszentrum Karlsruhe wird jedoch die Verteilung von vielen Spurengasen möglichst vollständ-

MIPAS: Ein Instrument macht Karriere in Europa

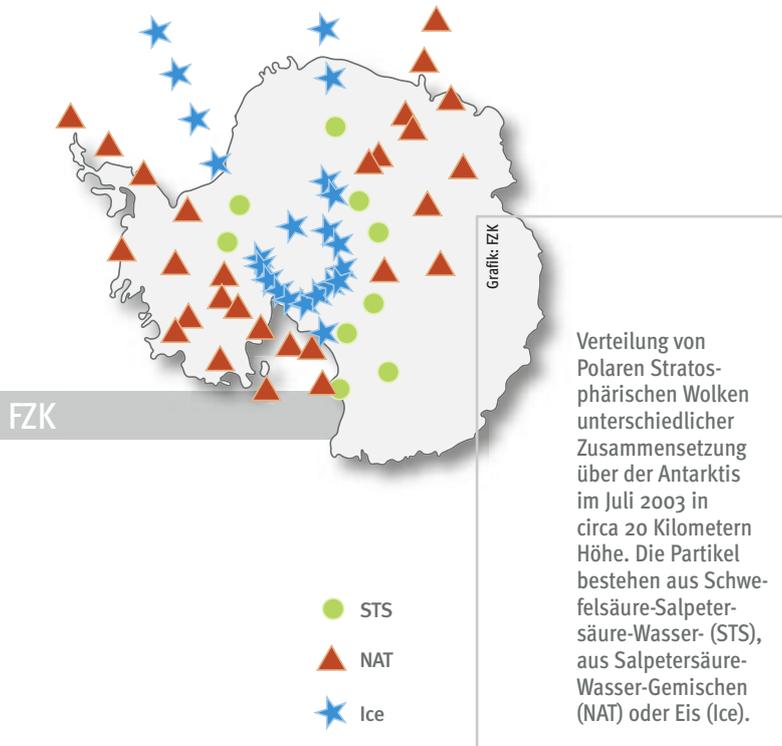


Anfang der Achtzigerjahre des 20. Jahrhunderts war in der Forschung klar, dass man Satellitenexperimente brauchte, um Veränderungen der Spurengase in der Atmosphäre global zu erfassen. Kern solcher Experimente sind simultane Messungen einer Reihe von Spurengasen über einen längeren Zeitraum.

Gesucht wurde ein Instrument, das dies leisten konnte. Entwickelt wurde es am Forschungszentrum Karlsruhe: MIPAS, ein Spektrometer. Dieses Messinstrument nutzt die Eigenschaft von Gasen, charakteristische Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) auszusenden. Sie gleicht einem Fingerabdruck, mit dem sich jedes Gas sicher identifizieren lässt. Aus der emittierten Strahlung unterschiedlicher Spurengase ergibt sich zusammengesetzt ein so genanntes Spektrum. Und das kann MIPAS genau erfassen.

MIPAS wurde zuerst am Boden, Ende der Achtziger auch auf Stratosphärenballonen und schließlich in Flugzeugen eingesetzt. Diese Experimente brachten so überzeugende Ergebnisse, dass auch die europäische Weltraumbehörde ESA beeindruckt war. Sie wählte das MIPAS-Experiment als eines der zentralen Instrumente für den Umweltsatelliten Envisat aus.

Einige der Spurengase, die MIPAS erfasst, werden von der ESA direkt ausgewertet und Wissenschaftlern weltweit zugänglich gemacht. Für die Auswertung der Messungen zu vielen anderen klimarelevanten Spurengasen hat das Institut für Meteorologie und Klimaforschung am Forschungszentrum Karlsruhe komplexe Methoden entwickelt und einen leistungsfähigen Datenprozessor aufgebaut. Das Interesse im In- und Ausland ist groß. Viele Institutionen haben mit dem Forschungszentrum gemeinsame Forschungsprojekte gestartet, um die reiche Datenbeute zu nutzen.



mehr. Seine hohe spektrale Auflösung macht es möglich, die Konzentration des Wasserdampfs in der so genannten Tropopausenregion und auch ein paar Kilometer darunter zu beobachten. Weil MIPAS die Wärmestrahlung der Atmosphäre misst, arbeitet das Instrument bei Tag und Nacht. Problematisch sind einzig Wolken, die ab einer gewissen Dicke im Infraroten nicht mehr durchlässig sind.

Erste MIPAS-Ergebnisse zeigen, dass die weltweite Wasserdampfverteilung stark variiert: In den Subtropen gelangt verhältnismäßig feuchte Luft bis in die untersten Schichten der Stratosphäre. Große Bereiche im tropischen Süd-Ost-Asien hingegen stellen sich in diesen Höhen als sehr trocken heraus. Anhand solcher Daten können Wissenschaftler ihre numerischen Modelle verbessern und so die Vorhersagen, wie sich das globale Klima entwickeln wird, deutlich zuverlässiger machen.

Forschungsziel: Hohe Wolken simulieren

Ein weiteres Beispiel für die erfolgreiche Arbeit mit MIPAS sind neue Erkenntnisse zu den Polaren Stratosphärischen Wolken. Chemische Prozesse an der Oberfläche der Wolkenpartikel tragen wesentlich zum Ozonabbau bei. Bisher wussten die Forscher nur sehr eingeschränkt darüber Bescheid, wie sich diese Wolken räumlich und zeitlich verteilen. Dank MIPAS-Messungen können sie jetzt ableiten, wo und wann sie auftreten, wie sich die Wolkenpartikel chemisch zusammensetzen, wie häufig die Partikel vorkommen und wie groß sie sind.

Im antarktischen Winter 2003 waren die Wolken sehr unregelmäßig verteilt. Daraus schließen die Forscherinnen und Forscher, dass die Prozesse der Partikelbildung in den Wolken ausgesprochen komplex sind. Und dass sie für die Simulation der dabei ablaufenden mikrophysikalischen Prozesse ein entsprechend leistungsfähiges Modul brauchen. Ihre ersten Ergebnisse zeigen, dass sie auf dem richtigen Weg sind.

Insgesamt ist das Vertrauen der Forscherinnen und Forscher in die Leistungskraft von MIPAS bestätigt worden: Schon die bisher gesammelten Daten erweisen sich als extrem wichtig für ein besseres Verständnis atmosphärischer Vorgänge. In den MIPAS-Daten, da sind die Karlsruher Wissenschaftler sicher, steckt noch ein riesiges Potenzial. Die Auswertung hat gerade erst begonnen.

Prof. Dr. Herbert Fischer
Dr. Gabriele Stiller

Institut für Meteorologie und Klimaforschung
Forschungszentrum Karlsruhe



Sonnensammler im Turm

In Südeuropa steht die Stromerzeugung aus Solarthermischen Kraftwerken vor der Markteinführung.

Ein Beitrag aus dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Es ist einsam im Land, in dem der Boden brennt. Dort, wo die Temperaturen über die 40 Grad-Marke klettern und das Grün der Büsche spärlich ist, kapitulieren Siedler vor den unwirtlichen Bedingungen. In die südspanische Wüste von Tabernas kommen nur Extrem-Touristen oder Ingenieure und Techniker, die hier ein neues Kapitel solarer Energie-Nutzung aufschlagen wollen.

Mit 500.000 Quadratmetern Kollektorfläche, so der Plan, soll ein neues Solarkraftwerk aus der Sonnenstrahlung Hochtemperaturwärme gewinnen. Und aus dieser Wärme, wie in einem herkömmlichen Kraftwerk, Strom produzieren.



Foto: DLR

Bei dem neu entwickelten Zentral-Receiver-System wird das Sonnenlicht in der Spitze des Turmes gebündelt.

Die Technologie dafür haben das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt und dessen spanische Schwesterorganisation CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) auf der Plataforma Solar in Almería erprobt und gemeinsam mit Industriepartnern weiterentwickelt. Sie haben eine Lösung parat, wenn Europa die Sonne mehr als bisher zur umwelt- und ressourcenschonenden Energieerzeugung nutzen und die Praxistauglichkeit von Solarkraftwerken unter Beweis stellen will. Denn gemeinsam mit Industriepartnern konnten die Wissenschaftler die Leistungsfähigkeit der Parabolrinnenkollektoren gegenüber den Vorläufern um mehr als zehn Prozent steigern. Parallel dazu haben sie an einem neuen Kraftwerkstyp geforscht, bei dem die Sonnenstrahlen



Energie

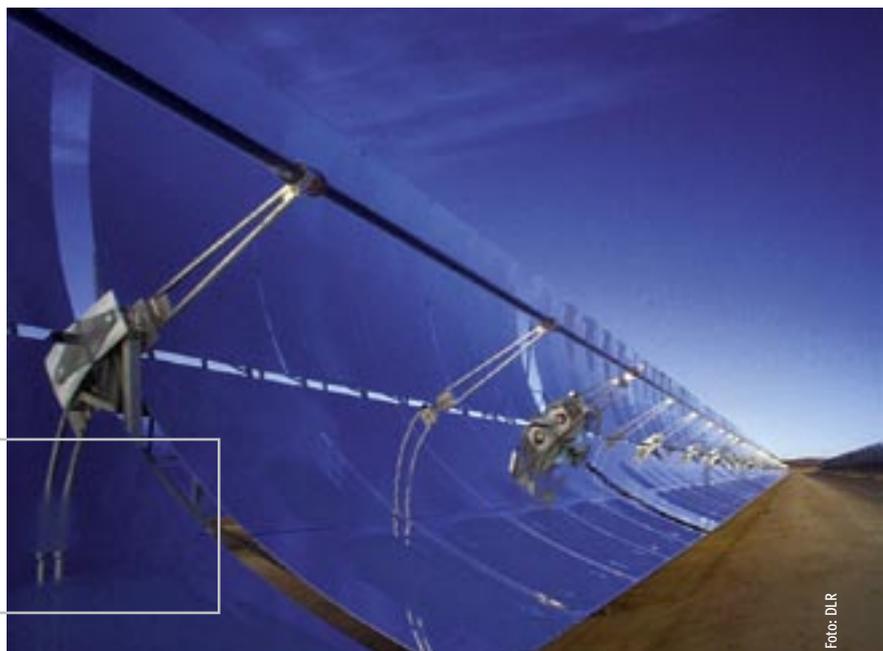


Foto: DLR

Parabolrinnenkollektoren konzentrieren die Solarstrahlung und erzeugen Temperaturen von rund 400 Grad Celsius.

DLR

in einem Turm gesammelt werden. Nun bekommen die verbesserte Rinnen-Technologie und das Solarturmkraftwerk die Chance, ihren Nutzen zu beweisen.

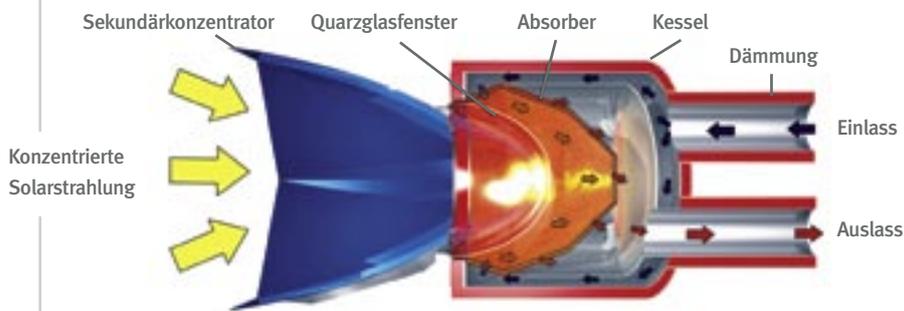
Spanien verfügt nämlich inzwischen über die besten Bedingungen für die Markteinführung von Solarstrom. Seit dem neuen Strom-einspeisegesetz vom März 2004, mit dem der Verkaufspreis für Strom aus Sonnenenergie auf 21 Cent für die Kilowattstunde erhöht wurde, herrscht Aufbruchstimmung. Im Jahr 2006 sollen in Südspanien mehrere Solarkraftwerke mit einer Gesamtleistung von mehr als 125 Megawatt in Betrieb gehen. In der Nähe von Sevilla ist der Grundstein für ein Solarturmkraftwerk gelegt worden.

Temperatur rauf – Kosten runter

In einem solchen Turmkraftwerk wird die Sonnenstrahlung mit flachen Spiegeln aufgefangen, die der Sonne nachgeführt werden. Dadurch können die Forscherinnen und Forscher die solare Strahlung noch stärker bündeln als mit einer Parabolrinne. Die Sonnenstrahlung wird auf zwei zentrale Empfangseinheiten, die Receiver, geworfen. Sie befinden sich bei der Anlage in Empoli in zwei circa 27 Meter hohen Türmen. Im Receiver erwärmt die Sonneneinstrahlung durchströmende Luft, die unter hohem Druck steht. Damit können die Forscherinnen und Forscher die Hürde der bisher bei Parabolrinnen erreichbaren Temperatur von 400 Grad Celsius überwinden. Bis zu 1.000 Grad werden jetzt möglich – da würde Eisen schon hellrot glühen. Durch die neue Technik lässt sich bisher der meiste Strom aus der Solarenergie gewinnen, was – wenn sie großtechnisch umgesetzt wird – die Kosten erheblich senken wird.

Für den Receiver wurden am DLR mehrere Varianten entwickelt. Besonders hohe Temperaturen erreicht man, indem ein gewölbtes Quarzglasfenster am Trichtergrund die Strahlung nahezu verlustfrei zum dahin-

Ein gewölbtes Quarzglasfenster sorgt dafür, dass die Sonnenstrahlung nahezu verlustfrei zum dahinter gelegenen Absorber gelangt. Druckluft durchströmt den heißen Absorber, erhitzt sich bis auf 1000 Grad Celsius und treibt dann die Gasturbine an.



Grafik: DLR

Auch in Empoli, einem toskanischen Städtchen zwischen Pisa und Florenz, wird ein Turmkraftwerk mit innovativer Technik aus dem DLR errichtet. Es soll im Frühjahr 2005 seinen Testbetrieb aufnehmen und später Solarstrom in die Energieversorgung des neu entstehenden Krankenhauses einspeisen.



Mehrere Receiver-Module sind wie Bienenwaben aneinander gefügt und erhöhen somit die Leistung des Receivers. Bei Tests erreichte die Gasturbine 230 Kilowatt.

Aufgenommen wird die Strahlung dann vom Absorber, der aus mehreren Lagen eines Gewebes von hochtemperaturbeständigem Metalldraht bestehen kann. Neuerdings wird mit poröser Keramik gearbeitet, die wie ein schwarzer Schwamm die Strahlung absorbiert und in Wärme umsetzt. Die Gasturbine erreichte so bei Tests in Spanien eine Leistung von 230 Kilowatt. Die Kopplung von Receiver und Gasturbine erwies sich als zuverlässig und gut steuerbar.

Die Vision: Strom für alle aus der Sahara

Solarthermische Kraftwerke stehen nun in Europa kurz vor der Markteinführung. Am DLR forschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bereits weiter: Noch bessere Einzel-Komponenten sollen den Wirkungsgrad weiter steigern, und thermische Speicher garantieren, dass zu jeder Tages- und Nachtzeit Strom bereitsteht. Auch wenn Solarkraftwerke nur in den sonnenreichen Landstrichen der Erde sinnvoll sind – ihr Potenzial ist gehörig: Rein rechnerisch könnten sie den weltweiten Stromverbrauch decken. Dazu müssten auf lediglich einem Prozent der Fläche der Sahara Parabolrinnenkollektoren oder Heliostate stehen. Ein-sames, karges Wüstenland wäre dann kein verlorenes Land mehr. Und als Lieferanten der Technologie haben Europas Wissenschaftler und Ingenieure ihre Visitenkarte bereits vorgelegt.

Professor Dr.-Ing. Robert Pitz-Paal Dr.-Ing. Jürgen Dersch

Institut für Technische Thermodynamik, Solarforschung

Cordula Tegen

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Köln

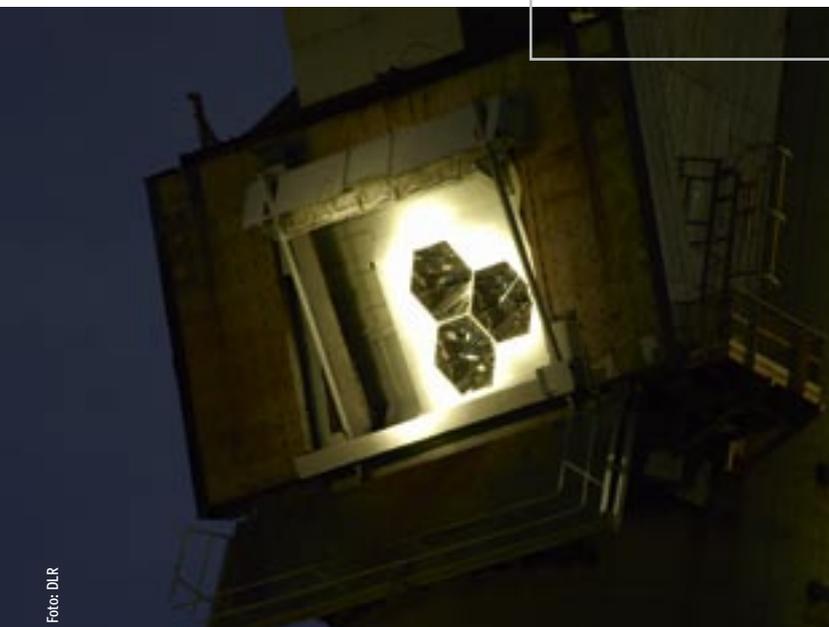


Foto: DLR

ter gelegenen Absorber durchlässt. Dieses Fenster, das in einen Druckkessel eingesetzt ist, ermöglicht den Betrieb bei Druckverhältnissen bis zu 15 bar. Das hitzefeste Quarzglas für solche Ansprüche zu fertigen, ist eine besondere Herausforderung. Es kann bisher nur bis zu einem Durchmesser von 60 Zentimetern produziert werden. Das begrenzt die Leistung eines einzelnen Receivermoduls. Aber auch dieses Problem wurde gelöst, indem mehrere Module ähnlich wie Bienenwaben aneinander gefügt wurden. Der auf diese Weise mit Spiegeln ausgekleidete Konzentrator läuft trichterförmig auf das runde Glasfenster zu.



Weltraumanwendungen waren wegweisend für die Entwicklung von Solarzellen. Hier die typische Größe eines entfaltenen Satelliten-Solaregels in herkömmlicher Zellenbauweise.

Sonnensegel im All

Neue Materialien und Technologien machen Solarzellen für die Raumfahrt noch attraktiver.

Ein Beitrag aus dem Hahn-Meitner-Institut in Berlin



Foto: ESA

Künftige Satelliten der Telekommunikation benötigen sehr leistungsfähige Stromquellen. Obwohl Solarzellen seit fast einem halben Jahrhundert zur Weltraumtechnik gehören, ist die Entwicklung geeigneter Systeme noch längst nicht abgeschlossen. Ein hohes Potenzial haben extrem leichte Module mit Titanfolien als Trägermaterial und der neuen Generation von Dünnschicht-Solarzellen.

Gemessen am Energiehunger künftiger Nachrichtensatelliten, ist die Stromversorgung des abgebildeten Mars-Explorers mit ihren 350 Watt eher bescheiden. Elektrische Leistung und Solarzellenfläche erreichen bei der nächsten Generation der Nachfolger von „Early Bird“ eine vielfach größere Dimension.

Solarzellen auf Dächern und an Parkautomaten sind alltäglich geworden – auf dem Strommarkt ist die Photovoltaik allerdings noch nicht wettbewerbsfähig. Forschung und Industrie arbeiten deshalb intensiv daran, vor allem die Material- und Herstellungskosten von Solarzellen zu senken. Während man bei der Energieversorgung auf eine breite und nachhaltige Markteinführung also noch warten muss, ist die Photovoltaik im Weltraum seit Anbeginn vorherrschend: Satel-

liten, die rund um die Erde ihren Dienst tun, werden vorwiegend mit elektrischer Energie aus Sonnenlicht versorgt.

Solarstrom im Weltraum

Weit auskragende Solarflügel liefern den Strom im Weltraum, und fast immer sind die Sonnenpaddel mit Modulen aus kristallinen Halbleiterzellen bestückt. Die zurzeit üblicherweise für den Modulaufbau verwendeten Zellen bestehen aus etwa zehn

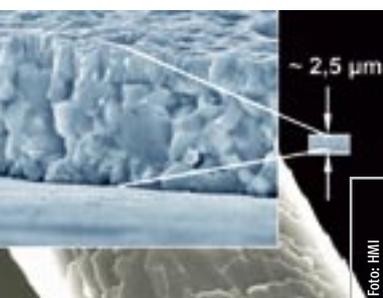


Foto: HMI

Im Größenvergleich zur Aufnahme eines Haares zeigen die Bilder des Raster-Elektronenmikroskops, dass die aktiven Schichten der Solarzelle eine weit geringere Dicke haben.

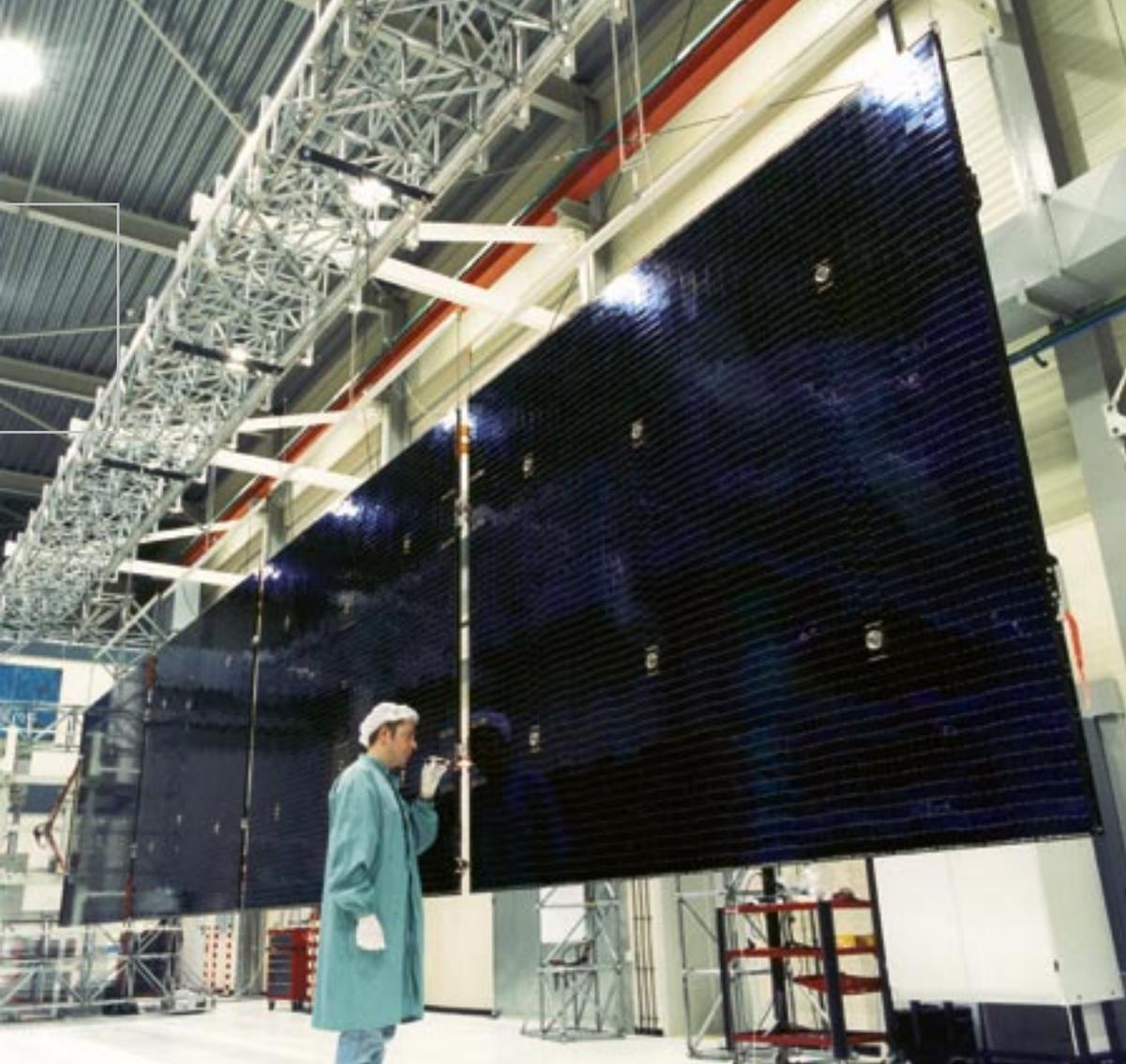


Foto: Dutch Space

mal zehn Zentimeter großen Silizium- oder Gallium-Arsenid-Halbleitern. Bei diesem hochreinen, sehr homogenen Material sind alle Atome in Reihe und Glied ausgerichtet: Jede dieser Solarzellen ist ein einziger riesiger Kristall. Das hat den Nachteil, dass solche Solarzellen äußerst spröde sind. Bruchsicher macht sie erst der Unterbau eines starren Trägers, der aber zusätzliches Gewicht verursacht. Beide Eigenschaften, Sprödigkeit und hohes Gewicht, sind für Weltraummissionen aber denkbar ungünstige Eigenschaften: Denn das Material ist beim Start der Rakete starker Vibration ausgesetzt, und Raumfahrtunternehmen sind froh über jedes Gramm, das sich einsparen lässt.

Seit rund zwei Jahrzehnten erforschen Wissenschaftler des Berliner Hahn-Meitner-Instituts neue Materialien der Photovoltaik und entwickeln entsprechende Herstellungsverfahren. Jetzt sind auch leichtere und weniger brüchige Solarzellen für den Weltraumeinsatz im Blick.

Dünn, leicht, biegsam

Gefördert von der europäischen Weltraumbehörde ESA, suchte Dutch Space, ein niederländischer Hersteller von Solarmodulen für den Satelliteneinsatz, die Zusammenarbeit mit dem Hahn-Meitner-Institut. „Dutch Space ist auf uns aufmerksam geworden, weil hier seit mehr als zehn Jahren Dünnschichtsolarzellen auf der Basis von Verbindungshalbleitern entwickelt werden“, so Christian Kaufmann, ein Mitarbeiter im Projekt Flexible Solarzellen. Im Dutch Space-Projekt besteht das Materialsys-

tem aus einer Kupfer-Selen-Verbindung, die auch die chemischen Elemente Indium und Gallium enthält. „CIS-Zellen“, erklärt Kaufmann, „haben eine hohe Lichtabsorption, das heißt, sie können zur Erzeugung der Photospannung extrem dünn und damit sehr leicht sein.“ Die aktive Schicht des Halbleiters hat mit rund zwei Mikrometern nur noch circa ein Fünfzigstel der Dicke herkömmlicher Weltraum-Solarzellen aus Silizium oder Gallium-Arsenid.

Das neue Material ist polykristallin, die Atome sind also nicht mehr auf der ganzen Fläche gleichmäßig angeordnet. „Das hat mehrere Vorteile“, erklärt Kaufmanns Teamkollege Axel Neisser: „Auf geeigneten Trägern lassen sich damit auch größere Flächen beschichten. Die aufwändige Verschaltung einzelner, voneinander getrennter Solarzellen entfällt. Vor allem aber ist das Material dank seiner polykristallinen Struktur nicht mehr spröde und bricht beim Biegen nicht in kleine Stücke.“



Temperaturschwankung: 250 Grad

Bei der Entwicklung leichter und flexibler Solarzellen bot sich als Trägermaterial das Leichtmetall Titan an. Titanfolien sind flexibel und bleiben dennoch bei Biegungen stabil. Zudem schrumpft und dehnt sich Titan bei Temperaturschwankungen in ähnlicher Weise wie eine aufgebrachte CIS-Schicht. „Das ist wichtig“, betont Axel Neisser, „denn die Temperaturen im Weltraum variieren extrem.“ Je nachdem, ob ein Satellit sich in der Sonne oder im Erdschatten befindet, ändert sich seine Oberflächentemperatur um rund 250 Grad.

Zur Beschichtung der Titanfolien mit den Kupfer-Selen-Verbindungen haben die Forscherinnen und Forscher am Hahn-Meitner-Institut einen Herstellungsprozess entwickelt, der durch eine spezielle Laser-Messmethode

kontrolliert wird. „Mit dieser Methode können wir die aktiven Schichten so hochwertig und kostengünstig aufbringen, dass zurzeit kein anderer Ansatz konkurrieren kann“, erläutert Axel Neisser. Die Arbeiten an den leichten und biegsamen Weltraumzellen sind weit fortgeschritten: Die im Endprodukt benötigte Größe von 27 Quadratzentimetern wurde im Labor erfolgreich hergestellt. Später sollen diese Zellen in der Serienfertigung zu großen Modulen verbunden werden – die Zellen überlappen sich an den Rändern dann wie Fischschuppen.

Die Titan-Folien sind zusammen mit dem unter Vakuum aufgedampften CIS-Halbleitermaterial nur ein vierzigstel Millimeter dünn. Statt schwerer Träger-Paneele, wie sie heutige Satelliten mit sich schleppen, reicht für die Halterung der neuen Solarmodule ein leichter Rahmen aus Fiberglas.

Kosmischer Teilchenhagel? Kein Problem!

Ihre Unempfindlichkeit gegen Teilchenstrahlen spart bei den neuen Solarzellen zusätzlich Gewicht. Denn die Sonne schießt unaufhörlich hochenergetische Elektronen und Protonen durchs All. Außerhalb des Magnetfeldes der Erde sind Satelliten diesem Beschuss ungeschützt ausgeliefert. Bei monokristallinen Solarzellen könnte die empfindliche atomare Struktur beschädigt werden, die Zellen würden allmählich

Mit einer Titanfolie als Trägerschicht werden Solarzellen extrem dünn und leicht – ein großes Plus für den Weltraumeinsatz.



Die Geschichte der Solarzelle



Der lichtelektrische Effekt in Materie wurde vom französischen Physiker Henri Becquerel als Änderung des elektrischen Widerstandes

1839 entdeckt. Heinrich Hertz fand 1887 heraus, dass

Licht auch die Freisetzung von Ladungsträgern in Materie bewirken kann.

Physikalisch erklärbar werden die Vorgänge jedoch erst mit der 1905 von Albert Einstein entwickelten Theorie zum inneren Photoeffekt. Im Jahr 1954 stellen die Bell Laboratories in den

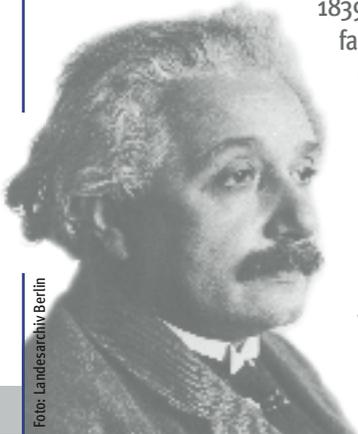
USA die ersten Siliziumsolarzellen her. Sie werden erstmals 1958 zur Energieversorgung von Flugkörpern im Weltraum genutzt.

Der entscheidende Bestandteil einer Solarzelle ist ein Halbleitermaterial, in dem durch die Energie des Lichts Elektronen freigesetzt werden. Je effizienter das Licht in dem Material absorbiert wird, also Elektronen freisetzt, umso dünner kann die Solarzelle sein. Dünnschichtzellen versprechen Kosteneinsparungen durch großflächige und materialarme Herstellung zum Beispiel in Aufdampfanlagen. In Satellitenmissionen zählt vor allem die Einsparung beim Startgewicht.

Im Weltraum strahlt das Sonnenlicht mit 1.400 Watt auf jeden Quadratmeter ein. Bei einem Wirkungsgrad von 15 Prozent können Solarzellen aus diesem Sonnenlicht also 210 Watt pro Quadratmeter erzeugen. Und aus dem angestrebten Maximalgewicht von 600 Gramm pro Quadratmeter Solarzellenfläche ergibt sich damit auch die angestrebte Maximalleistung pro Kilogramm: 350 Watt. Üblich sind zurzeit etwa 100 Watt pro Kilogramm.

Die sehr dünnen und leichten Weltraum-Zellen des Hahn-Meitner-Instituts nutzen einen Halbleiter aus den Elementen Kupfer, Indium, Gallium und Selen, „CIGSe-Zelle“ genannt. Die einzelnen Zellen sind kaum so groß wie Scheckkarten. In Satellitenmissionen werden sie zu Modulen zusammengefasst. Die Gewichtseinsparung, die die Zellen des HMI erzielen, ist vor allem deshalb wichtig, weil für neue große Satellitenplattformen, insbesondere in der Telekommunikation, die Energieversorgung auf etwa 14 bis 25 Kilowatt nahezu verdoppelt werden soll. ■

Foto: Landesarchiv Berlin



ihre Leistung verlieren. Um das zu verhindern, werden diese Zellen mit einem Schutzglas versehen, das wieder Gewicht und damit Geld kostet. Die „lockere“ Struktur des polykristallinen Materials ist dagegen viel unempfindlicher gegen den heftigen Teilchenschauer des Weltalls – ein Schutzglas ist nicht nötig.

Kleinerer Wirkungsgrad – größere Flügel

Axel Neisser und Christian Kaufmann sind sich sicher, dass sie die Leistung der neuen Titan-Dünnschicht-Solarzellen von derzeit 13,8 auf 15 Prozent Ausnutzung des Sonnenlichtes steigern können. Damit liegt sie allerdings immer noch unter der von herkömmlichen Silizium- und Gallium-Arsenid-Solarzellen, die immerhin einen Wirkungsgrad von deutlich über 20 Prozent aufweisen. Daher müssen Solarflügel für Satelliten aus dem neuen Material wesentlich größer werden. „Doch das ist nicht tragisch“, sagen die Forscher. Denn die größeren Solarflügel sind nicht nur um vieles leichter als die herkömmlichen, sondern auch erheblich billiger. Umgerechnet auf die Erzeugung von einem Watt elektrischer Leistung im Weltraum kostet die Herstellung bei den herkömmlichen Zellen rund 300 Euro – bei den neuartigen Solarzellen belaufen sich diese Kosten nur noch auf etwa 35 Euro.

Bevor in naher Zukunft die Serienproduktion von Paneelen mit den neuen Solarzellen beginnen kann, ist für die Berliner Forscher noch einiges zu tun: Auf einer Satellitenmission werden sie ihre flexiblen Dünnschicht-Solarzellen und die daraus zusammengebauten Module erstmals realen Testbedingungen unterwerfen. Parallel dazu wollen sie die Zellen durch angepasste Beschichtungs- und Kontaktierungsverfahren zum leistungsfähigen Serienprodukt weiterentwickeln.

Dr. Malte Römer

Wissenschaftsjournalist, Berlin

Thomas Robertson

Pressereferent, Hahn-Meitner-Institut, Berlin



Europa baut für Greifswald

Das Fusionsexperiment Wendelstein 7-X nimmt Formen an.

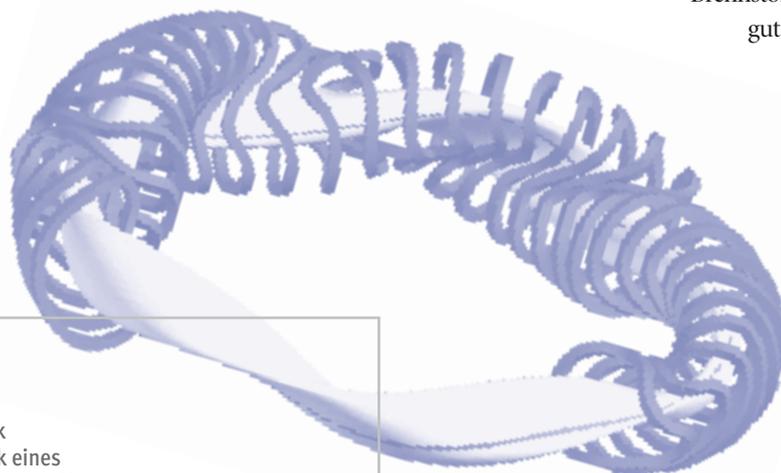
Ein Beitrag aus dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching

Firmen und Institute aus ganz Europa arbeiten an den Komponenten für das weltgrößte Fusionsexperiment vom Typ Stellarator in Greifswald. Die ersten Bauteile sind inzwischen angekommen: Magnetspulen, Teile des Plasmagefäßes und zwei Mikrowellensender für die Plasmaheizung. Im Jahr 2010 soll Wendelstein 7-X in Betrieb gehen.

Mehr als 800 Kilometer vom Mutterinstitut in Garching bei München entfernt entsteht Wendelstein 7-X. Benannt ist die Anlage wie ihre Vorgänger nach einem Berg in den Bayerischen Alpen – aufgebaut wird sie jetzt nahe der Ostseeküste in Greifswald. Hier hat das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) 1994 ein Teilinstitut gegründet. Beide Einrichtungen verfolgen das-

selbe Ziel: die Energieproduktion der Sonne auf der Erde nachzuahmen.

Ein Fusionskraftwerk soll Energie aus der Verschmelzung von Atomkernen gewinnen. Fusionsleistungen von mehreren Megawatt sind inzwischen realisierbar. Weil das Fusionsfeuer erst bei einer Temperatur von über 100 Millionen Grad zündet, muss der Brennstoff, ein dünnes Wasserstoff-Plasma, gut wärmeisoliert werden und darf nicht in Kontakt mit materiellen Wänden kommen. Von Magnetfeldern gehalten, schwebt das Plasma daher nahezu berührungsfrei im Inneren einer Vakuumkammer. Für diesen ma-



Die Computergrafik zeigt das Herzstück eines Stellarator-Experiments: Magnetspulen, die das heiße Plasma in einem Käfig einschließen.

Grafik: IPP



Energie



Foto: IPP

Teil des Plasmagefäßes für Wendelstein 7-X. Zwanzig dieser Elemente werden zu einem ringförmigen Gefäß zusammengefügt. Die Öffnungen machen das Plasma für Heizung, Pumpen und Messgeräte zugänglich.

netischen Käfig gibt es zwei alternative Bauarten: Tokamak und Stellarator. „Noch haben die Tokamaks die Nase vorn“, gibt Professor Friedrich Wagner zu; er ist ehemaliger Tokamak-Physiker und jetziger Leiter der „Unternehmung Wendelstein 7-X“. Nur mit einem Tokamak traut man sich heute ein brennendes Plasma zu und, wie mit dem internationalen Test-Reaktor ITER angepeilt, eine Fusionsleistung von 500 Megawatt.

Die Stärken des Stellarators

„Aber“, so Professor Wagner, „das Stellarator-Prinzip lässt Stärken erwarten, wo Tokamaks Schwächen zeigen“: Tokamaks können ohne Zusatzmaßnahmen nur gepulst arbeiten, Stellaratoren dagegen sind für den Dauerbetrieb geeignet. Denn ihr magnetischer Käfig entsteht, anders als beim Tokamak, allein durch Magnetspulen außerhalb des Plasmabereichs.

Von den insgesamt 50 Magnetspulen, die Wendelstein 7-X benötigt, wurden fünf bereits ausgeliefert. Ihre bizarren Formen sind das Ergebnis ausgefeilter Optimierungsrechnungen der Gruppe „Stellarator-Theorie“ und ihrer über zehnjährigen Suche nach einem besonders stabilen und wärmeisolierenden magnetischen Käfig.

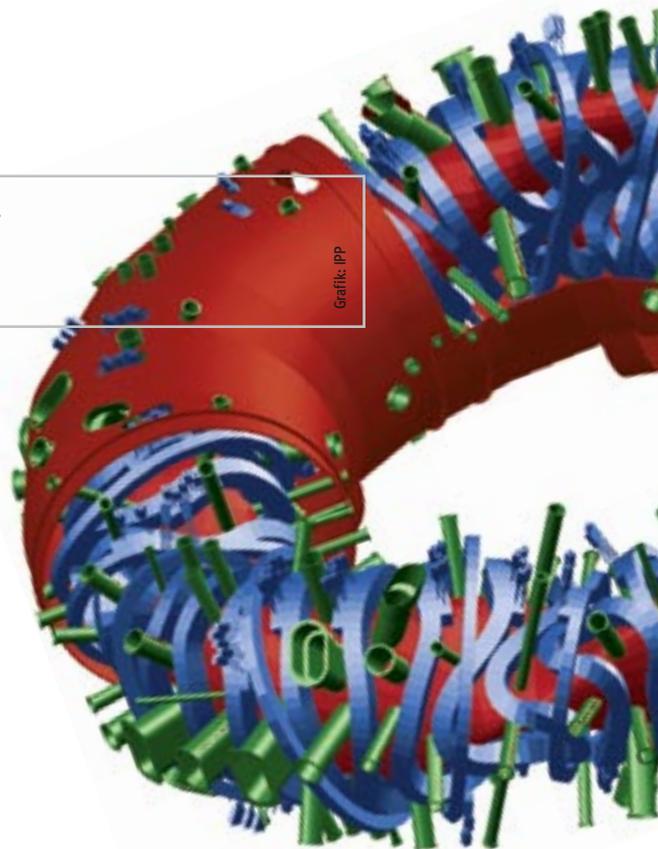
Die Magnete für Wendelstein werden aus supraleitenden Stromkabeln gewickelt statt wie bisher aus Kupferdraht. Auf tiefe Temperaturen abgekühlt, verbrauchen sie kaum Energie. „Speziell für Wendelstein 7-X haben wir ein flexibles supraleitendes Kabel aus Niob-Titan mit Aluminiumhülle entwickelt“, erläutert Dr. Manfred Wanner, der als Leiter der Abteilung „Basismaschine“ für den Bau der Komponenten verantwortlich ist. „Der große Vorteil: Im weichen Ausgangszustand kann es in Formen eingelegt und dann durch Erwärmen ausgehärtet werden.“ Im Betrieb wird es mit flüssigem Helium, das im Inneren fließt, auf Supraleitungstemperatur von 3,4 Kelvin bis nahe an den absoluten Nullpunkt abgekühlt.



Energie

Wendelstein 7-X im Schema: im Inneren das Plasmagefäß, auf das die Magnetspulen (blau) aufgefädelt sind, umhüllt durch die äußere Kryostat-Hülle. Zahlreiche Stützen (grün) führen durch den kalten Spulenbereich.

Grafik: IPP



IPP

Aus insgesamt 50 Kilometern Kabel entstehen beim deutsch-italienischen Konsortium Babcock Noell Nuclear/Ansaldo in Zeitz, Augsburg und Genua die Spulen. Um die Sollform innerhalb weniger Millimeter einzuhalten, müssen die Leiterwindungen sehr präzise in ihre Wickelform gepresst werden. Zur elektrischen Isolation wird der Leiter mit Glasfaserbändern umwunden, das gesamte Wickelpaket mit Epoxidharz versteift und schließlich in massive Stahlgehäuse eingeschweißt.

Bizarre Formen in Stahl

Bereits Ende letzten Jahres lieferte die MAN DWE in Deggendorf die ersten zwei der insgesamt 20 Sektoren des Plasmagefäßes nach Greifswald. Zu einem verwundenen Ring mit rund zwölf Metern Durchmesser zusammengesetzt, folgt die Gefäßform millimetergenau dem gewundenen Plasmaschlauch. Um die eigenwillige Form in Stahl nachzubilden, besteht das Gefäß aus 200 einzelnen Ringen. Jeder Ring wird aus mehreren fingerdicken und handbreiten Stahlblechstreifen zusammengesetzt, welche die geschwungenen Konturen nachformen. Vier der 20 Sektoren sind bislang auf diese Weise entstanden.

Später wird eine Hülle mit 15 Metern Durchmesser das Plasmagefäß umschließen, in der das gesamte Spulensystem untergebracht ist: Der Raum zwischen Plasma- und Außengefäß wird luftleer gepumpt und in Superisulationsfolie eingepackt. Eine Kälteanlage wird die Magnete dort auf Supraleitungstemperatur kühlen. Damit das

Fortsetzung auf Seite 62

Fusionsexperiment Typ Tokamak



Dieses Prinzip, die Plasmen magnetisch einzuschließen, ist weltweit am besten erforscht. Tokamaks bauen einen Teil des Magnetfeldes durch einen im Plasma fließenden Strom auf, den ein Transformator pulswise darin erzeugt. Tokamaks können deshalb ohne Zusatzmaßnahmen nur in Pulsen arbeiten. Das IPP betreibt in Garching den ASDEX Upgrade nach dem Tokamak-Prinzip. Das europäische Gemeinschaftsexperiment JET und der internationale Testreaktor ITER, über dessen Bau in diesen Tagen entschieden wird, gehören ebenfalls in diese Bauklasse. ■

Fusionsexperiment Typ Stellarator

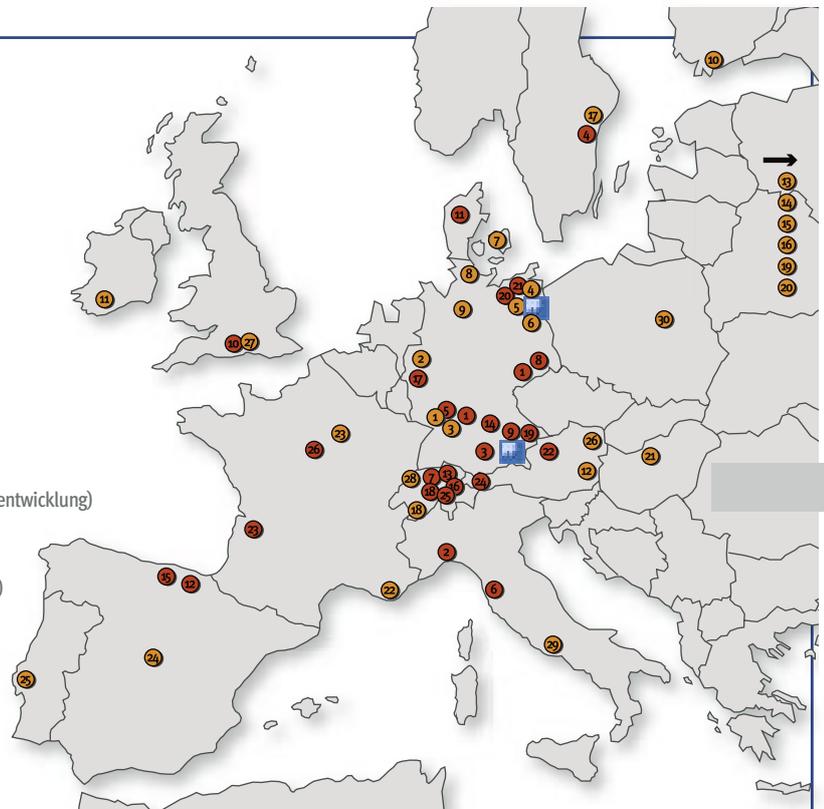


Der große Vorteil des Stellarators gegenüber dem Tokamak ist die Fähigkeit zum Dauerbetrieb. In Stellaratoren entsteht der „magnetische Käfig“ ohne Plasmastrom allein durch Magnetspulen außerhalb des Plasmabereichs. Mit „Wendelstein 7-X“ wird im IPP-Teilinstitut Greifswald das weltweit größte und am weitesten fortgeschrittene Experiment dieses Typs realisiert. ■

Firmen in ganz Europa stellen die einzelnen Komponenten für Wendelstein 7-X her, zahlreiche Forschungseinrichtungen tragen zum Aufbau der Anlage bei. ■

Forschungseinrichtungen:

- 1 Forschungszentrum Karlsruhe (Gyrotron-Entwicklung)
- 2 Forschungszentrum Jülich (Spulenverbindungen, Materialtests, Diagnostikentwicklung)
- 3 Universität Stuttgart (Mikrowellen-Übertragungssystem)
- 4 Universität Greifswald (Kinetik partiell ionisierter Plasmen)
Institut für Niedertemperatur-Plasmaphysik, Greifswald (Elektronenkinetik)
- 5 Universität Rostock
(FE- und Wirbelstromberechnungen, Werkstoffprüfungen)
- 6 Fachhochschule Neubrandenburg (Vermessungsaufgaben)
- 7 RISØ, Roskilde/Dänemark (Modellierung von Plasmaturbulenzen)
- 8 Universität Kiel (Sondenentwicklung, Turbulenzforschung)
- 9 Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (Spektroskopie, Neutronenflussmessung)
- 10 University of Technology, Helsinki/Finnland (Diagnostikentwicklung)
- 11 Universität Cork/Irland (Schnelle Dateninterpretationstechniken)
- 12 Universität Graz/Österreich (Kinetische Theorie)
- 13 Institute of Applied Physics, Nizhny Novgorod/Russland
(Kollektive Thomson-Streuung)
- 14 IOFFE Institute, St. Petersburg/Russland (Neutralteilchen-Analyse)
State Technical University, St. Petersburg/Russland
(Verunreinigungspellet-Injektion)
Efremov Institute, St. Petersburg/Russland (Festigkeitsberechnung)
- 15 Kurchatov Institute, Moskau/Russland
(Theorie optimierter Stellaratoren)
- 16 Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk/Russland
(Entwicklung Diagnostikinjektor)
- 17 Alfvén-Labor, Stockholm/Schweden
(Entwicklung der Neutronen-Diagnostik)
- 18 CRPP, Lausanne/Schweiz (Magnetische Einschlusskonzepte)
- 19 Institute of Physics, Kharkov/Ukraine (Fokker-Planck-Code)
Karazin National University, Kharkov/Ukraine (Ionenverunreinigungstransport)
- 20 Scientific Centre Kiev/Ukraine (Schnelle Ionen in toroidalen Fusionsanlagen)
- 21 KFKI Budapest/Ungarn (Lithiumstrahl-Diagnostik)
- 22 CEA Cadarache/Frankreich
(Mikrowellentechnologie, wärmebelastete Komponenten)
- 23 CEA Saclay/Frankreich (Test der supraleitenden Spulen)
- 24 CIEMAT, Madrid/Spainien (Kinetische Theorie, Industriebetreuung)
- 25 IST, Lissabon/Portugal (Diagnostik und Datenerfassung)
- 26 Atominstitut der Österreichischen Universitäten, Wien
(Betreuung der Spulenfertigung)
- 27 UKAEA, Culham/Großbritannien (Vermessungsaufgaben)
- 28 Paul-Scherrer Institut, Villigen/Schweiz (Test von Spulenverbindungen)
- 29 ENEA, Rom/Italien (Ingenieurtechnische Unterstützung)
- 30 Technische Universität Warschau/Polen (Strukturmechanische Berechnungen)



Industrieunternehmen:

- 1 BNN, Würzburg und Zeitz (Nichtplanare Spulen, Regelspulen)
- 2 Ansaldo, Genua/Italien (Nichtplanare Spulen: Wickelpakete)
- 3 ABB, Augsburg (Nichtplanare Spulen: Wickelpakete)
- 4 Oesterby, Oesterbybruck/Schweden (Gehäuse der nichtplanaren Spulen)
- 5 EAS, Hanau (Supraleiter)
- 6 Outokumpu, Fornaci di Barga/Italien (Supraleiter)
- 7 Alu Menziken, Menziken/Schweiz (Supraleiter)
- 8 PEM, Schwarzenberg (Spulenbearbeitung)
- 9 C-Con, Rottenburg an der Laaber (Spulenvermessung)
- 10 Tesla, Storrington/Großbritannien (Ebene Spulen)
- 11 Erik Roug A/S, Herning/Dänemark (Heliumspeicher)
- 12 JEMA, Lasarte-Oria/Spainien (Stromversorgung der Regelspulen)
- 13 Thales, Turgi/Schweiz (Hochspannungsgleichstrom-Versorgungsanlage)
- 14 Siemens, Erlangen (Hochspannungsgleichstrom-Versorgungsanlage)
- 15 ENSA, Maliano/Spainien (Stütz- und Tragstruktur)
- 16 ABB, Turgi/Schweiz (Stromversorgung der Magnetspulen)
- 17 Messer Griesheim, Krefeld (Speichertanks für Flüssigstickstoff und -helium)
- 18 Romabau, Weinfelden/Schweiz (Gefäßstützen)
- 19 MAN-DWE, Deggendorf
(Plasma- und Außengefäß, thermische Isolation, Wandauskleidung)
- 20 RST, Rostock (Spulenauffädeleinheit)
- 21 AKB, Greifswald (Montagestand II)
- 22 SAS, Linz/Österreich (Vormontagestände Ia/Ib)
- 23 Snecma Moteurs, Le Haillan Cedex/Frankreich (Faserverstärkter Kohlenstoff)
- 24 Plansee, Reutte/Österreich (Targetelemente)
- 25 Linde Kryotechnik, Pfungen/Schweiz (Heliumkälteanlage)
- 26 Thales, Velizy/Frankreich (Gyrotrons)

Plasma im Innern beobachtet und geheizt werden kann, besitzen Innen- und Außengefäß zahlreiche Öffnungen: „Knapp 300 war das Maximum; mehr Löcher konnten wir den Physikern nicht zugestehen“, erklärt Dr. Wanner. Denn für jedes Loch muss ein Stutzen wärmeisoliert zwischen den Spulen hindurchgeführt werden, um die Öffnungen im Plasmagefäß vakuumdicht mit der Außenhülle zu verbinden.

Die Aufgabe, das Plasma zu heizen, werden später hauptsächlich zehn Mikrowellensender übernehmen – so genannte Gyrotrons. Sie pumpen

Mikrowellen im Dauerbetrieb in das Plasma. Das Forschungszentrum Karlsruhe hat die Gesamtverantwortung für das Mikrowellen-Heizsystem übernommen. Und von Karlsruhe koordiniert, hat die französische Firma Thales Electron Devices bereits ein Prototyp-Gyrotron hergestellt. Ein weiteres Gyrotron hat Communications & Power Industries in den USA gebaut. Beide sind mit 1.000 Kilowatt Leistung die leistungsstärksten kontinuierlich arbeitenden Mikrowellensender weltweit.

Montagetest bestanden: In ein drehbares Gestell eingehängt, wird eine der sechs Tonnen schweren Magnetspulen über das Plasmagefäß gefädelt.

IPP



Foto: IPP

Millimeterarbeit mit sechs Tonnen

Zurzeit arbeiten die Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker in Greifswald daran, die Montage vorzubereiten. Das testweise Aufhängen einer der sechs Tonnen schweren Magnetspulen auf das Plasmagefäß, eine heikle Millimeterarbeit, hat bereits reibungslos geklappt.

Professor Wagner ist optimistisch: „Erstmals wird die Einschluss-Qualität der eines Tokamak ebenbürtig. Wendelstein 7-X soll zeigen, dass auch Stellaratoren kraftwerkstauglich sind.“ Und mit 30 Minuten langen Entladungen soll er ihr wesentliches Plus vorführen: den Dauerbetrieb.

Entscheidend für den 2010 geplanten Betriebsbeginn: Alle Bauteile müssen termingerecht fertig werden. „Bei so komplexen Anlagen ist bereits die industrielle Fertigung und der Aufbau ein Experiment für sich. In zahlreichen Sparten betreten wir Neuland“, erläutert Dr. Wanner. Doch die Mühe zahlt sich doppelt aus, denn „die mit Wendelstein 7-X gewonnenen Erfahrungen, vor allem bei der Supraleitung, werden auch für den internationalen Testreaktor ITER von großem Nutzen sein.“

Isabella Milch

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik
Garching bei München



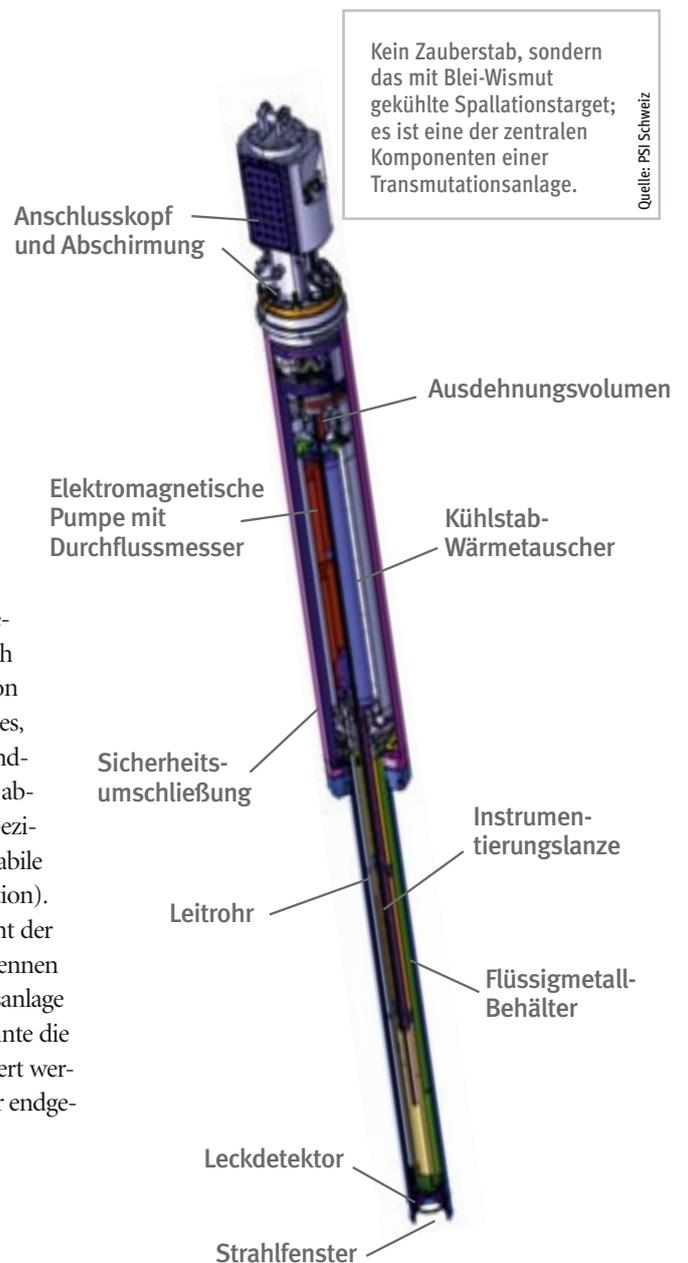
Die Verwandlung

Forscher aus ganz Europa kooperieren, um das Gefahrenpotenzial von hochradioaktivem Abfall durch Transmutation entscheidend zu verringern.

Ein Beitrag aus dem Forschungszentrum Karlsruhe

Kernkraftwerke produzieren heute rund ein Drittel der elektrischen Energie, die Menschen in der Europäischen Union verbrauchen. Dabei entstehen jährlich etwa 450 Tonnen abgebrannter Kernbrennstoffe, die auch langlebige radioaktive Elemente wie Plutonium und Minore Actiniden enthalten. Diese müssen bis zu einer Million Jahre sicher gelagert und von der Umwelt isoliert werden. Das Forschungszentrum Karlsruhe untersucht gemeinsam mit europäischen Partnern, wie man solche geologischen Zeiträume auf historische von einigen hundert Jahren verkürzen kann.

Im Visier der Wissenschaftler stehen dabei die Möglichkeiten, die sich durch Partitioning und Transmutation ergeben. Das Ziel dieser Strategie ist es, die langlebigen radiotoxischen Bestandteile des radioaktiven Abfalls gezielt abzutrennen (Partitioning) und in speziellen Anlagen in kurzlebige oder stabile Elemente umzuwandeln (Transmutation). Gelingt es den Forschern, 99,9 Prozent der hochradioaktiven Elemente abzutrennen und in einer solchen Transmutationsanlage vollständig umzuwandeln: Dann könnte die Zeit auf wenige hundert Jahre reduziert werden, die der verbleibende Abfall sicher endgelagert werden muss.



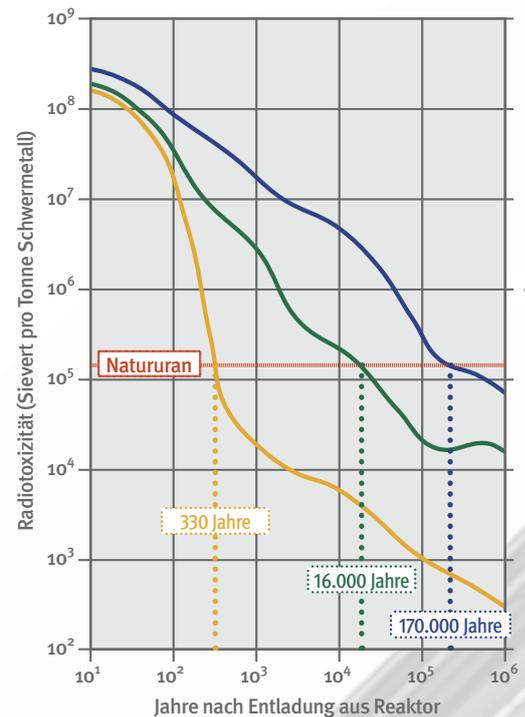
Bei direkter Endlagerung des radioaktiven Abfalls ohne Behandlung dauert es 170.000 Jahre, bis seine Radiotoxizität der von Natururan entspricht (blaue Kurve). Werden 99,9 Prozent des Plutoniums und des Urans aus dem gesamten radioaktiven Abfall abgetrennt und transmutiert, so wird dieser Wert nach 16.000 Jahren erreicht (grüne Kurve). Werden 99,9 Prozent des Plutoniums, des Urans und zusätzlich der Minoren Actiniden aus dem gesamten radioaktiven Abfall abgetrennt und transmutiert, so dauert es nur etwa 330 Jahre, bis der Wert von Natururan erreicht wird (gelbe Kurve).

Eine wissenschaftliche Herausforderung

Die Europäische Union hat die sichere Behandlung radioaktiver Abfälle als ein Schlüsselthema der Europäischen Forschungsförderung definiert. Ihre Position: Die nukleare Entsorgung liegt in der Verantwortung der heutigen Generation und muss auch von dieser gelöst werden. Aktuell beschäftigen sich Wissenschaftler aus 14 europäischen Ländern mit Transmutation in so genannten unterkritischen Beschleuniger getriebenen Systemen.

Ein Beschleuniger getriebenes System besteht aus drei Hauptkomponenten: einem Beschleuniger für Protonen, einem Spallationstarget, in dem die Protonen beim Auftreffen auf ein schweres Metall durch Spallationsreaktionen externe Neutronen erzeugen, und ei-

- Gesamter radioaktiver Abfall bei direkter Endlagerung ohne Transmutation
- Verbleibender radioaktiver Abfall nach Abtrennung und Transmutation von 99,9% des Plutoniums und des Urans
- Verbleibender radioaktiver Abfall nach Abtrennung und Transmutation von 99,9% des Plutoniums, Urans und der Minoren Actiniden



Quelle: FZK

Europäische Forschungskooperation zur Transmutation



Das Interesse an der Transmutation ist groß in Europa. An einer Machbarkeitsstudie für eine Transmutationsanlage arbeitet ein Konsortium von etwa 50 Partnern aus Industrie, Forschung und Universitäten. Gefördert wird ihr Vorhaben aus dem 6. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union. Aus der Helmholtz-Gemeinschaft beteiligen sich das Forschungszentrum Karlsruhe (FZK), das Forschungszentrum Jülich (FZJ) und die Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI). Außerdem mit dabei auf deutscher Seite sind das Forschungszentrum Rossendorf (FZR), die Universitäten Bochum und Frankfurt sowie für die Industrie die Framatome ANP.

Das Ziel der Forscherinnen und Forscher in dem auf vier Jahre angesetzten europäischen Projekt ist es, ein grundsätzliches Anlagenkonzept auszuarbeiten sowie die Machbarkeit und Effektivität einer Transmutationsanlage zu bewerten. Auf der Basis einer solchen Machbarkeitsstudie können dann Wirtschaft, Politik und Gesellschaft darüber entscheiden, wie Partitioning und Transmutation weiter verfolgt werden sollen. Entschieden werden muss beispielsweise darüber, ob eine experimentelle Demonstrationsanlage in Europa errichtet wird. Die europäischen Arbeiten sind mit vergleichbaren Vorhaben in den USA, in Japan und in der Republik Korea vernetzt.

Die wesentlichen ersten Schritte haben die Wissenschaftler bereits getan: Der physikalisch-experimentelle Nachweis der Transmutation einzelner Radionuklide ist gelungen, verbesserte Abtrennverfahren und grundlegende Technologien wurden im Labormaßstab erprobt. Jetzt wollen die Forscherinnen und Forscher im Modellmaßstab experimentell nachweisen, dass die zentralen Einzelkomponenten realisierbar sind. Ein Meilenstein ist dabei die erstmalige Kopplung eines Beschleunigers, eines Spallationstargets und eines unterkritischen Blankets. Dieses internationale Experiment wird wesentliche Einblicke in das dynamische Verhalten dieses gekoppelten Systems geben.



Blick in das Flüssigmetalllabor KALLA am Forschungszentrum Karlsruhe. Es ist das größte Anwenderlabor für Flüssigmetalltechnologie in Europa.

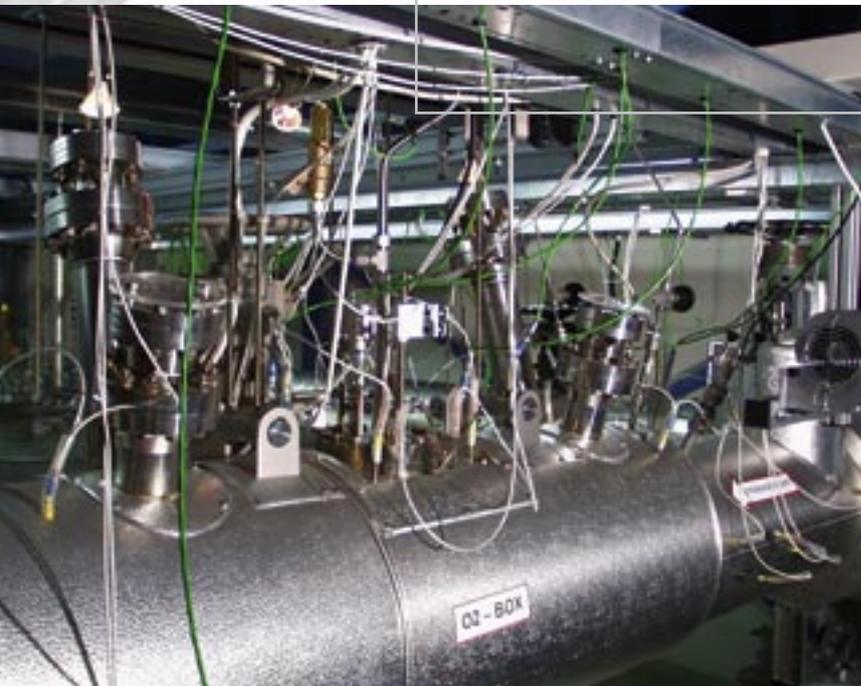


Foto: FZK

Ganz vorne dabei: Technologie aus Karlsruhe

Das Forschungszentrum Karlsruhe beteiligt sich mit den Schwerpunkten Entwicklung von Sicherheitssystemen und Bewertung des Transmutationspotenzials an der EU-geförderten Machbarkeitsstudie für eine Transmutationsanlage. Außerdem arbeiten die Forscherinnen und Forscher an der neutronenphysikalischen und thermohydraulischen Auslegung wesentlicher Komponenten der Anlage: dem unterkritischen Blanket, dem Spallationstarget und dem Wärmeabfuhrsystem. Besondere Expertise bringen die Karlsruher Forscher in der Thermohydraulik, bei Strukturmaterialien und beim Korrosionsschutz ein: Zu diesen Themen wurde Ende der 90er Jahre im Rahmen eines Strategiefonds-Projekts der Helmholtz-Gemeinschaft das Flüssigmetalllabor KALLA aufgebaut, das heute das europäische Kompetenzzentrum für Flüssigmetalltechnologie ist.

Sicher und effektiv

Ein Vorteil des Beschleuniger getriebenen Systems sind seine Sicherheitseigenschaften: Im Blanket setzen die Reaktionen automatisch aus, wenn der Beschleuniger abgeschaltet und damit die Neutronenzufuhr von außen gestoppt wird. Zudem haben Studien ergeben, dass sich der Einsatz Beschleuniger getriebener Anlagen lohnt: Pro Betriebsjahr können in einer modularen Einheit mit 300 Megawatt thermischer Leistung etwa 100 Kilogramm Plutonium und Minore Actiniden vernichtet werden.

nem neutronisch unterkritischen Blanket, in dem sich der zu transmutierende hochradioaktive Abfall befindet. Bei abgeschaltetem Beschleuniger findet im Blanket also keine sich selbst erhaltende Kettenreaktion statt. Erst die in das Blanket fliegenden externen Neutronen lösen Spaltungsreaktionen aus, so dass thermische Energie und zusätzliche interne Neutronen freigesetzt werden. Diese internen Neutronen führen zu der gewünschten Transmutationsreaktion und somit zur Umwandlung von nicht spaltbaren Isotopen in spaltbare.

In einer solchen Transmutationsanlage werden die Protonen über ein Strahlrohr, das am Ende in der Regel durch ein Strahlfenster aus Edelstahl verschlossen ist, in das Spallationstarget hineingeschossen. Als Spallationsmaterial und als Kühlmittel werden das schwere Flüssigmetall Blei oder das bei niedrigerer Temperatur schmelzende Blei-Wismut eingesetzt.

Dr.-Ing. Joachim U. Knebel

Leiter Programm Nukleare Sicherheitsforschung
Forschungszentrum Karlsruhe



Angriff der Parvoviren

Deutsch-französische Krebsforschung geht in die zweite Runde.

Ein Beitrag aus dem Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg

Wie Viren als Krebskiller eingesetzt werden können, das untersuchte zwölf Jahre lang eine deutsch-französische Kooperation am Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) – mit Erfolg. Das Projekt wird jetzt fortgesetzt, um die neuen Erkenntnisse zum klinischen Einsatz zu bringen.



Foto: DKFZ

Die erste Inserm-Forschungseinheit außerhalb Frankreichs ist mit großem Erfolg abgeschlossen worden. Jetzt startet in Heidelberg die zweite Runde der deutsch-französischen Kooperation.

1992 startete im Deutschen Krebsforschungszentrum ein außergewöhnliches Experiment: Das französische Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (Inserm) gründete im Heidelberger DKFZ seine erste Dépendance außerhalb des Mutterlands. Der Leiter des neu entstandenen Kooperationsprojekts, Professor Jean Rommelaere, war damit in Personalunion Direktor der Unité de Recherche 375 und Leiter der Abteilung Tumorstudiologie des Krebsforschungszentrums. Rommelaere, gebürtiger Belgier, konnte Inserm-Mitarbeiter in Heidelberg einstellen. So entstand nach kurzer Zeit eine international besetzte Arbeitsgruppe.

Jean Rommelaere hatte aus Frankreich ein neues Forschungsprojekt mit an den Neckar gebracht: Im Krebsforschungszentrum war die virologische Forschung bis dahin hauptsächlich auf die unheilvolle Rolle



Foto: DKFZ

„Seit ich in Heidelberg bin, haben Wissenschaftler aus fast 20 verschiedenen Nationen in meinem Labor gearbeitet. Ich glaube, dass wir für Gaststudenten und -wissenschaftlicher Aufgeschlossenheit signalisieren und so dem Brain Drain weg aus Europa entgegenwirken. Dass Englisch die Umgangssprache bei allen Gruppentreffen und Seminaren ist, bedeutet für Studenten außerdem ein hervorragendes Training für ihre wissenschaftliche Karriere!“

Jean Rommelaere

einiger Viren bei der Krebsentstehung konzentriert. Der belgische Virologe hatte aber bereits 1982 gezeigt, dass bestimmte Viren genau den gegenteiligen Effekt haben: Parvoviren, mit ihren nur 20 millionstel Millimetern Durchmesser wahre Wesen aus der Nanowelt, bevorzugen für ihre Vermehrung ausschließlich Zellen, die sich gerade teilen. Dafür finden sie in schnell wachsenden Tumoren paradiesische Zustände vor; in ausdifferenzierterem, gesundem Gewebe dagegen vermehren sie sich nicht.

Rommelaere erkannte das Potenzial der Parvoviren für die Krebstherapie schnell: Bei Experimenten in der Kulturschale brachten die Winzlinge Krebszellen zum Absterben, in Mäusen verhinderten sie das Entstehen von Tumoren. Auch weitere Eigenschaften machten sie zu spannenden Kandidaten für die Krebsforschung. Sie rufen keine ernsthafte Erkrankung hervor, und sie bauen ihr Erbgut nicht in das Genom der infizierten Zellen ein, so dass das Risiko, wachstumsfördernde Gene zu aktivieren, gering ist.

Zweite Runde: Virustherapie!

Die Heidelberger Inserm-Einheit spezialisierte sich auf zwei Parvoviren, studierte und rüstete sie auf (mehr dazu im Kasten Seite 69) und entwickelte sie so zu einer echten Waffe gegen Krebszellen. Als 2004 die Uhr für die Inserm-Forschungseinheit abgelaufen war, läuteten Rommelaere und seine Mitarbeiter daher mit gutem Grund die nächste Runde ihrer deutsch-französischen Kooperation ein: Im Rahmen einer zweiten Inserm-„Unité“ mit dem Namen Krebs-Virotherapie wollen die Forscher nun die Früchte ihrer Zusammenarbeit in klinische Anwendungen umsetzen.

In der ersten Inserm-Einheit standen die zellbiologischen Grundlagen des krebsabtötenden Effekts im Mittelpunkt. Jetzt wollen die Virologen die reine Grundlagenforschung hinter sich lassen. Die Virustherapie, so die Überlegung der Wissenschaftler, könnte vor allem Patienten zugute kommen, die an Tumoren erkrankt sind, bei denen heute verfügbare Behandlungsmethoden wenig ausrichten können.

Das Glioblastom ist ein dramatisches Beispiel dafür. Patienten, bei denen dieser Hirntumor festgestellt wird, haben eine äußerst schlechte Prognose. Der Krebs, der von Zellen des Nervenstützgewebes ausgeht, wächst korallenstockartig in das umgebende Nervengewebe ein. Vollständige chirurgische Entfernung und gezielte Bestrahlung gelingen deshalb kaum. Auch Chemotherapie ist wenig erfolgreich, da die Zellgifte die Blut-Hirn-Schranke schlecht passieren. Das ist eine Art Filter in den Blutgefäßwänden

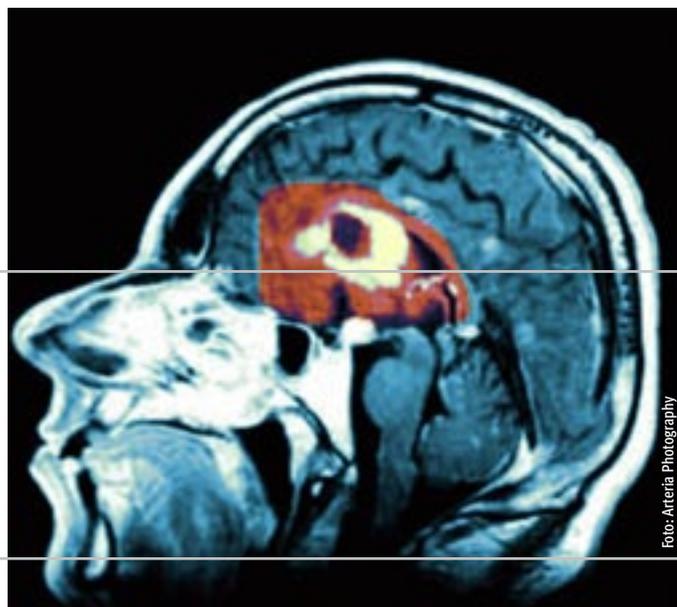


Foto: Artéria Photography

Patienten, bei denen ein Glioblastom festgestellt wird, haben bisher eine äußerst schlechte Prognose. Mit Parvoviren könnte sich das ändern.



des Gehirns, der nur für bestimmte Substanzen durchlässig ist. Die chemotherapeutischen Substanzen gelangen nicht in ausreichender Konzentration an ihren Wirkungsort.

Neue Hoffnung dank Parvoviren

Gemeinsam mit Ärzten der Neurochirurgischen Universitätskliniken Heidelberg und Freiburg betrat Rommelaere und Mitarbeiter experimentelles Neuland in der Therapie des Glioblastoms. Die Wissenschaftler testeten das Parvovirus H-1 auf Zellen aus dem Tumorgewebe von Glioblastom-Patienten. Die Ergebnisse zeigten, dass die Viren Glioblastomzellen wirksam infizieren und töten. Im nicht-teilungsaktiven, gesunden Hirngewebe dagegen scheint das Virus keinen Schaden anzurichten: Bei Untersuchungen an Ratten zeigten sich bei ausgewachsenen Tieren keinerlei Entzündungsreaktionen oder Krankheitssymptome nach einer Virusinjektion ins Gehirn. Nur in den Gehirnen neugeborener Tiere, die sich noch im Wachstum befinden, kann H-1 Schaden anrichten.

Das Glioblastom ist ein geeignetes Modell, um den Einsatz der krebstötenden Viren zu erproben, da es fast immer auf das Gehirn beschränkt ist und nicht in andere Organe metastasiert. Jedoch siedeln sich oft schon zu einem frühen Zeitpunkt Zellen aus dem Krebsherd ab und wachsen an anderer Stelle im Gehirn zu Tochter Tumoren aus. Auch diese Zellen auf Abwegen mit der Virustherapie zu erreichen, ist das nächste Ziel der Wissenschaftler. Dabei setzen sie auf eine kombinierte Infektion mit Wildtyp- und genveränderten, das Immunsystem anregenden H-1 Viren.

Neue Ziele im Visier

Jean Rommelaere plant für die nahe Zukunft eine Ausweitung der präklinischen Versuche auf andere Krebsarten. Voruntersuchungen haben gezeigt, dass Parvoviren unter anderem auch Zellen des Bauchspeicheldrüsenskrebses zerstören. Aber bis erste

klinische Prüfungen der therapeutischen Viren in Angriff genommen werden können, müssen die Forscher noch eine ganz andere Hürde nehmen: Die therapeutischen Viren müssen unter klar definierten Bedingungen produziert werden, die höchsten Standards der Hygiene und der biologischen Sicherheit genügen. Dies wird für alle biotechnisch produzierten Substanzen, Impfstoffe oder Zellen verlangt, die an Menschen eingesetzt werden sollen. Eine Virenzucht unter solchen Bedingungen bedeutet erheblichen technischen und finanziellen Aufwand, den Inserm und das Deutsche Krebsforschungszentrum nun gemeinsam schultern wollen.

DKFZ

Elektronenmikroskopische Aufnahme von Parvoviren.

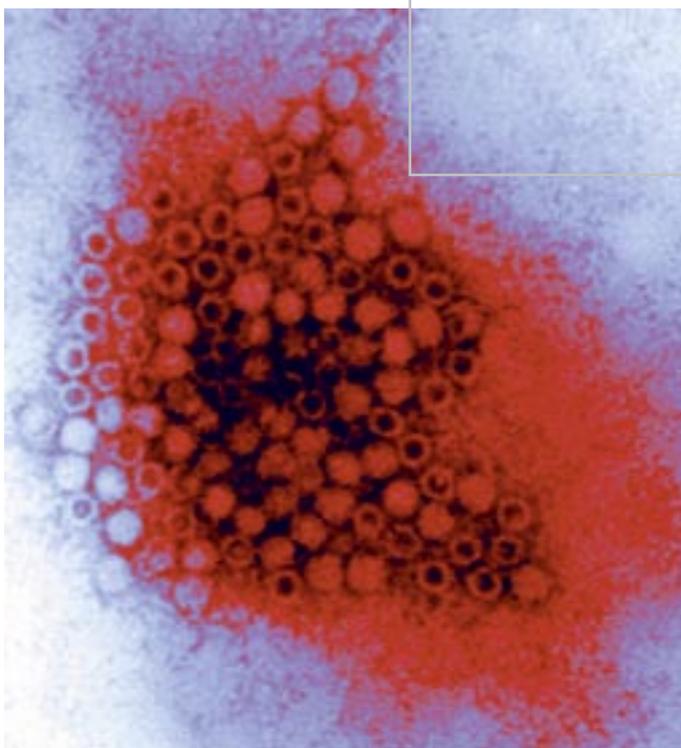


Foto: Arteria Photography

Parvovirus gegen Krebszelle



Um die zellbiologischen Grundlagen der Parvoviren und ihr Potenzial für die Krebstherapie zu untersuchen, wählte Rommelaere zu Beginn seiner ersten Inserm-Unité zwei Parvoviren, die zwar normalerweise Nagetiere befallen, aber auch für menschliche Zellen infektiös sind: das MVM- und das H-1-Virus. Beide sind Vertreter der so genannten autonomen Parvoviren. Diese Virengruppe kann sich selbstständig in der Wirtszelle vermehren. Im Gegensatz dazu benötigen ihre Vettern, die Dependoviren, die Unterstützung durch eine zweite Virusinfektion derselben Zelle.

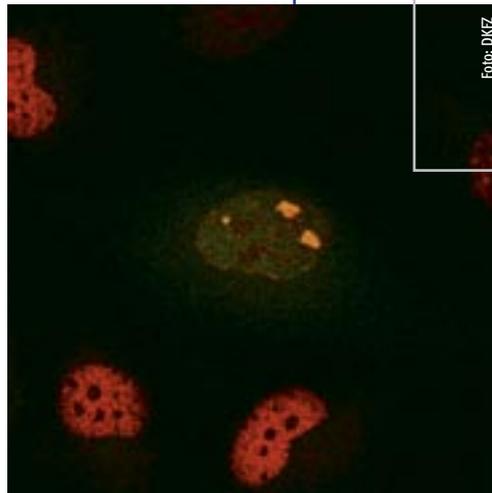
Nur autonome Parvoviren sind in der Lage, Krebszellen abzutöten. Die zellbiologischen Grundlagen für diesen so genannten onkolytischen Effekt zu verstehen, war eines der ersten und wichtigsten Ziele von Rommelaere. Zusammen mit seinen Mitarbeitern entdeckte er, dass die Zellteilung und die Virusvermehrung eng aneinander gekoppelt sind. Im Rahmen dieser gegenseitigen Beeinflussung werden große Mengen des viralen Proteins NS1 gebildet. NS1 stellte sich schnell als ein Schlüsselmolekül für das onkolytische Potenzial der Parvoviren heraus. Es ist direkt verantwortlich für den zerstörerischen Effekt auf die infizierten Zellen, der genaue Mechanismus liegt aber noch im Dunkeln.

Bekannt ist bereits, dass das Virus mit diesen Proteinen die Herrschaft über die Wirtszelle übernimmt: NS1 sorgt dafür, dass neue Parvovirus-Genome gebildet werden, die die tausendfache Nachkommenschaft der Viren sichern.

Mehr Waffen für die Viren

Nachdem NS1 als die natürliche Grundlage für die Anti-Tumorwirkung der Parvoviren ausgemacht war, setzten die Forscher ihren Ehrgeiz daran, diesen Effekt durch molekularbiologische Tricks weiter zu verbessern. Eine mögliche Strategie dafür ist, einen Teil des Erbguts der Parvoviren durch Gene von Zytokinen – Botenstoffen des Immunsystems – zu ersetzen. Solche genveränderten, rekombinanten Parvoviren veranlassen infizierte Zellen, Zytokine zu bilden, die ihrerseits Abwehrzellen des Immunsystems zum Angriff stimulieren. Und zwar nicht nur gegen die infizierte Zelle, sondern auch gegen benachbarte Tumorzellen. Damit, so erwarten die Wissenschaftler, werden auch Krebszellen erreicht, die nicht direkt durch ein Virus infiziert worden sind. Dass dieses Konzept aufgeht, zeigte sich an Parvoviren, die das Gen für das menschliche Interleukin-2 in Tumorzellen schmuggelten. Krebszellen, die mit dem Virus gleichzeitig das Interleukin-Gen erhalten hatten, wuchsen in Nagetieren zu deutlich weniger und kleineren Tumoren aus als Zellen, die nur mit dem natürlichen Parvovirus H-1 infiziert waren. ■

Grün gefärbt leuchtet das NS1-Protein in einer virusinfizierten Zelle. Die gelben Bereiche signalisieren den Forschern die Orte der Virusvermehrung. Die Kerne nicht infizierter Zellen erscheinen hier rot.



Der Erfolg der ersten Inserm-Einheit außerhalb Frankreichs hat weitere Ausgründungen inspiriert. So gibt es inzwischen Inserm-Unités in Prag und Glasgow, außerdem entstehen Ableger der Institution in den USA und in Kanada. Die Franzosen planen auch in die andere Richtung: Mit dem Deutschen Krebsforschungszentrum und der Helmholtz-Gemeinschaft verhandeln sie, es einer deutschen Forschungsgruppe zu ermöglichen, sich als Inserm-Unité in einem der großen Wissenschaftszentren in Frankreich einzurichten. Vielleicht heißt es also bald für einige Wissenschaftler: Forschen wie Gott in Frankreich.

Dr. Sibylle Kohlstädt

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg



Gemeinsam gegen AIDS

In einem multinationalen Netzwerk erforschen Wissenschaftler neue Impfstoffe gegen den HIV-Erreger.

Ein Beitrag aus der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung in Braunschweig

HIV fordert weltweit mehr Todesopfer als jede andere Infektionskrankheit. Der extrem wandelbare Erreger trotz antiviralen Medikamenten, auch Impfstoffe beeindrucken ihn bislang wenig. Die Entwicklung einer wirksamen Schutzimpfung stellt Wissenschaftler deshalb vor eine gewaltige Herausforderung. Beim „Aids Vaccine Integrated Project“ (AVIP) arbeiten Forscher aus sieben Ländern an neuartigen Kombinationsimpfstoffen. Mit der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung (GBF) in Braunschweig und dem GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in München sind zwei Helmholtz-Zentren Teil des interdisziplinären Netzwerks.

Lungenentzündung, seltene Hauttumore, Parasitenbefall – ein seltsames Krankheitsbild stellte Mediziner 1980 vor ein Rätsel. Bis sich eine Gemeinsamkeit bei den Betroffenen fand: Alle hatten Sex mit einem kanadischen Flugbegleiter gehabt, der weltweit homosexuelle Kontakte pflegte. Mit ihm reiste ein unbekannter Erreger: Das Human Immunodeficiency Virus (HIV). Der Flugbegleiter

starb 1984 an den Folgen der Infektionskrankheit. Ihre globale Bekämpfung hatte gerade erst begonnen.

Die Seuche lebt

Mobilität und enge Kontakte begünstigen die Ausbreitung von Seuchen. Unbemerkt überqueren sie Staatsgrenzen, verbreiten sich von dicht besiedelten Metropolen in entlegene Landstriche. HIV zählt zweieinhalb Jahrzehnte nach seiner Entdeckung zusam-

Der lange Weg zum Impfstoff

Bevor ein neuer Impfstoff auf den Markt kommt, muss er viele Prüfungen bestehen.

Präklinische Testung

Voruntersuchungen an Tieren, zum Beispiel an Mäusen.

Klinische Testung

Bevor Impfstoffe regulär bei Menschen angewendet werden dürfen, müssen sie drei Phasen der klinischen Prüfung erfolgreich durchlaufen:

1. klinische Phase:

An wenigen gesunden Freiwilligen wird die Sicherheit und Verträglichkeit des Impfstoffes überprüft.

2. klinische Phase:

Bei mehreren hundert Freiwilligen in ausgewählten Patientenkollektiven wird untersucht, ob der Impfstoff eine messbare Immunantwort auslöst.



Foto: keystone

Jedes Jahr sterben mehr als drei Millionen Menschen an AIDS. Südlich der Sahara ist AIDS Todesursache Nummer eins. Wissenschaftler sehen es deshalb als dringlichste Aufgabe an, einen Impfstoff zu entwickeln, mit dem eine wirkungsvolle Prävention gegen AIDS möglich ist.

men mit Malaria und Tuberkulose zu den gefürchtetsten Seuchen. Rund 40 Millionen Menschen auf der Welt leben mit HIV, mehr als 25 Millionen davon in Afrika. Mehr als drei Millionen sterben jährlich an den Folgen, dem Acquired Immuno Deficiency Syndrome (AIDS). Südlich der Sahara ist AIDS Todesursache Nummer eins. Antivirale Medikamente sind für Erkrankte in der Dritten Welt nicht bezahlbar, Aufklärung greift nicht. Viele Wissenschaftler sehen es daher als dringlichste Aufgabe an, einen Impfstoff zu entwickeln, mit dem eine wirkungsvolle Prävention möglich ist.

Wie „macht“ man einen Impfstoff?

Neue biotechnologische Methoden erlauben die Entwicklung experimenteller Vakzine. Mehrere Kandidaten befinden sich – in verschiedenen Kombinationen – im Test. Mit dabei ist ein Impfstoff des GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit, der bereits in einem früheren EU-Projekt an HIV-infizierten Personen getestet wurde – Grund für vorsichtigen Optimismus. Insgesamt entstanden bisher überwiegend Impfstoffe auf der Basis von Strukturproteinen des Virus. Die dabei er-

zeugte Immunantwort reichte jedoch nicht aus, um einen wirksamen Schutz vor dem Erreger zu bieten.

Das internationale Forscherkonsortium des AIDS Vaccine Integrated Project (AVIP) verfolgt nun einen neuen Ansatz: Wissenschaftler in 15 Forschungseinrichtungen aus sieben Ländern in Europa und Afrika arbeiten gemeinsam an der Entwicklung und klinischen Erprobung eines Kombinationsimpfstoffs. Neben Impfstoffforschern beteiligen sich auch Virologen, Klinikärzte, Infektionsforscher, Bio-Ingenieure und Epidemiologen an dem Projekt. „Die Idee ist, dass wir einzelne Impfstoffe, die bereits effektiv gegen verschiedene Bestandteile des HIV-Virus wirken, weiterentwickeln und kombinieren“, erklärt Dr. Carlos Alberto Guzmán die Strategie. Er ist Leiter der Abteilung Impfstoffforschung bei der GBF.

Kombinieren und studieren

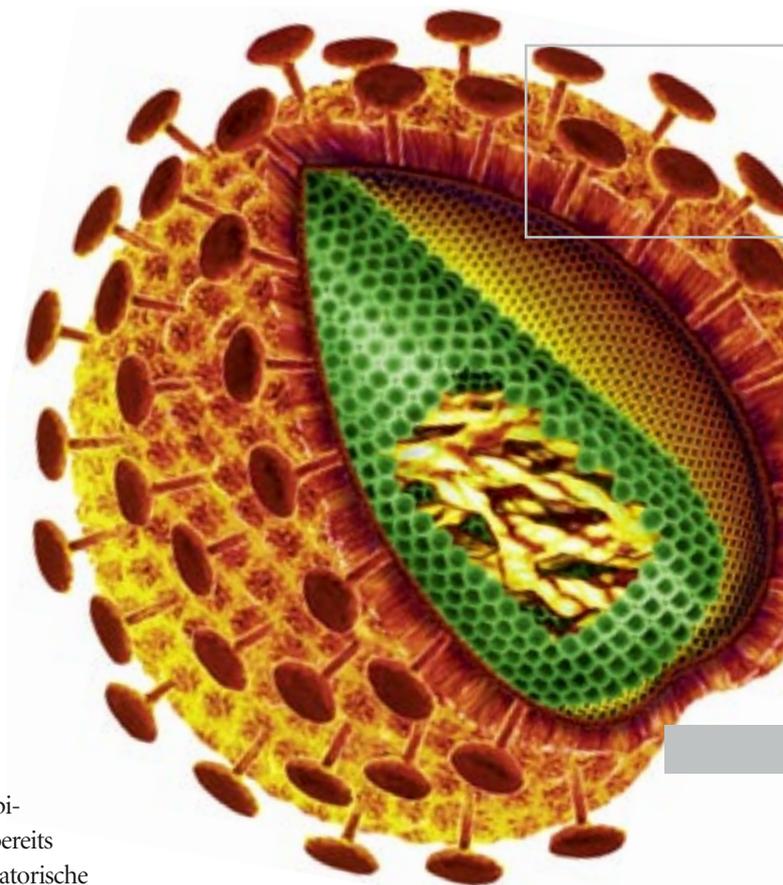
Von der Verknüpfung verschiedener Vakzine erhoffen sich die Forscher eine bessere Wirksamkeit, denn sie greifen auf unterschiedliche Weise an: Einige enthalten strukturelle Virusbestandteile. Andere basie-

3. klinische Phase:

In einer anschließenden dritten Phase an Tausenden von Freiwilligen/Patienten (multizentrische Studie) muss die Wirksamkeit des Impfstoffs über eine biomedizinische Auswertung untersucht werden.

Bisher erreichte nur ein Prototyp die dritte Prüfungsphase. „Aids-vax“ enthält das Oberflächenprotein gp120 des HI-Virus. Aufgrund der hohen Variabilität des Erregers erwies sich der Impfstoff aber als erfolglos. Das Infektionsrisiko der über 5.000 getesteten Teilnehmer konnte nicht ausreichend gesenkt werden.

Durchläuft ein potenzieller Impfstoff erfolgreich die dritte klinische Phase, dann erfolgt die **Zulassung durch die Behörden**. Damit ist der Weg frei für den Markteintritt des Produktes. ■



GBF

ren auf regulatorischen Proteinen. Diese steuern beispielsweise den Vermehrungszyklus des Virus oder die Expression seiner Gene. Das ist der Prozess, bei dem die genetische Information in ein Protein übersetzt wird.

Gegen all diese Virusbestandteile soll der menschliche Körper dann eine Immun-Abwehr aufbauen. Umfangreiche Vorarbeiten auf dem Weg zu einem Kombinationsimpfstoff haben Forscherinnen und Forscher bereits geleistet. Die einzelnen Bestandteile, strukturelle wie regulatorische HIV-Proteine, stehen zur Verfügung und sind in ersten klinischen Untersuchungen erprobt worden. Jetzt geht es darum, sie zu verschiedenen Kombinationsimpfstoffen zu verknüpfen – und diese dann gründlich zu testen.

Kandidaten zur Prüfung

Einen Vakzinbaustein für den Kombinationsimpfstoff liefert zum Beispiel das Team um Dr. Barbara Ensoli, die Koordinatorin des AVIP-Projektes. Ihr Impfstoff basiert auf dem so genannten Tat-Protein; dieses Eiweißmolekül fördert die Vermehrung von HIV-1 nach dessen Eintritt in die Zelle. Das Tat-

Protein soll zu einer vollständigen immunologischen Abwehr führen und die Vermehrung des Virus verhindern. Als Einzelkomponente erzielte der Tat-Impfstoff bei Nagetieren und Affen bereits ermutigende Ergebnisse.

Eine Komponente mit ähnlicher Wirkung steuert auch das GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit bei. Der

Sieben Länder suchen einen Impfstoff



„Ziel des Projektes ist es, effektive Impfstoffe zu entwickeln, die vor allem Entwicklungsländern zugute kommen sollen“, sagt Professor Volker Erfle, der Leiter des Instituts für Molekulare Virologie beim GSF Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in Neuherberg bei München. Sein Institut nimmt ebenso am AVIP-Projekt teil wie ein zweites Helmholtz-Zentrum, die Gesellschaft für Biotechnologische Forschung in Braunschweig (GBF).

Koordiniert wird das „Aids Vaccine Integrated Project“ von Professor Barbara Ensoli von der AIDS-Abteilung des Istituto Superiore di Sanità – des obersten Gesundheitsinstituts in Italien. Daneben sind Hochschulen, Forschungszentren und pharmazeutische Unternehmen aus Großbritannien, Frankreich, Deutschland, Schweden, Finnland und Südafrika an dem Netzwerk beteiligt. Die Europäische Union unterstützt das Vorhaben mit zehn Millionen Euro. ■

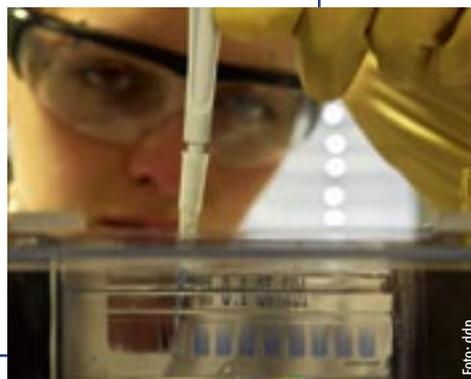


Foto: ddp



Grafik: GBF / Britta Meyer

Schemazeichnung des AIDS-Virus.



GBF-Wissenschaftler Dr. Carlos Alberto Guzmán, Leiter der Arbeitsgruppe Impfstoffforschung, am Pipettier-Roboter. Sein Ziel: Antikörper gegen HIV zu finden.



Foto: GBF / Susanne Hübner

im Münchner Helmholtz-Zentrum entwickelte Impfstoff löst eine Immunreaktion gegen das HIV-Protein Nef aus. Das Regulatorprotein ist ebenfalls wichtig für die Vermehrung des Virus im menschlichen Körper. Es wird von infizierten Zellen bald nach der Infektion gebildet und sorgt für eine möglichst effektive Vermehrung des Virus. Als Impf-Vektor – sozusagen ein „Trojanisches Pferd“ für das Protein – nutzen die Wissenschaftler harmlose Viren, in die der genetische Bauplan für das Nef-Protein eingeschleust wird. Die Impfung soll den Erreger mit seinen eigenen Waffen schlagen: Eingepflichte Vektoren befallen Körperzellen und regen sie zur Bildung von Nef an, wodurch die Immunantwort gegen das Protein im menschlichen Körper stimuliert wird. „Unser therapeutischer Impf-

stoff war für bereits HIV-Infizierte gedacht. Als Teil des Kombinationsimpfstoffes könnte er dagegen auch Gesunde vor einer Infektion schützen“, hofft Professor Volker Erfle, Leiter des Instituts für Molekulare Virologie beim GSF.

Die Mischung macht's

„Aufgabe der Wissenschaftler bei der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung ist es, die richtige Zusammenstellung der Impfstoffkomponenten herauszufinden“, beschreibt Dr. Guzmán sein Einsatzgebiet. Die Arbeitsgruppe Impfstoffforschung der GBF befasst sich mit dem präklinischen Screening. An Mäusen werden hier Sicherheit und Wirksamkeit der Kombi-Impfstoffe getestet. Neben der Suche nach der besten Zusammenstellung beschäftigt sich das Helmholtz-Zentrum in Braunschweig mit weiteren Fragen: Entstehen durch die Kombination Nebenwirkungen? Wie oft und mit welcher Dosis muss geimpft werden? Welche Zusätze können sich positiv auswirken?

„Zunächst werden wir vier verschiedene Kombi-Impfstoffe mit jeweils drei Komponenten entwickeln“, erklärt Guzmán. „In klinischen Phase-I-Studien werden sie anschließend am Menschen getestet. Eine solche Impfung könnte dann zur Vorbeugung für nicht infizierte Menschen dienen, aber auch bei AIDS-Patienten therapeutisch angewendet werden, also ein Fortschreiten der Krankheit stoppen.“ Wenn alles gut läuft, rechnen die Wissenschaftler mit der Markteinführung in acht bis zehn Jahren.

Dipl.-Biol. Manfred Braun

Journalist, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, Braunschweig

Dr. Heidrun Riehl-Halen

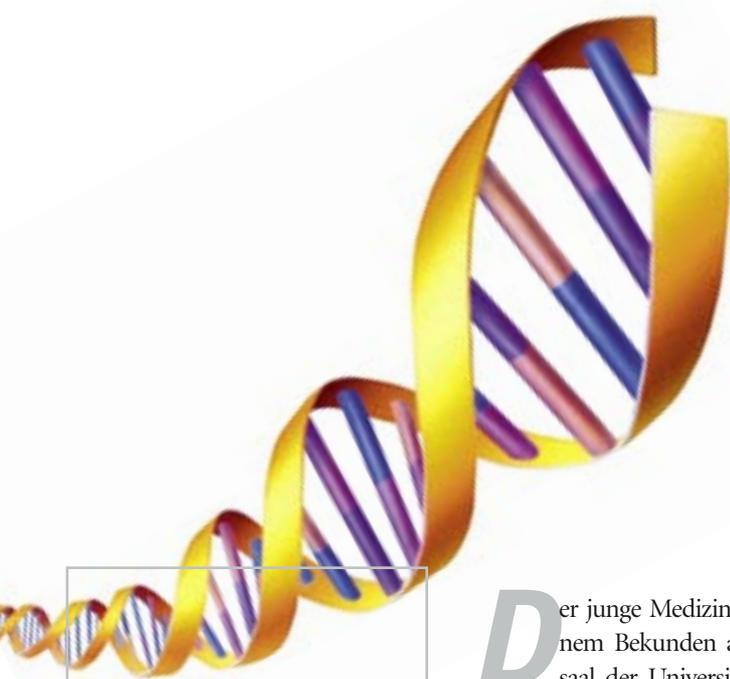
Medizinjournalistin, Bremen



Schuld ist der Genschalter

Berliner Forscherinnen und Forscher haben entdeckt:
Der Genregulator NF-kappaB ist lebenswichtig – und einflussreich.

Ein Beitrag aus dem Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in Berlin-Buch



Schlechte Zähne, schütteres Haar, trockene Haut – über 100 Jahre lang war dieses merkwürdige Erleiden ein Rätsel. Jetzt gelang es Wissenschaftlern am Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC), die Auslöser für die seltene Krankheit HED zu finden. Eine Schlüsselrolle spielt der Genschalter NF-kappaB. Einmal im Visier, enttarnten die Wissenschaftler, dass er auch bei vielen anderen Erkrankungen beteiligt ist.

Heute kennt die Medizin diese Krankheit als hypohidrotische ektodermale Dysplasie (HED). Das bedeutet: Die Betroffenen leiden unter einer Fehlbildung (Dysplasie) jener Organe und Gewebe, die sich aus dem Ektoderm, der äußeren Zellschicht eines Embryos, entwickeln – Haut, Haare, Zähne, Tränen- und Schweißdrüsen.

Schätzungen zufolge ist in den USA eines von rund 100.000 Neugeborenen an HED erkrankt. Die meisten von ihnen haben eine normale Lebenserwartung. Die Krankheit ist jedoch lebensbedrohlich, wenn die Schweißdrüsen, das natürliche Kühlsystem des Körpers, schwach ausgebildet sind oder fehlen. Die Betroffenen können dann nicht schwitzen (Hypohidrose). Rund 30 Prozent derjenigen, die diese Fehlbildung der Schweißdrüsen haben, sterben bereits im Säuglings- oder frühen Kindesalter an Überhitzung.

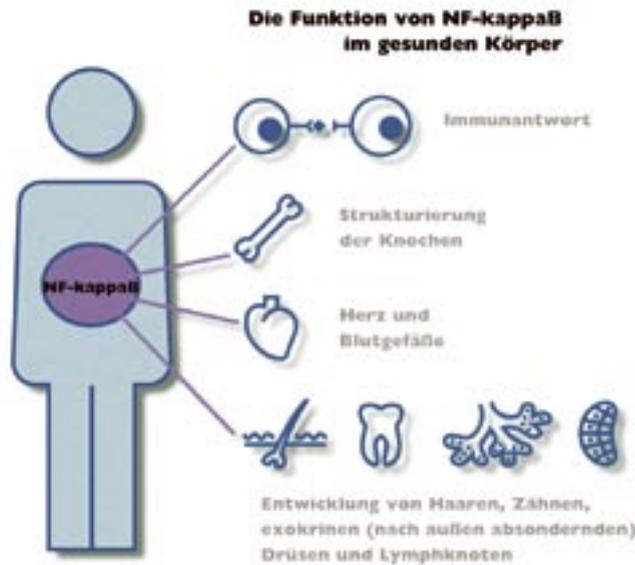
Der junge Medizinstudent war nach eigenem Bekunden aus einem Operationsaal der Universität von Edinburgh geflohen, wo ein Kind ohne Betäubung operiert wurde. Damit war sein Traum, Arzt zu werden, geplatzt. Noch im selben Jahr, 1831, ging er an Bord der „Beagle“ auf Weltreise. Das Ergebnis ist bekannt: Zurück in England, verfasste er sein berühmtes Werk „Von der Entstehung der Arten“. Die Rede ist von Charles Darwin, dem Begründer der Evolutionstheorie. Von seiner großen Beobachtungsgabe profitierte die Medizin dennoch: 1875 beschrieb Darwin eine Familie in England, in der einige Mitglieder durch schlecht entwickelte Zähne, schütteres Haar und extrem trockene Haut auffielen. Sie konnten nicht schwitzen und litten unter trockenen Augen.

Foto: OKAPIA
Der Zellkern mit der hier abgebildeten DNS ist die Schaltzentrale der Zelle. Jedes Signal, das hier eintrifft, regt bestimmte Genregulatoren an. Sie schalten Gene an und aus.

Lebenswichtige Funktionen des Genregulators NF-kappaB im gesunden Organismus (rechts). Abnorme NF-kappaB Aktivität führt entweder durch Überfunktion oder Abwesenheit des Genregulators zu verschiedenen Krankheiten (links).

Falsche Regulation von NF-kappaB führt zu Krankheit:

- Krebs**
(Hodgkin's Lymphom, Leukämie, Brustkrebs, Darmkrebs)
- Entzündliche Prozesse**
(Polyarthritis, Morbus Crohn)
- Marmorknochenkrankheit**
(Osteopetrose)
- Erbleiden (HED)**
HED (Hypohidrotische Ektodermale Dysplasie)
HED-ID (HED mit Immundefizienz)
IP (Incontinentia Pigmenti – Erkrankung der Haut, Zähne, Nerven und des Skeletts)
- Herz- und Gefäßerkrankungen**
(Hypertrophie des Herzens, Arteriosklerose)



Grafik: MDC / Ruth Schmidt-Ullrich

Erst 124 Jahre nach Darwins Beobachtung, 1999, gelang es Wissenschaftlern in den USA und Finnland, die Ursache dieses Erbleidens aufzuspüren. Mit den modernen Instrumentarien der Molekularbiologie identifizierten sie zwei wesentliche Gene, die HED auslösen können. Und noch etwas stellten sie fest: Die HED-Gene liegen alle im Einzugsbereich eines einzigen Signalübertragungsweges.

Signale und Schalter entwickeln das Leben

Inzwischen sind zahlreiche solcher Signalwege bekannt, die bei der Embryonalentwicklung und bei der Steuerung aller lebenswichtigen Funktionen eine Rolle spielen. Sind diese Informationskanäle gestört, sind Fehlentwicklungen wie HED oder Krankheiten wie Krebs die Folge. Die Signale gelangen über diese Kanäle mit Hilfe so genannter Transkriptionsfaktoren oder Genregulatoren bis in die Schaltzentrale der Zelle, den Zellkern mit der Erbsubstanz DNS und den Genen. Jedes Signal, das in der Zelle eintrifft, regt dort bestimmte Genregulatoren an, die dann im Zellkern aktiv werden, wo sie gezielt Gene an- und ausschalten. Solch ein Genschalter ist NF-kappaB.

Er spielt auch bei der Entwicklung von HED eine entscheidende Rolle. Die Zusammenhänge aufgedeckt hat Dr. Ruth Schmidt-Ullrich aus der Forschungsgruppe von Professor Claus Scheidereit vom Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC) Berlin-Buch: Bei Mäusen mit HED, die mit verkümmerten Zähnen und schütterem Haar dieselben Symptome zeigen wie Menschen, löst der Genregulator NF-kappaB die Krankheit aus, weil er inaktiv ist. Die Wissenschaftlerin entdeckte, dass

NF-kappaB die Bildung der Haarfollikel, von Schweiß- und Tränendrüsen sowie der Zähne steuert. Sie konnte ferner in Zusammenarbeit mit Professor Paul Sharpe vom Guy's Hospital des Kings College in London, England, bei den Mäusen nachweisen, dass vor allem die Backenzähne der Tiere als Folge der „Fehlschaltung“ von NF-kappaB unterentwickelt sind oder gar teilweise fehlen. Mit einem weiteren, von ihr entwickelten System können Forscher inzwischen sichtbar machen, wo dieser Genschalter aktiv ist, etwa während der Ausbildung der Haarfollikel.

Sabotage des Zell-Schutzprogramms

Noch 1997, fast zehn Jahre nach seiner Entdeckung, ahnte niemand, wie universell der Genregulator NF-kappaB ist: Er spielt bei der Immunantwort eine Rolle, in der Embryonalentwicklung steuert er die Entwicklung von Haut, Haaren, Zähnen, Drüsen und Lymphknoten. Und auch an der Entstehung von Krankheiten ist er beteiligt. In Zusammenarbeit mit dem Onkologen und Krebsforscher Professor Bernd Dörken von



Gesundheit

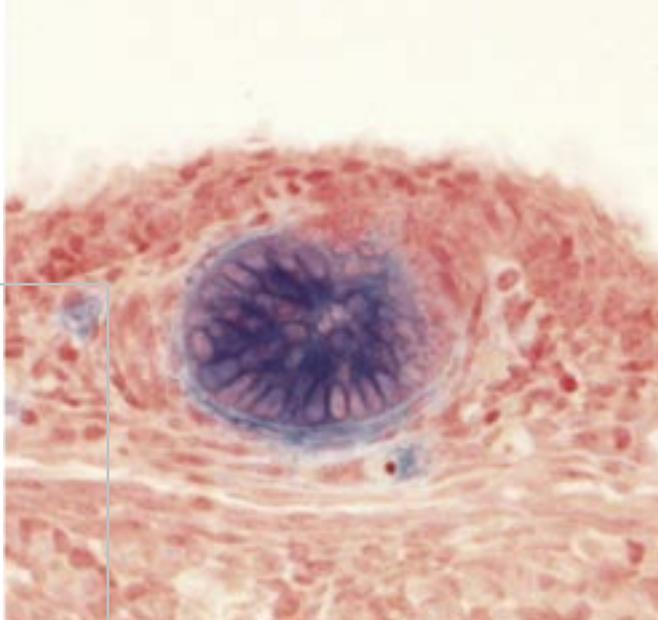


Foto: MDC / Ruth Schmidt-Ullrich

Frühes Stadium der Haarentwicklung bei der Maus. Die blaue Farbe, hervorgerufen mit Hilfe eines einfachen Färbetests, zeigt die Zellen an, die aktives NF-kappaB im Zellkern enthalten. Der blaue Zellklumpen wird in das darunter liegende Gewebe wachsen, um später einen Haarfollikel zu formen.

MDC

der Charité-Universitätsmedizin Berlin und dem MDC hatte Professor Scheidereit herausgefunden, dass NF-kappaB bei einem häufigen Lymphkrebs, dem Hodgkin-Lymphom, das Schutzprogramm der Zelle außer Gefecht setzt. Es sorgt normalerweise dafür, dass defekte oder kranke Zellen absterben. Dieses „Selbstmordprogramm“, in der Fachsprache Apoptose genannt, ist für einen gesunden Organismus überlebenswichtig. NF-kappaB jedoch verhindert, dass Krebszellen Selbstmord begehen. Sie wachsen ungehemmt weiter. Inzwischen wissen die Forscher, dass NF-kappaB nicht nur beim Hodgkin-Lymphom, sondern auch bei Brust-, Darm- und Prostatakrebs überaktiv ist.

Weiter haben mehrere Forschergruppen entdeckt, dass NF-kappaB auch bei Krankheiten in Aktion tritt, die nichts mit Krebs zu tun haben. Dazu gehören chronisch entzündliche Erkrankungen wie Morbus Crohn und Polyarthrit oder auch Herzkrankheiten. Dr. Schmidt-Ullrich und Professor Scheidereit haben mit den beiden Kardiologen Dr. Martin Bergmann und Christian Freund von der Charité in Berlin-

Buch ein Mausmodell entwickelt, mit dem sie die Bedeutung von NF-kappaB bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen erforschen können. Ein Ergebnis: Herzmuskelzellen, die sich bei chronischem Bluthochdruck normalerweise vergrößern (Hypertrophie) und dadurch zu einer tödlich verlaufenden Herzinsuffizienz führen können, schwellen nicht an, wenn NF-kappaB ausgeschaltet wird.

Weniger Gene – mehr Chaos

Vor dem Hintergrund der jüngsten Erkenntnisse in der Genomforschung kann die universelle Rolle von NF-kappaB eigentlich nicht mehr erstaunen. Noch bis vor wenigen Jahren wurde vermutet, dass der Mensch etwa 100.000 Gene hat. Nach neuesten Erkenntnissen sind es nur 20.000 bis 25.000. Aber je weniger Gene es gibt, desto komplexer muss das ohnehin schon komplizierte Zusammenspiel von Genen, Proteinen, Zellsignalen und Übertragungswegen sein. „Es ist also nicht verwunderlich, dass bestimmte Schlüsselregulatoren wie NF-kappaB verschiedenste Aufgaben im Organismus erfüllen müssen und zur Entstehung unterschiedlichster Erkrankungen beitragen, wenn sie fehlgeschaltet sind“, erläutert Professor Scheidereit. Die Herausforderung für die Wissenschaftler ist klar: Therapien zu entwickeln, die NF-kappaB bei den verschiedenen Krankheiten gezielt schachtmatt setzen.

NF-kappaB



Gene sind Abschnitte der DNS, die im Zellkern liegen. Die rund 20.000 bis 25.000 Gene des Menschen enthalten die Bauanleitung für die Proteine. Wie in einem großen Orchester müssen auch im Organismus alle Spieler fein aufeinander abgestimmt sein. Das heißt, nicht alle Gene sind gleichzeitig aktiv. Ein ganzes Arsenal an molekularen Spielern sorgt dafür, dass das Gen- und Zellorchester nicht aus dem Takt gerät. Dazu gehören auch Genregulatoren wie NF-kappaB (engl. NF steht für nuclear factor = Kernfaktor). Sie schalten Gene an oder aus; sie steuern die Entwicklung eines Organismus und wichtige Vorgänge im Körper. Bei Fehlfunktionen können sie zur Entstehung von Krankheiten beitragen. ■

Barbara Bachtler

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Max-Delbrück-Centrum Berlin-Buch



Modellfall Maus

In der Nähe von München wächst ein europäisches Archiv aus Maus-Mutanten heran.

Ein Beitrag aus dem GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in Neuherberg bei München

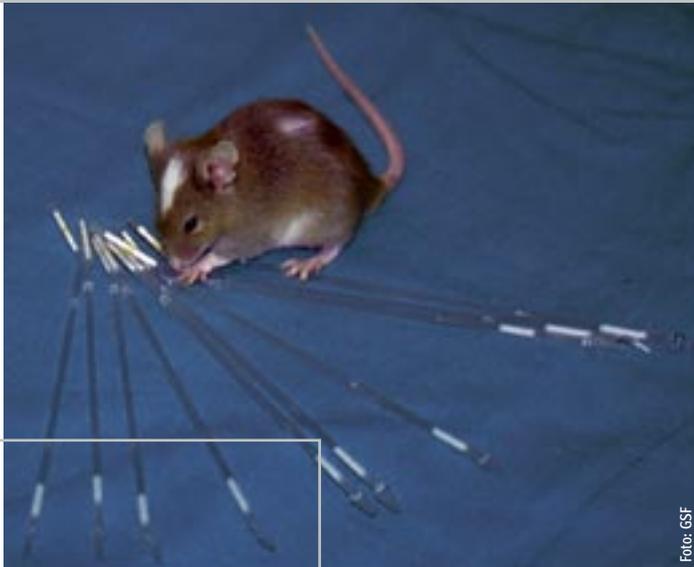


Foto: GSF

Für jede Maus-Mutante werden 60 dünne Plastikröhrchen mit Spermien oder 500 Embryonen archiviert.

Wenn ein Mensch besonders anfällig für eine Krankheit ist – oder auch besonders widerstandsfähig dagegen –, dann kann das an Variationen in seinem Gensatz liegen. Diese Variationen zu kennen, ermöglicht nicht nur, vielen Krankheiten auf die Spur zu kommen, sondern eröffnet auch völlig neue Behandlungswege. Als Modellorganismen für die Suche nach fehlerhaften Genen bieten sich Mäuse an. Denn sie stehen dem Menschen genetisch sehr nahe; ihr bereits vollständig entschlüsseltes Erbgut aus rund 30.000 Genen stimmt mit dem menschlichen zu etwa 95 Prozent überein. Deshalb lösen entsprechende Mutationen in Mausgenen oftmals die gleichen Krankheiten aus wie beim Menschen.

Als Modell für menschliche Erkrankungen sind Mäuse in den Forschungslabors der Welt unverzichtbar geworden. Das „Europäische Maus Mutanten Archiv“ EMMA lagert Mäuse mit Mutationen ein und stellt sie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zu Forschungszwecken zur Verfügung. EMMA trägt auf diese Weise entscheidend dazu bei, das große Potenzial gegenwärtiger Genforschung bei Säugetieren für die Gesundheit des Menschen zu nutzen.

Weil also Gene und Krankheitsbilder bei Mäusen und Menschen sehr ähnlich sind, testet man die Auswirkungen gezielter Genmutationen bevorzugt an Mäusen.

„Ein Land allein kann die gewaltige Aufgabe, die Funktion des menschlichen Genoms zu entschlüsseln, nicht lösen“, betont Professor Martin Hrabé de Angelis, EMMA-Direktor, die Notwendigkeit einer internationalen Zusammenarbeit. Deshalb bietet sich Europa als Kooperations-Plattform an, zumal sich die Europäische Union an der Finanzierung beteiligt. Zum virtuellen Netzwerk EMMA haben sich sieben Institute aus England, Frankreich, Italien, Portugal, Schweden und Deutschland zusammengeschlossen. Mittelpunkt, wenn auch nicht

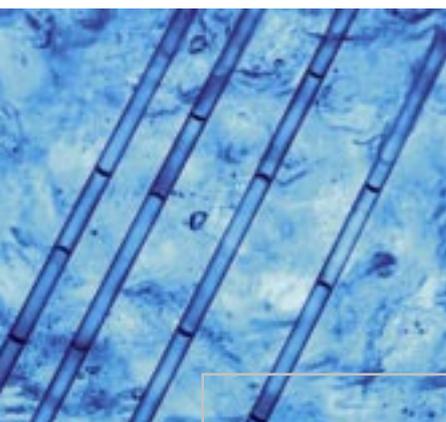


EMMA ist ein sehr kaltes Archiv: Die Spermien und Embryonen lagern in flüssigem Stickstoff bei minus 196 Grad Celsius.

GSF



Fotos: GSF



Die in Plastikröhrchen eingeschweißten Spermien sind bereit zur Einlagerung im Kryotank.

Hauptsitz, ist das Institut für Experimentelle Genetik am GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in Neuherberg bei München, dessen Direktor ebenfalls Hrabé de Angelis ist.

Bis Ende 2004 waren 600 mutante Mauslinien im EMMA eingelagert, und bis Mitte 2008 soll das Archiv auf rund 1.500 Mutanten anwachsen. Archiviert werden kryokonservierte – also in flüssigem Stickstoff eingefrorene – Spermien und Embryonen. Wissenschaftliche Koordinatorin von EMMA ist Dr. Stefanie Zeretzke. Über ihren Schreibtisch gehen sämtliche EMMA-Anfragen – ganz gleich, ob eine neue Mutante eingelagert oder eine bereits archivierte an einen Wissenschaftler verschickt werden soll.

Strenge Prüfung für Kandidaten

Möchte ein Forscher eine von ihm generierte Mutante bei EMMA einlagern, kann er sich online bewerben, indem er detaillierte Informationen zu seiner Maus in ein spezielles Formular einträgt. Ein Evaluierungskomitee aus vier Wissenschaftlern unterzieht die eingereichten Unterlagen einer strengen Aufnahmeprüfung: Welche Mutation hat die Maus? Wie wurde diese herbeigeführt? Besonders wichtig ist die biomedizinische Relevanz: Wenn sich die Maus als Modell für eine menschliche Krankheit eignet, ist ihre Chance auf Aufnahme ins Archiv besonders groß. Diabetes und Krebs, aber auch Schwerhörigkeit, Grauer Star, Fettsucht, Herz-Kreislauf-Defekte, Allergien und Störungen des Immunsystems können bereits im Mausmodell untersucht werden.

Doch auch Mutanten, die sich – vorerst – eher für die Grundlagenforschung eignen, haben gute Aussichten, denn „wir möchten ein breites Spektrum abdecken. Es kann ja durch-

aus sein, dass sich die Bedeutung einer Mutante durch die medizinische Entwicklung in späteren Jahren verändert“, gibt Stefanie Zeretzke zu bedenken.

Vor dem Archivieren steht der Tiefkühltest

Sollen Spermien der Mäuse eingelagert werden, fordert EMMA sechs männliche Tiere an, für das Archivieren von Embryonen mindestens drei Zuchtpaare. Grundsätzlich müssen die Mäuse ein höchstens drei Monate altes Gesundheitszeugnis vorweisen; unabhängig davon kommen alle erst einmal in Quarantäne. Dann werden sie zunächst genetisch identifiziert: Handelt es sich auch wirklich um die Maus, die der Antragsteller beschrieben hat? Steht die Identität zweifelsfrei fest, frieren EMMA-Wissenschaftler testweise erste Spermien und Embryonen ein, generieren daraus wieder Nachwuchs und prüfen gründlich, ob dieser Nachwuchs die entsprechende Mutation zeigt. Andernfalls wäre eine Archivierung sinnlos. Nur wenn diese Prüfungen erfolgreich bestanden sind, wird die Mutante komplett konserviert.

Pro Mausmutante werden 500 Embryonen in sehr frühen Stadien von zwei, vier oder acht Zellen beziehungsweise 60 Röhrchen mit Spermien kryokonserviert. Das bedeutet: Das in dünne Plastikröhrchen verpackte Archivmaterial wird in Tanks mit flüssigem Stickstoff versenkt. Und zwar – sicher ist sicher – jeweils in zwei verschiedene Tanks in verschiedenen Gebäuden mit verschiedenen Stickstoff-Zuleitungen.

„Selbst wenn alles glatt läuft, dauert es drei bis vier Monate, bis die eigentliche Archivierung beginnen kann“, erklärt Zeretzke, „aber der Aufwand lohnt sich. So wissen wir, dass unser Material einwandfrei ist und sich später problemlos verwenden lässt.“

Sobald ein Grundstock vorhanden ist, wird der genetische Steckbrief der jeweiligen Maus in die zentrale Online-Datenbank gestellt. Jetzt ist die Mutante der Wissenschaft



Foto: GSF

Mausembryonen, durch In-vitro-Fertilisation entstanden, auf dem Weg in den Brutschrank.

zugänglich, und die ersten Bestellungen lassen meist nicht lange auf sich warten. Solange aktuelle Nachfrage besteht, deckt EMMA den Bedarf über lebende Tiere aus den Zuchtkolonien. Wenn das Interesse nachlässt und das Archiv aufgefüllt ist, wird nicht mehr nachgezüchtet. Dann existiert die Mutante nur noch als Kryokonserven.

Haben spätere Bestellungen den Bestand allmählich reduziert, zieht man erneut Nachwuchs heran und stockt das Archiv wieder auf. „Das ist wie mit Büchern in einer Bibliothek“, erläutert Stefanie Zeretzke, „im Prinzip bleiben die Mutanten für immer bestehen.“ Und wie lange funktioniert das Verfahren in der Praxis? „Die Kryokonservierung ist rund 25 Jahre alt“, sagt Zeretzke, „letztes Jahr hat ein Kollege aus England erfolgreich Nachwuchs aus derart ‚alten‘ Reserven generieren können.“

In den vergangenen drei Jahren wurden rund 200 Mauslinien pro Jahr eingelagert. Seit April 2002 gab es etwa 200 Bestellungen; diese Zahl steigt stetig an, weil der Bekanntheitsgrad von EMMA zunimmt – unter anderem, weil es immer mehr Linien zu bestellen gibt.

Mausmutanten unterwegs

Wissenschaftler, die eine Mutante aus dem Archiv bestellen, erhalten innerhalb von ein bis zwei Wochen entweder zwei Röhrchen à 20 bis 25 Embryonen oder zwei Proben mit Spermien. Wer lebende Mäuse bevorzugt, bekommt maximal drei Zuchtpaare geschickt. Existiert die Mutante noch als Zuchtkolonie, können die Tiere direkt geliefert werden; liegt sie nur noch als Kryokonserven vor, kommt es aufgrund der Methodik zu einer zeitlichen Verzögerung. Die meisten Kunden ordern lebende Mäuse. Grund: Der Umgang mit lebenden Tieren ist einfacher und vertrauter, das Handling von Kryomaterial in vielen Labors noch nicht ausreichend etabliert.

Um diese Wissenslücke zu schließen, bietet EMMA alljährlich in Italien einen Workshop in Kryokonservierung an. Zehn Tage lang lernen Teilnehmer aus ganz Europa, tiefgefrorene Proben herzustellen und daraus wiederum Mäuse zu züchten. „Damit wollen wir dazu beitragen, dass sich



Gesundheit



EMMA-Zentren

Italien:

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Biologia Cellulare, Monterotondo

Frankreich:

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Centre de Distribution, de Typage et d'Archivage animale, Orléans

England:

Medical Research Council (MRC), Mammalian Genetics Unit, Harwell

European Bioinformatics Institute (EMBL/EBI), Hinxton (Aufbau und Pflege der an die EMMA-Archive angeschlossenen Datenbank)

Schweden:

Karolinska Institutet (KI), Unit for Embryology and Genetics, Stockholm

Portugal:

Fundação Calouste Gulbenkian, Instituto Gulbenkian de Ciencia, Oeiras

Deutschland:

GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in der Helmholtz-Gemeinschaft, Institut für Experimentelle Genetik, Neuherberg bei München



GSF



Unter www.emmanet.org finden sich Informationen rund um das Archiv, eine Liste aller verfügbaren Mausmutanten sowie Formulare zum Einlagern und Abfragen.

schung wichtig sind. Diese Tiere werden in den Zentren in Portugal und Schweden unter so sterilen Bedingungen gezüchtet, dass sich in ihrem Darm nicht einmal E. coli-Bakterien finden.

Maus-Makler mit Ehrgeiz

EMMA fungiert bei alledem nur als Maus-Makler, hat also an den Tieren keinerlei Rechte – die liegen bei dem Wissenschaftler, der die Linie hergestellt hat. „Wir unterstützen die Wissenschaftsgemeinschaft“, formuliert Stefanie Zeretzke das Credo der EMMA-Partner. Und dabei verändert sich EMMA im Gleichschritt mit der wissenschaftlichen Entwicklung: „EMMA ist kein verstaubtes altes Archiv.“ Ob es um die Kryokonservierung geht oder um allgemeine Trends in der Forschung – EMMA ist immer auf dem aktuellen Stand, so der ehrgeizige Anspruch. Zeretzke: „Ein Thema der Zukunft könnte für uns zum Beispiel die Archivierung embryonaler Stammzelllinien der Maus sein.“

möglichst überall die einschlägigen Verfahren etablieren und ein hoher Qualitätsstandard langfristig gesichert wird“, so EMMA-Koordinatorin Zeretzke.

Durch die Abgabe von Mäusen mit SPF-Status (specific pathogen free) möchte EMMA außerdem dafür sorgen, dass der Anteil an so genannten sauberen Tieren in den Labors in Europa ansteigt. Alle EMMA-Mäuse erfüllen diese strengen Kriterien. Davon profitieren sowohl die anfragenden Wissenschaftler als auch die Produzenten der mutierten Mäuse, die ein sicheres und sauberes Backup erhalten. Auf Wunsch liefert EMMA sogar absolut keimfreie Mäuse, die vor allem in der Allergie- und Epidemieför-

Dipl.-Biol., Dipl.-Journ. Sibylle Kettebeil

Wissenschaftsjournalistin, München

Rätselhafte Massen

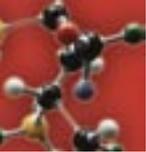
Menschen schicken Raumsonden ins All und berechnen Jahre im Voraus minutiös deren Kurs. Sie empfangen Daten, die aus einer Umlaufbahn in Milliarden Kilometern Entfernung gesendet wurden – man könnte meinen, wir kennen und beherrschen unsere Welt perfekt. Aber das täuscht: Das Universum steckt noch immer voller Rätsel.

So bezeichnen wir heute weit über 90 Prozent des Universums als Dunkle Materie oder Dunkle Energie. Was in etwa bedeutet: So, wie sich das Universum verhält, muss dort etwas sein. Aber niemand weiß, was das sein könnte. Vielleicht machen Neutrinos, winzigste Elementarteilchen, einen Teil der Dunklen Materie aus. Das hängt von ihrer Masse ab und die kennen wir – noch – nicht. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Forschungszentrum Karlsruhe arbeiten aber daran (Seite 82). Bis 2011 werden sie eine Antwort haben.

Nicht viel besser steht es bei der normalen Materie, aus der wir, die Erde und alle Planeten bestehen und die nur wenige Prozent des Universums ausmacht. Wir wissen, dass diese sichtbare Materie vor allem aus Protonen und Neutronen besteht, die ihrerseits aus jeweils drei Quarks zusammengesetzt sind. Aber die Protonen und die Neutronen wiegen sehr viel mehr als ihre drei Quarks. Woher die Materie überhaupt ihre Masse hat, ist deshalb noch nicht klar. Forscherinnen und Forscher der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt sind der Lösung dieses Rätsels nun einen großen Schritt näher gekommen (Seite 86).

So versuchen Helmholtz-Forscherinnen und -Forscher, mit neuen Theorien und Experimenten die großen Geheimnisse unserer Welt aufzudecken.

Die Andromeda Galaxie. Mit dem Experiment KATRIN sollen Antworten auf grundlegende Fragen der Kosmologie und Astrophysik gefunden werden.



Hauptrolle für ein Leichtgewicht

Am Karlsruhe Tritium Neutrino-Experiment KATRIN wird die Masse des Neutrinos bestimmt – ein Meilenstein für die Physik.

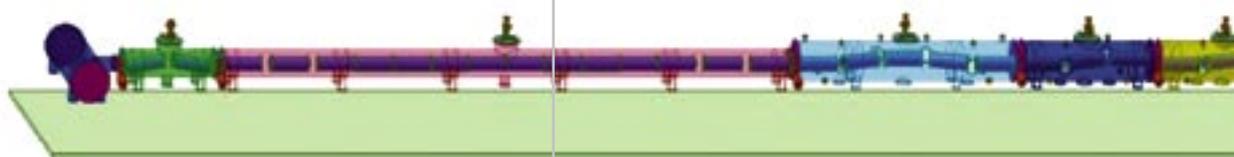
Ein Beitrag aus dem Forschungszentrum Karlsruhe

In den kommenden Jahren werden in Karlsruhe 80 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in einem Netzwerk von verschiedensten Forschungseinrichtungen aus Deutschland, Großbritannien, Russland, der Tschechischen Republik und den USA ein wichtiges Puzzlestück zum Verständnis unserer Welt beisteuern: die Masse des Neutrinos. Ihr Ergebnis wird den Horizont unseres Wissens erweitern. Es wird über die Zukunft des Standardmodells entscheiden, das die elementaren Bausteine der Materie umfasst, und es wird kosmologische Modelle stärken – oder widerlegen.

Schon das erste Zusammentreffen zwischen Neutrinos und Physikern deutete darauf hin, dass dieses Teilchen kein einfacher Kandidat für die Wissenschaft sein würde: Wolfgang Pauli behauptete 1930 die Existenz des „geisterhaften“ Teilchens nicht etwa stolz in einer offiziellen Publikation, sondern nur in einem persönlichen Brief und selbst dort nur als gequälte Notlösung. Denn hätten die Wissenschaftler damals dieses Teilchen nicht aus dem Hut gezaubert, hätten sie

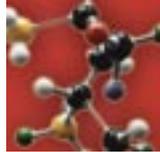
annehmen müssen, dass die grundlegenden Gesetze der Energie- und Impulserhaltung nicht mehr gelten.

Es dauerte fast 30 Jahre, bis aus dem geisterhaften ein experimentell direkt nachgewiesenes Teilchen wurde. Und erst vor drei Jahren gelang der Nachweis, dass das Neutrino überhaupt eine Masse besitzt. Sie ist winzig. Aber an der noch ungeklärten Frage, wie winzig genau, hängen große Theorien und ganze kosmologische Modelle.



Das Bild zeigt den Gesamtaufbau von KATRIN auf einer Länge von 70 Metern. Die wichtigste Komponente des Experimentes ist ein 24 Meter langes elektrostatisches Spektrometer mit einem Durchmesser von 10 Metern. Hier wird die kinetische Energie der Elektronen bestimmt.

Grafik: FZK



Struktur der Materie

Grafik: FZK

Tritium ist eine radioaktive Form von Wasserstoff. Der Kern besteht aus einem Proton und zwei Neutronen. Durch Beta-Zerfall entstehen aus Tritium stabiles Helium-3 (mit zwei Protonen und einem Neutron), ein nicht nachweisbares Neutrino und ein Elektron, dessen Bewegungsenergie mit KATRIN genau bestimmt wird.

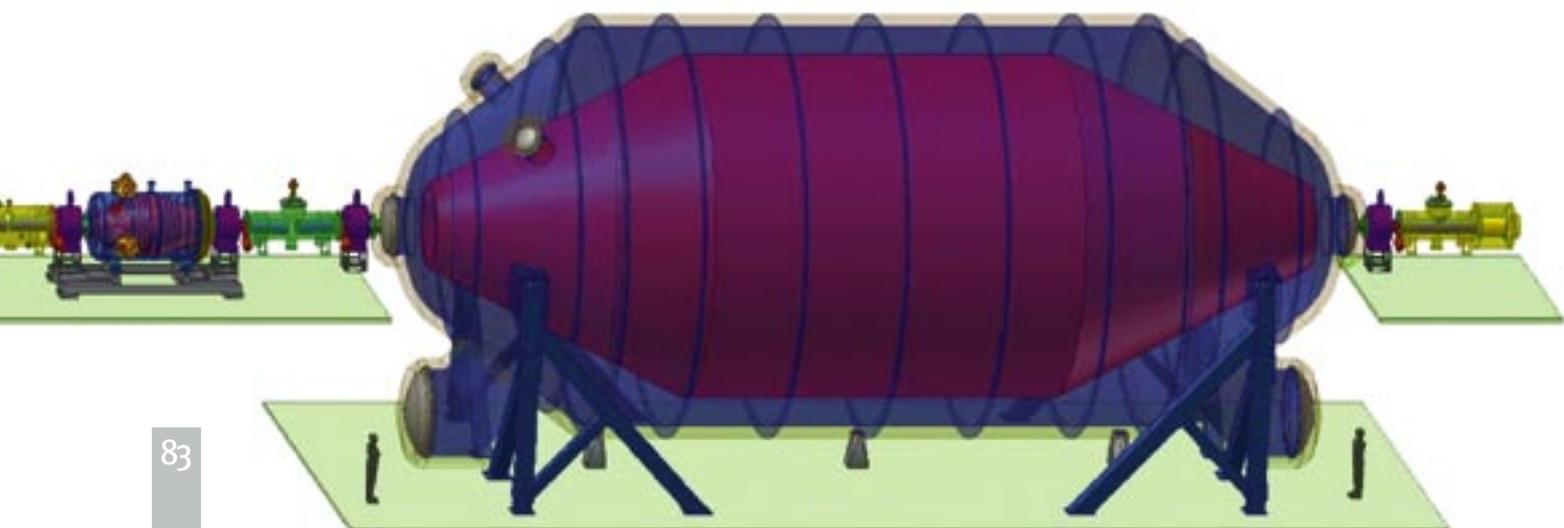
Urknall nicht homogen verteilt? Neutrinos könnten einen entscheidenden Einfluss haben. Denn weil sie fast gar nicht mit anderer Materie wechselwirken, können sie Energie über große Strecken gleichmäßig durchs Universum transportieren. Wenn sie aber eine nennenswerte Masse haben, würden sie von schon bestehenden Materiekumpen angezogen und heterogene Strukturen weiter verstärken.

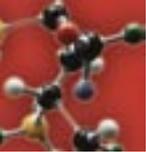
Kandidat für Dunkle Materie

Astronomen etwa schließen aus der Ausdehnung des Universums, dass irgend etwas dort draußen sehr viel Schwerkraft erzeugen muss, für das aber sämtliche unserer Untersuchungsmethoden blind sind; sie nennen es Dunkle Materie. Vor zehn Jahren noch glaubten sie, dass Neutrinos die gesamte Dunkle Materie ausmachen könnten – die Vermutung ist nahe liegend, denn auch Neutrinos sind fast nicht wahrnehmbar für Messgeräte aller Art. Mit der heute bekannten Obergrenze für die Neutrino-Masse ist der mögliche Anteil an der Dunklen Materie aber bereits unter 50 Prozent gesunken.

Eine andere, ungeklärte Frage aus der Kosmologie lautet: Wieso sind die Galaxien so extrem ungleichmäßig über das Universum verteilt? Warum hat sich die Materie nach dem

Die zurzeit bekannte Obergrenze für die Neutrinomasse entspricht 2 Elektronenvolt. Das Resultat stammt aus Pionierexperimenten der Universität Mainz und einer russischen Gruppe aus Troitsk, die das Prinzip der magnetischen Führung und elektrostatischen Energiemessung für Elektronen aus dem Tritiumzerfall entwickelten und die Messfehler auf diesen Wert senken konnten. Das Karlsruher Forscherteam wird die Messgenauigkeit um einen Faktor zehn verbessern. Man könnte die Masse-Obergrenze also bis auf 0,2 Elektronenvolt reduzieren. Das ist spektakulärer, als es auf den ersten Blick scheinen mag, denn genau in diesem





Struktur der Materie

Bereich zwischen 0,2 und 2 Elektronenvolt verläuft die Grenze: Liegt die Masse des Neutrinos darüber, kann es der gesuchte Kandidat für die Strukturbildung im Universum sein und einen entscheidenden Beitrag zur Dunklen Materie liefern. Liegt sie darunter, ist das Neutrino im Prinzip aus dem Rennen.

Experiment für nicht-messbare Teilchen

Ein Neutrino lässt sich aber kaum messen. Und die Massen, um die es hier geht, liegen in der Größenordnung von Millionsteln einer Elektronenmasse. Ohne Geschick und einigen experimentellen Aufwand ist hier also ganz sicher nichts zu holen.

FZK

Das Vorspektrometer von KATRIN ist inzwischen aufgebaut und in Betrieb genommen. Hier werden die für das Experiment geeigneten Elektronen aus dem Beta-Zerfall von Tritium ausgewählt.

Neutrinos – Geisterhafte Teilchen



Etwa 60 Milliarden von ihnen rasen pro Sekunde durch die Kuppe eines Fingers. Wir spüren sie nicht, und selbst mit gigantischen Detektoren ist es extrem mühsam, hin und wieder eins zu registrieren. Neutrinos „sehen“ uns nämlich nicht. Sie haben eine extrem kleine Masse und werden deshalb kaum von der Gravitation beeinflusst. Sie sind elektrisch neutral, so dass die elektromagnetische Kraft nicht auf sie wirkt, und die Starke Kraft aus den Atomkernen wirkt ebenfalls nicht auf sie. Das bedeutet: Sie werden im Prinzip durch nichts gebremst.

Nur eine der vier Kräfte, die wir kennen, betrifft sie: die Schwache Kraft. Die Schwache Kraft ist zuständig für die Umwandlung von Elementarteilchen. Zum Beispiel bei der Kernfusion in der Sonne, bei der die meisten Neutrinos erzeugt werden, die hier auf der Erde durch uns hindurchrasen.

Neutrinos gehören nicht nur zu den elementaren Bausteinen unserer Welt. Auch in der Astrophysik sind sie heiß begehrte Objekte. Sie dienen als Informanten aus dem Inneren ferner Sterne, sie hängen mit der Dunklen Materie zusammen, die unser Universum zu einem großen Teil ausmachen soll, und vielleicht haben sie entscheidend zur Bildung von großräumigen Strukturen im Universum beigetragen. ■

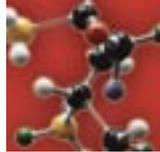
Die Idee von KATRIN folgt dem Effekt, den Wolfgang Pauli schon 1930 beschrieb. Beim Beta-Zerfall wandelt sich im Atomkern ein Neutron in ein Proton, gleichzeitig wird ein Elektron emittiert. Dieses Elektron ist allerdings manchmal schneller und manchmal langsamer, hat also entsprechend mehr oder weniger Energie. Sicher ist aber, dass beim Beta-Zerfall beispielsweise eines Tritium-Atoms immer die gleiche Gesamtenergie frei wird. Deshalb muss ein weiteres Teilchen entstanden sein, das den Energieunterschied zwischen der Elektronen- und der Gesamtenergie trägt: das Neutrino.

Die Physiker bei KATRIN lassen Tritium-Atome zerfallen und messen, welche Energien die emittierten Elektronen haben. Sie kennen die Gesamtenergie, die entsteht. Wenn die Energie der Elektronen nun niemals an die Gesamtenergie herankommt, sondern immer mindestens um einen kleinen Betrag darunter bleibt, entspricht dieser kleine Betrag der gesuchten Masse des Neutrinos. So weit die gut überschaubare Idee.

High Tech für den Winzling

In der Praxis braucht man nicht nur eine 70 Meter lange Experimentieranlage mit einem 24-Meter-Spektrometer, sondern auch in jedem Abschnitt absolute Präzision und sehr viel High Tech. Das beginnt mit der Reinheit der Tritium-Quelle und endet mit der Elektronik des Spektrometers.

Tritium ist ein natürliches, radioaktives Isotop, das mit einer Halbwertszeit von 12,3



Struktur der Materie



Foto: FZK

Jahren zu Helium zerfällt. Bei jedem einzelnen Beta-Zerfall entstehen jeweils ein Elektron und ein Neutrino. Bei KATRIN entschwindet das Neutrino sofort unentdeckt aus der Anlage. Das Elektron dagegen kann man ins Spektrometer lenken, um dort seine Energie zu messen. Auf dem Weg dorthin darf es nicht mit Gasmolekülen zusammenstoßen, es würde ja Energie verlieren. Deshalb herrscht in der gesamten Anlage ein extremes Vakuum – 10^{-11} Millibar. Kältefallen und Vakuumpumpen sorgen dafür, dass auch die beim Zerfall entstandenen Helium-Atome aus der Anlage verschwinden.

40 supraleitende Magnete führen die Elektronen über Magnetfelder bis in das eigentliche Spektrometer. Hier schließlich treffen sie auf ihren Bezwinger: ein äußerst präzise eingestelltes elektrisches Feld, das ihnen entgegengerichtet ist. Es bremst sie ab. Nur Elektronen, deren Energie größer ist als die des Feldes, kommen am anderen Ende an und werden vom Detektor registriert. Wenn die KATRIN-Forscher die angelegte Spannung variieren und jeweils den Anteil ans Ziel gekommener Elektronen dagegen auftragen, haben sie genau ihr Energiespektrum und – hoffentlich – den kleinen Fehlbetrag, der der Neutrinomasse entspricht.

Drei Jahre für die ultimative Antwort

Das Forschungszentrum Karlsruhe bietet ideale Voraussetzungen für dieses Großexperiment. Nicht nur, dass es das europaweit einzige genehmigte Tritium-Labor beherbergt. Auch die langjährige Erfahrung mit Hochvaku-

um- und Kältetechnik und das Know-how beim Bau und Betrieb großer wissenschaftlicher Apparaturen kommen dem Projekt zugute. Zusammen mit der Einbettung in starke nationale und internationale Kollaboration, die alle Experten auf dem Gebiet der Tritiumzerfallsexperimente vereint, sind also beste Voraussetzungen zum Erfolg gegeben.

Die Realisierung von KATRIN hat inzwischen begonnen; die Gesamtapparatur ist voraussichtlich im Jahr 2008 für den Betrieb bereit. Drei Jahre lang wird KATRIN Daten sammeln – und kann dann endlich Auskunft geben, ob Astrophysiker und Kosmologen in ihren Modellen eine Neutrinomasse berücksichtigen müssen. Oder ob sie das Neutrino als Leichtgewicht ein wenig beiseite legen können. Auch die Grundlagen der Elementarteilchenphysik werden nicht unberührt bleiben: In dem seit Jahrzehnten ungemein erfolgreichen Standardmodell wird dem Neutrino noch die Masse null zugeschrieben. Inzwischen gibt es eine Vielzahl modifizierter und angepasster Modelle. Welche dieser Modelle weiter verfolgt werden und welche „in der Tonne landen“ – auch darüber wird der Ausgang von KATRIN bestimmen.

Dr. Markus Steidl

Institut für Kernphysik
Forschungszentrum Karlsruhe

Dipl.-Phys., Dipl.-Journ. Julia Förster

Wissenschaftsjournalistin, Hannover



Struktur der Materie

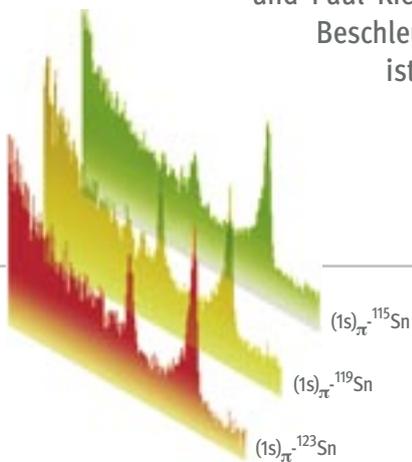
In schweren pionischen Atomen umläuft das Pion (grün) den Kern in geringem Abstand. Dabei taucht es tief in den aus Protonen (rot) und Neutronen (blau) bestehenden Kern ein. Einige Kugeln sind aufgebrochen, um die Quark-Unterstruktur der Kernbausteine und des Pions zu veranschaulichen.

Wie kam die Masse in die Welt?

Experimente an „exotischen“ Atomen bestätigen Theorien über den Ursprung der Masse.

Ein Beitrag aus der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt

Woher kommt die Masse der Atomkerne – und damit fast der gesamten sichtbaren Materie im Universum? Diese scheinbar einfache Frage ist noch immer nicht endgültig geklärt. Wissenschaftler um das japanisch-deutsche Forscherduo Toshimitsu Yamazaki und Paul Kienle haben einen großen Schritt in Richtung Antwort gemacht. An der Beschleunigeranlage der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt ist es ihnen gelungen, Atome herzustellen, mit deren Hilfe Theorien zum Ursprung der Masse überprüft werden konnten.



In dem 75 Meter langen hochauflösenden Teilchenspektrometer der GSI können die gesuchten pionischen Atome nachgewiesen und vermessen werden. Die mit hoher Präzision aufgenommenen Spektren erlauben es den Wissenschaftlern, Theorien zum Ursprung der Pionenmasse zu überprüfen.

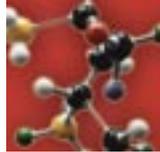
Foto und Spektrum: GSI



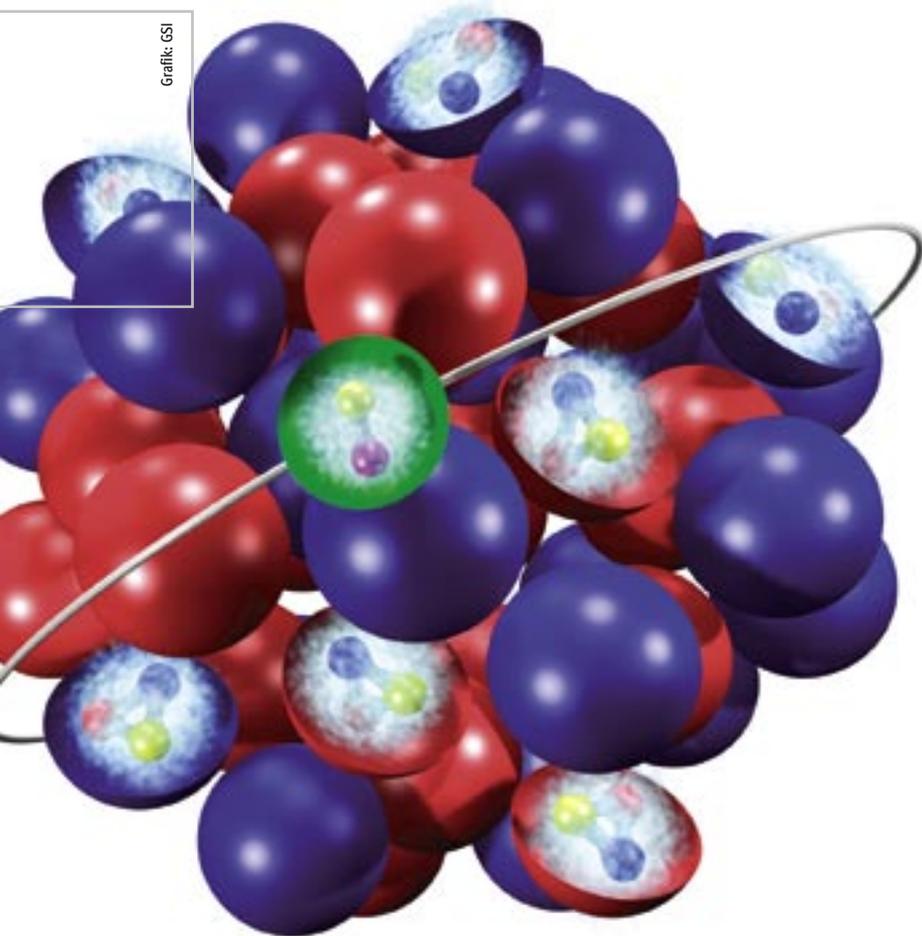
Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. Diese Aussage hat für Physiker eine sehr konkrete Bedeutung, wenn sie die Masse der Atomkern-Bausteine – Protonen und Neutronen – untersuchen. Protonen und Neutronen bestehen aus jeweils drei Quarks; zählt man aber die Massen von drei Quarks zusammen, kommt man gerade mal auf etwa zwei Prozent der tatsächlichen Masse eines Kernbausteins. Warum aber wiegen die Protonen und Neutronen fast 50-mal so viel wie ihre Bestandteile?

Das Geheimnis der gebrochenen Symmetrie

Der Ursprung der Masse ist nicht nur für Protonen und Neutronen ungeklärt, sondern für die gesamte Teilchenfamilie der Hadronen. Unter diesem Begriff werden



Struktur der Materie



Grafik: GSI

alle Teilchen zusammengefasst, die aus Quarks aufgebaut sind und der so genannten Starken Kraft (hadron, griechisch: stark) zwischen den Quarks unterliegen.

Die Wissenschaftler nehmen deshalb an, dass der Schlüssel zur Lösung des „Masse-Rätsels“ in den speziellen Eigenschaften der Starken Kraft liegen muss. Sie sind überzeugt, dass die Masse der Hadronen eng mit einer Symmetriebrechung der Starken Kraft verknüpft ist, die in der Frühphase des Universums eingetreten sein muss. Es geht um die „spontane Brechung der chiralen Symmetrie der Starken Kraft“. Als Folge dieser Symmetriebrechung – so die Theorie – erfüllt ein so genanntes Quark-Antiquark-Kondensat das Vakuum. Dieses Kondensat beeinflusst die Starke Kraft – und so die Masse von Hadronen.

Kernfrage: Passt die Praxis zur Theorie?

Das klingt sehr akademisch – und ist es auch. Aber das japanisch-deutsche Forscherteam hat einen Weg gefunden, die theoretischen Vorhersagen experimentell zu überprüfen. Die Physiker hatten folgende Idee: Gelingt es, die Stärke des Quark-Antiquark-Kondensats in der Umgebung eines Hadrons zu verringern, so sollte dies die Masse des Hadrons verändern. Je nachdem, welche Sorte Hadronen man dabei betrachtet, müsste sich der Theorie zufolge die Hadronenmasse erhöhen oder verringern.

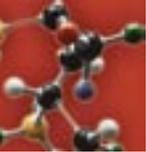
Wie schafft man es, die Stärke des Quark-Antiquark-Kondensats in der Umgebung eines Hadrons zu verringern? Aus der Theorie ergibt sich eine elegante Möglichkeit. Aus ihr lässt sich nämlich ableiten, dass im Inneren eines großen Atomkerns die Stärke des Kondensats auf etwa 65 Prozent des Wertes im Vakuum reduziert ist. Gelingt es also, so die Idee der

Forscher, die Masse eines Hadrons zu bestimmen, das sich zumindest teilweise in einem großen Atomkern aufhält, dann bräuchte man diese Masse nur noch mit der „Normalmasse“ des Hadrons im Vakuum zu vergleichen und hätte so eine Möglichkeit, die Theorie zu testen. Genau diesen Weg verfolgte das Forscherteam mit der Untersuchung pionischer Blei- und Zinn-Atome an der Beschleunigeranlage der GSI.

Auf dem Prüfstand: Pionische Atome

Was aber sind pionische Atome? Und vor allem: Was macht sie so spannend für die Forscherinnen und Forscher auf der Spur der Masse? In gewöhnlichen Atomen kreisen leichte, negativ geladene Elektronen um den Atomkern. In einem pionischen Atom bewegt sich anstelle eines Elektrons ein negativ geladenes Pion um den Kern herum. Anders als Elektronen besteht ein Pion aus zwei Quarks, zwischen denen die Starke Kraft wirkt. Es gehört also zur Familie der Hadronen. Bedingung Nummer eins, um es interessant zu machen.

Und weil die Masse des Pions gut 270-mal größer ist als die eines Elektrons, ist sein mittlerer Abstand vom Kern etwa 270-mal kleiner. Das schwere Pion taucht deshalb, einfach ausgedrückt, bei seinen Umräumungen tief in den Bereich des Atomkerns ein – und erfüllt so das Kriterium Nummer zwei. Denn die Forscher brauchen ja ein Hadron, das sich zumindest teilweise in einem Kern und damit in einem Gebiet mit verändertem Quark-Antiquark-Kondensat aufhält. Allein diese „exotisch“ genannten Systeme herzustellen und zu untersuchen, ist extrem schwierig. Und es gab in der Fachwelt durchaus Zweifel, ob das überhaupt gelingen könnte.

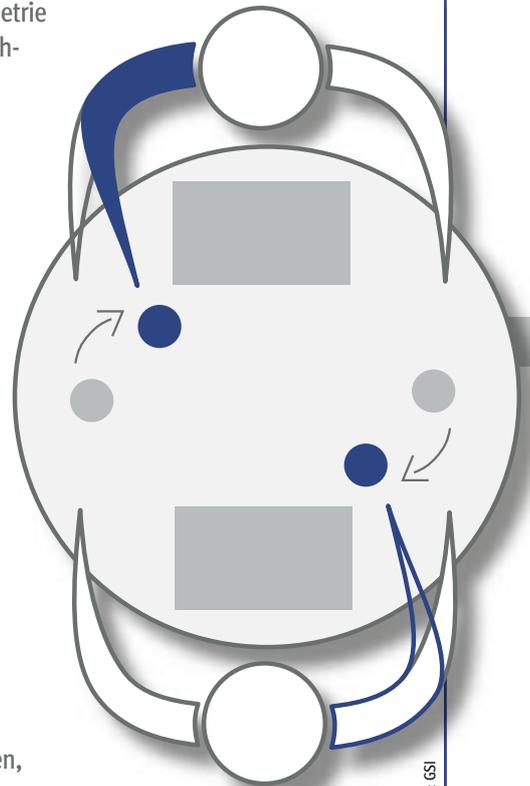


Chirale Symmetrie und spontane Symmetriebrechung

 Symmetrien und Symmetrieverletzungen der Naturkräfte haben die Evolution des Universums und die Eigenschaften der Materie entscheidend mit geprägt. Dies gilt insbesondere auch für die chirale Symmetrie der Starken Kraft, die nach den Vorstellungen der Physiker in der Frühphase des Universums spontan gebrochen wurde.

Was aber bedeuten „chirale Symmetrie“ und „spontane Symmetriebrechung“? Ein anschauliches Beispiel: Der halb gedeckte Tisch zeichnet sich im Zustand A (hellgraue Gläser) durch chirale Symmetrie, das heißt Links-Rechts-Symmetrie, aus. Die beiden Gäste können sich für das Glas links oder rechts von sich entscheiden. Solange beide Möglichkeiten existieren, befinden sich Tisch und Gäste in einem chiral symmetrischen Zustand. Sobald sich aber ein Gast, zum Beispiel der obere, für ein – in diesem Fall das rechte – Glas entscheidet, muss auch der andere das rechte Glas wählen (Zustand B, dunkelblaue Gläser). Die chirale Symmetrie wird spontan gebrochen. In der Tat liegt in unserer heutigen „Restaurant-Welt“ ein spontan gebrochener Zustand vor – der Salatteller befindet sich in der Regel links, die Gläser stehen rechts.

Auch die Starke Kraft zeichnet sich durch chirale Symmetrie aus – und zwar bezüglich einer Eigenschaft der leichten Quarks, die von den Physikern als Links- beziehungsweise Rechts-händigkeit bezeichnet wird. Beim Übergang vom frühen Quark-Gluon-Plasma zu hadronisch gebundenen Quarks, etwa in Form von Pionen, wurde die chirale Symmetrie jedoch spontan gebrochen. Genau genommen liegt die spontane Symmetriebrechung in der Materie selbst begründet, die durch die Starke Kraft beherrscht wird. Sichtbare Konsequenz der Symmetriebrechung: die im Vergleich zu den elementaren Quarks um ein Vielfaches größeren Hadronenmassen. ■



Grafik: GSI

GSI

Experiment geglückt – Theorie und Ergebnis im Einklang

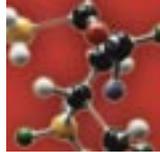
Die Theorie sagt: Wenn im Inneren großer Kerne das Quark-Antiquark-Kondensat schwächer ist als im Vakuum, sollte das zu einer größeren effektiven Pionenmasse führen. Genau das konnten die Forscher bei ihren Experimenten beobachten – qualitativ und quantitativ. Die Änderung der Pionenmasse kann also tatsächlich mit chiralen Theorien der Starken Wechselwirkung gedeutet werden.

Mit ihren Experimenten an pionischen Atomen haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Darmstadt einen wichtigen Beitrag geleistet, dem Ursprung der Pionenmasse auf die Spur zu kommen. Die Physiker nehmen an, dass nicht nur die Pionenmassen, sondern generell alle Hadronenmassen im Zuge der spontanen Brechung der

chiralen Symmetrie der Starken Wechselwirkung entstanden sind und deshalb von der Stärke des Quark-Antiquark-Kondensats abhängen. Um dies zu überprüfen, sind bei der GSI Experimente an schweren Hadronen, zum Beispiel Eta, K, Rho und Omega-Mesonen, in Vorbereitung. Die Chancen stehen gut, dass die Physiker das „Rätsel der Hadronenmassen“ in den kommenden Jahren weitgehend lösen werden.

Dr. Klaus Dieter Groß

Gesellschaft für Schwerionenforschung, Darmstadt

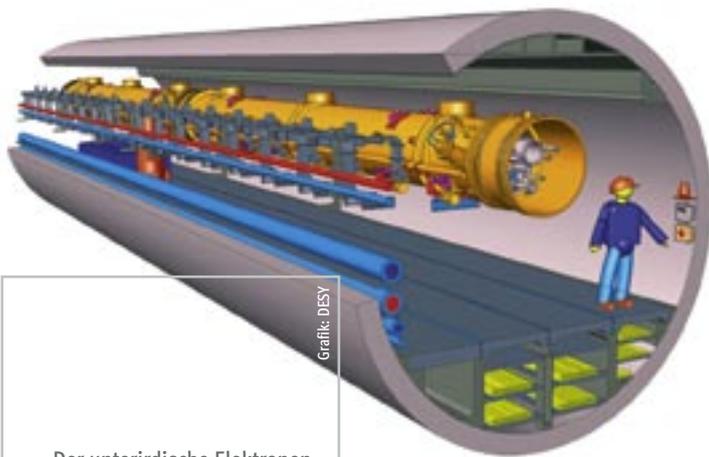


Filme aus dem Mikrokosmos

Der Röntgenlaser XFEL verspricht der europäischen Forschergemeinschaft völlig neue Einsichten.

Ein Beitrag aus dem Deutschen Elektronen-Synchrotron in Hamburg

Naturwissenschaftler aus ganz Europa dürfen sich auf ein neues Forschungs-Highlight bei DESY am Stadtrand von Hamburg freuen: Ab 2012 ermöglicht der XFEL dort mit extrem intensiven und kurzen Röntgenblitzen erstmals filmische Einblicke in molekulare Abläufe.



Grafik: DESY

Der unterirdische Elektronen-Linearbeschleuniger, der die superschnellen Teilchen zur Erzeugung der Röntgenstrahlung liefert, wird zwischen Hamburg-Bahrenfeld und Schenefeld verlaufen.

In der kleinen Stadt Schenefeld, wo heute noch Landwirtschaft und Gartenbau das Bild prägen, werden ab 2006 die Experimentierhallen für eine in Europa einmalige Lichtquelle errichtet: das europäische Röntgenlaserlabor XFEL. Angebunden an das Forschungszentrum DESY in Hamburg-Bahrenfeld, wo die drei Kilometer lange Anlage beginnt, entsteht ein unabhängiges und von bisher elf europäischen Staaten unterstütztes Zentrum für Spitzenforschung mit Röntgenlicht.

Mehr Licht!

Der Röntgenlaser beruht auf einem in der supraleitenden TESLA-Technologie gebauten Linearbeschleuniger. Er beschleunigt dicht gebündelte „Päckchen“ von Elektronen extrem hoher Dichte auf Energien von 10 bis 20 Milliarden Elektronenvolt – das ist über zehntausendmal mehr als die Ruheenergie eines Elektrons. Anschließend fliegen die fast lichtschnellen Elektronen im Slalomkurs durch eine spezielle Magnetanordnung, den Undulator. Dabei geben sie Röntgenstrahlung ab, die sich während des Fluges immer mehr verstärkt. Auf diese Strahlung haben es die Forscher abgesehen, denn sie ist brilliant: Die außerordentlich intensiven und kurzen Röntgenblitze mit Lasereigenschaften ermöglichen es, chemische Reaktionen mit atomarer Auflösung darzustellen, ebenso Bewegungen von Biomolekülen oder die Entstehung von Feststoffen. Fantastische Aussichten nicht nur für Grundlagenforscher, sondern auch für die Industrie und die Medizin.

Fortsetzung auf Seite 91



Unterwegs zum europäischen Großprojekt XFEL

 Im Februar 2003 gab das Bundesministerium für Bildung und Forschung grünes Licht für den von DESY vorgeschlagenen XFEL. Die Entscheidung basiert auf einer Empfehlung des Deutschen Wissenschaftsrats, der verschiedene Großgeräte für die Grundlagenforschung begutachtet hatte. Natürlich ist ein solches Großprojekt – finanziell, räumlich und zeitlich gesehen – ein enormer Kraftakt, den ein Land allein nicht bewältigen kann. Und der Nutzen für die Wissenschaft ist so groß, dass ihn Landesgrenzen nicht einschränken dürfen. Deshalb ist der XFEL als europäisches Gemeinschaftsprojekt konzipiert. Deutschland ist bereit, aufgrund des Standortvorteils etwa 60 Prozent der Gesamtkosten von 908 Millionen Euro (inklusive der Preissteigerungen bis 2012) zu tragen.

Bereits Anfang 2004 fand in Darmstadt die konstituierende Sitzung des XFEL Steering Committee statt. Dieser Lenkungsausschuss ist auf Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung entstanden und mit hochrangigen Regierungsvertretern besetzt. Er konkretisiert die Beteiligung der europäischen Staaten. So sind die Staaten, die sich am Bau und Betrieb des XFEL beteiligen wollen, schon in einer sehr frühen Phase in die Gestaltung eingebunden. Neben Deutschland sind zurzeit zehn weitere Länder Mitglied: Dänemark, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Italien, die Niederlande, Russland, Schweden, die Schweiz und Spanien; weitere können folgen.

Die meisten dieser Länder haben bereits ein Memorandum of Understanding für die Vorbereitungsphase unterzeichnet. Zwei internationale Arbeitsgruppen bereiten die nächsten Schritte inhaltlich und organisatorisch vor. Ende 2005 soll die Vorbereitungsphase abgeschlossen sein; die Ergebnisse werden die Basis für eine zwischenstaatliche Konvention für das europäische Röntgenlaserlabor XFEL bilden, die Bau und Betrieb des Röntgenlasers regelt. Nach etwa sechs Jahren Bauzeit könnte er ab 2012 in Betrieb gehen.

DESY: Die Basisstation

DESY selbst wird verschiedene Aufgaben für die neue Anlage übernehmen, insbesondere in der Bauphase und beim Servicebetrieb. So baut DESY als Teil seines eigenen Forschungsprogramms ein Zentrum für Forschung an Röntgenlasern auf, das die wissenschaftlichen Programme vorbereiten und zur Koordinierung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für die technischen Komponenten beitragen soll. Der Bereich Forschung mit Photonen umfasst neben dem Engagement am XFEL auch Programme an den Synchrotron-Strahlungsquellen DORIS und PETRA sowie dem 300 Meter langen Freie-Elektronen-Laser VUV-FEL, einer Lichtquelle für Strahlung im Vakuum-Ultraviolett und im weichen Röntgenbereich, die zugleich als Pilotanlage für den Röntgenlaser XFEL dient. ■

DESY selbst wird verschiedene Aufgaben für die neue Anlage übernehmen, insbesondere in der Bauphase und beim Servicebetrieb. So baut DESY als Teil seines eigenen Forschungsprogramms ein Zentrum für Forschung an Röntgenlasern auf, das die wissenschaftlichen Programme vorbereiten und zur Koordinierung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für die technischen Komponenten beitragen soll. Der Bereich Forschung mit Photonen umfasst neben dem Engagement am XFEL auch Programme an den Synchrotron-Strahlungsquellen DORIS und PETRA sowie dem 300 Meter langen Freie-Elektronen-Laser VUV-FEL, einer Lichtquelle für Strahlung im Vakuum-Ultraviolett und im weichen Röntgenbereich, die zugleich als Pilotanlage für den Röntgenlaser XFEL dient. ■

DESY

An dieser Testanlage wurde die TESLA-Technologie entwickelt und erprobt. Die Anlage wurde zu dem 300 Meter langen Freie-Elektronen-Laser VUV-FEL ausgebaut, an dem 2005 die Forschungsarbeiten beginnen.

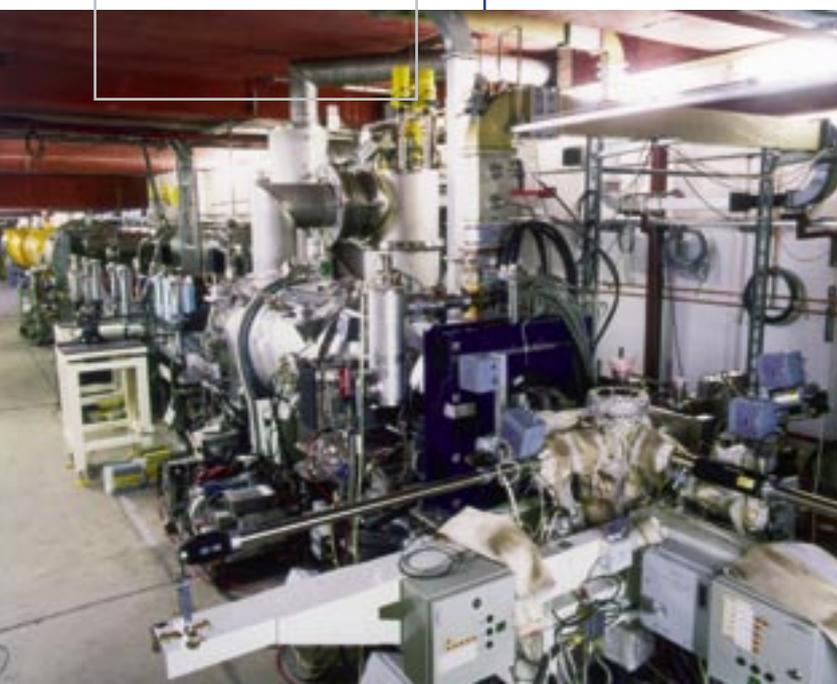
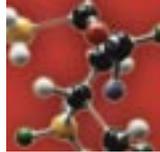
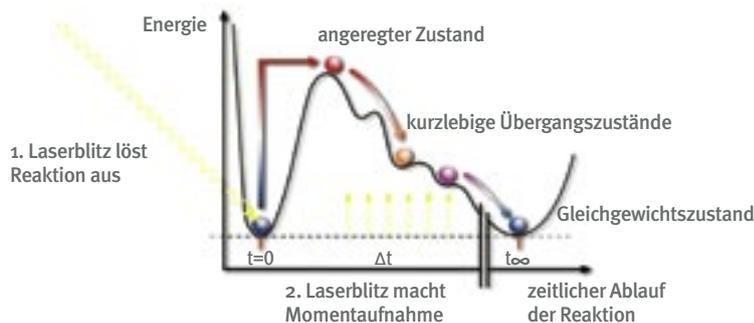
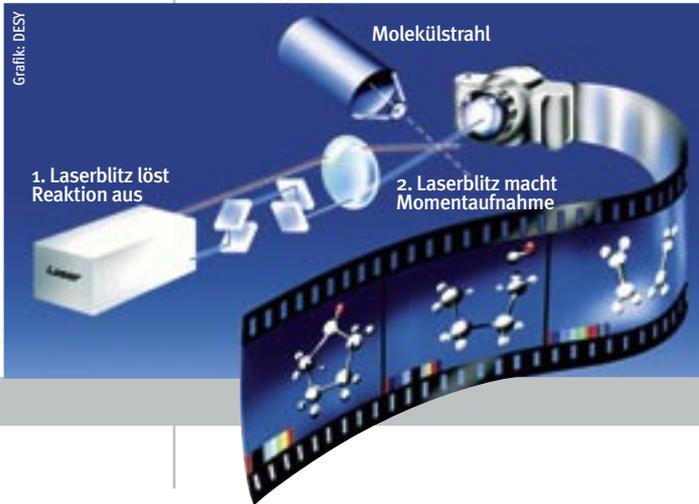


Foto: DESY



Struktur der Materie

24 Bilder pro Sekunde reichen aus, um im Kino eine scheinbar fortlaufende Bewegung zu sehen. Um chemische Reaktionen „filmisch“ aufzulösen, braucht man dagegen intensive Röntgenpulse, die nur milliardstel Sekunden lang sind. Ausgelöst wird die chemische Reaktion durch einen ersten Laserblitz, der die Moleküle in einen energiereicheren, angeregten Zustand versetzt. Anschließend fallen sie wieder in ihren energieärmeren Gleichgewichtszustand zurück. Ein zweiter Laserblitz macht eine Momentaufnahme der dabei ablaufenden Molekülveränderung.



Der unterirdische Tunnel für den Elektronen-Linearbeschleuniger, der die superschnellen Teilchen zur Erzeugung der Röntgenstrahlung liefert, beginnt auf dem DESY-Gelände in Hamburg-Bahrenfeld. Er endet in Schenefeld (Kreis Pinneberg), wo die Experimentierhallen mit anfangs zehn Messstationen entstehen. Die zentrale Versorgungsstation auf dem DESY-Gelände ermöglicht den Forscherinnen und Forschern, die dortige Infrastruktur für ihre Arbeit zu nutzen.

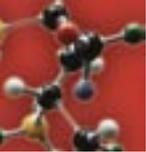
Die einzigartige Röntgenlaser-Kamera

Mit ultraschnellen Lasern als „Kameras“ lassen sich Momentaufnahmen von chemischen Reaktionen mit Belichtungszeiten im Bereich von Femtosekunden machen. Femto bedeutet Billiardstel, und Femtosekunden sind die zeitliche Größenordnung, in der sich chemische Bindungen ausbilden und Molekülgruppen ihre Lage ändern. Der Röntgenlaser kann solche Filme aus dem Mikrokosmos mit bislang unerreichter Detailtreue und Zeitauflösung aufnehmen. Die Wellenlänge seines Röntgenlichts ist so klein, dass selbst atomare Details erkennbar werden. Sie kann im Bereich zwischen sechs und einem zehntel Nanometer (milliardstel Meter)

variiert werden. Die Leuchstärke ist in ihren Spitzenwerten milliardenfach höher als die modernster Röntgenquellen. Daher reicht ein einziger Laserblitz aus, um die reagierenden Moleküle mit atomarer räumlicher Auflösung abzubilden. Außerdem ist der Röntgenlaser hervorragend fokussierbar und hat eine Blitzdauer von unter 100 Femtosekunden. Damit lassen sich chemische Reaktionen genau verfolgen und verstehen. Reaktionen, die beispielsweise in Optoelektronik, Photovoltaik, Brennstoff- oder Solarzellen ihre Anwendung finden. Inzwischen gibt es Vorschläge, wie man die Pulsdauer in den Sub-Femtosekundenbereich bringen kann.

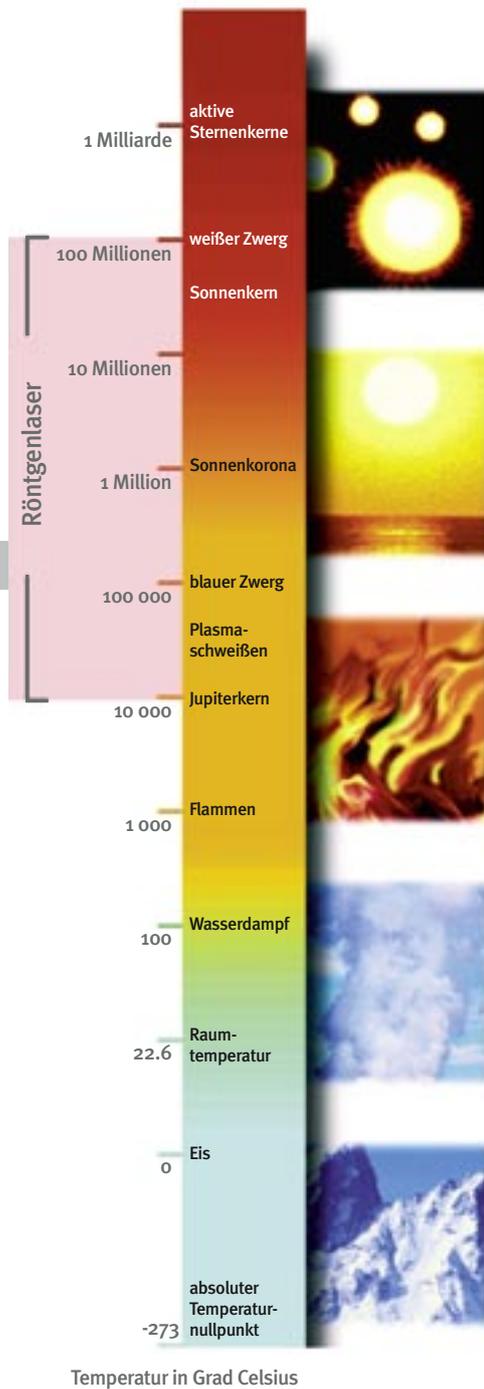
Schnappschüsse von einzelnen Molekülen

Ein einzelnes Molekül aufnehmen und seinen atomaren Aufbau entschlüsseln – ein Wunschtraum der Molekularbiologen, die heute in mühsamer Kleinarbeit aus möglichst vielen der normalerweise in Wasser gelösten Biomoleküle einen festen Kristall „züchten“ müssen, um im Röntgenlicht ein brauchbares Streubild zu erzeugen. Der Röntgenlaser eröffnet völlig neue Möglichkeiten, um biologische Strukturen mit atomarer Auflösung aufzuklären, ohne den aufwändigen Umweg über die Kristallisation. Seine intensive Röntgenstrahlung hat die Eigenschaften von Laserlicht. Damit lassen sich Hologramme von einzelnen Molekülen anfertigen, also ihr Aufbau räumlich abbilden. Außerdem ist die Blitzdauer kurz genug, um auch Bewegungen zeitaufgelöst zu verfolgen – beispielsweise wie ein Virus in eine Zelle eindringt. Den Medizinern helfen solche Einsichten dabei, neue zielgenaue Medikamente zu entwickeln.



Struktur der Materie

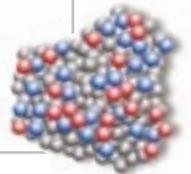
DESY



Grafik: DESY

Mit einem Röntgenlaser können Plasmen erzeugt werden, die so heiß sind wie das Innere riesiger Sterne. Biomoleküle werden durch die intensive Röntgenstrahlung zerstört und explodieren regelrecht. Aber der XFEL blitzt so schnell, dass vorher ein hochaufgelöstes Bild von dem Molekül entsteht. Das Bild rechts zeigt eine Simulation dieses Vorgangs.

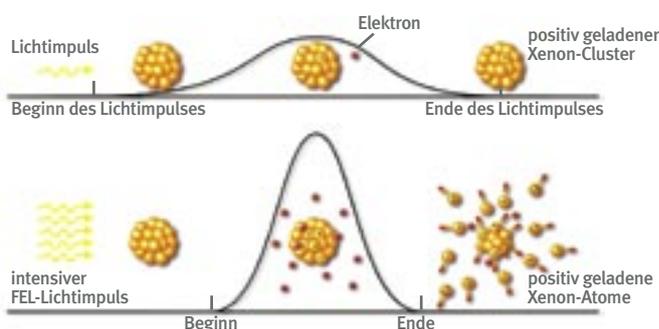
Grafik: DESY



Auch Materialforscher bekommen einzigartig detaillierte Einblicke in das dynamische Verhalten von Werkstoffen und in Prozesse wie Reibung und Verschleiß. Sogar Materialien im Nanobereich, also mit Abmessungen von milliardstel Metern, lassen sich genauestens durchleuchten – und beispielsweise für die Elektronik der Zukunft nutzbar machen.

Plasmen im Labor

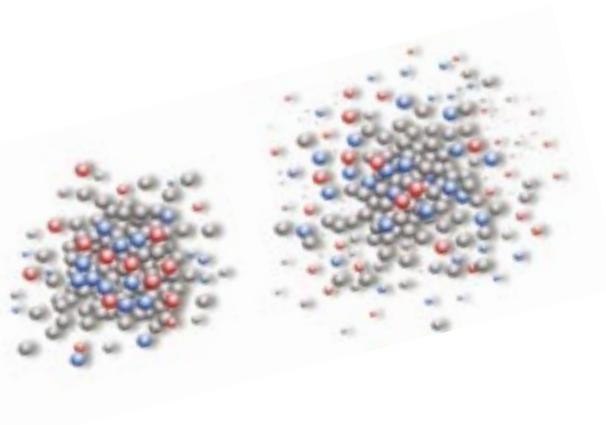
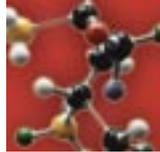
Bei Temperaturen von einigen tausend Grad geht Materie in einen „exotischen“ Zustand über: Elektronen werden aus der Atomhülle abgespalten, das heiße Gas wird dadurch elektrisch leitend – ein Plasma ist entstanden. In der Technik spielen Plasmen eine große Rolle. Computerchips beispielsweise können mit Plasmaätzverfahren hergestellt werden, neue Werkstoffe werden mit Plasmaabrennern erzeugt. In Sternen existiert die Materie im Plasmazustand. Eine besondere Herausforderung der Plasmaphysik ist es, die kontrollierte Kernfusion zu realisieren, also die Energieerzeugung nachzuahmen, die im Inneren von Sternen wie unserer Sonne abläuft.



Clusterexperimente am Freie-Elektronen-Laser.

Links: Ein Cluster aus einigen hundert Xenon-Atomen wird mit Licht bestrahlt. Die Photonen können negativ geladene Elektronen herausschießen, und zurück bleibt, je nach Intensität des Lichtpulses, ein positiv geladener Xenon-Cluster oder eine Vielzahl positiv geladener Xenon-Atome.

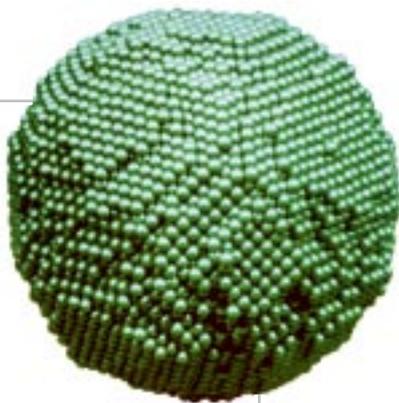
Rechts: Modellrechnung eines 17.000 Atome großen Kupfer-Clusters, der bei katalytischen Prozessen eine Rolle spielt.



Die extrem hohe Strahlungsintensität des XFEL ermöglicht es, mit einem einzigen ultrakurzen Röntgenlichtblitz heißes Plasma zu erzeugen, im Probenvolumen und nicht nur an der Oberfläche. Zugleich können die Forscherinnen und Forscher mit einem zweiten unmittelbar darauf folgenden Blitz eine hochauflösende Momentaufnahme dieses exotischen Materiezustands machen.

Attraktion für Spitzenforscher

Die einzigartigen Forschungsperspektiven des XFEL werden in der europäischen Forschergemeinschaft mit Spannung erwartet. Die Helmholtz-Gemeinschaft wird dadurch noch stärker in die europäische Forschungslandschaft eingebunden, und für den Forschungs- und Industriestandort Deutschland bietet sich die Chance, eine führende Rolle in der Forschung mit Photonen zu übernehmen.



Grafiken: DESY

Erster Platz für EUROFEL



Das von DESY koordinierte Projekt „EUROFEL“ belegte bei der Bewerbung um die Fördergelder des 6. Forschungsrahmenprogramms der Europäischen Union den ersten Platz. Ziel der EUROFEL-Studie ist es, die physikalischen und technologischen Grundlagen für die nächste Generation kurzweiliger Strahlungsquellen zu entwickeln, so genannte Freie-Elektronen-Laser (FEL). „Damit werden in Europa optimale Bedingungen geschaffen, diese neuartigen Strahlungsquellen für die Forschung zu erschließen“, kommentiert der DESY-Physiker Josef Feldhaus, der das EUROFEL-Projekt koordiniert.

Die hervorragende Bewertung der Gutachter bedeutet, dass EUROFEL ab 2005 über drei Jahre verteilt etwa neun Millionen Euro erhält. Am EUROFEL-Vorhaben sind zusammen mit DESY 16 führende Forschungseinrichtungen aus fünf europäischen Ländern beteiligt. In Europa werden zurzeit sieben Freie-Elektronen-Laser-Projekte geplant beziehungsweise gebaut: in Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien und Schweden. Bei DESY werden zwei Anlagen vorangetrieben: der in Europa einzigartige Freie-Elektronen-Röntgenlaser XFEL und der VUV-FEL, eine kleinere Anlage für Strahlung im Vakuum-Ultraviolett und im weichen Röntgenbereich. Der VUV-FEL wird 2005 bei DESY den Nutzerbetrieb aufnehmen und bis 2008/09 weltweit die einzige betriebsbereite Anlage dieser Art sein. ■

Professor Jochen R. Schneider

Forschungsdirektor

Dr. Ute Wilhelmssen

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg



Heute noch zu Füßen von Aristoteles die Vorlesung diskutieren, morgen die Gesellschaft mit eigener Spitzenforschung bereichern: Studenten vor der Universität Freiburg.

Gemeinsam mehr erreichen

Die Helmholtz-Gemeinschaft wird noch enger mit den Hochschulen kooperieren.

Helmholtz-Gemeinschaft

Um das immense Potenzial der vielgestaltigen deutschen Forschungslandschaft noch besser auszuschöpfen, müssen Hochschulen und außeruniversitäre Forschungsorganisationen enger zusammenarbeiten. Die Helmholtz-Gemeinschaft lässt dieser Überzeugung auch Taten folgen: Und baut dabei vor allem auf zwei Modelle, mit deren Hilfe sie ein neues Niveau der Zusammenarbeit erreichen will. Das eine sind so genannte Virtuelle Institute, in denen Forscher aus Helmholtz-Zentren mit Kollegen von Hochschulen zusammenarbeiten. Ihr strategisches Ziel: auf zukunftssträchtigen Gebieten weltweit anerkannte wissenschaftliche Spitzenleistungen zu erbringen. Das zweite Modell sind gemeinsame Nachwuchsgruppen, die jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern hervorragende Entwicklungsmöglichkeiten bieten.

Ober Erforschung von Erde und Umwelt, Astroteilchenphysik oder Verkehrsforschung: In einem Virtuellen Institut arbeiten Menschen zwar nicht am gleichen Ort zusammen, forschen aber gemeinsam genauso wie in einer realen Einrichtung. „Das Modell hat ein entscheidendes Plus“, so der Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft, Professor Dr. Walter Kröll: „Virtuelle Institute richten sich nicht danach, wer vor Ort verfügbar ist. Den Ausschlag für ihre Zusammensetzung gibt vielmehr, welche Expertise nötig ist, um gemeinsam ein wichtiges Thema auf exzellentem Niveau anzugehen.“ In den letzten beiden Jahren haben über 60 Virtuelle Institute ihre Arbeit aufgenommen, beteiligt sind fast 160 Partnerinstitute aus rund

50 Hochschulen in ganz Deutschland. Die Virtuellen Institute werden drei Jahre lang mit in der Regel 240.000 Euro jährlich von der Helmholtz-Gemeinschaft unterstützt. Die Förderung kommt dabei zu mehr als der Hälfte den Hochschulen zugute.

Beste Chancen für den Nachwuchs

Das zweite Fördermodell aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds des Präsidenten sind Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppen, die besonders begabtem Nachwuchs früh wissenschaftliche Selbstständigkeit, eine angemessene Ausstattung und langfristige Karriereperspektiven bieten. Sie werden gemeinsam von einem Helmholtz-Zentrum und einer Hochschule auf einem für beide Partner wichtigen Gebiet eingerichtet. Die Leiterinnen und Leiter der Nachwuchsgruppen werden gemeinsam von Hochschule



Foto: dpa

und Helmholtz-Zentrum bestellt und sind mit akademischen Rechten und Pflichten in die Hochschule eingebunden. Läuft ihre Arbeit nachweislich gut, haben sie die Chance auf unbefristete Beschäftigung (Tenure Track). Die Helmholtz-Gemeinschaft fördert diese Gruppen, weil sie sich besonders viel davon verspricht, sie an der Schnittstelle zwischen Organisationen in gemeinsamer Verantwortung einzurichten. 20 dieser Nachwuchsgruppen gibt es schon, 20 weitere werden derzeit in einem mehrstufigen Begutachtungsverfahren für die Förderung ausgewählt, insgesamt 100 sollen es in den nächsten Jahren werden.

Seit 2004 vergibt die Helmholtz-Gemeinschaft gemeinsam mit der Alexander von Humboldt-Stiftung den so genannten Helmholtz-Humboldt-Forschungspreis. Er honoriert das Lebenswerk ausländischer Wissenschaftler. Zudem ist er verbunden mit der Einladung, an einem Helmholtz-Zentrum in Deutschland zu forschen und dabei einen Hochschulpartner einzubeziehen.

An gewachsene Strukturen anknüpfen

„Die enge Zusammenarbeit mit den Hochschulen hat bei Helmholtz eine solide, teilweise über Jahrzehnte gewachsene Basis“, erklärt Professor Kröll.

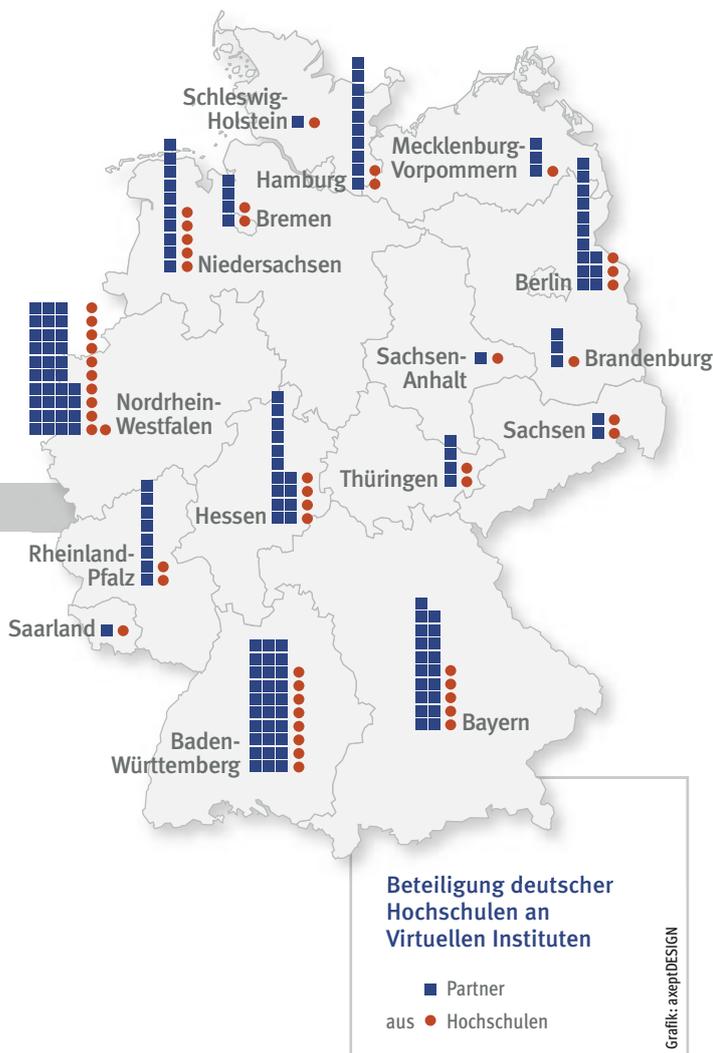
So sind rund 200 Helmholtz-Wissenschaftler gemeinsam von Helmholtz-Zentren und Hochschulen berufene Professoren. Heute sind Helmholtz-Zentren zudem an mehr als 40 Sonderforschungsbereichen der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) beteiligt. Dort wirken sie an langfristig angelegten Forschungsprojekten der Hochschulen mit, bei denen Wissenschaftler interdisziplinär zusammenarbeiten. Helmholtz-Zentren beteiligen sich an rund 50 DFG-Graduiertenkollegs – also an der Ausbildung von Doktoranden in Forschungsprogrammen, die mehrere Universitäten gemeinsam entwickeln. Und nicht zuletzt vergeben Helmholtz-Zentren jährlich Aufträge für Forschung und Entwicklung an Hochschulen in zweistelliger Millionenhöhe.

Spitzenforschung wächst auf guter Basis

„Auf dieser guten Grundlage können wir mit unseren neuen Instrumenten der Zusammenarbeit aufbauen“, so der Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft. „Wir können noch viel für den Wissenschaftsstandort gewinnen, wenn wir herausragende Forscher und Gruppen stärken. Vor allem müssen wir die strategisch angelegte Kooperation exzellenter Leute und Einrichtungen fördern.“ Nur so kann sich das deutsche Wissenschaftssystem weiterentwickeln, nur so können regionale Exzellenzzentren entstehen, die internationale Aufmerksamkeit erregen – darin ist sich die Helmholtz-Gemeinschaft mit den anderen Forschungsorganisationen einig.



Hochschulkooperation / Nachwuchs



Die Überzeugung, dass engere Zusammenarbeit sowohl die Beteiligten wie auch den gesamten Wissenschaftsstandort Deutschland voranbringt, teilen auch die Hochschulen. Gemeinsam mit der Helmholtz-Gemeinschaft haben ihre Rektoren im August 2004 ein Eckpunktepapier zur Kooperation verabschiedet. Dort bekennen sich beide Seiten dazu, künftig gemeinsame Forschungsstrategien zu entwickeln und zu verfolgen. Außerdem wollen sie bei der Nachwuchsförderung noch enger kooperieren.

Anne Rosche
Redakteurin, Leipzig

Achtung: Hier entsteht Zukunft

Wie die Helmholtz-Gemeinschaft den wissenschaftlichen Nachwuchs fördert.

Moderne Gesellschaften brauchen Spitzenforschung. Und Spitzenforschung braucht exzellenten Nachwuchs. Die Helmholtz-Gemeinschaft setzt deshalb auf eine Strategie, die jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern – in enger Kooperation mit den Hochschulen – attraktive Arbeitsbedingungen und Qualifikation auf Top-Niveau bietet.

Drei zentrale Instrumente dieser Strategie sind: Standards für die Ausbildung der rund 2.500 Doktoranden an den Helmholtz-Zentren, die überall ein vergleichbares und hohes Ausbildungsniveau garantieren. Ein Exzellenzprogramm für hochbegabte Doktoranden, die in Helmholtz-Kollegs durch herausragende Lehrende für Führungspositionen in Wissenschaft oder Wirtschaft qualifiziert werden. Und Nachwuchsgruppen, in denen junge Wissenschaftler eigenständig forschen können. Der Aufbau von rund 40 Gruppen läuft, gefördert aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds des Präsidenten. Die meisten richten die Helmholtz-Zentren gemeinsam mit Hochschulen ein. Tenure Track eröffnet dabei den Gruppenleiterinnen und -leitern die Chance, bei erfolgreicher Arbeit unbefristet beschäftigt zu werden.

Basis für die Helmholtz-Nachwuchsstrategie ist Best Practice in den Zentren der Gemeinschaft. Wir stellen zwei Beispiele vorbildlicher Doktorandenausbildung in Heidelberg und Braunschweig vor. Helmholtz-Nachwuchsförderung setzt aber schon früher an. Alle Zentren haben Angebote entwickelt, um bereits Kinder und Jugendliche an Naturwissenschaft und Technik heranzuführen. Das Flaggschiff sind Helmholtz-Schülerlabore an mittlerweile 18 Standorten in Deutschland. Und dass sogar schon Vorschulkinder für Forschung zu begeistern sind, das zeigt der dritte Beitrag aus Garching. ■



Foto: Van de Andres

Doktoranden im DKFZ.

DKFZ

Nachwuchs

Fördern und Fordern

Seit 2003 gibt es in Heidelberg
Doktoranden-Ausbildung der Extraklasse.

Engere Betreuung, bessere Methoden, mehr Engagement: Das Internationale PhD-Programm im Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) in Heidelberg bietet den Doktoranden eine erstklassige, breit gefächerte Ausbildung – aber es fordert auch außergewöhnlichen Einsatz.

Freizeit ist für die Doktoranden im Deutschen Krebsforschungszentrum seit Oktober 2003 endgültig ein Fremdwort. Experimente werden auf den Abend verschoben, weil nachmittags um vier der Kurs für Wissenschaftsenglisch beginnt. Anschließend wartet noch eine aktuelle Fachpublikation, die für den Journal Club am folgenden Tag aufzubereiten ist. So ein Tagesprogramm ist nicht ungewöhnlich für die Doktorandinnen und Doktoranden. Aber sie wissen, der Eifer lohnt sich: Denn die Beteiligung an jeder dieser Veranstaltungen wird mit Credit Points belohnt. Am Ende seiner Doktorarbeit muss jeder Teilnehmer des neuen PhD-Programms 15 solcher Punkte vorweisen.

Mit dem Programm will das DKFZ für seine Doktoranden ein außergewöhnliches Qualifikations-Niveau sicherstellen: durch umfassende Ausbildung und Betreuung. Dazu hat das Forschungszentrum ein breites Spektrum an Vorlesungen, Seminaren und Methodenkursen geschaffen. Wichtigstes Ziel ist die hervorragende fachliche Qualifikation. Aber auch übergreifende Kompetenzen sind ein wichtiger Lehrinhalt, etwa die verständliche Präsentation wissenschaftlicher Ergebnisse. Zudem wird soziales Engagement innerhalb des Zentrums mit Credit Points honoriert.

Hohe Standards setzen

Dreimal im Jahr lädt das Krebsforschungszentrum Bewerberinnen und Bewerber aus aller Welt ein, sich in Heidelberg mit einer wissenschaftlichen Präsentation und einem Auswahlgespräch für eine der Doktorandenstellen zu qualifizieren. Pro Jahr stehen 36 Stellen zur Vergabe an, mit einer Laufzeit von in der Regel drei Jahren.

Gute Betreuung garantiert

Wer ausgewählt wird, startet sein Promotionsvorhaben unter verbindlichen Rahmenbedingungen: Betreut wird jeder Doktorand von einem Advisory Committee, dem neben dem Leiter der eigenen Arbeitsgruppe zwei weitere Wissenschaftler angehören, von denen mindestens einer aus einer anderen Abteilung stammt. Jedes Jahr legen die Doktoranden dem Betreuergrremium einen Arbeitsbericht vor. Bei der Diskussion dieses Reports prüfen die Betreuer, ob das Forschungsvorhaben in einem vertretbaren Zeitrahmen abgeschlossen werden kann, und zeigen Perspektiven für die weitere Arbeit auf.

Das PhD-Programm ist verpflichtend für Doktoranden, die aus Mitteln des DKFZ bezahlt werden. Drittmittelfinanzierten Studenten wird empfohlen, sich zu beteiligen, da inzwischen viele Fakultäten die Promotion von der Teilnahme an einem solchen Programm abhängig machen.

Mit dem internationalen PhD-Programm richtet das Krebsforschungszentrum seine wissenschaftliche Ausbildung an internationalen Standards zur Qualitätssicherung in Forschung und Lehre aus – zu beiderseitigem Nutzen: Begabte Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler profitieren von der hervorragenden Ausbildung. Und helfen umgekehrt, die wissenschaftliche Exzellenz des Forschungszentrums auch in Zukunft zu erhalten.

Dr. Sibylle Kohlstädt

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg



Training für junge Infektionsforscher

In Braunschweig arbeiten Hochschule und Forschungszentrum eng zusammen, um Doktoranden erstklassig auszubilden.

Mit dem Eliteförderprogramm Miditrain, gefördert von der Europäischen Union, baut die Gesellschaft für Biotechnologische Forschung (GBF) in Braunschweig eine Brücke zwischen Hörsaal und Labor für 20 graduierte Nachwuchswissenschaftler. Die GBF koordiniert die neue Doktorandenausbildung seit Oktober 2004. Kooperationspartner ist die Medizinische Hochschule Hannover (MHH).

GBF

Der Name Miditrain – im ersten Teil eine Abkürzung für Molecular Interactions during Infection – beschreibt den Arbeitsschwerpunkt des Trainings: die Wechselwirkungen zwischen Infektionserregern und Mensch. Dabei erfahren die Studentinnen und Studenten, mit welchen Waffen Bakterien und Viren kämpfen, wie das menschliche Immunsystem sich dabei verhält und wie man sich durch Impfungen oder Medikamente gegen die Erreger wehren kann. Von den Miditrain-Stipendiaten wird nicht nur überdurchschnittliche Qualifikation, sondern auch besonderer Einsatz verlangt: Neben der Arbeit im Labor und am Promotionsthema beschäftigen sie sich in Vorlesungen, Symposien und Wochenend-Klausuren mit der Infektionsforschung.

Ausgewählt aus 700

„Unser Wissen über die molekularen Grundlagen und unsere Forschungsmethoden sind so komplex geworden, dass ein Universitätsstudium längst nicht mehr zur Vermittlung ausreicht“, beschreibt Miditrain-Koordinator Dr. Hansjörg Hauser (GBF) die Idee für das Graduiertenprogramm. Einzigartig daran ist die Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Forschungszentrum: Sie überzeugte auch die Europäische Union, die das Projekt unter mehr als 700 Anträgen auswählte und jetzt fördert.

Zwei Millionen Euro fließen aus dem europäischen Ausbildungsfonds Marie Curie Actions für das Training von zwölf Miditrain-Stipendiatinnen und -Stipendiaten aus aller Welt. Weitere acht Plätze für deutsche Absolventen finanzieren das Forschungszentrum und die Hochschule. Die Hochschule vergibt am Ende der dreijährigen Ausbildung und bei erfolgreichem Abschluss auch den Titel: den internationalen Doktorgrad PhD.

Dipl.-Biol. Manfred Braun

Journalist, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, Braunschweig

Dr. Heidrun Riehl-Halen

Medizinjournalistin, Bremen

Um Immunreaktionen und das molekulare Wechselspiel zwischen Erregern und menschlichen Abwehrzellen geht es in dem EU-geförderten Programm Miditrain bei der GBF. Auf dem Bild zu sehen ist eine T-Zelle (rot, Bildmitte), die für den Kampf gegen Krankheitserreger von einer dendritischen Zelle (ockerfarbene, körnige Struktur) fit gemacht wird.

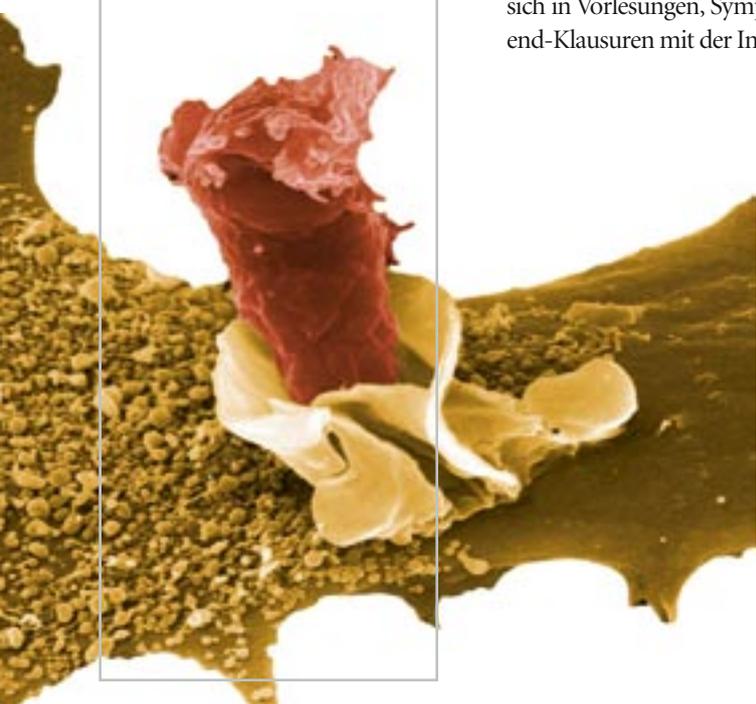


Foto: GBF / Manfred Rohde

Atome im Kindergarten

Wissenschaft für die Kleinsten:
ein Pilotprojekt.

Photo: IPP

Mit einer Lupe lässt sich nicht nur eine Zeitung in lauter Punkte auflösen – auch andere Kinder sind tolle Untersuchungsobjekte!

IPP

Sie wollen Wissenschaft zum Anfassen und Aktion pur! Immer mehr Kindergärten bemühen sich um Projekte, die Wissenschaft spannend und altersgerecht für kleine Kinder aufbereiten. Unser Pilotprojekt zeigt, dass Vorschulkinder – mit dem richtigen Konzept – auch schwere naturwissenschaftliche Kost verdauen können.

In der Kindertagesstätte St. Martin in München, in der Naturwissenschaft ohnehin eine große Rolle spielt, hatte unsere Kindergarten-Wissenschaftsshow Premiere. Mit Erläuterungen und Bildern, vor allem mit kleinen Experimenten wollten wir einen nachvollziehbaren Bogen spannen: von Energie über Atom bis zu Fusion.

Unsere Ausgangsfrage: Was bedeutet Energie? Was heißt es, dass die Ressourcen nicht für alle und nicht immer ausreichen werden? Damit die Kinder das am eigenen Leib erfahren konnten, haben wir sie zuerst zur Weltbevölkerung erklärt. Zwei Drittel dieser Weltbevölkerung bekamen einen Energie-Keks, ein Drittel nicht. Sofort war allen Kindern klar, dass es wichtig ist, nach neuen Energiequellen zu suchen, um alle zu versorgen. Nach diesem Erkenntnissschritt bekamen natürlich alle einen Energie-Schub, um sich für ihre weiteren Forschungen zu stärken.

Testfall Atom. Bei ihren Untersuchungen mit der Lupe entdeckten die kleinen Forscherinnen und Forscher etwas Merkwürdiges: die Rasterpunkte der gedruckten Buchstaben auf einer Zeitungsseite. Leicht einzusehen, dass erwachsene Forscher viel größere Lupen bauen, um Atome zu erkennen. Und wie sehen die aus? Ein Pfirsich macht's anschaulich und kann zudem nach der Vorführung verspeist werden.

Dass elektrisch geladene Atome mit magnetischer Kraft berührungslos beeinflusst werden können, erlebten die Kinder im Modell mit Stabmagnet und Nägeln. Sehr beeindruckt waren sie auch von der „zauberhaften“ Plasmakugel und vom geheimnisvollen Leuchten ihrer Entladungsfäden,

die man mit der Hand beeinflussen kann. Weil wir die Knappheit der Ressourcen gleich eingangs demonstriert hatten, konnten wir nun mühelos zum Thema Fusionsforschung überleiten. Dass Fusionsforscher „Energie für die Zukunft“ schaffen wollen, leuchtete den Kindern ein. Und wir waren erstaunt von ihrem Durchhaltevermögen, ihrer Konzentration und ihrer Begeisterung.

Das Kindergarten-Projekt ist nach erfolgreicher Premiere mittlerweile fest in den umfangreichen Katalog der Kinder- und Jugendprojekte des IPP aufgenommen. Wir können also jederzeit von Kindergärten „gemietet“ werden.

Iris Eckl, Dr. Petra Nieckchen und Ute Schneider-Maxon

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching



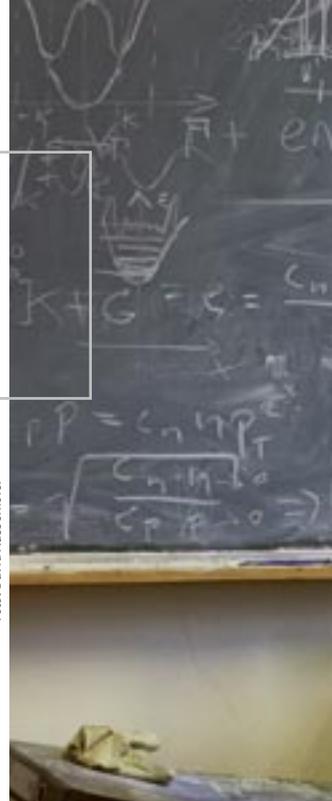
Chancengleichheit

Susanne Siebentritt: „Frauen müssen mehr Hindernisse überwinden als gleich qualifizierte Männer. Dabei helfen ihnen Programme, die das Selbstbewusstsein stärken.“

Bessere Chancen für Forscherinnen – jetzt!

Ein Fünf-Punkte-Programm soll die Situation von Frauen in der Helmholtz-Gemeinschaft verbessern.

Foto: David Ausserhofer



Helmholtz-Gemeinschaft

Gleichheit der Chancen in der Forschung: Das ist immer noch nicht selbstverständlich. Dabei steht mehr auf dem Spiel als Political Correctness. Nur wer Frauen und Männer gleichermaßen beteiligt, schöpft das große Potenzial an Kompetenz und Kreativität in der Forschung wirklich aus. Und darauf zu verzichten, kann sich heute keine Organisation und kein Unternehmen mehr leisten.

Noch ist die Situation in der Forschung allerdings unbefriedigend. Das gilt leider auch für die Helmholtz-Gemeinschaft. Zwar war im Jahr 2003 schon mehr als ein Drittel des Nachwuchses in der Gemeinschaft weiblich. Aber beim wissenschaftlichen Personal liegt der Anteil der Frauen nicht einmal bei einem Viertel, an den Führungspositionen sind Frauen nur zu drei Prozent beteiligt. Mit einem Fünf-Punkte-Programm will die Gemeinschaft Frauen jetzt gezielt bessere Chancen verschaffen. Die Instrumente des Programms sind: ein mehrjähriges Trainingsprogramm zur Vorbereitung auf Leitungsfunktionen, ein Netzwerk „Mentoring“, das Kontakt und Austausch mit erfolgreichen Führungskräften ermöglicht, ein spezielles Stellenangebot für Forscherinnen und Forscher, die nach einer Familienzeit in die Wissenschaft zurückkehren wollen, zudem flächendeckend etablierte Kinderbetreuung in den Helmholtz-Zentren ab dem ersten Lebensjahr und flexible Arbeitszeiten.

Judith Peters: „Besser für Frauen wird es erst, wenn mehr von ihnen es in Führungspositionen geschafft haben.“

Was sagen die Frauen selbst? Wir haben drei Helmholtz-Forscherinnen befragt: nach ihrer beruflichen Situation und ihren Erfahrungen mit Förderung.

**Was machen Sie hier?
Sie haben doch drei Kinder**

Judith Peters ist Physikerin am Hahn-Meitner-Institut in Berlin. Hier ist sie sehr glücklich, sagt sie. Auch wenn sie mit 41 allmählich eine feste Stelle braucht.

Was ihr gefällt? Dass ihr Chef sie als Expertin behandelt, nicht als Frau, dass er sie fordert, lobt und zu Konferenzen schickt. Und ihr Projekt natürlich: der Aufbau eines neuen Instruments in der Neu-



Foto: David Ausserhofer



Chancengleichheit

Nur gezielte Förderung bringt was!

Vor fünf Jahren lief es für **Susanne Siebentritt** richtig gut. Damals war die heute 40-jährige Physikerin am Hahn-Meitner-Institut in Berlin in ihrer Abteilung die einzige weibliche Gruppenleiterin und die Einzige mit einer befristeten Stelle. Dann gab das Bundesministerium für Bildung und Forschung den Helmholtz-Zentren die Möglichkeit, zwei Jahre lang pro Jahr 100 unbefristete Stellen zu schaffen, vorzugsweise Stellen von Frauen. Eine war die von Susanne Siebentritt. Sie weiß, dass viele Frauen Förderinstrumente ablehnen, bei denen sie bevorzugt werden, sieht das selbst aber anders. Gegen die strukturellen Nachteile, mit denen sich Frauen in der Forschung herumschlagen müssen, gegen Prägung durch Erziehung, gegen hartnäckige gesellschaftliche Vorurteile helfen eben nur solche Methoden, sagt sie. Frauen zumindest auf Zeit gezielt

tronenforschung. Nicht irgendein Instrument, sagt sie, sondern *das* Instrument. Ihre Aufgabe ist ihre Chance, ihr Projekt gibt ihr Selbstvertrauen. Das Problem? Diese gläserne Decke, sagt Judith Peters. Die unsichtbare Grenze, an die Frauen in der Forschung stoßen. Früher oder später. Judith Peters zum Beispiel nach der Habilitation bei der Bewerbung um eine Professur. Zehn, fünfzehn Mal hat sie sich beworben. Aber ohne einflussreiche Fürsprache keine Chance. Selbst dort nicht, wo sie als Dozentin schon jahrelang unterrichtet hatte und immerhin auf Platz zwei der Berufungsliste kam. In dieser Zeit hat sie sich einiges anhören müssen. Von Fachkollegen. Was machen Sie hier? Sie haben doch drei Kinder. Oder: Frauen sind für mich Physiker zweiter Klasse. Ein Bewerbungstraining für Frauen in der Wissenschaft hat ihr damals sehr geholfen. Es war bodenständig und praktisch, hat die Angst vor der ominösen Bewerbungssituation gemildert und vor allem Mut gemacht. Denn der Weg ist hart, sagt sie. Besser für Frauen wird es erst, wenn es mehr von ihnen in Führungspositionen geschafft haben. Deshalb müssen Frauen unbedingt in die Berufungskommissionen. Generell hilft alles, sagt Judith Peters, was durch Fordern fördert. Kontraproduktiv sind Sonderzonen für Frauen. Wer ohnehin dazu neigt, sich zu unterschätzen und zu schnell zurückzustecken, der lernt Selbstbehauptung nicht in Schutzräumen. Flexible Arbeitszeiten, Kinderbetreuung? Findet sie gut. Auch wenn in ihrer Familie der Mann die Kinder versorgt und sie das Geld verdient. Ihren Töchtern wird sie im Fall des Falles nicht von der Berufswahl Forschung abraten. Ihnen aber schon sagen, dass man dafür ein dickes Fell braucht. Vor allem als Frau.

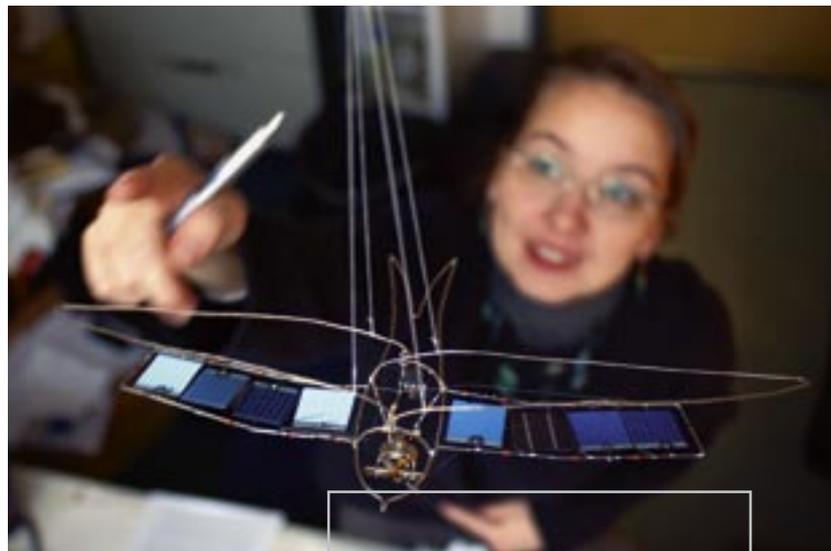


Foto: David Aussenhofer

Susanne Siebentritt: „Training ermutigt und motiviert. Das hilft, falsche Skrupel zu überwinden.“



zu fördern, hält sie deshalb für richtig. Nur so kann man spürbar ausgleichen, dass sie mehr Hindernisse überwinden müssen als ebenbürtig qualifizierte männliche Kollegen. Davon ist sie überzeugt. Und davon, dass Trainingsprogramme helfen, die das Selbstbewusstsein stärken. Alle kochen mit Wasser, sagt sie. Der einzige Unterschied ist, dass Frauen mehr Skrupel haben, sich eine Aufgabe zuzutrauen. Ihre Erfahrung mit Trainings, die ermutigen, motivieren und die Scheu vor der Konkurrenzsituation Bewerbung relativieren, sind gut. Kurz vor Weihnachten 2004 hat Susanne Siebentritt ihre Habilitation eingereicht.

Von gleichen Chancen würden auch die Männer profitieren

Unsicherheit, das ist es, was viele Frauen blockiert, sagt **Martina Heer**. Ihrem eigenen Weg sieht man davon nichts mehr an: Die 42-jährige Ernährungswissenschaftlerin leitet seit anderthalb Jahren eine Abteilung im Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt. Gerade forscht sie dreieinhalb Monate bei der NASA in Houston.

Noch vor Weihnachten 2004 hat sie zum Abschluss ihrer Habilitation ihre Antrittsvorlesung in Bonn gehalten. Sie hat sehr viel Unterstützung erfahren, sagt sie. Das wiege schwerer als die Hindernisse. Am Mentoring-Programm des DLR wollte sie zwar erst nicht teilnehmen, weil es in der Pilotphase noch auf Frauen beschränkt war.

Und sie eine solche Sonderbehandlung eigentlich ablehnt. Aber dann hat sie doch mitgemacht ... und profitiert. Mentoring durch einen erfahrenen Kollegen und Coaching durch einen externen Profi hält sie mittlerweile für die besten Instrumente, um voranzukommen. Warum? Weil man lernt, die Perspektive zu wechseln. Weil man Möglichkeiten sieht, wo man vorher nur Grenzen erkannte. Weil man seinen eigenen Weg entwickeln kann, gelassener wird und die Souveränität gewinnt, eigene Positionen auch durchzuhalten. Und weil man Machtspiele durchschauen lernt. Überhaupt: die Macht. In der Community der Fachkollegen, auf Kongressen und Konferenzen, da zählt die Kompetenz, das ist kein Problem, sagt Martina Heer. Aber im eigenen Haus, da geht es um Geld, um Stellen, um Macht. Und Männer spielen auf dieser Klaviatur einfach geschickter. Schlaflose Nächte hat ihr das bereitet. Früher. Heute ist sie überzeugt, dass Förderung und Erfahrung Frauen hilft, Verantwortung auch anzunehmen, wenn sie in greifbare Nähe rückt. Martina Heer hat selbst keine Kinder. Dennoch findet sie flexible Arbeitszeiten für Eltern und Angebote für Kinderbetreuung wichtig. Allerdings, sagt sie, braucht auch der Arbeitgeber mehr Freiheit, flexibel zu agieren. Damit er Ausfälle wegen Schwangerschaft und Kindererziehung im Team vernünftig auffangen kann. Einiges würde sich schon entspannen, sagt Martina Heer, wenn mehr Männer sich die Familienarbeit mit ihren Frauen teilen würden. Und begreifen würden, dass sie durch Chancengleichheit mindestens ebenso viel gewinnen können wie die Frauen. Zum Beispiel an Vielfalt der Lebensentwürfe, die ihnen offen stehen. Auch in der Forschung.

Die Gespräche führte **Dr. Anne Rother**, Kommunikation und Medien Helmholtz-Gemeinschaft.

Martina Heer: „Förderung und Erfahrung – das hilft Frauen, Verantwortung auch anzunehmen.“



Foto: Michael Poltka

Die hervorragende Arbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Helmholtz-Gemeinschaft ist auch im Jahr 2004 mit vielen Preisen gewürdigt worden. Wir präsentieren eine kleine Auswahl. Im Zentrum steht dabei der „ausgezeichnete“ Nachwuchs in den Helmholtz-Zentren.

Der 34-jährige Krebsforscher Frank Lyko hat bereits mehrere Auszeichnungen und Stipendien erhalten. Jetzt ist er zu einem der Top-100-Nachwuchswissenschaftler weltweit gewählt worden.



Foto: DKFZ

Dr. **Frank Lyko**, Biologe am Deutschen Krebsforschungszentrum, ist einer der 100 innovativsten Nachwuchswissenschaftler der Welt. Zu dieser Überzeugung kam die Jury der amerikanischen Zeitschrift „Technology Review“. Das Magazin, das am Massachusetts Institute of Technology (MIT) ins Leben gerufen wurde, wählt jedes Jahr 100 junge Wissenschaftler aus, deren Forschung richtungweisend für das Leben in der Zukunft ist. Die Auszeichnung zählt in den Vereinigten Staaten zu den begehrtesten für junge Forscher. Frank Lyko leitet seit 2001 die Arbeitsgruppe Epigenetik im DKFZ. Er ist bereits Träger des Heinz-Maier-Leibnitz-Preises 2002 und des Karl-Freudenberg-Preises 2003 und wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit dem Emmy Noether-Programm gefördert.

Die ungarische Biologin Dr. **Zsuzsanna Izsvák**, die am Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin Berlin-Buch (MDC) „springende Gene“ untersucht, wurde mit dem zum ersten Mal vergebenen European Young Investigators Award (EURYI) in Stockholm ausgezeichnet. Das Preiskomitee würdigte sie als führend in der Transposonforschung – der Erforschung der Wechselwirkungen mobiler genetischer Elemente und ihrer Wirtorganismen. Das Preisgeld von rund einer Million Euro ermöglicht ihr, am MDC ihre eigene Forschungsgruppe aufzubauen.

Gleich fünf junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der Gesundheitsforschung der Helmholtz-Gemeinschaft haben Excellence Grants aus dem Marie Curie-Programm der Europäischen Union erhalten. Es sind die Biologin Dr. **Ulrike Ziebold** vom Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin Berlin-Buch (MDC) sowie der Biochemiker Dr. **Michael Boutros**, die Pharmazeutin Dr. **Adelheid Cerwenka**, der Biochemiker

Dr. **Tobias P. Dick** und der Biologe Dr. **Stefan Herzig** vom Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) in Heidelberg. Die Exzellenz-Stipendien sind mit jeweils einer bis anderthalb Millionen Euro dotiert und geben herausragenden Nachwuchs-Wissenschaftlern in Europa die Chance, mit einer eigenen Arbeitsgruppe zu forschen. Ulrike Ziebold wird ihre Forschungsgruppe „Genetik der Tumorsuppression und Metastasierung“ ausbauen. Michael Boutros wird seine Theodor Boveri-Gruppe „Signalwege und funktionelle Genomik“ erweitern. Auch Adelheid Cerwenka stützt ihre Boveri-Gruppe „Angeborene Immunität“ weiter aus. Ebenso profitiert die von Tobias Dick geleitete Boveri-Forschungsgruppe „Redoxregulation“ vom Stipendium. Stefan Herzig baut eine Gruppe „Molekulare Stoffwechselkontrolle“ auf. In den Jahren 2003 und 2004 gab es europaweit 500 Bewerbungen für Marie Curie Excellence Grants. 46 waren erfolgreich, fünf davon aus der Helmholtz-Gemeinschaft.

Für ihre jahrzehntelange exzellente Arbeit in der Naturstoffforschung sind der Mikrobiologe Professor Dr. **Hans Reichenbach** und der Chemiker Professor Dr. **Gerhard Höfle**, beide Gesellschaft für Biotechnologische Forschung (GBF) in Braunschweig, mit dem Karl Heinz Beckurts-Preis ausgezeichnet worden. Er würdigt hervorragende Leistungen in Forschung und Entwicklung sowie beispielgebende Umsetzung von Forschungsergebnissen in die wirtschaftliche Nutzung. Die Braunschweiger Wissenschaftler erforschen die Biologie und Chemie der Myxobakterien. Diese Bakterien leben im Boden und stellen eine Vielzahl chemischer Verbindungen her. Reichenbach entwickelte zunächst Isolier- und Kultivierungsverfahren für die schwierig zu handhabenden Myxobakterien. Eins der Stoffwechselprodukte, das Epothilon, kann Krebszellen abtöten und eignet sich daher für die Tumor-Therapie. Gemeinsam mit einem Partner aus der Pharmaindustrie hat Gerhard Höfle Epothilon-Varianten hergestellt, die sich mittlerweile in der fortgeschrittenen klinischen Prüfung befinden.

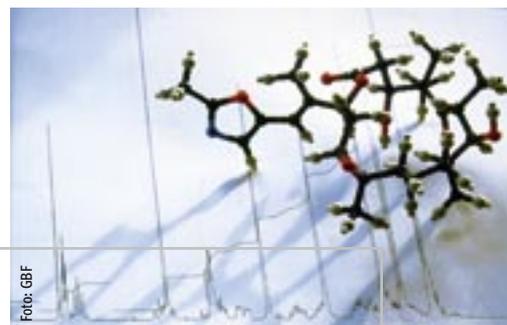


Foto: GBF

Elegant und hochwirksam: Epothilon – ein Zellgift und vielversprechender Kandidat für die Tumor-Therapie.

„Unsere Motivation ist herauszufinden, wie weit wir gehen können. Denn selbst wenn wir Dioden und Transistoren im Nanomaßstab haben, müssen wir noch beweisen, dass sie konkurrenzfähig sind.“

Heiko Weber

Die Chemie muss stimmen

Karlsruher Forscherteam erhielt Erwin Schrödinger-Preis.

Erwin Schrödinger-Preis

Grenzen überschreiten – das ist das Thema des Erwin Schrödinger-Preises. Vergeben wird er für interdisziplinäre Forschung. Dieses Jahr zeichnete die Helmholtz-Gemeinschaft ein Forscherteam aus dem Institut für Nanotechnologie des Forschungszentrums Karlsruhe mit dem mit 50.000 Euro dotierten Preis aus. Damit honorierte die Jury das Team aus Physikern und Chemikern für seine exzellenten interdisziplinären Leistungen in der Nanotechnologie.

Zwei bahnbrechende Arbeiten machten die Forscher Dr. Frank Hennrich, Dr. Ralph Krupke, Dr. Marcel Mayor und Dr. Heiko Weber unter Fachkollegen in den letzten Jahren weltweit bekannt: Sie entwickelten ein seit langer Zeit gesuchtes Verfahren zur Trennung von winzigen Kohlenstoffröhrchen, die in der Nanotechnologie eine wichtige Rolle spielen. Und: Es gelang ihnen, den elektrischen Strom durch einzelne organische Moleküle zu vermessen. Durch systematische Zusammenarbeit hat das Karlsruher Team damit zwei grundsätzliche Probleme gelöst, die das gesamte Arbeitsgebiet der Nanotechnologie betreffen. Zusammen ebnet ihre Arbeiten den Weg zu einer künftigen Nanoelektronik, bei der winzige Schaltkreise in der Größe von millionstel Millimetern gebaut werden könnten. Dieser Elektronik im kleinsten Maßstab wird etwa in der Computer-, Satelliten- oder Medizintechnik eine wichtige Rolle vorausgesagt.

„Wir mussten viel miteinander reden und diskutieren. Aber Physiker und Chemiker sprechen zunächst einmal verschiedene Sprachen und benutzen ein unterschiedliches Fachvokabular. Um unsere Kräfte zu bündeln, mussten wir also erst einmal eine gemeinsame Sprache finden. Nur so war eine erfolgreiche Kooperation möglich.“

Ralph Krupke

„Makkaroni“ aus Kohlenstoffatomen

Bereits 1991 entdeckten japanische Forscher, dass sich Kohlenstoffatome zu winzigen Röhrchen formen können, deren Wände nur eine Atomlage dick sind. Insbesondere in der molekularen Elektronik galten sie seither als Grundbausteine elektronischer Bauteile. Bisher jedoch gab es eine Schwierigkeit: Bei der Herstellung entsteht immer ein Gemisch aus zwei Typen von Nanoröhren mit unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften.

Je nach Anordnung der Atome in den Wänden der Röhrchen verhalten sich die „Kohlenstoffmakkaroni“ entweder wie Metalle oder wie Halbleiter. In der Mischung sind die metallischen und die nichtmetallischen Röhrchen wie ein dichter Filz untereinander verknäult und somit nicht gut nutzbar. Der Physiker Krupke und der Chemiker Hennrich trennten die halbleitenden und metallischen Röhrchen in einer Lösung voneinander und sortierten sie. „Der letzte Schritt war, dass die metallischen und die halbleitenden Nanoröhren in einem elektrischen Wechselfeld mit einer Frequenz von 10 Millionen Hertz in entgegengesetzte Richtungen wandern,“ erklärt Krupke.

„Die Röhrchen sind Hoffnungsträger für die Computerindustrie: Metallische eignen sich als Leiterbahnen auf Computerchips, und halbleitende könnten aufgrund

„Wissenschaftliche Einrichtungen wie unser Institut für Nanotechnologie bieten beste Bedingungen für interdisziplinäre Forschung: Alle Disziplinen, von denen man denkt, dass sie für eine zielstrebige Forschung in der Nanotechnologie wichtig sind, vereint das Institut unter einem Dach. Hier herrscht die Arbeitsatmosphäre, die interdisziplinäre Visionen und Projekte fördert.“

Marcel Mayor

ihrer physikalischen Eigenschaften als Transistor eingesetzt werden“, sagt Hennrich. Für das Trennverfahren erteilte das Europäische Patentamt den beiden Forschern im Herbst 2004 ein Patent.

Die Preisträger von links nach rechts: Dr. Ralph Krupke, Dr. Heiko Weber, Dr. Marcel Mayor und Dr. Frank Hennrich. Professor Karin Mölling (Mitte) ist Vorsitzende der Jury, die die Preisträger auswählt.



Foto: Thierry Monasse

Moleküle unter Strom

Für elektrische Schaltungen im Nanomaßstab braucht man aber außer winzigen Drähten weitere Bauteile – zum Beispiel Schalter. Hier bieten sich einzelne Moleküle an. Allerdings muss man sie hierzu elektrisch kontaktieren können. Außerdem benötigt man Moleküle, deren Leitungsmechanismus vorhersagbar ist. Dem Chemiker Marcel Mayor und dem Physiker Heiko Weber gelang hier ein Durchbruch: Sie schafften es, einzelne Moleküle zwischen zwei winzigen Goldelektroden einzuspannen und den Strom durch diese Moleküle zu messen. „Zwar war die Idee, einzelne Moleküle als elektronische Bauteile einzusetzen, nicht neu. Erstmals konnten wir aber die elektronischen Transportprozesse in den Molekülen umfassend vermessen und verstehen. Das bedeutet, dass wir durch die geeignete Wahl der Struktur des Moleküls die elektronischen Eigenschaften der Bauteile tatsächlich festlegen können“, erklärt Mayor.

„Dort, wo physikalische Bauteile immer kleiner und chemische Moleküle immer größer werden, treffen sich die Physik und die Chemie. An dieser Schnittstelle befindet sich die Nanotechnologie: Schaltungen werden auf molekularer Ebene gebaut. Kleiner geht es nicht mehr!“

Karin Mölling

Die Erfolge beider Arbeiten überzeugten die Jury: „Den diesjährigen Preisträgern ist auf einzigartige Weise gelungen, interdisziplinär zusammenzuarbeiten und die Bereiche Chemie und Physik auf einem innovativen Forschungsgebiet fruchtbar miteinander zu verbinden“, erklärte Professor Karin Mölling, Vorsitzende der Jury und Direktorin des Instituts für Medizinische Virologie an der Universität Zürich.

„Damit wir mit unserer Arbeit Erfolg haben, muss mehr funktionieren als die Chemie im Reagenzglas: Auch auf die Chemie unter den Kollegen kommt es an. Wenn die wie bei uns stimmt, kann man sich gegenseitig zu Höchstleistungen anspornen.“

Frank Hennrich

Dr. Ellen Peerenboom
Kommunikation und Medien
Helmholtz-Gemeinschaft

Auszeichnungen für den Nachwuchs

Und hier aus der großen Zahl besonderer Leistungen des wissenschaftlichen Nachwuchses an den Helmholtz-Zentren noch einige Beispiele im Telegrammstil:

Eva Philipp, Biologin am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, erhielt den Young Investigator Award, der von der SFRR Europe (Society for Free Radical Research) verliehen wird.

Gleich drei Auszeichnungen kann Dr. **Eike Stumpf**, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), vorweisen: den Best Paper Award vom 42. AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibition 2004, den Gertraude Holste-Preis und die Borchers-Plakette für seine mit Auszeichnung bestandene Doktorprüfung.

Dr. **Markus Fiebig**, Institut für Physik der Atmosphäre des DLR in Oberpfaffenhofen, erhielt ein Feodor-Lynen-Forschungsstipendium der Alexander von Humboldt-Stiftung. Er nutzt diese Mittel für einen Forschungsaufenthalt am NOAA Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory in Boulder, Colorado, von Januar 2004 bis März 2005.

Die Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. (DECHEMA) hat Dr. **Thomas Noll** vom Institut für Biotechnologie des Forschungszentrums Jülich für seine Arbeiten zur Vermehrung Blut bildender Stammzellen aus Nabelschnurblut den DECHEMA-Hochschullehrer-Nachwuchspreis verliehen.

Magnus Mori, Doktorand im Institut für Kern- und Energietechnik des Forschungszentrums Karlsruhe, erhielt den „Best Student Paper Award“ des Programmkomitees der „International Conference on Global Environment and Advanced Nuclear Power Plants“ für seinen Beitrag über Sicherheitsuntersuchungen von Reaktoren mit Transmutationspotenzial.

Dr. **Stefan Schulz** vom Forschungszentrum Karlsruhe überzeugte beim Bionik-Ideenwettbewerb mit seinem Beitrag „Neuartiges medizinisches Gerät zur Erweiterung von Standard-Koloskopie-Systemen in der Dickdarntumordiagnostik und -therapie“ und bekam dafür den Förderpreis des BMBF in Höhe von 30.000 Euro.

Dr. **Karsten Kretschmer** von der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung (GBF) erhält im Rahmen seiner Doktorarbeit den Heinrich-Büssing-Preis 2004 für Forschungen zu Antikörpern.

Für neue Erkenntnisse über die Gefährlichkeit des Lebensmittel-Keims EHEC wird der GBF-Wissenschaftler Dr. med. **Andreas Matussek** mit dem Promotionspreis der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) ausgezeichnet.

Sven Bach aus dem GKSS-Institut für Chemie wurde mit dem Förderpreis der Bayer Technology Services ausgezeichnet. Der GKSS-Wissenschaftler erhält die Auszeichnung für den besten Abschluss seines Jahrganges im Studiengang Verfahrenstechnik an der Hochschule Niederrhein.

Der ehemalige GKSS-Lehrling **Michael Labs** ist aus dem Leistungswettbewerb der Handwerksjugend 2004 im Maschinenbaumechaniker-Handwerk – Fachrichtung Erzeugende Mechanik – in Schleswig-Holstein als 1. Landessieger hervorgegangen. Auf Bundesebene erhielt er den 2. Platz.

Christian Mallas, Landessieger beim Bundeswettbewerb „Jugend forscht 2004“, war eine Woche zu Gast beim GKSS, um die Arbeit in einem Forschungszentrum kennen zu lernen. Der 19-jährige Schüler hatte das Praktikum im Rahmen des Wettbewerbs gewonnen und sich das Institut für Chemie für diesen Ausflug in die Praxis ausgesucht.

Mit gleich drei Auszeichnungen in kurzer Folge wurden die Leistungen des jungen Physikers Dr. **Christoph Böhme** anerkannt: Er erhielt den Adlershofer Dissertationspreis (Wissenschaftscampus Berlin-Adlershof), den Wissenschaftspreis der Nordhessischen Wirtschaft und den Hahn-Meitner-Kommunikationspreis für Doktoranden. Christoph Böhme hatte seine Doktorarbeit in der Abteilung Silizium-Photovoltaik am Hahn-Meitner-Institut in Berlin erstellt.

Niklas Rega, Doktorand am Hahn-Meitner-Institut, erhielt auf der Frühjahrstagung der European Materials Society den „Graduate Student Award“ für seine hervorragenden Leistungen zur Defektspektroskopie in Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid.

Maximilian Schultz erhielt für seine in der Arbeitsgruppe „Theoretische Physik“ des Hahn-Meitner-Instituts und am Fachbereich Physik der Freien Universität Berlin angefertigte Diplomarbeit den „Physik-Studienpreis der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung“.

Dr. **Frank Jenko** vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) wurde mit dem Hans-Werner-Osthoff-Plasmaphysik-Preis ausgezeichnet.

Die Otto-Hahn-Medaille ging an Dr. **Philip Lauber** und Dr. **Francesco Volpe**, beide Mitarbeiter am IPP. Mit dieser Medaille zeichnet die Max-Planck-Gesellschaft jedes Jahr bis zu 40 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für herausragende wissenschaftliche Leistungen aus. Zu der Auszeichnung gehört außer einem Anerkennungsbetrag die Möglichkeit, ein Jahr im Ausland zu forschen.

Den mit 1.000 Euro dotierten C.F.-Graumann-Preis für Umweltpsychologie der Fachgruppe Umweltpsychologie der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (DGPs) erhielt Dr. **Sylvia Harms** vom UFZ für ihre Dissertation „Besitzen oder Teilen. Sozialwissenschaftliche Analyse des Car Sharings“. Ausgezeichnet werden solche Arbeiten, die auch einem fachfremden Publikum verdeutlichen, welche Relevanz psychologische Konzepte haben, die die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Umwelt erklären.

Ariette Schierz, Doktorandin bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, hat für ihr schnelles Studium und ihre exzellente Diplomarbeit den Studentenpreis 2004 der DECHEMA für Technische Chemie erhalten. Ihre Diplomarbeit auf dem Gebiet der Umwelttechnologie entstand am UFZ und behandelt den Abbau von organischen Schadstoffen in Grund- und Abwasser. Die DECHEMA finanziert der Preisträgerin die Teilnahme an der Achem América in Mexiko City.

Mitglieder der Helmholtz-Gemeinschaft



<p>Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung Columbusstraße, 27568 Bremerhaven Telefon: 0471-4831-0; Telefax: 0471-4831-1149 E-Mail: awi-pr@awi-bremerhaven.de; Internet: www.awi-bremerhaven.de</p>	
<p>Deutsches Elektronen-Synchrotron Notkestraße 85, 22607 Hamburg Telefon: 040-8998-0; Telefax: 040-8998-3282 E-Mail: desyinfo@desy.de; Internet: www.desy.de</p>	
<p>Deutsches Krebsforschungszentrum Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg Telefon: 06221-42-0; Telefax: 06221-42-2995 E-Mail: pressestelle@dkfz.de; Internet: www.dkfz.de</p>	
<p>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt Linder Höhe (Porz-Wahnheide), 51147 Köln Telefon: 02203-601-0; Telefax: 02203-67310 E-Mail: presse@dlr.de; Internet: www.dlr.de</p>	
<p>Forschungszentrum Jülich Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich Telefon: 02461-61-0; Telefax: 02461-61-8100 E-Mail: info@fz-juelich.de; Internet: www.fz-juelich.de</p>	
<p>Forschungszentrum Karlsruhe Hermann von Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen Telefon: 07247-82-0; Telefax: 07247-82-5070 E-Mail: info@fzk.de; Internet: www.fzk.de</p>	
<p>Gesellschaft für Biotechnologische Forschung Mascheroder Weg 1, 38124 Braunschweig Telefon: 0531-6181-0; Telefax: 0531-6181-515 E-Mail: info@gbf.de; Internet: www.gbf.de</p>	
<p>GeoForschungsZentrum Potsdam Telegrafenberg, 14473 Potsdam Telefon: 0331-288-0; Telefax: 0331-288-1600 E-Mail: presse@gfz-potsdam.de; Internet: www.gfz-potsdam.de</p>	
<p>GKSS-Forschungszentrum Geesthacht Max-Planck-Straße 1, 21502 Geesthacht Telefon: 04152-87-0; Telefax: 04152-87-1403 E-Mail: presse@gkss.de; Internet: www.gkss.de</p>	
<p>GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit Ingolstädter Landstraße 1, 85764 Neuherberg Telefon: 089-3187-0; Telefax: 089-3187-3322 E-Mail: oea@gsf.de; Internet: www.gsf.de</p>	
<p>Gesellschaft für Schwerionenforschung Planckstraße 1, 64291 Darmstadt Telefon: 06159-71-0; Telefax 06159-71-2785 E-Mail: info@gsi.de; Internet: www.gsi.de</p>	
<p>Hahn-Meitner-Institut Berlin Glienicke Straße 100, 14109 Berlin Telefon: 030-8062-0; Telefax: 030-8062-2181 E-Mail: info@hmi.de; Internet: www.hmi.de</p>	
<p>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (assoziiertes Mitglied) Boltzmannstraße 2, 85748 Garching Telefon: 089-3299-01; Telefax 089-3299-2200 E-Mail: info@ipp.mpg.de; Internet: www.ipp.mpg.de</p>	
<p>Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin Berlin-Buch Robert-Rössle-Straße 10, 13125 Berlin-Buch Telefon: 030-9406-0; Telefax: 030-949-4161 E-Mail: presse@mdc-berlin.de; Internet: www.mdc-berlin.de</p>	
<p>UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle Permoserstraße 15, 04318 Leipzig Telefon: 0341-235-0; Telefax: 0341-235-2791 E-Mail: info@ufz.de; Internet: www.ufz.de</p>	

Jahresheft 2005

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.