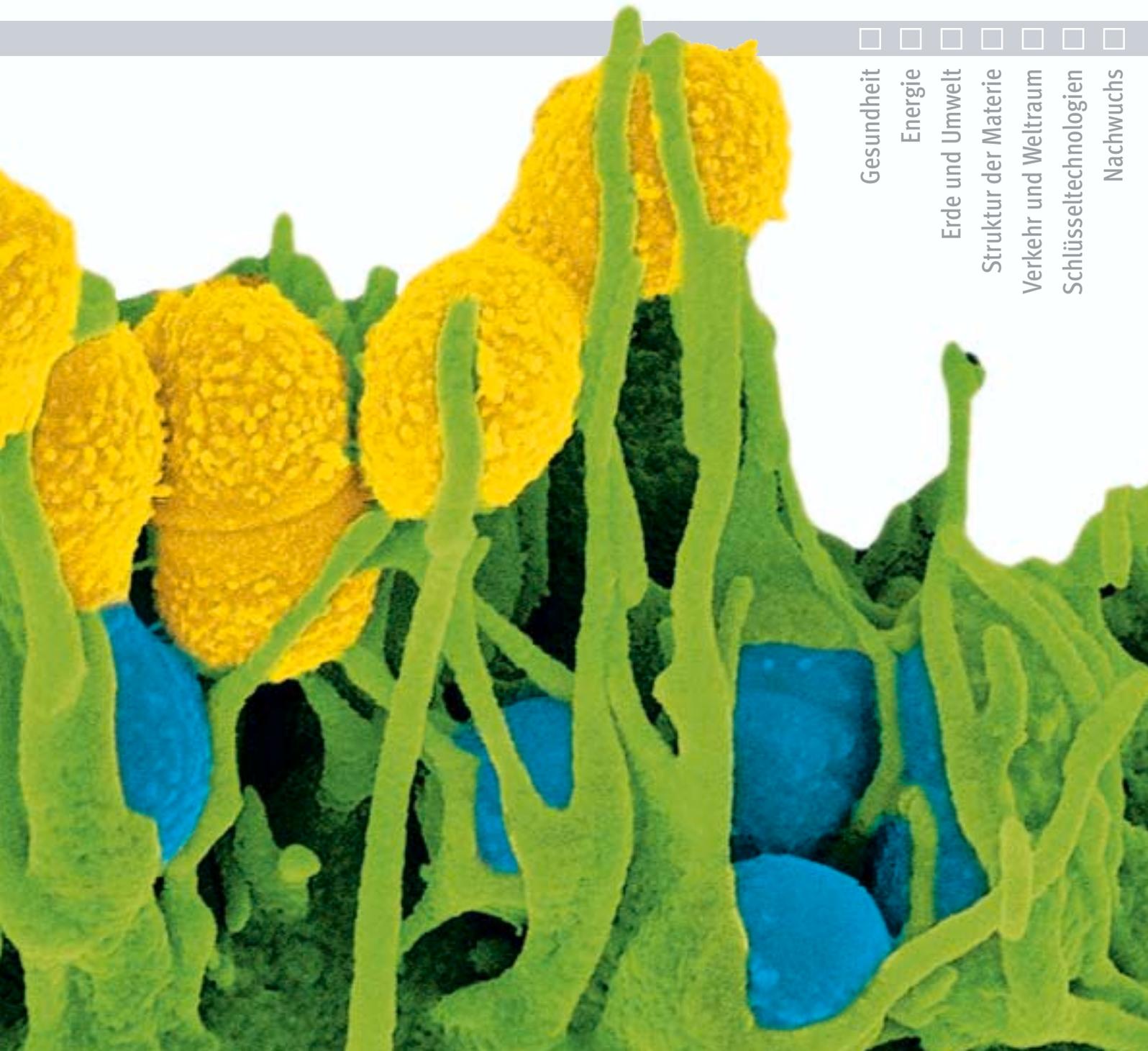


# Komplexe Systeme verstehen



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



# Impressum

Jahresheft 2003

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

**Redaktion** Dr. Anne Rother, Helmholtz-Gemeinschaft (verantwortlich)  
Antje Schillo, Trio Verlag (Koordination)

**Gestaltung** axeptDESIGN, Berlin  
Internet: [www.axeptdesign.de](http://www.axeptdesign.de)

**Druck** Köllen Druck + Verlag, Bonn  
Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren  
Kommunikation und Medien  
Leitung: Dr. Hinrich Thoenen  
Postfach 20 14 48, 53144 Bonn (Bad Godesberg)  
Ahrstraße 45, 53175 Bonn (Bad Godesberg)  
Telefon: (02 28) 3 08 18-21  
Telefax: (02 28) 3 08 18-40  
E-Mail: [info@helmholtz.de](mailto:info@helmholtz.de)

Büro Berlin  
im Wissenschaftsforum am Gendarmenmarkt  
Markgrafenstraße 37, 10117 Berlin  
Telefon: (0 30) 2 06 32 90  
Telefax: (0 30) 2 06 32 959  
Internet: [www.helmholtz.de](http://www.helmholtz.de)

Trio Verlag  
Kronprinzenstraße 4  
53639 Königswinter  
Telefon: (0 22 23) 91 22 06  
Telefax: (0 22 23) 91 22 08  
E-Mail: [hgf@trioverlag.de](mailto:hgf@trioverlag.de)

ISSN 1431-1348

**Bildnachweise** Titelbild: Streptokokken-Attacke auf eine Zelle  
Foto: Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, Braunschweig (Manfred Rohde)

Foto Seite 4: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Köln

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (24, 25, 27, 28); Deutsches Elektronen-Synchrotron (38, 39, 40, 41); Deutsches Krebsforschungszentrum (6, 7, 8, 9); Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (45, 46, 47, 48); Forschungszentrum Jülich (11, 12, 63); Forschungszentrum Karlsruhe (49, 50, 51); Gesellschaft für Biotechnologische Forschung (13, Manfred Rohde: 14, 15); GeoForschungsZentrum Potsdam (29, 30, 31, 32); GKSS-Forschungszentrum Geesthacht (57, 58); GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (36); Gesellschaft für Schwerionenforschung (43, 44); Hahn-Meitner-Institut Berlin (55); Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (20, 21, 22); UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle (60, 61)

axeptDESIGN (2, 3); dpa (10, 18); Lichtenscheidt (1); Mavericks (16); Mediacolors (3); Thomas Oberländer, Helios Klinikum Berlin (3, 19)

Zeichnungen: axeptDESIGN (34, 35, 37)

Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier

# Editorial



Die Helmholtz-Gemeinschaft verändert sich. Mehr Transparenz, mehr Kooperation, Vernetzung und das strategische Bündeln der Kräfte, um komplexe Probleme systemisch zu erforschen und große Fragen von Wissenschaft, Gesellschaft und Wirtschaft zu beantworten – dies sind wichtige Stichworte, um ihren Reformprozess zu beschreiben.

Das Jahresheft ist traditionell das „Schaufenster“ für herausragende Forschung bei Helmholtz. Sein neues Gesicht ist nicht zufällig entstanden. Wir wollten, dass es zu einer Gemeinschaft passt, die sich neu ausrichtet und kontinuierlich entwickelt. Seine Gliederung bildet deshalb ab, wie die Gemeinschaft ihre Kräfte in Forschungsbereichen konzentriert, und bereits der Blick ins Inhaltsverzeichnis zeigt, wie die Beiträge sich thematisch gruppieren.

Die Texte, so unser Ziel, sollten noch deutlicher als bisher auch für Nicht-Naturwissenschaftler lesbar geschrieben sein. Wir legen Wert darauf, die Frage „Warum machen die das überhaupt?“ zu beantworten – mit der nötigen Sachlichkeit . . . und auf unterhaltsame Weise. Bilder und Grafiken, Glossare, Kästen und Interviews unterbrechen und ergänzen die Beiträge, beleuchten die Themen von verschiedenen Seiten und gewinnen durch lebendige Gestaltung – so hoffen wir – auch den Leser, der eigentlich schon umblättern wollte.

Ob all dies gelungen ist, entscheiden Sie. Im Namen aller, die am Jahresheft mitgewirkt haben – die Autorinnen und Autoren in den Helmholtz-Zentren, Redaktion, Grafik und Verlag – wünsche ich Ihnen, dass Sie dieses Heft angeregt und mit Genuss lesen. ■



*Dr. Anne Rother*

# Inhalt

## Editorial Jahresheft 2003

1

## Vorwort des Präsidenten der Helmholtz-Gemeinschaft

4

## Gesundheit

Besonders häufige und schwere Krankheiten stehen im Zentrum der Helmholtz-Gesundheitsforschung. Besser zu begreifen, wie sie entstehen, um neue Ansätze für Prävention, Diagnose und Therapie zu entwickeln – das ist die Strategie.

Seite



### DKFZ | **Auf die Verpackung kommt es an**

Die Erforschung der epigenetischen Genregulation eröffnet neue Wege in der Krebsbekämpfung

6

### FZJ | **Elektrische Impulse bringen Nervenzellen zur Räson**

Erste Tests versprechen Erfolg. Eine neue Therapie gegen den Tremor von Parkinson-Kranken hat viele Vorteile

10

### GBF | **Im Kampf gegen gefährliche Spätfolgen**

Genetische Anfälligkeit beeinflusst den Verlauf einer Infektion mit Streptokokken-Bakterien

13

### MDC | **Gewogen und zu schwer befunden**

Forscher untersuchen den Zusammenhang zwischen Fettsucht und chronischen Erkrankungen

16

## Energie

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei Helmholtz suchen Lösungen für die Energieversorgung der Zukunft. Zusätzliche Energiequellen zu erschließen, ist ein wichtiges Thema ihrer Forschung.



### IPP | **Wie die Sonne Energie erzeugen ... auf der Erde**

Die Fusionsanlage WENDELSTEIN 7-AS brachte die Forschung auf neue Wege – der Nachfolger entsteht in Greifswald

20

## Erde und Umwelt

Polarforschung, geologische Forschung, Toxikologie und Bodenökologie, vereint in einem Projekt: Drei Beispiele zeigen, wie Forscherinnen und Forscher arbeiten, um das komplexe System Erde und Umwelt besser zu verstehen.

Seite



### AWI | **Zeitreise ins Eis**

Bohrungen im Polareis geben Aufschluss über das Klima von mehreren Hunderttausend Jahren

24

### GFZ | **Weiter sehen als der Tunnel reicht**

Beim Tunnelbau im Gotthard-Massiv wird ein neues Verfahren der seismischen Vorauserkundung eingesetzt

29

### GSF | **Einfallsreiche Entgifter**

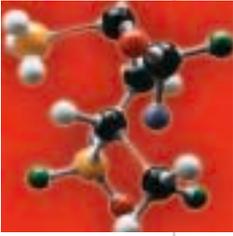
Neue Forschungen zeigen, dass Pflanzen sich geschickter vor schädlichen Stoffen schützen, als bisher angenommen

34

Jahresheft 2003

## Struktur der Materie

Was die Welt im Innersten zusammenhält, das erkunden Forscherinnen und Forscher bei Helmholtz. Für ihre Experimente nutzen sie modernste Großgeräte und leistungsfähige Anlagen.



### DESY | **Unterwegs zu den Anfängen des Universums**

Bei DESY in Hamburg laufen die Planungen für das Projekt TESLA

Seite

38

### GSI | **Spannend wird's jenseits der Stabilität**

Wissenschaftler haben eine neue radioaktive Zerfallsart entdeckt

42

## Verkehr und Weltraum

Raumfahrt verändert das Weltbild. Missionen ins All liefern Informationen für die Umweltforschung, neue grundlegende Erkenntnisse über die Erde ... und Wissen über die Nachbarn im All – wie der Beitrag über die geplante Mission zum Mars zeigt.



### DLR | **Weihnachten auf dem Roten Planeten**

Die erste europäische Sonde auf einem anderen Planeten soll am Heiligabend 2003 landen

45

## Schlüsseltechnologien

Innovation in den Markt bringen, damit dies gelingt, müssen Wissenschaft und Industrie partnerschaftlich kooperieren. Mikrofertigung und Materialforschung – zwei Beispiele zeigen Wissenstransfer aus der Forschung in die Wirtschaft.



### FZK | **Passt haargenau!**

Das Industrieforum Mikrofertigungstechnik FIF – ein Unternehmensclub der etwas anderen Art

Seite

49

### HMI | **Die inneren Spannungen sind entscheidend**

Das Berliner Zentrum für Eigenspannungs- und Texturanalyse untersucht industrielle Komponenten zerstörungsfrei

53

## Nachwuchs

Das Engagement von Helmholtz beginnt bei Schülerinnen und Schülern und setzt sich fort – bei den jungen Talenten in der Forschung. Dahinter steht die Überzeugung: Dies ist Investition in die Zukunft der Wissenschaft und der ganzen Gesellschaft.



### GKSS | **Ran an den Nachwuchs**

Das Schülerlabor „Quantensprung“ in Geesthacht macht jungen Leuten Naturwissenschaft schmackhaft

Seite

56

### UFZ | **Die Jungen machen mobil**

Ein Netzwerk für Postdocs und Habilitanden sorgt für frischen Wind in der Nachwuchsförderung

59

## Exzellent ...

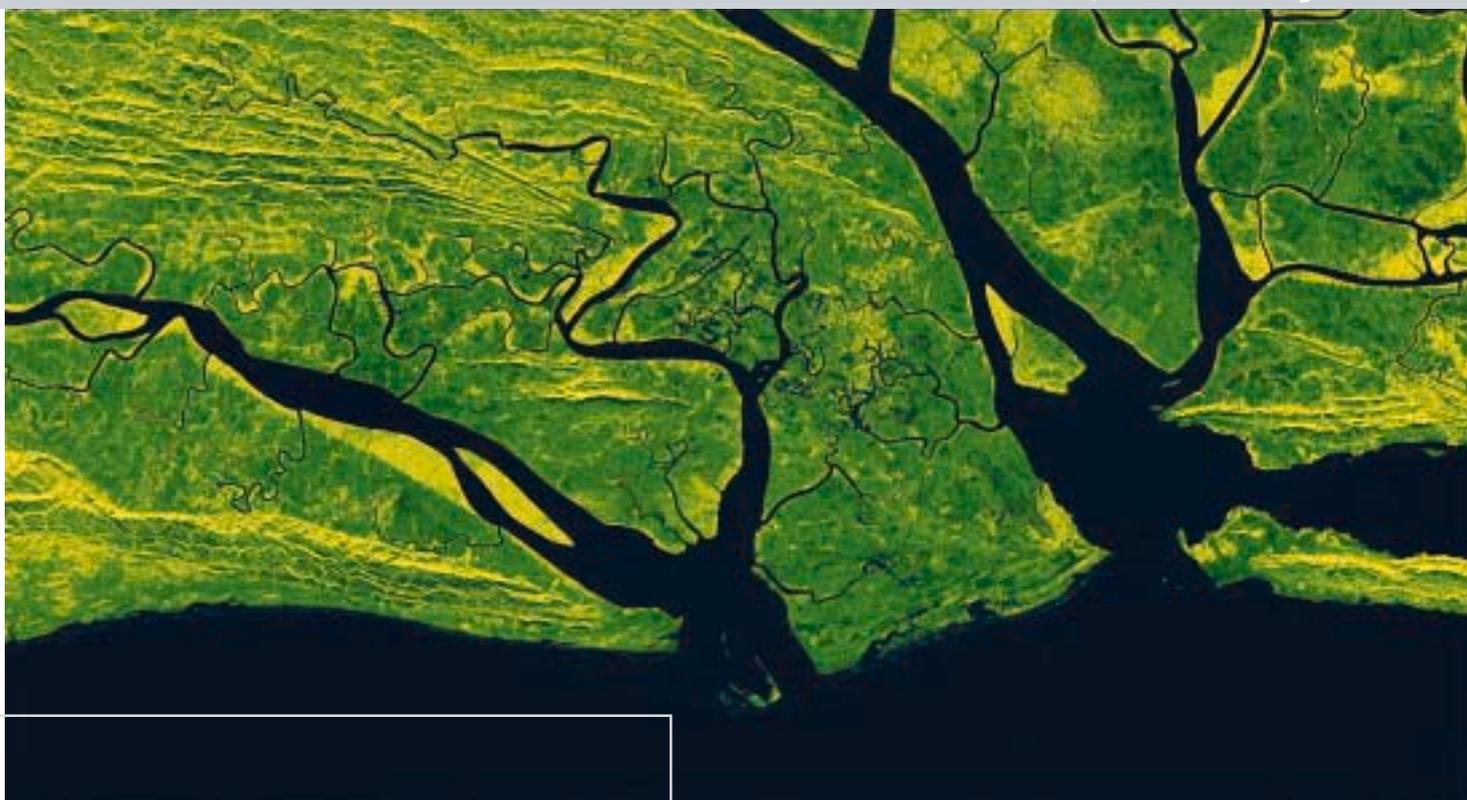
### **Brückenbauer von Format**

Erwin-Schrödinger-Preis für interdisziplinäre Forschung

62

**Wissenschaftliche Auszeichnungen** für Helmholtz-Forschung

64



*Die Aufnahme zeigt das Delta des Kaladan in Myanmar/Burma mit riesigen, dunkelgrün dargestellten Mangrovenwäldern. Zu sehen ist das Bild in der Helmholtz-Ausstellung „Kunstwerk Erde“. Entwickelt als Beitrag der Helmholtz-Gemeinschaft zum Jahr der Geowissenschaften, zeigt sie ästhetisch reizvolle Satellitenaufnahmen der Erde und erläutert, welche Informationen solche Bilder der Wissenschaft liefern. Gezeigt wurde die Ausstellung im Jahr 2002 in Bremen, Bonn und München. Weitere Stationen in großen deutschen Städten sind für 2003 geplant.*



## Vorwort

Zwei sehr unterschiedliche Bildmotive dominieren den Einstieg in dieses Jahreshaft: Zum einen das Titelbild, auf dem die Attacke von Streptokokken-Bakterien auf eine Zelle zu sehen ist, zum anderen die Satellitenaufnahme einer südasiatischen Küstenlandschaft auf der gegenüberliegenden Seite. Was verbindet die extreme Nahsicht auf Prozesse in der kleinsten funktionellen Einheit der Lebewesen und das aus Hunderten Kilometern Distanz aufgezeichnete Bild einer sich ständig verändernden Landschaft? Warum stehen diese Bilder am Anfang des Heftes?

Beide Aufnahmen entstammen der Forschung in der Gemeinschaft, dokumentieren die Vielfalt der Themen und die Breite des Forschungsansatzes. Die Aufnahmen stehen jedoch auch im übertragenen Sinn für Helmholtz-Forschung, denn beide bilden Systeme von hoher Komplexität ab, wenn auch von sehr unterschiedlicher Größe. Solche Systeme immer genauer zu verstehen – das ist Aufgabe von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in der Helmholtz-Gemeinschaft. Ob Gesundheit, Erde und Umwelt oder Verkehr, um nur drei Beispiele zu nennen: Immer geht es der auf Systeme gerichteten Forschung darum, das komplexe Wechselspiel einer riesigen Zahl interagierender Elemente und Komponenten als Ganzes zu erfassen.

Um dieses Ziel zu erreichen, setzt die Gemeinschaft auf die Kooperation von Forschern in längerfristig angelegten Programmen, auf Zusammenarbeit über die Grenzen von Disziplinen und Organisationen hinweg. Helmholtz-Forschung schlägt die Brücke von Grundlagenforschung zu innovativen Ansätzen für die Anwendung. Die Gemeinschaft nutzt dazu neben ihrem wissenschaftlichen Potenzial ihre spezifische Kompetenz für die Planung und den Betrieb von Großgeräten und leistungsfähiger Infrastruktur – und ihre Expertise für das Management großer Projekte.

Bestmögliche Voraussetzungen für derart konzertierte Forschung zu schaffen, dies ist ein wichtiges Anliegen der Helmholtz-Reform. Ihr Kernstück ist die programmorientierte Förderung auf der Basis einer strategisch angelegten Evaluation. Sie tritt an die Stelle zentrenbezogener Mittelvergabe. Dass dieses Konzept funktioniert, dass es Kooperation und Wettbewerb fördert, Kräfte bündelt und größere Transparenz herstellt: Dafür gibt es am Anfang des Jahres 2003 bereits den Proof of Concept. Zwei von sechs großen Forschungsbereichen der Gemeinschaft, Gesundheit sowie Verkehr und Welt- raum, wurden im vergangenen Jahr von international renommierten Experten begutachtet; die aus den Gutachtervoten abgeleiteten Empfehlungen für die Finanzierung begründen ab 2003 die Förderung. In diesem Jahr folgt die Evaluation der Forschungsbereiche Energie sowie Erde und Umwelt. Diese schrittweise strategische Neuausrichtung schafft die moderne organisatorische Basis für Helmholtz-Forschung.

Das Jahreshaft erhebt nicht den Anspruch, diese Forschung umfassend darzustellen; es setzt nicht auf Überblick, sondern auf beispielhaften Einblick. Forschung bei Helmholtz zeigt es auf diese Weise gleichwohl in ihrer Vielfalt: als spannende Tätigkeit unter gelegentlich wahrhaft abenteuerlichen Umständen, als verantwortungsvolle Arbeit, die Antworten auf die großen Fragen von Wissenschaft und Gesellschaft sucht und als wesentlicher Beitrag dazu, die Wettbewerbsfähigkeit des Standortes Deutschland durch Innovation zu erhalten. Aber lesen Sie selbst ...

**Prof. Dr. Walter Kröll**

Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft



# Auf die Verpackung kommt es an

Die Erforschung der epigenetischen Genregulation eröffnet neue Wege in der Krebsbekämpfung

Ein Beitrag aus dem Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg



Tumorzellen epigenetisch umzuprogrammieren – das ist das Ziel einer Arbeitsgruppe im Deutschen Krebsforschungszentrum. Für die Forscher sind noch viele Fragen offen, doch der neue Ansatz in der Krebstherapie ist vielversprechend.

**Z**ellen übernehmen im Körper die unterschiedlichsten Aufgaben: Hautzellen zum Beispiel produzieren Haare oder Nägel; in Drüsengeweben entstehen Hormone, die wichtige Stoffwechselfunktionen regulieren; Abwehrzellen des Immunsystems unterscheiden zwischen „Freund“ und „Feind“. Entscheidend für diese Spezialisierung ist die Aktivität der Gene: Je nachdem, welche Erbgutabschnitte an- oder abgeschaltet sind, erhält jede Zelle eine andere Ausprägung. Von besonderer Bedeutung ist das „An“ oder „Aus“ von Genen, wenn es um die Kontrolle von Wachstum und Teilung einer Zelle geht oder wenn Schäden im Erbgut, der DNS (Desoxyribonukleinsäure), aufgespürt und beseitigt werden müssen. Denn Störungen der Genregulation können Krebs hervorrufen.

## Wie entsteht Krebs?

Wissenschaftler unterscheiden verschiedene Ebenen der Genregulation: Zunächst spielt die unmittelbare Reihenfolge der DNS-Bausteine eine Rolle. Doch auch Eigenschaften, die sich auf die räumliche Anordnung der Erbsubstanz und ihren Verpackungszustand auswirken, entscheiden über die „Karriere“ der Zelle. Mit

dieser Art der Genregulation, die auch als epigenetische Regulation bezeichnet wird, befasst sich Dr. Frank Lyko. Welchen Gesetzen gehorcht die epigenetische Genregulation? Und was passiert in Zellen, die sich der natürlichen Kontrolle entziehen und sich zu einer Krebsgeschwulst entwickeln, sind Fragen, denen der Molekularbiologe im Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg nachgeht. Seit November 2000 leitet er dort die Arbeitsgruppe „Epigenetische Regulation“. Ziel des jungen Forschers ist es, den Prozess der Krebsentstehung besser zu verstehen und daraus neue therapeutische Ansätze abzuleiten.

Zu den epigenetischen Merkmalen der Erbsubstanz zählen unter anderem Methylierungen des DNS-Bausteins Cytosin. Bei diesen Methylierungen handelt es sich um die Ergänzung des DNS-Bausteins Cytosin um eine kleine Kohlenwasserstoffeinheit („Methylgruppe“). Etwa vier bis fünf Prozent der Cytosin-Bausteine des menschlichen Genoms sind in einem relativ genau definierten Muster methyliert.



*Die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* ist eines der wichtigsten Studienobjekte der Molekularbiologen. Sie enthält nur eine Methyltransferase und wird deshalb als Modellsystem zur Untersuchung von DNS-Methylierungen genutzt.*

Aus der biomedizinischen Forschung ist bekannt, dass die Methylierung die Inaktivierung von Genen oder zumindest die Drosselung ihrer Aktivität bewirken kann. Dies ist verhängnisvoll, wenn Gene, die Wachstum und Zellzyklus steuern oder für Reparaturen der Erbsubstanz sorgen, falsch methyliert sind. Hierdurch werden Veränderungen im Methylierungsmuster, so genannte Epimutationen, bei der Zellteilung an die Tochterzellen weitervererbt. Bestimmte Enzyme, die Methyltransferasen, statuen Cytosin-Bausteine im neu gebildeten Doppelstrang nach dem elterlichen Vorbild mit Methylgruppen aus.

Epimutationen können – oft in Verbindung mit weiteren Veränderungen im Erbgut – zu Krebs führen. Bei vielen Tumoren findet man Methylierungsmuster, die von denen in gesunden Zellen abweichen. Sehr häufig sind zu viele Cytosin-Bausteine methyliert, man spricht dann von Hyper- oder Übermethylierung.

### Modellfall Fruchtfliege

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse erforscht Frank Lyko die Mechanismen, die zu Epimutationen führen. Was ist der eigentliche Zweck von Methylierungen in der gesunden Zelle? Welche Gene werden methyliert und welche Faktoren sind dafür entscheidend? Diese Fragen versucht der 32-jährige Biologe mit Hilfe von immunologischen und molekularbiologischen Methoden sowie der Chip-Technologie zu klären.

Sein besonderes Interesse gilt dabei den DNS-Methyltransferasen. Da molekulare Prozesse beim Menschen außerordentlich komplex sind, bedient sich der Nachwuchsforscher der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster*. Lyko, der seit seiner Doktorarbeit mit diesem Modellorganismus vertraut ist, machte nach der Promotion im Whitehead Institute for Biomedical Research in Cambridge, USA, eine wichtige Entdeckung:

In *Drosophila* gibt es nur eine Methyltransferase. „Das ist eine wichtige Voraussetzung, damit unsere Untersuchungen überschaubar bleiben“, erklärt der Wissenschaftler. Die Übertragbarkeit der künftigen Forschungsergebnisse sei zudem dadurch erleichtert, dass sich die Gene der Methyltransferase bei Fliege und Mensch sehr ähnelten.

### Gefährliche Abschalter ausschalten

Um dem Geheimnis der Hypermethylierung auf die Spur zu kommen, analysiert Lyko die Funktionsweise von De-novo-Methyltransferasen, die in Tumoren Cytosin-Bausteine anscheinend nach dem Zufallsprinzip mit Methylgruppen versehen. Um dem Überschuss an diesen Kohlenwasserstoffeinheiten im Erbgut entgegenzuwirken, ist der Biologe auf der Suche nach geeigneten Stoffen, die die De-novo-Enzyme blockieren oder ihre Arbeit auf physiologische Weise umkehren.

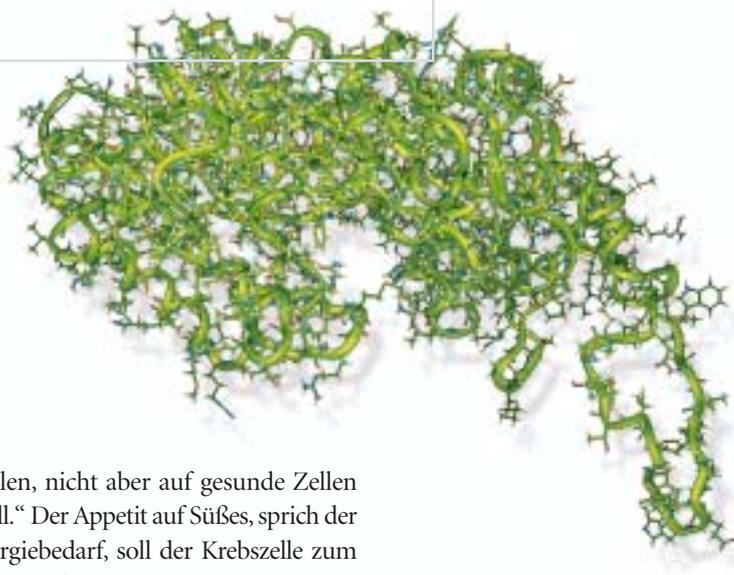
Es gibt bereits Verbindungen wie 5-Aza-Cytidin, die dem Cytosin ähneln und bei der identischen Verdoppelung des Erbguts in den neuen DNS-Strang eingebaut werden. „5-Aza-Cytidin ist in der Lage, die Methyltransferasen fest an sich zu binden, so dass diese für weitere Methylierungen nicht zur Verfügung stehen. Die Folge davon ist, dass die DNS mit jeder Neusynthese weniger Methylgruppen enthält. Dabei gehen die epigenetischen Mutationen verloren“, beschreibt Lyko das Prinzip des Wirkstoffs.

### Trojanische Pferde in Tumoren

Eigentlich eine positive Bilanz, doch 5-Aza-Cytidin zeigt starke Nebenwirkungen, selbst bei niedriger Dosierung. Für Frank Lyko ist das jedoch kein Grund, aufzugeben: „Wir arbeiten an einer Variante des Wirkstoffs, die dank der Kopplung an Zucker spezifisch auf



*Ein dreidimensionales Modell der Methyltransferase erleichtert die Suche nach Hemmstoffen des Enzyms.*



DKFZ

Tumorzellen, nicht aber auf gesunde Zellen wirken soll.“ Der Appetit auf Süßes, sprich der hohe Energiebedarf, soll der Krebszelle zum Verhängnis werden.

Unterstützung erhält der Wissenschaftler dabei von der Abteilung Molekulare Toxikologie des Krebsforschungszentrums. Das Team um Professor Manfred Wießler hat Erfahrung darin, „Trojanische Pferde“ in Tumoren einzuschleusen. Lyko nutzt zudem das Know-how der Abteilung Molekulare Biophysik bei einer anderen Herangehensweise: Die computer-gestützte Analyse der räumlichen Struktur der Methyltransferase soll die Suche nach geeigneten Wirkstoffen erleichtern.

Ein weiteres Forschungsfeld der Arbeitsgruppe sind die Signalwege bei der Krebsentstehung. Aufschluss erhoffen sich die Wissenschaftler hierbei von gezielt ausgelösten epigenetischen Mutationen und den daraus

entstehenden Veränderungen. Denn die Analyse solcher Epimutationen verspricht nach Auffassung von Lyko großen Erkenntnisgewinn für die Krebsdiagnose: „Die DNS-Methylierungsmuster in Tumoren unterscheiden sich stark von denen gesunder Zellen. Der Nachweis dieser spezifischen Muster würde eine frühe und präzise Krebsdiagnose erlauben.“

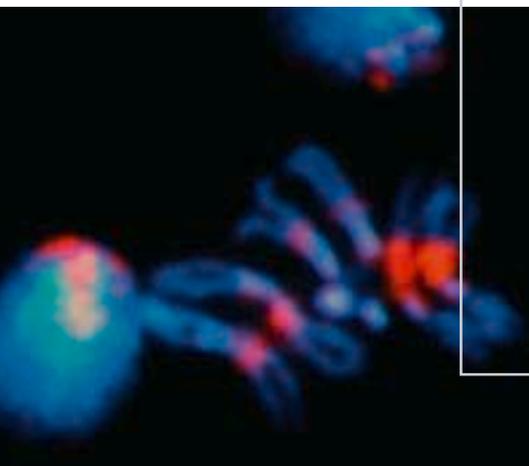
Noch sind viele Fragen ungeklärt, und bis zur Überprüfung therapeutischer Ansätze in klinischen Studien ist es ein weiter Weg. Doch Frank Lyko ist sich sicher, dass die neue Herangehensweise bei der Behandlung von Krebspatienten sehr aussichtsreich ist.

Vielversprechend findet auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) das Ziel des jungen Biologen. Deshalb unterstützte sie ihn durch Aufnahme in das Emmy Noether-Programm für Nachwuchswissenschaftler. Zusätzliche Bestätigung für seine Forschung hat Lyko zu Beginn vergangenen Jahres erfahren: Er gehört zu den sechs Preisträgern des mit je 16.000 Euro dotierten Heinz Maier-Leibnitz-Preises 2002 der DFG.

**Dipl.-Biol. Dagmar Anders**

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg

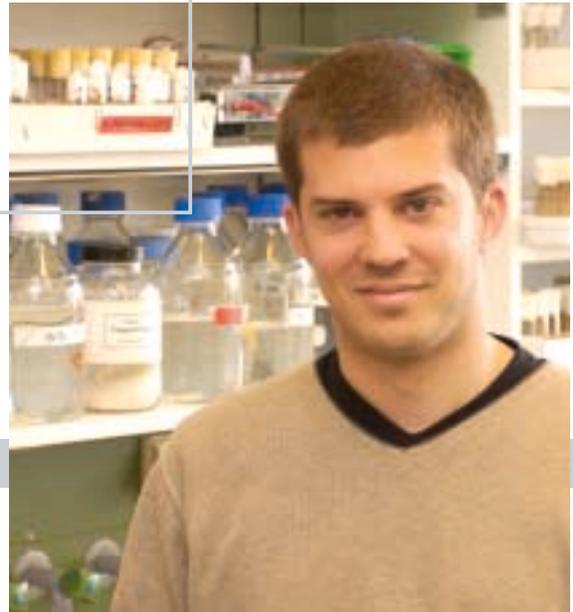
*Ist die DNS (blau) übermethyliert, hat dies auch Auswirkungen auf andere Verpackungskomponenten. Histon-Proteine werden ebenfalls methyliert (rot). Dies führt wiederum dazu, dass die DNS dicht verpackt wird und bestimmte Gene nicht mehr abgelesen werden können. Links zu sehen ist das Erbgut der Fruchtfliege während der „Arbeitsphase“, rechts während der Zellteilung.*





Frank Lyko fand heraus, dass Methylierungen des DNS-Bausteins Cytosin auch in der Fruchtfliege die Genaktivität steuern.

## Interview



Dr. Frank Lyko ist Leiter der Arbeitsgruppe „Epigenetische Regulation“ im Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg.

*Was ist das Neue an der epigenetischen Krebstherapie?*

Genetische Mutationen können bisher nicht rückgängig gemacht werden. Deshalb zielt die klassische Krebstherapie darauf ab, die Krebszellen zu entfernen oder abzutöten. Die dazu eingesetzten Methoden Bestrahlung und Chemotherapie zeigen allerdings schwere Nebenwirkungen, da sie ihre Wirkung nicht ausschließlich im Tumor entfalten. Chirurgische Eingriffe haben zum Teil schwerwiegende Auswirkungen auf Körper und Psyche. Neuere Ansätze wie die Genterapie haben das Ziel, die Mutationen spezifisch in den betroffenen Zellen zu reparieren. Diese Vorgehensweise hat aber noch einige Schwierigkeiten zu bewältigen. Zudem sehe ich bei diesem Ansatz erhebliche ethische Probleme.

Unser Ziel ist eine epigenetische Umprogrammierung von Tumorzellen. Diese Therapieform würde den Krebs – wie es die Genterapie auch tut – bei seiner Wurzel packen. Die Epimutation würde auf physiologische Weise umgekehrt. Hinzu kommt, dass die von der Chemotherapie bekannten Nebenwirkungen nicht zu erwarten wären, da der Wirkstoff gesunde Zellen nicht abtötet.

*Wo liegen die Schwierigkeiten der Therapie?*

Ein großes Problem stellt im Moment die Toxizität des Hemmstoffs 5-Aza-Cytidin dar. Sie beruht im Wesentlichen auf einer geringen Spezifität der Hemmung. Wir versuchen, dieses Problem zu umgehen, indem wir 5-Aza-Cytidin so modifizieren, dass es selektiv in Tumoren aufgenommen wird und auf eine genau definierte Art und Weise die DNS-Methyltransferasen blockiert.

*Gibt es schon Hinweise darauf, welche Tumorarten besonders gut auf eine epigenetische Therapie ansprechen würden?*

Der erste Hinweis auf eine prinzipielle Durchführbarkeit von epigenetischen Krebstherapien wurde vor einigen Jahren bei Mäusen gewonnen. Hier zeigte sich, dass die Häufigkeit von Darmtumoren mit einer rigorosen 5-Aza-Cytidin Behandlung um ein Vielfaches gesenkt werden konnte. Darüber hinaus ist in Zellkulturen gezeigt worden, dass Hautkrebszellen, die normalerweise hochgradig resistent gegen Krebsmedikamente sind, nach einer Behandlung durch 5-Aza-Cytidin wieder auf diese Medikamente ansprechen. In diesem Fall konnten epigenetische Mutationen, die die Auslösung des programmierten Zelltods verhindert hatten, offensichtlich rückgängig gemacht werden.

In klinischen Studien wurde eine Behandlung mit 5-Aza-Cytidin bei einer Vielzahl von Tumoren mit voneinander abweichenden Ergebnissen durchgeführt. Das Problem der hohen Giftigkeit ließ sich allerdings bislang nur bei einigen Leukämien umgehen. Hier sind die Behandlungserfolge aber auch einigermaßen vielversprechend. ■

Das Gespräch führte Dagmar Anders



# Elektrische Impulse bringen Nervenzellen zur Räson

Erste Tests versprechen Erfolg. Eine neue Therapie gegen den Tremor von Parkinson-Kranken hat viele Vorteile

Ein Beitrag aus dem Forschungszentrum Jülich

Ungebremst gleichzeitig, statt gezielt und nacheinander: So feuern die Nervenzellen von Parkinson-Kranken und verursachen damit das typische Zittern und die Muskelstarre der Patienten. Alle bisherigen Therapien helfen nur zeitweise oder verursachen ernste Nebenwirkungen. Forscher aus Jülich und Köln haben eine neue Behandlungsmethode entwickelt, die schonender als alle bisherigen ist.

**D**as Einfädeln eines Fadens ist schon für einen Gesunden nicht einfach. Für den Parkinson-Patienten kann diese Aufgabe unlösbar sein. Ebenso schwierig ist es für ihn häufig, eine Tasse Kaffee einzugießen. Schuld ist der so genannte Ruhetremor. Das Zittern der Hände im entspannten Zustand macht Parkinson-Patienten besonders zu schaffen, weil es ihre Feinmotorik enorm einschränkt.

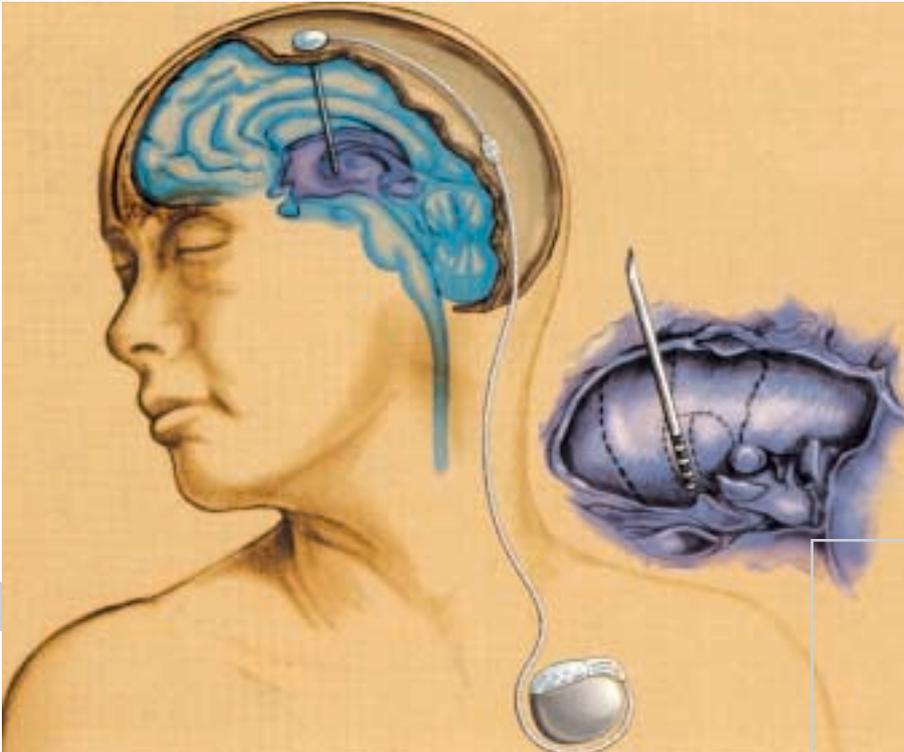
Vielen Patienten kann mit Medikamenten nicht mehr ausreichend geholfen werden. Sie benötigen eine andere Therapieform. Hilfe verspricht ein Verfahren für die Tiefenhirn-Stimulation, das Neurowissenschaftler des Forschungszentrums Jülich und Neurochirurgen der Universität zu Köln weiterentwickelt haben. Sie hoffen, auf diese Weise Patienten individueller und mit geringeren Nebenwirkungen behandeln zu können.

## Verheerende Signalflut

Die Parkinson-Erkrankung entsteht durch einen langsamen Untergang von Dopaminproduzierenden Zellen in einer speziellen Gehirnregion, den Basalganglien. Sie spielen bei der Feinabstimmung und Koordination der Bewegungsabläufe eine wichtige Rolle. Gesunde Neuronenverbände geben die Signale zur Bewegungssteuerung gezielt und aufeinander folgend von einer Nervenzelle zur nächsten weiter. Dopamin übernimmt

*Dieser Mann hat offensichtlich kein Problem, aber für Parkinson-Patienten ist eine solche Tätigkeit eine Herausforderung.*





hier als hemmender Botenstoff eine wichtige Rolle: Es verhindert, dass alle beteiligten Nervenzellen ihre Signale gleichzeitig weiterleiten. Fehlt das Dopamin, kommt es durch die nun synchron feuernenden Nervenzellen zu einer Überaktivität der Muskeln. Sie löst das Zittern, beispielsweise der Hände, aus. Gleichzeitig führt diese Überaktivität zu einer erhöhten Muskelspannung, die verantwortlich ist für die Starre und das typische maskenhafte Gesicht der Parkinson-Patienten.

Es liegt nahe, Parkinson-Patienten mit zusätzlichem Dopamin zu behandeln. Diese Methode ist zunächst auch erfolgreich: Das Zittern wird unterdrückt. Nach sechs Jahren setzen jedoch bei 50 Prozent der Patienten schwere Nebenwirkungen ein. Es kommt zu unwillkürlichen auffälligen Bewegungen, aber auch zur Bewegungsstarre – dann kann ein Patient beispielsweise plötzlich nicht mehr weitergehen. Zudem lässt die Wirksamkeit des Medikamentes nach, und der Patient braucht immer höhere Mengen an Dopamin.

### Hyperaktive Hirnregionen abschalten

Die Jülicher Hirnforscher vom Institut für Medizin beschäftigen sich mit einer operativen Methode: der Tiefenstimulation. Über ein kleines Bohrloch im Schädel wird eine Elektrode in genau die Hirnregion platziert, in der die Nervenzellen infolge des Dopaminmangels krankhaft synchron feuern und die nachfolgenden Neuronen erregen. Ein Impulsgeber, der dem Patienten im Bereich des Schlüsselbeins unter die Haut implantiert wird, versorgt die Elektrode über ein unter der Haut verlaufendes Kabel mit Strompulsen einer Frequenz von 120 Hertz. Durch diese Hochfrequenz-Dauerstimulation werden die krankhaft überaktiven Hirngebiete ausgeschaltet.

*Schon mancher Parkinson-Patient führt mit Elektroden zur Tiefenhirn-Stimulation ein weitgehend normales Leben. Das Schema zeigt die Lage der Elektrode im Gehirn.*

„Doch auch diese Methode hat Nachteile“, erklärt Professor Peter Tass, Leiter der Arbeitsgruppe am Forschungszentrum Jülich, warum er schonendere Verfahren sucht. „Die Dauerreizung ist eine unnatürliche Stimulationsform mit der Folge, dass sich die Nervenetze im Laufe der Zeit an die permanente Stimulation gewöhnen.“ Dies bedeutet, dass die Stärke der Dauerreizung erhöht werden muss. Hierdurch können benachbarte Areale mitgereizt werden, und es kommt zu Sprachstörungen, Gleichgewichtsproblemen und schmerzhaften Empfindungsstörungen auf der Haut. Zudem reicht die Batterie im Impulsgeber nur für einen Zeitraum von etwa einem bis drei Jahren.



Die farbig markierten Stellen geben den Wissenschaftlern Auskunft, wie die Hirnströme in der primären motorischen Hirnrinde mit dem krankhaften Muskelzittern des Patienten synchronisiert sind. Gelb steht beispielsweise für erhöhte Aktivität. Die verschiedenen anatomischen Schnitte stammen alle vom selben Patienten.

FZJ

## Die neue Idee: Störimpulse statt Dauerreize

Die Jülicher Neurowissenschaftler und die Klinik für Stereotaxie und Funktionelle Neurochirurgie der Universität zu Köln verfolgen ein neues Verfahren in der Tiefenstimulation. Entwickelt wurde es in Jülich am Institut für Medizin, umgesetzt im Zentrallabor für Elektronik. Dabei werden einzelne elektrische Pulse bedarfsgesteuert verabreicht. Ziel ist es, die Tätigkeit der Nervenzellen in den überaktiven Gehirnbereichen nicht zu unterdrücken, wie es bei der Dauerstimulation geschieht. Durch das neue Verfahren werden sie stattdessen desynchronisiert: Immer dann, wenn die Nervenzellen übermäßig synchron feuern wollen, werden sie durch einen gezielten Reiz aus dem Takt gebracht. Hierdurch wird die Nervenzelltätigkeit so verändert, dass sie dem Aktivitätsmuster von Gesunden ähnelt.

Die Wissenschaftler arbeiten mit unterschiedlichen Methoden, um die Nervenzellen genau zu dem Zeitpunkt zu treffen, zu dem eine Desynchronisation der feuernden Zellen möglich ist. Dazu setzen sie beispielsweise einen Doppelpuls ein: „Mit dem ersten elektrischen Puls wird ein Neustart der Nervenzellgruppe erzielt; nun feuern die Neuronen zum richtigen Zeitpunkt, und ihr krankhafter Rhythmus wird kontrolliert. Mit einem zweiten Puls werden die Zellen aus dem Takt gebracht, wie ein Fußgänger, dem plötzlich von einem anderen ein Bein gestellt wird“, erläutert Tass das Prinzip. „Dieser aus Neustart und Desynchronisation bestehende Reiz muss je nach individuellem Bedarf im Abstand von wenigen Sekunden wiederholt werden, damit die Nervenzellen nicht wieder in ihren krankhaften Rhythmus verfallen.“

## Der Patient arbeitet mit

Der Vorteil dieser neuen Anwendung der Tiefenstimulation liegt auf der Hand: Da nur im Abstand von wenigen Sekunden ein einzelner elektrischer Reiz erfolgt und nicht – wie bei der herkömmlichen Methode – ein Dauerreiz mit 120 Pulsen pro Sekunde, können dem Patienten langfristig Nebenwirkungen erspart bleiben.

Um die richtige Position für die Elektrode zu finden, bleibt der Patient bei der Operation bei vollem Bewusstsein und arbeitet mit. So kann kontrolliert werden: Lässt das Zittern nach und sitzt die Elektrode an der richtigen Stelle? Die Neurowissenschaftler unterdrücken und provozieren den Tremor während der Operation mit elektrischen Impulsen. Diese Testreizungen zeigen, ob der Operateur die richtige Neuronenpopulation getroffen hat und ob diese auch wirklich für den Tremor des jeweiligen Organs des Patienten zuständig ist. Bereits während der Operation können die Neurowissenschaftler mittels Synchronisationsanalyse – einer Technik aus der statistischen Physik – den exakten Ort für die Elektrode bestimmen.

Das bedarfsgesteuerte Verfahren für die Tiefenstimulation ermöglicht Patienten zukünftig eine schonendere Behandlung und beugt dem Wirkungsverlust und den Nebenwirkungen der herkömmlichen Therapien vor. Das Verfahren ist noch nicht in der klinischen Anwendung, aber erste Tests waren bereits Erfolg versprechend. ■

**Dipl.-Biol. Annette Stettien**

Öffentlichkeitsarbeit  
Forschungszentrum Jülich



# Im Kampf gegen gefährliche Spätfolgen

Genetische Anfälligkeit beeinflusst den Verlauf einer Infektion mit Streptokokken-Bakterien

Ein Beitrag aus der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung in Braunschweig

Eine harmlos verlaufende Infektion mit Streptokokken kann heimtückische Spätfolgen haben. Ein Beispiel dafür sind schwere Herzerkrankungen. Für viele Menschen – vor allem in den ärmeren Ländern – kann die Infektion daher ein lebenslanges Leiden oder den sicheren Tod bedeuten. Großen Einfluss hat dabei eine genetisch bedingte Anfälligkeit. Nur ein Impfstoff kann die Krankheit besiegen, so die Überzeugung der GBF-Wissenschaftler.

**M**anchmal ist sie so schwach, da fällt sie einfach um. Die zwölfjährige Minnu ist sehr dünn und kann nicht richtig laufen. Zum Spielen fehlt ihr die Kraft. Das indische Mädchen hat eine schwere Herzerkrankung als Folge einer Streptokokken-Infektion. „Dem Mädchen werden wir nicht mehr helfen können, ihr Herz ist zu schwer geschädigt“, erklärt Professor Singh Chhatwal, Leiter der Abteilung Mikrobielle Pathogenität und Impfstoffforschung bei der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung (GBF) in Braunschweig. Chhatwal, geboren und aufgewachsen in Indien, untersucht seit 20 Jahren Infektionskrankheiten. Forschungsk Kooperationen verbinden ihn eng mit seiner Heimat, wo er Minnu besucht hat.

## **Streptokokken-Bakterien: so trickreich wie gefährlich**

Jedes Jahr infizieren sich schätzungsweise 40 Millionen Kinder zwischen fünf und fünfzehn Jahren mit Streptokokken. Die Bakterien verursachen viele verschiedene Krankheitsbilder, zum Beispiel Scharlach, Hals- und Mandelentzündungen. Die Symptome klingen meist auch ohne eine Behandlung ab, jedoch können Monate später Folgeerkrankungen auftreten. Beispielsweise leiden weltweit rund 15 Millionen Kinder an rheumatischen Herzerkrankungen, und eine halbe Million von ihnen stirbt jedes Jahr.

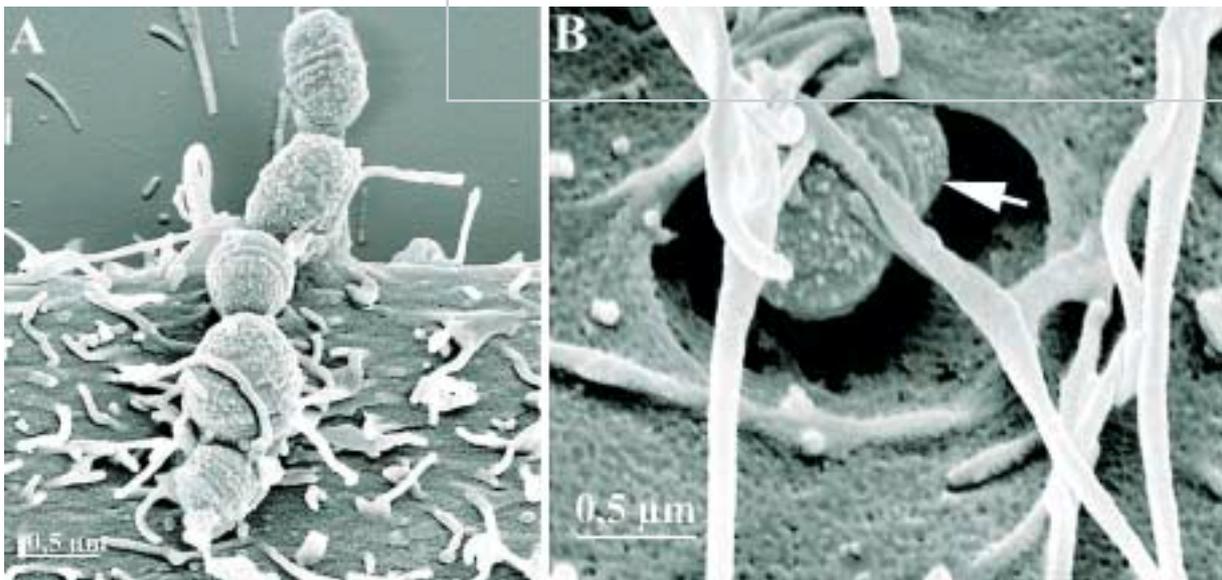
Diese Spätfolge hat ihre Ursache in einem fatalen Trick der Bakterien: Um der Immunabwehr des Körpers zu entgehen, ähnelt die Oberfläche der Streptokokken derjenigen menschlicher Zellen. Als Folge können die zur Abwehr einer Infektion gebildeten Antikörper nicht zwischen „Freund“ und „Feind“ unterscheiden: Sie reagieren nicht nur mit Proteinen auf der

*Halsabstrich bei einem indischen Schulkind. Halsentzündung ist eins der häufigsten Symptome bei einer Streptokokkeninfektion. Der Abstrich wird im Labor auf Streptokokken untersucht.*





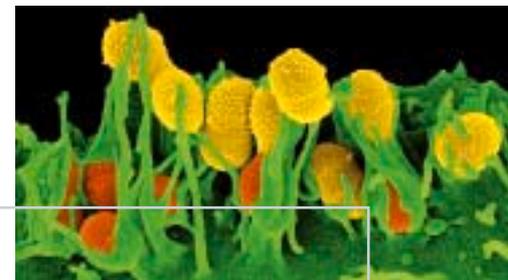
Gefährliche Streptokokken-Attacke auf eine menschliche Zelle (links) und Eindringen in eine menschliche Zelle (rechts)



GBF

Streptokokken-Oberfläche, sondern richten sich auch gegen Proteine im Herzgewebe, das daraufhin zerstört werden kann. Sehr wahrscheinlich ist, dass neben den Antikörpern auch bestimmte Zellen des Immunsystems den eigenen Körper angreifen.

Insbesondere in den ärmeren Ländern, aber auch in Nordamerika sind die Folgeerkrankungen einer Streptokokken-Infektion ein ernsthaftes und häufig unterschätztes Gesundheitsproblem. In Indien treten die lebensbedrohlichen Spätfolgen besonders oft auf: Sieben Prozent der Kinder – ungefähr sechs Millionen – leiden dort an rheumatischen Herzerkrankungen. Geschädigt werden oft die Herzklappen. Eine Operation kann manchmal helfen, doch die ist für viele unbezahlbar. „Und bei vielen Patienten sind die Schäden so schwer, dass auch eine Operation nicht helfen könnte. Sie warten wie Minnu auf den Tod“, erklärt Chhatwal.



Bakterien werden zur besseren Identifizierung eingefärbt. Gelb und Rot dienen hier dazu, Streptokokken, die anhaften, und solche, die eindringen, zu unterscheiden.

## Welche Gene machen anfällig?

Nicht alle Menschen reagieren bei einer Infektion gleich – manche sind widerstandsfähig, andere empfindlich. Zudem treten rheumatische Herzerkrankungen familiär gehäuft auf, und bestimmte Bevölkerungsgruppen, wie etwa die australischen Ureinwohner, sind besonders oft betroffen. „Wir wollen am Beispiel der Streptokokken herausfinden, welche Gene neben umweltbedingten Faktoren für diese Anfälligkeit verantwortlich sind“, sagt Chhatwal, dessen Forscherteam die Blutproben von Minnu und anderen Kindern an der GBF untersucht.

Insbesondere zwei Faktoren scheinen dabei die Empfindlichkeit des Patienten zu bestimmen: Eine Schwäche bei der ersten unspezifischen Abwehr der Bakterien und eine übersteigerte Immunabwehr, die zu schweren Gewebeerkrankungen führen kann. Mit Methoden der Genomforschung haben die Braunschweiger Wissenschaftler im Mausmodell bereits eine Genregion gefunden, die die Wahrscheinlichkeit einer rheumatischen Herzerkrankung zu beeinflussen scheint. Der nächste Schritt wird die Suche nach einem Pendant im menschlichen Genom sein. Chhatwal erhofft sich davon, dass gewisse Risikogruppen identifiziert und nach einer Strep-

tokokkeninfektion besser behandelt werden können.

Denn mit Penicillin lassen sich Streptokokken wirksam bekämpfen. In Deutschland setzen Kinderärzte dieses Antibiotikum konsequent ein. Daher sind rheumatische Herzerkrankungen hier stark zurückgegangen. In Indien hingegen sind die Menschen auf Grund der schlechteren hygienischen Bedingungen den Bakterien viel stärker ausgesetzt, und die medizinische Versorgung ist unzureichend.

Die Ärzte verfolgen daher zusammen mit der Weltgesundheitsorganisation WHO ein anderes Konzept: Sie setzen auf Penicillin als Prophylaxe. Wenn in einem Abstrich der

# Infektionskrankheiten



Die Gesellschaft für Biotechnologische Forschung in Braunschweig konzentriert sich als Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung darauf, die grundlegenden Mechanismen einer Infektion und die Reaktion des Immunsystems auf einen Erreger aufzuklären. Diese Forschung ist von großer gesellschaftlicher Bedeutung, da Infektionen heute noch für ein Drittel aller Todesfälle weltweit verantwortlich sind. Zunehmende Antibiotika-Resistenzen, die Schwächung des Immunsystems im Alter oder die Ausbreitung bekannter und neuer Krankheitserreger machen die Entwicklung neuer Ansätze zur Prävention und Therapie von Infektionskrankheiten dringend erforderlich.

AIDS, Tuberkulose und Malaria fordern nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) heute die meisten Todesopfer. Keine dieser drei Krankheiten kann bisher wirkungsvoll bekämpft werden.

Seit der Entdeckung der Immunschwäche **AIDS** vor 20 Jahren haben sich 60 Millionen Menschen mit dem Virus HIV infiziert. In vielen afrikanischen Ländern ist AIDS der Grund für eine deutlich verringerte Lebenserwartung der Bevölkerung. Kaum besser ist die Situation in Asien, das derzeit den größten Anstieg an Neuinfektionen verzeichnet.

Insgesamt ein Drittel der Weltbevölkerung ist mit dem **Tuberkulose**-Bakterium *Mycobacterium tuberculosis* infiziert, drei Millionen Menschen sterben jährlich an Tuberkulose – Tendenz steigend. Bei fünf bis zehn Prozent der Infizierten bricht die Krankheit im Laufe des Lebens aus, und es kommt zur ansteckenden „offenen Tuberkulose“.

An **Malaria**, der häufigsten Tropenkrankheit, erkranken nach Schätzungen der WHO pro Jahr 300 bis 500 Millionen Menschen. Ursache für Malaria sind Parasiten der Gattung *Plasmodium*, die nur indirekt über die *Anopheles*-Mücke übertragen werden können. ■

Rachenschleimhaut Streptokokken gefunden werden und das Kind erste Anzeichen von rheumatischem Fieber zeigt, beginnen sie mit der Antibiotika-Behandlung. Einmal im Monat erhalten die Patienten dann eine Penicillin-Spritze – mindestens bis zu einem Alter von 25 Jahren, vielleicht aber auch ihr Leben lang.

## Gesucht: Der richtige Impfstoff

Allerdings erreicht die vorbeugende Behandlung nur einen Teil der Kinder. Um die Krankheit zu besiegen, bevor sie ausbricht, arbeitet Chhatwal daher gemeinsam mit indischen Forschungsinstituten an einem Impfstoff. Eine Schutzimpfung könnte auch aus einem anderen Grund dringend benötigt werden: „Angesichts der vielen Infektionsfälle fürchte ich“, erläutert Chhatwal, „dass die Streptokokken irgendwann Antibiotika-Resistenzen entwickeln. Und dann haben wir ein riesiges Problem – auch in Deutschland.“

# Gesundheit

*Elektronenmikroskopische Aufnahme von Streptokokken. Die runden Bakterien wachsen in Ketten und verursachen ein breites Spektrum an Krankheiten.*



Bei der Suche nach dem geeigneten Impfstoff stellt es die Forscher vor große Schwierigkeiten, dass Streptokokken – um der Immunabwehr zu entgehen – in Hunderten von verschiedenen Typen vorkommen. Der Braunschweiger Wissenschaftler Chhatwal konzentriert sich auf das so genannte SfbI-Protein als Impfstoff-Kandidat. Aus zwei Gründen: Dieses Protein ist der Hauptfaktor für die Anheftung der Streptokokken an die Zellen, und es kommt bei allen Streptokokkentypen vor.

Im Tiermodell wurde bereits eine Schutzimmunantwort gegen verschiedene Streptokokkenstämme erzielt. Dabei zeigte sich ein weiterer Vorteil: Die nach der Impfung gebildeten Antikörper gegen das SfbI-Protein reagieren nicht mit Herzproteinen. Der vielversprechende Kandidat soll demnächst in erste klinische Prüfungen gehen. ■

**Dipl.-Biol./Dipl.-Journ. Thomas Gazlig**

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, Braunschweig



## Gewogen und zu schwer befunden

Forscher untersuchen den Zusammenhang zwischen Fettsucht und chronischen Erkrankungen

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

Dick zu sein, galt einst als Zeichen des Wohlstands. Heute weiß die medizinische Forschung jedoch, dass extremes Übergewicht, Adipositas, Wegbereiter vieler Beschwerden und ernster Folgekrankheiten ist. Besonders verbreitete „Begleiter“ der Adipositas sind Zuckerkrankheit (Diabetes) und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. In Deutschland sind 40 Millionen Menschen übergewichtig, und 16 Millionen Deutsche gelten gar als adipös, das heißt, sie leiden unter extremem Übergewicht. Am Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC) Berlin-Buch und der Franz-Volhard-Klinik (Charité/Helios Klinikum Buch) erforschen Wissenschaftler die Adipositas und deren Folgen und entwickeln Ansätze für neue Therapien.

**F**ettsucht (Adipositas) kann jeder leicht diagnostizieren. Denn anhand von Körpergröße und Gewicht lässt sich der so genannte Body-Mass-Index berechnen: Er gibt Auskunft darüber, wie gravierend das Übergewicht ist, ob jemand nur ein paar Pfunde zu viel mit sich herumträgt oder unter Fettsucht leidet. Ursache für die

Ausbreitung des extremen und ernsthaft gesundheitsgefährdenden Übergewichts ist ein Lebensstil, der sich in den vergangenen Jahrzehnten in den westlichen Industrieländern etabliert hat und bis in die wohlhabenden Regionen Asiens und Lateinamerikas fortsetzt: Die Menschen

*Lebenslust und Sinnenfreude haben in dieser Skulptur eine üppige Gestalt angenommen. Was Bildhauerin Leda Astorga aus Costa Rica nicht zeigt, sind die fatalen Folgen extremen Übergewichts für die Betroffenen.*



## Übergewicht und Adipositas – Der Körpermassenindex

 Mit dem Körpermassenindex (Body-Mass-Index, BMI) bestimmen Experten das Übergewicht. Diese Zahl lässt sich berechnen, indem man das Körpergewicht in Kilogramm durch die Körpergröße in Metern zweimal dividiert. Wer dabei einen Wert von mehr als 30 erzielt, leidet vermutlich an einer behandlungsbedürftigen Adipositas. Ein Beispiel: Das Körpergewicht ist 92 Kilo bei einer Körpergröße von 1,75 Metern. Der BMI beträgt hier  $92:1,75:1,75$  (Kilogramm/m<sup>2</sup>) = 30. Dieser Mensch steht also an der Grenze zur Adipositas.

Die WHO hat für die Adipositas folgende Einteilung anhand des Body-Mass-Index vorgeschlagen:

Normalgewicht:	18,5 - 24,9
Übergewicht:	25,0 - 29,9
Adipositas Grad I:	30,0 - 34,9
Adipositas Grad II:	35,0 - 39,9
Extreme Adipositas Grad III:	mehr als 40

essen zu viel und bewegen sich zu wenig. Die Folgen der so entstehenden Adipositas können gravierend sein und sich in gefährlichen Erkrankungen äußern: Dazu gehören Herzgefäßerkrankungen, Bluthochdruck (Hypertonie) und Diabetes. Für die Entstehung von Diabetes Typ 2 gilt die Adipositas sogar als der bedeutendste Risikofaktor.

## Was ist Diabetes mellitus Typ II?

 Patienten mit Diabetes mellitus wurden schon in der Antike von Ärzten an ihrem süßlich schmeckenden „Honigurin“ erkannt. Heute unterscheidet man zwei Formen der Zuckerkrankheit: der Diabetes mellitus Typ I entsteht durch einen Ausfall der körpereigenen Insulinproduktion nach Zerstörung der entsprechenden Zellen in der Bauchspeicheldrüse, häufig im jugendlichen Alter. Ursache sind Autoimmunprozesse, und oft spielen auch genetische Faktoren eine begünstigende Rolle. Zum Diabetes mellitus Typ II kommt es durch das Zusammenspiel einer gestörten Insulinproduktion im Körper und vor allem einer verminderten Insulinwirkung an der Zelle: Der Zucker kann nicht richtig verwertet werden. An dieser zweiten Form des Diabetes leiden 90 Prozent aller Zuckerkranken. Sie tritt fast immer im Zusammenhang mit einer Stoffwechselstörung bei extremem Übergewicht auf. ■

## Gene machen das Abnehmen schwer

Der einzige Weg für Übergewichtige, Folgeerkrankungen zu verhindern, ist Abnehmen. „Abspecken“ senkt den Blutdruck, verbessert die Blutfettwerte und verringert auch das Risiko, an Diabetes zu erkranken. Schon eine Gewichtsreduktion von fünf bis zehn Prozent und regelmäßige körperliche Bewegung können das Risiko für Diabetes halbieren. Professor Arya M. Sharma von der klinischen Forschungsgruppe der Franz-Volhard-Klinik, einer Spezialklinik für Herz-Kreislaufkrankungen der Berliner Charité/Helios Klinikum Berlin, und dem Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC) Berlin-Buch, hat jedoch Verständnis für die Schwierigkeiten der Patienten beim Abnehmen: „Es wäre zu einfach, dem Patienten allein die Schuld für mangelnden Erfolg zu geben.“

Zur Begründung verweist der Stoffwechselexperte auf die Grundlagenforschung, die in den vergangenen Jahren neue Erkenntnisse über die Genetik und die Biologie des Fettgewebes gebracht hat. So wissen die Wissenschaftler inzwischen, dass eben nicht nur der Lebensstil, sondern auch genetische Faktoren das Gewicht regulieren. Für unsere Vorfahren war das Ansetzen von Fettpolstern geradezu überlebenswichtig, um die Zeiten, in denen Nahrung knapp war, besser überstehen zu können. Was wir heute als selbstverständlich hinnehmen, nämlich mehrere Mahlzeiten am Tage, war für den Steinzeitmenschen Luxus: Essen gab es, wenn die Jagd erfolgreich war oder Früchte gesammelt werden konnten – beides übrigens mit intensiver körperlicher Aktivität verbunden. Dazwischen lagen jedoch immer wieder längere Hungerperioden, in denen die Menschen von ihren Fettpolstern zehren mussten. Auf diesen Rhythmus waren sie „genetisch“ programmiert, war ihr Stoffwechsel eingestellt. Die Neigung, uns richtig satt zu essen, so oft wir es können, haben wir zwar beibehalten, die übrigen Lebensumstände haben sich jedoch völlig verändert – die Folge ist das sich weltweit ausbreitende Übergewicht.



MDC

*Übergewicht, darin sehen Fachleute eine sich ausbreitende Epidemie. Schon heute ist jeder sechste Jugendliche in den Vereinigten Staaten zu dick. Hier stehen Jugendliche in einem amerikanischen Abspeck-Camp für den Wasser-Aerobic-Kurs an.*

In Zwillingsstudien konnte Dr. Andreas Busjahn vom Max-Delbrück-Centrum zeigen, dass genetische Faktoren beim Körpergewicht offenbar eine Rolle spielen. So stimmt das Körpergewicht bei eineiigen Zwillingen stärker überein als bei zweieiigen Zwillingen, ein Hinweis auf die Bedeutung genetischer Faktoren. Weitere Untersuchungen ergaben, dass bestimmte Varianten von Genen, die das Wachstum und die Funktion von Fettgewebe beeinflussen, mit einem erhöhten Körpergewicht einhergehen.

## ***Fatale Liaison: Hohes Gewicht und hoher Blutdruck***

Immer genauer verstehen Forscher heute auch die Zusammenhänge zwischen Adipositas und anderen Krankheiten in ihrem Gefolge. So haben die Wissenschaftler herausgefunden, dass Fettgewebe nicht nur ein Energiespeicher ist, sondern auch eine Vielzahl von Molekülen produziert, die direkt das Herz-Kreislaufsystem und die Nieren schädigen können. Fettzellen können den Blutdruck in die Höhe treiben, also Hypertonie verursachen, und zur Entstehung von Stoffwechselstörungen beitragen.

Beispiel Bluthochdruck: Arya Sharma und seine Mitarbeiter konnten zeigen, dass Fettzellen sämtliche Komponenten des so genannten Renin-Angiotensin-Systems (RAS) bilden können, eines Steuerungssystems des Blutdrucks. Das RAS-System wiederum bestimmt auch Wachstum und Differenzierung von Fettzellen und letztlich deren Funktion. In wei-

teren Untersuchungen konnte die Forschungsgruppe von Professor Sharma demonstrieren, dass Gene für zahlreiche Komponenten des RAS-Systems sowie weitere kreislaufrelevante Gene bei adipösen Patienten mit Bluthochdruck im Fettgewebe vermehrt zum Tragen kommen. Weiter stellte sich heraus, dass die Ausschüttung des Botenstoffes Adiponectin, der sowohl den Kohlenhydratstoffwechsel als auch die Gefäßfunktion positiv beeinflusst, bei adipösen Patienten im Fettgewebe unterreguliert ist. Sharma: „Wir vermuten, dass eine gesteigerte Aktivität des RAS-Systems im Fettgewebe zum Bluthochdruck beiträgt.“ Nach Ansicht der Mediziner ist beim adipösen Patienten Abnehmen zwar das wirksamste Mittel, den Blutdruck zu senken, aber ob sich dadurch ein fehlgesteuertes Renin-Angiotensin-System wieder völlig normalisieren lässt, ist noch unklar.

Bluthochdruck-Spezialisten vermuten darüber hinaus, dass die Medikamente, die den Patienten zur Behandlung von Hypertonie und Diabetes gegeben werden, das Abnehmen erschweren. Das erklärt möglicherweise, warum es gerade übergewichtigen

*Neue Strategien gegen Adipositas, so das Ziel der Forscher, sollen die Patienten nicht nur physisch, sondern auch psychisch "entlasten".*

## Adipositas – eine weltweite Epidemie

Weltweit sind nach Angaben der Welt-Gesundheitsorganisation (WHO) bereits heute rund 300 Millionen Menschen stark übergewichtig, also adipös. Weil die Adipositas nach Ansicht von Fachleuten damit schon jetzt eine weltweite Epidemie ist, haben sie die Bezeichnung „globesity“ eingeführt, die Formel für global obesity, globale Fettsucht. Allein in den USA sind mehr als 60 Prozent der Bevölkerung, rund 165 Millionen Menschen, übergewichtig. Das bedeutet zum Beispiel, dass fast jeder sechste Jugendliche in den Vereinigten Staaten zu dick ist. Ein Viertel der US-Bevölkerung, fast 70 Millionen Amerikaner, leiden an behandlungsbedürftigem Übergewicht. In der Europäischen Union sind rund 100 Millionen Erwachsene übergewichtig. Bezogen auf die Bevölkerung ist der Prozentsatz adipöser Menschen in Deutschland, Belgien, Italien und Großbritannien am höchsten. Dort leidet schon fast jeder Fünfte an Adipositas. ■

Menschen, deren Hypertonie mit Medikamenten behandelt wird, so schwer fällt, abzunehmen. Für sie, deren Gesundheit entscheidend davon beeinflusst wird, ob es ihnen gelingt, Gewicht zu reduzieren, ein regelrechter Teufelskreis. „Für die medikamentöse Behandlung von adipösen Bluthochdruck-Patienten gibt es bis heute keine offiziellen Richtlinien“, sagt Sharma, der seit November 2002 an der McMaster Universität in Hamilton/Ontario in Kanada lehrt. Und betont: „Nur durch klinische Studien lassen sich Wirksamkeit und Nutzen solch einer Behandlung einschätzen.“

### Potenziertes Risiko: Adipositas und Zuckerkrankheit

Ein weiteres Beispiel für den Zusammenhang von Adipositas mit schweren Folge-Krankheiten ist die Zuckerkrankheit. Denn das Fettgewebe beeinflusst mit hormonähnlichen Substanzen den Zuckerstoffwechsel: Dadurch kann das Hormon Insulin seine Wirkung nicht richtig entfalten.



Beim gesunden Menschen baut das lebensnotwendige Insulin die bei der Nahrungsverwertung entstehende Glukose (Zucker) ab. Bei sehr dicken Menschen funktioniert dieser Abbauprozess nicht mehr reibungslos. Zudem setzt das Fettgewebe große Mengen Fett-

säuren frei, die nicht nur im Unterhautfettgewebe, sondern auch in der Leber und den Muskeln eingelagert werden. Dort verhindern sie, dass die bei der Nahrungsverwertung entstehende Glukose verarbeitet werden kann. Die Folge: Der Blutzuckerspiegel steigt, und die Menschen erkranken an Diabetes. Zwar ist der Diabetes behandelbar, doch sind damit nicht alle Gesundheitsrisiken vermindert. Und es entstehen durch die meist langfristige Behandlung sehr hohe Kosten für das Gesundheitssystem – Kosten, die durch eine Umstellung der Lebensweise zu einem großen Teil vermeidbar wären.

### Übergewicht ist teuer

Wenn es Forschern und Klinikern gelingt, auf der Grundlage neuer Erkenntnisse wirksamere Strategien und Medikamente gegen die Adipositas zu entwickeln, profitieren davon vor allem die Patienten selbst, die außer an gesundheitlichen Problemen vielfach auch an vermindertem Selbstwertgefühl leiden. Zudem würde das Gesundheitswesen spürbar entlastet: Übergewichtige Menschen verursachen laut Professor Sharma 200 Mal höhere Gesundheitskosten als schlanke Menschen. Die direkten Folgekosten der Adipositas belaufen sich in Deutschland nach Schätzungen auf sieben bis acht Prozent der Gesamtkosten im Gesundheitssystem. Das entspricht jährlich über 16 Milliarden Euro. Wie sich diese Kosten weiterentwickeln könnten, zeigt der Blick in die Vereinigten Staaten: Dort schätzt man die ökonomischen Folgekosten der Adipositas auf 117 Milliarden Dollar. Höchste Zeit, dagegen etwas zu unternehmen. ■

**Barbara Bachtler**

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC) Berlin-Buch



# Wie die Sonne Energie erzeugen ... auf der Erde

Die Fusionsanlage WENDELSTEIN 7-AS brachte die Forschung auf neue Wege – der Nachfolger entsteht in Greifswald

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

Am 31. Juli 2002 lief das letzte Fusionsexperiment; die 14-jährige Erfolgsgeschichte der Fusionsanlage WENDELSTEIN 7-AS des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik (IPP) in Garching ist zu Ende. In Greifswald soll nun im größeren Nachfolger WENDELSTEIN 7-X getestet werden, ob solche Stellaratoren mit dem Konkurrenzmodell vom Typ Tokamak mithalten können und kraftwerkstauglich funktionieren.

**D**ie Energieproduktion des riesigen Kraftwerks Sonne auf der Erde nachzuvollziehen, das ist das Ziel von Fusionsforschern. Fusionsenergie könnte, so die Hoffnung der Wissenschaftler, nachhaltig zur Lösung des Energieproblems der Menschheit beitragen. Denn die Energie aus der Verschmelzung von Atomkernen bietet viele Vorteile: Fusionskraftwerke lassen günstige Sicherheits- und Umwelteigenschaften erwarten, die Brennstoffvorräte sind nahezu unbegrenzt und es gibt keine klimaschädlichen Emissionen.

Im Fusionsreaktor Sonne ist der Brennstoff normaler Wasserstoff, der als heißes Plasma durch die eigene Schwerkraft zusammengehalten wird. Auch die irdische Forschung nutzt als Brennstoff Plasma, nämlich extrem dünnes ionisiertes Gas aus den Wasserstoffsorten Deuterium und Tritium. Fusion auf der Erde zu realisieren, ist allerdings nicht einfach.

### **Die Konkurrenten: Tokamak und Stellarator**

Damit das Fusionsfeuer zündet, muss der Brennstoff Plasma in Magnetfeldern eingeschlossen und auf Temperaturen von über 100 Millionen Grad aufgeheizt werden. Um dies zu erreichen, konzentriert sich die Fusionsforschung auf zwei Experimenttypen, den Tokamak – heute der global überwiegende Typ – und den Stellarator. Der Tokamak stellt einen Teil des einschließenden magnetischen Feldes durch einen im Plasma

Plasmaentladung in  
WENDELSTEIN 7-AS





*Eine der 45 modularen Spulen,  
das Charakteristikum von  
WENDELSTEIN 7-AS*

fließenden elektrischen Strom her. Anders der Stellarator: Er schließt das Plasma mit einem Magnetfeld ein, das ausschließlich von äußeren Spulen erzeugt wird. Diese Besonderheit macht ihn so interessant für die Forschung. Denn damit sind Stellaratoren für den Dauerbetrieb geeignet, während Tokamaks normalerweise nur pulswise arbeiten. Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching und Greifswald ist weltweit das einzige, das beide Typen von Experimenten untersucht.

### ***Stellaratoren werden ernst genommen ... seit WENDELSTEIN***

Der seit 1988 arbeitende WENDELSTEIN 7-AS war die erste Anlage einer neuen Generation so genannter „Advanced Stellarators“ – und über alle Erwartungen hinaus erfolgreich. Von bisherigen Stellaratoren, wie sie seit Ende der 50er Jahre untersucht werden, unterschied sich WENDELSTEIN 7-AS durch ein verbessertes Magnetfeld, das ein Plasmagleichgewicht bei höherem Druck und eine höhere Dichtigkeit des magnetischen Käfigs besitzt. Seine 45 bizarr geformten Spulen erprobten erstmals auch den technisch neuartigen Aufbau des Magnetsystems aus Einzelspulen.

Im Wettstreit der Anlagentypen hat die Fusionsanlage in Garching dafür gesorgt, dass das Ansehen der Stellaratoren erheblich gestiegen ist. Professor Dr. Friedrich Wagner, der Leiter des Bereichs „Experimentelle Plasmaphysik 3“, in dem WENDELSTEIN 7-AS betrieben wurde, erläutert: „Noch vor zehn Jahren verließen auf Konferenzen zur Fusionsforschung die meisten Zuhörer – alleamt Tokamak-Spezialisten – das Auditorium, sobald die Stellarator-Präsentationen begannen. Heute ist das anders!“

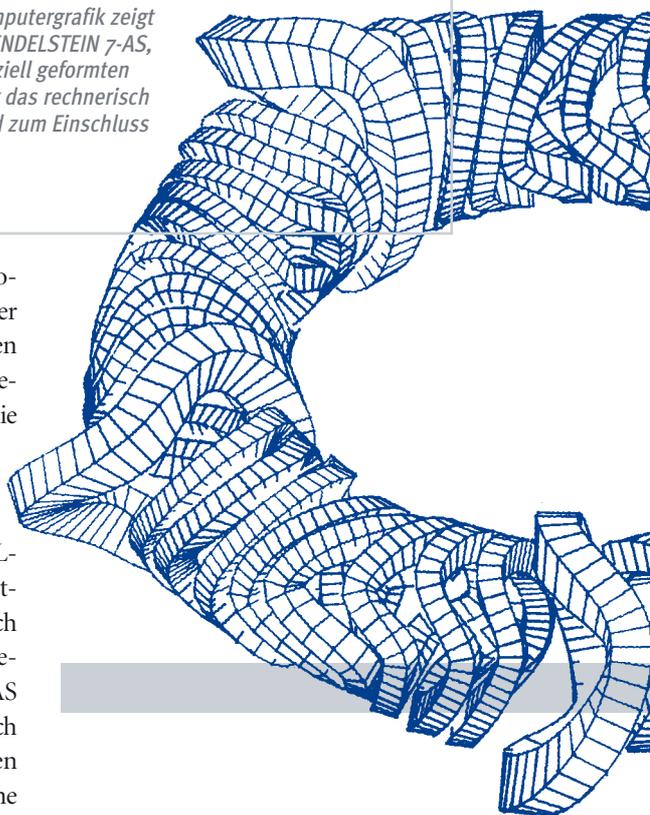
### ***Wie der „optimierte“ Stellarator entstand***

Ansporn für die Forscher, die den neuen Stellarator entwickelten, war die bittere Wahrheit, dass die bisherigen „klassischen“ Stellaratoren den Tokamaks weit unterlegen waren. Die Qualität ihres Magnetfeldkäfigs war unbefriedigend. Nur umständlich konnte man das Magnetfeld durch spiralförmig auf das Plasmagefäß gewickelte Magnetspulen aufbauen. Für ein späteres Fusionskraftwerk waren diese Anlagen daher zweifelhafte Kandidaten. Deshalb begannen die Garchinger Forscher ganz von vorn und machten sich auf die systematische Suche nach dem optimalen Magnetfeld – eine Suche unter zahllosen möglichen Stellarator-Konfigurationen.

Welche Felder ermöglichen größtmögliche Stabilität des Plasmas? Welche Felder isolieren die Wärme am besten? Um dies herauszufinden, entwickelte das WENDEL-



*So fing es an: Die Computergrafik zeigt das Kernstück von WENDELSTEIN 7-AS, den Kranz aus 45 speziell geformten Stellaratorspulen, der das rechnerisch optimierte Magnetfeld zum Einschluss des Plasmas erzeugt.*



STEIN-Team komplexe Theorien. Mit großem Rechenaufwand sortierten die Forscher die besten Magnetfelder aus. Im nächsten Schritt berechneten sie für diese Felder eine geeignete Form der Magnetspulen – das war die Geburtsstunde der „Advanced Stellarators“.

### Die neue Stellarator-Idee im Test

In rund 60.000 Entladungen hat WENDELSTEIN 7-AS die Wissenschaftler nicht enttäuscht. Die erwarteten Vorzüge zeigten sich wirklich: Die zugrunde gelegten Optimierungsprinzipien hat WENDELSTEIN 7-AS bestätigt. Das berechnete Magnetfeld ließ sich von den neuartigen Spulen mit der nötigen Genauigkeit erzeugen. Und der Betrieb ohne Strom im Plasma, anders als im Tokamak, ließ sich demonstrieren. Nach dem Muster von WENDELSTEIN 7-AS gebaute Stellaratoren, so eine zentrale Schlussfolgerung der Forscher, könnten für den Dauerbetrieb geeignet sein. WENDELSTEIN 7-AS hat alle Stellarator-Rekorde in seiner Größenklasse gebrochen. 1992 gelang es sogar, das bei den Tokamaks so erfolgreiche H-Regime, einen Plasmazustand mit besonders guten Einschlusseigenschaften, zu beobachten – erstmals in einem Stellarator.

### WENDELSTEIN geht weiter ... in Greifswald

Das Ende von WENDELSTEIN 7-AS ist deshalb kein wirkliches Ende. Ein Teil der Wissenschaftler des Teams wird noch etwa ein Jahr lang Messdaten der Experimente auswerten. Ein anderer Teil wird zur Entwicklung von Messverfahren und -apparaturen für WENDELSTEIN 7-X nach Greifswald umziehen: Erfahrungsträger, die ihr Wissen jetzt für den erfolgreichen Aufbau und Betrieb des Nachfolgers einsetzen.

Denn in Greifswald soll, aufbauend auf den Erfahrungen aus Garching, ein Schlüsselexperiment der europäischen Fusionsforschung entstehen. Es soll beweisen, dass Stellaratoren kraftwerkstauglich sind. Der Aufbau des magnetischen Käfigs greift das beim Vorgänger so erfolgreich getestete modulare Spulenkonzept auf. WENDELSTEIN 7-X wird ein System aus 50 nichtebenen Einzelspulen besitzen. 20 zusätzliche ebene Spulen dienen dazu, das Magnetfeld zu variieren. Anders als beim Vorgänger werden für die Stromleiter der Magnete jedoch statt normalleitenden Kupfers verlustlose, das heißt supraleitende Stromleiter aus Niob-Titan benutzt. Und das ist der Clou: Denn mit Hilfe dieser Supraleiter soll WENDELSTEIN 7-X die entscheidende Eigenschaft der Stellaratoren beweisen – Tauglichkeit für den Dauerbetrieb. ■

IPP

Der Stellarator WENDELSTEIN 7-AS



**Isabella Milch**

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

**Dr. Anne Rother**

Kommunikation und Medien  
Helmholtz-Gemeinschaft

## Glossar

### Fusionsprozess

Darunter versteht man die Verschmelzung leichter Atomkerne zu schwereren. Von allen Paaren leichter Atomkerne, die verschmelzen können, liefert die Reaktion zwischen den beiden schweren Isotopen des Wasserstoffs – Deuterium und Tritium – die größte Energieausbeute bei der niedrigsten Plasmatemperatur. Je ein Deuterium- und Tritiumkern verschmelzen zu einem Heliumkern. Dabei wird ein schnelles Neutron frei, das achtzig Prozent der insgesamt gewonnenen Energie mit sich trägt. Aus einem Gramm dieses Brennstoffes ließen sich 90.000 Kilowattstunden Energie erzeugen, soviel wie aus elf Tonnen Kohle.

### Plasma

Der „vierte Aggregatzustand“ der Materie, bestehend aus zum Großteil ionisierten Atomen oder Molekülen und deren freien Elektronen. Plasma entsteht bei hohen Temperaturen. Es ist kein exotischer Zustand der Materie, sondern allgegenwärtig in Flammen und Neonleuchtröhren. Auch Blitze bestehen vorwiegend aus Plasma, ebenso die Sonnenkorona und Sterne.

### Magnetischer Plasmaeinschluss

Geladene Teilchen – Ionen und Elektronen – werden in einem Magnetfeld auf Kreis- und Schraubenbahnen um die Feldlinien gezwungen. Die Teilchen sind auf diese Weise an die Feldlinien angebunden. In Längsrichtung der Magnetfeldlinien können sie sich dagegen unbeeinflusst bewegen. In einem geeignet geformten Magnetfeldkäfig kann man ein Plasma daher einschließen und von materiellen Wänden fernhalten.

### Plasmagleichgewicht

Zustand des Plasmas, in dem sich die Druckkräfte, die ein heißes Plasma entwickelt, mit den magnetischen Einschlusskräften im Gleichgewicht befinden.

### Stellarator

Stellaratoren können – anders als Tokamaks – von vornherein im Dauerbetrieb arbeiten: In einem Stellarator wird die schraubenförmige Verdrillung der Feldlinien ausschließlich durch äußere Spulen erzeugt. Ein Stellarator kommt also ohne einen Längsstrom im Plasma und damit ohne Transformator aus. Er kann daher im Prinzip stationär arbeiten. Ob Stellaratoren für ein Fusionskraftwerk die technisch einfachere Lösung sein könnten, untersuchen die WENDELSTEIN-Experimente des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik.

### Tokamak

Die am meisten untersuchte Bauform für den magnetischen Käfig eines Fusionsplasmas. In einem Tokamak schließen zwei sich überlagernde Magnetfelder das Plasma ein: erstens ein ringförmiges Feld, das durch äußere Spulen erzeugt wird, und zweitens das Feld eines im Plasma fließenden Kreisstroms. In dem kombinierten Feld laufen die Feldlinien dann schraubenförmig um. Der Plasmastrom wird normalerweise durch eine Transformatorspule im Plasma induziert. Daher arbeitet ein Tokamak nicht kontinuierlich, sondern wie der Transformator gepulst. Bei einem späteren Kraftwerk kann man sich Pulszeiten von einigen Stunden vorstellen. Da jedoch ein Kraftwerk aus technischen Gründen im Dauerbetrieb arbeiten sollte, werden Methoden untersucht, einen kontinuierlichen Strom zu erzeugen.

### Wärmeisolation

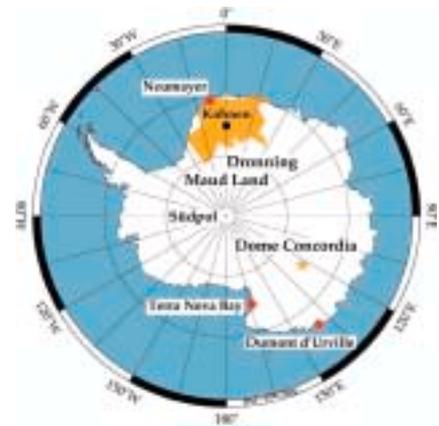
Zum Auslösen der Fusionsreaktionen muss der Brennstoff nicht nur eine genügend hohe Temperatur und Dichte besitzen, sondern auch ausreichend wärmeisoliert sein. Würde nämlich die Wärmeenergie zu schnell aus dem Plasmazentrum nach außen abgeführt, könnte die Temperatur des Plasmas nicht erhalten werden: Der Brennvorgang würde erlöschen. Die modernen Fusionsanlagen erreichen beachtliche Wärmeisolationen von 10 Millionen Grad pro Zentimeter Magnetfeldstärke.

### Sicherheitseigenschaften der Fusion

Die Rohstoffe der Fusion, Deuterium und Lithium (aus Letzterem wird das benötigte radioaktive Tritium gewonnen), sind nicht radioaktiv. Klimaschädigende Emissionen werden nicht auftreten; ein Unfall mit katastrophalen Folgen ist aus prinzipiellen physikalischen Gründen unmöglich. Durch die Abfälle der Fusion werden nachfolgende Generationen nicht wesentlich belastet: Die Radiotoxizität des Abfalls klingt innerhalb weniger Jahrzehnte um viele Größenordnungen ab. ■

# Zeitreise ins Eis

Bohrungen im Polareis geben Aufschluss über das Klima von mehreren Hunderttausend Jahren

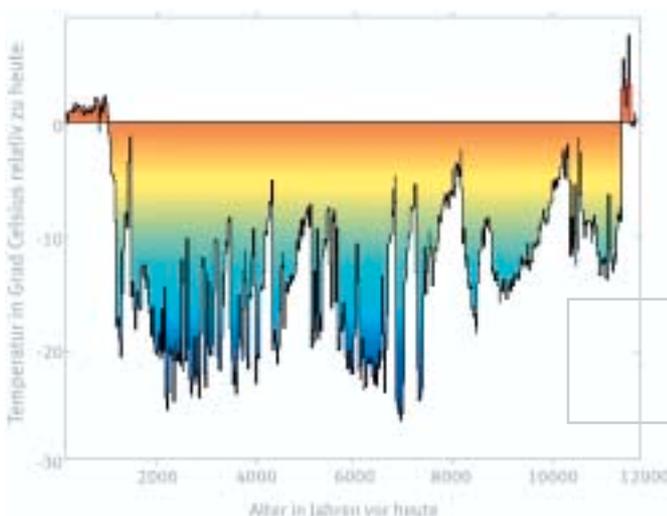


Ein Beitrag aus dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven

Wenn Forscher des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung fast 3.000 Meter tief in Eiskerne der Antarktis vordringen, dann ist Forschung ein Abenteuer, wie es im Buche steht. Ebenso spannend wie die Bedingungen, unter denen die Wissenschaftler arbeiten, sind die Ergebnisse: Denn was ihre Tiefenexpedition ins Eis freilegt, ist ein einzigartiges Klima- und Umweltarchiv.

**A**ls 1992 die ersten Ergebnisse des Greenland Ice Core Projekts (GRIP) publiziert wurden, versetzten sie die Fachwelt und bald auch eine breitere Öffentlichkeit in Erstaunen: An dem Eiskern, den sie in Grönland gebohrt hatten, konnten die Forscher nachweisen, dass unser Klima nicht nur während eiszeitlicher, glazialer Epochen kalt und während der Inter-glaziale warm war. Sie entdeckten auch – und das war das aufregend Neue – dass sich während der letzten Kaltzeit beinahe ständig kältere und wärmere Phasen abwechselten, und zwar in außerordentlich schneller Folge.

So fanden die Forscher beispielsweise heraus, dass während der letzten Eiszeit in Grönland die mittlere Jahrestemperatur innerhalb von etwa 210 Jahren um 10 Grad Celsius anstieg. Verursacht wurde diese erstaunliche Veränderung allein durch das natürliche Klimasystem. Eine Erkenntnis, die uns Forscher mit vielen neuen Fragen konfrontierte: Welche Mechanismen stecken hinter solchen Temperaturwechseln? Was sind die auslösenden Faktoren? Wie lassen sich unter diesen neuen Voraussetzungen Änderungen des Klimas vorhersagen? Und wie die vom Menschen beigetragenen Einflüsse auf das Klima mit den natürlichen Schwankungen in Beziehung setzen?



Temperaturänderungen in Grönland während der letzten circa 100.000 Jahre



Den Bohrer ansetzen: Forscher gehen den Strukturen des Eiskörpers auf den Grund.

## Auf dem Grund der Meere Erkenntnis suchen

Forscher lesen nicht nur im Eis der Pole, sondern auch in vielen anderen Umweltarchiven, um Klimageschichte zu begreifen: Sedimente des Meeresbodens oder der Grund von Seen sind solche Archive. Und genau diese natürlichen Nachschlagewerke konsultierten die Wissenschaftler nun, um die Ergebnisse aus Grönland zu begreifen – mit Erfolg. So sind mittlerweile die nach zwei Pionieren der Eisforschung benannten Dansgaard-Oeschger Zyklen klar bestätigt. Diese Zyklen, von denen es zwischen 85.000 und 15.000 Jahren

vor heute über zwanzig gab, verlaufen immer nach dem gleichen Muster: Über einen Zeitraum von eineinhalb Tausend Jahren (oder ein Mehrfaches dieser Spanne) sinkt die Temperatur stufenweise um einige Grad, um plötzlich in weniger als zehn Jahren wieder nach oben zu schießen. Soweit die Fakten – längst noch nicht alles wissen wir allerdings darüber, welche Mechanismen und Prozesse diese Temperaturschwankungen auslösen.

### Wie der Atlantik heizt und kühlt

Klar scheint mittlerweile zu sein, dass die Ozeane und insbesondere der Atlantik eine wesentliche Rolle für die Temperaturwechsel spielen, die der Dansgaard-Oeschger Zyklus beschreibt. Es sind kalte und dichte, weil salzreiche Tiefenwässer im nördlichsten Atlantik und im Weddellmeer im Süden, die die globale ozeanische Zirkulation antreiben. Wird diese Zirkulation unterbrochen, weil in der Grönlandsee kein Tiefenwasser mehr gebildet wird, dann kann der Golfstrom kein warmes Wasser mehr nach Norden bringen. In der Folge wird es dort kälter. Wenn der Golfstrom wieder so läuft wie heute – wird es wärmer.

Was wissen wir bisher über diese Prozesse? Simulationen solcher Temperaturveränderungen mit Modellrechnungen gibt es inzwischen viele, und die Meeresbodensedimente zeigen ihre Auswirkungen. Wir sind

## Das Eis der Pole – ein tiefgekühltes Archiv



Das auf den Eisschilden der Pole gebildete Eis fließt langsam in die Tiefe und weiter zum Rand hin, wo es abschmilzt oder als Eisberg in den Ozean segelt. Im Gleichgewichtszustand, der heute ungefähr erreicht ist, halten sich Zutrag und Abtrag des Eises an den Polen die Waage. Die Fließbewegung bewirkt, dass die einzelnen Jahresschichten mit zunehmender Tiefe und damit zunehmendem Alter immer stärker ausgedünnt werden. In den Zentren der Eiskappen, von wo das Eis zu den Seiten hin abfließt, findet sich in der Tiefe das älteste Eis.

Dieses einzigartige Klimaarchiv bietet Forschern die Möglichkeit, nicht nur Temperaturwechsel der Vergangenheit, sondern auch damit einhergehende Veränderungen in der Konzentration der Treibhausgase oder der atmosphärischen Staubbelastung zu bestimmen. Daraus entsteht ein vergleichsweise vollständiges Bild vergangener Klimazustände und Veränderungen im Erdsystem. ■

uns aber nicht sicher, ob die auslösenden Faktoren für derartige Veränderungen der Temperatur im Norden oder im Süden liegen. Klarheit kann nur der Vergleich der beiden Sphären bringen. Eine herausragende Rolle hat dabei wegen seiner besonderen Eigenschaften das Eisarchiv der Pole.

## **Neuer Vorstoß ... ins Eis der Antarktis**

Deshalb haben die europäischen Forscher, die schon bei GRIP in Grönland zusammengearbeitet haben, ein neues großes Eiskern-Bohrprojekt begonnen. Schauplatz ist diesmal das

südliche Pendant des Grönlandeises, die Antarktis. European Project for Ice Coring in Antarctica, kurz EPICA, heißt das neue Projekt, an dem zehn europäische Nationen unter dem Dach der European Science Foundation beteiligt sind.

Im Zentrum von EPICA stehen zwei Tiefenbohrungen ins antarktische Eis, die eine, auf Dome Concordia, liegt im pazifischen Sektor der Antarktis. Die Platzwahl ist alles andere als zufällig: Der wenige Niederschlag, der dort fällt – etwa 2,5 Zentimeter pro Jahr – stammt aus der südlichen Region des indischen und des pazifischen Ozeans. Bei einer Gesamteisdicke von etwa 3.200 Metern und der geringen Niederschlags-

menge konnte man erwarten, sehr altes Eis erbohren zu können und damit Erkenntnisse über mindestens fünf glaziale Zyklen zu erhalten.

Diese Hoffnung hat nicht getrogen. 1997 begannen die Forscher mit der Bohrung; am Ende der Saison 2001/02 haben sie eine Tiefe von 2.820 Metern erreicht. Dort ist das Eis etwa 550.000 Jahre alt. Und das bedeutet: Der Eiskern konserviert fünf volle Glazial-Interglazial-Zyklen. Die Forscher wollen jedoch noch 400 Meter tiefer ins Eis. Es ist also durchaus möglich, dass am Ende eine ununterbrochene Klimareihe über eine Million Jahre vor ihnen liegt.

Auch Frankreich und Italien sind mit ihren nationalen Antarktisprogrammen an diesem großen Projekt beteiligt; sie sorgen für die logistische Unterstützung der Bohrungen und die begleitenden wissenschaftlichen Felduntersuchungen. Beide Länder haben Stationen an der Küste und bauen zurzeit an Dome Concordia eine neue Überwinterungsstation.

## **Wo die AWI-Forscher bohren**

Die zweite Bohrung liegt im atlantischen Sektor, in Dronning Maud Land. Hier trägt das Alfred-Wegener-Institut die Verantwortung. Bevor dieser Platz festgelegt wurde, haben die Forscher

AWI

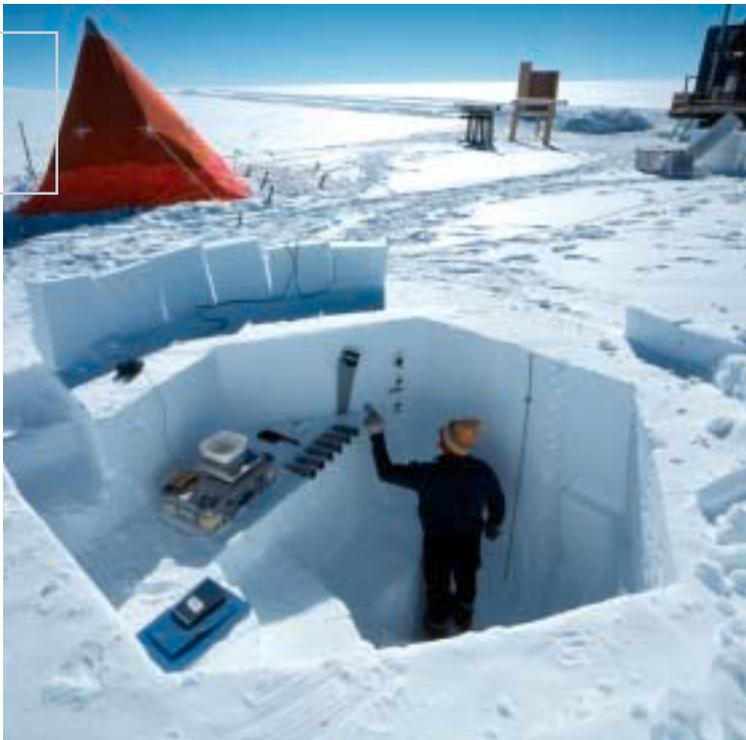
## **Wie Eis zum Archiv wird**

Wie ist es möglich, dass man an den polaren Eiskappen Grönlands und der Antarktis vergangenes Klima ablesen kann wie in einem Buch? Das Eis ist aus dem Schneefall von Hunderttausenden von Jahren unter anhaltend tiefen Temperaturen durch Verdichtung und anschließende trockene Metamorphose entstanden. Das bedeutet: Der Schnee, der auf die Eiskappen fällt, wird durch die nachfolgenden Niederschläge zugedeckt und zunehmend verdichtet, bis sich nach einiger Zeit durch fortschreitende Verdichtung und Umkristallisation Eis bildet. Bei diesem Vorgang wird die Luft, die anfänglich den Raum zwischen den einzelnen Schneekristallen füllt, mit eingeschlossen. Dieser Vorgang ist es, der das Eis zum Archiv macht. Wie lange er dauert, ist abhängig von der Niederschlagsmenge und von der Temperatur.

In Grönland ist die Metamorphose zu undurchlässigem Eis nach etwa 200 Jahren abgeschlossen, in der kälteren und trockeneren Antarktis kann sie bis zu einigen tausend Jahren dauern. Das Ergebnis ist jedoch in beiden Fällen das gleiche: Die eingeschlossenen Gasblasen enthalten die Atmosphäre vergangener Zeiten.

## **Wie Forscher im Eisarchiv lesen**

Die Analyse dieser Blasen liefert viele Erkenntnisse: Sie gibt Aufschluss über die veränderliche Konzentration der Treibhaus- und Spurengase. Sie zeigt die zugehörige Temperatur, die sich aus dem Mengenverhältnis der verschiedenen schweren stabilen Isotope des Sauerstoffs und des Wasserstoffs, den Bestandteilen des Eises, bestimmen lässt. Chemische Komponenten im Eis – die als Aerosole eingetragen wurden – geben Aufschlüsse über die atmosphärische Zirkulation vergangener Zeiten, weil die Forscher darin für die Quellregionen typische Muster identifizieren können. Dies gilt auch für die verschiedenen Staubsorten, die im Eis abgelagert sind. ■



Die Station ist auf Stelzen gebaut und kann angehoben werden, um den nötigen Abstand zur anwachsenden Schneeoberfläche zu halten. In ihrem Innern befinden sich alle lebensnotwendigen Einrichtungen, vom Generator über Sanitäreanlagen bis zu Küche und Aufenthaltsraum. Mit guten Schlafsäcken ausgerüstet, können Wissenschaftler und Techniker in nur wenig beheizten Biwakschachteln neben der Station schlafen.

### Wie die vereisten Schätze gehoben werden

fünf Jahre lang erkundet, wo der optimale Ort für die Bohrung liegt: Gesucht war ein Bohrpunkt mit möglichst hohem Schneezutrag pro Jahr. Denn anders als bei Dome Concordia geht es hier darum, dass der Eiskern möglichst viele Informationen, eine möglichst hohe Auflösung, für einen vergleichsweise kurzen Zeitraum liefert. Wobei kurz hier bedeutet, dass der Eiskern mindestens einen vollen glazialen Zyklus zeigen soll.

Das Bohren und die Arbeit an den Eiskernen: Dies geschieht in einer Bohrkaverne unterhalb der Schneeoberfläche. Diese Kaverne ist ein 70 Meter langer, sechs Meter tiefer und fast fünf Meter breiter ausgefräster Graben mit einer einfachen Dachkonstruktion. Sie ist der Arbeitsplatz für sieben bis acht Frauen und Männer, die das Bohrgerät bedienen oder die Eiskerne bearbeiten. Der Bohrer ist eine Spezialkonstruktion, ein feinmechanisches, elf Meter langes Präzisionsgerät, das an einem Kabel hängt und den Bohrmotor in sich trägt. Das Gerät fährt im Bohrloch auf und ab, schneidet bei jeder Tour einen Kern von circa drei Metern Länge aus dem Eis und befördert diesen zusammen mit dem Bohrklein nach oben.

Die Erkundung des Terrains begann bei Null, es gab keine Voruntersuchungen. Aufgabe der Forscher war es wortwörtlich, einen weißen Fleck auf der Landkarte zu füllen, sprich: die Eisdicke großflächig zu bestimmen, außerdem die Akkumulationsraten und die Fließverhältnisse des Eises. Wir führten diese Messkampagnen während der Südsommer durch – am Boden mit Hilfe von Flachbohrungen, aus der Luft mit Hilfe der Polarflugzeuge und eines speziellen Eisradars. Ergänzt durch Satellitenbeobachtungen, war am Ende eine Fläche vermessen, die dreimal so groß ist wie die Bundesrepublik. Das Ergebnis: Der bestmögliche Bohrpunkt war gefunden.

### Leben in der Tiefkühltruhe

Unsere nächste Aufgabe war es, dafür zu sorgen, dass an diesem relativ unwirtlichen Ort 25 Wissenschaftler und Techniker drei bis vier Sommer lang leben können, um die Bohrung durchzuführen. Sommer in der Antarktis: Das bedeutet für die Forscher Arbeit bei Temperaturen zwischen minus 25 und minus 45 Grad Celsius. Deshalb braucht man ein Camp, das etwas mehr Komfort bietet als einfache Zelte.



Es dauerte zwei Feldsaisons, dieses Camp, die Kohnen-Station, zu errichten und den Arbeitsplatz der Forscher aufzubauen, die Bohrkaverne. Denn das Baumaterial und alle Versorgungsgüter mussten auf dem Landweg von der Neumayer-Station an der Küste über etwa 800 Kilometer bis zur Kohnen-Station, die 2.900 Meter über dem Meeresspiegel liegt, transportiert werden. Dazu setzten wir große Schlittenzüge ein, die durchschnittlich etwa acht Kilometer pro Stunde vorankommen und deren Fahrt von weichem Neuschnee oder schlechtem Wetter verzögert werden kann.

Auf Stelzen gebaut: Unter der Kohnen-Station ist genug Platz für den vom Wind getriebenen Schnee.

*Mühsamer Transport über das Inlandeis:  
Große Schlittenzüge bringen die  
Versorgungsgüter zur Station.*

AWI



Start der Bohrung war in der Saison 2001/02; bis jetzt sind die Forscher 450 Meter tief gekommen. Wir hoffen, dass in der Saison 2002/03 weitere 1.000 bis 1.400 Meter gebohrt werden können und wir im darauf folgenden Jahr das Felsbett in 2.760 Metern Tiefe erreichen.

### Arktisflair in Bremerhaven

Die Eiskerne werden nach der ersten Bearbeitung im Feld in einer geschlossenen Kühlkette in Gefriercontainern nach Bremerhaven gebracht, wo sie im AWI-Eislabor weiter bearbeitet werden. Dazu kommen Wissenschaftler aus den beteiligten Ländern zusammen und arbeiten während mehrerer Wochen im Schichtbetrieb, um die Proben zu gewinnen, die sie für ihre weiteren Analysen benötigen.

Wenn sie dick verhummt in Polarkleidung in Bremerhaven durchs Haus laufen, verbreiten sie ein wenig von der Atmosphäre des kleinen Abenteurers, das erlebt, wer vor Ort an der Bohrung arbeitet. Wer am Pol dabei war, wird daran erinnert, wie er mit klammen Fingern gegen Tücken der Technik kämpfte, entschädigt allerdings von der aufregenden Schönheit des antarktischen Polarplateaus. ■

**Prof. Dr. rer. nat. Heinz Miller**

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

## Mit Pistenbulli und Nansenschlitten

■ Ausgeklügelte Logistik garantiert, dass die Wissenschaftler im Eis mit allem Lebensnotwendigen und Forschungsmaterial ausgestattet sind. Das Alfred-Wegener-Institut setzt eine ganze Flotte von Fahrzeugen ein, um die Kohnen-Station im Dronning Maud Land zu versorgen; sie wird hauptsächlich über das Inlandeis von der rund 800 Kilometer entfernten, ständig besetzten Neumayer-Station aus beliefert.

Und das geht so: Einmal im Jahr läuft die „Polarstern“, das einzige eisbrechende Forschungs- und Versorgungsschiff der deutschen Polarforschung, mit rund 500 Tonnen Frachtgut die Neumayer-Station an und deponiert dort große Mengen an Forschungs- und Verbrauchsgütern. Für den Weitertransport von der Neumayer Station, sie liegt nur wenige Kilometer vom Schelfeisrand der Atka-Bucht entfernt, steht ein großer Fahrzeugpark bereit: zehn Zugma-

schinen vom Typ Pistenbulli, 70 Frachtschlitten, 35 Motor- und 33 Nansenschlitten. Letztere sind ein Relikt aus der Frühzeit der Polarforschung; ihre elastische, mit Lederbändern verbundene Holzkonstruktion erweist sich jedoch bis heute als unschlagbar praktisch.

Zweimal jährlich starten an der Neumayer-Station große Traversen zur Kohnen-Station. Bei diesen Transportfahrten über das Inlandeis sind sechs Zugmaschinen, zwölf Lastschlitten für Stückgut und fünf Schlitten mit Tankcontainern mit zehn bis 14 Kilometern pro Stunde zehn bis 14 Tage unterwegs. Allein für den Aufbau der Station 1999 bis 2000 wurden auf diese Weise 600 Tonnen Material transportiert.

Heute bringt jede Traverse circa 120 Tonnen Versorgungs-Nachschub. Das sind Tausende von Einzelteilen, zum Beispiel Lebensmittel, Werkzeug, Haushaltsgeräte und Ersatzteile für die Forschungsgeräte. Befördert werden auch große Mengen der speziellen Flüssigkeit, mit der das Bohrloch offen gehalten wird, und – ganz wichtig – Tausende Liter Treibstoff. Denn der Generator auf der Station, der die Mannschaft warm und die Maschinen am Laufen hält, verbraucht täglich rund 350 Liter Diesel. Bei solchen Groß-Transporten wird ein Wohncontainer mitgeführt, in dem das Personal während der Fahrt schlafen und kochen kann. Auf der Rückfahrt nehmen die Fahrzeuge die Abfälle der Station mit.

In den Sommermonaten sind auf der Neumayer-Station auch die beiden Forschungsflugzeuge Polar 2 und Polar 4 im Einsatz: Die zweimotorigen Maschinen fliegen zu wissenschaftlichen Zwecken, transportieren aber auch Menschen und Geräte. Besonders wichtig sind sie für die medizinische Versorgung und für die Evakuierung in Notfällen. Damit die kleinen Flugzeuge landen können, wurde auf der Kohnen-Station eigens eine Schneepiste eingerichtet.

Seit dem Jahr 2002 gibt es auch größere Luftransporte, von denen die Stationen und Feldlager im Dronning Maud Land profitieren. Neuerdings fliegt ein russisches Großraumflugzeug mit Forschungs- und Verbrauchsgütern von Kapstadt die russische Station Novolasarevskaja direkt an. An diesem regelmäßigen Flugverkehr sind acht Länder beteiligt – ein Beispiel für internationale Zusammenarbeit, die wichtigste Voraussetzung für reibungslose Logistik im ewigen Eis. Im Dronning Maud Land profitieren mehrere Forschungsstationen, betrieben von europäischen Ländern sowie von Japan, Indien und Südafrika, von internationaler Kooperation bei der Logistik. ■



# Weiter sehen als der Tunnel reicht

Beim Tunnelbau im Gotthard-Massiv wird ein neues Verfahren der seismischen Vorauserkundung eingesetzt

Ein Beitrag aus dem GeoForschungsZentrum in Potsdam

Wie ein Gebirge geologisch und geotechnisch beschaffen ist: Dies zu prognostizieren und während des Baus kontinuierlich zu erkunden, ist für Tunnelbauer extrem wichtig. Das gilt auch für das derzeit ehrgeizigste Tunnelprojekt in den Alpen – den neuen Gotthard-Basistunnel. Im Jahr 2015 soll der mit 57 Kilometern längste Eisenbahntunnel der Welt fertig sein. Mit am Bau beteiligt sind Forscher des GeoForschungsZentrums Potsdam. Sie testen im Gotthard Massiv ein revolutionäres Verfahren für seismische Messungen.

*Ein pneumatischer Impuls-Hammer wird mit Hilfe eines Kleinbaggers in die Tunnelwand eingesetzt.*

**E**ntwurf, Ausschreibung, Bauweise und Sicherheit beim Bau eines Tunnels hängen entscheidend von dem vorhergesagten Gebirgsmodell ab. Schon vor Baubeginn müssen umfangreiche Informationen gesammelt werden, um die optimale Trassenführung zu finden. Aber auch während des Vortriebs kann man das Gebirgsmodell ständig verbessern, denn mit dem Ausbruch der Gesteine werden permanent neue geologische und geotechnische Informationen verfügbar. So lassen sich die Gebirgseigenschaften der jeweils nächsten Ausbruchsabschnitte immer realistischer vorhersagen. Heute vertrauen Ingenieure dabei vor allem auf seismische Messungen, die ihnen beispielsweise dabei helfen, geologische Störungszonen zu entdecken, die für den Tunnelbau kritisch sind.



Fortsetzung Seite 31

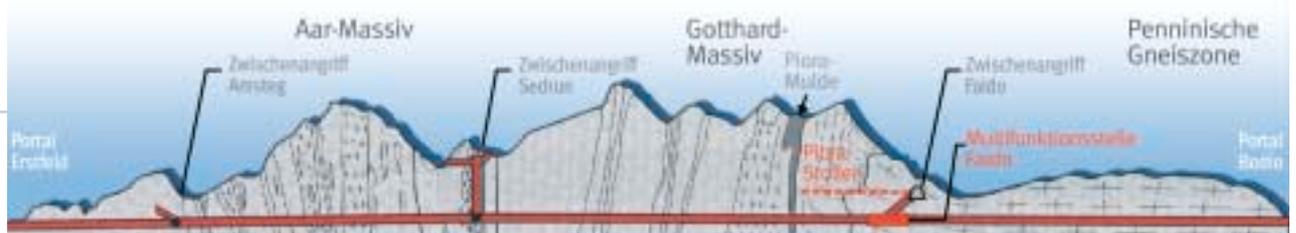
## Ingenieurkunst im Tunnelbau

- 1851** Auf Sardinien wird eine auf Schienen geführte **Tunnelbohrmaschine** eingesetzt.
- 1854** In England kommt die erste tragbare **Gesteinsbohrmaschine** mit Dampfantrieb zum Einsatz.
- 1866** In den USA wird eine **Schlagbohrmaschine** mit Druckluftantrieb entwickelt.
- 1868** Die Sprengung mit **Nitroglycerin** revolutioniert den Tunnelbau.
- 1870** In England wird die erste echte **Vollschnittmaschine** eingesetzt. Bei diesem Verfahren wird der Tunnelquerschnitt im Ganzen und nicht in einer Abfolge von Teilausbrüchen herausgesprengt beziehungsweise herausgeschnitten.
- 1872-82** Im Gotthard-Bahntunnel wird erstmals mit **Dynamit** gesprengt.
- ab 1930** Ausbruchsicherung durch **Stahlbögen mit Verzugsblechen**. Hierbei handelt es sich um den Einsatz von Ringen aus Stahl oder parabolförmigen Gewölbebögen, hinter die Stahlschienen gegen das Gebirge gelegt werden. Dadurch wird das Gebirge gestützt und das Herausfallen von Gestein verhindert.
- nach 1945** Ausbruchsicherung durch **Anker**
- ab 1965** **Ausbruchversiegelung** mit Spritzbeton, indem eine vollflächig angebrachte, stahlbewehrte dünne Betonschale wie eine gespannte Haut unter das Gebirge gelegt wird und dessen Kräfte „in Schach“ hält.
- 2000** Erste Testmessungen mit ISIS im Gotthard-Basistunnel

GFZ

## 120 Jahre Tunnelbau der Gotthardbahn

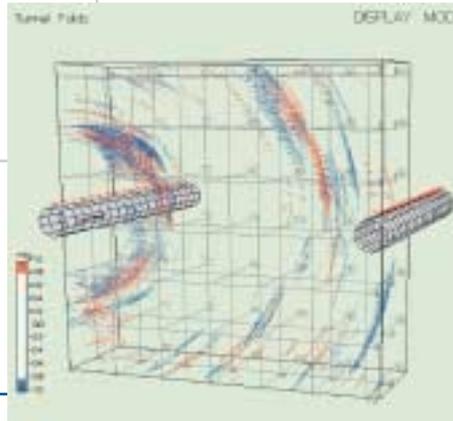
- 1850** Erste Bemühungen des Kantons Uri in der Zentralschweiz um eine alpenquerende Eisenbahn via Luzern und Gotthard
- 1863** Gründung der Gotthardvereinigung aus 15 Kantonen
- 1869** Staatsvertrag zu Bau und Betrieb der Gotthardbahn zwischen der Schweiz und Italien,  
1871 Beitritt Deutschlands zum Gotthardvertrag
- 1872** Tunnelbau-Ausschreibung und Baubeginn auf der Nord- und der Südseite
- 1880** Durchschlag des Tunnels am 29. Februar, Gesamtlänge 15 Kilometer,  
größte Höhe: 1.162 Meter über dem Meeresboden, maximale Steigung 2,5 Prozent
- 1882** Beginn des Betriebs Immensee-Chiasso der Gotthardbahn
- 1920** Elektrifizierung der Gotthardstrecke
- 1962 bis 1986** Planung und Prüfung verschiedener Trassenvarianten für einen neuen Basistunnel durch den Gotthard
- 1988** Entscheidung für das Neue Eisenbahn Alpentransversalen (NEAT) Konzept mit den Hochgeschwindigkeitstunnelstrecken Gotthard-Ceneri und Lötschberg Basis
- 1993** Erste Sprengung für den Sondierstollen Piora
- 1996** Baubeginn des Gotthard-Basistunnels auf der Alpennordseite mit dem Zugangsstollen und dem ersten Vertikalschacht im Teilabschnitt Sedrun
- 1997** Sondierbohrungen in der Piora-Mulde zur Erkundung der unterirdischen Wasserführung
- 1999** Baubeginn auf der Alpennordseite mit der ersten Sprengung in Sedrun,  
2000 Baubeginn auf der Alpensüdseite mit der ersten Sprengung in Bodio
- 2001/02** Seismische Untertagemessungen des GFZ Potsdam im Faido-Zugangsstollen und im Piora-Sondierstollen



Geologisches Nord-Süd-Übersichtprofil der Neubautrasse des Gotthard-Basistunnels. Mit 57 Kilometern Länge und teilweise mehr als 2.000 Metern Gebirgsüberlagerung ist er das weltweit größte Untertagebauwerk.



*Beispiel für eine reflexionsseismische Abbildung des Gebirges zwischen den Doppelröhren des Gotthard-Basistunnels im Bereich der Multifunktionsstelle Faido. Rote Farbgebung bedeutet Änderungen zu härterem Gestein, während blau die Wechsel zu weicheren Zonen anzeigt.*



## In der Knautschzone bauen

Auf solche kritischen Zonen zu stoßen, ist gerade in den Alpen nichts Ungewöhnliches. Sie sind nämlich kein homogenes Gebirge, sondern eine komplizierte Knautschzone mit zahllosen Falten und Brüchen. Gesteine unterschiedlicher Festigkeit wechseln häufig. Wissenschaftler und Ingenieure sind mit starken Gebirgsspannungen, mit Klüftung und drohenden Wassereinbrüchen konfrontiert. Eine echte Herausforderung für den Tunnelbau und für das neue seismische Verfahren ISIS, das Wissenschaftler des GeoForschungsZentrums Potsdam entwickelt haben.

## Patente Idee für einen Empfänger ...

Hinter ISIS, der Abkürzung für Integriertes Seismisches Imaging System, verbirgt sich ein einzigartiges Abbildungsverfahren für die Untertagesseismik: einfach anzuwenden, kaum zusätzlichen Aufwand erfordernd und den laufenden Baubetrieb nicht störend. Die Potsdamer Forscher haben es zusammen mit einem Schweizer Industriepartner entwickelt. Der Clou der zum Patent angemeldeten Idee besteht darin, die ohnehin für den Bau notwendige Tunnel-Ankerung für seismische Messungen zu verwenden. Die miniaturisierten Empfänger des Systems, die Geophone, stecken in den Spitzen der Anker, die als Sicherungen in den Tunnel eingebaut werden, um den Zusammenhalt des Gesteins und damit die Stabilität des Tunnels zu stärken. Diese Anker werden in bis zu mehrere Meter tiefen Bohrlöchern verklebt, strahlenförmig vom Tunnel ausgehend oder in Richtung des Tunnels nach vorn gerichtet.

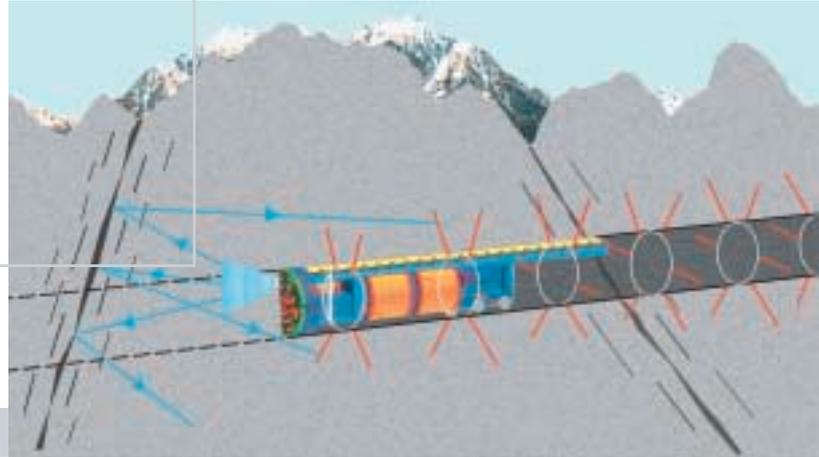
## Ein Berg wird durchschallt

Bei der seismischen Durchschallungs-Tomographie werden – vergleichbar mit der medizinischen Ultraschalltomographie – Wellen von verschiedenen Seiten durch das Untersuchungsobjekt geschickt und an anderen Stellen wieder aufgefangen. Durch die physikalischen Eigenschaften des Gesteins werden die sich ausbreitenden Wellen gedämpft, reflektiert und gebeugt. Aus der Analyse der registrierten seismischen Signale können wichtige geometrische und physikalische Parameter des Gesteins ermittelt werden.

Ein einfaches und sehr robustes Verfahren ist die Laufzeit-Tomographie, bei der die Ankunftszeiten der seismischen Wellen analysiert werden. Je nach den elastischen Eigenschaften des Gebirges breiten sich die Erschütterungswellen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aus. Treffen sie im Gebirge auf Diskontinuitäten wie Formationswechsel oder geologische Störungsflächen, wird die Energie teils reflektiert, teils gebeugt.

Für die Berechnung aussagekräftiger Tomogramme ist eine große Zahl seismischer Sende- und Empfangsstationen nötig. Die von ISIS verwendeten Drei-Komponenten-Geophone ermöglichen die vollständige Erfassung der verschieden schnellen Kompressions- und Scherungswellen, die zusammen eine gute Charakterisierung der physikalischen Gesteinsparameter erlauben. Kompressionswellen schwingen mit hoher Intensität im Gestein, ähnlich wie Schallwellen in der Luft. Dabei stauchen und ziehen sie das Gestein in Ausbreitungsrichtung wie eine Ziehharmonika. Scherwellen dagegen schwingen quer zur Ausbreitungsrichtung und verzerren damit das Gestein in seitlicher Richtung. Das Verhältnis der beiden Wellengeschwindigkeiten zueinander liefert aussagekräftige Informationen, um beim Tunnelvortrieb störungsfreie Gebirgsbereiche von Problemzonen zu unterscheiden. ■

Miniaturisierte Geophone (rot) stecken in den Spitzen der Gebirgsanker, die ohnehin als Sicherungselemente im Tunnel eingebaut werden. Dutzende dieser Geophone registrieren gleichzeitig die Echos derselben Schallquelle. So entsteht ein dreidimensionales Abbild des umgebenden Gesteins, in dem sich Störungszone durch abnehmende Geschwindigkeit der Schallwellen abzeichnen.



GFZ

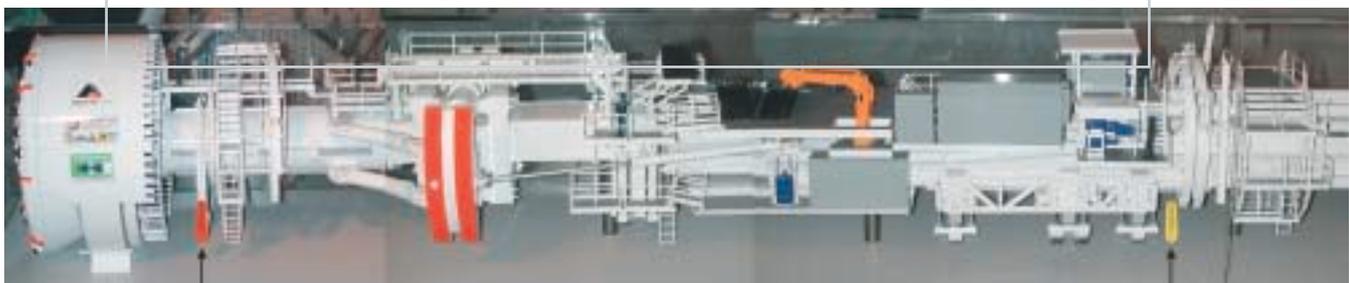
## ... und einen Sender

Die „Musik“ für diese hochempfindlichen Empfänger erzeugen pneumatische Impulsgeber, die direkt an den Baumaschinen befestigt werden können. Sie erzeugen die Schallwellen, die durch das Gestein gejagt werden und es erkunden. Montiert werden sie zum Beispiel an einen kleinen Bagger oder an eine Tunnelbohrmaschine, sind also schnell positionierbar. Die pneumatischen Hämmer werden gegen die Felswand vorgespannt und elektronisch angesteuert. Ihre Impulse können in Sekundenabständen getaktet werden. Dies ermöglicht den Forschern, die aufgezeichneten Signale übereinander zu stapeln und auf diese Weise Hintergrundrauschen stark zu verringern.

## Hightech-Kommunikation mit einem Berg

Die eigens für ISIS entwickelte Software erzeugt aus den Echos, die die Geophone auffangen, also aus den direkt gelaufenen oder gebeugten Wellen, ein dreidimensionales Abbild des Gebirgsinneren. Anomalien beziehungsweise Geschwindigkeitskontraste werden dabei mit den bautechnisch wichtigen geologischen Eigenschaften korreliert. Eine erste Auswertung können die Forscher unmittelbar vor Ort vornehmen, um den Tunnelbauingenieuren eine vorläufige Prognose der zu erwartenden Geologie für den weiteren Vortrieb des Tunnels zu geben.

Tunnelbohrmaschine mit seismischem Erkundungssystem zur Durchschallung der Tunnelwände. Der maximal mögliche Abstand zwischen Sender und Empfänger liegt bei 40 Metern.



GEOPHON

IMPAKTHAMMER



## Extra gebohrt: Der Piora-Sondierstollen



In den Gesteinsmassiven entlang des Gotthard-Tunnels rechnen Wissenschaftler und Techniker mit zahlreichen sehr gefährlichen Störzonen. Vor Urzeiten war hier einmal ein sehr flaches Meer, Tetis. Verschiebungen in der Erdkruste und die Kollision von Kontinenten haben zum Aufbruch des Meeresbodens geführt. Die einzelnen Platten wurden verformt und teilweise übereinander verschoben. Manche Schichten des ehemaligen Meeresbodens stehen jetzt fast senkrecht. Lockeres Sediment des einstigen Urmeeres ist zwischen dem Gestein eingebackten, Wasser versickert schnell und sammelt sich in der Tiefe. Davon betroffen ist beispielsweise die Piora-Mulde, durch die die Trasse des Gotthard-Tunnels geführt werden soll.

Vorsorglich wurden hier nicht nur vertikale Probebohrungen gemacht. Zusätzlich haben die Tunnelbauer einen fünfeinhalb Kilometer langen, horizontalen Sondierstollen gebohrt. Er liegt etwa 300 Meter oberhalb der Trasse des Gotthard-Basistunnels und verläuft an seiner tiefsten Stelle unter fast 1.800 Metern Gestein.

Lithologische und tektonische Strukturelemente beeinflussen die Ausbreitung seismischer Wellen in den umgebenden Gesteinszonen ganz erheblich. Deshalb nutzt man seismische Tomographien aus der Nähe des Tunnels zur Charakterisierung der bautechnisch relevanten geologischen Störungszonen. Als Datengrundlage dienen dabei die Laufzeiten der direkten und der gebeugten seismischen Wellen. Da der Tunnel für geologische Untersuchungen direkt zugänglich ist, können unmittelbare Vergleiche zwischen der Geologie und der Seismik zur Überprüfung der Messungen durchgeführt werden.

Die Verteilung der Wellengeschwindigkeiten und deren Verhältnis zueinander bilden gute Indikatoren für die Heterogenität des Gesteins. Anhand der geologischen Kartierungen im Tunnel können die Zonen niedrigerer Geschwindigkeiten als geologische Störungszonen identifiziert werden. In solchen Störzonen müssen die Ingenieure mit ungewollten Mehrausbrüchen und erhöhtem Wasserzufluss rechnen. Gleichbleibende oder zunehmende Geschwindigkeiten im Tunnelnahbereich schließen dagegen das Auftreten von instabilen Bereichen in Vortriebsrichtung für die nächste Arbeitsschicht mit großer Wahrscheinlichkeit aus. ■

ISIS ermöglicht die Vorhersage der mechanischen und hydrologischen Eigenschaften des Gebirges im Vorfeld der Tunnelauffahrung. Die Methode liefert – vorausseilend vor dem Tunnelvortrieb – eine Abbildung des Gebirges im Bereich von einigen zehn bis hundert Metern. Die Abbildungs-Qualität der seismischen Reflexionen wird zwar von den mitregistrierten Störgeräuschen stark beeinflusst. Jedoch nimmt dieses so genannte Rauschen mit zunehmender Entfernung von der Tunneloberfläche schnell ab.

### *Neues aus dem Erdinneren*

Die Bauzeit des Gotthard-Basistunnels beträgt über zehn Jahre, so dass baubegleitend ein sehr umfangreiches, langfristiges Messprogramm erforderlich ist. Gleichzeitig bieten die Vortriebsarbeiten für die Geoforschung einen einzigartigen Zugang zur kristallinen Erdkruste und somit ein ideales Tiefenlabor für Untersuchungen der geologischen Strukturen, Spannungen, Verformungen und Festigkeiten der Gesteine in ihrem natürlichen Verband. ■

**Prof. Dr. rer.nat. Günter Borm**

Direktor des Aufgabenbereichs „Geomechanik und Geotechnologie“

**Dr. rer.nat. Rüdiger Giese**

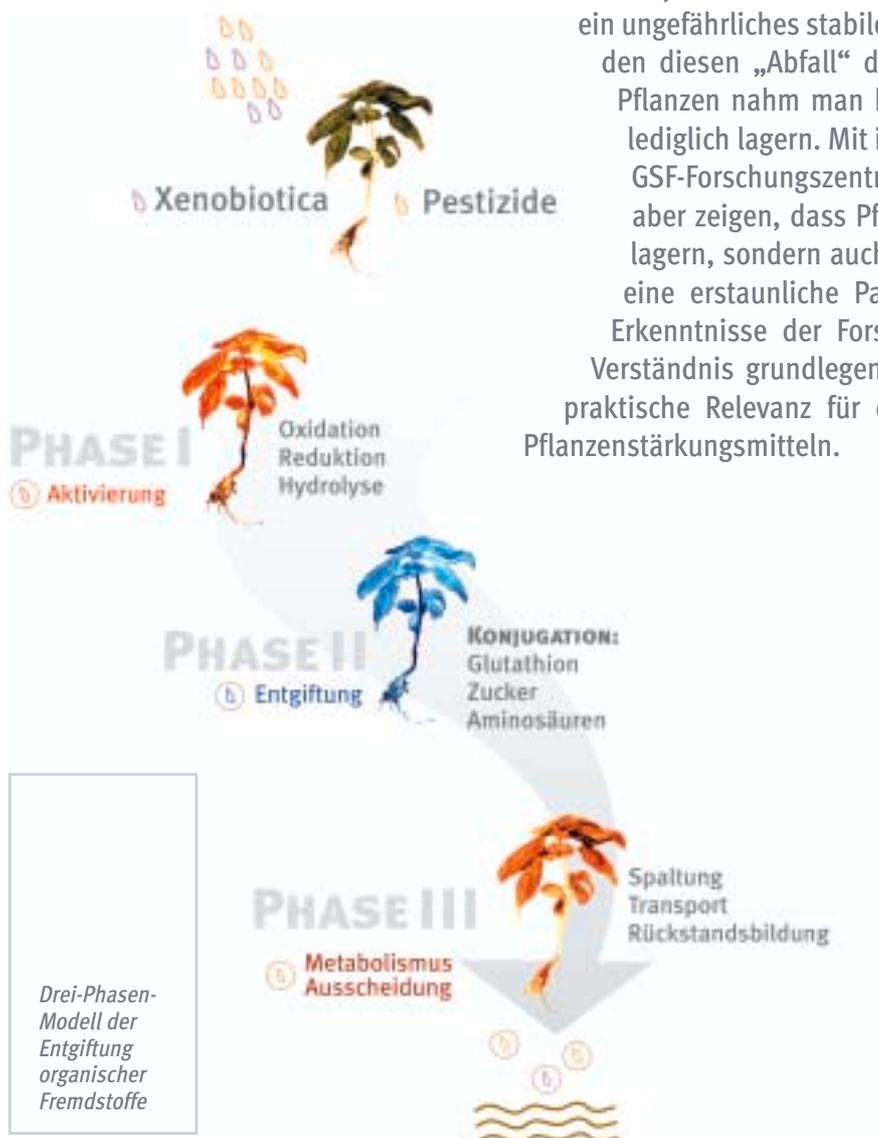
GeoForschungsZentrum Potsdam

# Einfallsreiche Entgifter

Neue Forschungen zeigen, dass Pflanzen sich geschickter vor schädlichen Stoffen schützen, als bisher angenommen

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

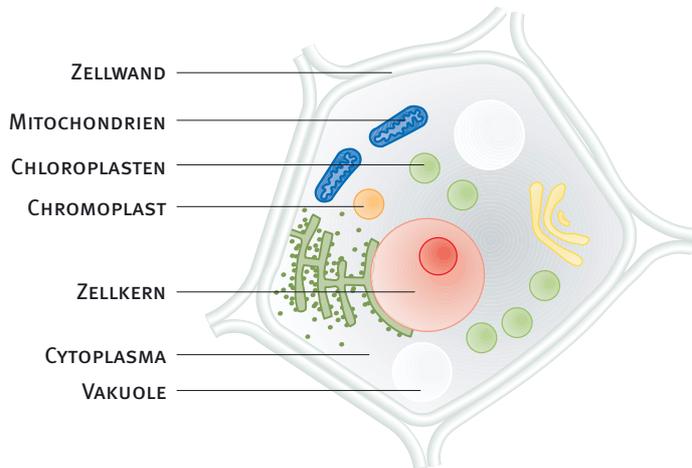
Alle Lebewesen müssen aufgenommene Schadstoffe entsorgen. In einer Reihe enzymatischer Reaktionen wird der Schadstoff schrittweise in ein ungefährliches stabiles Abbauprodukt verwandelt. Tiere scheiden diesen „Abfall“ danach über Nieren und Darm aus. Von Pflanzen nahm man bisher an, sie könnten die Endprodukte lediglich lagern. Mit ihren Experimenten konnten Forscher am GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit jetzt aber zeigen, dass Pflanzen Giftstoffe nicht nur abbauen und lagern, sondern auch ausscheiden können. Damit ergibt sich eine erstaunliche Parallele zwischen Pflanze und Tier. Die Erkenntnisse der Forscher verbessern jedoch nicht nur das Verständnis grundlegender Prozesse in der Pflanze. Sie haben praktische Relevanz für den Einsatz von Agrarchemikalien und Pflanzenstärkungsmitteln.



Am Anfang des Prozesses verlaufen Entgiftungsmechanismen in Pflanzen und Tieren prinzipiell ähnlich: In einem ersten Schritt werden die Fremdstoffe chemisch aktiviert. Das bedeutet: Enzyme lösen oxidative, reduktive oder hydrolytische Prozesse aus, bei denen die Stoffe in eine Form umgewandelt werden, in der sie weiter reagieren können. Anschließend werden in einem zweiten Schritt die reaktiven, meistens immer noch fettlöslichen Zwischenprodukte in eine wasserlösliche Form überführt, um sie an der Diffusion durch Zellmembranen zu hindern.



Aufbau einer Pflanzenzelle



Zugleich werden sie an ihren reaktiven Positionen maskiert. Dies geschieht durch die Koppelung an körpereigene Biomoleküle wie Zucker, Glucuronsäure, Aminosäuren oder an das Tripeptid Glutathion (g-Glutamylcysteinylglycin). Die so entstandenen konjugierten Fremdstoffmoleküle besitzen meist ganz andere Eigenschaften als die Ausgangsstoffe. Sie sind durch die Konjugation erheblich größer geworden, haben ihre Fettlöslichkeit eingebüßt und durch den Konjugationspartner eine Art Etikett erhalten, das sie für Transportreaktionen kennzeichnet. In einem dritten Schritt schließen sich sehr häufig weitere Reaktionen an, da die Konjugate nur in Einzelfällen die Endprodukte des Entgiftungsstoffwechsels sind. Meistens stellen sie Zwischenprodukte dar, die erst noch zu stabilen Produkten ab- und umgebaut werden müssen.

### Lagern oder loswerden – das ist die Frage

Bei Tieren laufen diese Reaktionen hauptsächlich im Verdauungssystem, in der Leber und der Niere ab. Organische Schadstoffe werden dabei in Mercaptursäuren umgewandelt, die letztlich mit Stuhl oder Harn ausgeschieden wird. Genau dies hielt man lange für den entscheidenden Unterschied der Entgiftung bei Tieren und Pflanzen: Während tierische Organismen fähig sind, die Endprodukte des Fremdstoffmetabolismus effektiv auszuschleiden, wurde dies für Pflanzen bisher bezweifelt. Hier ging man stattdessen davon aus, dass sie konjugierte Fremdstoffe nicht ausscheiden, sondern im Verlauf des missverständlich Lagerausscheidung genannten Prozesses auf zwei verschiedene Arten speichern. Entweder, so vermuteten die Wissenschaftler bisher, werden die Stoffe auf Dauer in der Vakuole abgelagert, das ist der Zellsaftraum der erwachsenen Pflanzenzelle, der Lagerfunktion übernimmt. Oder, so die zweite Variante, sie werden im Cytosol gelagert, dem Plasma im Innern der Zelle, wo Millionen von Reaktionen stattfinden, bei denen Enzyme als Katalysator fungieren. Beide Formen der Lagerausscheidung erschienen den Forschern mittlerweile aber unwahrscheinlich und für die Pflanze ineffektiv, so die Quintessenz zahlreicher Studien, die den Abbau von Glutathion-Konjugaten in Zellkulturen untersuchten.

In einem Gemeinschaftsprojekt der GSF-Institute für Toxikologie und für Bodenökologie nahmen deshalb die Wissenschaftler Andreas Stampfl und Dr. Peter Schröder die Entgiftungsprozesse in Pflanzen näher unter die Lupe und untersuchten die für den pflanzlichen Stoffwechsel bedeutsamen Glutathion-Konjugate. Dabei gingen sie von der Arbeitshypothese aus, dass der Pool der löslichen Glutathion-Konjugate in der pflanzlichen Vakuole nur eine intermediäre Speicherform darstellt, die im weiteren Verlauf mobilisiert und aktiv aus den Zellen ausgeschieden wird. „Pflanzen haben anders als Tiere keine Beine und können deshalb nicht vor Giftstoffen davonlaufen“, erläutert Schröder, „sie müssen sich also gegen sie wehren. Ein Grund mehr für uns anzunehmen, dass Pflanzen ausgefeilte Entgiftungsmechanismen haben, wirksamere als bisher angenommen.“ Gleichzeitig fußte die Arbeitsthese der Forscher jedoch darauf, dass die Entgiftungsmechanismen, die Pflanzen und Tiere anwenden, auf verblüffende Weise ähnlich sein könnten.

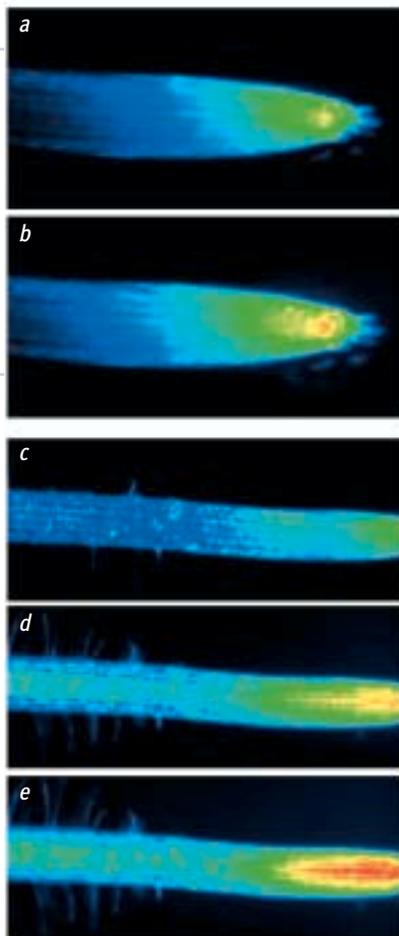
### Der Leuchtspur durch die Zelle folgen

Um herauszufinden, ob Pflanzen tatsächlich wie Tiere Giftstoffe ausscheiden, untersuchten die Forscher den Transport von Chlor- und Brombiman in der Pflanzenzelle. Diese Substanzen sind geeignete Modellsubstanzen für Schadstoffe, weil sie, gekoppelt an Glutathion, fluoreszieren und sich so die Spur der Glutathion-Konjugate in der Zelle verfolgen lässt.



(a, b): Zunahme der Fluoreszenz nach Zugabe von Chlorbiman an der Wurzelspitze innerhalb von 30 Sekunden. Das Apikalmeristem (gelber Bereich) ist der Ort der Konjugation.

(c, d, e): Transport der Konjugate in dem sich anschließenden Wurzelbereich (Aufnahmen im Abstand von zwei Minuten)



Um die Transportgeschwindigkeit des fluoreszierenden Glutathion-Konjugats in der lebenden Pflanze zu bestimmen, entwickelten Stampfl und Schröder ein Verfahren, das Fluoreszenzspektroskopie und digitale Bilderfassung nutzt. So gelang es ihnen, den Zeitverlauf der Konjugatbildung und die intrazelluläre Verteilung der Konjugate in epidermalen Pflanzenzellen zu beobachten.

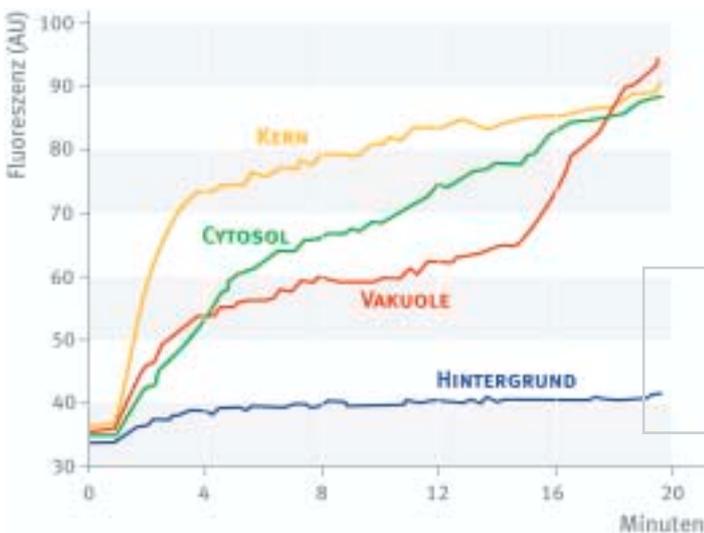
Dabei gewannen sie eine überraschende Erkenntnis: Es wurde nämlich sichtbar, dass nach Zugabe von Chlorbiman das fluoreszierende Glutathion-Konjugat aus dem Cytosol der Pflanzenzelle zuerst zum Zellkern und dann erst in die Vakuole transportiert wird. Noch spannender für die Wissenschaftler war eine zweite Beobachtung: Nach der Bindung des Konjugats an den Kern bilden sich in der Pflanze rasch Abwehrenzyme, die die generelle Entgiftungsleistung der betroffenen Zelle steigern. Mit dem Transport-Umweg über den Zellkern war also, so die neue Erkenntnis, ein Signaleffekt verbunden. Und dies legt nahe, dass die Glutathion-Konjugate

eine bisher unbekannte Eigenschaft haben: eine Signalmolekül-Funktion, die die Pflanze in erhöhte Abwehrbereitschaft versetzt. „Der gesamte Entgiftungsstoffwechsel wird stark hochgepusht“, so Schröder. Erst nach erfolgter Signalübermittlung am Kern werden die Konjugate dann in der Vakuole zwischengelagert, bevor sie durch enzymatische Vorgänge abgebaut werden. „Anders ausgedrückt“, so Schröder, „die pflanzliche Resistenz erhöht sich, und das macht Glutathion-Konjugate für einen Einsatz im chemischen Pflanzenschutz interessant.“

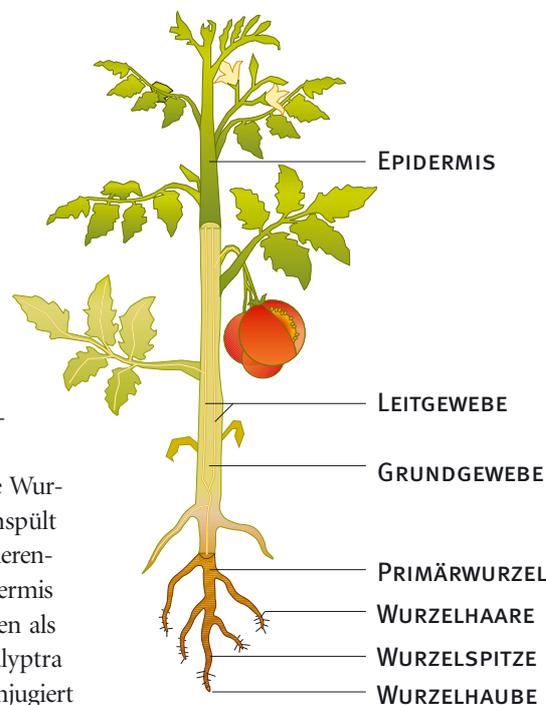
Schröder und Stampfl erkannten schnell die Tragweite ihrer Entdeckung und meldeten das Patent „Glutathion-Konjugate als Signalmoleküle“ an. Darin sind die Chancen für die praktische Anwendung umfassend beschrieben. Die Erfinder erläutern nämlich, wie solche Signalmoleküle zur Pflanzenstärkung zum Beispiel gegen pathogene Bakterien und Pilze eingesetzt werden könnten. Dass das leuchtende Molekül seinen Weg über den Zellkern nimmt, dabei Signale an die „Kommandozentrale“ der Zelle übermittelt und erhöhte Abwehrbereitschaft auslöst – was zunächst nur Umweg schien, entpuppte sich als die eigentliche Entdeckung.

## Erst zum Zellkern ... und dann?

Die Forscher verfolgten den Weg der Giftstoffe in der Pflanze jedoch bis zum Ende. Dabei beobachteten sie in mikroskopischen Studien mit Zwiebelschuppen, dass – wie sie schon zu Anfang vermutet hatten – die Vakuole nicht unbedingt die Endstation für Fremdstoff-Konjugate ist, sondern eher ein Zwischenlager. Die fluoreszierenden Konjugate traten nämlich auch wieder aus der Vakuole aus. Um zu überprüfen, ob das Konjugat auch über längere Strecken transportiert wird und wie sein weiterer Weg



Die Grafik zeigt die zeitversetzte Fluoreszenzentwicklung in verschiedenen Teilen der Zwiebelzelle.



verläuft, untersuchten die Wissenschaftler im nächsten Schritt die Vorgänge an den Wurzeln verschiedener Pflanzenarten.

In Experimenten, in denen die Wurzelspitze mit dem Fremdstoff umspült wurde, zeigte sich, dass das fluoreszierende Biman weder direkt in der Epidermis der Wurzelspitze noch in der außen als Schutzmantel vorliegenden Kalyptra (Wurzelhaube) mit Glutathion konjugiert wird, sondern erst nach dem Eintritt in das Gewebe unterhalb der Wurzelspitze, und zwar im Bereich der sich differenzierenden Transportgefäße für Wasser in der Pflanzenwurzel. Anschließend wird das Konjugat mit dem Transpirationsstrom in Richtung des oberirdischen Pflanzenteils und des Zellkerns transportiert.

Auch die umgekehrte Transportrichtung ist möglich: Fluoreszierende Glutathion-Konjugate können in den Leitbahnen für Assimilat-Transport von der Seite der Pflanzensprosse her wurzelspitzenwärts transportiert werden. Die nächste Frage der Wissenschaftler war jetzt: Was geschieht mit den Glutathion-Konjugaten, die auf diesem zweiten Weg in die Wurzel gelangen und durch diffusive Vorgänge in den umgebenden Wurzelraum ausgeschieden werden? Würden sie wieder in die Wurzel aufgenommen werden? Die Forscher fanden heraus, dass dies nicht der Fall ist. Umspülte man die Wurzel von außen mit Konjugaten, gab es keine Wiederaufnahme. „Damit war klar“, so Schröder, „die Pflanze entgiftet sich nicht auf dem kürzesten, sondern dem geschicktesten Weg. Zunächst müssen die Konjugate aber ihre Informationen beim Zellkern abliefern.“

### Entgiftung im Freiland:

#### Wird auch die Nachbarschaft gewarnt?

Betrachtet man diesen Vorgang unter dem Gesichtspunkt der Freiland-situation, wird die Logik klar. Unter tatsächlichen Wachstumsbedingungen im Feld wird der Transport aus den oberen Pflanzenteilen in die Wurzel überwiegen, denn zum einen wird die Wurzel von den grünen Pflanzenteilen mit Assimilaten, also für die Bedürfnisse der Pflanze umgewandelten Stoffen, versorgt. Zum anderen werden die meisten Herbizide und Stärkungsmittel auf die Blätter appliziert. Experimentell konnten die Forscher nachweisen, dass Schadstoffe tatsächlich nach ihrer Konjugation unidirektional Richtung Wurzelspitze transportiert werden. Dieser Transport scheint aktiv vor sich zu gehen. Die Forscher beobachteten nämlich, dass die Transportgeschwindigkeit in diese Richtung sehr viel höher ist als

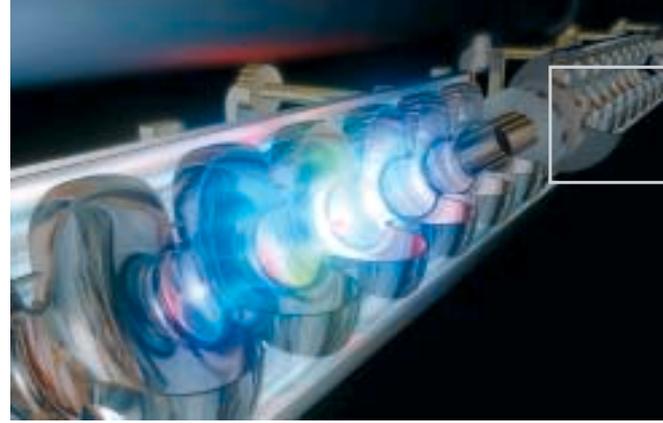
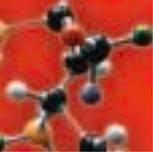
die von der Wurzelspitze zur Wurzelbasis. Die unterschiedlichen Geschwindigkeiten wären nicht möglich, wenn die Substanzen nur durch passive Diffusion transportiert würden.

Insgesamt legen diese Befunde nahe, dass Fremdstoff-Glutathion-Konjugate für die Pflanze eine Signalwirkung haben und in der Vakuole zwischengelagert werden, bis sie entweder abgebaut oder durch Ausscheidungsprozesse in den extrazellulären Raum transportiert werden. Gelangen die Konjugate in die Leitungsbahnen, so werden sie zur Wurzelspitze transportiert und dort in das umgebende Medium ausgeschieden. Schröders Resümee: „Die Pflanze verfügt eindeutig über effektive Mechanismen, sich der Fremdstoff-Moleküle ein für allemal zu entledigen.“ Jetzt untersuchen die Forscher am GSF-Forschungszentrum, welche Wirkung diese Ausscheidungen eventuell auch auf Pilze und Bakterien haben. Wirken die Glutathion-Konjugate möglicherweise auch auf die Rhizosphäre, also den durchwurzeltten Raum des Bodens mit seinen Bodenlebewesen? Fungieren sie auch dort als Signalmoleküle? In der Tat erwarten die Wissenschaftler, dass auch andere Organismen in der Lage sind, die mit den Signalmolekülen übermittelten Informationen zu entschlüsseln. ■

**Dr. rer. nat. Monika Gödde**

Öffentlichkeitsarbeit

GSF-Forschungszentrum, Neuherberg bei München



## Unterwegs zu den Anfängen des Universums

Bei DESY in Hamburg laufen die Planungen für das Projekt TESLA

Ein Beitrag aus dem Deutschen Elektronen-Synchrotron in Hamburg

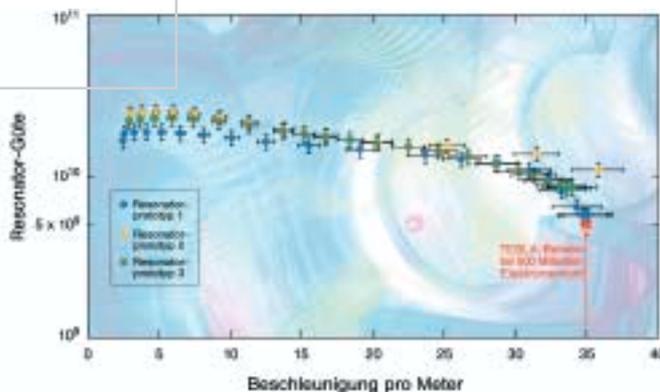
Bis an die ersten billionstel Sekunden nach dem Urknall vor 15 Milliarden Jahren will sich ein internationales Forscherteam mit dem TESLA-Linearcollider herantasten. In diesem geplanten supraleitenden Linearbeschleuniger sollen Elektronen und ihre Antiteilchen bei einer Energie von 500 Milliarden Elektronenvolt zusammenprallen. Die Analyse der entstehenden Teilchenschauer verspricht, Antworten auf Fragen zu geben, die das Standardmodell der Teilchenphysik bisher offen lässt.

**T**ESLA, TeV-Energy Superconducting Linear Accelerator, zu deutsch: supraleitender linearer Beschleuniger für Tera-Elektronenvolt-Energien – mit diesem Projekt verbinden sich ehrgeizige Pläne von Forschern auf der ganzen Welt, insbesondere in Hamburg. Dort nämlich, beim Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY), wird derzeit eine neuartige supraleitende Beschleunigertechnologie entwickelt, die eine einzigartige Doppelnutzung ermöglicht: Der TESLA-Linearcollider erzeugt Teilchenkollisionen mit höchster Energie, die, so die Erwartung der Forscher, einen tiefen Einblick in die Entwicklung des Universums unmittelbar nach dem Urknall geben. Die TESLA-Röntgenlaser nutzen die hochbeschleunigten Teilchen, um extrem intensive, ultrakurze Röntgenblitze mit Lasereigenschaften zu erzeugen – für unterschiedliche Anwendungen von der Materialforschung bis zur Medizin.

Um diese Ziele zu erreichen, soll TESLA zwei Anlagen umfassen: einen 33 Kilometer langen Line-

arbeschleuniger für die Teilchenphysik und einen vier Kilometer langen Beschleuniger als „Treiber“ für die Röntgenlaser. Die Teilchenphysiker haben sich weltweit darauf geeinigt, dass ein Linearbeschleuniger wie TESLA der nächste große Schritt in der Teilchenphysik sein soll. In Deutschland hatte der Wissenschaftsrat im November 2002 die beiden TESLA-Projekte mit Auflagen zur Förderung empfohlen. Anfang Februar 2003 wurde vom Bundesforschungsministerium die Grundsatzentscheidung bekannt gegeben: Der TESLA-Röntgenlaser soll als europäisches Projekt bei DESY verwirklicht werden. Eine Entscheidung, ob Deutschland sich an einem Linearcollider beteiligen wird, wurde vom internationalen Fortgang des Projekts abhängig gemacht.

*Entwicklungsziel erreicht: Bereits heute haben erste neunzellige Prototypen der supraleitenden Beschleunigungsstrukturen (Resonatoren) eine Güte, die für das Fernziel, den Betrieb von TESLA bei einer Energie von 800 Milliarden Elektronenvolt, benötigt wird. Um die Elektronen und Positronen so zu beschleunigen, dass sie mit einer Gesamtenergie von 800 Milliarden Elektronenvolt aufeinander prallen, muss jeder Resonator eine Beschleunigungsfeldstärke von 35 Megavolt pro Meter erreichen.*



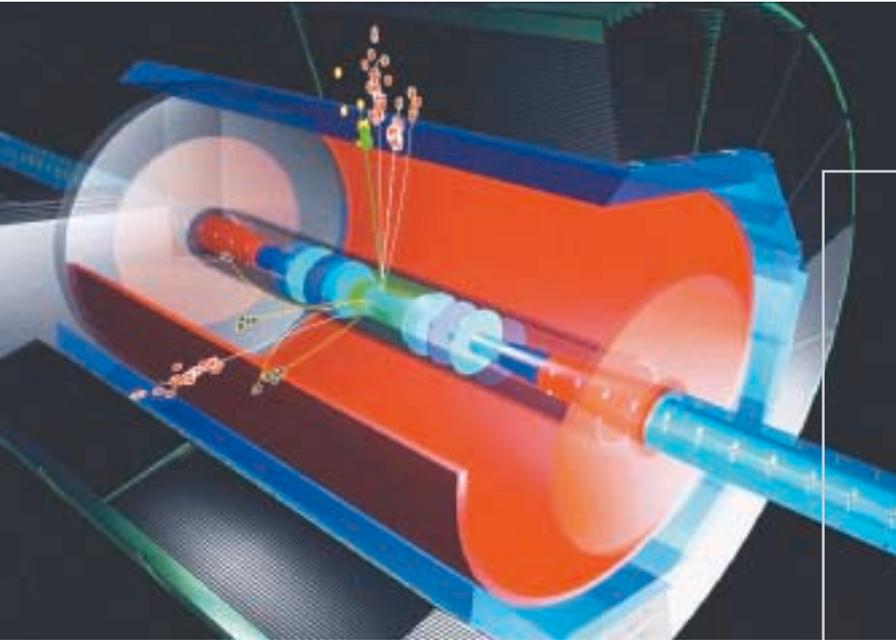
### Die Welt am Anfang der Welt

In dem 33 Kilometer langen TESLA-Linearcollider sollen Elektronen und Positronen bei einer Energie von 500 – später sogar 800 – Milliarden Elektronenvolt kollidieren. Als Teilchen und Antiteilchen vernichten sie sich dabei zu reiner Energie – so konzentriert wie

Elektromagnetische Felder beschleunigen die Elektronen im supraleitenden Linearbeschleuniger auf höchste Energien.



## Struktur der Materie



Im zentralen Teil des TESLA-Detektors sind verschiedene Nachweisgeräte den Teilchen auf der Spur: Vertex-Detektor (grün), Spurkammer (rot), elektromagnetisches Kalorimeter (blau) und hadronisches Kalorimeter (schwarz). Die Teilchenpakete aus Elektronen bzw. Positronen fliegen jeweils aus entgegengesetzter Richtung durch das Strahlrohr (blau) in den Detektor und kollidieren in seinem Zentrum. Die Folgen dieses „Kollisionsereignisses“ symbolisieren die farbigen Spuren und Kreise.

in der ersten billionstel Sekunde nach dem Beginn des Universums vor 15 Milliarden Jahren. Wie im Urknall entstehen aus dieser Energie spontan verschiedene Elementarteilchen. So können die Physiker die Anfänge des Kosmos simulieren und in allen Einzelheiten im Experiment untersuchen.

### Neue Beschleunigungsrekorde

Um die Teilchen auf so hohe Energien zu beschleunigen, setzt das von DESY geführte internationale TESLA-Team auf supraleitende Beschleunigungsstrukturen, so genannte Resonatoren. In einem sehr erfolgreichen Forschungs- und Entwicklungsprogramm gelang es, die spezifische Beschleunigung der Resonatoren in den letzten Jahren mehr als zu vervierfachen. Mittlerweile erreichen die TESLA-Resonatoren routinemäßig eine Beschleunigungsfeldstärke von 25 Megavolt pro Meter (MV/m) – genug, um die vorgesehene Gesamtenergie von 500 Milliarden Elektronenvolt für TESLA zu erreichen. In neueren Prototypen wurden sogar mehr als 35 MV/m erreicht. Damit ließe sich der Beschleuniger bei 800 Milliarden Elektronenvolt betreiben. Und genau darauf kommt es an, denn je höher die Energie ist, mit der die beschleunigten Elektronen und Positronen zusammenstoßen, desto weiter können die Physiker zurück in die Entwicklungsgeschichte des Universums blicken. Zum Vergleich: Der kreisförmige Elektron-Positron-Beschleuniger „LEP“ (Large Electron Positron Collider) beim Forschungszentrum CERN (European Organization for Nuclear Research) in Genf erreichte etwa 200 Milliarden Elektronenvolt, seine Resonatoren etwa sieben Megavolt pro Meter.

In einem bei DESY in Hamburg aufgebauten Testbeschleuniger für TESLA werden viele der wesentlichen Komponenten des großen Beschleunigers bereits seit einigen Jahren erfolgreich betrieben

und kontinuierlich verbessert. Die enge Zusammenarbeit mit der Industrie gewährleistet, dass sich die eingesetzten Verfahren später auch industriell umsetzen lassen und hat sehr zu einer glaubwürdigen Kostenabschätzung beigetragen

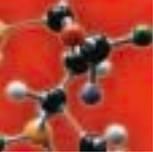
### Präzision als Schlüssel zum Erfolg

Die große Stärke von Elektron-Positron-Beschleunigern wie TESLA ist die hohe Präzision ihrer Messungen: Da zwei punktförmige Teilchen miteinander kollidieren, kennt man die Anfangsbedingungen der Teilchen-

## Ein Plädoyer für Präzision



Präzise Messungen entstammen nicht dem Physikerwunsch nach Perfektion, sondern haben einen echten praktischen Nutzen: Das scharfe Bild des Sichtbaren erlaubt einen Einblick ins noch Unsichtbare. Berühmtes Beispiel: Der Planet Neptun wurde aufgrund geringfügiger Abweichungen der Bahn des Uranus vorhergesagt und erst später tatsächlich entdeckt. Auch das „top-Quark“ machte sich zunächst als kleine Abweichung in den präzisen Messungen der Teilchenphysiker am LEP-Beschleuniger (CERN bei Genf) bemerkbar – die Energie des Beschleunigers betrug ein Viertel von der, die zur Erzeugung dieses schweren Teilchens erforderlich ist. Daraufhin konnte das top-Quark am Tevatron-Beschleuniger (Fermilab bei Chicago) bei wesentlich höherer Energie gezielt gesucht und gefunden werden. Je energiereicher die beschleunigten Teilchen bei ihrer Kollision sind, desto massereichere neue Teilchen können entstehen. Die Energie des TESLA-Colliders wird ausreichen, um das gesuchte Higgs-Teilchen nachzuweisen, dessen Existenz die präzisen Messungen heutiger Beschleuniger andeuten. Und die Präzisionsmaschine TESLA wird wiederum Einblicke in physikalische Phänomene bei Energien erlauben, die wesentlich höher sind als die erreichbare Beschleunigerenergie. ■



# Struktur der Materie



Die supraleitenden Beschleunigungsstrukturen von TESLA werden in einem nahezu staubfreien Reinraum bearbeitet und montiert.

reaktion sehr genau und kann die Ergebnisse exakt interpretieren. Mit TESLA können die Physiker also neue Teilchen entdecken und deren Eigenschaften extrem genau messen, beispielsweise Masse, Lebensdauer, Spin und andere Quantenzahlen. Dank seiner hohen Trefferrate, also der großen Anzahl miteinander kollidierender Teilchen, kann TESLA zudem neue Teilchen „am laufenden Band“ produzieren – und je mehr Messdaten verfügbar sind, desto präziser werden die Ergebnisse.

Anders ist die Situation bei dem großen Protonenbeschleuniger „LHC“ (Large Hadron Collider), der derzeit beim Forschungszentrum CERN in Genf gebaut wird: Den beschleunigten Protonen kann wegen ihrer großen Masse eine höhere Energie mitgegeben werden als bei TESLA; bei den Zusammenstößen können aus dieser Energie sehr massereiche neue Teilchen entstehen. Allerdings ist es schwer, die Eigenschaften dieser Teilchen präzise zu messen, weil die schweren Protonen aus mehreren Quarks bestehen und beim Zusammenstoß eine Vielzahl von Bruchstücken entsteht.

Der LHC und TESLA ergänzen sich in ihren Eigenschaften ideal. Sie haben verschiede-

ne Stärken, sie untersuchen verschiedene Aspekte der gleichen großen Herausforderungen der Teilchenphysik.

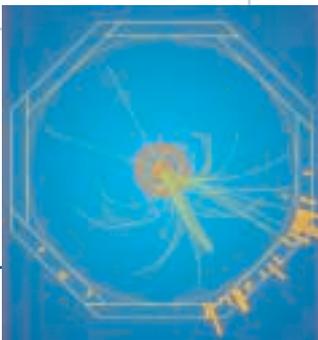
## Elementaren Fragen auf der Spur

Das so genannte Standardmodell der Teilchenphysik bietet bereits ein sehr schlüssiges Bild von den elementaren Teilchen und ihren Wechselwirkungen, allerdings bleiben noch viele grundlegende Fragen unbeantwortet: Warum unterscheiden sich die Massen der Elementarteilchen um viele Größenordnungen voneinander? Warum gibt es genau drei Teilchenfamilien? Warum gibt es vier sehr verschiedene Arten von Naturkräften, die elektromagnetische, die schwache und die starke Kraft und die im Standardmodell überhaupt nicht behandelte Gravitation?

Um diese Fragen anzugehen, muss das Standardmodell erweitert werden. Dazu gibt es verschiedene Theorien, die an künftigen Beschleunigern wie TESLA experimentell auf ihre Tauglichkeit überprüft werden können. Eine zentrale Rolle spielt der so genannte Higgs-Mechanismus, der eine Erklärung für das Phänomen Masse bieten könnte. Bei

DESY

Was aussieht wie abstrakte Kunst, ist die Computersimulation des Zerfalls eines Higgs-Teilchens im TESLA-Detektor.



## Gesucht: Ein Teilchen namens Higgs

Es gibt einen gewichtigen Grund, nach den bislang unentdeckten Higgs-Teilchen zu fahnden: Ohne Higgs wären alle elementaren Teilchen masselos. Nach unserem heutigen Wissen verleiht ein von dem Physiker Peter Higgs erdachtes Prinzip den Teilchen ihre Masse. Demnach ist das gesamte Universum von einem Higgs-Feld durchdrungen, und je stärker ein Teilchen mit diesem Feld in Wechselwirkung tritt, desto größer ist seine Masse. Gibt es das Higgs-Feld, sollte es sich durch mit ihm verbundene Higgs-Teilchen verraten. Aus den heute vorliegenden Messungen ist bekannt, dass das Higgs-Teilchen mit TESLA erzeugt werden kann. Dank seiner hohen Trefferrate, also der Anzahl miteinander kollidierender Teilchen, ist TESLA eine wahre „Higgs-Fabrik“ und erlaubt Präzisionsmessungen, die uns ermöglichen, die Eigenschaften des Higgs-Teilchens mit hoher Genauigkeit zu vermessen und seine Rolle in der Natur genau zu verstehen – oder eine alternative Erklärung für die Teilchenmassen zu finden. ■



der genauen Untersuchung der dazu gehörigen Higgs-Teilchen spielt TESLA eine entscheidende Rolle.

Zwei unterschiedliche Ideen, wie das Standardmodell in eine noch umfassendere Theorie eingebettet sein könnte, wurden in den Studien zum Forschungspotenzial von TESLA eingehend untersucht: die Supersymmetrie sowie Modelle mit zusätzlichen Raumdimensionen. TESLA bietet hervorragende Möglichkeiten, um diese Modelle zu testen. Natürlich können die Experimente auch ganz neue Phänomene zutage fördern, die nicht zu den heutigen theoretischen Vorhersagen passen. Auch das würde das Verständnis der Physiker von der Welt erheblich erweitern und ihnen den Weg zu besseren Modellen weisen.

## Supersymmetrie: Teilchen im Doppelpack

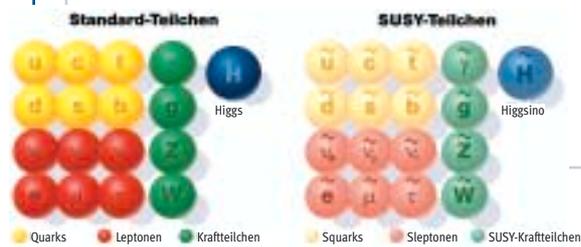


Eine viel versprechende Theorie, die das Standardmodell der Teilchenphysik erweitert, ist die „Supersymmetrie“. Sie ordnet jedem Teilchen einen supersymmetrischen Partner zu. Nach dem Standardmodell besteht unsere Welt aus Materie- und Kraftteilchen, die sich sehr unterschiedlich verhalten. Der Supersymmetrie zufolge gibt es zu allen Materieteilchen Partner, die sich wie Kraftteilchen verhalten und umgekehrt. Die starre Unterscheidung zwischen Materie und physikalischen Kräften wäre damit vom Tisch. Zudem ermöglicht die Supersymmetrie, drei der fundamentalen Naturkräfte zu einer einzigen zu vereinheitlichen: die elektromagnetische, die schwache und die starke Kraft. Allerdings: Noch ist keiner der Superpartner mit den exotischen Namen gefunden worden. TESLA könnte solche supersymmetrischen Teilchen finden und mit hoher Genauigkeit untersuchen. ■

### Hightech im Detektor

Genau in der Mitte der 33 Kilometer langen Beschleunigerstrecke vom TESLA-Linearcollider treffen etwa 14.000 Mal in der Sekunde winzige Pakete aus jeweils mehr als zehn Milliarden Elektronen auf Pakete von ebenso vielen Positronen, den Antiteilchen der Elektronen. Die Reaktionen der energiereichen Teilchen nach ihrer Kollision verfolgen die Teilchenphysiker mit Hilfe eines hausgroßen Detektors. Um die für TESLA gewünschte Präzision erreichen zu können, werden die bereits bewährten Detekortechniken unter internationaler Beteiligung weiterentwickelt. Nützlicher Nebeneffekt: Die neuen Entwicklungen im Bereich von Halbleiterdetektoren, Mikrostruktur-Gasdetektoren und hochgranularen Kalorimetern lassen auch Anwendungen außerhalb der Teilchenphysik erhoffen, etwa im Bereich von Detektoren für Röntgenstrahlung für biomedizinische und radiochemische Anwendungen.

Die Theorie der Supersymmetrie verdoppelt die Anzahl der Elementarteilchen.



### Zwölf Länder kooperieren

Nach umfangreichen Studien in Asien, Europa und den Vereinigten Staaten stimmen die Teilchenphysiker weltweit überein, dass ein Linearcollider wie TESLA die höchste Priorität als nächstes Projekt haben und in internationaler Zusammenarbeit realisiert werden soll. TESLA wurde von Anfang an in internationaler Zusammenarbeit entwickelt, an der heute 46 Institute aus zwölf Ländern beteiligt sind. Der Vorschlag ist, den TESLA-Linearcollider als internationales Projekt von begrenzter Dauer zu bauen und zu betreiben; geplant sind zunächst 25 Jahre. ■

**Dr. rer.nat. Klaus Desch**

Teilchenphysiker bei TESLA  
Institut für Experimentalphysik der Universität Hamburg

**Dr. rer.nat. Ute Wilhelmssen**

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg



# Spannend wird's jenseits der Stabilität

Wissenschaftler haben eine neue radioaktive Zerfallsart entdeckt

Ein Beitrag aus der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt

Eigentlich gibt es sie nur im All, exotische Atomkerne, die unvergleichlich viel instabiler sind als ihre irdischen Pendanten. Solche seltenen Exemplare auch auf der Erde zu erzeugen, darum bemühen sich Physiker überall auf der Welt. Denn zu beobachten, wie diese instabilen Bausteine der Materie zerfallen, hilft verstehen, wie die Erde entstand und was sie im Innersten zusammenhält. Einem internationalen Forscher-Team bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung ist jetzt ein Zerfalls-Experiment gelungen, auf das die Physik seit vielen Jahren wartet.

### *Stabilität herrscht vor – auf der Erde*

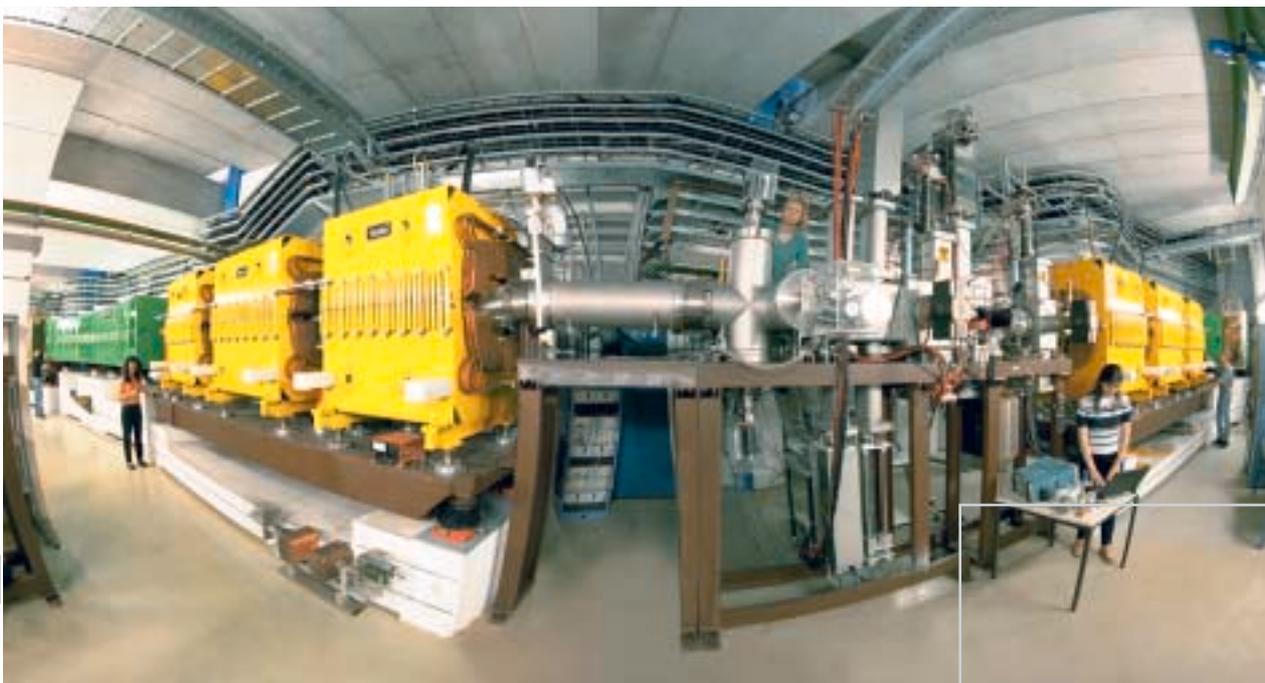
Bekannt sind heute etwa 2.500 verschiedene Atomkerne. Sie unterscheiden sich in der Anzahl von Protonen und Neutronen, den Bausteinen, aus denen sie zusammengesetzt sind. Davon sind etwa 250 Kerne stabil und kommen natürlich auf der Erde vor. Bei den stabilen Kernen herrscht immer ein relativ ausgeglichenes Verhältnis zwischen Protonen und Neutronen. Bei Abweichungen von diesem ausgeglichenen Verhältnis oder ab einer gewissen Größe werden die Kerne instabil, das heißt radioaktiv, und zerfallen, üblicherweise über die bekannten Zerfallsarten Alpha-, Beta-, Gamma-Zerfall und Kernspaltung. Sie unterscheiden sich durch die Art der Kernumwandlung und der emittierten Strahlung.

### *Exoten im Inneren der Sterne*

Auf der Erde existieren auch einige instabile und damit radioaktive Kerne, wie zum Beispiel Kalium-40, Kohlenstoff-14 oder die Uran-Isotope. Sie besitzen nur geringe Abweichungen

von einem stabilen Verhältnis der Protonen und Neutronen oder sind „zu groß“, wie im Fall von Uran. Im Universum, zum Beispiel in Sternen und Sternexplosionen, ist die Situation ganz anders. Dort treten viele, vermutlich mehr als 7.000 unterschiedliche Kerne zum Teil mit einem extremen Überschuss an Neutronen oder Protonen auf. Weil sie aus irdischer Sicht außergewöhnlich sind, werden sie exotische Kerne genannt.

Die Untersuchung exotischer Kerne ist ein zentrales Thema in der modernen Kernphysik. Denn sie liefert weitreichende Aufschlüsse über die Entwicklung des Universums. Und sie erlaubt grundlegende Einblicke in den Aufbau der Materie und die elementaren Kräfte. So nehmen die Physiker heute an, dass die weitgehend stabile Materie, die das Leben auf der Erde ausmacht, durch komplexe Kernreaktionen in Sternen und Sternexplosionen vor mehreren Milliar-



*Der Fragment-Separator (FRS) an der Beschleunigeranlage der GSI mit großen Ablenkmagneten (gelb und grün) und dem „Abbremsler“ zur Ladungstrennung (Mitte). Mit dem FRS konnten aus Schwerionenkollisionen Eisen-45-Atomkerne gezielt herausgefiltert werden, an denen erstmals der Zwei-Protonen-Zerfall beobachtet wurde.*

den Jahren erzeugt wurde. Dabei spielen exotische Kerne eine wesentliche Rolle: Sie fungieren als Zwischenprodukte, bevor ein stabiles schweres Element gebildet wird.

## **Endlich nachgewiesen: Der Zwei-Protonen-Zerfall**

An der Beschleunigeranlage der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI), Darmstadt, bestehen einzigartige Möglichkeiten, exotische Atomkerne mit großem Protonen- oder Neutronenüberschuss zu erzeugen und deren Zerfall zu untersuchen. Erzeugt werden diese Kerne, indem schwere stabile Kerne, wie sie auf der Erde existieren, beschleunigt und auf ein Hindernis geschossen werden. Dort fragmentieren oder spalten sich diese Kerne, statistisch verteilt, in viele mögliche Bruchstücke. Einige dieser Bruchstücke entsprechen dann den gesuchten exotischen Kernen. Sie herauszufiltern, das gelingt mit dem Fragment-Separator (FRS): Er separiert, unter anderem mit Hilfe starker Ablenkmagnete, einen spezifischen exotischen Kern, der anschließend in einem Experiment genauer untersucht werden kann.

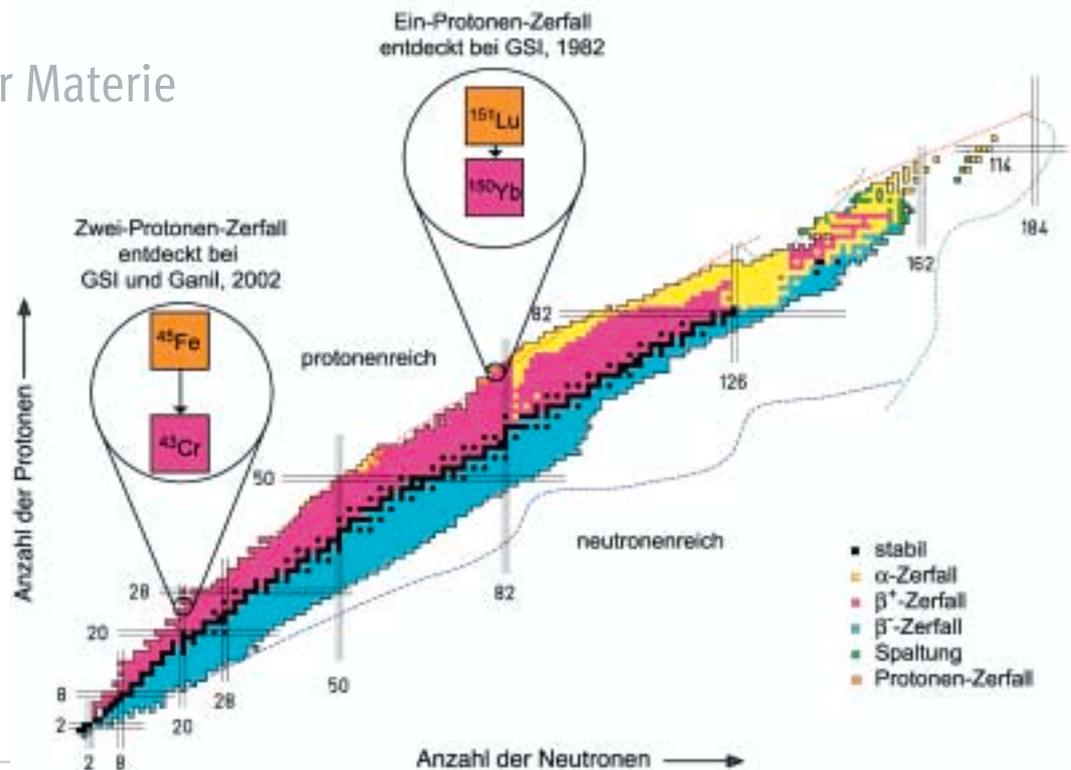
Auf genau diese Weise konnten Forscher bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung jetzt einen besonderen Erfolg erzielen. Bei einem Experiment am FRS haben sie eine neue radioaktive Zerfallsart entdeckt: den Zwei-Protonen-Zerfall, bei dem gleichzeitig zwei Protonen aus dem Kern emittiert werden. Der Zerfall durch Emission eines einzigen Protons oder Neutrons konnte schon früher, ebenfalls in Darmstadt, experimentell nachgewiesen werden. Der Zwei-Protonen-Zerfall hingegen wird zwar schon seit vielen Jahren theoretisch vorhergesagt; ihn im Experiment zu bestätigen, ist vorher jedoch noch nicht gelungen. An dem Experiment war ein internationales Forscherteam aus acht verschiedenen Ländern beteiligt.

## **Der Kandidat: Eisen-45**

Als aussichtsreicher Kandidat, um den Zwei-Protonen-Zerfall zu beobachten, galt bei den Forschern der Kern Eisen-45. Um diesen exotischen Kern zu erzeugen, wurden mit der Darmstädter Beschleunigeranlage Nickel-58-Ionen auf über 60 Prozent der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und auf Beryllium-Folien geschossen. Aus den vielen dabei entstehenden Bruchstücken haben die Wissenschaftler dann mit dem FRS die gesuchten Eisen-45-Bruchstücke (bestehend aus 26 Protonen und 19 Neutronen) identifiziert. Die Produktion der Eisen-45-Kerne ist dabei extrem selten. In einem knapp einwöchigen Experiment, in dem fast eine Milliarde Nickel-Ionen pro Sekunde auf die Beryllium-Folien geschossen wurden, entstanden nur sechs der gewünschten Eisen-45-Kerne.



# Struktur der Materie



GSI

Darstellung aller bisher bekannten Atomkerne, sortiert nach der Anzahl ihrer Bausteine (Massenzahl), den Protonen und Neutronen. Jedes Kästchen steht für einen Atomkern. Gestrichelt eingezeichnet sind die theoretischen Grenzen, außerhalb derer keine Atomkerne mehr existieren können. In der Zeichnung hervorgehoben sind die Atomkerne, an denen erstmals der Ein-Proton- und der Zwei-Proton-Zerfall entdeckt wurden: der Atomkern 45-Eisen und der Atomkern 151-Lutetium. Die Zahl vor Fe (Eisen), Cr (Chrom), Lu (Lutetium) und Yb (Ytterbium) ist die Massenzahl, die sich aus der Summe der Protonen und der Neutronen ergibt.

## Das Experiment: viermal geglückt

Bei gerade einmal vier der Eisen 45-Kerne gelang es dem Forscher-Team anschließend, in Silizium-Halbleiter-Detektoren den Zwei-Protonen-Zerfall, das heißt die direkte Umwandlung in Chrom-43 durch gleichzeitige Emission von zwei Protonen, eindeutig nachzuweisen. In einem anderen unabhängigen Experiment im französischen Labor Ganil konnte dieselbe Beobachtung gemacht werden.

Der damit gelungene Nachweis und die weitergehende Untersuchung des Zwei-Protonen-Zerfalls werden das Verständnis von grundlegenden Prozessen im Atomkern verbessern und viel dazu beitragen, astrophysikalische Phänomene wie etwa die Nukleosynthese genauer zu begreifen. Doch mit den derzeit möglichen Produktionsraten für exotische Kerne – vier pro Woche im genannten Fall – ist die Grenze des Messbaren so gut wie erreicht.

## Neutronenreichere Kerne im Visier

Auch deshalb hat die Gesellschaft für Schwerionenforschung in Zusammenarbeit mit den Hochschulen für die Zukunft eine neue komplexe Beschleunigeranlage vorgeschlagen. Von ihr würde vor allem die Forschung an exotischen Kernen profitieren. Denn an der neuen Anlage sollen Ionenstrahlen mit einer bis zu zehntausendfach höheren Intensität zur Verfügung stehen. Dadurch können bisher bekannte exotische Kerne mit einer höheren Statistik präziser vermessen werden. Darüber hinaus wird es möglich sein, in noch exotischere, vor allem neutronenreichere Regionen vorzudringen, die bisher gänzlich unbekannt sind und neue überraschende Phänomene erwarten lassen. ■

Dr. rer. nat. Klaus-Dieter Groß  
Dr. rer. nat. Ingo Peter

Wissenschaftliche Geschäftsführung, Öffentlichkeitsarbeit  
Gesellschaft für Schwerionenforschung, Darmstadt



# Weihnachten auf dem Roten Planeten

Die erste europäische Sonde auf einem anderen Planeten soll am Heiligabend 2003 landen. Mit von der Partie bei der Suche nach Leben auf dem Mars: ein Hightech-Maulwurf aus Köln

Ein Beitrag aus dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Köln

24. Dezember 2003: Die 60 Kilo schwere Eintrittskapsel hat in fünf Tagen rund eine halbe Million Kilometer im ballistischen Flug zurückgelegt, nachdem sie sich vom Mutterschiff getrennt hatte. Nun taucht sie mit einer Geschwindigkeit von 5,75 Kilometern pro Sekunde in die Atmosphäre des Planeten Mars ein, geschützt durch einen Hitzeschild. Dann wird sie langsamer: Bei einer Fluggeschwindigkeit von „nur“ noch 350 Metern in der Sekunde schießt aus der Sonde ein Stabilisierungsfallschirm heraus, kurze Zeit später öffnet sich der Hauptfallschirm. Rund 250 Meter über dem Boden blasen sich drei Gassäcke mit Ammoniak auf, die den Lander umhüllen und den Aufprall dämpfen. Die letzten anderthalb Meter stürzt der Lander allerdings frei auf den Boden, geschützt durch eine Schicht verformbaren Materials, die das flache dosenförmige Landegerät von 60 Zentimetern Durchmesser umgibt. Dann öffnet sich der Lander und bringt sich in die richtige Orientierung. Aus der Innenseite seines Deckels klappen vier Paneele mit Solarzellen aus, um die Batterie aufzuladen, die bei dem fünftägigen Freiflug und der Landung stark beansprucht wurde. Etwa zwei Stunden später überfliegt die amerikanische Orbitersonde „Mars Odyssey“ das Landegebiet, empfängt technische Daten der gelandeten Sonde und sendet diese innerhalb der folgenden Stunde zur Erde, um zu bestätigen: „The Beagle has landed!“



*So dramatisch wird es aussehen, wenn die Landekapsel in die Marsatmosphäre eintritt.*

## ***Eine europäische Sonde landet auf einem Planeten***

Wenn all dies minutiös so eintritt: Dann war Europas erste Landung auf einem anderen Himmelskörper und weltweit erst die vierte auf dem Mars erfolgreich. Denn das „Beagle 2“-Landegerät ist Teil der Mission „Mars Express“ der europäischen Weltraumorganisation ESA. Sechs Jahre anstrengender Projektarbeit liegen bereits hinter den Beteiligten, wenn „Beagle 2“ gemeinsam mit dem „Mars Express“-Orbiter am 23. Mai mit einer Sojus-Fregat-Trägerrakete von Baikonur in Kasachstan gestartet wird. Und es bleibt



DLR



*Nach dem Aufprall auf der Marsoberfläche trennen sich die drei bremsenden Gassäcke vom Lander (links). Auf den beiden mittleren Bildern ist der Greifarm des Landers gut zu erkennen. Auf ihm ist PLUTO (rechts) installiert; der „Maulwurf“ nimmt Bodenproben aus verschiedenen Tiefen.*

nur eine kurze Verschnaufpause von wenigen Monaten, bevor der Lander im Süden des alten Einschlagsbeckens Isidis Planitia seine Oberflächenmission von maximal sechs Monaten beginnt.

Die Forscher erwarten, dass die Mission wichtige neue Daten zur Geologie, Mineralogie und Marsatmosphäre liefern wird. Die Suche nach Spuren früheren Mars-Lebens, eines der ehrgeizigsten Ziele des Projekts, stellt die Forscher wegen der komplizierten und zum Teil noch unklaren geochemischen Verhältnisse an der Marsoberfläche allerdings vor große Herausforderungen. Der Ansatz von „Beagle 2“ ist jedoch neu, einzigartig und vielversprechend. Der Lander könnte überraschende, wenn auch vermutlich schwierig zu interpretierende Resultate erzielen.

### Spuren des Lebens verfolgen

Unbedingt mit „Mars Express“ auch ein solches Landeelement zu entsenden, darauf hatten Wissenschaftler schon von Beginn der Konzeption an gedrängt. Einer der stärksten Befürworter war Professor Colin Pillinger von

der Open University in Großbritannien, der mit seinem Team Meteoriten untersucht hatte, die nahezu sicher vom Mars stammen. In einigen dieser Mars-Meteoriten fand er Hinweise auf die Wechselwirkung mit flüssigem Wasser, das sich in der Vergangenheit durch Poren im Stein bewegt hat. In manchen entdeckte er sogar Ablagerungen, die Überbleibsel oder Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen sein könnten. Pillinger schlug daher vor, mit neuartigen Messgeräten auf einem spezialisierten Landegerät erneut nach Lebensspuren auf dem Mars zu

fahnden, nachdem die amerikanischen Viking-Missionen in den 70er Jahren keine endgültigen Antworten geliefert hatten und die ebenfalls amerikanische Pathfinder-Mission im Jahr 1997 nicht für biologische Untersuchungen konzipiert worden war.

### Indizien finden

Weil die Geländeformen auf dem Mars auf das Einwirken flüssigen Wassers hindeuten, vermutet man zulässigerweise, dass es auf dem Nachbarplaneten einmal mikrobielles Leben gab. Wenn in der Frühzeit des Mars größere Wassermengen an der Oberfläche mobil und sogar stehende Gewässer lange Zeit stabil waren, kann sich dort zur gleichen Zeit wie auf der Erde einfaches Leben in Form einzelliger Mikroorganismen gebildet haben.

Falls dies tatsächlich geschah, wurde eine weitere Entwicklung des Lebens auf dem Mars jedoch im Gegensatz zur Erde vermutlich unmöglich, weil das flüssige Wasser bald von der Oberfläche verschwand. Die frühen



mikrobiellen Lebensformen wären dabei zu Grunde gegangen oder hätten sich den Bedingungen in größeren Tiefen von einigen hundert Metern bis Kilometern angepasst, wären also dorthin gewandert, wo noch heute Grundwasser vermutet wird. In beiden Fällen hätte die biologische Aktivität chemische Spuren in Marsgestein oder Bodenmaterial hinterlassen: einerseits in Form so genannter Kerogene – das sind komplexe organische Verbindungen, die beim Zerfall biologischen Materials entstehen – und andererseits in Form eines zweiten untrüglichen Indizes, der Verschiebung der Verhältnisse stabiler Isotope von Kohlenstoff. Denn jedes Leben auf der Erde, ob Flora oder Fauna, bevorzugt das leichtere  $^{12}\text{C}$ -Isotop gegenüber  $^{13}\text{C}$ , während anorganische Kohlenstoffverbindungen vorherrschende Isotopenverhältnisse nicht verändern.

aus unterschiedlichen Reservoirs zudem deutlich voneinander unterscheiden, können die Forscher schließen, dass der organische Kohlenstoff durch biologische Prozesse deponiert wurde und nicht von Organika kohlenstoffhaltiger Meteorite stammt, die die Marsoberfläche von außen erreichten.



## Ausgeklügelte Instrumente für schwierige Experimente

Colin Pillinger schlug der ESA daher vor, gezielt nach Kerogenen und einem verschobenen Isotopenverhältnis  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  zu fahnden. Hierzu soll das „Gas Experiment Package“ (GAP) des Landers eingesetzt werden. Es erkennt organisches Material wie Kerogen daran, dass Kohlendioxid bei vergleichsweise geringer Temperatur aus der Probe bei deren Oxidation im GAP-Instrument freigesetzt wird. Wenn sich die  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -Verhältnisse

Proben des sand- und staubähnlichen Bodenmaterials für diese Untersuchungen wird „Beagle 2“ aus bis zu anderthalb Metern Tiefe aufnehmen. Als Probennehmer dient das am Institut für Raumsimulation des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt

## Der Rote Planet



Es erstaunte die Wissenschaftsgemeinde Anfang der 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts, dass die erste globale Kartierung des Mars Strukturen zeigte, die ausgetrockneten Ausflusskanälen gleichen. Die Ursache könnte aufgetautes Grundeis im Boden sein, das einst große Wasser- und Schlammmassen in Bewegung setzte, die sich in die Ebenen ergossen und sich vielleicht sogar zu einem stehenden Gewässer sammelten. Auslöser könnten aktive Vulkane in der mittleren Geschichte des Mars gewesen sein.

Außerdem zeigt die Marskarte auf der Südhalbkugel verzweigte Täler, die irdischen Flussläufen ähneln. Sie könnten entweder durch länger währendes Fließen von Wasser entstanden sein oder durch den Einbruch von Bodenmaterial als Folge geothermisch verursachter Grundwasserbewegungen unter der Oberfläche.

Beide Phänomene liefern Hinweise, dass noch heute große Mengen gefrorenes Wasser im Boden zu finden sind. Tatsächlich hat kürzlich ein Neutronenspektrometer auf der Sonde „Mars Odyssey“ Eis unter der Oberfläche messtechnisch nachgewiesen. ■



DLR

(DLR) in der Helmholtz-Gemeinschaft entwickelte, selbst eintreibende Gerät PLUTO (Planetary Underground Tool). Außerdem kann der Lander auch Proben aus dem Inneren von Steinen für Untersuchungen gewinnen. Beides hat den Zweck, organisches Material aufzuspüren, das nicht durch so genannte Oxidanzien im Boden oder durch die UV-Einstrahlung an der Oberfläche zersetzt wurde. Eine derartige Zersetzung, so vermuten die Forscher, könnte nämlich der Grund sein, warum bei den Viking-Missionen nicht einmal einfache organische Bausteine nachgewiesen werden konnten.

### Was der Planetenbohrer alles kann

Installiert ist PLUTO auf einem mechanischen Greifarm, der in einem Radius von 80 Zentimetern einen Träger mit Werkzeugen um den Lander führt; darauf werden permanent Experimente für Geologie und Mineralogie durchgeführt. Zudem sind an verschiedenen Stellen

von "Beagle 2" leichtgewichtige Sensoren untergebracht, die atmosphärische Zustände und UV-Einstrahlung messen. 9,5 Kilo wiegt diese wissenschaftliche Nutzlast, insgesamt bringt der Lander 30 Kilo auf die Waage.

Die Werkzeuge und der Lander selbst stellen die Konstrukteure vor große Herausforderungen: Besonders klein und leicht sollte alles sein. Um die Bodenproben aus bis zu anderthalb Metern Tiefe zu entnehmen, kam beispielsweise kein konventioneller Bohrer in Frage, dessen Gestänge mindestens anderthalb Meter lang gewesen wäre. Stattdessen wird bei PLUTO ein Verdrängungsprinzip eingesetzt, bei dem ein 28 Zentimeter langer zylindrischer Eindringkörper mit Kegelspitze mittels eines internen, von einem Elektromotor getriebenen Schlagmechanismus in granulare Böden bis auf ein Mehrfaches seiner Eigenlänge vordringt und nur über ein Kabel mit Elementen an der Oberfläche verbunden ist. Entwickelt wurde dieses „Maulwurf-Konzept“ im Rahmen des Technologieprogramms der ESA mit dem Institut für Raumsimulation des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und VNIITransmash im russischen St. Petersburg. Nur 860 Gramm schwer und im verstaute Zustand 36,5 Zentimeter lang, ist PLUTO anderen Bohrsystemen für die gleiche Tiefe deutlich überlegen.

Im Laufe der Mission wird PLUTO bis zu drei Proben aus verschiedenen Tiefen gewinnen und sie – durch Bewegung des Landergreifarmes – an das GAP-Instrument des Landers übergeben. PLUTO sammelt jedoch noch weitere interessante Informationen: über den Festigkeitsverlauf des Bodens und damit über die Sedimentationsgeschichte des Materials sowie mittels eines am Eindringkörper angebrachten Temperatursensors über thermische Eigenschaften des Marsbodens.



Anflug auf den Roten Planeten:  
Im Vordergrund die „Mars Express“-Sonde.

**Dr.-Ing. Lutz Richter**

PLUTO Principal Investigator  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Köln



## Passt haargenau!

Das Industrieforum Mikrofertigungstechnik FIF – ein Unternehmensclub der etwas anderen Art

Ein Beitrag aus dem Forschungszentrum Karlsruhe

Ohne Mikroskop geht gar nichts – Mikrofertigungs- und Mikrosystemtechnik bewegen sich wortwörtlich in der Welt des Haarfeinen. Mit einem Durchmesser von 60 Mikrometern ist ein Haar sogar meist noch grob gegenüber den Werkzeugen, Bauteilen und Oberflächenstrukturen, um die sich dabei alles dreht. Und dies in immer mehr Branchen – vom Automobilbau über die Telekommunikation bis zur Biotechnologie. Was erwarten Unternehmen auf diesem Feld von einem Großforschungszentrum? Nach intensiver Befragung vieler Betriebe und Firmen stand für das Forschungszentrum Karlsruhe die Antwort fest: Es gründete das „Forschungszentrum Karlsruhe Industrieforum Mikrofertigungstechnik“. Kurz FIF genannt, ist es die Karlsruher Lösung für schnellen und unbürokratischen Technologietransfer.



Die FIF-Mitgliedsunternehmen im Januar 2003

FIF ist das Instrument, mit dem das Forschungszentrum Karlsruhe die Ergebnisse, die es durch anwendungsorientierte Grundlagenforschung erzielt, zu industrieller Innovationsreife führt. Was bedeutet dies konkret? Mitglied in dem besonderen Netzwerk mit Clubcharakter sind derzeit 19 Unternehmen, vom kleinen Betrieb mit zwei Dutzend Mitarbeitern bis zum Branchenriesen mit mehreren Tausend. 10.000 Euro Jahresbeitrag sind den FIF-Mitgliedern gebündelte Information, individuelle Beratung und technischer Service wert. In Karlsruhe bearbeiten über zweihundert Wissenschaftler und technische Mitarbeiter in einem Dutzend Ins-

titute mit hervorragender Infrastruktur Aufgabenstellungen der Mikrosystemtechnik. FIF ist für seine Mitglieder der Schlüssel, der dieses Potenzial aufschließt. Einfache Angebote nach dem Motto „Hier ist unser Know-how, jetzt mach' selbst was draus!“ sind tabu. Vielmehr jeden Kunden vom ersten Kontakt bis zum Ergebnis optimal zu betreuen – das ist das Credo des FIF-Teams. Zum Team gehören zwei „Hauptamtliche“ und insgesamt etwa 15 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit unterschiedlichster Fachkompetenz aus den am Programm Mikrosystemtechnik beteiligten Instituten. Beharrlich verschaffen sie den Mitgliedsunternehmen Durchblick in der Szene der Mikrofertigungstechnik, suchen optimale Lösungen für die Praxis und bieten schnellen Zugriff auf die gesamte Technologie des Forschungszentrums. Kombiniert werden diese Leistungen so, wie es die aktuelle Situation des Kunden erfordert.



*Kleine unter sich: ein Mikrozzahnrad auf dem Bein einer Ameise*

FZK

## Ohne Hürde an die Experten



Für uns ist FIF ideal, weil wir nicht mehr selbst auf die Suche gehen müssen nach dem Fachmann, der unser spezielles Problem lösen kann. Bei uns entstehen bei der Produktentwicklung zahlreiche Detailfragen, für die wir ganz verschiedene Experten brauchen. In Karlsruhe sind diese Leute an einer Stelle konzentriert, und dank FIF finden wir den richtigen Spezialisten schnell. Wenn es beispielsweise um die Materialauswahl für das Gehäuse einer Lichtschranke geht, dann genügt eine Anfrage, und schon vermittelt das FIF unseren Ingenieur an den Wissenschaftler, der mit einem speziellen Kunststoff Erfahrung hat und Versuche oder Messungen damit durchführen kann. Das Wissen der Experten, an das wir auf diese Weise herankommen, ist bei weitem nicht nur in der Mikrofertigungstechnik anwendbar. Es nützt uns auch bei anderen Fertigungsproblemen, etwa bei speziellen Beschichtungen für größere Bauteile. Dass wir über die Mikrofertigung hinaus Vorteile von FIF haben, ist der Grund dafür, dass wir uns jährlich mit zehn bis 15 Anfragen an das FIF wenden.

Außerordentlich praktisch ist es für uns auch, dass alles Administrative entfällt: Als Mitglied von FIF können wir unser Kontingent an Beratungstagen ganz unbürokratisch abrufen. Die Hürde, sich an den Experten zu wenden, ist deshalb niedriger als anderswo, wo wir formell einen Auftrag erteilen, die Bezahlung aushandeln und eine Geheimhaltungsvereinbarung abschließen müssten. ■

### Dr. Christoph Nachtigall

Technologiemanagement, SICK AG, Waldkirch

Das Unternehmen stellt Sensoren und Sensorsysteme her. Sowohl in der Fabrik- wie in der Prozessautomation zählt es zu den Marktführern. Der Konzern beschäftigt weltweit mehr als 3.000 Mitarbeiter.

## Arbeit für den industriellen Alltag

Damit der Brückenschlag vom Labor zum Markt gelingt, arbeitet das FIF-Team wie im industriellen Alltag, sprich: schnell, effizient und unbürokratisch. Ein einziger Anruf eines FIF-Mitglieds genügt, und schon wird aus allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Programms die passende Expertenrunde zusammengestellt. Jährlich fünf so genannte Beratertage für individuelle Problemlösungen hat jedes Mitglied mit seinem Beitrag schon eingekauft; nimmt es darüber hinaus Leistungen in Anspruch, wird unkompliziert auf Tagessatzbasis abgerechnet.

Ein typisches Beispiel, wie man Beratertage nutzen kann: Ein Unternehmen möchte kurzfristig die Oberfläche einer Probe vermessen lassen. Und zwar mit drei unterschiedlichen Messverfahren, deren Ergebnisse bewertet werden müssen. Innerhalb einer Woche ist dank FIF von der Terminvereinbarung über die Vermessung im Beisein des Kunden bis zum Versand der Dokumentation alles erledigt. Das



## Schlüsseltechnologien

 Hervorragende Wissenschaftler, leistungsfähige Infrastruktur, modernes Management: Dies ist das Potenzial der Helmholtz-Gemeinschaft, um dazu beizutragen, dass sich der Wirtschaftsstandort Deutschland international konkurrenzfähig entwickelt.

Den Technologietransfer aus der Forschung in die Unternehmen und Märkte weiter zu verstärken, ist ein zentrales Anliegen der Helmholtz-Gemeinschaft. Zu diesem Zweck haben die Helmholtz-Forschungszentren so genannte Technologie-Transferstellen eingerichtet, die als erster Anlaufpunkt für Forschungs-„Kunden“ fungieren, als Kontaktstelle der Wissenschaft zur Wirtschaft. Viele der Zentren entwickeln – wie das Beispiel aus Karlsruhe zeigt – darüber hinaus neue Ansätze, um die Kooperation mit der Wirtschaft zu verbessern. Eine besondere Initiative ist Ascenion, der „One Stop Shop“ der Helmholtz-Lebenswissenschaften für die Verwertung und Vermarktung ihrer Forschungsergebnisse. Ascenion bündelt das Know-how von 4.000 Wissenschaftlern der beteiligten Zentren. Die GmbH fungiert als Akquisiteur, Verwerter und Vermarkter der biologisch-medizinischen Helmholtz-Forschung und gibt erwirtschaftete Erträge als Forschungsförderung zurück an die Zentren.

Das geplante Internet-Portal „Helmholtz-Experten.de“ soll für Transparenz des in der gesamten Helmholtz-Gemeinschaft versammelten Know-hows sorgen. Der offizielle Launch ist zur Hannover-Messe 2003 geplant. Unternehmen werden dann ein themen- und personenbezogenes Angebot vorfinden, dessen anschauliche Präsentation dazu animiert, zielgerichtet und unkompliziert mit Helmholtz-Forschern Kontakt aufzunehmen. ■

Weitere Infos zu FIF und Ascenion unter [www.fzk.de/fif](http://www.fzk.de/fif) und [www.ascenion.de](http://www.ascenion.de).

HGF

### *Vertraulich, persönlich und kommunikativ*

Die wichtigsten Faktoren für den Erfolg von FIF sind: absolute Vertraulichkeit, intensive persönliche Mitgliederbetreuung und die Möglichkeit für die Mitgliedsunternehmen, bei den angebotenen Workshops untereinander Kontakte zu knüpfen.

FIF verfolgt nicht nur das Ziel, aktuelle Probleme der Mitglieder zu lösen. Ebenso wichtig ist dem Team, durch das Netzwerk die Basis für eine langfristige und vertrauliche Zusammenarbeit zu schaffen. FIF ist somit das Instrument, um gemeinsam neuartige Technologiefelder zu identifizieren und sie durch anspruchsvolle Grundlagenforschung im Forschungszentrum für zukünftige Anwendungen zu erschließen.



*Beratung vor einem modularen Mikromontage-system im Forschungszentrum Karlsruhe*

FIF-Team ist stolz darauf, dass dies nicht nur die schnellste, sondern auch die kostengünstigste Lösung für den Kunden ist, der sich die verschiedenen Messungen sonst einzeln auf dem Markt suchen und kaufen müsste.

Auch das Angebot, Mitarbeiter von Unternehmen für bestimmte Fertigungstechniken zu trainieren, wird angenommen: Beispiel Mikrospritzguss. An einer in Karlsruhe verfügbaren Maschine konnten Mitarbeiter von Unternehmen lernen, wie man mit dem Gerät umgeht. Damit kann schon vor dem Kauf entschieden werden, welche Spezifikationen die Firma benötigt und ob sich die Anschaffung einer solchen Maschine für ein Unternehmen lohnt.

Insgesamt leistet FIF jährlich weit über 100 Beratertage für seine Mitglieder, hinzu kommen vier Newsletter und zwei Workshops, bei denen erfahrungsgemäß kaum einmal ein Mitglied fehlt.

Kurz: Mit FIF nimmt das Forschungszentrum Karlsruhe eine wesentliche Aufgabe des Forschungsbereichs „Schlüsseltechnologien“ in der Helmholtz-Gemeinschaft wahr.

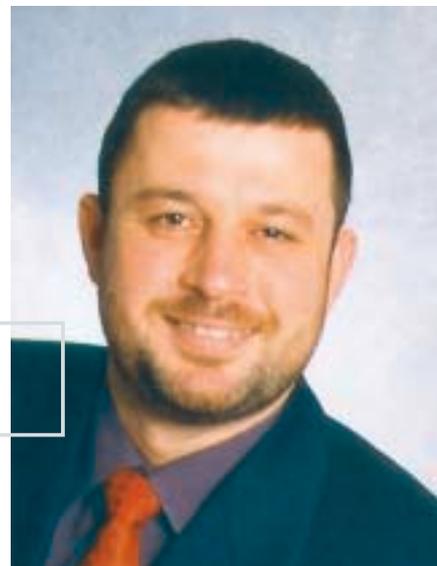
Insgesamt zeigen die Erfahrungen der ersten vier Jahre: Ob ein Unternehmen in die Mikrofertigungstechnik gerade erst einsteigt, ob es ein spezielles Produkt entwickeln will, ob es Kooperationspartner in der Forschung oder auf Unternehmensseite sucht – FIF hat sich als zentrale Anlauf- und Koordinierungsstelle bewährt. ■

**Dr.-Ing. Peter Bley**

Leiter des Programms Mikrosystemtechnik  
am Forschungszentrum Karlsruhe



Thomas Schaller will gemeinsam mit Unternehmen neue Produkte und Prozesse in den Markt bringen.



## Nachgefragt ...



FZK

### Interview mit Thomas Schaller, Diplom-Physiker und Leiter des Industrieforums Mikrofertigungstechnik im Forschungszentrum Karlsruhe

#### Was ist das Besondere an FIF?

Wir nennen es durchgängige Betreuung. Dafür gibt es zwei einfache Regeln, die erste: Nicht warten, bis uns ein Unternehmen anspricht, sondern aktiv auf die Mitglieder zugehen. Die zweite: Nichts Abstraktes anbieten, sondern Konkretes. Ein Beispiel: Wir stellen nicht mal ganz unverbindlich eine Technik der Laserbearbeitung vor, sondern beantworten die praktischen Fragen unserer Mitglieder: Kann ich das mal probieren? Geht das an meiner Maschine auch? Was muss ich investieren, damit das in meinem Unternehmen auch funktioniert? Können Sie meinen Mitarbeitern diese Technik beibringen? Auf solche Fragen Antworten zu finden, das ist unsere Spezialität.

#### Die FIF-Mitglieder sind Konkurrenten auf dem Markt. Wie überzeugen Sie Unternehmen, sich auf einen solchen „Club“ einzulassen?

Das A und O ist, das Vertrauen der beteiligten Unternehmen zu gewinnen. Absolute Vertraulichkeit muss selbstverständlich sein, denn hier kommen Wettbewerber zusammen. Wir geben Null Information darüber weiter, was wir für einzelne Mitglieder tun. Deshalb berichten wir in einem Heft wie diesem auch nicht über ein Beispiel, aus dem das beteiligte Unternehmen abzuleiten wäre. Denn stellen Sie sich vor, ein Unternehmen lässt sich von uns beraten und anschließend heißt es: Ach deshalb war der dort, der hat in dem Bereich wohl Probleme? Das wäre katastrophal.

Wenn aber Vertrauen aufgebaut ist, dann sind Unternehmen auch offen für die Chance, sich mit den Wettbewerbern auszutauschen. Entscheidend ist, dass die Unternehmen wissen: Sie selbst sind es, die das steuern.

#### Was ist der größte Erfolg von FIF?

Dass wir es geschafft haben, von den Unternehmen ernst genommen und immer stärker nachgefragt zu werden. Und zwar deshalb, weil wir so arbeiten, wie es zum Arbeitsalltag in der Industrie passt, nach industriellen Maßstäben, in industriellen Zeiträumen. Es gibt ja durchaus Vorbehalte. Unternehmen befürch-

ten häufig, dass es im Dschungel eines so großen Forschungszentrums schwierig ist, zu den richtigen Experten vorzudringen und industrierelevante Antworten zu bekommen. Sie denken, das ist sicher kompliziert, mit Wissenschaftlern einen produktbezogenen Prozess schnell und effizient durchzuziehen, erst recht unter Zeit- und Kostendruck. Aber nach ein, zwei kleinen Versuchsballons mit uns konnten wir unsere Kunden bisher immer überzeugen, dass auch mehr mit uns zu machen ist.

#### Was ist die größte Herausforderung für FIF?

Wir sind heute, etwas überspitzt gesagt, ein wissenschaftlicher Dienstleister. Das ist ein Erfolg und zeigt, dass unser Service den Unternehmen wirklich etwas bringt. Aber wir planen den nächsten Schritt: In fünf Jahren wollen wir Innovationsmanager sein, eingebunden in die strategischen Überlegungen der Unternehmen. Ziel ist, dass wir schon sehr früh eingeschaltet werden, um gemeinsam mit den Unternehmen neue Produkte und Prozesse in den Markt zu bringen. Als kompetenter und verlässlicher Partner Spitzenergebnisse aus Forschung und Technologie bereitzustellen, mit denen die FIF-Mitgliedsunternehmen strategisch agieren können – das ist meine Vision. ■

Das Gespräch führte Dr. Anne Rother Kommunikation und Medien in der Helmholtz-Gemeinschaft, Bonn



# Die inneren Spannungen sind entscheidend

Das Berliner Zentrum für Eigenspannungs- und Texturanalyse untersucht industrielle Komponenten zerstörungsfrei

Ein Beitrag aus dem Hahn-Meitner-Institut in Berlin

Manche Bauteile müssen für die Hölle gemacht sein. Temperaturen von vielen hundert Grad Celsius herrschen in ihrer Umgebung, immense Zug- und Druckspannungen lasten auf ihnen, gewaltige Fliehkräfte wirken, wenn sich die Teile zigtausendmal pro Minute drehen. Im Zentrum für Eigenspannungs- und Texturanalyse untersuchen Forscher des Hahn-Meitner-Instituts und der Technischen Universität Berlin den internen Stress, dem solche Bauteile ausgesetzt sind, um sie fit zu machen für ein langes Leben und zuverlässige Funktion – auch unter extremer Belastung.

**Z**um Beispiel das „Verdichterrad“ eines Turboladers. Die kleine Turbinenschaufel wird von Abgasen angetrieben und presst zusätzliche Luft in die Zylinder, so dass sich die Motorleistung erhöht. Das lässt nicht nur das Herz eines TDI-Fahrers (TDI steht für Turbo Direct Injection) höher schlagen, sondern verbessert auch die Energie-Effizienz in stationären Kraftwerken. Gerade in Entwicklungsländern herrscht großer Bedarf an diesen Aggregaten.

### *Schwachstellen auf der Spur*

Als ein Unternehmen, das solche Kraftwerke anbietet, ein größeres Modell plante, gab es ein Problem: Das Verdichterrad, dessen Ausmaße vergrößert wurden, erwies sich als weniger stabil – obwohl man das gleiche Material und das gleiche Herstellungsverfahren wie beim kleineren Turbolader verwendet hatte. Die Konstrukteure wandten sich an das Berliner

Zentrum für Eigenspannungs- und Texturanalyse (ZET). Hinter dem abstrakt klingenden Namen verbirgt sich eine gerade anlauende Kooperation zwischen dem Hahn-Meitner-Institut Berlin (HMI) und der Technischen Universität (TU) Berlin. Am ZET hat man sich auf Probleme wie das des Verdichterrads spezialisiert, denn die Schwäche eines Bauteils resultiert oftmals aus seiner inneren Beschaffenheit – und die macht das ZET sichtbar.

### *Spannungen erwünscht*

„Wir beschäftigen uns hauptsächlich mit kristallinen Werkstoffen“, sagt Walter Reimers, TU-Professor und Initiator des ZET. Metalle und Keramiken etwa liegen in polykristalliner Form vor. Ihre Atome sind in regelmäßigen Gittern angeordnet, vergleichbar einem dreidimensionalen Maschendrahtgeflecht. Jede Bearbeitung verändert dieses Kristallgefüge, das Walzen etwa



Je nachdem, ob die Wissenschaftler Eigenspannungen mehr oberflächennah oder tiefer im Werkstück untersuchen wollen, stehen ihnen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

## Mikroskopie

Manche Eigenschaften sowie Veränderungen von Werkstoffen lassen sich schon an der Bauteil-Oberfläche („Mikrostruktur“) erkennen. Hierzu nutzen die Mitarbeiter des ZET metallographische Methoden, wie etwa Dünnschliffe oder Ätztechniken, und auch die Rasterelektronen- und Transmissionselektronen-Mikroskopie.

## Röntgenverfahren

Um den Eigenspannungszustand an der Oberfläche und in dünnen Schichten zu untersuchen, bedient man sich röntgenographischer Verfahren. Damit erreicht man eine Eindringtiefe von wenigen Mikrometern (tausendstel Millimeter). Angewendet werden die Röntgenstrahlen zum Beispiel zur Untersuchung von Hartstoffschichten auf Schneidwerkzeugen sowie zur Charakterisierung von dünnen Schichten für Solarzellen.

## Synchrotronstrahlen

Nach demselben Prinzip wie die Analyse mit Röntgenstrahlung funktioniert die Analyse mit sehr kurzwelliger Strahlung aus dem Beschleunigerring BESSY in Adlershof (Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchrotron Strahlung m.b.H.). Das „Synchrotronlicht“ entspricht sehr energiereicher Röntgenstrahlung und dringt im Fall von Stahl bis in eine Tiefe von etwa 150 Mikrometern ein. Zum Vergleich: Das ist gerade mal der doppelte Durchmesser eines menschlichen Haares. Anwendungsbeispiele sind kugelgestrahlte oder einseitgehärtete Bauteile wie Zahnräder.

## Neutronenstrahlen

Die Strahlung wird aus dem Kern des Forschungsreaktors am Berliner Hahn-Meitner-Institut gewonnen. Die Neutronen können Werkstoffe bis zu einer Dicke von mehreren Zentimetern durchdringen und ermöglichen damit die Analyse von Spannungszuständen tief unterhalb der Bauteiloberfläche. Das Verfahren eignet sich für Keramik und Metall. Untersucht werden damit beispielsweise Turbinenkomponenten oder Kurbelwellen. ■

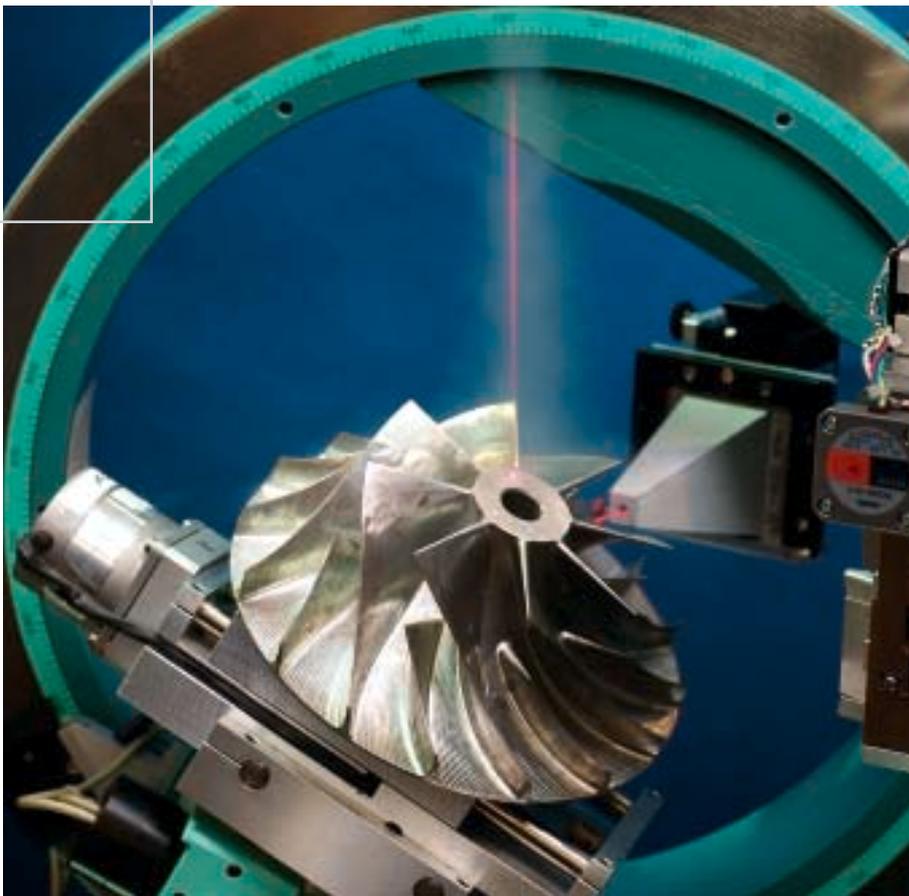
*Das Bild zeigt das Verdichterrad einer Turbine. Aus der pyramidenförmigen Primärblende (Bildmitte) kommt nicht nur der Justierlaser (rot), sondern auch ein Neutronenstrahl, der das Bauteil „durchleuchtet“.*

quetscht die Maschen an manchen Stellen zusammen und verzerrt das Gitter. Derlei Verformungen des Kristallgefüges sind oft sogar gewünscht, denn Bauteile können auf diese Weise widerstandsfähiger gegen Zug- oder Druckkräfte gemacht werden: Je nach Beanspruchung kann man mit einer geeigneten Bearbeitung eine Art Gegenspannung im Werkstoff erzeugen. So wie man Brücken „spannt“, damit sie mehr Last tragen können, so lassen sich auch Turbinenschaufeln spannen oder Kurbelwellen so härten, dass sie länger halten.

### **Bauteile im Härtetest**

Was aber ist, wenn sich die Kurbelwelle zehn Millionen Mal gedreht hat, wenn sie hunderte Male vom Motor erhitzt wurde und in eisigen Nächten wieder abkühlte? Verändert sich die Eigenspannung? Derlei war bisher schwer zu messen. Denn lange Zeit konnte man die Folgen der von außen einwirkenden Kräfte ebenso wenig ermitteln wie die „eingebauten“ Gegenkräfte.

Werkstoffforscher behelfen sich mit Tricks. Eine Standardmethode ist, kreisrunde Löcher in Bauteile zu bohren und zu untersuchen, wie sich diese Löcher verformen. Die Formänderung ist ein Maß für die inneren Spannungen des Bauteils. „Die Verformung eines solchen Lochs ist aber nur



zweidimensional“, sagt Rainer Schneider, ZET-Mitarbeiter am Hahn-Meitner-Institut, „und außerdem verändert man ja durch die Bohrung genau die Eigenschaften des Stoffes, den man untersuchen will.“

## **Prüfen? Ja. Zerstören? Nein.**

Das Zentrum für Eigenspannungs- und Texturanalyse geht daher andere Wege. „Wir untersuchen die Werkstoffe zerstörungsfrei“, betont Christoph Genzel vom HMI. Hierzu, und das macht das ZET so einzigartig in der Region, steht den Wissenschaftlern eine Reihe von sich gegenseitig ergänzenden Methoden zur Verfügung. Angefangen von der Licht- und der Elektronenmikroskopie über Röntgenverfahren bis hin zur Bestrahlung mit Neutronen aus dem Forschungsreaktor am Hahn-Meitner-Institut. Die Methode der Wahl hängt von der Art des untersuchten Werkstoffes ab – und von der gewünschten Sichttiefe.

„Mit einem Lichtmikroskop können wir nur sehen, was an der Oberfläche ist“, erläutert Genzel, „aber mit der energiereicheren Röntgenstrahlung aus dem BESSY-Beschleunigerring können wir mehrere hundert Mikrometer in die Tiefe leuchten.“ Der Neutronenstrahl des HMI-Reaktors dringt sogar noch tiefer (siehe Kasten).

## **Konzentrierte Kompetenz**

Das Prinzip der Analyse ist sowohl beim Röntgenlicht als auch beim Neutronenstrahl dasselbe: Das Kristallgitter lenkt die Strahlen ab und streut sie in charakteristischer Weise zurück. Detektoren fangen die abgelenkten Strahlen auf, und mit aufwändigen Berechnungsverfahren ermitteln die Forscher die innere Beschaffenheit des Werkstoffes. Wichtig an dem Zusammenschluss ist, dass die ZET-Wissenschaftler nicht nur die Apparate nutzen, sondern auch neue Analysemethoden entwickeln und verfeinern. Die Kombination von Großgeräten wie dem HMI-Reaktor einerseits sowie der Forschung an der TU andererseits macht diesen Spagat möglich.

„Wir können nicht nur die Eigenspannung erfassen“, sagt Walter Reimers, „sondern auch die Textur“. Das ist gleichsam die Form und die Ausrichtung der Kristallbausteine im Werkstoff – manche sehen wie Nadeln aus, andere wie Körner. Auch was sich zwischen den Bausteinen abspielt, können die Experten mit ihren Methoden erkennen.

Im Fall des Kraftwerk-Turboladers ermittelten die ZET-Mitarbeiter mit Hilfe von Neutronenstreuung, wo die Schwachstelle des größeren Verdichterrads liegt. Mehr noch: Ihre Analysen ergaben, dass der Prozess des Erhitzens und Abkühlens bei der Fertigung eine wichtige Rolle bei der Herausbildung der Schwachstelle spielt. „Daraufhin hat der Hersteller das Fertigungsverfahren modifiziert“, berichtet Reimers. Jetzt hält auch das große Verdichterrad jene höllischen Kräfte und Temperaturen aus, die in dem Turbolader herrschen. ■

**Josef Zens**

Wissenschaftsjournalist, Berlin



*Im Schülerlabor "Quantensprung" bekommen die Schüler auch echte Quantensprünge zu sehen, so beispielsweise das Leuchten des Edelgases Neon als Folge der realen Quantensprünge der Elektronen.*

# Ran an den Nachwuchs

## Das Schülerlabor „Quantensprung“ in Geesthacht macht jungen Leuten Naturwissenschaft schmackhaft

Ein Beitrag aus dem GKSS-Forschungszentrum Geesthacht

Raus aus dem Bus, rein ins Labor, Kittel anziehen, Laptop hochfahren: So beginnt für die jungen Gäste der Tag im Schülerlabor „Quantensprung“ des GKSS-Forschungszentrums Geesthacht. Mit Experimenten aus Physik und Chemie will man dort das Interesse der jungen Leute an den naturwissenschaftlichen Fächern wecken und damit dem akuten Nachwuchsmangel in den Naturwissenschaften begegnen. „Schülerinnen und Schüler sollen erleben, dass Physik sehr viel mit dem täglichen Leben zu tun hat und eine spannende Sache ist“, so Laborleiter Michael Buchsteiner. Und das Konzept geht auf: Denn bereits zu Beginn des Labortages, wenn Buchsteiner über Energiegewinnung im Allgemeinen und über die Brennstoffzelle im Besonderen spricht, sind die Schüler ganz bei der Sache. Erst recht, wenn danach das Experimentieren beginnt: Dann herrscht im Schülerlabor eine ebenso konzentrierte Arbeitsatmosphäre wie nebenan in den Instituten des GKSS.

**D**ie Fächer Mathematik, Biologie, Chemie und Physik gelten bei vielen Jungen und Mädchen noch immer als schwierig oder uninteressant und werden daher häufig nach der Mittelstufe abgewählt. Daraus resultiert, dass auch immer weniger Schulabsolventen ein Studium an einer naturwissenschaftlichen Fakultät beginnen und mittlerweile ein spürbarer Mangel an wissenschaftlichem Nachwuchs herrscht. Dass viel zu oft die Chance verschenkt wird, junge Leute schon in der Schulzeit für Naturwissenschaften zu interessieren, damit wollte sich das Forschungszentrum Geesthacht wie auch viele andere Helmholtz-Zentren nicht länger abfinden. Fast alle Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft haben so genannte Schülerlabore eingerichtet – Geesthacht eröffnete seines namens „Quantensprung“ Anfang des Jahres 2002.

### *Mit Neugier fängt alles an ...*

„Kindern und jungen Menschen braucht man Neugier nicht beizubringen, es gibt einen natürlichen Drang nach Wissen“, sagte die schleswig-holsteinische Kultusministerin Ute Erdsiek-Rave zur Eröffnung des Labors. Genau da setzt das Projekt „Quantensprung“ an: Die Jugendlichen, die alle aus der Jahrgangsstufe neun und zehn der allgemein bildenden Schulen kommen, können sich in Geesthacht einen ganzen Vormittag lang im modern ausgestatteten Labor experimentell austoben und den Unterricht ein-

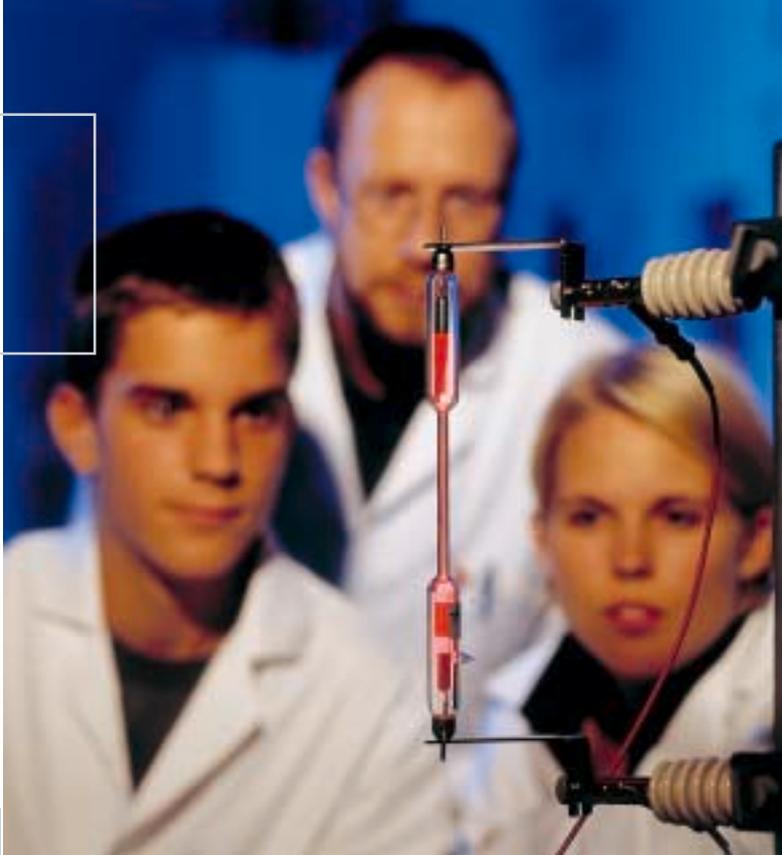
mal ganz anders erleben. Die 24 Arbeitsplätze im Labor bieten jedem einen eigenen Laptop und Experimentierkasten.

Strom aus dem Generator und dem Fahrraddynamo, Strom aus Sonnenenergie, Wind und Wasser: Die Experimente im „Quantensprung“ bewegen sich rund um das Thema Energiegewinnung mit dem Schwerpunkt „Stromerzeugung in der Brennstoffzelle“. „Beim Thema Brennstoffzelle und den Speicherungsmöglichkeiten von Wasserstoff stellen wir den unmittelbaren Bezug zur wissenschaftlichen Arbeit hier bei uns her“, erläutert der Laborleiter.

### *Via Webcam mit Experten diskutieren*

Direkter Kontakt zu den Forschern ist in Geesthacht selbstverständlich, inklusive Besuch am Arbeitsplatz: Am Institut für Chemie entwickelt ein Forscherteam Membranen

Fortsetzung Seite 58



## Helmholtz engagiert sich für Schüler



Die naturwissenschaftliche Bildung in Deutschland muss besser werden. Dies haben zuletzt die Ergebnisse der internationalen PISA-Studie überdeutlich gezeigt. Die Helmholtz-Zentren engagieren sich auf vielfältige Weise, um schon Kindern und Jugendlichen Naturwissenschaften nahe zu bringen – problemorientiert und auf die praktische Anwendung bezogen.

Fast alle Helmholtz-Forschungszentren haben so genannte Schülerlabore aufgebaut. Fachkundig betreut, erleben Schülerinnen und Schüler dort Wissenschaft live. Learning by doing, Experimentieren am authentischen Ort eines „richtigen“ Forschungszentrums, direkter Kontakt zu Wissenschaftlern und Arbeiten an konkreten Fragestellungen – dies ist das Besondere der Schülerlabore.

Ob „Quantensprung“ in Geesthacht oder das „Gläserne Labor“ in Berlin, ob „DLR\_School\_Lab“ oder das Kinderforschungslabor „alpha“ in München speziell für Grundschüler – die Formen und Themen unterscheiden sich, das Ziel ist das gleiche: Junge Leute sollen bereits in ihrer Schulzeit die Faszination der Naturwissenschaften durch eigenes Tun unter fachkundiger Leitung kennen lernen.

Die Helmholtz-Gemeinschaft bereichert und ergänzt damit den naturwissenschaftlichen Unterricht an den Schulen. Sie trägt zudem dazu bei, den Stellenwert zu erhöhen, den naturwissenschaftlich-technische Bildung in der Einschätzung von Schülern, Lehrern und Eltern einnimmt. Kurz: Helmholtz engagiert sich für eine bessere Qualität der naturwissenschaftlichen Bildung und ebnet begabtem Nachwuchs den Weg in ein naturwissenschaftliches Studium. ■

HGF

Den kurzen Weg zu den Schülerangeboten der Helmholtz-Forschungszentren bietet die folgende Linkliste:

- AWI** [http://www.awi-Bremerhaven.de/ClickLearn/SchoolProject/AWI\\_SP\\_index.html](http://www.awi-Bremerhaven.de/ClickLearn/SchoolProject/AWI_SP_index.html) (Schulprojekt)  
<http://www.awi-bremerhaven.de/ClickLearn/index-d.html> (diverse Informationen für Kinder)
- DESY** <http://www.desy.de/physik.begreifen/> (Schülerlabor)  
<http://www.desy.de/html/arbeiten/arbeiten.html> (weitere Angebote für Schüler und Lehrer)
- DKFZ** <http://life-science-lab.xmachina.de/> (Heidelberger Life-Science Lab)  
 Ansprechpartnerin für Schülerforen: Susanne Schunk, E-Mail: [s.schunk@dkfz.de](mailto:s.schunk@dkfz.de)
- DLR** <http://www.dlr.de/dlr/NextGeneration> (Schüler- und Jugendprogramme)  
<http://www.spaceclub.de/> (interaktive Raumfahrt-Website des DLR für Jugendliche)
- FZJ** <http://www.fz-juelich.de/mut/seminare> (Jugend forscht)  
<http://www.fz-juelich.de/gp/nw/nw.html> (Praktika, Berufsorientierung)  
 Ansprechpartnerin für Girls' Day: Irene Schmahl, E-Mail: [kinderbuero@fz-juelich.de](mailto:kinderbuero@fz-juelich.de)
- FZK** <http://fortbildung.fzk.de> (Kursangebote, nicht nur für Schüler)  
 Ansprechpartner für die Angebote für Kinder und Jugendliche:  
 Gunthard Metzger, E-Mail: [gunthard.metzger@ftu.fzk.de](mailto:gunthard.metzger@ftu.fzk.de)
- GBF** <http://www.gbf.de/bio-s/index.html> (Schülerlabor)  
[http://presse.gbf.de/biocamp/index\\_biocamp.html](http://presse.gbf.de/biocamp/index_biocamp.html) (Biocamp)  
[http://presse.gbf.de/index\\_wissen.html](http://presse.gbf.de/index_wissen.html) (Hintergründe der biotechnologischen Forschung)
- GFZ** <http://www.gfz-potsdam.de/news/Schulen/index.html> (unterrichtsergänzende Materialien)  
 Ansprechpartner für die Schüleraktivitäten: Franz Ossing, E-Mail: [ossing@gfz-potsdam.de](mailto:ossing@gfz-potsdam.de)
- GKSS** <http://www.gkss.de/pages.php?page=jugend.html&language=d&version=g> (Schülerlabor „Quantensprung“ und weitere Angebote für Jugendliche)
- GSF** [http://www.gsf.de/Aktuelles/Events/martius\\_2003.phtml](http://www.gsf.de/Aktuelles/Events/martius_2003.phtml) (Carl Friedrich von Martius Umweltpreis 2003, Wettbewerb für Facharbeiten aus bayerischen Gymnasien)  
 Ansprechpartnerin für Schülerforen: Hannelore Fißlinger, E-Mail: [fißlinger@gsf.de](mailto:fißlinger@gsf.de)  
 Ansprechpartnerin für Gläsernes Labor, Vorhaben für 2003:  
 Gabrielle Behling, E-Mail: [behling@gsf.de](mailto:behling@gsf.de)
- GSi** Ansprechpartner für Schüleraktivitäten: Dr. Ingo Peter, E-Mail: [I.Peter@gsi.de](mailto:I.Peter@gsi.de)
- HMI** <http://www.hmi.de/ausbildung/> (u. a. Praktika)  
<http://www.hmi.de/bereiche/info/index.html> (Lehr- und Informationsmaterial, nicht nur für Schulen)
- IPP** [http://www.ipp.mpg.de/de/news/news\\_fp.html](http://www.ipp.mpg.de/de/news/news_fp.html) (Schülerprojekte, Ferienprogramme, Girls' Day),  
 Ansprechpartnerin: Ute Schneider-Maxon, E-Mail: [schneider-maxon@ipp.mpg.de](mailto:schneider-maxon@ipp.mpg.de),  
 Ansprechpartnerin für Praktika und Schnuppertage: Christine Adamski,  
 E-Mail: [Christine.Adamski@ipp.mpg.de](mailto:Christine.Adamski@ipp.mpg.de)
- MDC** <http://www.glaesernes-labor.de/> (Schülerlabor)
- UFZ** Ansprechpartner für das ab Januar 2004 einsatzbereite Schülerlabor:  
 André Künzelmann, Koordinator, E-Mail: [kuenzel@wp.ufz.de](mailto:kuenzel@wp.ufz.de)



## Nachwuchs



*Stromerzeugung im Labor. Am Laptop nutzen die Schüler das Internet zur Recherche und werten ihre Messergebnisse aus.*

GKSS

für die Direkt-Methanol-Brennstoffzelle; erforscht werden Materialien, die höchsten Ansprüchen in Bezug auf Durchlässigkeit und Leitfähigkeit genügen müssen und dabei auch noch kostengünstig in der Herstellung sind. Parallel dazu arbeiten Wissenschaftler am GKSS-Institut für Werkstoffforschung am Problem der Speicherung von Wasserstoff für mobile Anwendungen. Sie gehen der Frage nach, wie man die Wasserstoff-Autos der Zukunft mit Tanks von hoher Kapazität, aber geringem Gewicht ausrüsten kann. Via Webcam stehen auch die Wissenschaftler aus dem Forschungsreaktor den Schülerinnen und Schülern Rede und Antwort, etwa zu Themen wie Radioaktivität und Strahlenschutz. Ein Angebot des Forschungszentrums, das auch Schulen nutzen können.

### **Tür an Tür mit Nachwuchs-Unternehmern**

Mit Hilfe des Labors will das Zentrum den Schülern auch zeigen, dass die naturwissenschaftlichen Fächer eine Bandbreite von Möglichkeiten bei der Berufswahl bieten. Bewusst wurde „Quantensprung“ im Geesthachter Innovations- und Technologiezentrum (GITZ) eingerichtet, wo junge Firmengründer arbeiten. Die meisten von ihnen sind ehemalige GKSS-Wissenschaftler, die über Forschung und Entwicklung zur Selbstständigkeit und Vermarktung ihrer Idee gelangt sind.

Finanziert wird das Projekt „Quantensprung“ von der Hamburger Schulbehörde, der Landesregierung Schleswig-Holstein, der Technologiestiftung Schleswig-Holstein, der Helmholtz-Gemeinschaft sowie Unternehmen aus Geesthacht und Umgebung. Dass in knapp einem Jahr schon rund 2.000 Schüler im „Quantensprung“-Labor geforscht haben – für das GKSS-Forschungszentrum Geesthacht ist dies der Beweis, dass das Konzept hundertprozentig angenommen wurde. Und Ermutigung, das Angebot auszubauen: Hinzugekommen ist bereits ein Schwerpunkt aus der Chemie. ■

**Kerstin Feddersen  
Oliver Goers**

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht

## Nachwuchsförderung in der Helmholtz- Gemeinschaft

●●●●● Ziel der Helmholtz-Gemeinschaft ist es, hervorragenden Köpfen ausgezeichnete Bedingungen für kreatives Arbeiten anzubieten. Deshalb engagiert sich die Helmholtz-Gemeinschaft besonders dafür, jungen Talenten den frühen Einstieg in selbstständige wissenschaftliche Tätigkeit zu ermöglichen. Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler erhalten bei Helmholtz die Chance, in großen, international zusammengesetzten Teams zu arbeiten und für ihre Forschung leistungsfähige Infrastruktur zu nutzen.

Rund 1.800 Doktoranden, 750 Diplomanden und 100 Habilitanden qualifizieren sich derzeit in den Zentren der Gemeinschaft. Postdoc-Programme, Tenure-Track-Modelle und Junior-Professuren in Form gemeinsamer Berufungen mit Hochschulen, zudem Patenschaftsprogramme mit der Industrie, außerdem Preise und Auszeichnungen für Nachwuchswissenschaftler, gezielte Mentoren-Programme, um weibliche Führungskräfte zu fördern und insbesondere das Instrument Nachwuchsgruppen: Die Formen der Nachwuchs-Förderung bei Helmholtz sind vielfältig und entwickeln sich weiter, wie das Beispiel aus dem Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle zeigt.

Als besonders erfolgreiches Modell, um junge Talente in der Wissenschaft zu unterstützen, haben sich – so die Erfahrung in den Helmholtz-Zentren – die Nachwuchsgruppen erwiesen. Rund 80 solcher Gruppen an Helmholtz-Zentren gibt es bereits. Um diese Form der Best Practice fortzuentwickeln und auszubauen, können die Helmholtz-Zentren seit diesem Jahr Mittel aus dem so genannten Impuls- und Vernetzungsfonds des Präsidenten in Anspruch nehmen. Das Interesse ist groß: Pläne für etwa 50 neue Gruppen, die die Zentren gemeinsam mit Hochschulen aufbauen wollen, liegen auf dem Tisch und werden nun extern begutachtet. ■

HGF



# Die Jungen machen mobil

Ein Netzwerk für Postdocs und Habilitanden sorgt für frischen Wind in der Nachwuchsförderung

Ein Beitrag aus dem Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle

Junge Wissenschaftler finden an den Helmholtz-Zentren exzellente Arbeitsbedingungen für die Forschung. Die Chance, selbst Lehrerfahrung zu sammeln, die Gelegenheit, die eigenen Forschungsergebnisse an Studenten in den Hochschulen weiterzugeben und damit auch kontinuierlich Nachwuchs zu gewinnen – all dies jedoch ist an einem Forschungszentrum nicht selbstverständlich. Am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle haben Nachwuchswissenschaftler selbst die Initiative ergriffen, um diese Lücke zu schließen.

**H**ochschulabsolventen, die in die angewandte Forschung gehen wollen, müssen heutzutage nicht nur in ihrem Fach hervorragend qualifiziert sein. Erwartet wird von ihnen auch, dass sie interdisziplinär denken, vernetzt mit anderen Institutionen arbeiten und Projekte managen. All dies sind Kompetenzen, die den Studenten an den Hochschulen nicht unbedingt vermittelt werden. Sind die jungen Wissenschaftler einmal in einem Forschungszentrum angekommen, genießen sie die Herausforderung, an spannenden Projekten zu arbeiten, fachübergreifend und anwendungsbezogen. Die Chance, selbst Lehrerfahrung zu sammeln, um sich beispielsweise den Berufsweg aus dem Forschungszentrum in die Hochschule offen zu halten, haben sie an einem Forschungszentrum jedoch in der Regel nicht.

## Die Idee:

### *Eine Win-Win-Situation schaffen*

Was aber, wenn es gelingen würde, diese Wünsche zu befriedigen? Würden dann nicht alle profitieren? Die jungen Wissenschaftler am Zentrum, weil sie Schlüsselkompetenzen für eine Karriere in Wissenschaft und Forschung erwerben. Das Forschungszentrum, weil es durch den Kontakt zu Studenten Ergebnisse der außeruniversitären Forschung direkt in die Hochschulen zurückspielt und dabei potenziellen Nachwuchs für die Arbeit in der Forschung qualifiziert und interessiert. Die Studenten, weil ihnen Themen und Methoden zugänglich werden, die sie im Lehrangebot der Hochschule nicht vorfinden.

## Das Projekt:

### *Ein Netzwerk für den Nachwuchs*

Fragen wie diese waren es, die Nachwuchswissenschaftler am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle vor zwei Jahren bewegen haben, ein Netzwerk für Postdocs und Habilitanden zu gründen. Die Gruppe von 35 bis 40 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern hat das Ziel, eigene Lösungen für die optimale Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses am Forschungszentrum zu entwickeln. Aus Sicht des Themas „Lehre“ bedeutet das insbesondere, Lehrangebote zu konzipieren, die auf die spezifischen Bedingungen an einem Helmholtz-Zentrum zugeschnitten sind.

Der Clou der ersten Angebote, die die Leipziger entwickelt haben, ist eigentlich schlicht: „Jung für jung“, so lässt er sich auf eine kurze Formel bringen. Die Idee dabei ist, dass der Nachwuchs am Zentrum selbst forschungsbezogene Lehrangebote organisiert und durchführt. Er lernt und lehrt dabei gleichzeitig. Er qualifiziert sich selbst und ermöglicht Studenten und dem Nachwuchs



## Nachwuchs

anderer Organisationen, sich weiterzuentwickeln. Zwei Modelle, die am Umweltforschungszentrum seit einiger Zeit praktiziert werden, zeigen, wie das funktioniert. Beide sind Kompaktkurse, die sich besser in den Alltag am Forschungszentrum integrieren lassen als langfristige Lehrveranstaltungen, wie sie an Hochschulen üblich sind.

### *Interdisziplinär und problemorientiert: Die Winterschulen*

Die Modellierung und Simulation ökologischer Prozesse werden immer wichtigere Werkzeuge in Umweltforschung und Ressourcenschutz. Sie gehören jedoch nicht zum Standardprogramm an deutschen Hochschulen. Deshalb haben Nachwuchswissenschaftler am Umweltforschungszentrum vor zwei Jahren einwöchige Winterschulen zur „Ökologischen Modellierung“ gestartet, an denen jeweils 16 Studenten und Doktoranden unterschiedlicher Fachgebiete wie Biologie, Physik oder Informatik und aus unterschiedlichen Einrichtungen wie Universitäten, anderen Helmholtz-Zentren oder Max-Planck-Instituten in ganz Deutschland teilnehmen.

Die Winterschulen sind ein Mix aus Vorlesungen und praktischer Arbeit in Kleingruppen an konkreten Projekten. In den Vorlesungen werden theoretische Grundlagen vermittelt. In den Projekten wird der gesamte Zyklus der Problemlösung von der Analyse über die Modellentwicklung bis zur Präsentation der Ergebnisse trainiert. So lernen die teilnehmenden Studenten problemorientierte, interdisziplinäre Forschung kennen. Eine Form des Wissenstransfers aus dem Zentrum heraus, die mit der Nachfrage kaum noch Schritt halten kann. Organisation der Winterschulen, Vorlesungen und Projektbetreuung liegen vollständig in der Hand von Nachwuchswissenschaftlern. Deshalb profitieren nicht nur die Teilnehmer, sondern auch die „Veranstalter“, die auf diese Weise Erfahrung in forschungsbezogener Lehre und dem Organisieren von Wissenschaft sammeln.

Weil das Modell Winterschule so gut funktioniert, soll die Kurspalette mit neuen Partnern erweitert werden. Für 2003 sind ähnliche Kompaktkurse im Rahmen von Partnership for European Environmental Research (PEER), einem Netzwerk von Umweltforschungszentren aus Dänemark, England, Finnland, Frankreich, den Niederlanden, Italien und Deutschland, in Vorbereitung. Damit öffnet sich das Zentrum mit seiner Nachwuchsarbeit über die Region und den nationalen Kontext hinaus. Auch für PEER beginnt et-



## Biodiversitätsforschung



Kompaktkurse zur Biodiversitätsforschung und zu einer dabei genutzten Methode, der so genannten Modellierung ökologischer Systeme, bietet das Umweltforschungszentrum dem Nachwuchs nicht zufällig an. Die weltweite Abnahme der biologischen Vielfalt – der Biodiversität – ist eines der großen globalen Umweltprobleme. Das vom Menschen verursachte Aussterben der Arten verläuft gegenwärtig etwa 1000 Mal so schnell wie das natürliche Artensterben.

Die biologische Vielfalt zu schützen, ist nicht nur aus ethischen Gründen eine der großen Aufgaben für Forschung und Gesellschaft. Auf immer mehr Organismen zu verzichten, die beispielsweise Nahrung, Rohstoffe oder Arzneistoffe liefern, kann sich die Menschheit schlicht nicht leisten. Die Forschung weiß bisher zu wenig darüber, welche Prozesse die Biodiversität beeinflussen und welche funktionelle Bedeutung sie ihrerseits für die Ökosysteme hat. Dies zu entschlüsseln, schafft die Grundlage, um die Biodiversität zu schützen und zu erhalten.

Eine ganz spezielle und fortschrittliche Methode in der Biodiversitätsforschung ist die Modellierung und Simulation ökologischer Prozesse am Computer. Nur wenige Wissenschaftlergruppen weltweit beschäftigen sich bislang damit. Die Erkenntnis, dass viele der heute dringend zu beantwortenden Fragen nur mit Hilfe derartiger Techniken gelöst werden können, setzt sich jedoch immer mehr durch. Im Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle gibt es eine der wenigen Wissenschaftlergruppen auf dem internationalen Parkett der Biodiversitätsforschung, die sich seit Jahren mit ökologischer Modellierung befasst. ■



was Neues; bisher wurden hier Forschungsstrategien abgestimmt, jetzt beginnt man, gemeinsam etwas für den Nachwuchs in der Umweltforschung zu tun. Im Pilotprojekt arbeiten die Leipziger mit dem dänischen Partnerzentrum zusammen; das postgraduale Training zur ökologischen Modellierung ist über den Kreis von PEER hinaus für Teilnehmer aus anderen europäischen Staaten offen. 25 Prozent der Plätze sind für sie reserviert.

### Extra-Portion Theorie für die Postgraduieren

Ebenso wichtig wie Wissenstransfer in die Hochschulen ist dem Netzwerk die Arbeit mit dem Nachwuchs im eigenen Hause. Doktoranden und Postdoktoranden der ökologieorientierten Sektionen des Zentrums haben deshalb einen Vorlesungszyklus für den UFZ-Nachwuchs gestaltet. Darin werden sowohl wichtiges theoretisches Hintergrundwissen der meist interdisziplinären Forschungsprojekte als auch neueste Ergebnisse der aktuellen Forschung vermittelt. Diese Extra-Portion Theorie schafft Grundlagen und ermöglicht es, die eigene Arbeit im Projekt in den Kontext des Zentrums einzuordnen. Eine der Nachwuchswissenschaftlerinnen formulierte einmal scherzhaft, jedoch zutreffend: „Es soll etwas dagegen getan werden, dass die Forschungsarbeit des Zimmernachbarn manchmal genauso weit weg scheint wie Ergebnisse, die auf einer Eisscholle bei Grönland gewonnen werden.“ Tatsächlich geht es darum, dass Neulinge, und davon gibt es bei der hohen Fluktuation der Nachwuchswissenschaftler in einem Forschungszentrum immer wieder viele, schnell lernen, was State of the Art am Zentrum ist. Sie erhalten die Chance, die eigene Arbeit im Zusammenhang der internationalen Fachdebatte zu verstehen. Und wiederum ist Nachwuchs nicht nur Adressat, sondern auch Absender, sprich Lehrender.

Die Veranstalter überlegen bereits den nächsten Schritt: In Kooperation mit ökologieorientierten Fachbereichen verschiedener deutscher Universitäten wollen sie ein deutschlandweites postgraduales Kompaktkursprogramm zur „Biodiversitätsforschung“ etablieren. Diese Anbindung an die Universitäten ist ihnen auch deshalb wichtig, weil sie den jungen Dozenten aus den eigenen Reihen dazu verhelfen wollen, dass ihre forschungsbezogene Lehre Einzug in die Vorlesungsverzeichnisse der

Hochschulen hält und damit im regulären Lehrgeschehen der Universitäten dokumentiert ist. Für diejenigen der Nachwuchswissenschaftler, die sich später für eine Hochschulkarriere entscheiden, ist es nämlich alles andere als unwichtig, ob ihre Lehrangebote auf diese Weise „zertifiziert“ sind.

### Das Zauberwort: Forschungsbezogene Lehre

Die beiden Beispiele zeigen, dass es durch geeignete Formen forschungsbezogener Lehre möglich ist, die Nachwuchsarbeit an den Helmholtz-Zentren weiter zu verbessern. Kompaktkurse zu interdisziplinären Themen, das beweisen die Modelle, sind mit den spezifischen Bedingungen an den Helmholtz-Forschungszentren vereinbar. Sie haben zudem den Vorteil, dass weder die Themen noch die zeitlich kompakte Form in Konkurrenz zu den regulären, zumeist disziplinären Lehrveranstaltungen an den Universitäten stehen. Sie sind schlichtweg ein optimales Ergänzungsprogramm und erleichtern die Zusammenarbeit mit den Universitäten.

Beide Modelle, so die Philosophie der Leipziger, sind keine ewig gültigen, sondern flexible Formen, mit denen sich thematischer Wissenstransfer innerhalb von nationalen oder internationalen Forschungsnetzen gut organisieren lässt, wobei jeder Partner seine Kernkompetenzen einbringen kann. Forschungsbezogene Lehre ist deshalb nicht nur wichtig für die Nachwuchsarbeit an den Helmholtz-Zentren. Sie wird, dessen sind sich die Initiatoren des Netzwerks am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle sicher, in Zukunft zum Schlüsselfaktor für die Effektivität, Ausstrahlung und Attraktivität außeruniversitärer Forschung. ■

Arbeit am eigenen Modellierprojekt –  
Winterschule 2002



**Ph.D. Kristin Schirmer**

Nachwuchsgruppe Molekulare Tierzelltoxikologie

**Dr. rer. nat. Karin Frank**

Sektion Ökosystemanalyse  
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle

# Brückenbauer von Format

Der Erwin Schrödinger-Preis des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft würdigt exzellente Ergebnisse interdisziplinärer Forschung in der Helmholtz-Gemeinschaft

Interview mit der Jury-Vorsitzenden, Professor Dr. Karin Mölling

Zum fünften Mal wird in diesem Sommer eine Jury von renommierten Wissenschaftlern den Anwärter auf den Erwin Schrödinger-Preis auswählen. Last oder Lust für die Jury? Qual der Wahl oder klarer Fall?

*Der Schrödinger-Preis, einer der fünf Wissenschaftspreise des Stifterverbandes, würdigt Interdisziplinarität. Wie bemisst man Forschung zwischen den Disziplinen?*

Ein Ranking von „weniger“ bis „am meisten“ interdisziplinär aufzustellen, kann eine Jury schon in Schwierigkeiten bringen. Die Spezialisierung in der Wissenschaft ist enorm weit vorangeschritten, so dass sich beispielsweise Chemiker ab einer gewissen fachlichen Tiefe nicht mehr ohne Weiteres miteinander verständigen können, so weit sind sie inzwischen in die anorganische Chemie oder die physikalische Chemie eingetaucht. Uns als Jury interessiert die Frage, ob es ihnen gelingt, dabei dennoch so weit zu blicken, dass sie die Grenzen ihres Spezialgebietes erkennen und Fragen stellen, die eine Brücke zu den Kollegen des Nachbargeschichtes schlagen. Wenn über diese Brücke verschiedene Spezialisten zu einer Innovation kommen, das Ergebnis dann noch wissenschaftlich exzellent ist und es in sich vielleicht auch das Potenzial einer Anwendung birgt, dann ist das in unserem Sinne preisverdächtig.

*Ihr Beispiel aus der Chemie kommt nicht von ungefähr: Der Schrödinger-Preis 2002 ging ja an ein Team von Chemikern, Physikern und Physiko-Chemikern. Was zeichnet diese Gruppe aus?*

Ich fand gut, dass in diesem Projekt die Forscher von Beginn an im Blick hatten, wie ihre Ergebnisse in eine praktische Umsetzung münden könnten. Und mich hat das Dialogische ihrer Arbeitsweise beeindruckt.



„Es geht bei Interdisziplinarität nicht nur um die Zusammenarbeit unterschiedlicher Disziplinen, es geht vor allem auch um den Veränderungsprozess, den die Disziplinen im Zuge solcher Kooperationen erfahren. Neben diesem Ziel hat der Preis auch eine andere strukturbildende Aufgabe: Er soll neue Formen von Forschungsverbänden fördern.“ ■

Dr. Arend Oetker, Präsident des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft

*Dialogisches Forschen – wie hat man sich das vorzustellen?*

Zunächst gab es wie so oft eine originelle Fragestellung. In unserem Fall warfen die Jülicher Wissenschaftler die Frage auf, ob von ihnen entwickelte langkettige Polymere ähnlich wie deren Verwandte, die Tenside, zur Bildung von Öl-Wasser-Emulsionen eingesetzt werden könnten, was für die Produzenten von Waschmitteln, Schmierstoffen, Salben und anderen Produkten interessant wäre. Dann schauten sie sich außerhalb ihres Teams um, wo es Wissen gibt, das sie weiterbringt. Tensidforscher, das wussten die Jülicher Physiker und Chemiker, gibt es ausgezeichnete an der Uni Köln. Diese gewannen sie als Verbündete. Gemeinsam konzipierten sie Versuche, um die aufgeworfenen Fragen zu klären. Das Resultat war zwiespältig. Die Polymere erfüllten die in sie gesetzten Erwartungen nicht; doch der Misserfolg führte sie zu einer neuen Frage: Was passiert, wenn man Tensid und Polymer mischt? Das Ergebnis verblüffte: Tensid plus Polymer entfalten eine effektivere Wirkung als das Tensid allein.

Der Ball wurde nun zurück nach Jülich gespielt. Die Physiker sollten herausfinden, warum Tenside mit Beimengungen des Jülicher Polymers besser emulgieren. Und wieder brach ein Wechselspiel den Erkenntnisfortschritt, und zwar von Theorie und Experiment, in diesem Fall Neutronenstreuexperimenten. Die Forscher untersuchten das Geschehen an den Grenzflächen zwischen Öl und Wasser, und das



„Waschaktive Wissenschaftler“ wurde dieses Quintett in einem Pressebericht doppelsinnig genannt: (von unten nach oben) Prof. Dr. Gerhard Gompper und Dr. Jürgen Allgaier vom Institut für Festkörperforschung des Forschungszentrums Jülich, Prof. Dr. Reinhard Strey vom Institut für Physikalische Chemie der Universität zu Köln, Prof. Dr. Dieter Richter, wiederum aus Jülich, Dr. Thomas Sottmann, ebenfalls von der Uni Köln. In der Tat kann ein von ihnen erforschtes Polymer waschaktive Substanzen effizienter machen. Durch dessen Zufügung lassen sich bei gleicher Waschkraft teure und umweltbelastende Tenside einsparen und das nicht nur in Waschmitteln. Dafür wurde dem Team auf der letzten Jahrestagung der Helmholtz-Gemeinschaft der mit 50.000 Euro dotierte Erwin Schrödinger-Preis verliehen.

### Wie kommt die Jury zu ihrem Votum?

Die sieben Jury-Mitglieder schauen sich nach Eingang der Vorschläge in der Regel nach Fachgutachtern um, denn so vielfältig ihr eigenes Wissen auch ist – nicht jedes Thema kann abgedeckt werden. Unter Beteiligung einzelner Jurymitglieder werden Kommissionen gebildet, und diese erstatten der Jury Bericht. Im Kreis der Jury einigen wir uns dann auf einen Vorschlag, der den Intentionen des Preises am besten gerecht wird.

### Das ist viel Aufwand ...

... ja – doch er muss sein für ein qualifiziertes Urteil, nicht nur weil es um immerhin 50.000 Euro geht, sondern weil wir bei der Bewertung wissenschaftlicher Arbeit so akribisch herangehen sollten, wie wir es von den Kolleginnen und Kollegen, deren Arbeit wir beurteilen, auch erwarten. Und außerdem: Gutachten zu erstellen für diesen, speziell für interdisziplinäre Forschung zur Verfügung gestellten Preis, ist wegen der thematischen Bandbreite eine hoch interessante Tätigkeit. Diese Mühe mache ich mir gern. Ich finde es ermutigend zu sehen, wie Barrieren überwunden werden. ■

Das Gespräch führte Cordula Tegen  
Kommunikation und Medien  
in der Helmholtz-Gemeinschaft, Bonn

Ergebnis bestätigte die theoretische Annahme. Die langen Ketten des Polymers befinden sich wie die Tensidmoleküle an der Grenzfläche zwischen Öl und Wasser und versteifen durch ihre molekularen Kräfte den Tensidfilm. Der Rest ist Geometrie – die sich bildenden größeren Öltröpfchen haben im Vergleich zu ihrem Inhalt eine kleinere Oberfläche. Man braucht in der Folge weniger Tensid, um die Fläche der großen Öltröpfchen zu umhüllen, als wenn man eine vielfache Menge kleinerer Öltröpfchen zum Binden bringen wollte. Das theoretische Verständnis dieses Phänomens erlaubte es schließlich, die Effizienzsteigerung durch Polymer-Beigaben vorherzusagen und so den gewünschten Effekt zu verstärken.

Das hört sich recht selbstverständlich, beinahe spielerisch an ...

... ist es aber nicht. Ein so offenes und konsequentes Wechselspiel zwischen verschiedenen Disziplinen und über Institutionengrenzen hinweg ist im Wissenschaftsbetrieb noch nicht alltäglich. Deshalb auch schuf der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft den Preis für interdisziplinäre Forschung.



Selbst mehrfach preisgekrönt ist die Jury-Vorsitzende Karin Mölling. Die ausgebildete Kernphysikerin und jetzige Molekularbiologin machte sich unter anderem auf dem Gebiet der Krebs- und HIV-Forschung einen Namen. Prinzip auch ihrer eigenen Forschung ist es, interdisziplinär und anwendungsorientiert zu arbeiten. So war sie zeitweise in einer Biotechfirma im Bereich der Impfstoffentwicklung tätig. Heute lehrt und forscht sie als Direktorin des Instituts für Medizinische Virologie an der Universität Zürich.

Der von der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren vergebene ERWIN SCHRÖDINGER-Preis des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft

- zeichnet herausragende wissenschaftliche oder technisch-innovative Leistungen aus, die in Grenzgebieten zwischen verschiedenen Fächern der Medizin, Natur- und Ingenieurwissenschaften erzielt worden sind und an denen Vertreter mindestens zweier Fachrichtungen mitgewirkt haben,
- betont damit die besondere Bedeutung interdisziplinärer Zusammenarbeit
- und ermutigt den Blick über Fach- und Institutionsgrenzen.

(aus dem Statut)



## Wissenschaftliche Auszeichnungen

**Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen der Helmholtz-Gemeinschaft wurden auch im Jahr 2002 mit zahlreichen Preisen und Ehrungen bedacht. Hier eine Auswahl:**

Professor **Carmen Birchmeier** vom Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC) Berlin-Buch erhielt den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Mit diesem höchstdotierten Preis der deutschen Wissenschaft wurde die Entwicklungsbiologin und Genforscherin für ihre Arbeiten auf dem Gebiet der Embryonal- und Organentwicklung der Säuger geehrt.

Professor Dr. **Dan Gabriel Cacuci**, Leiter des Instituts für Reaktorsicherheit am Forschungszentrum Karlsruhe, erhielt den Paul Wigner Reactor Physicist Award der American Nuclear Society in Würdigung seiner bahnbrechenden Arbeiten an der Konzeption, Entwicklung und interdisziplinären Anwendung der Sensitivitätsanalyse für nicht-lineare dynamische Probleme in der Reaktorphysik sowie als herausragender Wissenschaftler und Lehrer.

PH Dr. **Christian-Herbert Fischer**, Dr. **Hans-Jürgen Muffler**, Dipl.-Ing. **Marcus Bär**, Dipl.-Ing. **Heike Steigert** und **Timo Kropp** vom Hahn-Meitner-Institut Berlin sind mit dem Hahn-Meitner-Technologie-Transfer-Preis ausgezeichnet worden. Den von der Siemens AG gestifteten Preis erhielten sie für ihre Arbeit zu ILGAR, einem „Abscheidungsverfahren für dünne funktionale Schichten auf glatten und porösen Substraten beliebiger Form“.

Professor **Detlev Ganten**, Stiftungsvorstand des Max-Delbrück-Centrums für Molekulare Medizin (MDC) Berlin-Buch, erhielt die Treviranus-Medaille, die höchste Auszeichnung des Verbandes deutscher Biologen, für seine Verdienste beim Aufbau des 1992 gegründeten MDC sowie für seinen „beständigen Dialog mit Politik und Gesellschaft“.

Professor **Wolfgang Hammerschmidt** vom GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg, ist mit dem Aronson-Preis ausgezeichnet worden. Der Leiter der Abteilung Genvektoren am Institut für Klinische Molekularbiologie und Tumorgenetik erhielt den Preis vom Berliner Senat, der damit bedeutende wissenschaftliche Leistungen auf dem Gebiet der Mikrobiologie und der experimentellen Therapie würdigt.

Professor **Gerhard Höfle** von der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, Braunschweig, erhielt den Arthur E. Schwarding Award für das beste „Journal of Natural Products“ Paper des Jahres 2001.

Professor **Walter Krenkel** vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ist mit dem Karl-Heinz-Beckurts-Preis ausgezeichnet worden. Der Leiter des DLR Center of Excellence „Keramische Leichtbaustrukturen“ in Stuttgart erhielt den renommierten Preis für seine Forschungsarbeiten, die zur Entwicklung der inzwischen seriell hergestellten, höchst erfolgreichen Keramikbremse für Straßenfahrzeuge führten.

Professor **Maria-Regina Kula** und Dr. **Martina Pohl** von dem im Forschungszentrum Jülich ansässigen Institut für Molekulare Enzymtechnologie der Universität Düsseldorf sind mit dem Deutschen Zukunftspreis, dem Preis des Bundespräsidenten für Technik und Innovation, ausgezeichnet worden. Damit bekamen erstmals zwei Frauen die hochdotierte Auszeichnung. Die Biotechnologinnen haben bei ihrer Forschungsarbeit zum Thema „Sanfte Chemie mit biologischen Katalysatoren“ eine wirtschaftlich besonders interessante Gruppe von Enzymen für den Einsatz in industriellen Produktionsprozessen nutzbar gemacht.

Die Professoren **Peter Lichter** und **Klaus-Michael Debatin** vom Deutschen Krebsforschungszentrum, Heidelberg, erhielten den Deutschen Krebspreis. Die Deutsche Krebsgesellschaft zeichnete Lichter für seine Arbeiten auf dem Gebiet der experimentellen Forschung aus, speziell für seine Entwicklungen neuer Methoden zum Nachweis genetischer Veränderungen in Tumorzellen. Debatin erhielt den Preis für klinische Forschung, speziell für seine Forschungsarbeiten zur Apoptose, dem so genannten programmierten Zelltod.

Dr. **Thomas Möller** vom Deutschen Elektronen-Synchrotron, Hamburg, wurde mit dem Björn H. Wiik-Preis ausgezeichnet. Der HASYLAB-Physiker und sein Team haben mit einem wissenschaftlich herausragenden Experiment am Freie-Elektronen-Laser bei DESY die Grundlagen gelegt für die wissenschaftlichen Untersuchungen am zukünftigen TESLA-Röntgenlaser.

Prof. Dr. **Klaus Pinkau**, emeritierter Wissenschaftlicher Direktor des Max Planck-Instituts für Plasmaphysik, Garching und Greifswald, wurde mit dem Bayerischen Maximiliansorden ausgezeichnet. Mit dem Orden werden herausragende Leistungen auf den Gebieten der Wissenschaft und der Kunst gewürdigt. Die Zahl der lebenden Ordensträger ist auf 100 begrenzt.

Professor **Christoph Reigber** vom Geoforschungszentrum Potsdam ist mit der Vening-Meinesz-Medaille geehrt worden. Die Generalversammlung der European Geophysical Society verlieh ihm die Auszeichnung für herausragende Beiträge auf dem Gebiet der Satellitengeodäsie und der Erforschung des Erdschwerefeldes.

Dr. **Claus Weitkamp**, ehemals GKSS-Forschungszentrum Geesthacht, Institut für Küstenforschung, wurde mit dem Lebenswerk-Preis der „International Coordination-group on Laser Atmospheric Studies“ ausgezeichnet.

## Auszeichnungen für den Nachwuchs

**Für herausragende Forschungsergebnisse, für Doktorarbeiten und zur Förderung der weiteren wissenschaftlichen Arbeit ist in den Helmholtz-Zentren auch der Nachwuchs mit zahlreichen Auszeichnungen bedacht worden. Einige Beispiele:**

Die Geophysikerin **Andrea Hampel** vom GeoForschungsZentrum Potsdam erhielt für ihre Forschungen am peruanischen Kontinentrand den Bernd-Rendel-Preis, der erstmals für diplomierte, noch nicht promovierte Geowissenschaftler vergeben wurde. Für ihre Doktorarbeiten wurden zwei Wissenschaftler am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, ausgezeichnet: **Walter Geibert** mit dem Annette-Barthelt-Preis für Meeresforschung und **Claudia Didie** mit dem Fakultätspreis der Universität Kiel. Herausragende Doktorarbeiten würdigte auch der Förderverein der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, Braunschweig, und zeichnete die jungen Biowissenschaftlerinnen und Biowissenschaftler **Nicole Glaser**, **Edelweiß Markworth** und **Andreas Toman** mit einem Förderpreis aus. Preise für ihre Promotion beim Deutschen Elektronen-Synchrotron, Hamburg, erhielten **Florian Goebel** und **Burkard Reisert**. Für die beste Diplomarbeit auf dem Gebiet der Tumorthherapie wurde **Yvonne Borgiel** bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung, Darmstadt, mit dem Christoph-Schmelzer-Preis des Vereins zur Förderung der Tumorthherapie mit schweren Ionen ausgezeichnet. Der Lehrling **Michael Voigt** vom GeoForschungs-Zentrum Potsdam (GFZ) erhielt vom Bundesverband Metall die Siegerurkunde für seine Leistung im bundesweiten Praktischen Wettbewerb der Handwerksjugend. Voigt wurde in der Hochdruckwerkstatt des GFZ als Feinmechaniker ausgebildet. **Yves Schultek**, der als Lehrling am Hahn-Meitner-Institut Berlin ausgebildet wurde, ging aus dem Praktischen Leistungswettbewerb der Handwerksjugend als Landessieger hervor und errang auf Bundesebene den dritten Platz im Maschinenbaumechaniker-Handwerk.

## Mitglieder der Helmholtz-Gemeinschaft

<b>Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung</b> Columbus-Straße, 27568 Bremerhaven Telefon: (0471) 4831-0; Telefax: (0471) 4831-1149 E-Mail: awi-pr@awi-bremerhaven.de; Internet: www.awi-bremerhaven.de	
<b>Stiftung Deutsches Elektronen-Synchrotron</b> Notkestraße 85, 22607 Hamburg Telefon: (040) 8998-0; Telefax: (040) 8998-3282 E-Mail: desypr@desy.de; Internet: www.desy.de	
<b>Stiftung Deutsches Krebsforschungszentrum</b> Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg Telefon: (06221) 42-0; Telefax: (06221) 42-2995 E-Mail: presse@dkfz.de; Internet: www.dkfz.de	
<b>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.</b> Linder Höhe (Porz-Wahnheide); 51147 Köln Telefon: (02203) 601-0; Telefax: (02203) 67310 E-Mail: pressestelle@dlr.de; Internet: www.dlr.de	
<b>Forschungszentrum Jülich GmbH</b> Wilhelm-Johnen-Straße (Stettener Forst), 52428 Jülich Telefon: (02461) 61-0; Telefax: (02461) 61-8100 E-Mail: fzj@fz-juelich.de; Internet: www.fz-juelich.de	
<b>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH</b> 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	
<b>Gesellschaft für Biotechnologische Forschung mbH</b> Mascheroder Weg 1, 38124 Braunschweig Telefon: (0531) 6181-0; Telefax: (0531) 6181-515 E-Mail: info@gbf.de; Internet: www.gbf.de	
<b>Stiftung GeoForschungsZentrum Potsdam</b> Telegrafenberg, 14473 Potsdam Telefon: (0331) 288-0; Telefax: (0331) 288-1600 E-Mail: ossing@gfz-potsdam.de; Internet: www.gfz-potsdam.de	
<b>Forschungszentrum Geesthacht GmbH</b> Max-Planck-Straße, 21502 Geesthacht Telefon: (04152) 87-0; Telefax: (04152) 87-1618 E-Mail: presse@gkss.de; Internet: www.gkss.de	
<b>Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH</b> Ingolstädter Landstraße 1, 85764 Neuherberg Telefon: (089) 3187-0; Telefax: (089) 3187-3322 E-Mail: oea@gsf.de; Internet: www.gsf.de	
<b>Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH</b> Planck-Straße 1, 64291 Darmstadt Telefon: (06159) 71-0; Telefax: (06159) 71-2785 E-Mail: presse@gsi.de; Internet: www.gsi.de	
<b>Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH</b> Glienicker Straße 100, 14109 Berlin Telefon: (030) 8062-0; Telefax: (030) 8062-2181 E-Mail: robertson@hmi.de; Internet: www.hmi.de	
<b>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (assoziiertes Mitglied)</b> Boltzmann-Straße 2, 85748 Garching Telefon: (089) 3299-01; Telefax: (089) 3299-2200 E-Mail: info@ipp.mpg.de; Internet: www.ipp.mpg.de	
<b>Stiftung Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin, Berlin-Buch</b> 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	
<b>Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH</b> Permoser Straße 15, 04318 Leipzig Telefon: (0341) 235-0; Telefax: (0341) 235-2791 E-Mail: boehme@gf.ufz.de; Internet: www.ufz.de	

Jahresheft 2003

