

20 7361/1

Baumeister in der Welt der kleinsten Teilchen Die Forschungslandschaft Bio- und Nanotechnologie
Feinfühilige Meisterwerke Rastersondenmikroskope sind die wichtigsten Werkzeuge für Nanoforscher
Die Vermessung des Himmels Deutsches Museum Bonn: Wilhelm Argelander und sein astronomisches Erbe

KULTUR & TECHNIK



Die Zukunft ist nano

Das Deutsche Museum präsentiert modernste Technologie und Forschung in einer neuen Dauerausstellung.

Inhalt

Die Zukunft ist nano

Thema

- 4** **Ein Forum für die Zukunft**
Das Zentrum Neue Technologien ist eröffnet
- 8** **Probieren geht über Studieren**
Labore im Zentrum Neue Technologien
- 14** **Erlebnisraum Forschung**
Im Gespräch mit Ausstellungsgestalter Stefan Haslbeck
Andrea Bistrich
- 16** **Baumeister in der Welt der kleinsten Teilchen**
Die Forschungslandschaft in Deutschland
Petra Scheller
- 22** **»Ois is nano«**
Auf den Spuren eines omnipräsenten Begriffs
Christian Kehrt, Peter Schüßler

- 25** **Lichtspiele**
Porträt Theodor Hänsch
Daniel Schnorbusch

Magazin

- 27** **Netzwerk für Wissenschaft**
Die Partner im Zentrum Neue Technologien
- 32** **Feinfühlig Meisterwerke**
Rastersondenmikroskope
Caroline Zörlein
- 40** **Zerbrechliche Kostbarkeiten**
Die historischen Laborgläser
Susanne Rehn
- 45** **Der Geschichte Flügel verleihen**
Das Dornier Museum
Beatrix Dargel
- 46** **Süßes für Elise**
Eine kurze Geschichte des Nürnberger Lebkuchens
Manfred Vasold

- 48** **Die Vermessung des Himmels**
Eine Ausstellung im Deutschen Museum Bonn
Ralph Burmester, Jörg Bradenahl

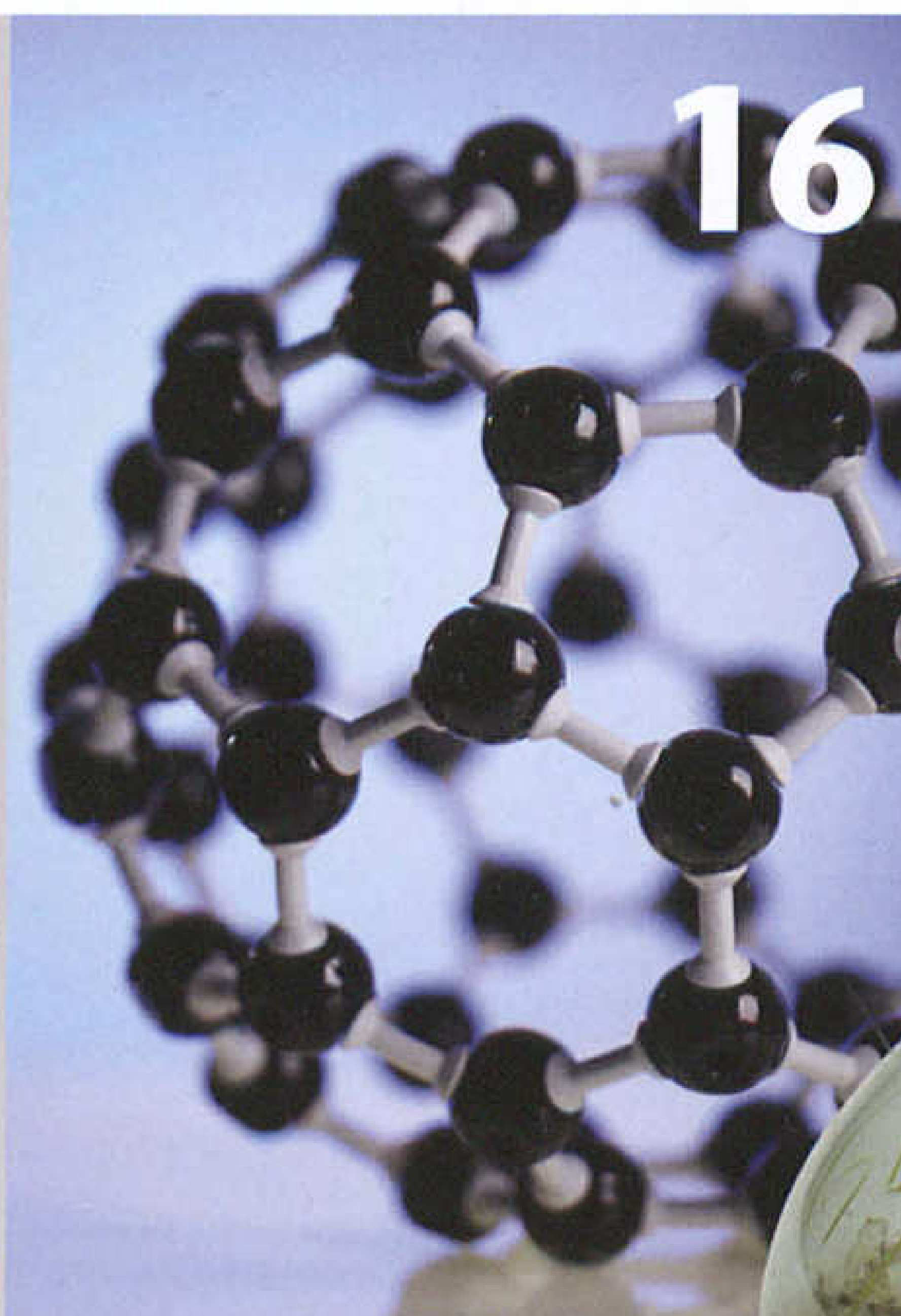
- 52** **Der verachtete Codeknacker**
Alan Turing (1912–1954)
Markus Thierbach

Rubriken

- 36** **MikroMakro**
Die Seiten für junge Leser
- 57** **Deutsches Museum intern**
- 61** **Neues aus dem Freundes- und Förderkreis**
- 62** **Termine**
- 64** **Schlusspunkt**
- 66** **Vorschau, Impressum**

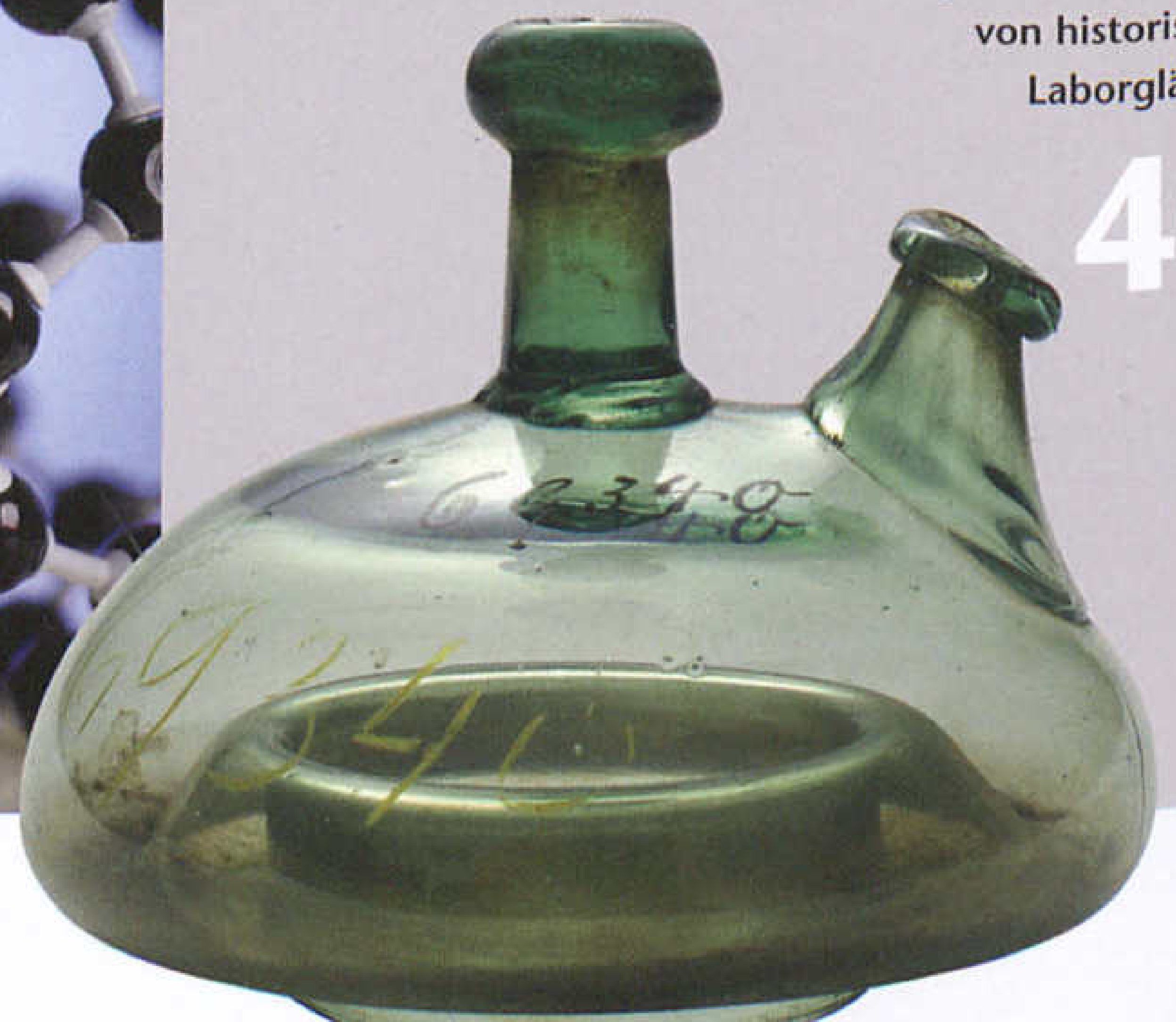


Das Deutsche Museum hat eine neue, weltweit einzigartige Dauerausstellung zu Bio- und Nanotechnologie eröffnet.



Nano boomt: Die Bundesregierung fördert in sämtlichen naturwissenschaftlichen Disziplinen die Forschung im Nanobereich.

Zum Bestand des Deutschen Museums gehören Hunderte von historischen Laborgläsern.



LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

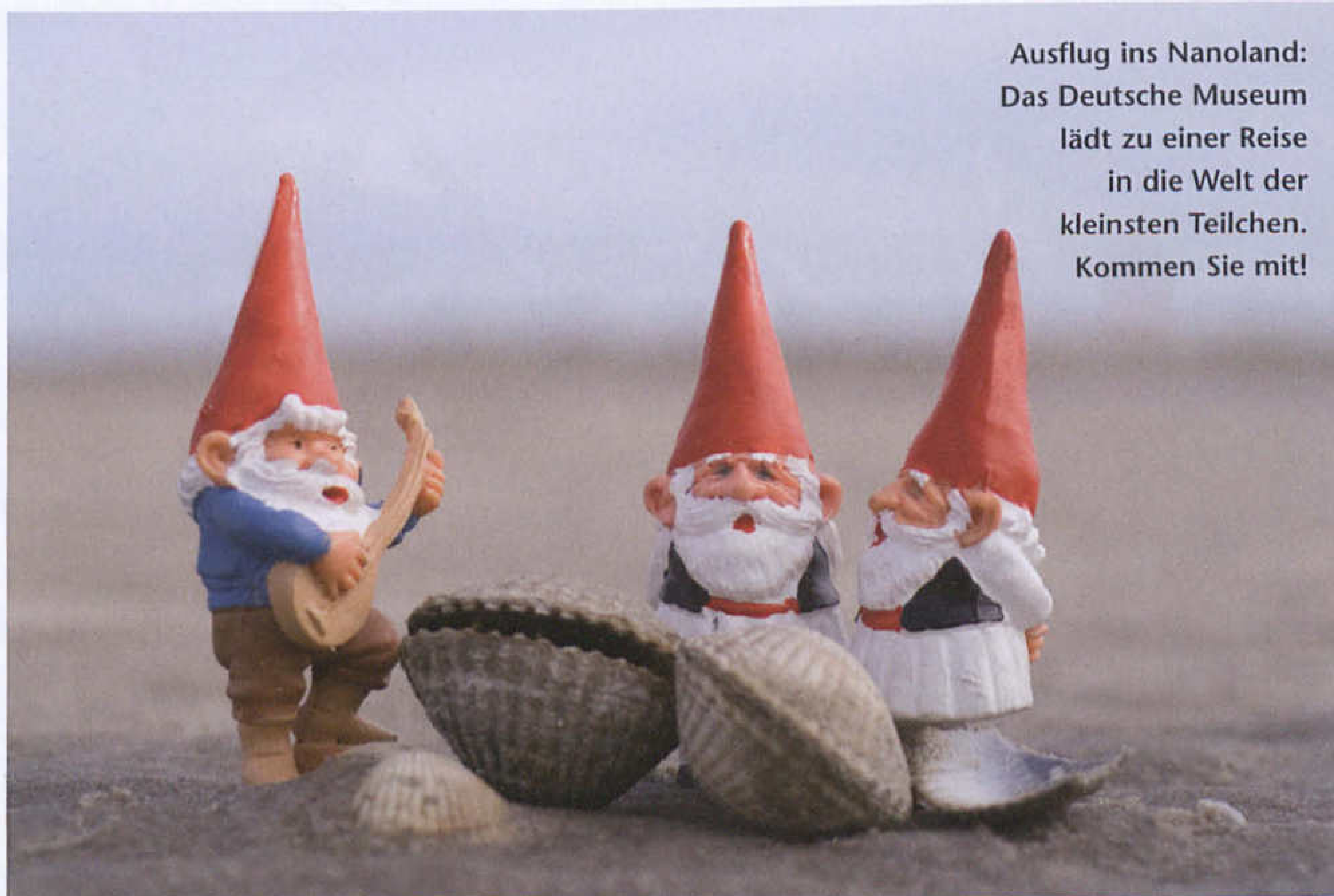
»Wird's besser? Wird's schlimmer?«
fragt man alljährlich. Seien wir ehrlich:
Leben ist immer lebensgefährlich.

Das um Neujahr herum gern zitierte Verslein von Erich Kästner (1899–1974) sollten wir Journalisten uns an den Computer heften: Sind wir doch oft allzu schnell bereit, Ereignisse, Erkenntnisse oder Erfindungen über den grünen Klee zu loben oder aber in Grund und Boden zu verdammen. Nano ist das aktuellste Thema, zu dem unsereins sowohl Euphorisches als auch Horrorszenarien einfallen.

Wie gut, dass es Einrichtungen wie das Deutsche Museum gibt. Denn vor dem Urteil steht das Wissen, und in der neuen Ausstellung in der umgebauten Eisenbahnhalle können sich nun alle informieren, die ernsthaft an neuen Technologien und der Zukunft unserer Welt interessiert sind.

Es ist ein komplexes, ein schwieriges Thema, an das sich die Museumsmacher herangewagt haben. Und als ob die Thematik nicht schon sperrig genug wäre: Nano ist in der Öffentlichkeit durchaus emotional besetzt. Während sich die einen die Lösung aller unserer Probleme erhoffen, befürchten die anderen den Untergang der Menschheit.

»Wird's besser? Wird's schlimmer?« Besuchen Sie die neue Ausstellung im Zentrum Neue Technologien. Aber nehmen Sie sich viel Zeit dafür! Diese Präsentation eignet sich ganz und gar nicht zum raschen Durchlaufen. An jeder einzelnen Station warten zahlreiche Hintergrundinformationen auf Sie. Anschließend besuchen Sie noch die jungen Wissenschaftler im Gläsernen Forscherlabor auf der Galerie und lassen sich von ihnen ihre Arbeit mit dem Rasterkraftmikroskop erläutern. Mag sein, dass Sie nach diesem Ausflug in Münchens Wissensparadies neu urteilen. Sicherlich werden Sie danach gut informiert über das Thema diskutieren können.



Ausflug ins Nanoland:
Das Deutsche Museum
lädt zu einer Reise
in die Welt der
kleinsten Teilchen.
Kommen Sie mit!

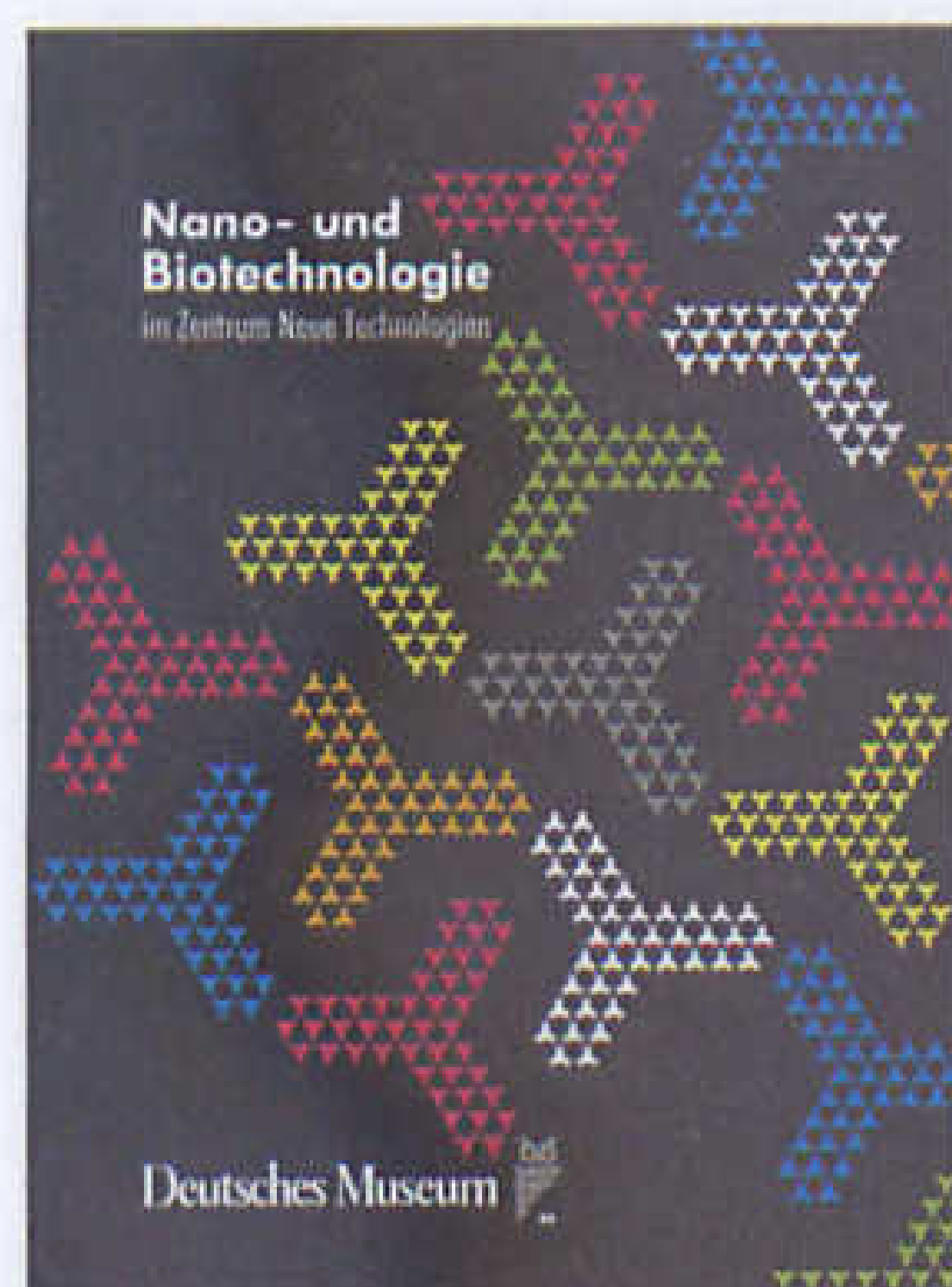
Hat Ihnen die Ausstellung gefallen? Wie bewerten Sie – nach dem Besuch – die Chancen und Risiken von Nanotechnologie? Schreiben Sie uns! Unter allen Einsendern verlosen wir drei Exemplare des aktuellen Ausstellungsführers »Zentrum Neue Technologien« mit persönlicher Widmung von Generaldirektor Wolfgang M. Heckl.

Mit herzlichen Grüßen
Ihre Sabrina Landes

Senden Sie Ihre Zuschriften bitte per
Mail an: kute@folio-muc.de

Oder per Post an:
Sabrina Landes
Kultur & Technik Redaktion
Gistlstraße 63
82049 Pullach

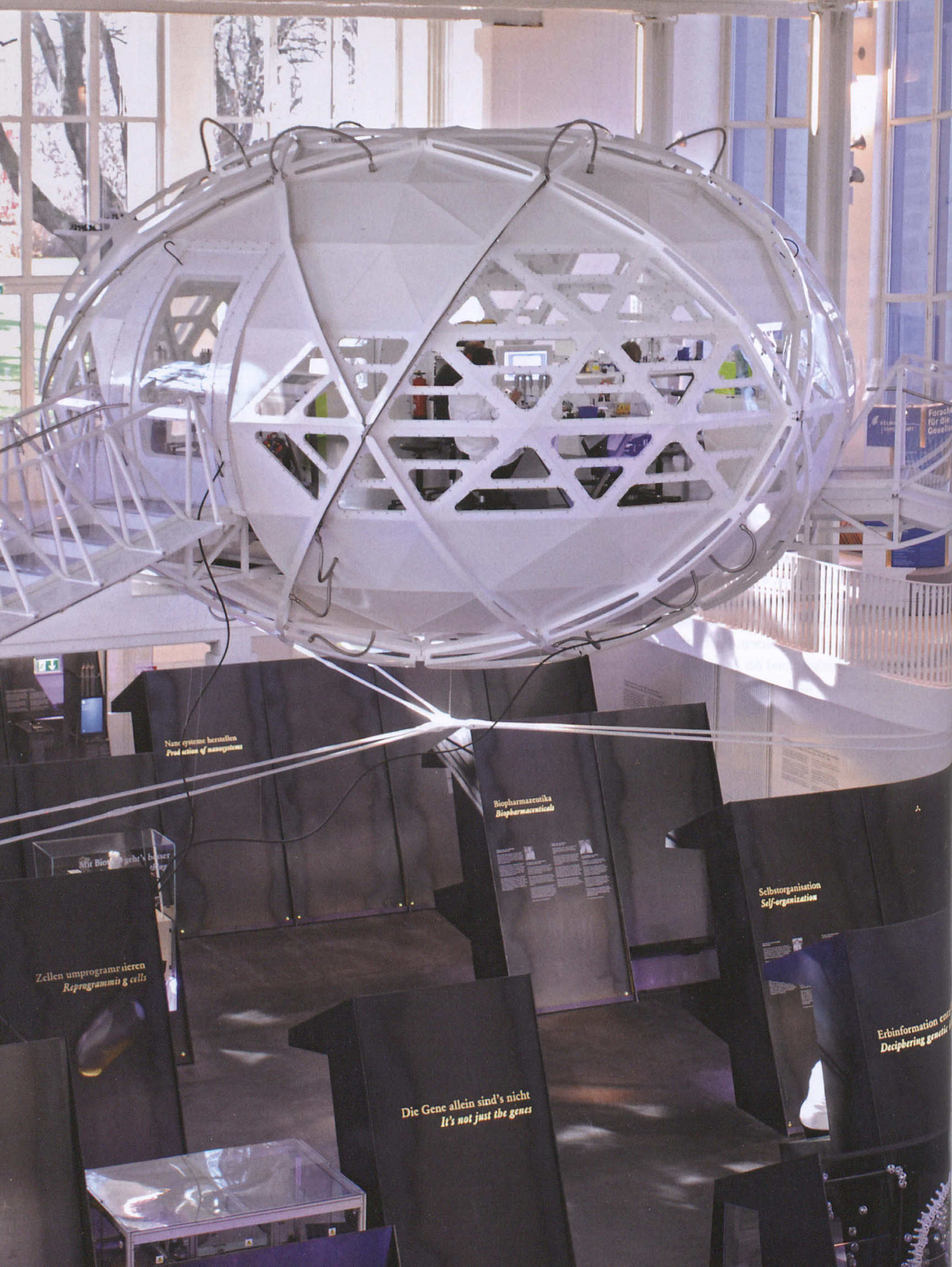
(Die Redaktion behält sich den Abdruck und die Kürzung von Leserzuschriften vor.)



Das reich bebilderte Begleitbuch zur Ausstellung erklärt die historischen, wissenschaftlichen und technischen Hintergründe von Forschung und Anwendungen im Nanobereich. Auf der beiliegenden Audio-CD finden Sie die Beiträge der Audiostationen »Nachgedacht« und »Zweite Schöpfung«.

NANO- UND BIOTECHNOLOGIE IM ZENTRUM NEUE TECHNOLOGIEN

Florian Breitsameter, Birte Hauser, Walter Hauser, Lorenz Kampschulte (Hrsg.), Deutsches Museum, München 2009,
ISBN 978-940396-08-2, 12 Euro



Nano systeme herstellen
Production of nanosystems

Biopharmazeutika
Biopharmaceuticals

Selbstorganisation
Self-organization

Zellen umprogrammieren
Reprogramming cells

Die Gene allein sind's nicht
It's not just the genes

Erbinformation entschlüsseln
Deciphering genetic information

Ein Forum für die Zukunft

Was ist Nanotechnologie? Mit welchen Themen befassen sich Biotechnologen und Nanowissenschaftler? Wie werden die Erkenntnisse dieser Forschungen unser Leben künftig beeinflussen? Das Zentrum Neue Technologien bietet eine Plattform zum interaktiven Lernen, zum Mitmachen und Verstehen sowie zur Auseinandersetzung mit den Zukunftswissenschaften.

Willkommen in der Gegenwart unserer Zukunft!« Mit diesen Worten eröffnete Bundespräsident Horst Köhler am 19. November 2009 das Zentrum Neue Technologien im Deutschen Museum. Ein gutes Jahr lang wurde die ehemalige Eisenbahnhalde umgebaut. Nun werden hier auf über 2.400 Quadratmetern Nano- und Biotechnologie präsentiert: als die Schlüsseltechnologien künftiger Generationen.

»Was für Oskar von Miller vor 106 Jahren die Elektromotoren waren, sind für uns heute die Nanomotoren«, erläuterte Generaldirektor Wolfgang M. Heckl am Eröffnungstag den Gästen. »Mit unserer neuen Ausstellung zur Bio- und Nanotechnologie zeigen wir, wie Wissenschaft und Technik unser Leben verändern werden, positiv wie negativ.«

Mag auch der Begriff umstritten sein (siehe Beitrag Seite 22-24), eines ist jedoch sicher: Die Eroberung der Nanowelt wird das Leben kommender Generationen ähnlich tief greifend verändern wie die Erfindung des Buchdrucks (15. Jh.), die Einführung mechanischer Webstühle (18. Jh.) oder die Entwicklung der Dampfmaschine (19. Jh.).


Aus diesem Grund will die neue Ausstellung mehr bieten als Wissensvermittlung und Präsentation eindrucksvoller Objekte. Beim Betreten des Raumes steht man zunächst vor einem offenen Forum. Hier wird künftig der Dialog über neueste Naturwissenschaft und Technik geführt werden. Nicht um die kritiklose Feier technischer Machbarkeiten geht es, sondern um den Dialog zwischen allen gesellschaftlichen Gruppen, die auf Basis fundierten Wissens über den Stand der Nanoforschung und -technik miteinander ins Ge-

»Über neue Technologien kann weise nur urteilen, wer sich kundig macht. Dazu lädt das Zentrum Neue Technologien ein.« Bundespräsident Horst Köhler



Generaldirektor Wolfgang M. Heckl erläutert ein DNA-Modell. (v.l.n.r.: Parlamentarischer Staatssekretär Thomas Rachel, Wissenschaftsminister Wolfgang Heubisch, Bundespräsident Horst Köhler und Ministerpräsident Horst Seehofer)

spräch kommen sollen. Dabei wird es auch um gesellschaftliche Fragen gehen: Wie stark wird Nano- und Biotechnologie unser Leben künftig durchdringen? Welche Entwicklungen sind wünschenswert, welche nicht? »Hier im ZNT sollen Wissenschaft und Öffentlichkeit künftig darüber sprechen, was wir von den neuen Technologien zu erwarten haben. Wir brauchen eine umfassende Debatte über die Chancen und die Risiken dieser Forschungen – nicht nur hier im ZNT, sondern gewis-



Nano ist überall *Nano is all around*

EIN KOMPETENTES NETZWERK

Um das Zentrum Neue Technologien auch von fachlicher Seite auf eine dauerhafte Grundlage zu stellen, hat sich das Deutsche Museum für das Projekt hochrangige Partner gesucht: Das größte Biotech-Unternehmen Amgen ist Gründungspartner des Zentrums Neue Technologien. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung begleitet das Museum im Rahmen der Hightech-Strategie für Deutschland. Die drei großen Wissenschaftsorganisationen Fraunhofer-Gesellschaft, Helmholtz-Gemeinschaft und Max-Planck-Gesellschaft sind die Wissenschaftspartner des Projekts im Deutschen Museum. Das Deutsche Museum ist Mitglied in der Leibniz-Gemeinschaft. Durch die enge Zusammenarbeit des Deutschen Museums mit der Technischen Universität München wird auch die Forschung im Rahmen der Exzellenzinitiative Deutschland in die Ausstellung eingebracht.

sermaßen als »Megalog« in der ganzen Gesellschaft: in den Hochschulen ebenso wie in den Parlamenten, in Forschungslaboren ebenso wie auf Wissenschaftssommern, in den Fachzeitschriften ebenso wie in den Feuilletons«, skizzierte Horst Köhler die künftige Aufgabe des ZNT.

ARGUMENTE FÜR ANTWORTEN. Die Ausstellung selbst spannt einen großen Bogen von den Grundlagen bis hin zu den neuesten Anwendungen der Nano- und Biotechnologie. Sie stellt zur Diskussion, was sich gegenwärtig noch in der Forschung und Entwicklung befindet und was die Gesellschaft in Zukunft erwarten könnte. An einigen Stationen finden sich fachlich tiefergehende Exkurse zu besonders interessanten Themen.

Im ZNT lernen Besucher nicht nur Ergebnisse und Anwendungen der neuen Technologien kennen, sondern auch den eigentlichen Forschungsprozess, der dahintersteckt. Zu den gesellschaftspolitischen Fragen, die sich hier stellen – und oft genug bis in die Anwendung der Technologien fortsetzen –, gibt es häufig keine eindeutigen Antworten. An Medienstationen werden deshalb die unterschiedlichen Sichtweisen aufgezeigt.

Eine Herausforderung für das Kuratorenteam um Leiter Lorenz Kampschulte (Sabine Gerber, Birte Hauser, Walter Hauser und Florian Breitsameter) war es, die verborgenen Phänomene und Prozesse der Nano- und Biotechnologie zu zeigen, die oft nur indirekt oder über Spezialmikroskope sichtbar gemacht werden können. Multimediale Einheiten und ungewöhnliche Modelle veranschaulichen die komplexe Thematik.

Rund um die Dauerausstellung zur Nano- und Biotechnologie gruppieren sich Präsentationen der Partner aus Industrie, Wissenschaft und Forschung, ein Veranstaltungsforum, Sonderausstellungen zu neuen Materialien, Robotik und Wellenkraftwerken sowie ein Café. Die Besucher können in verschiedenen Laboratorien nicht nur selbst Experimente durchführen, sondern auch Forschern bei ihrer Arbeit live über die Schulter schauen.

Neben Fachvorträgen, Diskussionsrunden und Liveübertragungen aus Laboren der

Münchener Universitäten und der Partner des ZNT, finden im Veranstaltungsforum auch Bürgerdialogtage statt: Dialoge mit den Akteuren aus Forschung und Entwicklung, die naturgemäß auch kontroverse Fragen aufwerfen.

Generaldirektor Wolfgang M. Heckl erklärte bei der Eröffnung den Beweggrund dieses ehrgeizigen Unternehmens: »Ein Ausloten der Chancen und Risiken von neuen Technologien kann in einer demokratischen Gesellschaft nur durch die aktive Beteiligung aller Bürger gelingen. Es liegt daher in der Verantwortung des Deutschen Museums, allen gesellschaftlichen Gruppen eine Plattform zu bieten, um sich gründliche wissenschaftliche Informationen zu diesen Themen aneignen zu können.« ■■

Sabrina Landes



Das rundum zu betrachtende Aktin-Myosin-Modell zeigt die Vorgänge bei der Muskelkontraktion auf der molekularen Ebene: Das Geheimnis jeder Muskelbewegung ist das Zusammenspiel winziger, fadenförmiger Proteine: Aktin und Myosin. Ihre Energie bekommen diese Proteine durch ein besonderes Molekül, das Adenosintri-phosphat (ATP). Das Modell veranschaulicht die Funktionsweise dieser molekularen Maschine.



Labore im Zentrum Neue Technologien

Probieren geht über Studieren

Das Zentrum Neue Technologien stellt nicht nur neueste Ergebnisse der Wissenschaft vor, es vermittelt mit seinem Gläsernen Forscherlabor, dem DNA-Besucherlabor und dem TUMLab auch Einblicke in den Forschungsprozess.



Das Gläserne Forscherlabor ...

... bringt realen Forschungsalltag ins Museum. Hier können Besucher Nachwuchswissenschaftlern bei ihrer Arbeit über die Schulter schauen. Den Forschern stehen im Labor Rastersondenmikroskope und andere notwendige Instrumente für ihre Arbeiten zur Verfügung. Die Besucher erleben mit, wie man für das bloße Auge nicht wahrnehmbare Nanostrukturen als Bilder sichtbar macht. Das Deutsche Museum ermöglicht mit dieser Einrichtung den sonst schwierigen Kontakt zu den Forschern. Die Besucher sind eingeladen, den Wissenschaftlern Fragen zu stellen und mit ihnen aktuelle Themen zu diskutieren: von Chancen und Risiken der Nanotechnologie bis hin zur anstehenden Berufswahl von Jugendlichen. Schüler und Studierende können auch selbst im Nanolabor mitforschen. Im Rahmen des EU-Projekts »NanoToTouch« wird dieses weltweit einmalige Konzept in verschiedenen anderen europäischen Museen und Science-Centern umgesetzt.

Vor den Augen der Besucher führt die Wissenschaftlerin ihre Untersuchungen mit einem Rastertunnelmikroskop (kleines Bild) durch. Sie erläutert, wie sich organische Halbleitermoleküle auf einer Kristalloberfläche zu Nanostrukturen verbinden.

»ICH HÄTTE NICHT GEDACHT, DASS FORSCHEN SO VIEL SPASS MACHEN KANN!«

Kevin Shahbazi studiert Nanotechnik an der Universität Waterloo, Kanada. Während eines Besuchs im Deutschen Museum ist er auf das Gläserne Forscherlabor aufmerksam geworden. Durch sein Studienfach und auch seine Freude an der Kommunikation mit Menschen kam ihm der Gedanke, im Forscherlabor sein Studienpraktikum zu absolvieren.

Welche Erwartungen hatten Sie an Ihre Arbeit im Gläsernen Labor?

Vom Praktikum hatte ich mir erhofft, eine aktive Rolle in Projekten zu haben, also direkt in die Forschung miteinbezogen zu werden und so auch etwas über die Bildung von Nanostrukturen zu lernen. Wichtig war mir dabei auch das soziale Umfeld, in dem ich Deutsch lernen konnte.

Ist es wirklich möglich, umgeben von Besuchern in Ruhe zu forschen?

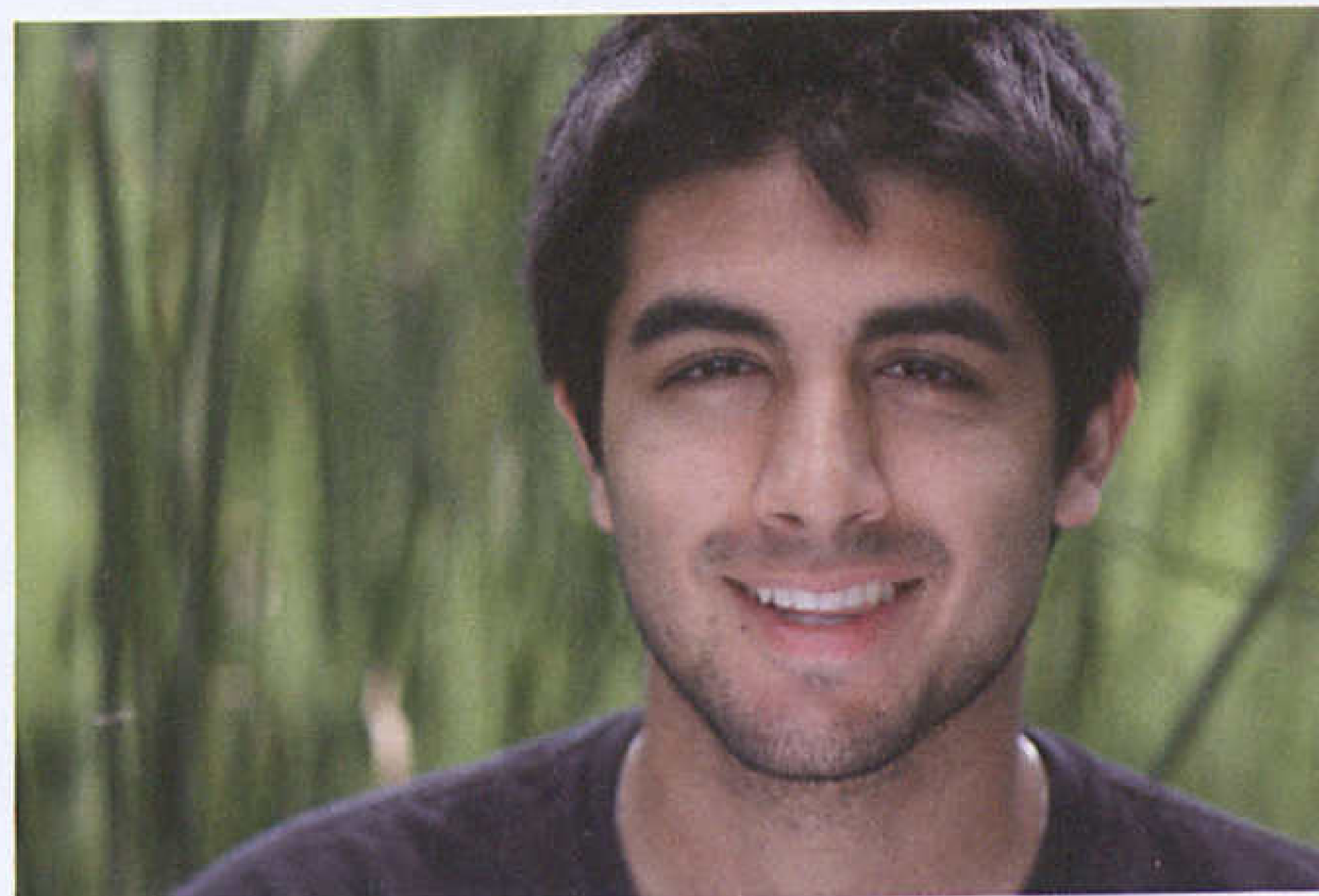
Die meisten Besucher respektierten es, wenn ich sehr konzentriert an etwas gearbeitet habe. Sie waren dann meist zurückhaltend, sodass ich in wichtigen Phasen eines Experiments gut vorankam. Doch für jemanden wie mich, der gerne mit Leuten in Kontakt kommt, waren Fragen der Besucher oder Vorführungen auch eine willkommene Gelegenheit, zwischendurch eine Pause zu machen und dabei meine Aufmerksamkeit auf einen ganz anderen Aspekt des Arbeitens zu lenken, der mir ebenso viel Freude macht.

Geht die Kommunikation eher von den Besuchern aus oder ist es wichtig, dass der Forscher das Gespräch einleitet?

Vor allem bei Gruppenführungen und Schulklassen geht die Kommunikation meist von den Besuchern aus. Wenn einzelne Besucher kommen, ist es wichtig, bei der Arbeit im Gläsernen Labor auch einen Blick für die Besucher zu haben, wenn sie nicht von sich aus Fragen stellen: Wollen sie angesprochen werden oder einfach nur beobachten? Sind sie möglicherweise zu scheu, eine Unterhaltung zu beginnen, oder haben sie einfach kein Interesse?

Welchen Stellenwert hatte die Wissenschaftsvermittlung vor und nach Ihrer Arbeit im Gläsernen Labor für Sie?

Vor meinem Praktikum hatte ich überhaupt nicht realisiert, wie viel Aufwand in Wissenschaftsvermittlung gesteckt wird und warum das so wichtig ist. Durch mein Praktikum habe ich gemerkt, dass Öffentlichkeitsarbeit in der Wissenschaft sehr wichtig ist. Ein Technikmuseum hat ganz andere Möglichkeiten, das Interesse an Forschung und Wissenschaft zu entfachen, als die Schule.



Wie haben Sie Ihre wissenschaftliche Arbeit im Labor den Besuchern erklärt?

Zur Vereinfachung verwendete ich eine Analogie zwischen Molekülen und Legobausteinen: Ich erklärte, dass wir mithilfe geeigneter Messinstrumente beobachten können und verstehen wollen, wie sich sehr kleine Bausteine (Moleküle) auf der Nanoskala ganz von selbst zu größeren Strukturen zusammenbauen.

Was hat Ihnen der direkte Kontakt mit den Besuchern gebracht?

Ich habe vieles gelernt: Beispielsweise, dass zu viele Details Besucher verwirren können und man daher nicht ohne triftigen Grund abschweifen sollte. Erklärungen, Vorträge und Führungen müssen gut gegliedert sein, und man darf dabei nicht ohne Pause auf die Besucher einreden. Viele Besucher schätzen es, während eines Vortrags Fragen stellen oder Kommentare einbringen zu können. Etliche wünschen sich auch eine aktive Rolle bei vorgeführten Experimenten zu haben. Wissensvermittlung erfordert ein großes Maß an Improvisationstalent sowie die Fähigkeit, die Zuhörerschaft einzuschätzen.

Hat sich Ihr Blick auf die Forschung generell verändert?

Um ehrlich zu sein: Ich hätte nie gedacht das Forschen so viel Spaß machen kann. Ich denke, der Schlüssel dazu ist, möglichst wählerisch zu sein und sich ein Forschungsgebiet auszusuchen, das einen wirklich interessiert. Es ist übrigens auch gar nicht leicht, ein Team zu finden, in dem eine vertrauensvolle Atmosphäre herrscht und in dem man eigenverantwortlich arbeiten kann. Im Gläsernen Forscherlabor ist genau das der Fall und man hat viele Möglichkeiten, sich kreativ zu entfalten.

Gläsernes Forscherlabor

Führungen: Montag, Mittwoch, Freitag 14 Uhr

Ansprechpartner: Dr. Frank Trixler

Tel. 089/2179-280

f.trixler@deutsches-museum.de

www.nano.geo.uni-muenchen.de/SW

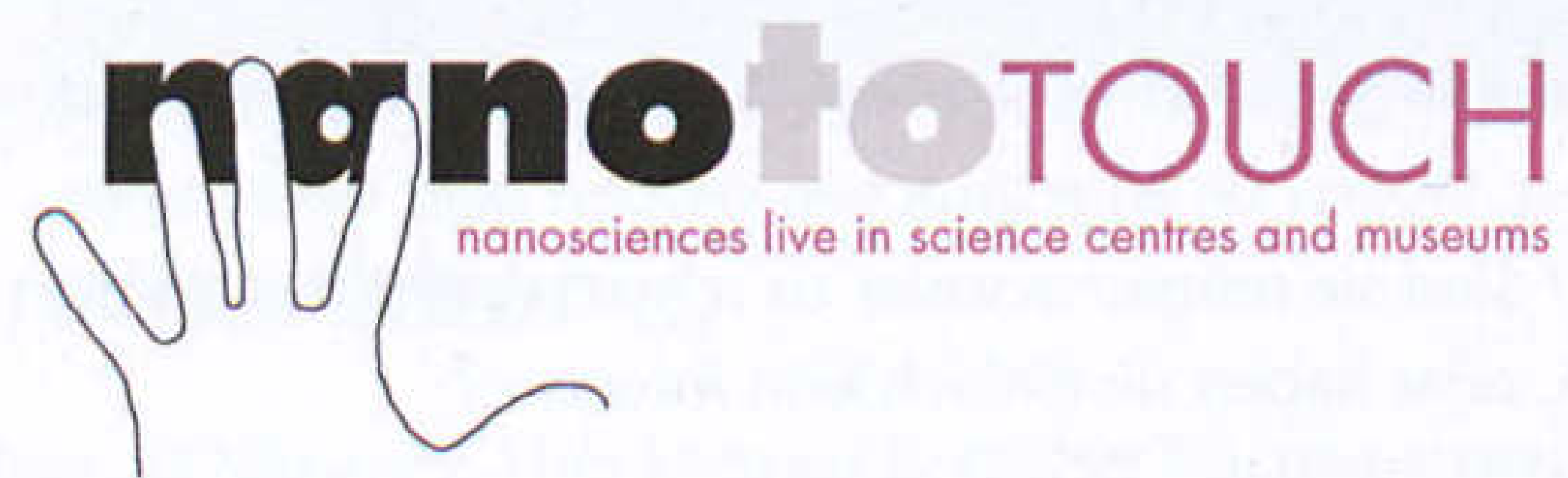


Dr. Birte Hauser (Mitte hinten) erläutert die Arbeit im DNA-Besucherlabor.

Forschen im DNA-Besucherlabor

Unter Anleitung junger Nachwuchswissenschaftler darf im DNA-Besucherlabor jeder selbst Versuche durchführen und mit Laborgeräten aus der Molekularbiologie umgehen. Dabei kann man nicht nur die alltägliche Arbeit der Forscher im Labor nachvollziehen, sondern erfährt auch Wissenswertes zur Zellbiologie, Vererbung und Gentechnik. Die Teilnehmer können zum Beispiel anhand genetischer Fingerabdrücke ein fiktives Verbrechen aufklären, indem sie DNA-Proben vom Tatort und von den Verdächtigen bearbeiten und miteinander vergleichen. Durch die Unterstützung der Deutschen Telekom Stiftung und des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit konnte das Kursprogramm weiter ausgebaut und das DNA-Besucherlabor an den neuen Standort in das UFO mitten im ZNT verlegt werden. Das Programm richtet sich an alle Interessierten ab der 9. Klasse und dient auch zu Lehrerfortbildungen.

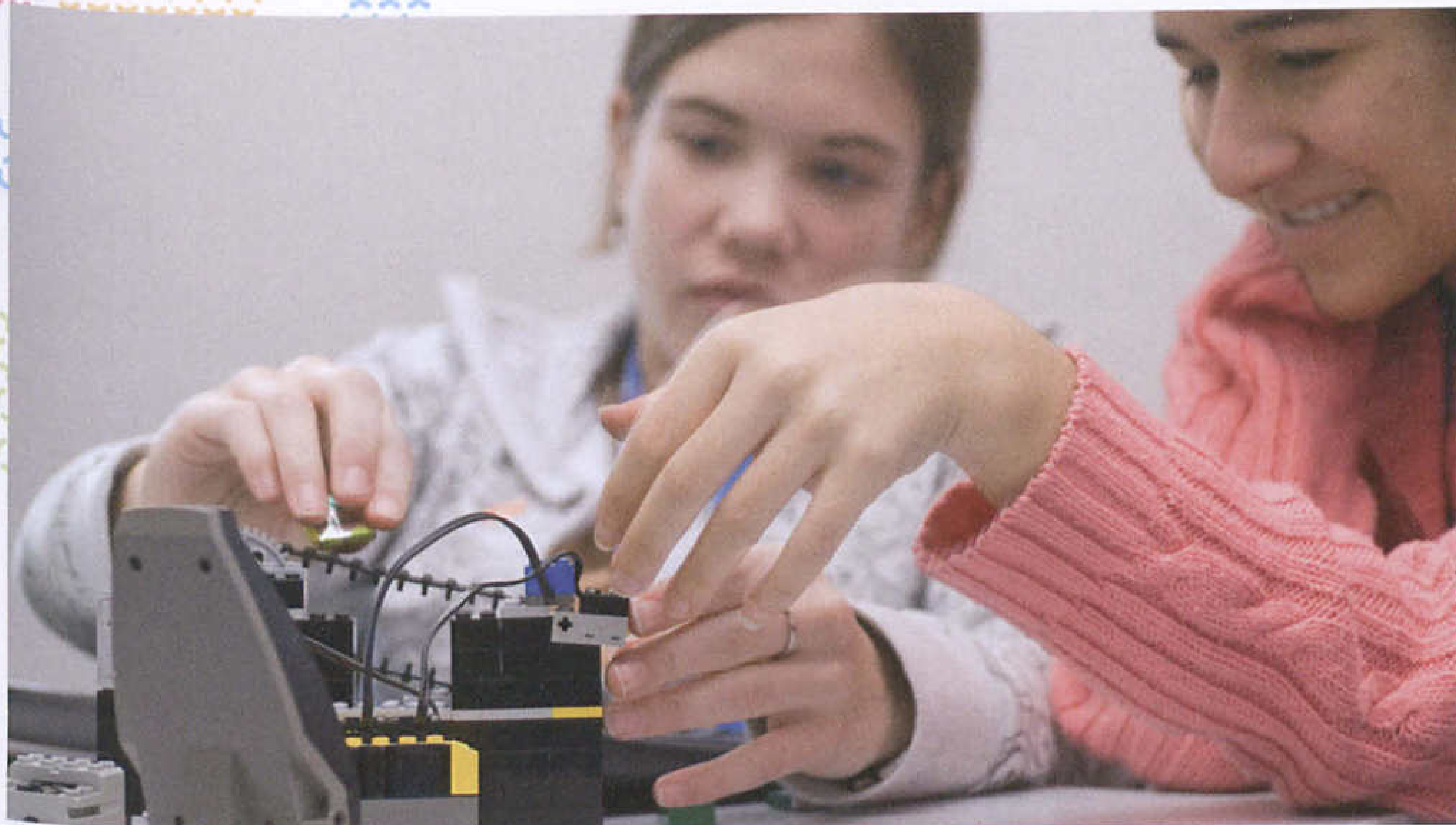
DNA-Besucherlabor
 Ansprechpartnerin: Dr. Birte Hauser
 Tel. 089/2179-547
 b.hauser@deutsches-museum.de



NanoToTouch

Basierend auf den Erfahrungen und dem Erfolg des Gläsernen Forscherlabors hat das Deutsche Museum zum ersten Mal in seiner Geschichte die Leitung eines EU-Projekts übernommen. Unter dem Namen »NanoToTouch« präsentieren Wissenschaftler seit Anfang 2010 in insgesamt sechs Kooperationen von Universität und Museum ihre Arbeit in der Öffentlichkeit. Doktoranden und Studenten in Mailand, Göteborg und München betreiben mitten in den Museen in speziell eingerichteten Laboren ihre Forschung auf dem Gebiet der Nanowissenschaften. Zugleich berichten junge Forscher aus Neapel, Mechelen und Tartu öffentlich in den dortigen Science-Centern von ihren Erfahrungen und Ergebnissen in den Laboren. In fünf Ländern Europas können also Besucher die tägliche Arbeit eines Forschers live erleben und direkt ins Gespräch kommen.

NanoToTouch
 März 2009 – August 2011
 Ansprechpartner: Paul Hix
 Tel. 089/2179-536
 p.hix@deutsches-museum.de
 www.nanototouch.org



Experimentieren im TUMlab

Auch im TUMlab, dem Schüler- und Lehrerlabor der Technischen Universität München im Deutschen Museum, geht es darum, eigenständig zu experimentieren. Wie wird ein Roboter gebaut und programmiert? Wo befindet sich welcher Stern am Himmel? Wie sehen Töne aus? Im Robotikkurs bauen die Jugendlichen selbstständig Roboter aus Lego zusammen und lernen, diese zu programmieren. In den Astronomiekursen können die Schülerinnen und Schüler Teleskope bauen, am Computerplanetarium lernen, wie sie sich am Sternenhimmel orientieren oder Fotos des Weltraumteleskops Hubble bearbeiten. Weitere Angebote beschäftigen sich z. B. mit Automatisierungstechnik, mit Chemie oder Musik und Physik. Die Kurse werden von Studierenden und Wissenschaftlern betreut und für Kinder und Jugendliche ab zehn Jahren angeboten. Auch für Lehrerfortbildungen steht das TUMlab zur Verfügung.

time for nano

time for nano

Jugendliche auf das Thema Nanotechnologie ansprechen – das ist das Ziel des EU-Projekts »time for nano«. Unter der Koordination vom Città della Scienza in Neapel veranstalten Partnermuseen in neun Ländern Europas »NanoDays«, die den Einstieg in dieses Thema bieten sollen. Zudem ist im Projekt ein Experimentierkoffer für Schulen entwickelt worden, das »NanoKit«. Mit diesem können Lehrer und Schüler verschiedene Nanophänomene spielerisch erkunden. Außerdem wird ein Internetwettbewerb organisiert, bei dem Jugendliche mit Kurzfilmen zur Nanotechnologie einen Hauptpreis von 700 Euro gewinnen können. In diesem bis Juli 2011 laufenden Projekt arbeitet das Deutsche Museum eng mit Partnerschulen aus dem Münchner Raum zusammen.

Im gesamten Projekt wird besonders Wert darauf gelegt, unter den Jugendlichen einen Dialog über fünf sogenannte Nano-Dilemmata anzuregen. Beispielsweise werden wirtschaftliche und gesellschaftliche Folgen angesprochen, etwa ob die Schere zwischen Arm und Reich durch Nanotechnologie beeinflusst wird? Ebenso wird auf gesundheitliche Aspekte aufmerksam gemacht: Bringt der Einsatz von nanomedizinischen Therapien nur Vorteile? Was sind die Vor- und Nachteile von Nanotechnologie in unseren Lebensmitteln? Bis Mitte 2011 haben Jugendliche die Möglichkeit, sich über solche ethischen und sozialen Fragen zu informieren und zu diskutieren und am Internetwettbewerb teilzunehmen. Informationen über Termine und Teilnahmebedingungen finden Sie auf der Webseite.



Im TUMlab des Deutschen Museums können Schülerinnen und Schüler Roboter aus Legosteinen konstruieren.

TUMlab

Ansprechpartnerin:

Simone Hommrichhausen

Tel. 089/2179-558

kontakt@tumlab.de

www.tumlab.de

time for nano

Februar 2009 – Juli 2011

Ansprechpartner: Peter Schübler

Tel. 089/2179-545

p.schuessler@deutsches-museum.de

www.timefornano.eu

Auch die Wissenschaftler, die in der Forschungsneutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz im Forschungsreaktor in Garching arbeiten, machen ihre Experimente per Videokonferenz live erlebbar.



TUmlive-Videokonferenzen im ZNT

Wissenschaftler in ihrer authentischen Umgebung erleben und mit ihnen sprechen – ohne selbst vor Ort zu sein: Per Videokonferenzschaltung erzählen Forscher der TU München aus ihren Laboren heraus von ihrer täglichen Arbeit.

Bei einer der ersten Konferenzen, die in der Folge regelmäßig im Forum des ZNT stattfinden, können die Schüler Eddie kennenlernen – einen menschengroßen Roboter, der ein künftiger Helfer im Haushalt sein könnte. Wissenschaftler des Exzellenzclusters *Cognition for Technical Systems* führen den Roboter vor und erklären, warum etwas für uns so Einfaches wie das Öffnen einer Kühlschrankschranktür für Eddie schwierig sein kann. Die zentrale Frage ist: Wie können Menschen und Roboter zusammenarbeiten?

Die Jugendlichen können bei einer weiteren Konferenz einen Blick in die Forschungsneutronenquelle Heinz-Maier-Leibnitz, den FRM II in Garching, werfen und erleben, wie Proben live durchstrahlt werden. Das i-Tüpfelchen: Unter 18 Jahren ist der Zutritt nicht erlaubt – für die Schüler ergibt sich so eine einzigartige Gelegenheit, den FRM II kennenzulernen.

Ein anderes Mal können die Schüler einen Krimi verfolgen – mit der Massenspektrometrie, die auch in Serien wie CSI eingesetzt wird, werden Getränke analysiert. Danach wird man auch einige kleine »falsche« Tricks in den Fernsehserien erkennen können ...

Die Schulklassen können so drei Aspekte kombinieren: einen Besuch der neuen Ausstellung, das Erleben von Multimediatechnik und die Begegnung mit Wissenschaftlern, durch die die Schüler den Forschungsprozess und das Berufsfeld näher kennenlernen können.

Schreibwerkstatt: Science und Fiction im Museum

In der »Schreibwerkstatt Zukunftstechnologien« im Deutschen Museum können Jugendliche sich fantasiereich mit Naturwissenschaft und Technik beschäftigen. Schreibanlässe bieten die im Zentrum Neue Technologien gezeigten Exponate, Experimentier- und Dialogstationen zur Nano- und Biotechnologie. Nähere Informationen über das Angebot finden Sie auf Seite 67 in diesem Magazin. ■■



Ansprechpartnerin: Petra Scheller
Tel. 089/2179-435
p.scheller@deutsches-museum.de
www.deutsches-museum.de/
schreibwerkstatt

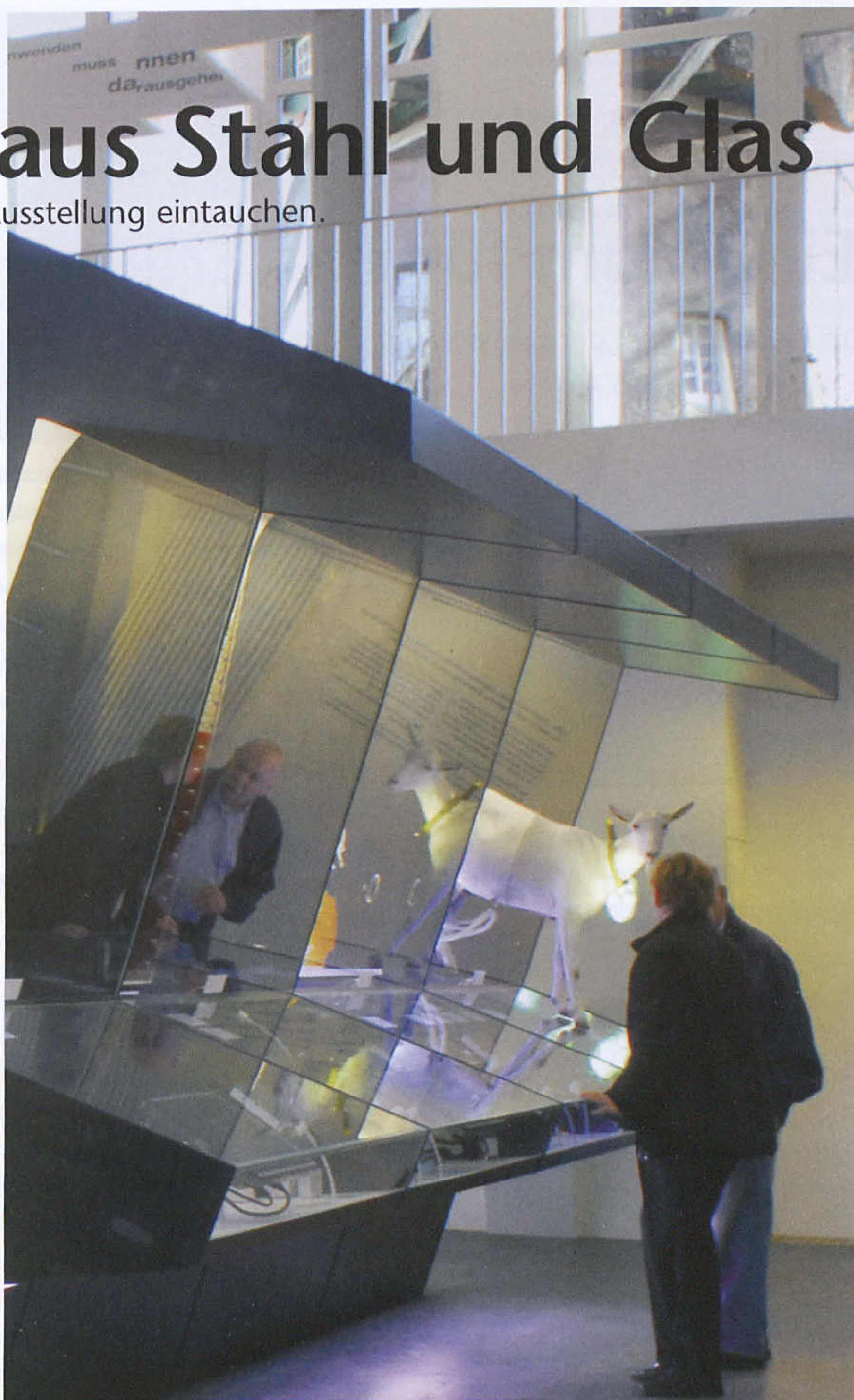
Schaubühne aus Stahl und Glas

Modernes Design lässt Besucher in die Ausstellung eintauchen.

gestaffelte Vitrinenreihen prägen den ersten Eindruck der ZNT-Ausstellung. Sichtbar sind zunächst nur Titel und Leitexponat. Anders als die bunten, grafisch großflächig bespielten Informationskulissen üblicher Wissenschaftsausstellungen setzt die Ausstellung auf pure Form und Materialität – eine Landschaft aus Glas und Stahl – als Schaubühne für Exponate. Diese können Reihe für Reihe entdeckt und im wahrsten Sinne des Wortes interaktiv »begriffen« werden: Erst nach Berührung des touchsensitiven Vitrinenglases erscheint die Erläuterung zum darunterliegenden Exponat auf einem Bildschirm, gegebenenfalls kann ein zusätzliches Bild, eine Animation oder ein Film aufgerufen werden. Gleichzeitig aktivierte Lichtspots setzen das Exponat zu anderen in Beziehung und ermuntern zu weiterer Erkundung. Die Vitrine wird zur »Benutzeroberfläche«.

Die gekippten, auf den Betrachter zukommenden Wände lassen die Besucher geradezu in die Exponatwelt der Laborinstrumente eintauchen. Die dazugehörigen Bildwelten der Wissenschaft – Mikroskopaufnahmen, Spektren, Punktemuster – werden, ihrem meist digitalen Ursprung entsprechend, einzeln auf Monitoren im Pultbereich präsentiert. Sie erhalten dadurch Exponatcharakter. Darunter finden sich Gegenstände aus der Alltagswelt, die in Bezug zu den dargestellten Forschungen stehen.

Die Vitrinenreihen gliedern sich nach dem Forschungsprozess: Die ersten Reihen zeigen, wie man die Dinge auf der Nanometerskala »sichtbar« macht, sie analysiert und Gesetzmäßigkeiten erkennt, bevor es in den hinteren Reihen um Methoden des gezielten Veränderns und die Produktion von Neuem geht. Nanochemie, Nanophysik und Molekularbiologie werden dabei, entsprechend ihrer je verschiedenen Methoden und Instrumente, in eigenen Segmenten behandelt. Im Zentrum der Ausstellung aber, direkt unter dem »Labor-UFO«, sind Nano- und Biotechnologie in einer Vision vereint: Dort stellt die Installation »Zweite Schöpfung« Forschungen zu sehr unterschiedlichen Formen künstlichen Lebens vor. ■■ Von Birte und Walter Hauser



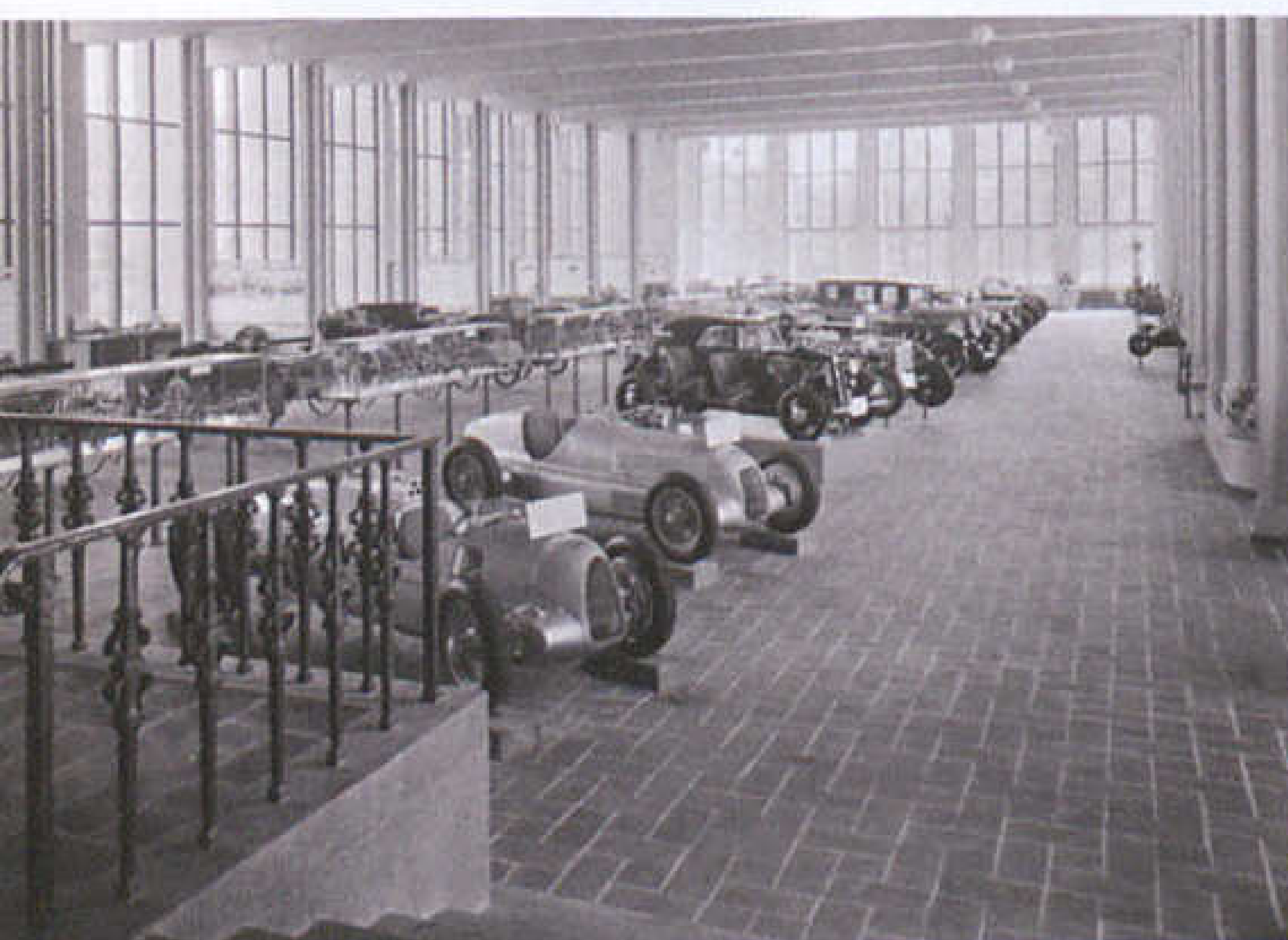
Die gekippten, auf die Betrachter zukommenden Wände lassen die Besucher geradezu in die Exponatwelt der Laborinstrumente eintauchen.

Ein Raum für das Erlebnis Forschung

Im Gespräch mit dem Ausstellungsgestalter Stefan Haslbeck



Stefan Haslbeck realisierte das Ausstellungsdesign für das Zentrum Neue Technologien.



Im Jahr 1937 standen noch Autos in der Halle. Das Untergeschoss wurde in den 60er-Jahren ausgegraben. Die Autos kamen in den Keller. Oben wurden Eisenbahnen gezeigt.



Am 19. November ist das Zentrum Neue Technologien eröffnet worden. Sie haben das Ausstellungsdesign realisiert. Welche Eindrücke erwarten den Besucher?

Der Besucher wird eine inszenierte Ausstellung vorfinden. Die Halle, in der jetzt das Zentrum Neue Technologien angesiedelt ist, war ursprünglich als Automobilhalle gedacht. Eine sehr klare Halle aus den 30er-Jahren – aber auch eine sehr schwere, sehr imposante Architektur. Sie wurde mehrfach überformt, rückgebaut und für die neuen Nutzungsanforderungen gestaltet. Aufgrund des alten Baubestandes hat es sich ergeben, dass sich die zentrale Ausstellungsfläche nun im Untergeschoss ansiedelt, weil die Erdgeschossdecke entnommen wurde. Und so schaut der Besucher vom Eingang im Erdgeschoss in die abgesenkte Ausstellungsfläche von etwa 700 Quadratmetern, wo in sehr konzentrierter Form die Dauerausstellung zum Thema Nanotechnologie präsentiert wird. Das ist der »klassische« Ausstellungsbereich, der sich unter anderem mit Biologie, Chemie, Physik und ihren Teilbereichen beschäftigt, und der inhaltlich wie auch gestalterisch einen sehr weiten Bogen spannt.

Welche weiteren Themenbereiche werden präsentiert?

Im Erdgeschoss befindet sich die umlaufende Galerie, die Raum für Themeninseln und Sonderausstellungen bietet. Eine große, vom Eingang abführende Treppe ist zugleich Forum für Veranstaltungen und kann bis zu 350 Personen aufnehmen. Dort werden verschiedene Veranstaltungen zu den neuen Technologien stattfinden: Vorträge, Theater und Diskussionen.

Integriert in das ZNT ist auch das Gläserne Forscherlabor, das vordem eher provisorisch in Räumen des Deutschen Museums untergebracht war. Es hat nun eine prominente Stelle auf der Galerie erhalten. Seine Einrichtung orientiert sich vom Gestalterischen her am DNA-Besucherlabor. Beide Labore gehören zum aktiven Forschungsbereich und der ist wiederum einer jener zu vermittelnden Schwerpunkte im ZNT: Es soll gezeigt werden, wie Forschung funktioniert, und dies haben wir gestalterisch erlebbar gemacht.

Als übergeordnetes Raumbild haben wir das DNA-Besucherlabor installiert, das unter dem Arbeitstitel »UFO« läuft. Es schwebt über der Ausstellung als eine Installation im Raum und wird sicherlich ein Icon für das ZNT werden. Das DNA-Besucherlabor war früher ein eher unscheinbarer, provisorisch abgetrennter Glasraum im Durchgang vor der Pharmazie. Nun ist es in den Mittelpunkt gerückt.

Wie sind Sie bei der Gestaltung der Ausstellung vorgegangen?

Zunächst geben die Kuratoren des Hauses die künftigen Inhalte der Ausstellung vor und damit eigentlich auch schon die Ausrichtung der Ausstellung: Was soll gezeigt werden und was wird die Aufgabe der Ausstellung sein? Als Gestalter versucht man dann ein Bild dazu zu entwickeln. Aufgrund der dominanten Halle ging es in diesem Fall darum, ein großes Raum- und Bühnenbild zu entwickeln. Ich benutze den Begriff »Bühnenbild« sehr gerne, weil daran die Aufgabe deutlich wird. Das Bühnenbild hat eine dienende Funktion, es will zum einen die Schauspieler, zum anderen das Thema unterstützen. Das ist in unserem Fall ganz ähnlich gelagert: Anhand des großen



Bildes soll eine Stimmung, eine Atmosphäre geschaffen werden. Gleichzeitig soll das Bühnenbild dabei helfen, die einzelnen Inhalte, Themen und Unterthemen aufzubereiten und zu »verpacken«. Die Ausstellung ZNT muss Menschen unterschiedlichster Bildungs- und Vorwissenstufen ansprechen – mit anderen Worten: Da ist alles drin.

Sie entwickeln für die Besucher und können nur hoffen, dass sie diese Ausstellung gut aufnehmen werden. Führen Sie vorab entsprechende Tests durch, um ganz sicher zu sein, dass Sie den »Geschmack« der Besucher auch tatsächlich treffen?

Wir diskutieren die mögliche Rezeption der Ausstellung im Team, können unsere Annahmen jedoch nicht eins zu eins vorab testen, leider. Unsere jahrelangen Erfahrungen haben aber gezeigt, was funktioniert und was nicht. Wir haben auch sehr viele Zwänge und Standards, die in der Regel eine gute Nutzerfreundlichkeit gewährleisten und denen wir nachkommen müssen. Dennoch bleibt natürlich immer eine gewisse, wenn auch geringe Unsicherheit in der Frage, ob die Ausstellung gefällt oder eher provoziert.

Neue Technologien wie die Nanotechnologie sind ein ebenso brandaktuelles wie auch veränderliches Thema, das sich in den nächsten Jahren rasch weiterentwickeln wird. Inwieweit wurde bei der Planung der Ausstellung darauf geachtet, dass man die Ausstellung entsprechend aktualisieren kann?

Wir haben sehr dynamische Elemente eingebaut, sodass im Grunde der komplette Inhalt vom Platz des Kurators aus aktualisiert werden kann. Die geänderten oder neuen Inhalte werden dann einfach online gestellt. Im Bedarfsfall könnte man komplette Einheiten austauschen und die Vitrinen neu bestücken. Das ist möglich. Es gibt natürlich auch klassische, statische Elemente, aber wir haben darauf geachtet, dass man die wesentlichen Parameter bearbeiten und bei Bedarf aktualisieren kann.

Was war in der Rückschau die größte gestalterische Herausforderung bei diesem Projekt?

Die größte Herausforderung war tatsächlich die räumliche Gegebenheit der monumentalen Halle, die im Grunde ursprünglich für eine Präsentation von wenigen imposanten Fahrzeugen geplant war. Diese Räumlichkeit in den Griff zu bekommen und eine Nutzbarkeit herzustellen, war die eigentliche gestalterische Herausforderung. Wir mussten die Halle einer sehr gemischten Nutzung unterwerfen und das auf vergleichsweise wenig Raum.

Sind Sie zufrieden mit dem Ergebnis?

Ich bin zufrieden mit dem, wie es jetzt geworden ist. Mit der Wahl der Ausstellungsarchitektur wollen wir in mehr als einer Hinsicht das Aufbrechen von monumentalen Strukturen zeigen, die Dialektik der Wissensvermittlung neu aufnehmen und andere, angemessenere Wege im Umgang mit Ausstellungsinhalten gehen.

Das Interview führte Andrea Bistrich.

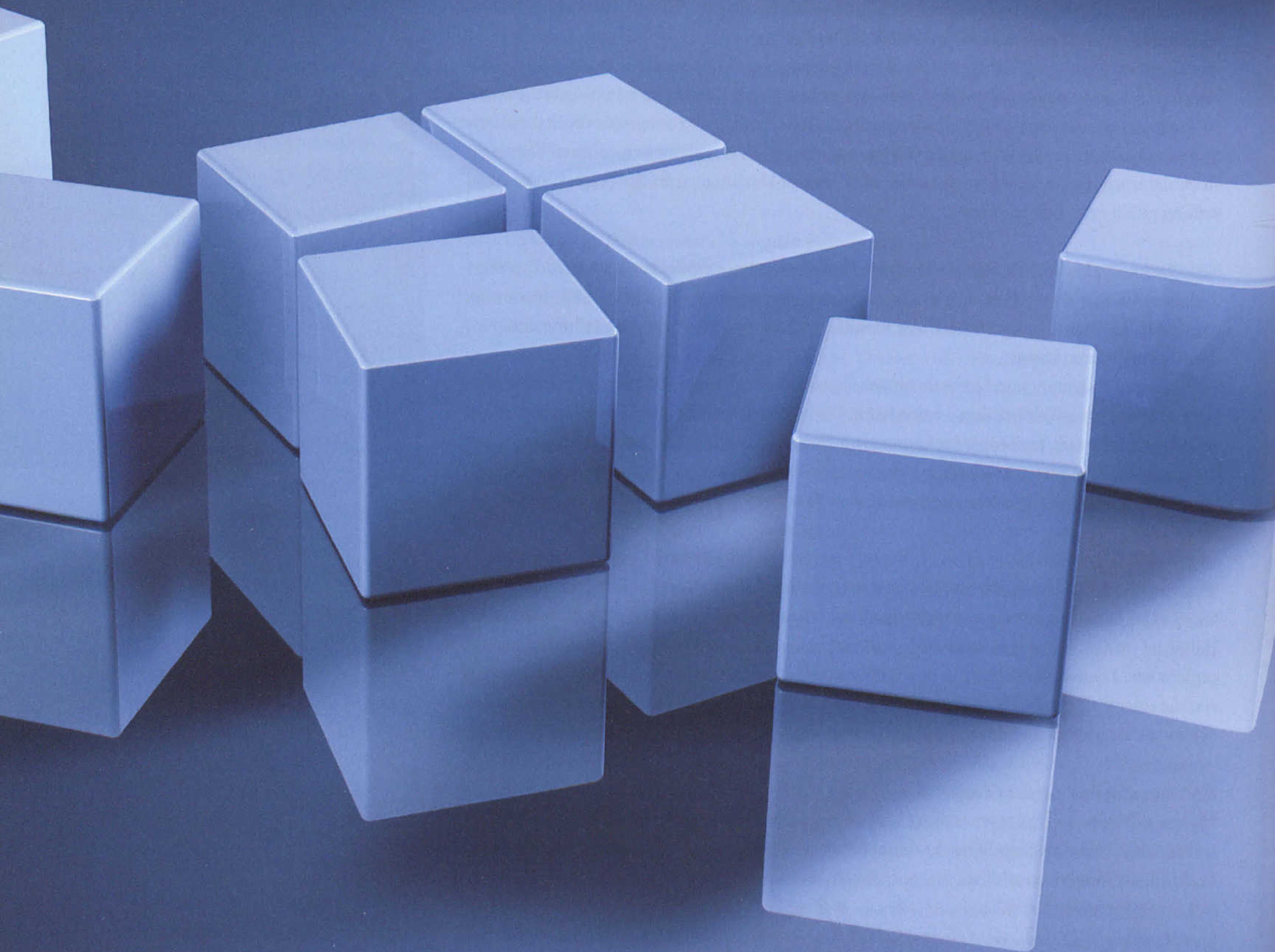
ZAHLEN UND FAKTEN

- ▶ Die neue Halle bietet ein Forum für Veranstaltungen bis zu 350 Personen.
- ▶ Die Kernausstellung befindet sich auf 600 m² im Untergeschoss.
- ▶ Im Erdgeschoss präsentieren sich die Partner aus der Wissenschaft. Dort befinden sich auch das Gläserne Forscherlabor, ein Café und eine Sonderfläche mit 150 m² Sonderausstellungsfläche.
- ▶ Über dem Forum schwebt eine Galeriefläche mit 300 m² für Sonderausstellungen.
- ▶ Das »UFO« (Forscherlabor) bietet Platz für angemeldete Besuchergruppen bis 18 Personen.
- ▶ Ein weiterer Schulungsraum und ein Labor befinden sich im Untergeschoss.
- ▶ Zum ZNT gehören die Ausstellung Deutscher Zukunftspreis des Bundespräsidenten und die Sonderausstellung Robotik.
- ▶ Eingebaut wurden 40 Tonnen Stahl für die Vitrinen, 33 Stück 65-Zoll-Tochscreens, 50 PCs und 160 Monitore.
- ▶ Die Hülle des Labor-UFOS wurde aus 393 unterschiedlichen Blechen, 6.331 Nietmuttern und 9.417 Schrauben zusammengesetzt.



Forschungslandschaft Bio- und Nanotechnologie in Deutschland

Baumeister in der Welt der kleinsten Teilchen



Von Nano- und Biotechnologie erhoffen sich Experten nichts weniger als die Lösung unserer Energie- und Umweltprobleme, den Sieg über Krankheiten und nebenbei etliche Erleichterungen im Alltagsleben. Die Bundesregierung fördert die anwendungsorientierte Forschung im Nanobereich in sämtlichen naturwissenschaftlichen Disziplinen. Von Petra Scheller

Über 300 Institute an Universitäten, Fachhochschulen und Forschungszentren mit mehreren tausend Wissenschaftlern, derzeit 63 Cluster und Netzwerke zwischen Kiel und München, zahlreiche Forschungsprojekte zu Grundlagen und Technologie, Chancen und Risiken, ca. 750 Nanotechnologieunternehmen mit einem Umsatz von 33 Milliarden Euro (2007) und über 60.000 Beschäftigten – das ist Nanotechnologie in Deutschland.

Die Technologie, die sich mit den kleinsten Teilchen beschäftigt, hat sich in den letzten Jahren weltweit zu einem großen Forschungs- und Wirtschaftszweig entwickelt. Sie nimmt auch im Rahmen der Forschungsförderung der Bundesregierung einen wichtigen Platz ein. Als die Bundesregierung im August 2006 die »Hightech-Strategie für Deutschland« vorstellte und unter anderem acht besonders zu fördernde Schlüsseltechnologien identifizierte, war neben z. B. Werkstofftechnologien oder Mikrosystemtechnik auch die Nanotechnologie dabei. Mit einem Fördervolumen in Höhe von 15 Milliarden Euro werden innovative Projekte aus den Schlüsseltechnologien, insbesondere der Transfer von Grundlagenkenntnissen in Produkte und Anwendungen unterstützt.

Dennoch war die Nanotechnologie lange in weiten Bereichen so unsichtbar wie die Teilchen, die die Nanotechnologen untersuchen und auf denen sich die Innovativität ihrer Ergebnisse und Produkte gründet. Diese Nanoprodukte aber dringen jetzt immer weiter in unseren Alltag vor. Von Nano in Lebensmitteln ist die Rede, von nanotechnisch optimierten Kunststoffen zur Gewichtsreduktion bei Fahrzeugen, von Nanopartikeln in Textilien oder Kosmetika – und von den Gefahren, die von diesen Produkten ausgehen könnten. Das Thema »Sicherheit« begleitet die Erforschung des Nanokosmos von Anfang an und ist ein wichtiger Bestandteil in den Förderprogrammen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) – gerade weil die Nanotechnologie in den nächsten Jahrzehnten mehr und mehr an Bedeutung gewinnen und in vielen Lebensbereichen eine wichtige Rolle spielen wird. Forschung und Risikodebatten finden schon heute statt und deshalb kommt bereits jetzt niemand mehr um das Thema »Nano« herum.

DEBATTEN UM KLONSCHAF UND GEN-MAIS. Die Biotechnologie hat es bereits Ende der 1970er-Jahre ins Bewusstsein der Öffentlichkeit geschafft. Die kontrovers und leidenschaftlich ausgetragenen Debatten rund um Retortenbabys, Klonschaf Dolly, Gen-Mais oder Tierpatente sorgen seitdem immer wieder für größte öffentliche Aufmerksamkeit. Diese prominenten Themen repräsentieren aber nur einen kleinen Ausschnitt aus dem breiten Spektrum biotechnologischer Fragestellungen, an denen Wissenschaftler in Deutschland und weltweit arbeiten. Die drei wichtigsten Anwendungsfelder der Biotechnologie sind derzeit die chemische Industrie, die Medizin sowie der Bereich Nahrung und Ressourcen, auch bekannt als »Grüne Biotechnologie«.

Die noch recht jungen Debatten und die Tatsache, dass biotechnologischer Fortschritt in Entwürfen und teilweise utopischen Visionen unserer Zukunft – sei es in Form einer Geheimwaffe zur Ausrottung heimtückischer Krankheiten oder als geklonte oder gentechnisch verbesserte Menschen – eine maßgebliche Rolle spielt, lassen die Biotechnologie als eine hochmoderne Neu-

Weiß, Schwarz, Grün, Rot – Biotechnologie ist bunt!

Für die Benennung verschiedener Bereiche biotechnologischer Forschungen und Anwendungen hat sich die Unterscheidung mithilfe von Farbbezeichnungen im allgemeinen Sprachgebrauch durchgesetzt. So wird die biotechnologische Herstellung chemischer Grundstoffe und Endprodukte, die Verwendung von Enzymen oder Mikroorganismen für die industrielle Produktion als Weiße oder auch Industrielle Biotechnologie bezeichnet. In der öffentlichen Diskussion präsenter ist der Begriff der Grünen oder Pflanzenbiotechnologie, die sich mit erneuerbaren Ressourcen und mit der gentechnischen Veränderung von Pflanzen beschäftigt, die in ihren Eigenschaften zum Beispiel als Nahrungsproduzenten verbessert werden sollen.

Die Rote Biotechnologie bezieht sich auf Anwendungen in der Medizin und Pharmazie, zum Beispiel bei der Entwicklung neuer Arzneimittel. Seltener tauchen Bezeichnungen wie Graue, Blaue, Schwarze, Braune oder Gelbe Biotechnologie auf. Diese Begriffe beziehen sich auf kleinere Themenbereiche der Biotechnologie. Sie sind in ihrer Abgrenzung nicht eindeutig definiert und weniger gebräuchlich.



Klonschaf Dolly



Grüne Biotechnologie: Gentechnisch veränderte Pflanzen im Labor.

Forschen in Deutschland

Die deutsche Forschungslandschaft ist äußerst vielgestaltig: Geforscht wird an Universitäten, Hoch- und Fachhochschulen sowie an staatlichen und privaten Forschungsstätten, in Industrieunternehmen und an den Instituten der vier großen Wissenschaftsorganisationen: Fraunhofer-Gesellschaft, Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, Max-Planck-Gesellschaft (siehe Seite 27–31) und Leibniz-Gemeinschaft. Unter dem Dach der Leibniz-Gemeinschaft, zu der derzeit 86 Institutionen aus unterschiedlichen Bereichen gehören, findet nachfrageorientierte und interdisziplinäre Forschung statt.

entdeckung des späten 20. Jahrhunderts erscheinen. Dabei nutzt man sie bereits seit einigen tausend Jahren – wenn auch ohne Wissen darüber, was sich auf der Ebene von Mikroorganismen abspielt, ohne eine Ahnung von den mikroskopisch kleinen Lebewesen und unsichtbaren biologischen Prozessen, die zum Beispiel Käse reifen lassen oder aus Weißkohl Sauerkraut machen. Warum dies funktioniert, weiß man erst seit dem 19. Jahrhundert. Und als »Biotechnologie« bezeichnet man all das auch erst seit 1919, als der Begriff von dem ungarischen Gelehrten und Ingenieur Karl Ereky erstmals verwendet wurde.

ENORMES INNOVATIONSPOTENZIAL. Die moderne Biotechnologie nutzt die Methoden der Gentechnik und der Molekularbiologie zur gentechnischen Veränderung von Mikroorganismen und zur Herstellung von Produkten. In Deutschland sind zurzeit über 600 Biotechnologie-Unternehmen ansässig, dies bedeutet Platz eins in Europa. Die Unternehmen beschäftigen rund 30.000 Menschen und erzielten 2008 einen Umsatz von über zwei Milliarden Euro. Für Forschung und Entwicklung wurden im Jahr 2008 1,06 Milliarden Euro ausgegeben, womit die Biotechnologie zu den forschungsaktivsten Branchen gehört. Aufgrund ihres hohen Innovationspotenzials und ihrer Bedeutung für unser Leben – sei es die sichere Herstellung von Impfstoffen, die Herstellung von Vitaminen und Nahrungszusätzen mithilfe von Mikroorganismen anstelle der bisher üblichen chemisch-synthetischen Produktion oder die Erzeugung von Wasserstoff aus Algen – gehört die Biotechnologie zu den heutigen Schlüsseltechnologien und wird vom BMBF jährlich mit rund 200 Millionen Euro gefördert. Geförderte Forschungsfelder sind unter anderem die Genomforschung, der Bereich Gesundheit und Ernährung, die Bionik, die nachhaltige Bioproduktion oder die Nanobiotechnologie, in der zwei Querschnittstechnologien interdisziplinär vereinigt sind.

Die Genomforschung beschäftigt sich mit den »Bauplänen« des Lebens und erforscht, wie die Gene Körperfunktionen steuern – vom Blutkreislauf über die Atmung und Abwehr von Krankheitserregern bis hin zur Bewegung von Körperteilen und zum Denken. Je genauer diese Vorgänge verstanden werden, desto besser können zum Beispiel die genetischen Ursachen von Krankheiten identifiziert und diese Kenntnisse bei ihrer Behandlung eingesetzt werden. Neben der Erforschung des menschlichen Lebens widmet sich die Genomforschung auch der Entzifferung der Baupläne vieler anderer Lebewesen, beispielsweise der Mikroorganismen. Besonders interessant für die Forschung sind die Kleinstlebewesen, wenn sie in heißen Quellen leben, in Vulkanen, in der Tiefsee oder unter dem Eis. Zu entschlüsseln, was sie an diesen extremen Orten am Leben

hält, welche Enzyme ihren Stoffwechsel dazu befähigen, beinahe alle chemischen Substanzen zu verarbeiten, birgt enormes Potenzial für Anwendungen im Umweltschutz, in der Landwirtschaft, der chemischen Industrie und in der Medizin.

Der Bereich »Gesundheit und Ernährung« widmet sich der Frage, wie ernährungsbedingte Erkrankungen verhindert, gelindert oder geheilt werden können. Es wird untersucht, wie Nahrungsbestandteile vom Körper aufgenommen und verarbeitet werden und welche Wechselwirkungen zwischen Inhaltsstoffen von Lebensmitteln und menschlichen Körperfunktionen stattfinden. Mit funktionellen Lebensmitteln, die individuell auf eine Zielgruppe zugeschnitten oder mit zusätzlichen Inhaltsstoffen angereichert sind, wird man vielleicht eines Tages Krankheiten vorbeugen, genetisch bedingte Fehlfunktionen bei der Nahrungsverwertung oder durch falsche, unzureichende oder unausgewogene Ernährung hervorgerufene Mangelerscheinungen ausgleichen können.



NATUR ALS VORBILD UND WERKZEUGKASTEN. Der Ansatz der Bionik wird schon im Namen deutlich: Biologie und Technik kommen zusammen, wenn biologische Phänomene als Vorbild für technische Entwicklungen dienen. Der Vogelflug, die Haifischhaut, das Lotusblatt gehören zu den bekanntesten Beispielen für das Bemühen der Forscher, ähnlich optimierte Prozesse oder Oberflächen zu schaffen, wie die Evolution sie hervorgebracht hat. Bionik findet sich in allen Lebensbereichen und wird angewandt, um den Alltag zu erleichtern, wie bei der schmutzabweisenden Outdoorjacke mit »Lotus-Effekt«. Die Evolution hat in ihrem Streben nach Effizienz die verschiedensten Methoden zur Einsparung von Energie und Material hervorgebracht – Biologen und Ingenieure suchen nun, diese zu imitieren oder die zugrunde liegenden Prinzipien für neue Anwendungen zu nutzen.

In der nachhaltigen Bioproduktion werden biologische Prozesse »industrialisiert«. Mithilfe des Werkzeugkastens der Natur können Chemikalien oder andere biotechnologische Produkte oftmals umweltschonender und wirtschaftlicher hergestellt werden. Dabei können Kunststoffe aus Biomolekülen aufgebaut werden oder auch Enzyme hergestellt werden, die in Waschmitteln die Waschwirkung verbessern und eine Herabsetzung der Waschtemperatur und -dauer ermöglichen. Biotechnologische Verfahren führen zu einer Verbesserung vieler industrieller Prozesse, mit geringerem Rohstoff- und Energieverbrauch sowie weniger schädlichen Abfällen.

Die Nanobiotechnologie schließlich bringt technische Systeme mit Biomolekülen zusammen, und das im Kleinstmaßstab. Stellen sich Biotechnologie und Nanotechnologie bereits als Querschnittstechnologien dar, in denen verschiedene wissenschaftliche Disziplinen und Anwendungsfelder vereint sind, gilt dies für die Nanobiotechnologie erst recht. Physik und Ingenieurwissenschaften treffen auf Chemie und Lebenswissenschaften, entsprechend vielseitig sind die Forschungsbereiche: Methoden der Nanotechnologie kommen bei der Handhabung von Biomolekülen zum Einsatz. Diese sich selbst organisierenden Biomoleküle wiederum dienen als Vorbild für die Erzeugung nicht biologischer Moleküle.

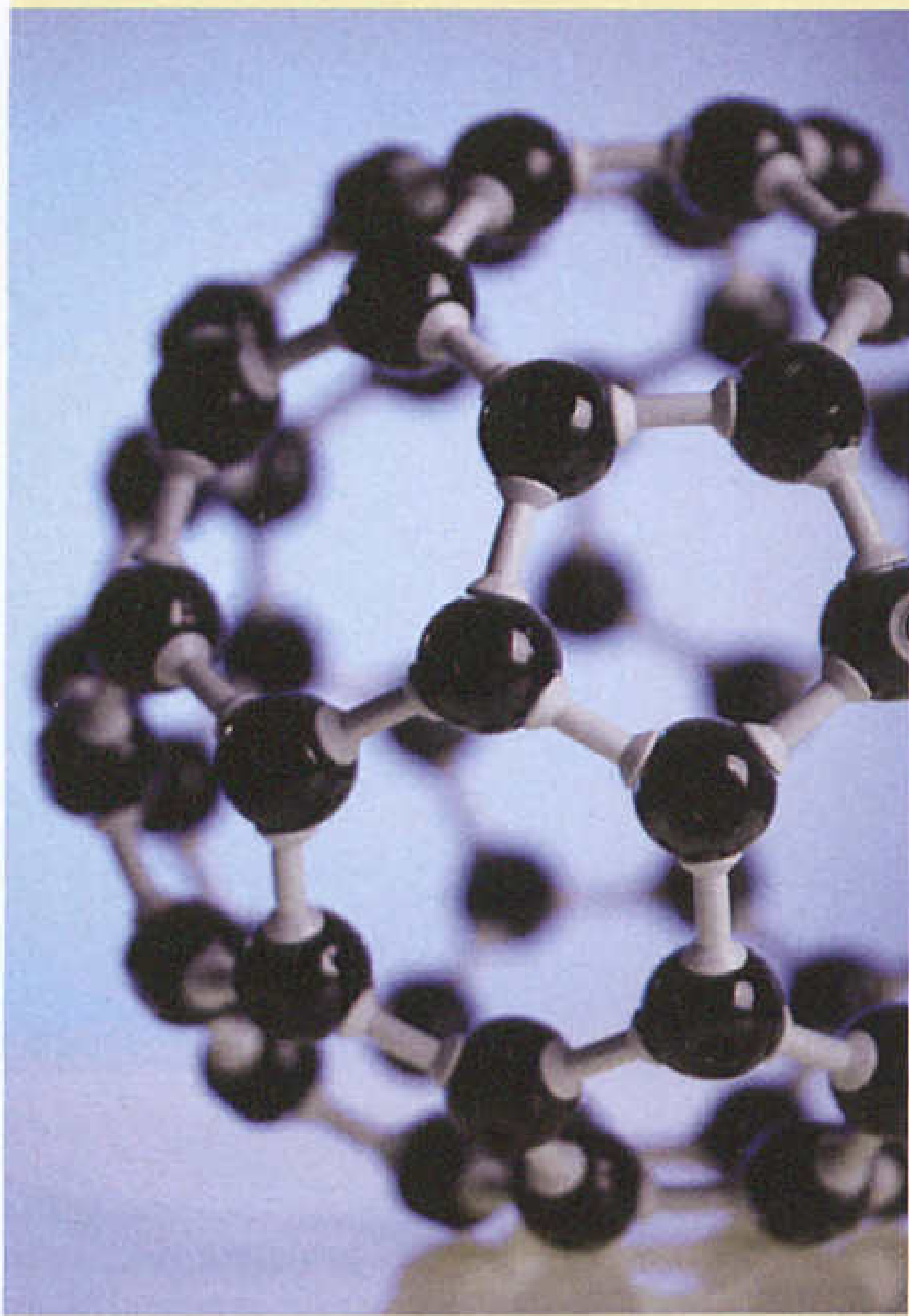
Das zunehmende Wissen über den Nanokosmos eröffnet nicht nur neue Perspektiven in der Forschung, sondern auch eine neue Sicht auf die Welt. Zurzeit beschäftigt man sich noch damit, die Natur und ihre Strukturen zu betrachten und zu verstehen. Doch schon entsteht die Vision, Atome wie Bausteine zu neuen Gebilden fügen zu können oder, nach dem Vorbild der Natur, sich selbst organisierende Prozesse technisch zu initiieren. Hier erscheint der Mensch als beinahe allmächtiger Schöpfer, die Welt als Puzzle kleinster beliebig zusammensetzbarer Teilchen. Von der

Die Bionik nutzt Vorbilder aus der Natur, um Prozesse zu optimieren oder neue Produkte zu schaffen.

Von oben nach unten oder von unten nach oben?

Nanoskaligkeit lässt sich durch die immer weitere Verkleinerung größerer Strukturen und Bauteile erzeugen, seien es feinste Pulver oder die Verfeinerung von Herstellungsmethoden in der Mikroelektronik; dies wird als »Top-down-Prozess« bezeichnet.

Ein zweiter Ansatz der Nanotechnologie besteht darin, aus kleinsten Bausteinen komplexe Strukturen zu erzeugen – von unten nach oben, »bottom-up«. Dies ist die gängige Methode in der chemischen Nanotechnologie, man forscht aber daran, diesen Vorgang auch für die Mikroelektronik nutzbar zu machen und so Chipstrukturen durch Selbstorganisation entstehen zu lassen.



Fullerene bestehen aus 60 (oder 70, 80 usw.) Kohlenstoffatomen, die sich kugelförmig in Fünf- und Sechsecken zu einem stabilen Molekül vereinen. Von den »Nanofußbällen« erwartet man sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten.

Zukunftsidee eines Nanoautomaten, in dem »bottom-up« jedes gewünschte Produkt aus einem Vorrat gemischter Atome erzeugt werden kann, sind wir aber weit entfernt.

NANO DURCHDRINGT ALLE BEREICHE DES MARKTES. Derzeit beschäftigen sich Nanoforscher mit Beschichtungen für Werkzeuge, Textilien oder medizinische Geräte, mit der Verbesserung von Energiespeichern durch Aerogele aus Kohlenstoff oder mit Nanoelektronik, die dafür sorgt, dass Computerchips immer kleiner und leistungsfähiger werden. Die Liste der Anwendungsbereiche, in denen Nanotechnologie bereits zum Einsatz kommt, umfasst fast alle Marktsegmente: den Automobilbau, die Elektronik und Informationstechnik, die Medizin und die Pharmaindustrie, die chemische Industrie, die Optik, Energie- und Umwelttechnik, den Maschinenbau, das Bauwesen, die Textil- und Sicherheitstechnik. Viele Stoffe weisen, wenn sie in Nanogröße vorliegen, völlig neue physikalische Eigenschaften auf oder verleihen einem Material zusätzliche Effekte, ohne dessen übrige Eigenschaften zu beeinträchtigen. Aus Kohlenstoff können nanoskalige Kohlenstoffnanoröhren erzeugt werden, die über höchste Festigkeit und eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit verfügen, kleinste, in Textilien eingebrachte Titandioxidpartikel sorgen für hervorragenden UV-Schutz, Nanosilicpartikel ermöglichen keramisch dichte Strukturen, zum Beispiel in Zementmischungen. Dieselben Materialien können in verschiedenen Forschungs- und Industrieanwendungen eine Rolle spielen, was eine eindeutige Zuordnung erschwert, gleichzeitig sind die unter »Nanotechnologie« subsumierten Entwicklungsansätze so vielfältig und unterschiedlich, dass eine Abgrenzung nach außen schwierig ist.

FÖRDERUNG FÜR ANWENDUNGSORIENTIERTE FORSCHUNG. Wie also lässt sich die Forschungslandschaft »Nanotechnologie« kategorisieren? Die Förderschwerpunkte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung orientieren sich an den Anwendungsbereichen: nanotechnologische Entwicklungen im Bereich Automobil, optische Industrie, Pharma und Medizintechnik, Elektronik, Chemie, Bauwesen, und auch die Textilindustrie werden in besonderem Maße gefördert. An anderer Stelle werden Forschungsinstitutionen und Firmen Tätigkeitsbereichen wie »ultradünne Schichten«, »ultrapräzise Bearbeitung von Oberflächen« oder »molekulare Architekturen« zugeordnet. Auch hierunter fallen jeweils sehr unterschiedliche Ansätze und Anwendungsbereiche. Kritische Stimmen bezeichnen deshalb »Nanotechnologie« als einen rein populärwissenschaftlichen Sammelbegriff für verschiedene physikalische, chemische und technologische Forschungsrichtungen. Sie sprechen der Nanotechnologie ihre Bedeutung als eigenes Technologiefeld ab und bezeichnen die Begriffsbildung als künstliches Konstrukt internationaler Förderpolitik (siehe Beitrag Seite 22–24).

Einen wesentlichen Impuls für die Nanoforschung hat tatsächlich die amerikanische Nanotechnologie-Initiative unter Bill Clinton im Jahr 2000 ausgelöst, auch die EU ist seit einigen Jahren an der Förderung dieser Schlüsseltechnologie maßgeblich beteiligt. Bereits im Jahr 1998 gründete das BMBF sechs deutsche Kompetenzzentren, um die Nanoforschung zu bündeln und Wissenschaft und Wirtschaft stärker zu vernetzen. Im Jahr 2006 wurde im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung die »Nano-Initiative – Aktionsplan 2010« auf den Weg gebracht. Entsprechend der Vielschichtigkeit nanotechnologischer Forschung ist die Nano-Initiative ein gemeinschaftliches Vorhaben mehrerer bundespolitischer Akteure: Neben dem BMBF sind die Bundesministerien für Wirtschaft und Arbeit, für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, für Verteidigung, für Arbeit und Soziales sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz beteiligt. Dies macht ein Abstecken des Aktionsrahmens »Nanotechnologie« nicht einfacher.

Trotz aller Abgrenzungsschwierigkeiten lassen sich unter »Nanotechnologie« all jene Verfahren und Prozesse subsumieren, die sich mit der kontrollierten Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen und Materialien in einer Größenordnung zwischen 1 und 100 Nanometern befassen: In der Nanomedizin arbeitet man an Implantaten, die im Körper eines Patienten kontrolliert Wirkstoffe abgeben. Mit der Realisierung ist in den nächsten Jahren zu rechnen.



Auch ein lang gehegter Wunsch der Automobilbauer kann durch »Nano« erfüllt werden: In nicht allzu ferner Zukunft könnten Karosserien standardmäßig mit selbstheilenden Lacken ausgestattet sein, Kratzer gehören dann der Vergangenheit an. Bereits heute können Textilien durch Nanosilber antibakteriell wirken, auch Antireflexschichten, durch die der Wirkungsgrad von Solarzellen erhöht wird, sind »Nano« und heute schon etabliert. In der Bautechnik wird an Prototypen für flexible Solarzellen gearbeitet. Diese könnten in fünf bis zehn Jahren als Fassadenelemente genutzt werden und Häuser zu Energieselbstversorgern machen. Das Anwendungsspektrum der Nanotechnologie ist riesig, der Stand der Entwicklung reicht von bereits etablierten Produkten bis hin zu kühnen Visionen. Immer wieder werden die Grenzen des vermeintlich nicht Machbaren überwunden, sodass aus mancher Science-Fiction-Vorahnung, beispielsweise intelligenter Kleidung oder dem Züchten von menschlichen Organen, in den nächsten Jahrzehnten Realität werden könnte.

WIE WIRD »NANO« DIE WELT VERÄNDERN? Wenn sich Technologien lange Zeit gültigen Grenzen nähern, berührt dies auch soziale und ethische Bereiche. Noch mehr als bei früheren neuen Technologien erfordert das Überschreiten bisheriger Machbarkeitsgrenzen durch die Nano- und Biotechnologie auch eine Auseinandersetzung mit Fragen des Menschseins, der Natürlichkeit, des ethisch Vertretbaren. Diese Diskussionen werden in manchen Bereichen der Biotechnologie bereits seit Jahren geführt. Auch in der Nanotechnologie beschäftigen sich Wissenschaftler und Öffentlichkeit mit dem, was in Zukunft unser Selbst- und Weltbild drastisch verändern kann. Weitere wichtige Fragen wirft die Abwägung von Chancen und Risiken auf: Wie steht es um das Verhältnis zwischen Fortschritt und Gefährdungspotenzial für Mensch und Umwelt? Wie sicher sind Technologien, wie aufgeklärt ist die Bevölkerung? Risikoforschung und -debatte sind essenzielle Themen, auch in der Förderpolitik. In zahlreichen geförderten Projekten wird die Unbedenklichkeit von Nanomaterialien oder biotechnologischen Entwicklungen überprüft. Jeder ist aufgefordert, sich an der Diskussion, wie wir die Chance neue Technologien sicher und ethisch vertretbar nutzen können, zu beteiligen. Denn die Frage, ob Nano- und Biotechnologie unsere Zukunft gestalten werden, ist bereits beantwortet. ■■

Biotechnologen und Nanoforscher werden unsere Welt verändern. Am Dialog, welche Veränderungen den Menschen nützen, welche schaden, sollte sich jede und jeder beteiligen.

PETRA SCHELLER hat an der RWTH Aachen Technik-Kommunikation studiert und ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Deutschen Museum, Zentrum Neue Technologien.



»Ois is nano«

Auf den Spuren eines omnipräsenten Begriffs

»Nano« ist in aller Munde, doch was und wer verbirgt sich eigentlich hinter diesem Begriff? Am Forschungsinstitut des Deutschen Museums sind die Autoren dieses Beitrags der Frage nachgegangen.

Von Christian Kehrt und Peter Schübler

«Ois is nano», brachte es der Kabarettist Gerhard Polt trefflich auf den Punkt, nachdem ihm der Biophysiker und Nanowissenschaftler Hermann Gaub den Begriff »Nanotechnologie« erläutert hatte. »Ois!« – im Standarddeutschen nur ungenügend als »alles« zu übersetzen – umfasst für den Einheimischen die Faszination ebenso wie elementare Zweifel und eine gewisse Ratlosigkeit angesichts der Dimensionen einer Sache. Das Forschungsinstitut des Deutschen Museums nahm sich der Sache an, um Licht ins Dunkel des Nanokosmos zu bringen.

Aufgabe unserer Untersuchung war es, die verschiedenen Bereiche der Nanoforschung einmal aus dem Blickwinkel ihrer historischen Entwicklung und ihrer gesellschaftlichen Relevanz zu beleuchten. Dabei ging es nicht um die Bewertung der Chancen und Risiken der Nanotechnologie, sondern um die Strategien und Forschungspraktiken jener Akteure, die sich als Nanowissenschaftler verstehen und die in wissenschaftlichen Fachkreisen ebenso wie in der Öffentlichkeit regelmäßig zu Fragen der Nanotechnologie Stellung beziehen. Im Besonderen gingen wir der Frage nach, ob es sich bei der Nanotechnologie überhaupt um ein eigenständiges Forschungs- und Technologiefeld handelt.

AM ANFANG STAND DIE MIKROELEKTRONIK. Im Unterschied zur Biotechnologie lässt sich die Nanotechnologie nicht durch spezifische Methoden oder Produkte definieren. Auch die Fokussierung auf das Rastertunnelmikroskop als das »Nanowerkzeug« schlechthin, führt zu Fehlschlüssen. Nanowissenschaftliche Forschungsgruppen arbeiten mit einer Fülle verschiedener Instrumente und Analyseverfahren, um Moleküle und Atome sichtbar und handhabbar zu machen. Zudem findet das Rastertunnelmikroskop in zahlreichen wissenschaftlichen Kontexten und Disziplinen Verwendung, die sich explizit nicht als nanowissenschaftlich verstehen. Auch der Verweis auf die Größendimension und die im zwischenmolekularen Bereich auftretenden neuartigen Phänomene und Funktionalitäten sind kein genuines Merkmal der Nanotechnologie, sondern umfassen weite Bereiche der biologischen, chemischen und physikalischen Experimentalwissenschaften.

Der Entwurf nanotechnologischer Traditionslinien – von Richard Feynmans (1918–1988) Vision einer auf einzelnen Atomen aufbauenden Informationstechnologie über Eric Drexlers (*1955) phantasmatische Nanobots bis zur Erfindung des Rastertunnelmikroskops durch Gerd Binnig (*1947) und Heinrich Rohrer (*1933) – sagt wenig über die tatsächlichen Vorläufer nanowissenschaftlicher Forschungskontexte aus. Geprägt hat den Forschungs- und Innovationsstandort München die Mikroelektronik. Führende Nanowissenschaftler wie Gerhard Abstreiter (*1946) oder Jörg Kotthaus (*1944) forschen seit den 70er-Jahren im quantenphysikalischen Bereich. Dabei geht es um grundlagenwissenschaftliche Fragen des Transports von Elektronen in Grenz- und Oberflächen von Halbleiterstrukturen. Für diese Form der experimentellen Quantenphysik waren Fortschritte im Bereich der Materialtechnologien notwendig, wie sie etwa mit der **Molekularstrahlepitaxie** zur Herstellung atomar dünner Schichten in den 70er-Jahren erreicht wurden.

Die Nanotechnologie ist also weniger eine fundamental neue Technologie als vielmehr eine konsequente Weiterentwicklung der Halbleiterphysik der letzten dreißig Jahre. Zu dieser Einschätzung gelangt auch der Nobelpreisträger und Pionier der Halbleiterheterostrukturen Herbert Krömer: »Given the hype surrounding nano-technology (NT), few people realize that some of us have been practicing nano-technology for over 30 years – we just didn't call it nano-technology.« (in: *Nano-whatever. Do we really know where we are heading?*, *Phys. Stat. Sol. (a)*, Nr. 6, S. 959).

Im Zuge der Globalisierung der Halbleiterindustrie und des damit einhergehenden Abbaus der grundlagenwissenschaftlich orientierten Industrieforschung in den 90er-Jahren hat sich allerdings



Der Geowissenschaftler Paul Hix (Mitte) erläutert den Autoren Christian Kehrt (links) und Peter Schüßler (rechts) die Funktion des Rastertunnelmikroskops.

Molekularstrahlepitaxie

Bei der MBE – deutsch: Molekularstrahlepitaxie – handelt es sich um ein Verfahren zur präzisen Herstellung atomar dünner Schichten und Heterostrukturen. Halbleiterheterostrukturen im Nanometerbereich weisen aufgrund quantenphysikalischer Gesetzmäßigkeiten neue Eigenschaften auf. Verbindungshalbleiter, wie z. B. Galliumarsenid oder Galliumnitrid, werden aus verschiedenen Elementen der Hauptgruppen III und V des Periodensystems aufgebaut. Sie sind sowohl für die Grundlagenforschung als auch zur Herstellung neuer Bauelemente im Bereich der Optoelektronik und Hochfrequenztechnik von Interesse.

Literatur:

Christian Kehrt, Peter Schüssler,
»Nanotechnology is one hundred
years old. The defensive appropriation
of nanotechnology within the discipli-
nary boundaries of crystallography«,
in: Kaiser, Kurath, Maasen, Rehmann-
Sutter (Hg.): *Governing Future Techno-
logies: Nanotechnology and the Rise of
an Assessment Regime*, Heidelberg
2009, S. 37-53

Davis Baird, Alfred Nordmann,
Joachim Schummer (Hg.), *Discovering
the Nanoscale*, Amsterdam 2004

Joachim Schummer, *Nanotechnologie.
Spiele mit Grenzen*, Frankfurt/M. 2009

CHRISTIAN KEHRT studierte Philoso-
phie und Geschichte in Tübingen und Stony
Brook/NY. In seiner Dissertation an der
TU Darmstadt hat er die Kriegserfahrungen
deutscher Militärpiloten im Zeitalter der Welt-
kriege untersucht. Seine Forschungsinteressen
liegen im Bereich der Kulturgeschichte von
Wissenschaft, Technik und Umwelt und schlie-
ßen interdisziplinäre und gegenwartsbezogene
Fragestellungen mit ein.

PETER SCHÜSSLER studierte Soziologie
in München und Edinburgh. In seinem Disser-
tationsprojekt untersucht er die soziotechni-
sche Konstruktion der Nanotechnologie. Seine
Forschungsinteressen liegen im Bereich der
Science and Technology Studies.

Die Autoren arbeiten als wissenschaftliche
Mitarbeiter am Deutschen Museum.

die enge Bindung der universitären Forschung an Großunternehmen wie beispielsweise Siemens gelockert. Eine Neuorientierung war notwendig, um nicht zuletzt auch im Vergleich mit den stark im Aufwind begriffenen Lebenswissenschaften konkurrieren zu können.

NANOTECHNOLOGIE ALS FORSCHUNGSPOLITISCHE STRATEGIE. Die Münchner Nano-
netzwerke basieren auf langjährigen, meist informellen Kooperationen. Gleichzeitig stellen sie
eine Antwort auf die vom Bund gestarteten forschungs- und technologiepolitischen Initiativen
dar, die neue Ressourcen, Karriere- und Handlungschancen für grundlagenwissenschaftliche Pro-
jekte eröffnen. So wurden im Jahr 2003 durch die Nanostrategie des Bundes 75 Millionen Euro
allein für wissenschaftliche Nachwuchsgruppen zur Verfügung gestellt (siehe Seiten 16-21).

Das an der Ludwig-Maximilians-Universität München angesiedelte nanowissenschaftliche
Netzwerk Center for Nanoscience (CeNS) wurde 1998 gegründet, um im institutionellen Gefüge
der disziplinär organisierten Universitäten schneller und flexibler auf disziplinenübergreifende
Forschungstrends zu reagieren und vor allem eine größere mediale Außenwirkung zu entfalten.
Diese lokale Kooperationsform hat zu der erfolgreichen Bewerbung für das Exzellenzcluster Nano-
systems Initiative Munich (NIM) im Jahr 2006 geführt. Damit verfügt das Münchner Nanonetz-
werk über ein hohes wissenschaftliches Prestige und ein zusätzliches Budget, um teure Instru-
mente sowie gezielt neue Professuren für Nachwuchswissenschaftler zu finanzieren. Mehrere in
München ausgebildete Spitzenforscher konnten auf diesem Wege gehalten oder zurückgeholt
werden und so der Forschungsstandort München gestärkt werden.

Nicht nur unter Experten gilt München längst als heimliche Hauptstadt der Nanotechnologie.
Der Standort am Alpenrand verfügt über eine ausdifferenzierte Forschungs- und Innovations-
landschaft und nimmt im internationalen Vergleich eine führende Position im Bereich der Nano-
wissenschaften ein. Die Münchner Wissenschaftler betreiben in erster Linie universitäre Grundla-
genforschung. Ein besonderes Merkmal der Nanowissenschaften ist ihre fächerübergreifende
Herangehensweise – ausgehend von den grundlegenden Erkenntnissen der experimentellen
Halbleiterphysik und der Biophysik. Dieser Öffnungsprozess der Halbleiterphysik hin zu den
Lebenswissenschaften ist signifikant neu und nanospezifisch.

MEDIAL AUFGELODENE INNOVATIONSERWARTUNGEN. In München gibt es mehrere er-
folgreiche Spin-offs, die aus der universitären nanowissenschaftlichen Laborforschung hervor-
gegangen sind. Hierbei handelt es sich jedoch fast ausschließlich um Nischenmärkte im Bereich
des wissenschaftlichen Instrumentenbaus, die in keinem unmittelbaren Zusammenhang zu den
weit in die Zukunft gerichteten nanotechnologischen Visionen wie etwa dem Quanten- oder
DNA-Computing stehen. Diese medial stark aufgeladenen Innovationserwartungen knüpfen an
jene vergangenen Visionen der Mikroelektronik an, die bereits seit den 70er-Jahren ein Ende der
Miniaturisierungsmöglichkeiten voraussagen und auf alternative Halbleiter- und Computertechno-
logien abzielen. Inwieweit jedoch das Spielen mit DNA-Molekülen Innovationen zeitigen wird,
bleibt aufgrund der ungebrochenen Dominanz des Siliziums als Grundstoff der industriellen
Halbleiterproduktion und der Komplexität der sich im Stadium der Grundlagenforschung befin-
denden nanowissenschaftlichen Ansätze derzeit fraglich.

Als Fazit der Analyse nanowissenschaftlicher Forschungskontexte am Beispiel Münchens lässt
sich festhalten: Die Nanotechnologie ist primär eine forschungspolitische Strategie. Sie stellt keine
über Instrumente, Objekte und Bilder definierbare Praxis der Wissensproduktion dar. Wissen-
schaftliche Karrierewege und Fragen der Forschungsfinanzierung sind entscheidend bei der sozi-
alen Konstruktion der Nanotechnologie. Die Fallstudie gibt damit Einblick in die universitäre
Grundlagenforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts, an die aus Politik, Öffentlichkeit, und
Wirtschaft die Forderungen nach »Nützlichkeit« und »Transparenz« herangetragen werden. Die
Nanowissenschaftler finden hierauf strategische Antworten, um weiterhin frei mit Molekülen und
Elektronen experimentieren zu können. ■■

Wir danken der VW-Stiftung sowie unseren Projektleitern am Deutschen Museum, Dr. Walter Hauser und Prof. Dr. Helmut
Trischler, die diese begleitwissenschaftliche Studie zur Nanotechnologie maßgeblich unterstützt und gefördert haben.

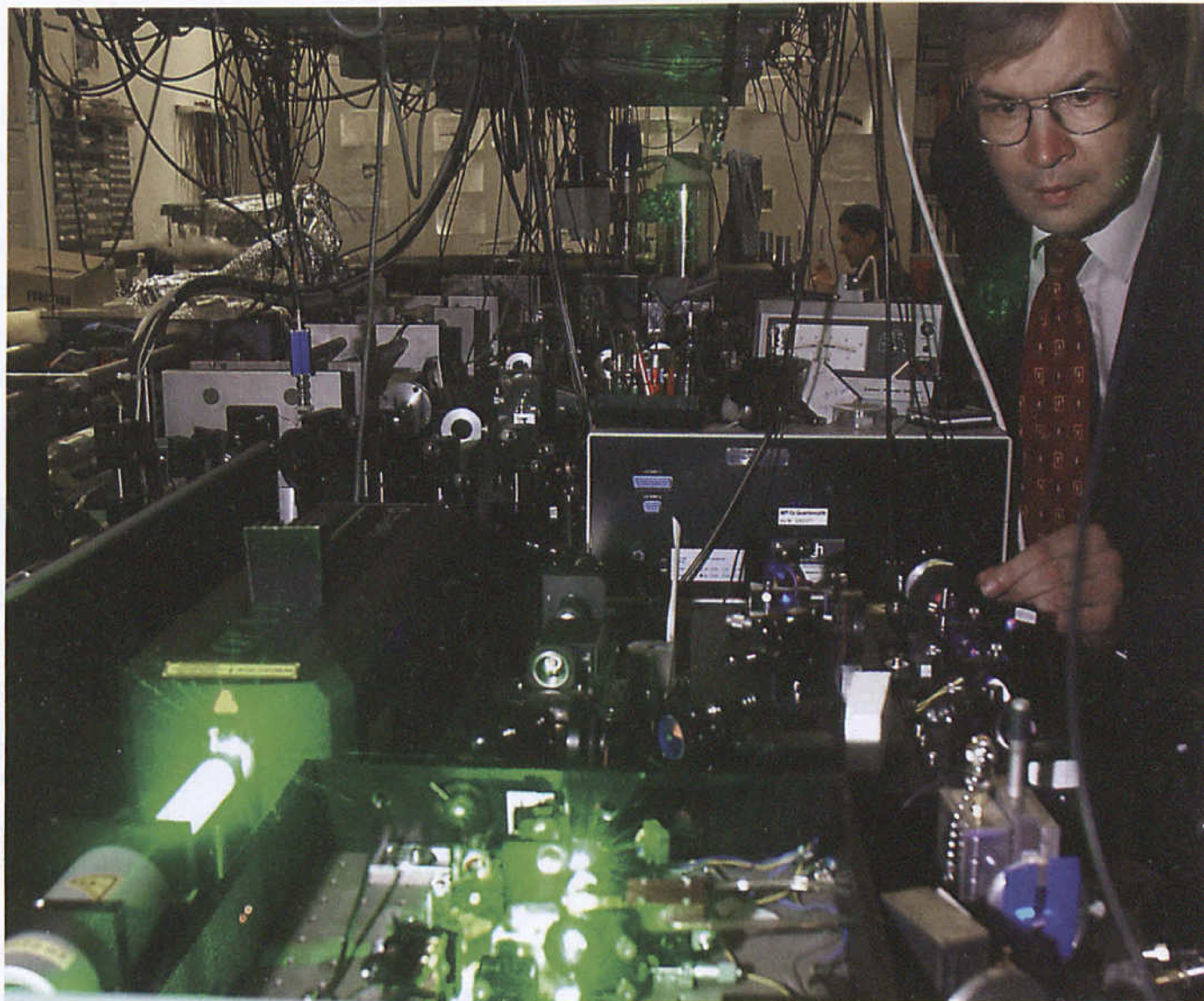
Theodor Hänsch, im Krieg geboren, aufgewachsen in der »schlechten Zeit«, experimentierte schon als Kind mit Begeisterung. **Von Daniel Schnorbusch**

Lichtspiele

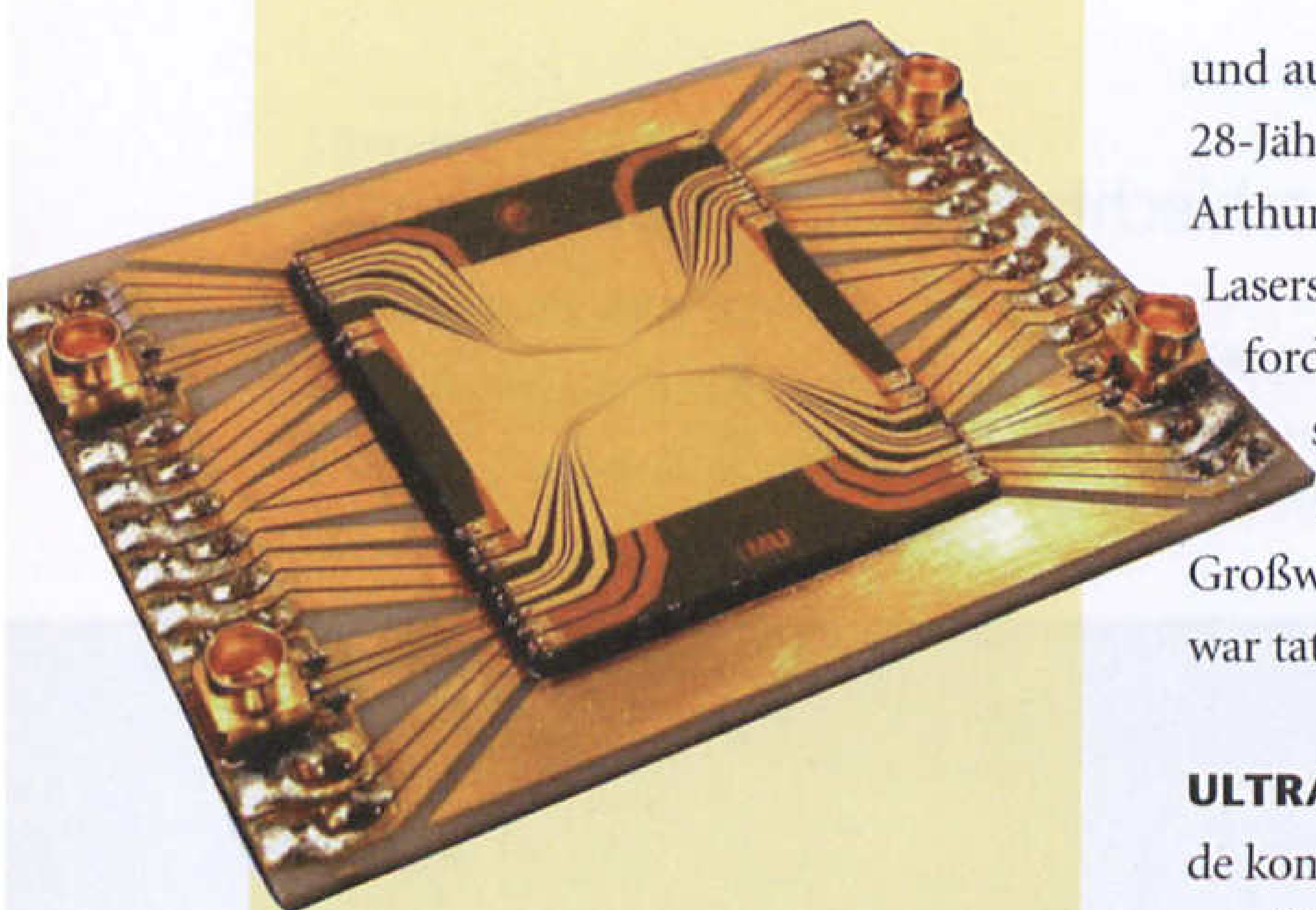
Vielleicht ist es Schicksal oder doch wenigstens ein Glück gewesen, dass Theodor Hänsch nicht in irgendeiner Goethe- oder Schillerstraße aufgewachsen ist, sondern in der Heidelberger Bunsenstrasse. Dies gab dem Vater die willkommene Gelegenheit, dem aufgeweckten Knaben schon in jungen Jahren einen Bunsenbrenner zu schenken, diesen am heimischen Gasherd anzuschließen und zu des Jungen Erstaunen in der bläulichen Flamme Mutterns Tafelsalz zu verbrennen, auf dass es hell und gelblich leuchte. Licht und Strahlung sollten für Theodor Hänsch, 1941 in Heidelberg geboren, fortan das Lebensthema bleiben. Dass er eines Tages, im Jahre 2005, um genau zu sein, den Nobelpreis für Arbeiten zur Laser-Spektroskopie erhalten sollte, war zu diesen frühen Tagen freilich noch nicht abzusehen. Aber der Reihe nach.

Theodor Hänsch, im Krieg geboren, aufgewachsen in der »schlechten Zeit«, merkt früh, dass er andere Interessen hat als die Jungen seines Alters. Während diese in den Tag hinein leben, Fußball spielen oder von einer Zukunft als Lokomotivführer träumen, versenkt sich der junge Hänsch in populärwissenschaftliche Bücher, liest Science-Fiction-Romane und gibt sein Taschengeld für Chemikalien aus, die er für seine ersten Experimente braucht. Es ist wohl mehr dem Zufall geschuldet, dass das Schlafzimmer der Eltern, – sinnigerweise der Lagerplatz für seine brisanten Substanzen – dann doch nicht in die Luft fliegt. An anderer Stelle kommt es jedoch zu einer Explosion, die immerhin so eindrucksvoll gewesen sein muss, dass sich Hänschs Interesse lieber etwas weg von der Chemie und hin zur Physik verlagert. Aber dennoch. Was soll man von jemandem halten, der sich, noch keine 16, einen alten Röntgenapparat kauft, Geigerzähler bastelt und sich in einer Farbenfabrik radioaktive Stoffe besorgt? Heute wäre ihm damit die Aufmerksamkeit des Bundeskriminalamtes und des Verfassungsschutzes gewiss.

GROSSWILDJAGD STATT LANDWIRTSCHAFT. Nach dem Abitur 1961 am Heidelberger Helmholtz-Gymnasium studiert Hänsch an der Universität Heidelberg Physik, Chemie und Mathematik. Kurz zuvor, im Jahre 1960, hatte Theodore Maiman an den Hughes Research Laboratories in Californien den ersten funktionstüchtigen Laser konstruiert. Damit fällt Hänschs Studium in die Pionierphase der Laserphysik. Es überrascht kaum, dass dieses heiße Thema den jungen Studenten fesselt und somit schon seine Diplomarbeit 1966 von Gaslasern handelt, die damals erst einmal eigenhändig zusammengeschraubt werden mussten, bevor mit ihnen überhaupt experimentiert werden konnte. Seine früh erworbenen Tüftelfähigkeiten kommen ihm hier



Licht hat Theodor Hänsch schon immer fasziniert. Für die Entwicklung des Frequenzkammes (siehe auch den Beitrag von Christian Sichau in *Kultur&Technik* 4/2008) erhielt der Physiker 2005 den Nobelpreis für Physik.



Der neueste Coup des Teams um Professor Hänsch und Professor Treutlein ist dieser Atomchip mit integrierten Mikrowellenleitern für die Interferometrie mit Bose-Einstein-Kondensaten. Auf einem speziellen Mikrochip, dem sogenannten Atomchip, werden Atome mit Mikrowellenfeldern manipuliert und so ein Atom-Interferometer konstruiert, das die Vorteile beider Techniken vereint: Ein Atom-Interferometer ist ein höchst empfindliches Messgerät, das die quantenmechanischen Welleneigenschaften der Atome ausnutzt. Damit können Rotationsbewegungen festgestellt werden, oder es kann das Gravitationsfeld der Erde äußerst präzise vermessen werden. Atomchips wiederum sind robust, kompakt und vielseitig einsetzbar. Darüber hinaus eignen sie sich für quantenmechanische Grundlagenexperimente. (*Nature Physics*, August 2009)

Literatur

Theodor Hänsch, »Autobiography«, in: *Les Prix Nobel. The Nobel Prizes 2005*, Stockholm 2006

und auch später immer wieder zugute. Hänsch bleibt bei den Lasern. 1969 wird der gerade mal 28-Jährige promoviert und geht ein Jahr später mit einem NATO-Stipendium nach Stanford zu Arthur L. Schawlow, der 1981 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wird. Wofür? Für Arbeiten zur Laserspektroskopie. Hänsch ist also an der richtigen Adresse. Und auch sonst erweist sich Stanford für ihn als ein höchst inspirierender Ort, der sich vom verkrusteten deutschen Wissenschaftsbetrieb erfreulich unterscheidet. Hänsch vergleicht letzteren später mit einer akribisch durchgeplanten Landwirtschaft, während der Geist von Stanford eher dem einer Großwildjagd geähnelt habe. Was einem vor die Flinte kam, wurde abgeschossen. Und die Beute war tatsächlich beträchtlich.

ULTRAKURZE LICHTIMPULSE. Laser sind starke Strahlungsquellen, deren Strahlung zustande kommt, indem einem Medium z. B. Wasserstoff, Stickstoff oder auch Glas, Energie von außen zugeführt wird (sogenanntes Pumpen), um die Elektronen des jeweiligen Stoffes in einen energiereicheren Zustand zu bringen. Beim Rückfall auf das ursprüngliche Energieniveau der stimulierten Elektronen wird Strahlung in für den jeweiligen Stoff charakteristischen Wellenlängen ausgesandt. Dieser Prozess wird in einem Resonator mit zwei gegenüberliegenden Spiegeln verstärkt. Laser lassen sich in den verschiedensten Bereichen, von der Medizin über die Messtechnik bis zum CD-Spieler als Werkzeug einsetzen. Für die Forschung geht es jedoch eher um etwas anderes. Laser sind für die Physiker quasi kleine Untersuchungslaboratorien, in denen sie den atomaren Eigenschaften der angeregten Stoffe auf den Grund gehen können. Hänsch gelingt es in den 70er-Jahren, die Linienbreite der Spektrallinien mithilfe eines in den Resonator eingebauten Teleskops deutlich zu reduzieren und damit die Messgenauigkeit der Apparatur wesentlich zu verbessern. Dieser Erfolg trägt ihm 1973 nicht nur gemeinsam mit Art Schawlow den Titel »California Scientist of the Year« ein, sondern auch zahlreiche Stellenangebote von deutschen und amerikanischen Universitäten. Hänsch bleibt jedoch bis 1986 in Stanford, ehe er nach Deutschland zurückkehrt. Die LMU München hat ihn auf den Lehrstuhl für Experimentalphysik gerufen. In Personalunion wird er Direktor an dem damals noch verhältnismäßig jungen Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching.

Hänsch und seine Mitarbeiter richten nun ihr Hauptinteresse auf die Quantenphysik ultrakalter Atome und erzeugen 1998, als einziges Forscherteam außerhalb der USA, ein Bose-Einstein-Kondensat aus Rubidium-Atomen. Seitdem gehen die Versuche in Richtung Atomchip weiter, um eines Tages Informationsverarbeitung in Schaltkreisen auf atomarer Ebene zu realisieren. Den eigentlichen Coup aber landet Hänsch ein Jahr später, 1999, mit der Entwicklung des sogenannten Frequenzkamms. Dabei handelt es sich um einen Laser, der ultrakurze Lichtimpulse im Femtosekundenbereich (10^{-15} Sekunden) aussendet und mit dessen Hilfe die Schwingungsfrequenz anderer Lichtstrahlen äußerst genau bestimmt werden kann. Damit ergeben sich ganz neue Einblicke in die energetischen Übergänge innerhalb von Atomen und Molekülen. Auch wenn noch längst nicht über alle Anwendungsmöglichkeiten des Frequenzkamms Klarheit herrscht, sein hoher Gewinn für die weitere Forschung ist unabweisbar.

Kein Wunder also, dass sich 2005 die königlich-schwedische Akademie der Wissenschaften entschließt, den Nobelpreis für Physik neben Roy J. Glauber und John Lewis Hall auch Theodor Hänsch zuzuerkennen. Würdigung eines außergewöhnlich kreativen Forscherlebens, Krönung einer selten erfolgreichen beruflichen Laufbahn. So schien es jedenfalls, denn spätestens 2009 hätte Theodor Hänsch dem Dienstrecht folgend in den Ruhestand gehen müssen. Aber wer hätte es schon verstanden, wenn der oberste Dienstherr den doch eben erst gekürten Nobelpreisträger umgehend in Pension geschickt hätte. Es fand sich zum Glück eine Lösung, die für die LMU, für die Max-Planck-Gesellschaft und nicht zuletzt für Theodor Hänsch selbst die einzig sinnvolle sein sollte. Es wurde für ihn die Carl-Friedrich-von-Siemens-Stiftungsprofessur eingerichtet, sodass er noch mindestens bis 2015 an der LMU lehren und forschen kann. Die Direktorenposition am Max-Planck-Institut bekleidet er ohnehin auf Lebenszeit. Wünschen wir ihm und uns, dass er noch viele ertragreiche Jahre etwas Licht in das Dunkel der Quantenwelten bringt. ■

Netzwerk für Wissenschaft

Die Partner im Zentrum Neue Technologien



Ein Museum braucht gute Kontakte, um bei der Darstellung aktueller Themen immer auf dem neuesten Stand zu sein. Dem Zentrum Neue Technologien stehen kompetente Partner zur Seite. Das Biotech-Unternehmen Amgen, die Fraunhofer-Gesellschaft, die Helmholtz-Gemeinschaft, die Max-Planck-Gesellschaft sowie das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Daneben gibt es eine ganze Reihe weiterer Kooperationen, unter anderem mit der Technischen Universität München und dem 2006 gegründeten Münchner Nano-Exzellenzcluster Nanosystems Initiative Munich.



Die Themensinsel im Erdgeschoss des Zentrums neue Technologien informiert über die Suche nach biotechnologischen Behandlungsmöglichkeiten der Osteoporose.

AMGEN®

Amgen wurde 1980 von einer Gruppe junger Wissenschaftler im kalifornischen Thousand Oaks gegründet. Mit etwa 17.000 Mitarbeitern ist es heute das weltweit größte Biotechnologieunternehmen. Der Durchbruch gelang 1985 mit der gentechnischen Herstellung eines Hormons, das gezielt die Bildung roter Blutzellen anregt: Rekombinantes Erythropoetin (EPO), ein Medikament, das eine Alternative zu Bluttransfusionen für die Behandlung von Anämien bietet. Seit 1989 hat Amgen eine deutsche Tochtergesellschaft mit Sitz in München. www.amgen.de

BIOTECHNOLOGIE GEGEN KRANKHEITEN

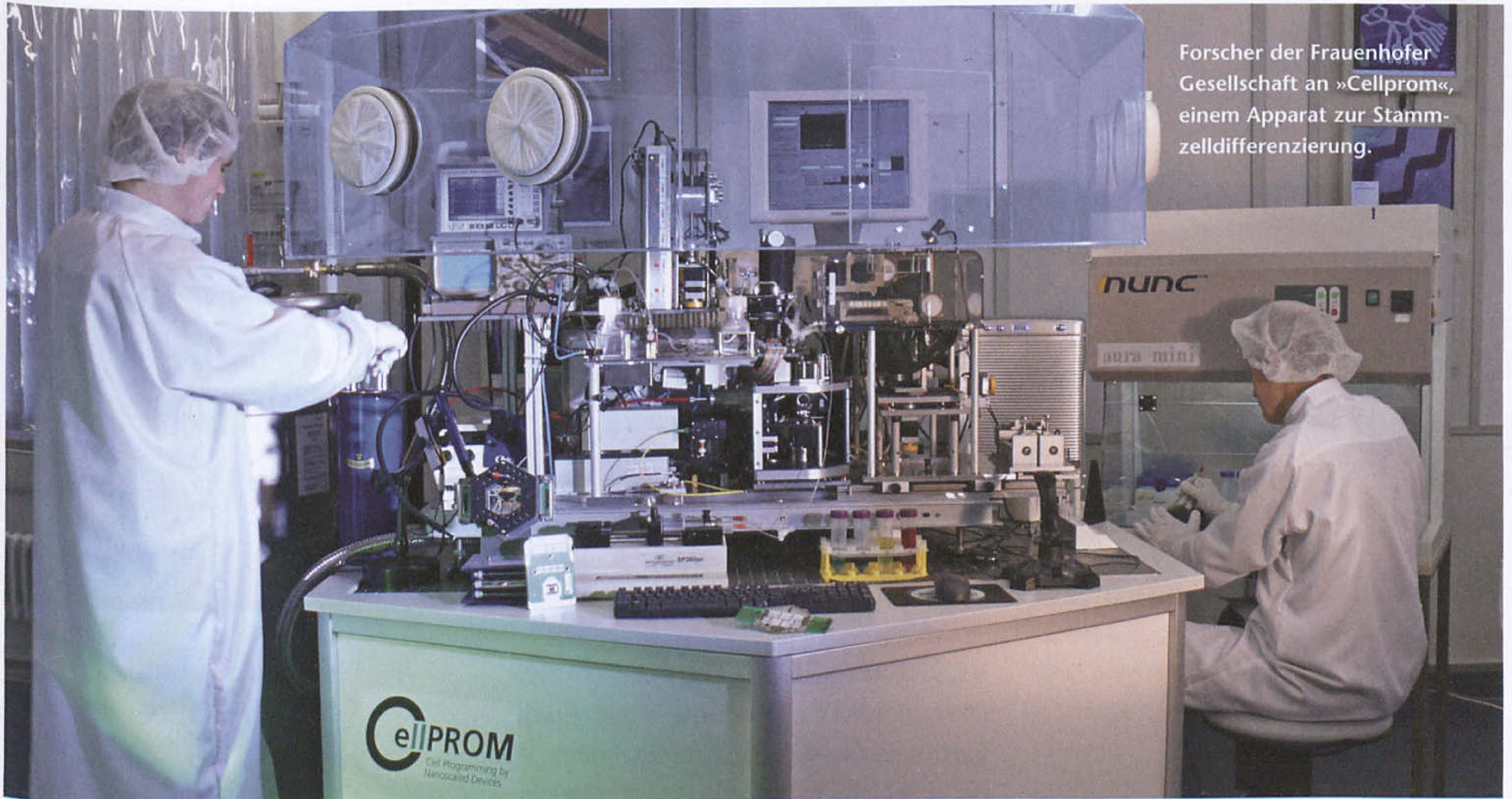
Viel Zeit und Geduld sind nötig, um ein neues Medikament zu entwickeln.

Die pharmazeutische Forschung hat eine lange Historie, die in den Sechziger Jahren eine dramatische Wendung nahm. Mit der Entdeckung der DNA war es nicht nur möglich, Krankheiten besser zu verstehen, sondern auch durch die Produktion von körpereigenen Eiweißen Krankheiten besser zu behandeln«, erklärt Carsten Thiel, Geschäftsführer des Biotechnologie-Unternehmens Amgen, das Gründungspartner des ZNT ist.

Das erste körpereigene Eiweiß, das mithilfe der Biotechnologie hergestellt und für therapeutische Zwecke zugelassen wurde, war 1982 das Insulin. Es wurde von Bakterien produziert, denen man das menschliche Gen für Insulin übertragen hatte. Anders als Insulin, das man aus der Bauchspeicheldrüse von Schweinen oder Rindern gewinnen kann, lässt sich Erythropoetin (EPO) nicht in therapeutisch relevanten Mengen aus tierischen Quellen gewinnen. Der hauptsächlich in den Nieren erzeugte Wachstumsfaktor, der für die Bildung roter Blutkörperchen notwendig ist, ließ sich dementsprechend erst 1989 nutzen, als

EPO biotechnologisch hergestellt werden konnte und eine Zulassung erhielt. EPO dient vorwiegend zur Behandlung der Blutarmut von Dialysepatienten, bei denen die Blutbildung infolge des Nierenversagens gestört ist, wird aber auch nach aggressiven Chemotherapiezyklen bei Krebspatienten angewendet. Außerdem wird es – und das ist leider die bekannteste Anwendung – von manchen Sportlern zu Dopingzwecken missbraucht.

Humane therapeutische Proteine wie Insulin oder EPO waren die ersten Biopharmazeutika, die auf den Markt kamen. Heute umfassen biotechnologisch hergestellte Arzneimittel auch andere Stoffklassen, z. B. Impfstoffe und (monoklonale) Antikörper. Letztere werden sowohl in der Diagnostik als auch in der Therapie eingesetzt, so z. B. in der Krebsbekämpfung. Wie ein solches Biopharmazeutikum entsteht – von der Forschung im Labor über klinische Studien, Patente und die Zulassung bis zur Produktion und Vermarktung – und welche Menschen daran beteiligt sind, zeigt die Ausstellung anhand zweier Arzneimittel von Amgen. Auf seiner Partnerinsel im Erdgeschoss informiert das Unternehmen über mögliche neue, biotechnologische Behandlungsmethoden der Volkskrankheit Osteoporose. ■



Forscher der Fraunhofer Gesellschaft an »Cellprom«, einem Apparat zur Stammzellendifferenzierung.

Fraunhofer

Innovative Forschungsthemen mit konkretem Praxisbezug.

Fraunhofer entwickelt Produkte und Verfahren bis zur Anwen- dungsreife. Mehr als 80 For- schungseinrichtungen gehören zur Gesellschaft, 60 Fraunhofer- Institute mit über 15.000 Mitar- beitern gibt es in Deutschland. Eine der bekanntesten Entwick- lungen ist das Audiodatenkom- pressionsverfahren MP3.

www.fraunhofer.de

FORSCHUNG FÜR DIE PRAXIS

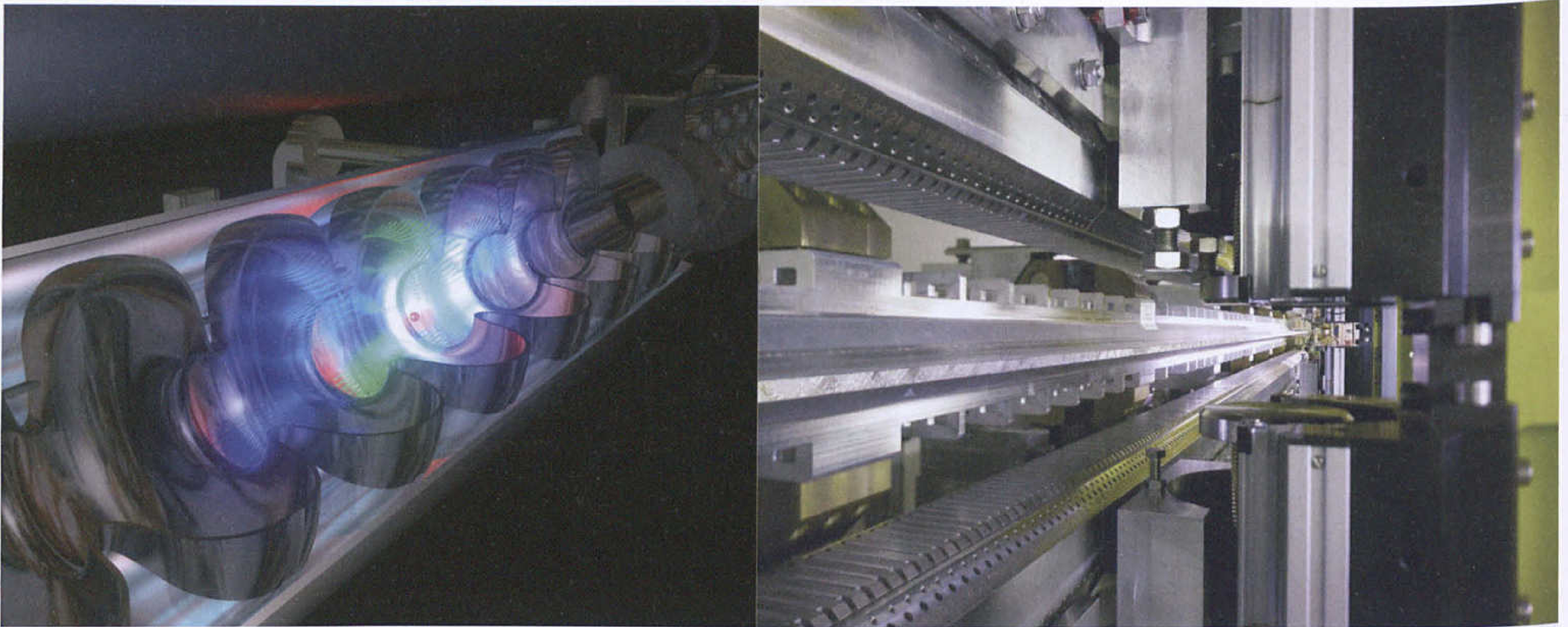
Wissenschaftler der Fraunhofer-Gesellschaft forschen mit Blick auf die praktische Anwendung ihrer Ergebnisse.

Man nehme eine Hand voll Stammzellen, gebe wahlweise Faktor A, B oder X dazu und lasse das Ganze ein Weilchen im Brutschrank stehen. Anschließend erntet man nach Belieben Herz-, Haut- oder Nervenzellen, die sich zur Therapie von Schlaganfall, Verbrennungen oder Alzheimer eignen ...

Es lässt sich leicht erraten, dass diese Anleitung zu simpel ist, um die gezielte Verwandlung einer Stammzelle in eine ganz bestimmte, hoch spezialisierte Körperzelle zu steuern. Doch ist die gängige Praxis der Stammzellkultur derzeit gar nicht so weit entfernt vom Ausprobieren diverser Kochrezepte: Eine Vielzahl von Zellen wird in recht großen, mit Nährlösung gefüllten Kulturgefäßen gehalten und mit wechselnden Mengen von Vitaminen, Hormonen und anderen Biomolekülen dazu angeregt, sich für einen von etwa 220 möglichen Entwicklungswegen zu entscheiden. Wenn sich dann an irgendeiner Stelle in der Kulturschale eine einzelne Zelle oder eine Gruppe verwandelt, dann spricht man von einem Differenzierungserfolg. Doch bevor

Stammzellen in großem Maßstab in der Therapie eingesetzt werden können, müssen die Forscher noch viele Fragen klären. Wie erfolgt die Ausdifferenzierung im Detail? Welchen Regeln folgt dieser Prozess? Was wird später mit den Zellen im Körper geschehen? Wie stabil sind die Zellprodukte auf Dauer? Um die Natur noch besser simulieren zu können haben die Fraunhofer Forscher spezielle Apparate zur Stammzellendifferenzierung entwickelt. Das Beispiel macht deutlich, dass es der Fraunhofer-Gesellschaft vor allem um die spätere praktische Nutzung ihrer Forschung geht. Fraunhofer-Entwicklungen sollen auch dazu beitragen, dass deutsche Unternehmen sich einen technologischen Vorsprung erarbeiten können.

Im Zentrum Neue Technologien zeigt die Fraunhofer-Gesellschaft technologische Innovationen rund um Nano- und Biotechnologie, die unsere Zukunft prägen werden. Am Fraunhofer-Infostand wird zum Beispiel die Detektionssoftware SHORE präsentiert: Sie erkennt Gesichter und Veränderungen des Gesichtsausdrucks. Eine Sitzbank zeigt Innovationen aus dem Bereich der Materialien, wie z. B. Holz-Kunststoff-Verbundstoffe und lädt zum Ausruhen ein. ■



Lebensgrundlagen erhalten und verbessern. In der Helmholtz-Gemeinschaft haben sich 16 naturwissenschaftlich-technische und medizinisch-biologische Forschungszentren zusammengeschlossen. Ihre Aufgabe ist es, langfristige Forschungsziele des Staates und der Gesellschaft zu verfolgen. Der Namensgeber Hermann von Helmholtz (1821–1894) war ein Universalgelehrter, der Brücken schlug zwischen Medizin, Physik und Chemie. Helmholtz gründete die Physikalisch-Technische Reichsanstalt, eine Vorläuferin der heutigen Helmholtz-Gemeinschaft.
www.helmholtz.de

VERBUND FÜR DIE ZUKUNFT

Die Helmholtz-Gemeinschaft ist mit Exponaten aus vier ihrer Forschungszentren in der neuen Ausstellung zur Nano- und Biotechnologie vertreten.

Das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY zeigt, wie mit aufwendigen Großgeräten feinste Nanostrukturen der Materie erforscht werden – am Beispiel einer Magnetstrecke eines sogenannten Undulators. Mit dessen Hilfe erzeugt man brillantes Röntgenlicht. Dieses Licht nutzen Materialforscher und Biophysiker, um Nanostrukturen zu entschlüsseln.

Das Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt präsentiert neue Anwendungsmöglichkeiten in der Medizin: Ein Beispiel ist die Herstellung von individuell maßgeschneiderten Antikörpern für die klinische und experimentelle Forschung, u. a. für die Krebstherapie; Beispiel zwei ist die adoptive Immuntherapie: Bei diesem neuen Ansatz in der Behandlung von Leukämie erhalten Patienten nach der Knochenmarktransplantation T-Zellen vom Spender, damit diese gezielt die verbliebenen Leukämiezellen zerstören.

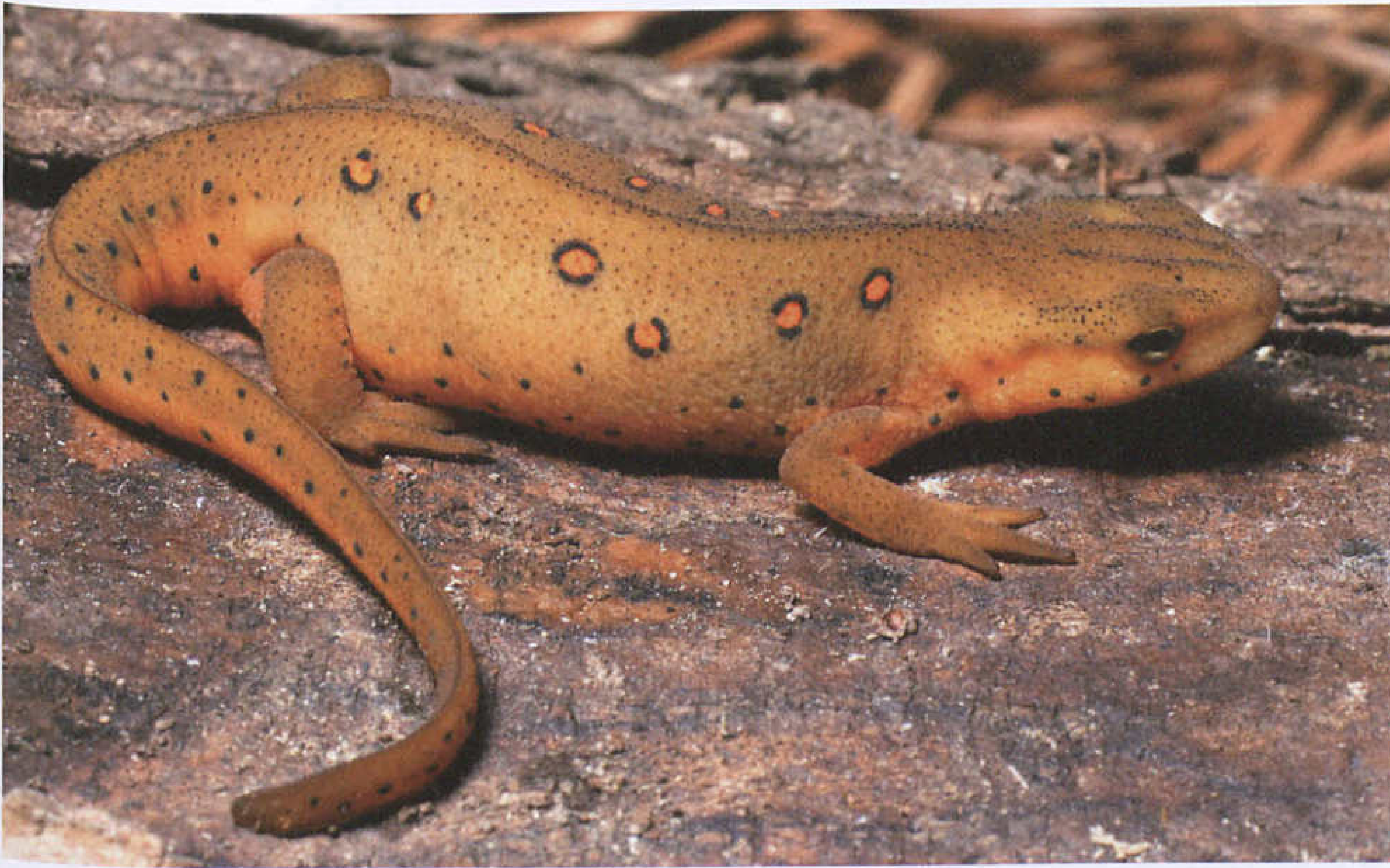
Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) stellt den Einzelatomtransistor vor, einen atomaren Schalter, der wie ein winziger Transistor funktioniert und zudem energiesparend und sehr schnell arbeitet. Das GKSS-

Bild links: Supraleitende TESLA-Beschleunigertechnologie am DESY Hamburg.

Bild rechts: Blick entlang des Strahlrohrs zwischen der Magnetstruktur eines Undulators im Speicherring PETRA III.

Forschungszentrum Geesthacht informiert über neu entwickelte nanokristalline Materialien für Wasserstoffspeichertanks der nächsten Generation. Denn damit Wasserstoff einmal fossile Brennstoffe als Energieträger ablösen kann, ist neben seiner wirtschaftlichen Gewinnung vor allem auch eine Methode zur sicheren und effektiven Speicherung nötig.

Die Helmholtz-Gemeinschaft leistet Beiträge zur Lösung großer und drängender Fragen von Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft durch wissenschaftliche Spitzenleistungen in sechs Forschungsbereichen: Energie, Erde und Umwelt, Gesundheit, Schlüsseltechnologien, Struktur der Materie sowie Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr. Die Helmholtz-Gemeinschaft ist mit fast 28.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in 16 Forschungszentren und einem Jahresbudget von rund 2,8 Milliarden Euro die größte Wissenschaftsorganisation Deutschlands. Ihre Arbeit steht in der Tradition des großen Naturforschers Hermann von Helmholtz. ■



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

»Dem Anwenden muss das Erkennen vorausgehen.«

(Max Planck)

Zur Max-Planck-Gesellschaft gehören derzeit achtzig Max-Planck-Institute und Forschungseinrichtungen, die sich der natur-, bio-, geistes- und sozialwissenschaftlichen Grundlagenforschung widmen. Rund 21.000 Personen forschen und arbeiten hier. Seit Gründung der Max-Planck-Gesellschaft im Jahr 1948 sind 17 Direktoren mit dem Nobelpreis ausgezeichnet worden, zuletzt Theodor Hänsch (Porträt Seite 25) mit dem Physik-Nobelpreis 2005 und Gerhard Ertl mit dem Chemie-Nobelpreis 2007.

www.mpg.de

DIE GRUNDLAGEN VERSTEHEN

Die Forscher der Max-Planck-Gesellschaft erweitern die Grenzen des Wissens und schaffen so auch die Basis für technischen und medizinischen Fortschritt

Die Zöglinge aus dem Labor von Thilo Borchardt und Thomas Braun sind kaum länger als ein Finger, sie sind glitschig, schauen aus freundlichen Augen und bewegen sich etwas träge. Wie Hoffnungsträger für die Medizin der Zukunft sehen sie jedenfalls nicht aus.

Doch die Wassermolche können etwas, das sonst nur mythische Gestalten oder Helden fantastischer Filme beherrschen und was sie für die Medizin sehr interessant macht: Ihre Gliedmaßen regenerieren sich nach einer Verletzung vollständig. Selbst ihr Herzmuskel heilt, wenn er Schaden nimmt, und arbeitet anschließend, als sei nichts gewesen.

Welche Gene den Molchen diese Fähigkeit geben, untersuchen die beiden Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Herz- und Lungenforschung in Bad Nauheim. Dabei treibt sie und ihre Kollegen auch die Frage, ob sich auch das durch einen Infarkt geschädigte Gewebe des menschlichen Herzens nach dem Vorbild des Wassermolchs heilen lassen könnte.

Sollte es den Forschern gelingen, in den Genen des Molchs eine Anleitung zur Reparatur des Herzmuskelgewebes zu finden, hätten sie einmal mehr gezeigt, dass große

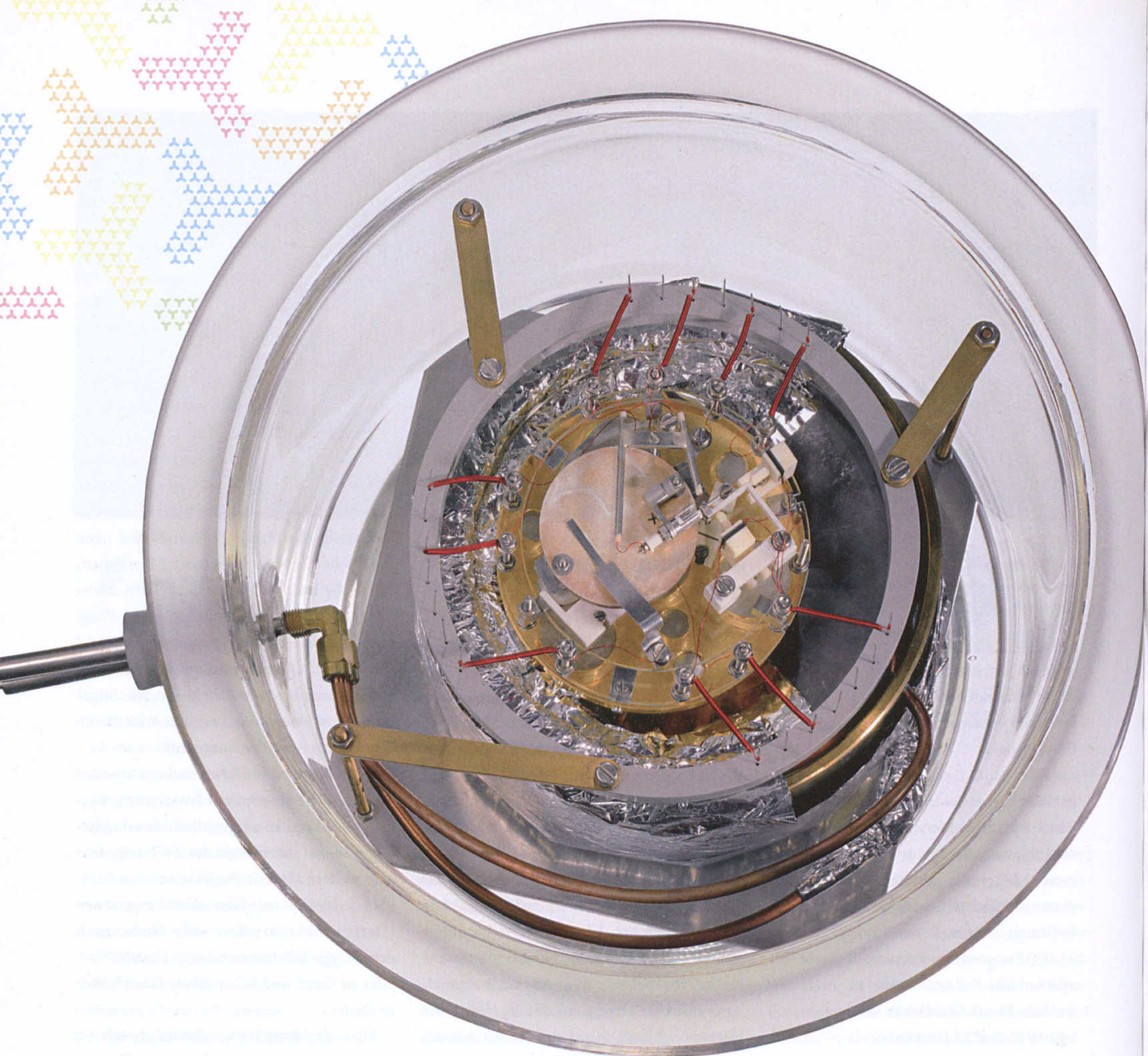
Der Wassermolch ist ein wahrer Regenerationskünstler. Wissenschaftler vom Max-Planck-Institut für Herz- und Lungenforschung hoffen, in den Genen den Schlüssel für die Selbstheilungskräfte der kleinen Amphibien zu finden.

technische und medizinische Fortschritte oft auf Erkenntnissen der Grundlagenforschung beruhen.

Vier weitere Beispiele dieser Forschung sind in der neuen Bio- und Nanotechnologie-Ausstellung im ZNT zu finden: Die Werkstoffe der Natur als Vorbild für neue technische Umsetzungen und Materialien, die Suche nach den Genen, die den Menschen zum Menschen machen, neue Wege zur Optimierung von Brennstoffzellen und leuchtende Quantenpunkte aus Silizium und Germanium – vielleicht ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu noch schnelleren Computern – werden vorgestellt.

Doch Nano- und Biotechnologie sind bei Weitem nicht die einzigen Forschungsgebiete in der Max-Planck-Gesellschaft. Die Themeninsel auf der Galerie des ZNT zeigt deshalb weitere aktuelle Projekte aus den Max-Planck-Instituten. Den Anfang machen »Herpes-Viren in 3D«, »Die Suche nach dem Higgs-Teilchen« im Large Hadron Collider in Genf und »Cenobium-Geschichten in Stein«.

Diese drei Projekte werden für ein Jahr zu sehen sein, dann folgen drei neue Themen aus der Grundlagenforschung. Und wer noch mehr wissen will, kann die »Bilder aus der Wissenschaft« erkunden und so alle Max-Planck-Institute im In- und Ausland kennenlernen. ■



Feinfühilige Meisterwerke^v

Rastersondenmikroskope sind die wichtigsten Werkzeuge für Nanoforscher

Einen Blick in die Welt der Atome und Moleküle zu werfen, ist der Traum jedes Naturwissenschaftlers. Seit mehr als 25 Jahren gibt es Werkzeuge, mit denen sich die Bausteine der Materie abbilden lassen.

Ein Streifzug durch die Instrumente, die die Wahrnehmung des Menschen erweitern: die Rastersondenmikroskope. Von Caroline Zörlein

Glitzernde, regelmäßige Kristalle – die schönsten Resultate chemischer Reaktionen – sind mit bloßem Auge oder einem Lichtmikroskop sichtbar. Aber weder unser Sinnesorgan noch das Mikroskop können auf die atomare Ebene schauen, wo Reaktionen stattfinden, Elektronenwolken sich vereinen und Elemente miteinander verbinden. Um Atomen und Molekülen auf die Spur zu kommen, mussten Forscher neue Messmethoden entwickeln. Mit deren Entdeckung eröffnete sich nicht nur der Blick in diese Größenordnung, sondern es entstand eine ganz neue Technologie: die Nanotechnologie.

Über den Begriff »nano« stolpert man heutzutage nahezu überall – sowohl in Forschungsanträgen als auch in den Medien. Sogar Supermarktprodukte werben mit diesem Wort, das sich vom griechischen Wort *nanos* (Zwerg) ableitet. Ein Nanometer ist zwar winzig – und misst etwa ein Tausendstel eines Durchschnittsbakteriums –, dennoch zählt die Nanotechnologie zu den größten und vielversprechendsten Zukunftstechnologien des 21. Jahrhunderts.

KLEINES BAUT WINZIGES. Die Geburtsstunde der Nanotechnologie ist verknüpft mit dem visionären Vortrag des amerikanischen Wissenschaftlers Richard Feynman: Der Physiker spekulierte 1959 mit den berühmten Worten »There's plenty of room at the bottom« – ganz unten ist eine Menge Platz – über die Aussichten der Miniaturisierung. Es solle in Zukunft möglich sein, winzige Maschinen zu konstruieren, die selbst immer kleinere Maschinen bauen sollten. Diese wären nach seinen Ausführungen irgendwann so klein, dass sie sogar die Bausteine der Materie, die Atome, wie Perlen aneinanderreihen könnten. Physiker sollten dann in der Lage sein, die winzigen Greifhände der Maschinen zu steuern und so Moleküle bauen, die die Chemiker ihnen vorgaben. Die Ausführungen Feynmans gelten im Nachhinein betrachtet als Initialzündung der Nanotechnologie und er selbst als Vater dieser Entwicklung.

Dass solche Apparaturen kein Traum bleiben sollten, zeigt ein Blick in heutige Labors. Gut zwanzig Jahre nach Feynmans visionä-



Das Rasterkraftmikroskop im Gläsernen Forscherlabor des Deutschen Museums wird für eine Aufnahme vorbereitet.

Linke Seite: Erstes Rastertunnelmikroskop von Gerd Binnig und Heinrich Rohrer 1982 (Nachbildung). Für die Konstruktion dieses Rastertunnelmikroskops erhielten Binnig und Rohrer 1986 den Nobelpreis für Physik. Um einzelne Atome abbilden zu können, ist die Schwingungsdämpfung sehr wichtig. Deshalb wurde bei diesem Mikroskop eine sehr aufwendige Dämpfung gebaut, wobei der Kern des Geräts magnetisch auf einer supraleitenden Bleischale schwebt.

rem Vortrag über atomar kleine Maschinen und Miniaturisierung bauten drei Forscher im IBM Forschungszentrum Rüschlikon den Prototypen eines solchen »verlängerten Arms«.

Gerhard Binnig, Heinrich Rohrer und Christoph Gerber entwickelten ein Gerät, mit dem sich das Tor in die Nanowelt öffnete: das Rastertunnelmikroskop, englisch: Scanning Tunneling Microscope (STM). Mit seiner Hilfe können berührungslos winzige Ströme gemessen werden. Eine Tatsache, die in der klassischen Physik vorher undenkbar erschien.

Beginnt man aber eine Reise auf die Nanoebene der Atome und Moleküle, so muss man sich von den Gesetzen der klassischen Physik verabschieden. Denn diese lehren unter anderem, dass Elektronen nur dann als Strom fließen können, wenn sich zwei leitende Materialien berühren. Im Falle des Tunneleffekts, einem quantenmechanischen Phänomen, wird diese Regel außer Kraft gesetzt. Nähert man eine scharfe Metallspitze bis auf wenige Nanometer einer leitenden Probe an, so lässt sich dennoch ein Strom messen – wengleich scheinbar kein Kontakt vorhanden ist. Genau um diesen geringen Strom, den Tunnelstrom, ging es Rohrer und Binnig. Mit ihrem Rastertunnelmikroskop sollte er sich messen lassen.

Die extrem feine Metallspitze tastet atomgenau die Elektronenwolken einzelner Atome und Moleküle ab. Sie ist der sensible Taststock, mit dem sich der »blinde« Forscher ein Bild von der molekularen Umgebung machen kann. Zeilenweise bewegt sich die Spitze im Abstand von wenigen Nanometern über die Oberfläche. Je nachdem, ob die Nadel genau über oder zwischen zwei Atomen schwebt, lässt sich ein hoher oder niedriger Tunnelstrom aufnehmen. Der fließende Tunnelstrom ist also ein Maß für den Abstand zwischen Spitze und Probenoberfläche.

Wie die Fingerspitzen eines Blinden die feinen Noppen der Brailleschrift erkennen, tastet die Metallspitze die Atome ab. Ein Computer übersetzt den Tunnelstrom in ein Graustufenbild. Zeile für Zeile baut sich so ein atomares Höhenprofil der Oberfläche auf – ähnlich einer unbespielten Legoplatte mit ihren Erhebungen und Vertiefungen: das Abbild der

Atome. Mit dem atomar aufgelösten Bild einer Siliziumoberfläche glückte Binnig und Rohrer der Durchbruch. Und bereits fünf Jahre nach ihrer Erfindung des Rastertunnelmikroskops erhalten sie zusammen mit Ernst Ruska, dem Vater des Elektronenmikroskops, den Nobelpreis für Physik.

FEINE FERNSTEUERUNG. In welchen Dimensionen sich die Tunnelspitze bewegt, macht die folgende Analogie aus dem Makrokosmos deutlich: Wäre der umgedrehte Eiffelturm die Tunnelspitze, könnte man damit Sandkörner zählen. Stellt sich nur die Frage, wie man das französische Wahrzeichen so exakt über einzelne Sandkörner positionieren kann. Auf atomarer Ebene helfen sogenannte Piezomaterialien. Das sind Werkstoffe, die sich beim Anlegen einer Spannung auf der Nanometerskala verbiegen können. Einzelne Piezoelemente befinden sich im Scanner, dem Herzstück des Rastertunnelmikroskops, an dem die Tunnelspitze befestigt ist. Atomgenau steuern die »Piezos« die Spitze über einzelne Atome der Kristalloberfläche.

Dass sich das Gerät als vielseitiges Nanowerkzeug entpuppen sollte, zeigte sich nur wenige Jahre später. Ende der 1980er-Jahre steuerten Forscher um Don Eigler von IBM die feine Metallspitze sehr nah an eine Oberfläche heran. Durch Variieren der angelegten Spannung gelang es ihnen, einzelne Atome aus der obersten Schicht aufzunehmen und die Fracht an einer anderen Position wieder abzuladen. So entstand 1989 der berühmte Schriftzug von IBM, geschrieben mit 35 Xenonatomen.

NANOKRÄFTE MESSEN UND ABBILDEN.

Einzigster Nachteil des Rastertunnelmikroskops: Man braucht elektrisch leitende Proben. Für Wissenschaftler, die sich einen breiteren Einsatz der neuen Technik wünschten, sei es auf Isolatoroberflächen oder gar bei biologischen Proben, war das eine schwer zunehmende Beschränkung. Als Lösung für diese Probleme entstand 1985/86 an der Universität von Stanford in Kalifornien das Rasterkraftmikroskop.

Neben dem Rastertunnelmikroskop-Erfinder Gerd Binnig waren auch Cal Quate, einer

Literatur

Niels Boeing, *Nano?! Die Technik des 21. Jahrhunderts*, Berlin 2004

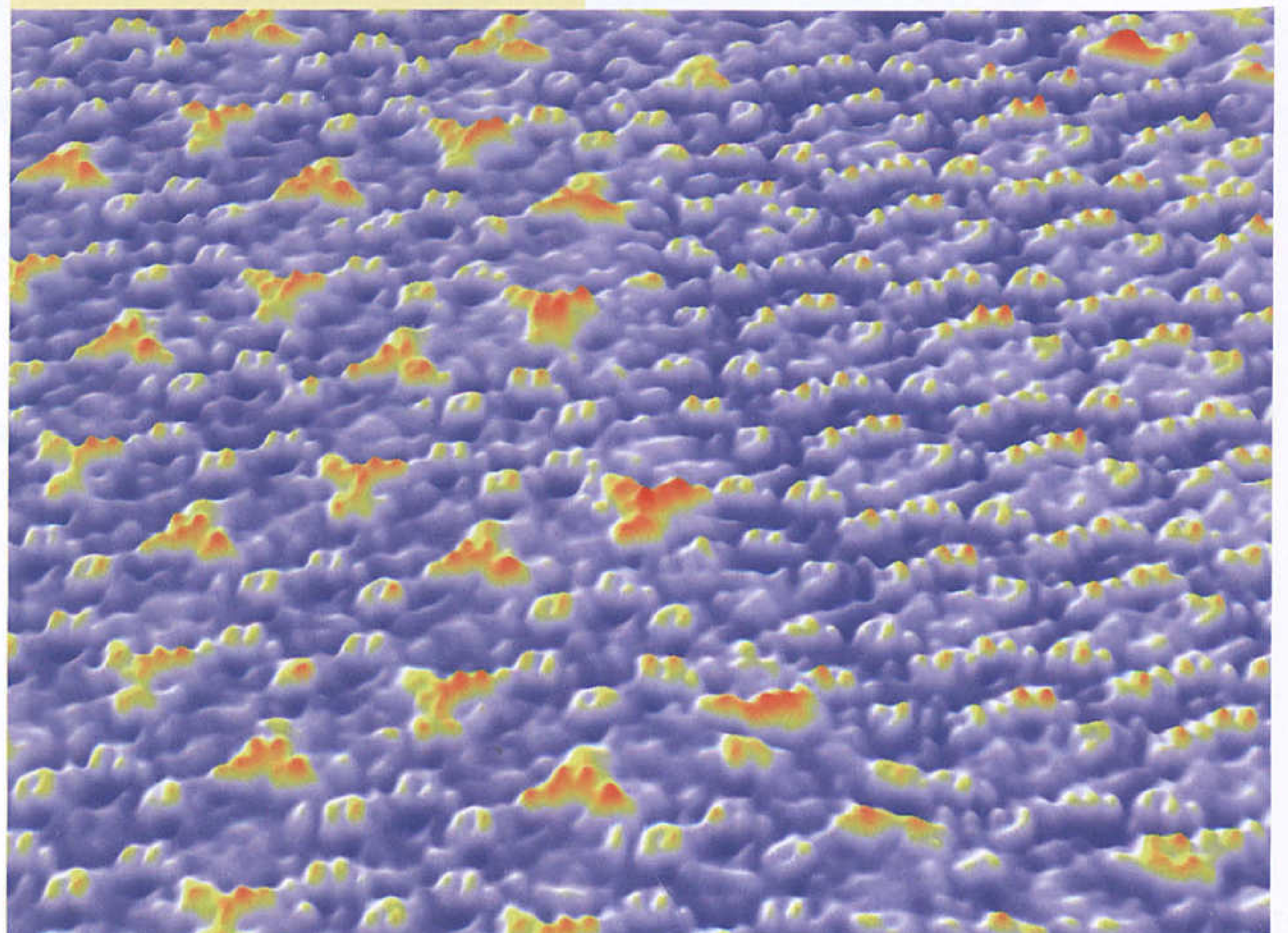
Marc-Denis Weitze, *Das Rasterkraftmikroskop – Ein Werkzeug zum Tasten, Ziehen und Graben für die Nanowissenschaft*, Berlin/München, 2003

Diese Aufnahme mithilfe eines Rastertunnelmikroskops zeigt selbstorganisierte Moleküle auf einer Graphit-Oberfläche. Zwei verschiedene Sorten von Molekülen (kleine Kreise, größere Dreiecke) wurden in einem Lösungsmittel auf eine Oberfläche aufgebracht. Dort bilden sie von selbst regelmäßige, zweidimensionale Strukturen, die nur eine Moleküllage dicht sind. Links sieht man eine Mischform aus beiden Molekülen, rechts besteht die Struktur nur aus runden Molekülen.

der ersten Rastertunnelmikroskop-Spezialisten in Nordamerika, und Christoph Gerber an der Entwicklung beteiligt.

Gemeinam machten sich Binnig, Quate und Gerber nun an die Entwicklung des Kraftmikroskops. Das neue Messprinzip musste, damit auch nicht leitende Proben untersucht werden können, die atomaren Dimensionen stromlos erfassen. Infrage kommen die physikalischen und chemischen Anziehungs- und Abstoßungskräfte zwischen zwei Materialien. Da die Spitze – wie beim Rastertunnelmikroskop – extrem spitz ist, beschränkt sich die Wechselwirkung zwischen Spitze und Oberfläche auf eine winzige Fläche.

Die Spitze des Kraftmikroskops sitzt am äußersten Ende eines elastischen Federbalkens, des sogenannten Cantilevers. Wird diese durch physikalische oder chemische Wechselwirkungen angezogen, spürt sie eine Kraft, und der Balken verbiegt sich ein wenig. Die Federverbiegung lässt sich auf einen zehntel Nanometer genau messen, sodass ihre Auslenkung das Profil der Oberfläche in atomarer Präzision wiedergibt. Zum großen Durchbruch verhalf dem Rasterkraftmikroskop die in der Gruppe von Paul Hansma in den USA entwickelte optische Erfassung der Cantilever-Auslenkung: Dabei wird ein Laserstrahl auf die Rückseite des Cantilevers gerichtet, dort reflektiert und von einer Fotodiode in eine Spannung umgewandelt.



Die ersten Cantilever bestanden aus hauchdünnen Streifen Alufolie, an deren Ende ein winziger Diamantsplitter befestigt war – von Hand aufgeklebt mithilfe eines Mikroskops. Heute werden sie üblicherweise aus Silizium geätzt und die äußerste Spitze je nach Messverfahren variiert: beispielsweise chemisch beschichtet oder mit anderen Elementen gehärtet. Eine besonders scharfe Spitze entsteht, wenn man diese mit einem Kohlenstoff-Nanoröhrchen ausstattet.

MIT RASTERSONDEN SEHEN, REISSEN ODER PIEKSEN. Mittlerweile lässt sich das Rasterkraftmikroskop aber nicht nur dazu benutzen, Oberflächen abzubilden, sondern auch, um molekulare Kräfte zu messen: Positioniert man ein Molekül zwischen die Spitze des Cantilevers und einer Unterlage, lässt sich messen, welche Kraft es auf der Unterlage hält – und wie viel Kraft es kostet, um es zu dehnen oder auseinanderzureißen. So erforschen Wissenschaftler die Mechanik der Moleküle und deren Aufbau. Denn das »Kräftemessen« verrät ihnen, wie stark einzelne chemische Bindungen sind.

Aber die Technologie der Rastersondenmethoden dient heute nicht nur der Mikroskopie. Das Unternehmen IBM hat mit dem sogenannten Millipede ein mechanisches Speichersystem entwickelt: Dutzende parallel geschaltete Cantilevern schmelzen viele winzige Löcher, ähnlich der früheren Lochkarte, in einen Kunststofffilm. Auf diesem mikroelektronischen Speichersystem lassen sich so große Datenmengen festschreiben.

Zwar können Forscher auch heute noch nicht Feynmans Vision realisieren und winzige Maschinen bauen. Dennoch umgeben uns solche Nanomaschinen. Nahezu unbemerkt verrichten sie sogar lebenswichtige Aufgaben in rasender Geschwindigkeit. In der Natur sind molekulare Maschinen längst verwirklicht – jede Zelle ist angefüllt von Nanomaschinen, den Enzymen und Proteinen. ■■

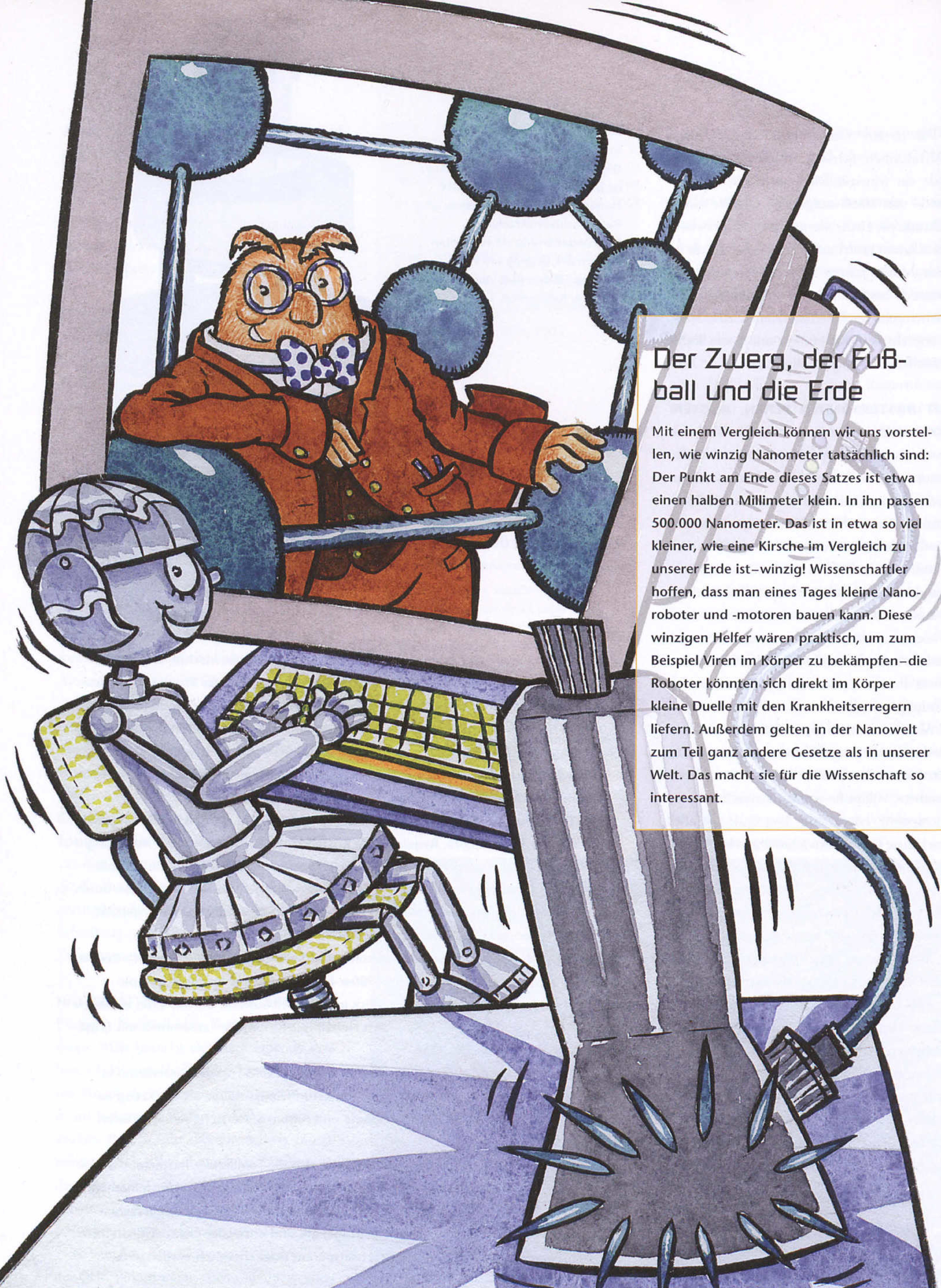
Rastertunnelmikroskop Digital Instruments Nanoscope. Die Firma Digital Instruments (heute Veeco) ist bis heute der erfolgreichste Hersteller von kommerziellen Rastersondenmikroskopen. Gegründet wurde sie von Mitarbeitern der Gruppe um Paul Hansma (Universität von Santa Barbara, Kalifornien, USA).



DR. CAROLINE ZÖRLEIN ist Chemikerin und Wissenschaftsjournalistin.

WIE FORSCHER DEN ATOMEN AUF DIE SPUR KAMEN

- ▶ Der erste Mensch, der Atome mit einem Mikroskop sichtbar machte, war Ernst Müller. Er entwickelte die Feldionenmikroskopie, kurz: FIM. Der Physiker arbeitete am Kaiser-Wilhelm-Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie (dem späteren Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft) und veröffentlichte 1951 die Bilder einer Wolframspitze, auf denen einzelne Atome zu sehen waren. Allerdings ließen sich mit FIM nur ausgewählte Probensysteme untersuchen: elektrisch leitende Materialien in Form einer scharfen Spitze.
- ▶ Das Transmissions-Elektronen-Mikroskop (TEM) bauten Max Knoll und Ernst Ruska Anfang der 1930er-Jahre. Regelmäßige Kristallstrukturen mit atomarer Auflösung abzubilden, war damit erst in den 1970er-Jahren möglich, nachdem die Technik ausreichend entwickelt war. Beim TEM treten stark beschleunigte Elektronen durch eine hauchdünne Probe. Im Material werden sie unterschiedlich stark abgelenkt und erzeugen auf einem Detektor ein Abbild der Probe.
- ▶ Am IBM Forschungszentrum Rüschlikon entwickelten Gerd Binnig, Heinrich Rohrer und Christoph Gerber Anfang der 1980er-Jahre die Rastertunnelmikroskopie. Damit öffneten sie sozusagen den Blick in den Nanokosmos. Bereits 1986 erhielten Gerd Binnig und Heinrich Rohrer den Nobelpreis für Physik – zusammen mit Ernst Ruska, dem Erfinder des TEM.
- ▶ 1990 gelang es Wissenschaftlern um Don Eigler am IBM Forschungszentrum in Almaden, Kalifornien, die Spitze eines Rastertunnelmikroskops als Werkzeug zu benutzen: Sie bewegten einzelne Atome und fügten diese zu neuen Strukturen zusammen.
- ▶ Aus dem Rastertunnelmikroskop entwickelte sich die Familie der Rastersonden. Sie zeichnen sich durch zeilenweises Abrastern von Oberflächen mit einer feinen Spitze aus. Je nach Probe und je nachdem, welche Eigenschaften man untersuchen will, kommen verschiedene Sonden infrage: Sie sind entweder elektrisch leitend oder isolierend, magnetisch, optisch transparent oder chemisch vorbehandelt.



Der Zwerg, der Fußball und die Erde

Mit einem Vergleich können wir uns vorstellen, wie winzig Nanometer tatsächlich sind: Der Punkt am Ende dieses Satzes ist etwa einen halben Millimeter klein. In ihn passen 500.000 Nanometer. Das ist in etwa so viel kleiner, wie eine Kirsche im Vergleich zu unserer Erde ist – winzig! Wissenschaftler hoffen, dass man eines Tages kleine Nanoroboter und -motoren bauen kann. Diese winzigen Helfer wären praktisch, um zum Beispiel Viren im Körper zu bekämpfen – die Roboter könnten sich direkt im Körper kleine Duelle mit den Krankheitserregern liefern. Außerdem gelten in der Nanowelt zum Teil ganz andere Gesetze als in unserer Welt. Das macht sie für die Wissenschaft so interessant.

Die kleinste Wissenschaft der Welt

Von Nahem betrachtet sehen Dinge oft anders aus. Die Seiten dieser Zeitschrift zum Beispiel wirken ganz glatt. Wenn du eine Lupe darauf legst, wirst du erkennen, dass das Papier in Wirklichkeit hügelig und rau ist. Die Hügel werden noch größer, wenn du ein Stückchen Papier unter dem Mikroskop betrachtest. Nanoforscher betrachten Oberflächen mit besonderen Mikroskopen, die mit Laserstrahlen arbeiten. Sie können damit Dinge beobachten, die so klein sind, dass wir sie mit bloßem Auge gar nicht erkennen können: ein Nanometer (nm) ist ein Milliardstel eines Meters.

Das ist wirklich unvorstellbar klein. Caroline Zörlein und Jessica Riccò

Nano unter den Sohlen

Geckos sind wahre Kletterkünstler: Kopfüber spazieren sie an Zimmerdecken und flitzen senkrechte Wände hinauf und hinunter. Ihre Füße haften so perfekt auf Oberflächen, dass sie sich sogar auf Glasscheiben mühelos bewegen. Wenn sie wollten, könnten die Echsen ganz lässig mit nur einem Fuß sicher unter der Decke hängen. Das Geheimnis der Haftkraft steckt unter ihren Fußsohlen.

HAFTENDE HÄRCHEN. Die Fußsohlen der Echsen sehen mit bloßem Auge unspektakulär aus: mehrere dünne Lamellen unter jeder Zehe. Der Blick durch ein Mikroskop zeigt jedoch, dass sich jede dieser Lamellen aus einzelnen feinen Härchen zusammensetzt. Diese sind zehn Millimeter lang und zehnmal so dünn wie ein menschliches Haar. Um der Haftkraft auf die Spur zu kommen, muss man jedoch noch genauer hinschauen. Unter dem Elektronenmikroskop sieht man, dass sich jedes Härchen weiter aufspaltet. Diese winzigen, schaufelförmigen Blättchen – der Fachbegriff dafür heißt lateinisch *Spatulae* – sind extrem fein: Sie sind nur zehn bis 15 Nanometer dünn. Die Haftkraft der Zehenhaare beruht auf Molekülen, aus denen sich die zahlreichen *Spatulae* zusammensetzen. Diese treten mit Molekülen der Zimmerdecke in Kontakt. Jetzt kommen chemische Kräfte ins Spiel, die sogenannten Van-der-Waals-Kräfte. Sie halten die Moleküle untereinander zusammen. Rund eine Milliarde dieser Hafthärchen unter dem Geckofuß schmiegen sich an den Untergrund. Die Kräfte der unzähligen Moleküle addieren sich und halten die Kletterechsen an der Decke.

ES GEHT NOCH KLEINER!

Nanometer sind zwar klein, aber es geht auch noch winziger: Ein Pikometer (vom Italienischen »klein«) ist noch mal so viel kleiner, wie ein Nanometer im Vergleich zum Millimeter schon ist – damit misst man zum Beispiel die Größe von Atomen.



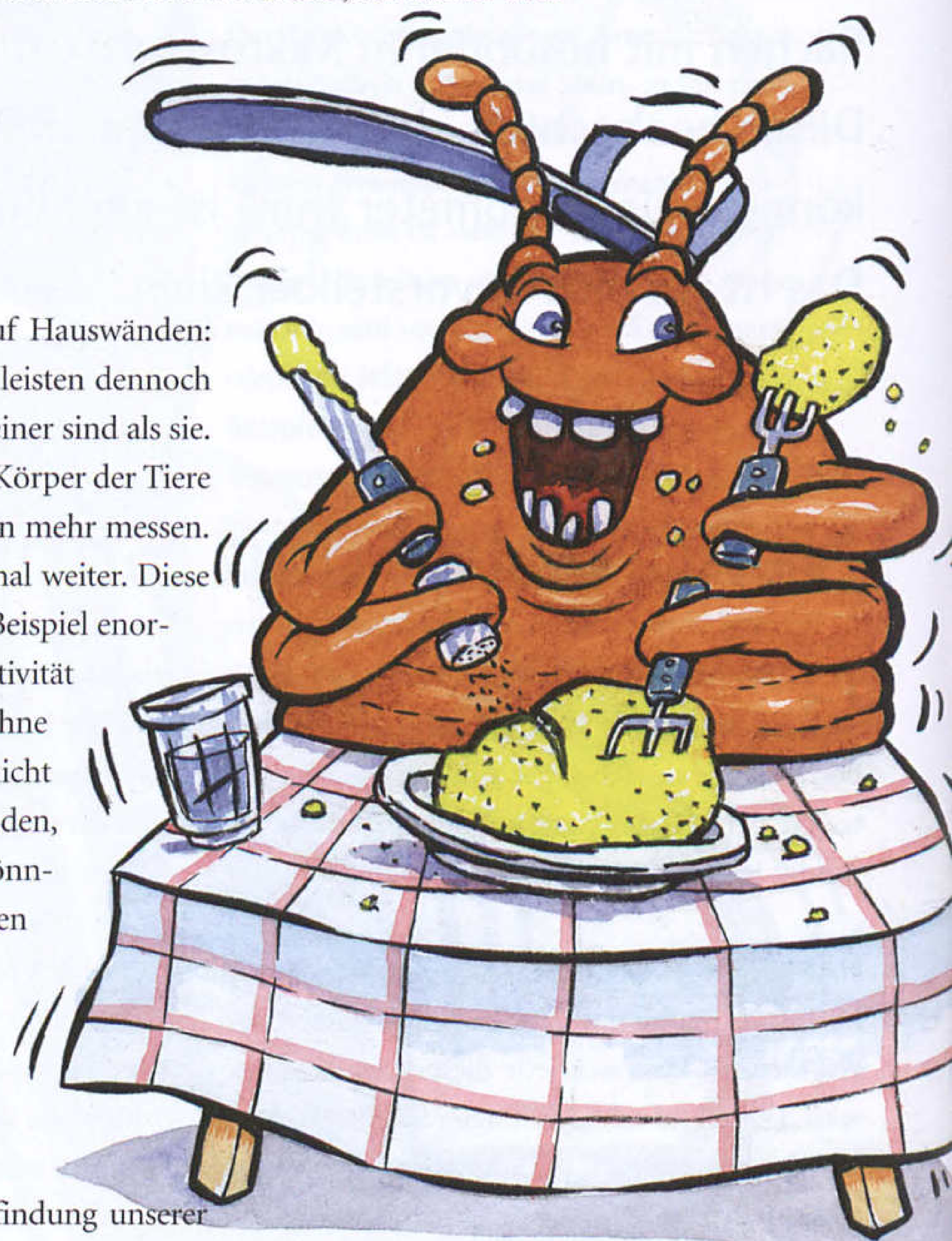


Nanotechnik al dente

Auch in deiner Küche gibt es ganz bestimmt etwas, das schon Bekanntschaft mit Nanotechnologie machen durfte: Spaghetti! Für die Nudeln wird in einer Fabrik zunächst der Teig hergestellt. Dort werden sie auch schon vorgekocht – wir müssen sie dann nur noch acht Minuten zu Hause kochen, bis sie fertig sind. Wenn die Nudeln allerdings in der Fabrik schon zu lange gekocht würden, gäbe es bei uns nur noch weichen Matsch im Topf anstatt leckerer Spaghetti. Also benutzen die Hersteller einen Trick: Unter einem Rasterelektronenmikroskop gucken sie, ob das heiße Wasser die Spaghetti schon gar genug gekocht hat. Das können sie daran erkennen, ob das Hartweizenmehl, aus dem Nudeln hauptsächlich gemacht sind, schon vom Wasser aufgequollen ist. Sind sie zu lange drin, verkleben die Mehlmoleküle. Übrigens: Al dente bedeutet »zum Zahn« – damit ist gemeint, dass die Nudeln beim Essen zerbissen werden müssen. Dafür dürfen sie nicht mehr steinhart wie in der Packung sein, aber eben auch kein zerfallener, zerkochter Brei.

Winzige Supermänner

Sie leben in Wassertropfen, sitzen in Moospolstern, Dachrinnen oder auf Hauswänden: Bärtierchen (du siehst eines im Bild auf Seite 39 oben) sind winzig und leisten dennoch Erstaunliches. Sie ernähren sich von Pflanzen und von Lebewesen, die noch kleiner sind als sie. Und sie sind wahre Überlebenskünstler. Unter extremen Bedingungen geht der Körper der Tiere in einen todesähnlichen Zustand über: Man kann dann keinerlei Lebenszeichen mehr messen. Ist die Gefahr überstanden, wachen die Tiere wieder auf und leben ganz normal weiter. Diese Form der Anpassung nennt man Kryptobiose. So überleben Bärtierchen zum Beispiel enorme Kälte oder Hitze, hohen Salzgehalt im Wasser, extreme Trockenheit, Radioaktivität und Sauerstoffmangel. Sie würden sogar im Weltall weiterleben können – ohne Nahrung, Luft und Wasser! Wissenschaftler interessieren sich für Bärtierchen nicht nur, weil sie unter dem Mikroskop so niedlich aussehen. Sie wollen herausfinden, warum die Winzlinge unter extremen Bedingungen überleben. Dieses Wissen könnte man zum Beispiel nutzen, um neue Techniken für das Einfrieren von Organen zu entwickeln, die später bei einer Transplantation verwendet werden sollen.

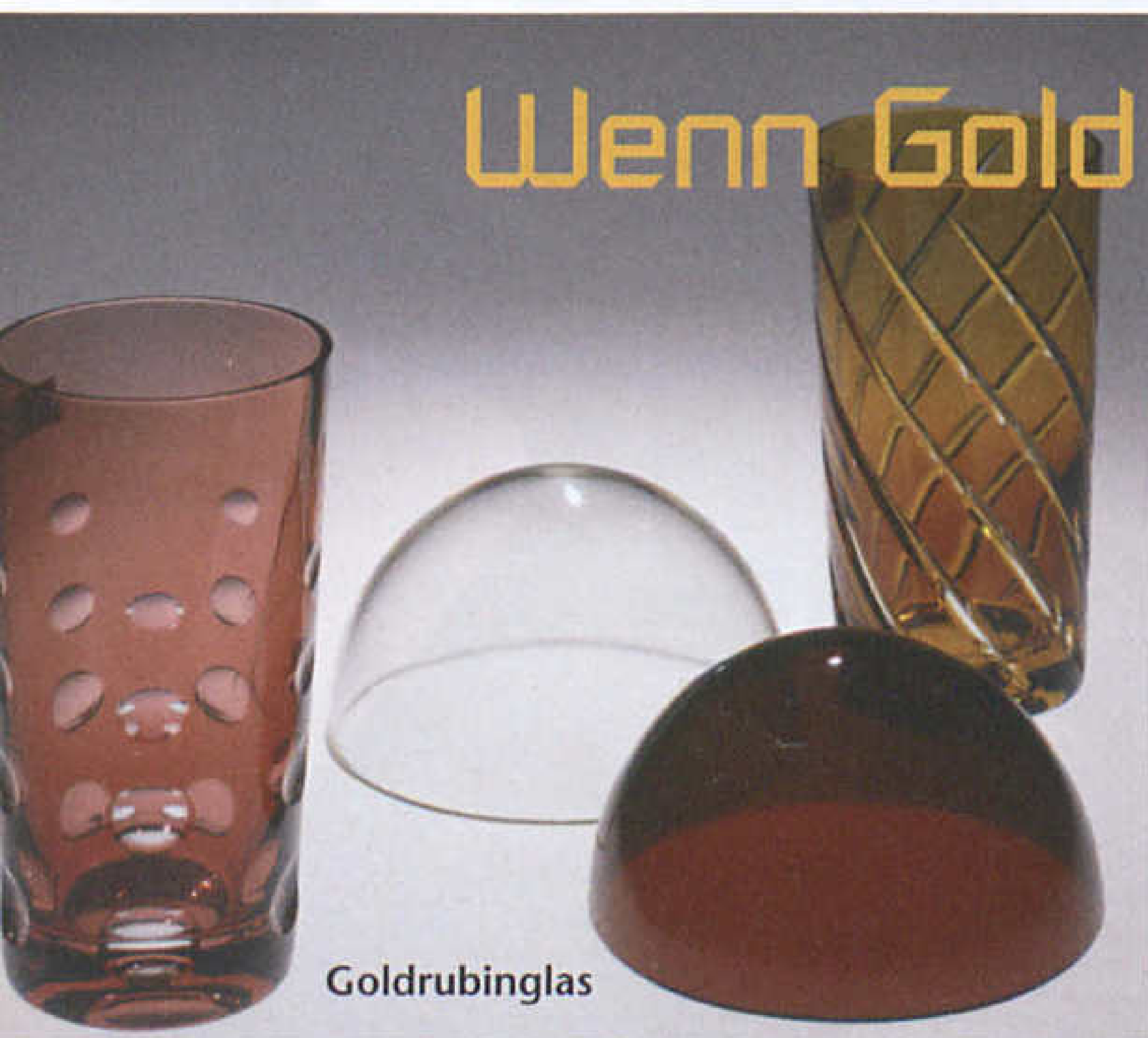


Wenn Gold

rot wird

Nanotechnik ist keine Erfindung unserer Zeit. Schon früher nutzten Menschen Teilchen im Nanoformat – ohne es zu wissen. Ein besonders schönes Beispiel ist das sogenannte Goldrubinglas. Im späten Mittelalter versuchten Alchemisten dieses blutrote Glas herzustellen. Wie die rubinrote Farbe durch metallisches Gold zustande kommt, konnte man jedoch erst Anfang des 20. Jahrhunderts klären: Nur wenn das Edelmetall in nanometergroßen Partikeln im Glas verteilt ist, er-

scheint es rot. Bei der Herstellung muss man sich an ein besonderes Rezept halten. Zuerst schmilzt man die Gold-Glas-Mischung bei 1.400 Grad Celsius und lässt sie anschließend abkühlen. Jetzt ist das Glas noch farblos. Wenn man es allerdings nochmals auf 600 Grad Celsius erhitzt, erstrahlt es in tieferer Farbe. Die links abgebildeten Gläser kannst du im Zentrum Neue Technologien in der Ausstellung »Nanotechnologie im Alltag« besichtigen.



Herr Macknapp und sein Hightech-Adlerauge

Normalkleine Dinge wie zum Beispiel ein Reiskorn oder eine Ameise kann man unter einem Mikroskop genau betrachten. Die Dinge in der Nanowelt sind aber so klein, dass wir sie auch mit einem normalen Mikroskop nicht sehen können. Wie man sich trotzdem ein Bild von den winzigen Dingen machen kann, erklärt Klaus Macknapp vom Deutschen Museum. Im ersten Stock des Deutschen Museums sitzt Herr Macknapp vor einem Rasterelektronenmikroskop. »Normale Mikroskope arbeiten mit Licht und Lupen, um Gegenstände zu vergrößern,« beginnt Herr Macknapp zu erzählen. »Dieses hier funktioniert ganz anders.« Sein Mikroskop schießt mit einem Elektronenstrahl auf die Oberfläche der Probe. Die aufschlagenden Elektronen sind so schnell, dass sie beim Auftreffen neue Elektronen herauslösen. »Das ist in etwa so, wie wenn ein Stein auf eine Wasseroberfläche geworfen wird,« erklärt der Wissenschaftler. Die zurückgeworfenen Teilchen werden von einem Detektor aufgesogen. Je mehr Elektronen das Gerät dann an einem Punkt zählt, desto heller wird dieser auf dem Bildschirm dargestellt. Wenn an einem Punkt gar keine Oberfläche zum Untersuchen liegt, bleibt der Punkt schwarz. So können wir dann wie im Bild oben winzige Dinge sehen: Bärtierchen zum Beispiel aber auch Viren oder Blutkörperchen.



Klaus Macknapp (Mitte) erläutert Caroline Zörlein (links) und Jessica Riccò (rechts) Aufnahmen, die er mit dem Rasterelektronenmikroskop gemacht hat. Das Tier oben im Bild ist ein Bärtierchen. In Wirklichkeit ist es nur 0,3 Millimeter groß.

Alles Wissenswerte über Bärtierchen findest du im Internet unter: www.baertierchen.de

MITMACHEN UND GEWINNEN!

Wofür steht »Nano«?

- a) klein
- b) Zwerg
- c) Milbe

Wovon ernähren sich Milben?

- a) Staub und Hautschuppen
- b) Spaghetti und Lasagne
- c) kleine Lebensmittel, z. B. Reis und TicTacs

Ein Nanometer ist im Vergleich zu einem Millimeter so klein wie eine Kirsche zu...

- a) einem Fußball
- b) unserem Sonnensystem
- c) der Erde

Lösung des Rätsels aus Kultur & Technik 4/2009

Frage 1: Welche Milch hat den höchsten Fettanteil?

Antwort: Rentiermilch **Frage 2:** Wie heißt das Haltbarmachen von Milch?

Antwort: Pasteurisieren

Gewonnen haben: Johanna Osterkorn, Noah Vasatko, Judith Jenne, Pascal Vielberth

Du bist diesmal nicht dabei?

Dann versuch's gleich noch einmal!

Sende deine Lösung per E-Mail an:

mikromakro@folio-muc.de

oder per Post an: »MikroMakro«, c/o folio gmbh, Gistelstraße 63, 82049 Pullach

Einsendeschluss ist der 30. Februar 2010

Bitte schreibe uns auch dein Alter (!) und die Adresse.

Zu gewinnen gibt es diesmal spannende Wissensbücher für Kinder und Jugendliche. Wir drücken dir die Daumen!

Zerbrechliche Kostbarkeiten^v

Die historischen Laborgläser



Glasegefäße in den unterschiedlichsten Formen und Größen gehörten seit dem Mittelalter zu den unentbehrlichen Utensilien jedes alchimistischen Labors. In der derzeit geschlossenen Ausstellung »Historische Laboratorien« zeigt das Deutsche Museum etliche solcher Gläser. Zahlreiche weitere Schätze lagern im Depot.

Von Susanne Rehn

Seit Oktober 2009 ist die Chemieausstellung im Deutschen Museum geschlossen. Die bisherige »Wissenschaftliche Chemie« wird durch eine neu gestaltete Ausstellung ersetzt, die ebenfalls geschlossene Abteilung »Historische Laboratorien« wird voraussichtlich 2012 in nahezu unveränderter Form wieder eröffnet werden.

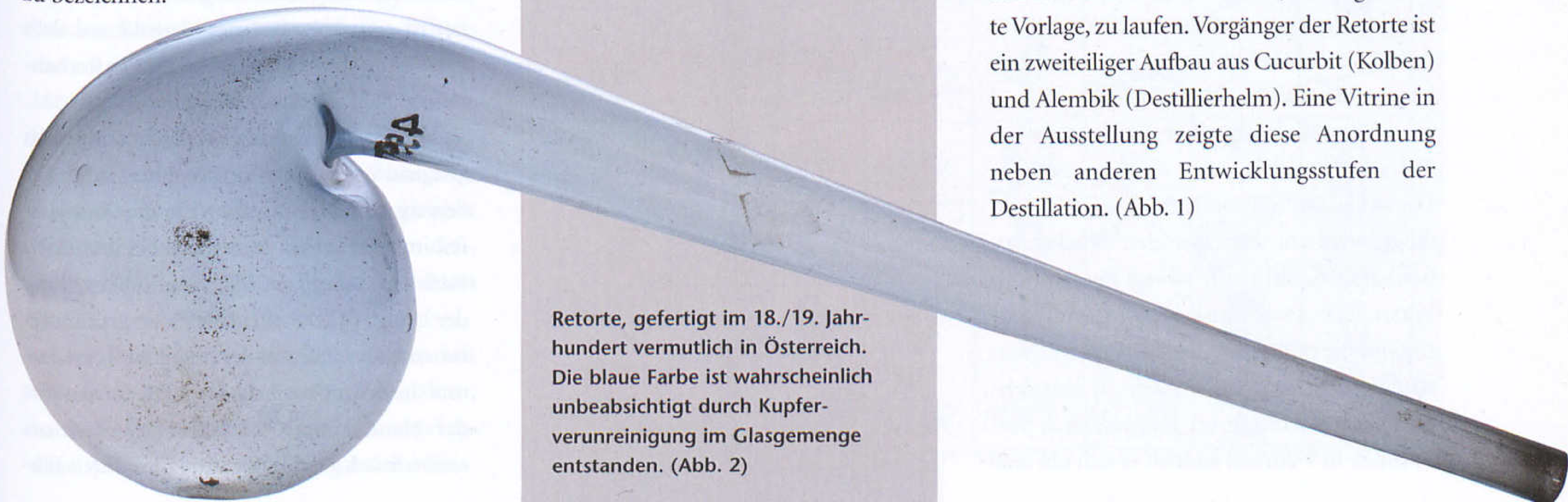
Die »Historischen Laboratorien«: das Alchemielabor sowie die Labors aus den Zeiten Lavoisiers und Liebig's – haben eine lange Tradition im Deutschen Museum: Bereits in der ersten Ausstellung, eröffnet 1906 in den Räumen des heutigen Völkerkundemuseums an der Maximilianstraße, wurden Nachbauten dieser Art gezeigt. Insbesondere das Alchemielabor erfreute sich großer Beliebtheit beim Publikum, ebenso wie sein Vorbild auf der Weltausstellung 1904 in St. Louis, USA, dessen Anblick den Museumsgründer Oskar von Miller zu einer entsprechenden Ausstellung im Deutschen Museum angeregt haben soll.

Um die historischen Laboratorien und die ebenfalls geplante historische Apotheke einzurichten und mit Geräten auszustatten, wandten die Museumsgründer ein damals wie heute erfolgversprechendes Verfahren an: das Massenmailing (selbst wenn es damals noch nicht so hieß). Mithilfe des Medizinalrats Dr. Merck aus Darmstadt wurde eine Vielzahl von Apothekern im gesamten damaligen Deutschen Reich angeschrieben, das Konzept der geplanten Ausstellung geschildert und um die Überlassung von Einrichtung und Glasgeräten gebeten. Die Angeschriebenen schickten ihre Spenden frei Haus an das Museum und bald trafen die zukünftigen Exponate kistenweise ein. In den Verwaltungsakten des Archivs finden sich Briefe, in denen sich die Museumsgründer, oftmals von Miller persönlich, wortreich für die Übersendung der Gegenstände bedanken. Was sich leider nicht darin findet, ist die Aufforderung an die Stifter, die übersandten Stücke genau zu bezeichnen.



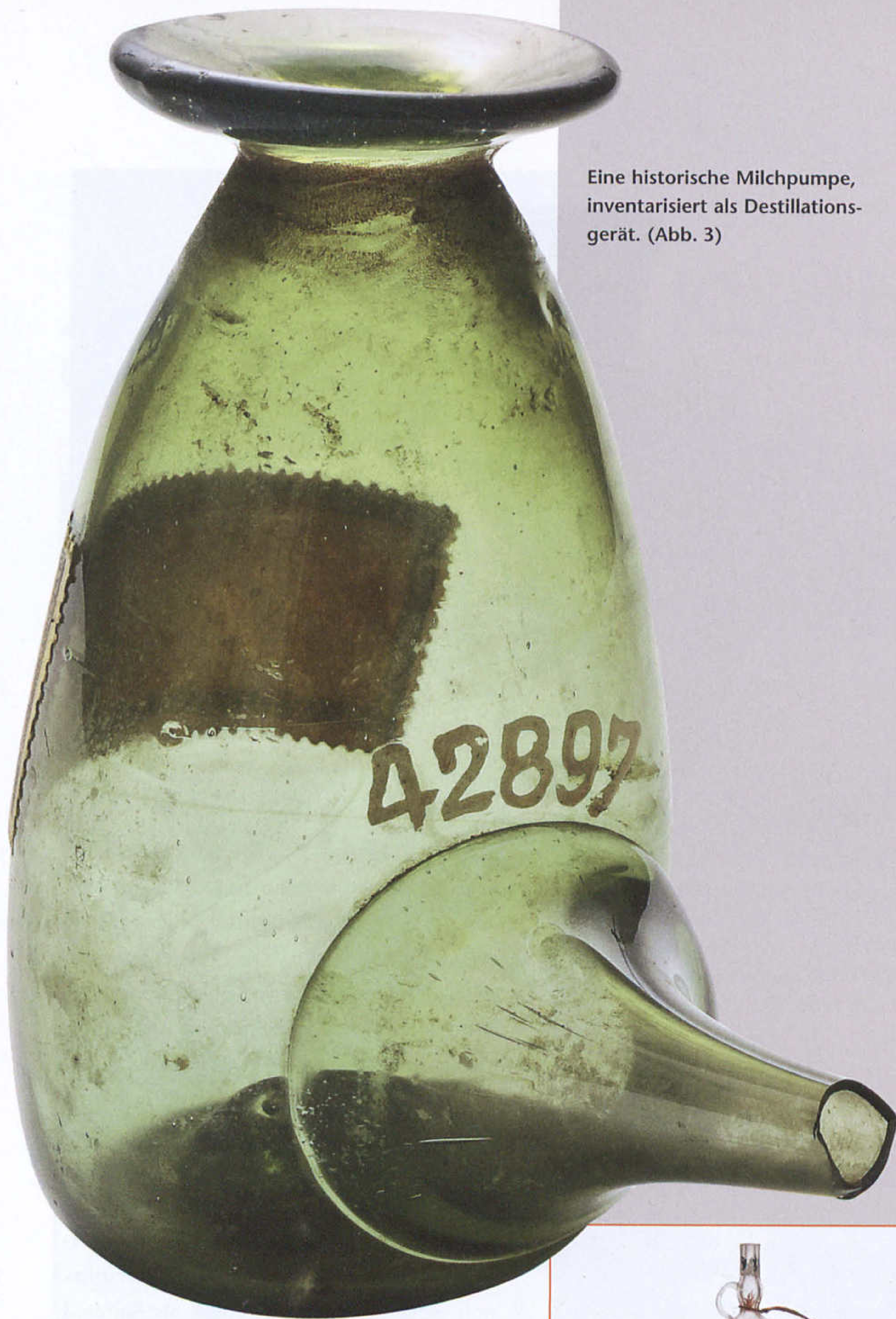
Eine Vitrine im historischen Alchemielabor zeigte die Entwicklung der Destillationstechnik. Oben im Bild: eine Anordnung aus Cucurbit und Alembik. (Abb. 1)

Etwa seit 1906 wurden die Exponate inventarisiert und in die entsprechenden Ausstellungsräume gebracht. Die Ausstellungsmacher konnten aus dem Vollen schöpfen und bestückten das Alchemielabor mit vielen historisch anmutenden Laborgläsern. Dadurch sollte die Arbeitsweise der Alchemisten im Mittelalter anschaulich dargestellt werden. Lenkt man den Blick auf die Glasgeräte, fällt vor allem eine Form ins Auge, die – obwohl das entsprechende Gerät seit langem in keinem chemischen Labor mehr für die Destillation eingesetzt wird – geradezu als Sinnbild der Chemie gilt: die Retorte (Abb. 2). Im Kolben wird eine Flüssigkeit zum Sieden erhitzt, der Dampf steigt auf und kondensiert am höchsten Punkt, dem Gewölbe, um dann über den Hals in ein zweites Gefäß, die so genannte Vorlage, zu laufen. Vorgänger der Retorte ist ein zweiteiliger Aufbau aus Cucurbit (Kolben) und Alembik (Destillierhelm). Eine Vitrine in der Ausstellung zeigte diese Anordnung neben anderen Entwicklungsstufen der Destillation. (Abb. 1)



Retorte, gefertigt im 18./19. Jahrhundert vermutlich in Österreich. Die blaue Farbe ist wahrscheinlich unbeabsichtigt durch Kupferverunreinigung im Glasgemenge entstanden. (Abb. 2)

Eine historische Milchpumpe, inventarisiert als Destillationsgerät. (Abb. 3)



STÜCKE AUS DEM 17. JAHRHUNDERT.

Einige wirklich interessante Stücke halten seit über hundert Jahren einen Dornröschenschlaf im Depot. Die seinerzeit gestifteten Objekte stammen zwar zum größten Teil aus dem 19. Jahrhundert, doch sind einige hervorragend erhaltene Stücke aus dem 18. und sogar dem 17. Jahrhundert dabei. Allein der Teil der Sammlung, der im Jahr 2009 im Depot lag, umfasst rund 350 Glasgeräte. Und fängt man an, sich mit den Stücken zu beschäftigen, rächt sich schnell die damalige Praxis der Inventarisierung. Und damit beginnt die mühsame Geschichte der Rekonstruktion. Inv.-Nr. 42897 (Abb. 3) beispielsweise ist als Vorlage im Eingangsbuch verzeichnet. In Wahrheit handelt es sich um eine

Muttermilchpumpe aus dem 19. Jahrhundert. Sie wurde von einem Apotheker aus Kaliningrad (Russland), dem damaligen Königsberg, gestiftet und vermutlich auch dort hergestellt. Die Pumpe wurde mit der oben liegenden Tülle an die Brust angesetzt und durch Saugen an dem ursprünglich längeren, leider abgebrochenen Hals ein Unterdruck erzeugt, der die Milch in das Gefäß laufen ließ. Milchpumpen aus Glas sind in der Literatur aus verschiedenen Regionen bekannt, beispielsweise aus Holland oder Italien. Die Vielzahl der Fundorte und eingesetzten Formen lässt auf eine weite Verbreitung schließen. Auch wird in der Literatur die Verwechslungsmöglichkeit mit chemischen Destillationsgeräten erwähnt.

FEHLERHAFTE AUFZEICHNUNGEN. Ein weiteres Beispiel für eine falsche Bezeichnung im Eingangsbuch ist das auf Abb. 5 im Vordergrund dargestellte Laborgerät, das als Heber inventarisiert wurde. Ein (Stech)heber ist ein Gerät, mit dem man in ein großes Volumen Flüssigkeit, z. B. Wein in einem Fass, hineinsticht, woraufhin sich das Rohr und das Vorratsgefäß mit der Flüssigkeit füllen. Durch Verschließen der Öffnung mit dem Daumen bleibt die Flüssigkeit im Gefäß stehen und kann aus dem Fass entnommen werden. Ein reich verzierter Heber war beispielsweise im historischen Lavoisier-Labor ausgestellt (Abb. 4).

Unser fragliches Glasgerät jedoch taugt nur begrenzt als Heber: Die untere Öffnung ist so schmal, dass die Flüssigkeit nur langsam von unten einfließt und der Henkel ist so weit von der oberen Öffnung entfernt, dass eine Einhandbedienung kaum möglich ist. Das Exponat ist ein unbeschädigtes Original aus dem 17. Jahrhundert, das im Jahre 1913 in Rothenburg o. d. T. angekauft wurde.

Nachdem praktische Versuche mit dem Original unmöglich durchzuführen sind, ließen wir von Herrn Greiner, der die Glasbläserei im Deutschen Museum betreibt, einen Nachbau anfertigen. Die Gegenüberstellung der beiden Stücke offenbart einen grundsätzlichen Unterschied in der Fertigung von Glas- und insbesondere Laborgeräten: Stücke aus der Hand eines Glasmachers werden aus einem Stück geschmolzenem Glas durch Bla-



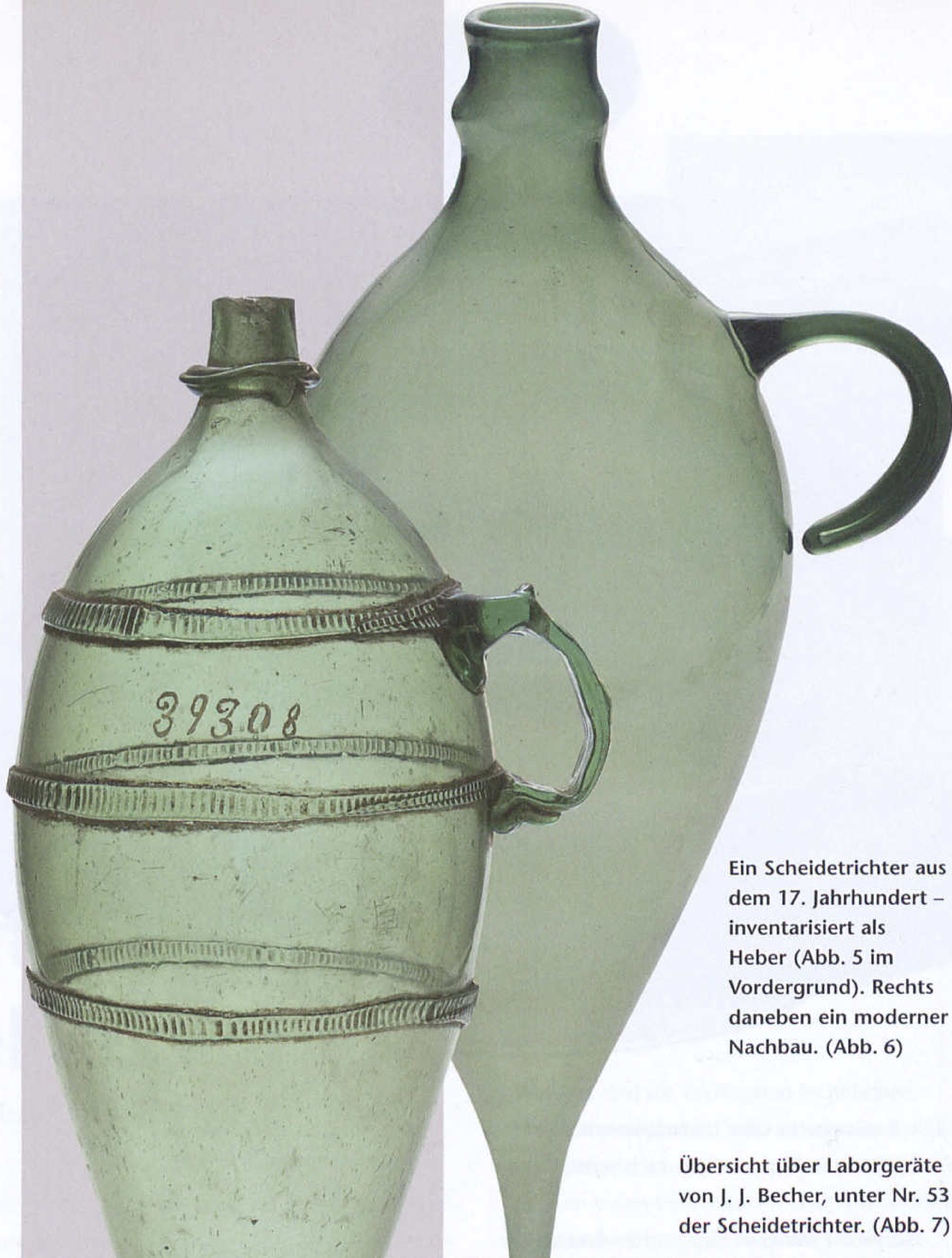
Ein bemalter Stechheber. (Abb. 4)

sen und Formen gefertigt (so genanntes Hüt-
tenglas). Für Stücke aus der Hand eines Glas-
bläfers wird zunächst ein Rohling aus festem
Glas über einer Lampe (Bunsenbrenner)
erwärmt und geformt. Modernes Laborglas
kommt fast ausschließlich aus der Hand von
Glasbläsern, bei unseren historischen Stücken
handelt es sich zum überwiegenden Teil um
Glasmacherarbeiten.

VERSUCH MIT EINEM NACHBAU. Um
der Funktion des vermeintlichen Hebers auf
die Spur zu kommen, setzten wir den Nach-
bau im Labor in der Weise ein, die aufgrund
der Tropfenform am nächsten lag: als Schei-
detrichter. In Laborgeräten dieser Art werden
ölig-wässrige Flüssigkeitsgemische getrennt:
nach Extraktion einer wässrigen Mischung
mit einem öligen Lösungsmittel wird die
untere Phase durch den Scheidetrichter abge-
lassen. Aufgrund der Form des Glasgerätes
kann man sehr gut erkennen, wenn die Pha-
sengrenze den Hahn erreicht hat und diesen
dann schließen. Diese Operation lässt sich
auch mit dem Nachbau des historischen
Gerätes gut durchführen, wenn auch der
behandschuhte Finger den Hahn ersetzen
muss.

Eine weitere Erhärtung der Scheidetrichter-
These findet sich in dem Buch *Opuscula
Chimica Raiora* von Johann Joachim Becher,
einem deutschen Alchemisten und Wirt-
schaftstheoretiker (1635–1682). In einer Über-
sicht über verschiedene Laborgeräte finden
wir unter Nr. 53 ein ganz ähnliches Gefäß, das
als »Separatorium pro oleis«, also Ölabschei-
der bezeichnet ist (Abb. 7). Der Sinn der Ver-
zierung des Scheidetrichters mit geriffelten
Rändern bleibt übrigens fraglich. Die Teilstri-
che markieren Volumina zwischen 490 und
380 ml. Möglicherweise sind hier gleiche
Volumina mit einer gewissen Toleranz ange-
zeigt oder es handelt sich um eine Skalierung,
mit der beispielsweise ein immer gleiches
Volumen Flüssigkeit mit einem zweiten defi-
nierten Volumen Lösungsmittel extrahiert
wurde.

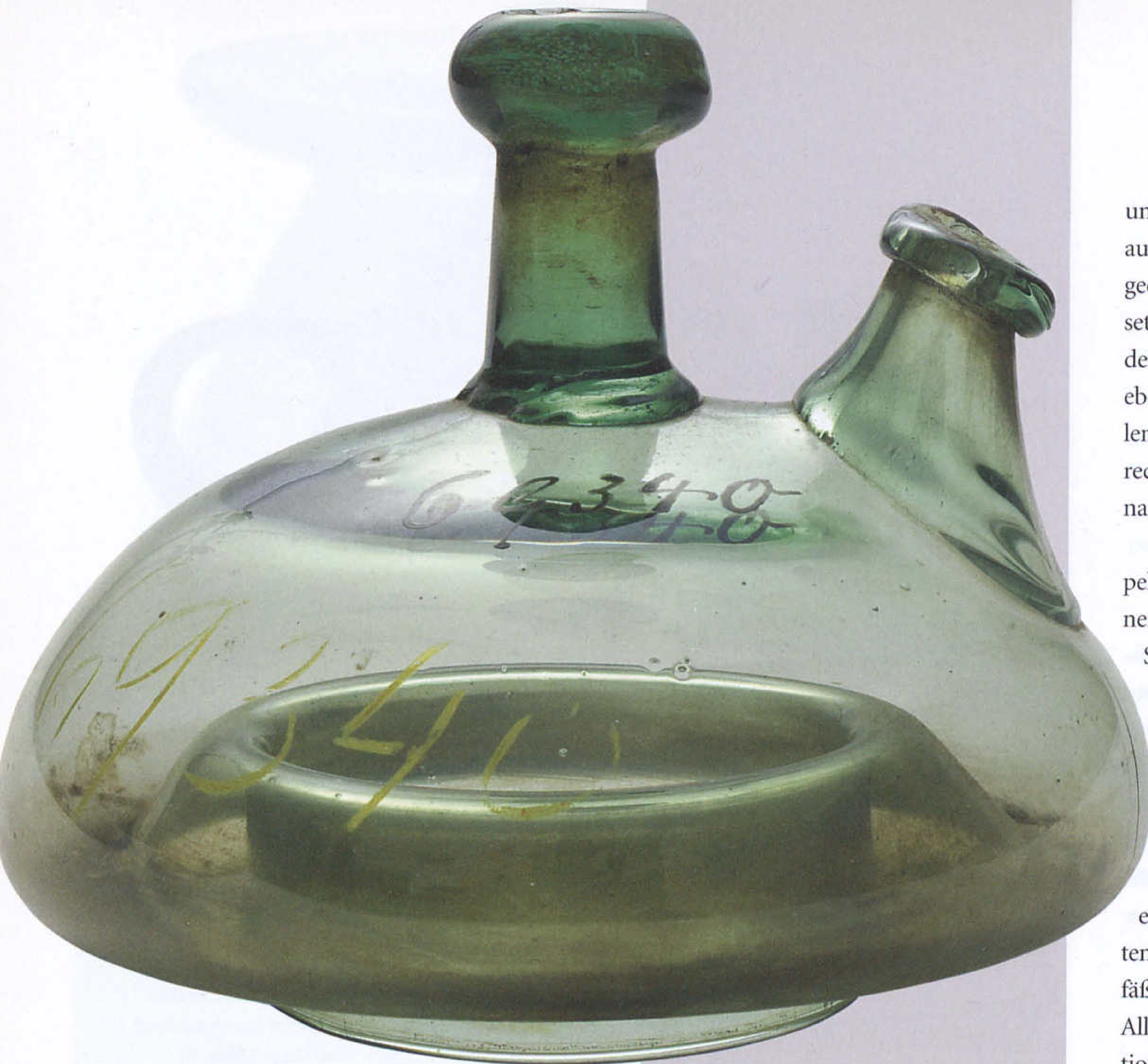
Bei ähnlich verzierten Trinkgläsern aus
derselben Zeit, so genannten Passgläsern,
hatte die Verzierung den Sinn, dass verschie-
dene Personen immer gleiche Volumina Flüs-



Ein Scheidetrichter aus
dem 17. Jahrhundert –
inventarisiert als
Heber (Abb. 5 im
Vordergrund). Rechts
daneben ein moderner
Nachbau. (Abb. 6)

Übersicht über Laborgeräte
von J. J. Becher, unter Nr. 53
der Scheidetrichter. (Abb. 7)





sigkeit aus einem Glas trinken konnten. Vielleicht sind die Bänder aber auch reine Dekoration.

Bei vielen weiteren Glasgeräten konnte die tatsächliche Funktion leider noch nicht durch praktische Versuche und Literaturhinweise abgesichert werden. Bei dem in Abb. 8 dargestellten Stück handelt es sich laut Eingangsbuch um einen Destillierhelm (Alembik), was wegen der Führung des seitlichen Stutzens nach oben keinen Sinn macht. Das Gerät wurde dem Museum 1939 vom Bayerischen Hauptmünzamt gestiftet. Die Form erinnert an alte Fliegenfänger aus Glas: In die unten liegende Rinne wurde durch den oberen Hals eine Flüssigkeit, die Fliegen anlockte, gefüllt. Verirrte Insekten fanden daraufhin aus der Rinne nicht mehr heraus. Üblicherweise waren derartige Fliegenfänger auf kleine Füßchen gestellt, damit die Fliegen von unten in das Gefäß gelangen konnten. Fliegenfänger dieser Art sind auch nur mit jeweils einem Hals bekannt.

Alternativ dazu könnte unser Glasgefäß am senkrechten Hals auch an einer Schnur aufgehängt worden sein. Daneben ist der nach

Glasgerät, inventarisiert als Destillierhelm. (Abb. 8)



Doppelflaschen in weißem und grünem Glas. (Abb. 9)

DR. SUSANNE REHN ist Kuratorin für Chemie am Deutschen Museum

unten gebogene Rand für einen Fliegenfänger auch eher ungewöhnlich. Dieser könnte dazu gedacht sein, das Gerät auf ein zweites aufzusetzen. Möglicherweise handelt es sich um den oberen Teil einer Destillationsvorlage, die ebenso wie Alembik & Cucurbit aus zwei Teilen zusammengesetzt war (vgl. die in Abb. 1 rechts dargestellte gläserne Vorlage mit schräg nach oben abgehendem Hals).

Ebenso unsicher ist die Funktion der Doppelflaschen (Abb. 9), die in weißem und grünem Glas in der Sammlung vorhanden sind. Sie sind mit dem Nachlass des Chemikers und (Spät-)Alchemisten G. Manuelli aus Reggio, Italien, im Jahr 1906 an das Deutsche Museum gekommen. Die Doppelflaschen stammen wohl aus dem 18. oder 19. Jahrhundert und wurden in Italien gefertigt. Die Ablagerungen in einer der Kammern der grünen Flasche deuten stark darauf hin, dass sie als Reaktionsgefäß für chemische Reaktionen benutzt wurde. Allerdings bleibt auch hier die genaue Funktion (noch) ungeklärt.

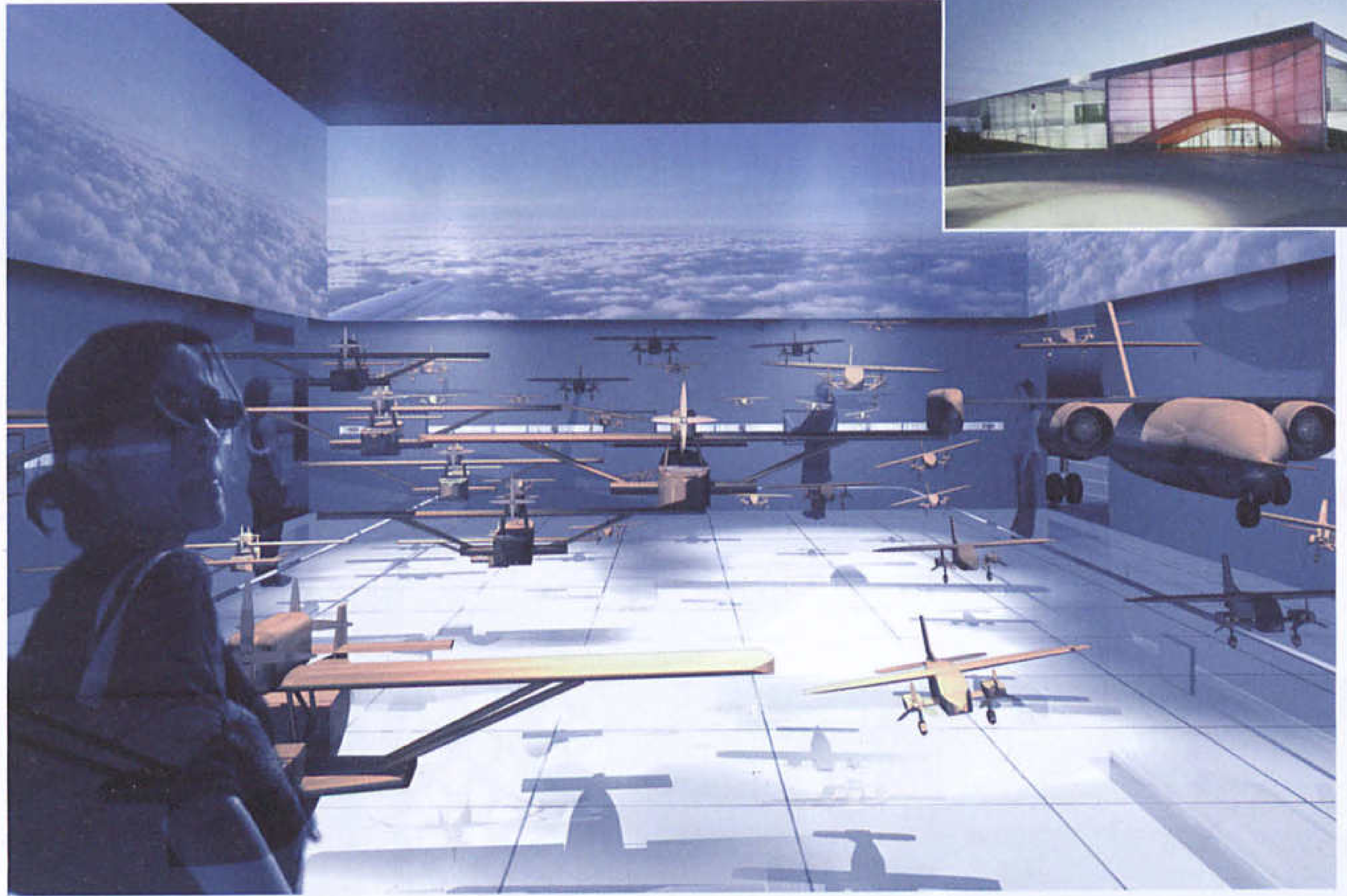
Die Aufarbeitung der Laborgerätesammlung steht noch am Anfang. Bislang konnten alle Stücke gereinigt und digitalisiert werden. Nach und nach werden Daten über Herkunft, Alter und tatsächliche Funktion der Stücke nachgearbeitet, wobei sicherlich noch viele Überraschungen zu erwarten sind. ■■

Dank an ...

... Dieter Schaich, Solln. Der Glassammler half bei der Bestimmung und Datierung der interessantesten Stücke. Seine Glassammlung war unter dem Titel »Reine Formsache« bereits in verschiedenen Museen zu sehen.

... Werner Loibl, Gauting. Der ehemalige Direktor des Spessartmuseums half bei der Bestimmung einzelner Stücke und gab wertvolle Hinweise auf alchemistische Literatur.

Direkt am Bodensee-Airport entstand ein großzügiges Museumsgebäude. 100 Jahre Luft- und Raumfahrt und die Geschichte der 1922 gegründeten Dornier-Werke werden hier lebendig.



Der Geschichte Flügel verleihen

Das Dornier Museum in Friedrichshafen

Eingebettet in einen zweieinhalb Hektar großen Landschaftspark liegt das in bewegter Formensprache entworfene Gebäude. Transparente Tore und großzügig verglaste Wände stellen eine optische Beziehung zum Flugbetrieb auf dem nahen Airport her. Wesentliche Ausstellungsräume befinden sich in einer »Museumsbox«. Diese scheint unter der Decke der großen Halle zu schweben. In dieser Box werden alle Register zeitgemäßer, multimedialer Präsentation gezogen.

VOM ÜBERSCHALLFLUG ZUR NIERENSTEINTHERAPIE. Die Firma Dornier steht für mehr als Flugzeugbau. Viele der hier entwickelten Technologien rund um Luftfahrt, Werkstofftechnik und Fertigung haben den Weg in den heutigen Alltag gefunden.

Um Stoßwellenphänomene beim Überschallflug unter Laborbedingungen untersuchen zu können, entwickelte die Firma Dornier beispielsweise Prüfstände, bei denen Werkstoffproben mit Überschallgeschwindigkeit bewegt wurden. Da die Lärmentwicklung beim Betrieb dieser Anlagen massive Einschränkungen bei der Arbeit verursachte, wurde nach anderen Möglichkeiten geforscht, die entsprechenden Druckwellen zu erzeugen. Der dafür entwickelte elektrohydraulische Stoßwellengenerator ermöglicht vielfältige praktische Anwendungen, zum Beispiel in der Medizintechnik. Unter dem Namen »Lithotripter« kam der Stoßwellengenerator ab 1980 zur Zertrümmerung von Nierensteinen beim Menschen zum Einsatz.

HINTER DEN KULISSEN. Das Museum wird vom Freundes- und Förderkreis Dorniermuseum für Luft- und Raumfahrt unterstützt. In diesem Förderverein haben sich ehemalige Mitarbeiter der Firma sowie Freunde und Förderer des Museums zusammengefunden. Durch ihr Engagement konnten etliche der Dokumente und Modelle aufgefunden und beschafft werden, die jetzt die Ausstellung prägen. www.dorniermuseum.de ■■

Beatrix Dargel

NACHGEFRAGT: CORNELIUS DORNIER

Enkel von Claude Dornier

Welches sind die wichtigsten technischen und technologischen Innovationen und wie spiegeln sie sich im Museum wieder?

Bei den vielen Innovationen lässt sich nicht unbedingt sagen, was am wichtigsten ist. Da kann jeder selbst sehen, was ihm am besten gefällt, genauso bei den Ausstellungsstücken.

Gibt es eine Partnerschaft mit dem Zeppelinmuseum in Friedrichshafen?

Zwei Museen zur Luftfahrt an einem Ort, da bietet sich eine Partnerschaft an, mit Kombitickets für beide Museen. Auch gemeinsame Wechsel- und Sonderausstellungen sind geplant.

Was ist für Kinder geplant?

Am Museumsgebäude dient eine Do 27 als Spielplatz. Und im Museum wird ein Kinderparcour nach dem Prinzip einer Schnitzeljagd angeboten, für unterschiedliche Altersstufen. Für Jugendliche wird es spezielle Führungen geben, zum Beispiel zu Windkanalversuchen oder zur Aerodynamik.

Süßes für Elise ✓

Eine kurze Geschichte des Nürnberger Lebkuchens

Lebkuchen versüßen den Alltag. Eigentlich schmecken sie zu allen Zeiten – aber an unwirtlich kalten Winterabenden sind sie unverzichtbar.

Von Manfred Vasold



Honigkuchen kennt das Abendland schon seit Langem. Der verwendeten Gewürze wegen nannte man sie da und dort Pfefferkuchen. In Nürnberg hießen sie schon im Mittelalter Lebkuchen oder Lebzelten: die Namen – »lebkuoche« und »lebezelt« – erscheinen erstmals im 13. Jahrhundert. Dem großen Wörterbuch der Brüder Grimm zufolge lassen sich diese Bezeichnungen vom lateinischen »libum« herleiten, das bedeutet Fladen oder Kuchen.

Lebkuchen waren zu allen Zeiten beliebt, vor allem natürlich bei Kindern. Kaiser Friedrich III. soll anno 1486, bei einem Besuch in Nürnberg, den Auftrag gegeben haben, an die viertausend Kinder der Stadt Lebkuchen auszuteilen und sie ihm in Rechnung zu stellen.

Eine wichtige Grundlage des Nürnberger Lebkuchens war der Honig, den die Nürnberger Lebkuchenbäcker von den Bienenstöcken aus dem Reichswald rings um Nürnberg bekamen. Viele deutsche Städte, die – wie Nürnberg – zwischen dem 11. und 14. Jahrhundert gegründet wurden, besaßen besondere Waldrechte. Die Zeitgenossen waren sich des hohen Nutzens der Wälder bewusst und pflegten sie. In den Reichswäldern rund um Nürnberg lebten etliche Imker, die man hier als »Zeidler« bezeichnete. Unweit von Nürnberg, in Feucht, stand sogar ein eigenes Zeidelericht, in dem sich heute ein Zeidlermuseum befindet. Zu Beginn des 17. Jahrhunderts bemerkte ein Chronist, »dass ohne diese Wälder die Stadt Nürnberg nit hätte können aufkommen«.

Der Nürnberger Süßwarenhandel nahm mit dem Honig einen beträchtlichen Aufschwung.

Im Jahr 1606 erzeugten die 28 Nürnberger Zeidler, so weist es das Honigbüchlein aus diesem Jahr aus, 355 Maß Honig. Der Honig war ein wichtiges Süßungsmittel, denn Zucker war teuer. Bald gelang es dieser Stadt, sich in der Herstellung von Lebkuchen einen Namen zu sichern. Schon im 17. Jahrhundert waren Nürnbergs Lebkuchen weithin bekannt.

Auch der Aktivität der Nürnberger Kaufleute verdanken die Lebkuchenbäcker ihren Aufschwung: Dank des regen Fernhandels hatten sie leichten Zugang zu den notwendigen Gewürzen. Die Verbindungen Nürnbergs zu Venedig verschafften den fränkischen Kaufleuten einen Vorsprung im Handel mit dem Orient. So brachten sie auch den kostbaren Rohrzucker aus Venedig mit, der teils aus Indien stammte, teils aus venezianischen Plantagen auf Zypern.

Seit dem 15. Jahrhundert spezialisierten sich einzelne Nürnberger Bäcker ganz auf die Herstellung von Lebkuchen. Die Ausbildung dauerte lange: Zunächst war eine drei- bis vierjährige Lehrzeit zu absolvieren, danach verbrachten die angehenden Bäcker als Gesellen zwei bis drei Jahre auf der Wanderschaft.

VERZIERUNGEN NACH DER MODE. Zum Verzieren der Lebkuchen verwendeten die Bäcker eigene Modeln, jedes Zeitalter besaß dafür seine Motive. Im Zeitalter der Reformation, also im 16. Jahrhundert, überwogen Bildnisse von Christus oder von Heiligen. Während des Dreißigjährigen Krieges kamen Reiter- oder Soldatenfiguren in Mode.

An der Wende vom 17. zum 18. Jahrhundert schmückten reich gekleidete Damen mit steilen Frisuren das Naschwerk, die Welt der Vornehmen erschien auf den Lebkuchen. Auch Jagden und Schlittenfahrten waren zeitweise beliebte Motive. Adlige verschenkten gern Lebkuchen mit ihrem Wappen. Das 19. Jahrhundert liebte vor allem romantische Motive.

Seit dem 18. Jahrhundert galten in Deutschland die Nürnberger Lebkuchen als die besten. Lebkuchen aus Nürnberg wurden zu einem beliebten Weihnachtsgeschenk. Johann Wolfgang von Goethe bekam von seinem Freund Karl Ludwig von Knebel Jahr für Jahr



Nüsse, Zimt, Nelken und Sternanis gehören zu den wichtigsten Zutaten echter Lebkuchen.

Bild links: Lebkuchenbäcker tauchen in Nürnberg erstmals im späten 14. Jahrhundert auf. Bäcker und Lebküchner – oder Lebkuchenbäcker – waren anfangs noch ein und derselbe Beruf. In Nürnberg fand die Trennung Ende des 14. Jahrhunderts statt, in der gleichen Zeit übrigens auch in anderen Städten.

ein Päckchen mit Nürnberger Lebkuchen zugesandt, und der Dichturfürst dankte stets huldvoll für das Geschenk.

Nürnbergs Lebkuchenbäcker stellten aber nicht nur süße Lebkuchen her, sondern auch Lebkuchen, die für Bratensoßen unentbehrlich waren. Sie machen die Saucen sämiger und wurden gern zum Wildbret gereicht.

Keine Frage: Mit Lebkuchen konnte man Geld verdienen. War es da ein Wunder, dass auch die Nachbarn daran teilhaben wollten? Die Nürnberger hatten viel Zwist mit anderen Städten, in denen man ähnliche Produkte herstellte, auch mit den benachbarten Kleinstädten rund um die Stadt, die gleichfalls »echte Nürnberger Lebkuchen« anboten. Es gab Streit innerhalb der Nürnberger Bäckerinnung, zwischen Lebküchnern und Zuckerbäckern. Als es 1808 – Nürnberg war gerade bayerisch geworden – zu einem »Lebkuchenstreit« kam, musste sogar die bayerische Regierung vermittelnd eingreifen.

Im Verlauf des 19. Jahrhunderts kamen neue Verfahrenweisen und neue Zutaten auf und boten weiteren Anlass zu Zwistigkeiten, etwa darüber, ob auch Schokolade als Lebkuchenguss verwendet werden dürfe. Endgültige Klärung brachte 1867 die Gewerbefreiheit, die so mancher handwerklichen Tradition ein Ende bereitete.

Heute werden Nürnberger Lebkuchen in einem modernen Industrieverfahren hergestellt, das sich stark auf die zweite Jahreshälfte konzentriert. Als der feinste Lebkuchen gilt immer noch der Elisenlebkuchen. Er trägt den Namen einer früh verstorbenen Tochter eines Nürnberger Lebkuchenbäckers aus dem 19. Jahrhundert. ■■



Erstmals öffentlich zu sehen:
Die Uhr der Bonner Durchmusterung. Astronomische Pendeluhr
Nr. 37 von Christian Friedrich
Tiede, Berlin 1837.

Die Vermessung des Himmels

Eine Ausstellung im Deutschen Museum Bonn

Sonderausstellung »Bonner Durchmusterungen – Argelander und sein astronomisches Erbe« vom 7. Oktober 2009 bis zum 5. April 2010

Von Ralph Burmester und Jörg Bradenahl

Ein außergewöhnliches Werk der Astronomie entstand zwischen 1852 und 1859 in Bonn. Der Leiter der Königlichen Sternwarte, Friedrich Wilhelm August Argelander (1799–1875) hatte sich vorgenommen, erstmals eine umfassende Vermessung des nördlichen Himmels vorzunehmen. Insgesamt erfasste der Astronom in diesen Jahren Positionen und Helligkeiten von genau 324.198 Sternen. Sein Sternkartenwerk, das als »Bonner Durchmusterung« in die Astronomiegeschichte einging, war vor 150 Jahren eine unerreichte und weltweit bewunderte Leistung. Mit einem Schlag wurde die Vielzahl älterer und kleinerer Sternkataloge durch ein neues Standardwerk ersetzt.

Für 2011 hat die Europäische Weltraumorganisation (ESA) den Start des Astrometrie-Satelliten »GAIA« angekündigt. Mit einem von der Erdatmosphäre ungetrübten Blick ins Weltall soll er die Positionen, Entfernungen und Bewegungen von etwa einer Milliarde Sterne ermitteln und steht damit in der Tradition Argelanders.

Die Mixtur aus wissenschaftshistorischer Bedeutung, starkem lokalen Bezug und ungebrochener Relevanz machte das Thema der Himmelsvermessung für die Bonner Zweigstelle überaus attraktiv. Mit dem von den Vereinten Nationen ausgerufenen Internationalen Jahr der Astronomie 2009 und dem 150-jährigen Jubiläum der »Bonner Durchmusterung« waren zudem gleich zwei Anlässe gegeben, den Zielsetzungen, Methoden und Instrumenten der Astrometrie des 19. Jahrhunderts eine Sonderausstellung zu widmen. Mit zwei bewährten Partnern, dem Argelander-Institut für Astronomie der Universität Bonn und dem Max-Planck-Institut für Radioastronomie gelang die Konzeption eines Ausstellungskonzepts, das zusätzlich auch die aktuelle Fortführung der Durchmusterungsidee mit Methoden der Röntgen- und Radioastronomie thematisiert.

DER ASTRONOM ARGELANDER. Zum exklusiven Kreis der prominenten Astronomen wird Friedrich Wilhelm August Argelander selten gezählt. Nach ihm wurden keine Weltraumteleskope (Kepler) oder satellitengestützten Navigationssysteme (Galileo) benannt. Argelander gehört eher zu den »stillen Stars« seiner Profession. Sein wissenschaftliches Hauptwerk entstand durch gewissenhaftes, genaues und effektives Arbeiten und seine Fähigkeit, diese Akribie auf seine Mitarbeiter zu übertragen.

Geboren wurde Argelander am 22. März 1799 in Memel, dem nordöstlichsten Zipfel des Königreichs Preußen. Als Sohn einer angesehenen Familie waren seine Startbedingungen überdurchschnittlich gut. Die beschauliche Kindheit wurde allerdings im Januar 1807 in den Strudel der Napoleonischen Kriege gezogen. Auf der Flucht vor den vorrückenden Franzosen fand der Preußische Monarch Friedrich Wilhelm III. mit seiner Familie Quartier bei den vornehmen Bürgern von Memel. Argelanders Eltern nehmen die Söhne des Königs, Friedrich Wilhelm und Wilhelm, bei sich auf. Im Laufe ihres einjährigen Exils entwickelte sich eine Freundschaft zwischen Argelander und den Königssöhnen, die auch in späteren Lebensabschnitten Bestand hatte.

Ein weiteres wirkmächtiges Ereignis in Argelanders Leben war die Begegnung mit Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846). Nach dem Gymnasium begann Argelander 1817 das Studium der »Kameralwissenschaften«, vergleichbar mit der heutigen Verwaltungs- und Volkswirtschaftslehre, an der Universität Königsberg. Nebenbei hörte er aber auch Vorlesungen zur Astronomie bei Professor Bessel. Offenbar hat der Sternhimmel Argelander dann doch weit stärker fasziniert, als die Perspektive, im preußischen Verwaltungsdienst zu landen. Schon 1818 wandte er sich gänzlich der Astronomie und Mathematik zu. Bessel beschäftigte sich zu diesem Zeitpunkt intensiv mit der Messung von Sternpositionen. Einem Arbeitsgebiet, das auch Argelanders astronomisches Schaffen prägte.

Nach der Promotion am 1. April 1822 erlangte Argelander nur elf Tage später die Lehrbefugnis an der Universität Königsberg. Von 1823 bis Ende 1836 arbeitete er im Großherzogtum Finnland, das zu jener Zeit Teil des russischen Zarenreiches war. Zunächst leitete er die Sternwarte der Universität Åbo (Turku) und ab 1828 kümmerte er sich um den Neubau der Sternwarte in Helsingfors (Helsinki). Nach Fürsprache seiner Mutter sowie seines Lehrers und Freundes Bessel setzte sich ab 1834 Kronprinz Friedrich Wilhelm für eine Rückkehr Argelanders in preußische Dienste ein. Die alten Bande zwischen dem Thronfolger und der Familie Argelander sollten sich nun bewähren. 1836 war an der Universität Bonn, nach dem unerwarteten Ableben Karl Dietrich von Münchows, der Lehrstuhl für Astronomie neu zu besetzen. Argelander nahm die angebotene Stelle ohne zu Zögern an. Besonders nachdem ihm die Mittel für den Bau einer neuen Sternwarte von höchster Stelle zugesichert worden war. Die Pläne für das Gebäude entwarf der Astronom gemeinsam mit dem Universitätsbaumeister Peter Joseph Leydel. Anschließend erfolgte eine Überarbeitung durch »Stararchitekt« Karl Friedrich Schinkel (1781–1841) mit Änderungen an Fassade und Dach. Das funktional auf astronomische Bedürfnisse ausgerichtete Gebäudeinnere ließ er nahezu unverändert. Die Sternwarte wurde Argelanders Arbeitsplatz und Lebensmittelpunkt bis zu seinem Tode am 17. Februar 1875.

DAS ASTRONOMISCHE GROSSPROJEKT: DIE BONNER DURCHMUSTERUNG. Nachdem die neue Sternwarte 1845 fertiggestellt und dank königlicher Protektion auch mit modernsten Beobachtungs- und Messinstrumenten ausgestattet worden war, wandte sich Argelander wieder der Positionsastonomie zu. Anfang 1852 fasste er den Entschluss, den nördlichen Himmel von Bonn aus zu »durchmustern« und alle Sterne bis zu einer gewissen Größe systematisch zu erfassen.

Es existierten bereits etliche Sternkarten, doch weder im Umfang noch in der Genauigkeit konnten sie überzeugen. Die grundlegende Idee, den Sternenhimmel zu kartografieren, war damals nicht neu. Bessel hatte vorgeschlagen, da bei einem solchen Projekt Tausende von Sternen erfasst werden mussten, diese Arbeit auf mehrere Sternwarten zu verteilen. Aber auch die so erzielten Ergebnisse waren nach Argelanders Meinung unbefriedigend weil »die verschiedenen



Friedrich Wilhelm August Argelander (1799–1875), Ölgemälde des Bonner Porträtmalers August Bausch, ca. 1868.

Zum Nachlesen

Ralph Burmester, Andrea Niehaus, *Bonner Durchmusterungen – Argelander und sein astronomisches Erbe.*

Begleitpublikation zur gleichnamigen Ausstellung, Bonn 2009.

Erhältlich für 6,90 Euro über den Shop des Deutschen Museums Bonn.

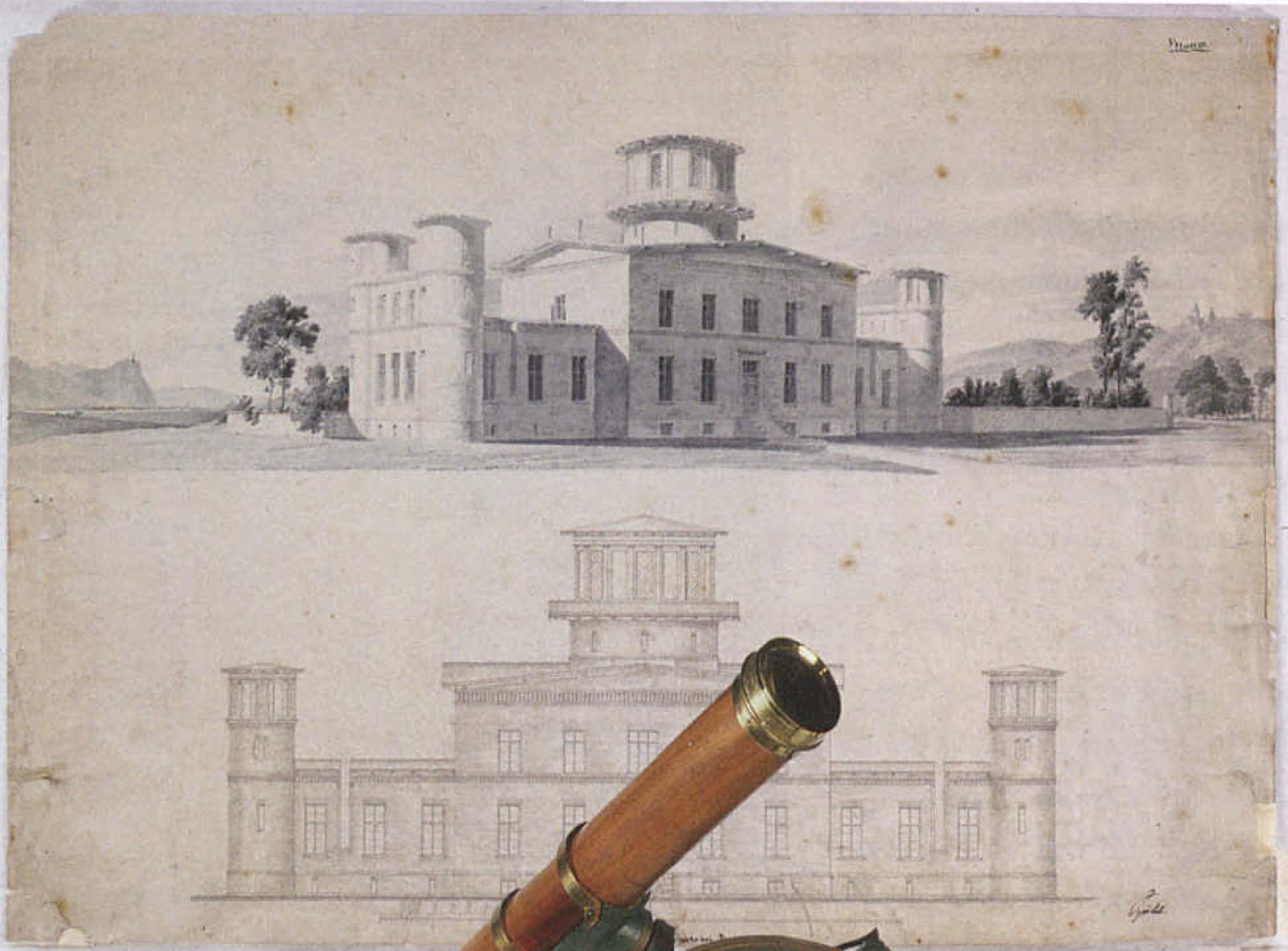
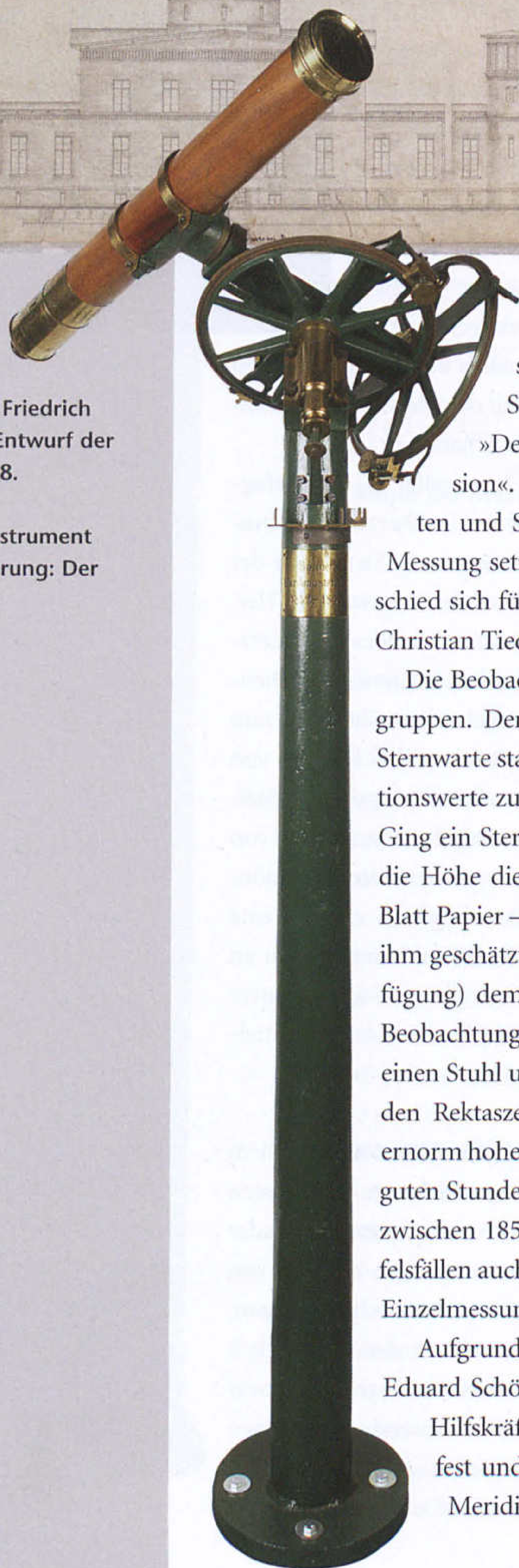


Bild oben: Der von Karl Friedrich Schinkel überarbeitete Entwurf der Bonner Sternwarte, 1838.

Bild unten: Das Hauptinstrument der Bonner Durchmusterung: Der Kometensucher.



Charten so sehr verschieden in der Ausführlichkeit und Genauigkeit, überhaupt von so sehr verschiedenem Werthe sind«.

Er folgerte daraus, dass ein neuerliches Kartierungsprojekt »nur an e i n e m Orte ausgeführt und (...) unter der unmittelbaren Leitung und ununterbrochenen Oberaufsicht e i n e s Einzelnen« stehen sollte. Damit hatte Argelander das Arbeitsprogramm seiner Sternwarte für die nächsten sieben Jahre umrissen.

Hauptmessinstrument war, nach Bessels Vorschlag, ein Kometensucher mit 7,7 cm Öffnung und einer 10-fachen Vergrößerung. Argelander ließ sich 1851 ein solches Fernrohr von der Firma Merz und Söhne aus München liefern und im südlichen Beobachtungsturm der Sternwarte aufstellen. Dieses vergleichsweise einfache und kleine Fernrohr hatte die passende Charakteristik, da es mit einer lichtstarken Optik und

einem großen Gesichtsfeld ausgestattet war.

Analog zu geografischer Länge und Breite genügen im astronomischen Koordinatensystem zwei Winkelangaben, um die Lage eines Sterns zu beschreiben: entsprechend der geografischen Breite die »Deklination« und entsprechend der geografischen Länge die »Rektaszension«. Diese Rektaszension wird nicht in Grad, sondern in Stunden, Minuten und Sekunden angegeben. 24 Stunden entsprechen dabei 360 Grad. Ihre Messung setzt eine genaue astronomische Präzisionsuhr voraus. Argelander entschied sich für ein Modell aus der Werkstatt des Berliner Hof-Uhrmachermeisters Christian Tiede.

Die Beobachtungen begannen im Februar 1852. Sie erfolgten jeweils in Zweiergruppen. Der Beobachter blickte durch den Kometensucher, der im Turm der Sternwarte stand. Er saß dabei in völliger Dunkelheit. Um das Ablesen der Deklinationenwerte zu erleichtern, hatte Argelander ein Fadenkreuz auf das Okular gemalt. Ging ein Stern durch die senkrechte Achse, notierte bzw. kritzelte der Beobachter die Höhe dieses Durchgangs, den abgelesenen Deklinationenwert, auf ein kleines Blatt Papier – ohne den Blick vom Okular zu nehmen. Gleichzeitig rief er die von ihm geschätzte Helligkeit (das Verfahren der Fotometrie stand noch nicht zur Verfügung) dem zweiten Mann, dem »Aufschreiber«, zu. Dieser saß unterhalb des Beobachtungsraums in einer kleinen Kammer, in der gerade Platz für einen Tisch, einen Stuhl und die kompakte Uhr war. Der Aufschreiber notierte sekundengenau den Rektaszensionswert und die Helligkeit. Diese Arbeitsweise erforderte eine enorm hohe Konzentration, da oft viele Sterne pro Minute durchliefen. Nach einer guten Stunde lösten sich die Gruppen daher ab. So ging es in allen klaren Nächten zwischen 1852 und 1859 zu. Zur Sicherheit wurden alle Sterne zweimal, in Zweifelsfällen auch öfter vermessen. Insgesamt kamen in 625 Nächten über eine Million Einzelmessungen zusammen.

Aufgrund ihrer besseren Sehkraft führten vor allem Argelanders Assistenten, Eduard Schönfeld und Adalbert Krüger die Beobachtungen durch. Studentische Hilfskräfte übernahmen das Aufschreiben. Argelander legte den Arbeitsplan fest und konzentrierte sich auf die Klärung von Zweifelsfällen mithilfe des Meridiankreises und des Heliometers. Darüber hinaus oblag ihm die

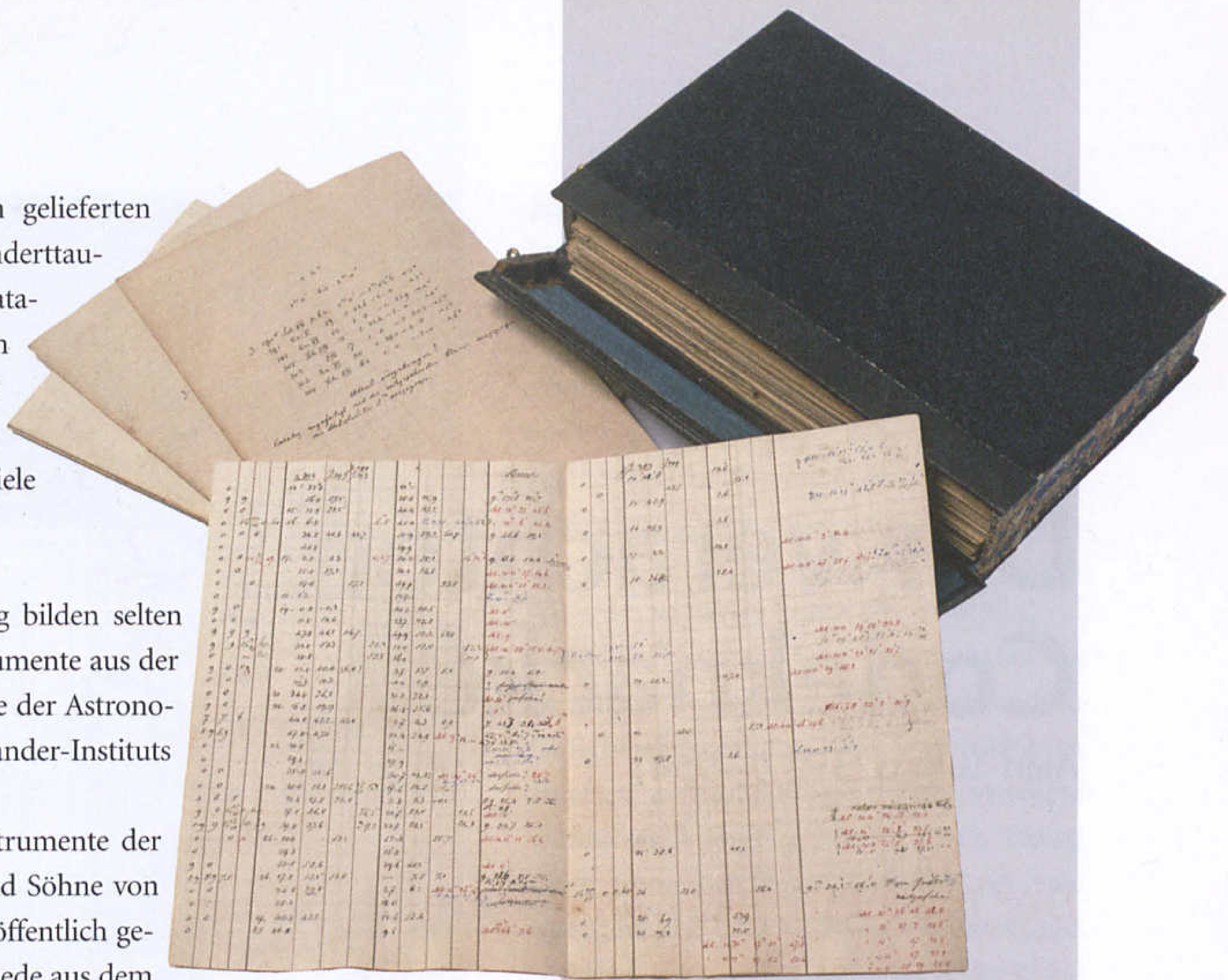
Berechnung der mittleren Sternpositionen aus dem gelieferten Datenmaterial. Nach dem aufwendigen Abgleichen Hunderttausender von Sternpositionen mit allen wichtigen Sternkatalogen seiner Zeit und Abschluss der Korrekturen erschien die Bonner Durchmusterung 1859 und 1863 in drei Bänden und 48 Sternkarten. So hatten die Astronomen weltweit endlich eine solide Datengrundlage, die erst viele der nachfolgenden Entdeckungen ermöglichte.

DIE AUSSTELLUNG. Das Herzstück der Ausstellung bilden selten oder noch gar nicht ausgestellte Dokumente und Instrumente aus der Zeit Argelanders. Darunter befinden sich wahre Schätze der Astronomiegeschichte, die sich vor allem im Bestand des Argelander-Instituts für Astronomie der Universität Bonn fanden.

Hervorgehoben seien hier die wertvollen Hauptinstrumente der Durchmusterung, der »Kometensucher« von Merz und Söhne von 1851 und als »Welt-Uhr-Aufführung« die bisher nicht öffentlich gezeigte astronomische Pendeluhr Nr. 37 von Christian Tiede aus dem Jahr 1838. Zudem fanden sich noch sämtliche handschriftliche Aufzeichnungen, die während der Himmelsvermessung angefertigt wurden. Mit ihrer Hilfe konnte der gesamte Prozess der Datenerhebung und ihrer mathematischen Weiterverarbeitung bis zum fertigen Sternkatalog nachvollzogen und für die Ausstellung anschaulich aufbereitet werden. Dank der Unterstützung des Freundes- und Förderkreises Deutsches Museum e. V. konnte zudem eine Begleitpublikation zur Ausstellung erstellt werden, die die Ergebnisse der Durchmusterungsrekonstruktion ausführlich darstellt und über den Ausstellungszeitraum hinaus dokumentiert.

Mit dem majestätischen »Heliometer« von 1842 aus der Werkstatt Joseph von Fraunhofers, bereichert zudem ein besonders kostbares Instrument die Ausstellung. Neben Präzisionsmessungen bei der Durchmusterung bekam es vor allem bei der Ermittlung von Sternentfernungen durch Messung der Parallaxe eine bedeutende Rolle in der Astronomiegeschichte. Für die Ausstellung neu konzipierte Demonstrationen machen Kernthemen für den Besucher transparent und verständlich. Sowohl das Prinzip der Parallaxe als auch der Blick durch den Kometensucher und die bei der Durchmusterung praktizierte Feststellung des Deklinationswertes der Sterne können selbst nachvollzogen werden.

Mit der »Bonner Radio-Durchmusterung«, der ersten radioastronomischen Karte des Himmels im Bereich von 1,5 Meter Wellenlänge, erstellt 1956 mit dem südlich von Bonn errichteten 25-Meter-Radioteleskop, den 1997 veröffentlichten Sternkarten des Astrometriesatelliten »Hipparcos« oder den Plänen der GAIA-Mission wird zudem die Fortführung der Himmelsvermessung in Gegenwart und Zukunft vermittelt. ■■



Erste Reinschrift der Ergebnisse der Bonner Durchmusterung mit Korrekturen, 1852–1859.



Heliometer von Merz und Mahler, München 1842.

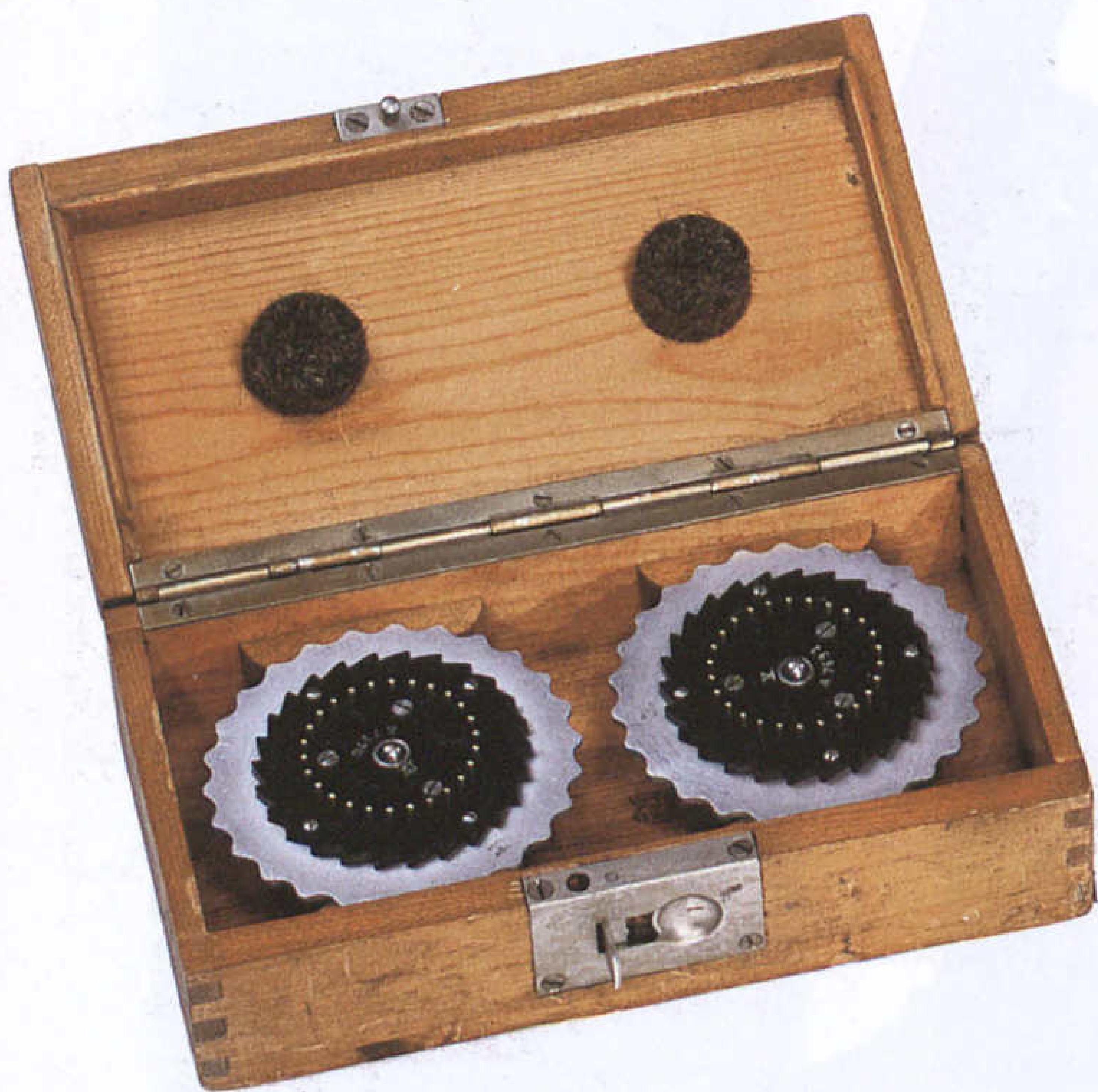
RALPH BURMESTER M. A., Historiker, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Museum Bonn

JÖRG BRADENAH Dipl.-Biologe, ist freier wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Museum Bonn

Der verachtete Codeknacker

Alan Turing (1912–1954)

Der Mathematiker Alan Turing hat das Ende des Zweiten Weltkriegs beschleunigt und die Grundlagen der Computertechnologie geschaffen: Die Intoleranz seiner Zeit trieb ihn jedoch in den Selbstmord. Von Markus Thierbach



Am 5. Dezember 1939 – irgendwo im Nordatlantik: Das deutsche U-Boot U47 trifft auf einen Konvoi aus sieben britischen Schiffen, taucht ab und setzt sich hinter den Verband. 35 Minuten nach Abtauchen befiehlt der Kommandant: »Rohr eins los!« Der Torpedo bringt den Frachter »Navasota« mit einem Volltreffer innerhalb von zehn Minuten zum Sinken. Die anderen Schiffe des Konvois entkommen, doch in den beiden folgenden Tagen versenkt U47 zwei weitere Transporter.

Die deutschen U-Boote bedrohen die lebenswichtigen Versorgungslinien der britischen Insel: Tanker schaffen Rohöl aus Südamerika heran, Frachter Weizen aus den USA und Zucker aus der Karibik. Bis ins Frühjahr 1943 zerstören die Unterseeboote Nazi-Deutschlands mehr Schiffe, als das Vereinigte Königreich bauen kann.

EIN GENIALER KRYPTOANALYTIKER.

Ein Mann auf britischer Seite sorgt dafür, dass sich das Ende des Zweiten Weltkriegs nicht weiter verzögert. Alan Mathison Turing greift dazu nicht an der Front im Atlantik ein. Er gehört nicht zu den Marineoffizieren, die Jagd auf deutsche U-Boote machten.

Turing arbeitet seit 1939 in Bletchley Park, einem Landsitz an der Eisenbahnlinie zwischen Cambridge und Oxford. Dort hat der britische Geheimdienst die »Government Code and Cypher School« eingerichtet. Die Kryptoanalytiker an dieser staatlichen Code- und Chifferschule haben die Aufgabe, den verschlüsselten Nachrichtenverkehr der Wehrmacht zu entziffern. Das ist besonders auf See für die Briten wichtig, denn wenn sie die Positionen der deutschen U-Boote kennen, können ihre Frachtschiffe dem Feind ausweichen.

Turing führt den Krieg gegen die Nazis sozusagen mit Geisteskraft statt mit Heldennut. Von ersterem hatte er so viel zu bieten, dass man bei ihm zurecht von einem brillanten Denker sprechen darf. Er ist es, der die theoretischen Grundlagen des Computers, wie wir ihn kennen, geschaffen hat.

1936, im Alter von nur 24 Jahren, stellt er in seiner Schrift *On Computable Numbers* (Über berechenbare Zahlen) eine gedachte Rechenmaschine vor. Sie besteht aus einem unend-



Alan Turing schuf die Grundlagen der Computertechnologie. Für den britischen Geheimdienst knackte er den Code der »Enigma«.

Alan Turing entwickelte eine Maschine, mit deren Hilfe die Verschlüsselungen der Enigma geknackt werden konnten. Damit verschaffte er England entscheidende Vorteile im Kampf gegen das nationalsozialistische Regime.

Bild links: Die Sammlung des Deutschen Museums enthält drei Enigmas, eine Marine-Enigma mit vier Walzen und zwei Heeresmaschinen mit drei Walzen (wie abgebildet). Zwei Maschinen werden in einem Teilbereich der Abteilung Informatik gemeinsam mit anderen Chiffriegeräten gezeigt.

lich langen Speicherband, auf dessen Feldern jeweils ein Zeichen hinterlegt ist. Die Zeichen werden einzeln mit einem Lesekopf erfasst. Dieser ist zugleich Schreibkopf. In welcher Form die Zeichen überschrieben oder unverändert gelassen werden, das bestimmt eine mathematische Funktion, die der Maschine ihre Arbeitsschritte vorgibt. Dieses Programm legt auch fest, welches Feld angesteuert wird, wenn das vorherige bearbeitet worden ist.

Lesen, Schreiben, Kopf bewegen: Aufbau und Funktionsweise der Maschine sind so bestechend simpel, dass unter Mathematikern anfangs Zweifel aufkommen, ob die Maschine wirklich funktionieren könnte. Denn Turing denkt an etwas Ungeheuerliches: An eine Maschine, der man so etwas wie Intelligenz mitgeben kann, bevor solche Apparate überhaupt technisch herzustellen sind. Sicher, es gibt bereits Rechenapparate. Aber das revolutionäre an der Turing-Maschine ist, dass sie geradezu universal einsetzbar ist. Das Steuerprogramm selbst ist austauschbar. Das macht Turing zum Vordenker unserer heutigen Computertechnologie.

Der verschlüsselte Nachrichtenverkehr des deutschen Militärs war ein Problem, dessen Lösung einen von der visionären Geistesgröße Turings zu brauchen schien. Das Problem hatte einen konkreten Namen: Enigma.

Die Experten in Bletchley Park halten Enigma, die Codiermaschine der Deutschen, für unknackbar. Die Arbeit des Dechiffreurs erfordert Geschick, aber es ist langweilig und monoton, nach der Hintertür zur Lösung des Buchstabensalats zu suchen, aus dem die Enigma-Nachrichten bestehen – ganz zu schweigen von den Massen an Geheimnachrichten, die das deutsche Militär austauscht. In Bletchley Park geht man darin einfach heillos unter.

Die Enigma ähnelt von außen betrachtet einer Schreibmaschine. Sie hat eine Tastatur und ist etwa von der gleichen Größe. Hinzu kommt jedoch ein Anzeigenfeld aus Glühlampen, ein Steckerbrett an der Vorderseite und im Innern bewegliche Walzen. Diese Walzen verschieben die Buchstaben der Nachricht, die übermittelt werden soll. Mithilfe von Tabellen, die für jeden Tag die entsprechenden Codiereinstellungen festlegen, treten die deut-

schen U-Boote mit ihrem Hauptquartier in Kontakt, geben ihre Position auf See durch und empfangen Befehle.

Die Enigma bietet durch ihre Konstruktion eine so hohe Zahl von Codierungsmöglichkeiten, dass sie durch Menschenkraft allein nicht zu dechiffrieren ist. Dafür ist die Anzahl der Nachrichten zu groß, die obendrein alle 24 Stunden mit neuen Einstellungen versendet werden. In ihrer einfachen Ausführung ermöglicht die Maschine einen Schlüsselraum von 2×10^{23} Einstellungsmöglichkeiten – das entspricht einer Zahl mit 23 Ziffern! Die Enigma der deutschen U-Boote aber hat vier Walzen und damit einen noch größeren Schlüsselraum.

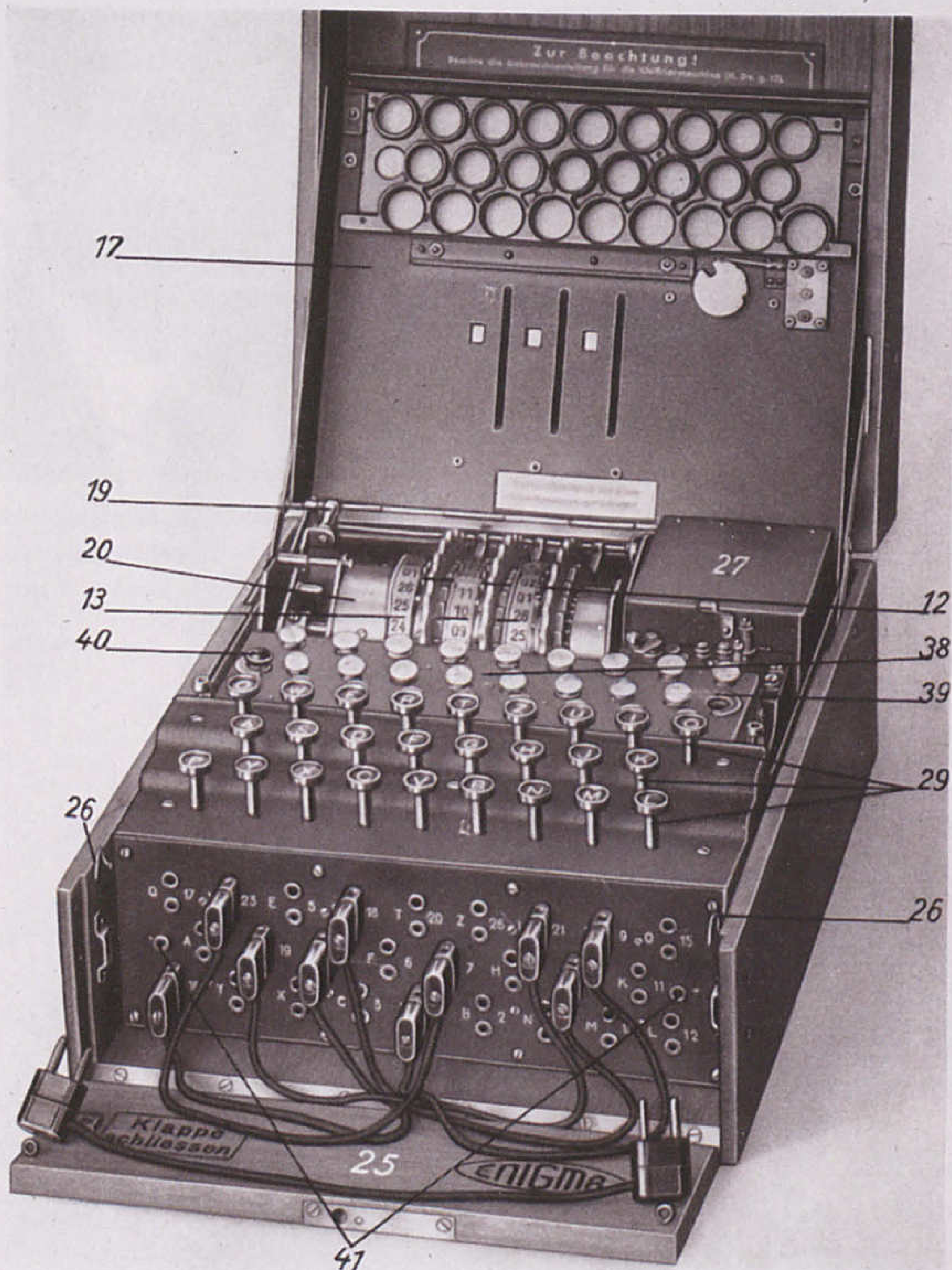
DER LOGIK DER DINGE AUF DER SPUR.

Als Turing nach Bletchley Park kommt, hat er einen langen Weg hinter sich, auf dem er das logische Denken gelernt hat. In seinen frühen Kinderjahren, Turing wird am 23. Juni 1912 in London geboren, sind seine Fähigkeiten alles andere als klar zu erkennen: Er versteht das System des Kalenders nicht, und Weihnachten kommt für ihn immer unerwartet. Er begeistert sich zwar für Mathematik, gelangt aber umständlich zum Ergebnis. Seine schlechte Handschrift wird nur noch von seinen Leistungen im Fach Englisch unterboten, wo er der schlechteste Schüler seiner Klasse ist.

Zugleich zeigt er für ein Kind erstaunliche Interessen. Seine Mutter schreibt, dass er stets nach einer inneren Logik der Dinge gesucht habe. Dass er eigene Arzneirezepte sorgfältig notierte und im Alter von acht Jahren eine Enzyklopädie zusammenstellte. Mit 13 Jahren schreibt er an seine Mutter: »Ich scheine immer Dinge tun zu wollen mit den einfachsten Hilfsmitteln überhaupt und mit dem geringsten Aufwand.«

Von Kindesbeinen an auf der Suche nach eindeutigen Grundstrukturen und nach Effizienz: Heute würde man Turing als »Nerd« bezeichnen, einen Sonderling und Außenseiter. Nicht nur aufgrund seiner geistigen Fähigkeit so logisch zu denken, dass ihn keiner mehr versteht. Sondern auch wegen seines Auftretens: Seine Haut ist so fettig, dass Mitschüler ihm den Spitznamen »Schmutzig« geben. Als Erwachsener lässt er die Fingernä-

Bild III



- | | | |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 12 Chiffrierwalzen | 20 Umkehrwalze | 29 Tastenbolzen |
| 13 Zahlenringe | 25 Stirnwand | 38 Glühlampenfeld |
| 17 Metalldeckel | 26 Hafen | 39 Lampenprüfung |
| 19 Halthebel | 27 Batteriefasten | 40 Kabelprüfung |
| | 41 Unverw. Buchsen zur Kabelprüfung | |

Die Schemazeichnung zeigt den Aufbau der Rotor-Chiffriermaschine Enigma mit drei Walzen. Die Maschine bot eine enorme Anzahl von Verschlüsselungsmöglichkeiten.

gel lang wachsen, wäscht sich kaum und kleidet sich in schmutzige, viel zu kleine Mäntel. Im Bletchley Park radelt Turing im Frühling mit aufgesetzter Gasmasken umher, um sich gegen Pollenflug zu schützen: Für den Logiker ein probates Lösungsmittel.

Warum stellt sich jemand, der so intelligent ist wie Turing, sozial ins Abseits? Nicht nur die ungepflegte Erscheinung schreckt Zeitgenossen ab. Obendrein ist Turing schüchtern und meidet Alltagsunterhaltungen – sowohl während seines Studiums in Cambridge als auch im US-amerikanischen Princeton. Ihm ist es

unmöglich, ein Netzwerk an Kontakten aufzubauen, das für eine Wissenschaftlerkarriere unerlässlich ist.

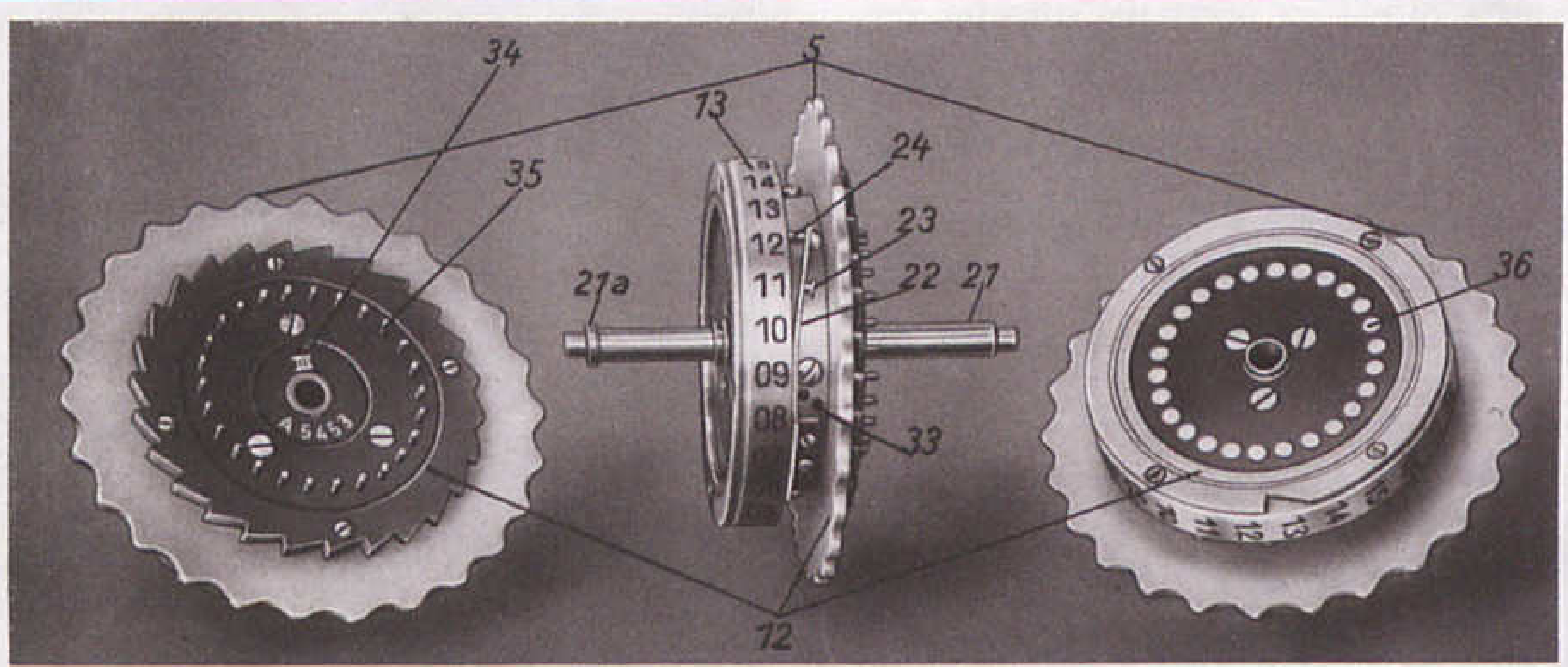
Am Beispiel »Mode« erklärt der Medienwissenschaftler Mathias Mertens, was in einem Nerd vorgeht: »Er kann mit Mode nichts anfangen, denn er wüsste nicht, welchen Strategien er folgen könnte und welche Regelauslegungen den größtmöglichen Erfolg versprechen. Deshalb beschäftigt er sich damit nicht.«

GEFÄHRLICHE LIEBSCHAFTEN. Die Mathematik, in die sich Turing als Schüler immer weiter vertieft und über die er alle Sorgfalt in anderen Schulfächern vergisst, hat jedoch genau die Berechenbarkeit, die Kleidermoden und Unterhaltung nicht haben. Natürlich sind es mathematische Probleme, die Turing mit seinem einzigen Freund Christopher Morcom diskutiert. »Während des Trisemes- ters begannen Chris und ich, einander unsere naturwissenschaftlichen Lieblingsprobleme vorzustellen«, erinnert er sich an die Zeit um 1927, als er 15 Jahre alt war.

Turing verspürt mehr als platonische Zuneigung für Morcom. Intellektuelle Anziehung kann er bald nicht mehr von Gefühlen trennen. Seine homosexuelle Neigung verbirgt er nicht, obwohl die britische Gesellschaft in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts äußerst bieder ist. Homosexuelle Bekenntnisse sind in der Öffentlichkeit nicht angesagt. Liebschaften finden allenfalls hinter gut verschlossenen Türen statt, denn bis 1967 stehen sie unter Strafe. Diese Umstände werden Turing später in den Tod treiben.

Auch in Bletchley Park hält er mit seiner Neigung nicht hinterm Berg. Er schockiert mit beiläufig geäußerten Outings, was aber als Teil seiner Exzentrik verstanden und in diesem begrenzten Rahmen toleriert wird. Für die Lösung des Enigma-Rätsels ist er einfach zu wichtig.

Turing wird, als er seine Arbeit in Bletchley Park aufnimmt, schnell klar: »Die einzige Möglichkeit, einen Maschinencode zu knacken, ist eine Maschine.« Kryptologen des polnischen Geheimdienstes hatten da Vorarbeit geleistet: Mithilfe von umgebauten Enigmas entschlüsseln sie in den frühen 1930er-



5 Einstellräder	21 Achse	23 Knopf	34 Kennzeichnung durch röm. Zahl
12 Chiffrierwalzen	21 a Achsenbund	24 Federzapfen	35 Federnde Kontaktflüße
13 Zahlerring	22 Haltefeder	33 Kennzeichnung durch Punkte	36 Glatte Kontaktflächen

Chiffrierwalzen der 3-Walzen-Ausführung der Enigma.

Literatur

Andrew Hodges, *Alan Turing, Enigma*. Springer Verlag, Wien

Zum Nachlesen im Internet

www.turing.org.uk/turing/

Jahren den Nachrichtenverkehr des deutschen Militärs, bis die Deutschen das Codesystem komplizierter machten. Die Polen senden 1939, kurz vor Beginn des Zweiten Weltkriegs, die Dechiffriermaschine nach Bletchley Park – zu einer Zeit, wo man den Deutschen noch mit Papier und Bleistift auf die Schliche zu kommen versucht.

Im Stallgebäude des Herrenhauses entwickelt Turing das polnische Gerät weiter. Seine Fähigkeit, auf theoretischer Ebene eine geeignete Maschine zu entwickeln, hatte er mit der Turing-Maschine bewiesen. Und sein praktisches Können entwickelt er 1937 mit dem »Elektronischen Multiplizierer«, einer selbstgebauten Chiffriermaschine, deren Anspruch er so definiert: »100 Nazis sollen 100 Jahre lang täglich acht Stunden bis zur Entschlüsselung arbeiten.«

Dieses Codiergerät bleibt unvollendet. Stattdessen schafft Turing in Bletchley Park eine Dechiffriermaschine, die die Tausenden täglich versendeten Geheimbotschaften des deutschen Militärs in Minuten lesbar macht. Die »Bombe«, auch »Eureka« oder »Agnus Dei« genannt, wird ein schrankwandgroßer und tonnenschwerer Apparat, der seinen Spitznamen erhält, weil er ein lautes Ticken von sich gibt. Im Innern sind Dutzende nachgebaute Enigmas ringförmig miteinander verbunden. Sie probieren alle möglichen Einstellungen des Enigma-Schlüsselraums durch. Helferinnen füttern die Maschinen mit verschlüsselten Nachrichten.

Bis Kriegsende sollen mehr als 210 solcher »Bomben« an unterschiedlichen Orten in Großbritannien aufgestellt gewesen sein. »Die chiffrierten Enigma-Meldungen wurden

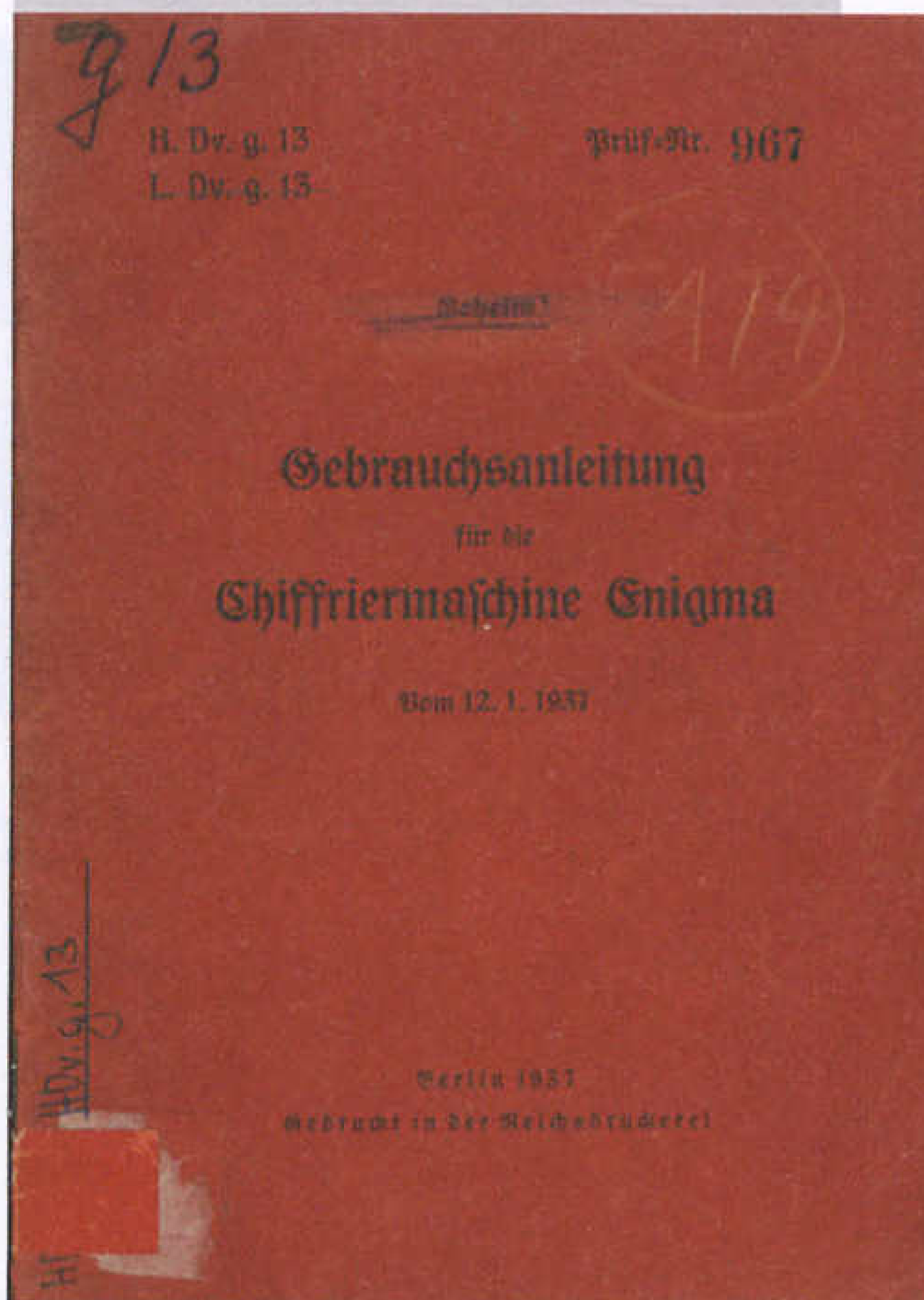
mechanisch direkt in normale Sprache verwandelt, so dass sie ein Endprodukt von füllhornartigem Überfluß erbrachten,« schreibt Francis Harry Hinsley, der in Bletchley Park mit Turing zusammengearbeitet hat. Die britische Marine kann durch die dechiffrierten Funksprüche auf die deutschen U-Boote angesetzt werden. Auch die anderen Truppenteile sind fortan über Feindbewegungen informiert.

Turings Arbeit ist so geheim, dass er selbst seiner Mutter davon nichts erzählt, mit der er in regem Briefwechsel steht. Die Öffentlichkeit erfährt davon ebenfalls nichts. Turing macht aber auf sich aufmerksam, als er nach dem Krieg die Turing-Maschine realisieren will. ACE, Abkürzung für »Automatic Computing System«, also »Automatisches Rechen-system«, soll wie ein Kind wachsen und durch Erfahrung lernen. Der *Daily Telegraph* nennt die Maschine nur fasziniert »Elektronenhirn«. Sie sprengt und beflügelt zugleich die Vorstellungskraft der Zeitgenossen.

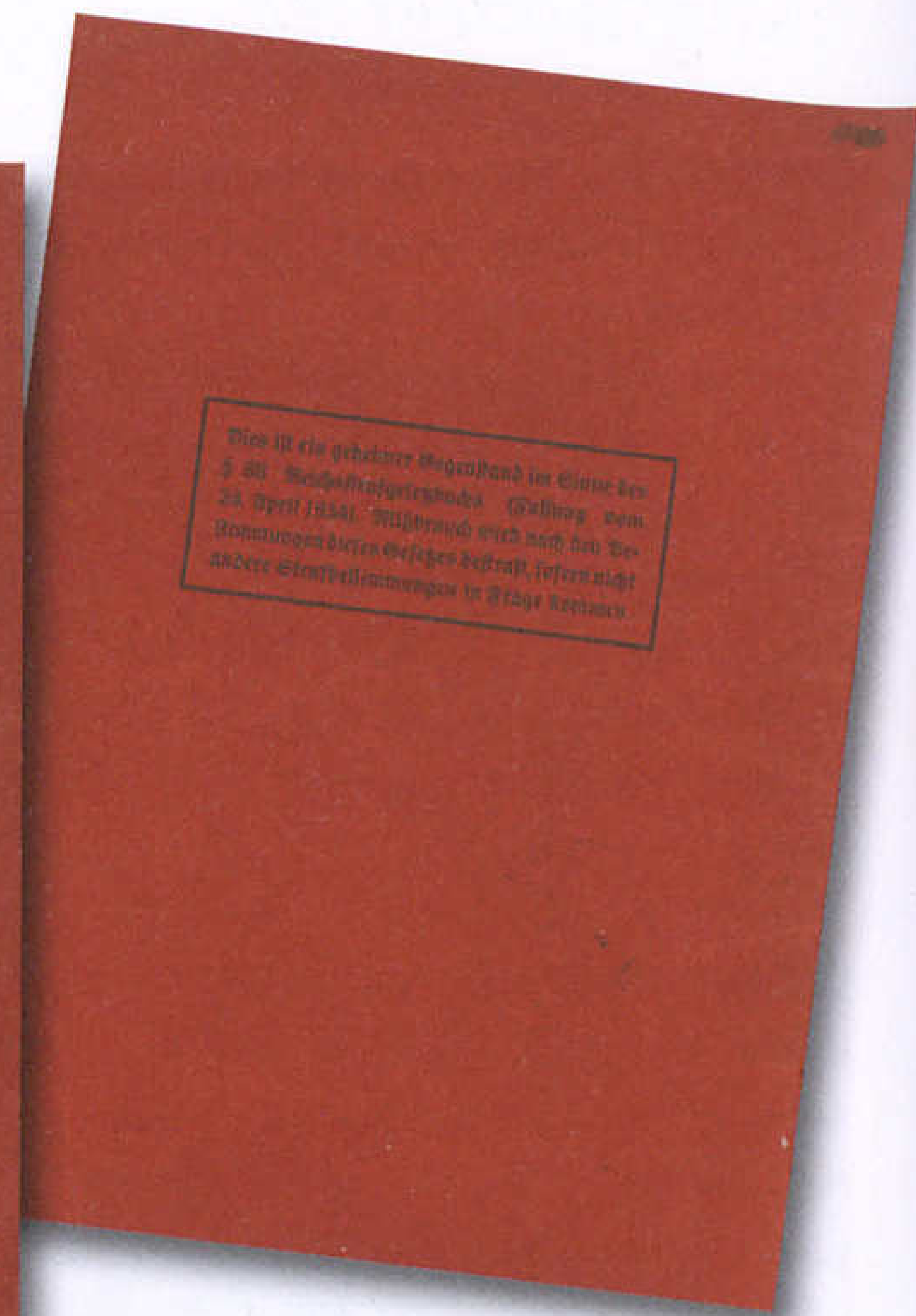
DER VERGIFTETE APFEL. Turing setzt die Verwirklichung und den Erfolg als selbstverständlich voraus, schließlich soll ACE so simpel programmiert sein, dass seine Einsatzmöglichkeiten universal sind. Indes wird Turing von jenen Konkurrenten überflügelt, die ähnliche Projekte Geldgebern gegenüber wortgewandter präsentieren. Zudem mangelt es dem Sonderling an einem Netzwerk innerhalb der Wissenschaften, das seine Idee unterstützt. ACE verläuft im Sande.

1952 beginnt er mit einem Stricher eine Affäre, die an die Polizei verraten wird. Turing wird der Unzucht mit einem Mann angeklagt und dazu verurteilt, sich der Kastration durch eine Behandlung mit weiblichen Hormonen zu unterziehen. Öffentlich gebrandmarkt fürchtet er, dass seine Vorstellung von einem intelligentem Universalrechner untergeht.

Am 8. Juni 1954 stirbt Turing. Die Hormonbehandlung hat ihn depressiv gemacht. Seine Freunde, Bekannten und Kollegen sprechen verschämt davon, dass ein wissenschaftliches Experiment schiefgelaufen ist. Tatsächlich scheint Turing einen Freitod gewählt zu haben, der an das Märchen »Schneewittchen« erinnert, für das er sich zu Lebzeiten beson-



Die geheime Gebrauchsanleitung für die Chiffriermaschine Enigma wurde 1937 vom Reichskriegsministerium herausgegeben.



ders begeistert hat: Neben seinem Bett liegt ein angebissener vergifteter Apfel.

EINE SPÄTE ENTSCULDIGUNG. Andere Forscher bauen auf Turings Vorstellungen die heutige Computertechnologie auf. Die Anerkennung seines Lebenswerks setzt erst mit der Biografie ein, die der Oxford-Mathematiker Andrew Hodges 1983 vorlegt.

Erst jetzt erfährt die britische Öffentlichkeit, dass Turing im Zweiten Weltkrieg mitgeholfen hat, das Kriegsglück auf die Seite der Alliierten zu holen. Und weitere 26 Jahre braucht es, bis sich im September 2009, 55 Jahre nach Turings Tod, Englands Premierminister Gordon Brown für die unmenschliche Bestrafung öffentlich entschuldigt: »Ohne Übertreibung lässt sich sagen, dass ohne seinen außergewöhnlichen Beitrag die Geschichte des Zweiten Weltkriegs ganz anders hätte verlaufen können. Er war einer derjenigen, durch dessen einzigartigen Beitrag sich das Blatt des Krieges gewendet hat.« ■■■

MARKUS THIERBACH beobachtet als Volkskundler Kulturphänomene und spürt Menschen und ihren Motivationen nach. Thierbach arbeitet als Journalist in München.

Deutsches Museum intern

Nachrichten, Tipps, Termine

»SCHAUFENSTER ROBOTIK«

Einblick in die Welt der künstlichen Wesen
Sonderausstellung

Zentrum Neue Technologien
vom 20.11.2009 bis 2011

Die Vorstellung, dass künstliche Kreaturen Arbeit übernehmen, hat die Fantasie der Menschen von jeher beflügelt. Aber erst in den 1950er-Jahren wurde die Idee eines mechanischen Helfers technisch realisierbar. Joseph Engelberger und George Devol gründeten 1956 die Firma Unimation, deren frei programmierbare Industrieroboter bald Eingang in die amerikanische Automobilproduktion fanden. Nach und nach zogen Industrieroboter dann weltweit in die Werkhallen ein.

Ende der 1980er-Jahre kam die Idee auf, Roboter zu bauen, die auch in Bereichen außerhalb der Produktion und unmittelbar in der menschlichen Lebenswelt eingesetzt werden können. Diese sogenannten Serviceroboter könnten z. B. in Büros Botengänge erledigen oder im Reini-

gungsgewerbe schwere körperliche Arbeiten übernehmen. Auch für kurzweilige Unterhaltung könnten sie sorgen, wie es z. B. mit dem Roboterhund »Aibo« von Sony bereits versucht wurde.

Kontrovers diskutiert wird die Vorstellung, dass bald intelligentere Roboter Tische decken und abräumen, den Müll hinausbringen oder gar die Körperpflege von kranken oder behinderten Menschen übernehmen. Wichtige Einsatzgebiete für Serviceroboter sind heute vor allem gefährliche Bereiche wie der Weltraum, die Tiefsee oder Siedlungsgebiete, die durch Naturkatastrophen oder Krieg zerstört wurden.

Die Sonderausstellung zeigt Objekte aus dem Depot, aus Forschungsinstituten und der Industrie, um Einblick zu geben, in welchen Bereichen heute Roboter eingesetzt werden. Hier sind die Industrie und die Landwirtschaft – es wird zum Beispiel ein Melkroboter gezeigt – genauso zu nennen, wie die Medizintechnik und Prothetik.



Küchenhilfe: ARMAR II ist auf die Arbeit im Haushalt programmiert.

ENTWICKLUNG DES UNIVERSUMS

Sonderausstellung

Dezember 2009 bis Ende 2011

Fast 14 Milliarden Jahre kosmische Geschichte erleben – das können Besucher der Ausstellung »Entwicklung des Universums«, die zum Abschluss des Internationalen Jahres der Astronomie am 9. Dezember 2009 im Deutschen Museum in München startet. Die Ausstellung nimmt den Besucher mit auf eine Zeitreise durch das Universum, angefangen beim Urknall bis hin zur Gegenwart und Zukunft des Weltalls, und gibt Einblick in die Arbeitsmethoden von Wissenschaftlern. Erkenntnisse aus der Astronomie, Astrophysik und Physik werden miteinander verknüpft, um die Entwicklungsgeschichte des Universums aus verschiedenen Blickwinkeln darzustellen. Um diese Zeitreise durch das All zu realisieren, haben sich fünf Forschungseinrichtungen zusammengeschlossen: die Europäische

Südsternwarte (ESO), der Exzellenzcluster Universe sowie die Max-Planck-Institute für Physik, Astrophysik und extraterrestrische Physik.



Der sogenannte Krabbennebel erstreckt sich über sechs Lichtjahre und ist das Relikt einer Supernova (Sternexplosion) aus dem Jahr 1054.

NACHLASS VON KONRAD ZUSE WIRD DIGITALISIERT

Das Deutsche Museum und die Freie Universität Berlin starten Projekt zum 100. Geburtstag des Computerpioniers.

Wissenschaftler des Deutschen Museums in München und der Freien Universität Berlin haben mit der Erschließung und Digitalisierung des Nachlasses von Computererfinder Konrad Zuse (1910–1995) begonnen.

Die Dokumente, darunter noch nicht erschlossene, in Stenografie verfasste Tagebuchaufzeichnungen Zuses sowie die Schaltungen seiner frühen Rechenmaschinen, werden im Auftrag des Deutschen Museums gesichtet, digitalisiert und katalogisiert. Die Ergebnisse, unter anderem für Laien verständliche Simulationen der Maschinen Zuses, sollen im Internet für jedermann zugänglich gemacht werden.



Werkstoff im Verborgenen

KERAMIK ZWISCHEN TRADITION UND HIGHTECH

Keramik gilt als der älteste künstlich hergestellte Werkstoff der Menschheit. Die im September 2009 neu eröffnete Ausstellung »Technische Keramik« zeigt die verschiedenen Anwendungsbereiche dieses ungewöhnlich vielseitigen Materials in der Technik.

Ich sehe was, was du nicht siehst, und das ist keramisch. Dieses Spiel könnte man eigentlich in allen Lebenslagen spielen. Denn was die wenigsten wissen: In vielen technischen Produkten des Alltags verbergen sich kleine keramische Bauteile, die wegen ihrer Isolierfähigkeit, Verschleißfestigkeit, Hitzebeständigkeit oder ihres geringen Gewichts dort eingebaut wurden. Aufgrund dieser hervorragenden Eigenschaften nimmt Keramik in unserem Leben schon seit Jahrzehnten mehr Platz ein als nur als Geschirr auf unserem Esstisch oder Waschbecken in unserem Badezimmer.

Um dem immer größer werdenden Anwendungsspektrum von Keramik Rechnung zu tragen, wurde 1980 mit der Abteilung Keramik der Ausstellungsbereich »Technische Keramik« ins Leben gerufen. Das damalige Ausstellungskonzept – Darstellung der unterschiedlichen Werkstoffgruppen der Technischen Keramik – hatte sich mit der Zeit überholt, sodass der Bereich nun grundlegend erneuert wurde. Unterstützt wurde das Vorhaben vom Verband der Keramischen Industrie, dem Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie und dem Förderverein der Abteilung Keramik im Deutschen Museum.

MENSCH IM MITTELPUNKT. Anhand sechs verschiedener Schwerpunktgebiete – Haushalt/Alltag, Medizin, Industrie/Umwelt, Auto, Forschung/Entwicklung sowie Feuerfest-Keramik –

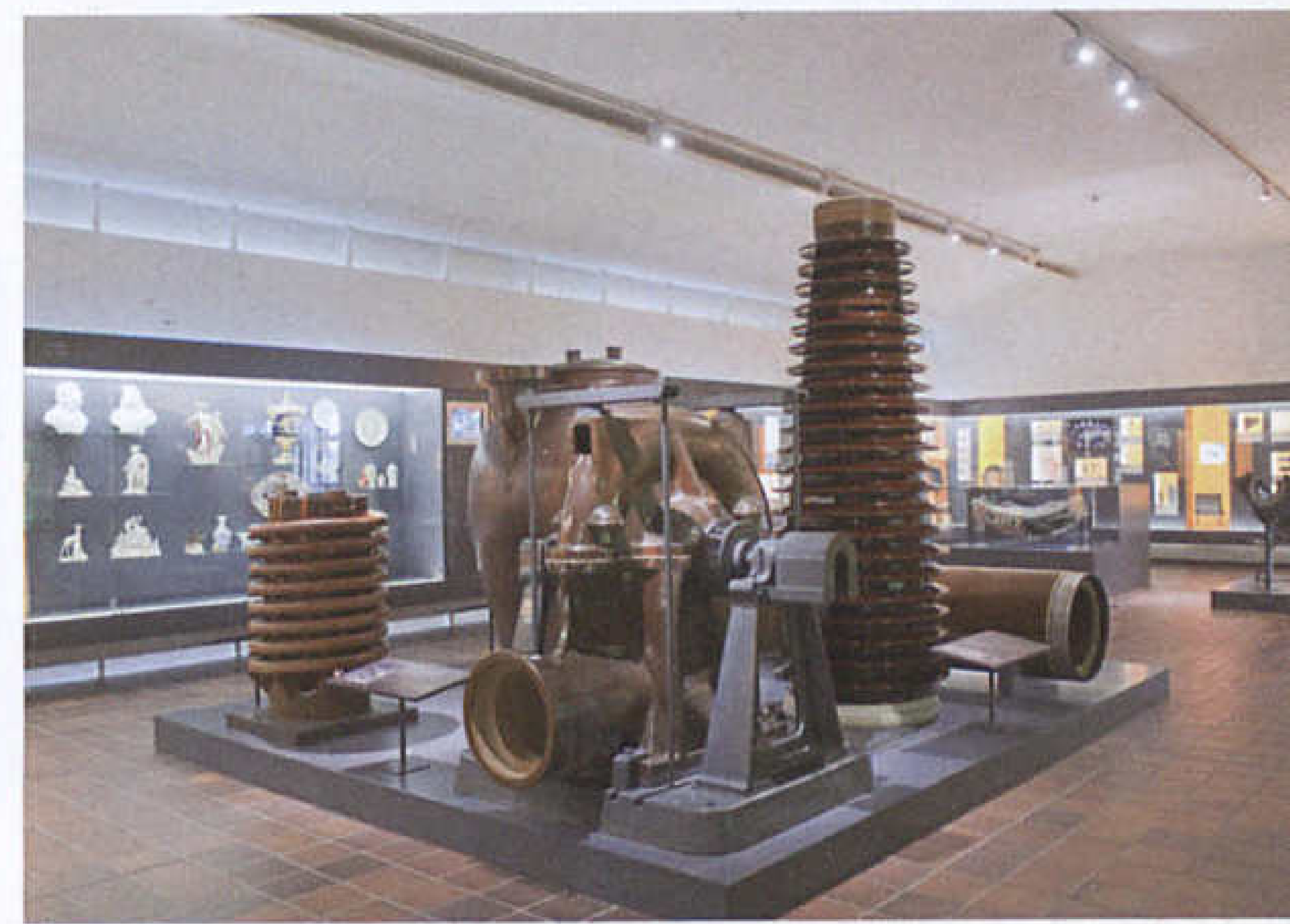
erfährt der Besucher anschaulich, welche Rolle Keramik in seinem Leben und in der Industrie spielt. So oft wie möglich werden die keramischen Bauteile in ihrer natürlichen Umgebung gezeigt, d. h. eingebaut in das – häufig aufgeschnittene – Endprodukt. Unterstützt wird die Präsentation der Exponate durch verschiedene Medienstationen mit Filmen und Animationen.

So bekommt man zum Beispiel die spezielle UltraFastCeramic im Detektor eines Computertomografen zu sehen, die dazu beiträgt, die Untersuchungsdauer für Patienten wesentlich zu verkürzen. Ebenfalls beeindruckend sind eine Bremscheibe aus kohlenstofffaserverstärktem Siliciumcarbid eines Bugatti Veyron sowie die Hitzeschutzkachel einer Raumfähre, die zwar selbst auf keinen Weltraumflug geschickt wurde, aber authentischen Tests auf der Erde mit Bravour standgehalten hat.

Zum Mitmachen lädt die Demonstration eines Wasserhahns ein, die mithilfe einer eingebauten Kamera die Funktionsweise von keramischen Dichtscheiben zeigt. In der Feuerfest-Vitrine wird die Unentbehrlichkeit keramischer Feuerfest-Materialien für die Herstellung von Werk- und Baustoffen wie Metalle, Zement oder Glas anhand der Stahlerzeugung aufgezeigt.

Die Ende September wiedereröffnete Ausstellung stößt seitdem auf reges Interesse. So heißt es vielleicht in Zukunft immer häufiger: Ich sehe was, was du ... auch siehst! *Christina Broesike*

➔ Bereiche der Abteilung Keramik im Deutschen Museum präsentieren sich in modernem Gewand: An die rundum erneuerte »Technische Keramik« wurde der Bereich Steinzeug und Porzellan gestalterisch angepasst. Außerdem werden die in den 1980er-Jahren von Karl Litzow gefertigten Modelle historischer Brennöfen wieder ausgestellt.



AUF DEN SPUREN GALILEO GALILEIS



Zu Galileis Zeit war der Brenta-Kanal die schnellste Verkehrsverbindung zwischen Padua und Venedig. (Bild links)

Galileis rechter Mittelfinger. Inzwischen soll noch ein weiterer Finger Galileis entdeckt worden sein. (Bild rechts)

Eine Reise mit dem Freundeskreis und Mitgliedern des Deutschen Museums

Vor 400 Jahren richtete Galilei das Fernrohr auf den Himmel und revolutionierte in der Folge das ptolemäische Weltbild. Ihm und Johannes Kepler zu Ehren wurde 2009 zum Internationalen Jahr der Astronomie erklärt. Dabei hat Galilei das Fernrohr nicht erfunden, sondern ein holländischer Instrumentenbauer. Dass die Erde nicht der Mittelpunkt der Welt ist, sondern sich um die Sonne dreht, ist von Nikolaus Kopernikus und lange vor ihm schon von Aristarch von Samos im 3. Jh. v. Chr. entdeckt worden. Und doch ist kaum ein Astronom so bekannt und bewegt die Gemüter mehr als Galilei. Was macht ihn so legendär?

Eine Woche war unsere Reisegruppe in Oberitalien unterwegs, um dieser und anderen Fragen nachzugehen. Unter der wissenschaftlichen Leitung von Jürgen Teichmann besuchten wir einige Stationen in Galileis Leben, z. B. Pisa, wo Galilei 1564 geboren wurde, wo er studierte und ab 1589 an der Universität Mathematik lehrte. An den Originalschauplätzen in Venedig und Padua erläuterte Teichmann die Bedeutung Galileis als Astronom und als Wegbereiter der modernen Naturwissenschaft. Denn zum ersten Mal wurde die Sicht auf die Welt durch Entdeckungen erweitert, die nicht mehr mit bloßen Sinnen wahrnehmbar waren. Das Fernrohr zeigte eine Wirklichkeit, die der Beobachtung vorher verborgen geblieben war. 1592 erhielt Galilei eine

Anstellung als Professor für Mathematik an der angesehenen Universität von Padua. Neben seiner Lehrtätigkeit befasste er sich mit Mechanik und Fallgesetzen, analysierte Geschossbahnen und baute Instrumente. Auf die Verbesserung seiner Lebenssituation bedacht, gelang ihm mit der klugen Anwendung des Fernrohrs der Durchbruch. Seine Beobachtungen, die er 1609 auf dem Turm von San Marco vorführte, überzeugten die Stadtväter Venedigs, ihm eine Lebensstellung und die Verdopplung des bisherigen Gehalts zu gewähren. Zwei Stunden früher als mit bloßem Auge konnte man ankommende Schiffe mit dem Fernrohr sehen! Das brachte einen beträchtlichen Verteidigungsvorteil.

Über Padua und Bologna, wo uns Giorgio Dragoni durch den Palazzo Poggi und die naturhistorische Sammlung der Universität Bologna führte, ging die Reise weiter zu unserer nächsten Station nach Montecatini Terme. Von dort aus waren sowohl Florenz als auch Pisa gut zu erreichen.

Galilei hatte die ganze Zeit über Kontakt mit Florenz gehalten, er wollte weg von den venezianischen »Pfeffersäcken« und hofierte Cosimo II. von Medici, den er zuvor schon als Schüler unterrichtet hatte. Die vier Monde des Jupiter, die er mit dem Fernrohr entdeckte, heute bekannt als die Galileischen Monde, nannte er zu Ehren des Herzogs und seiner drei Brüder »die mediceischen Gestirne«. Kein Wunder, dass dieses Geschenk den Herzog bewog, ihn 1610 auf

Lebenszeit als Hofmathematiker und -philosoph anzustellen und sein Gehalt noch einmal zu verdoppeln. Im Museo di Storia della Scienza in Florenz fanden wir merkwürdigerweise neben vielen sehenswerten Exponaten einen Mittelfinger Galileis als Reliquie ausgestellt. Ein Kompass, zwei der Fernrohre, die er gebaut oder benutzt hat, existieren dort noch, sowie eine Linse, ebenfalls wie ein Heiligtum aufbewahrt – eine trübe, dicke kleine Glasscheibe. Bewundernswert, dass er damit überhaupt etwas so weit Entferntes sehen und aufzeichnen konnte.

Im Gegensatz zu Kopernikus, der die Veröffentlichung seiner Erkenntnisse lange Zeit vermied, scheute Galilei die öffentliche Diskussion nicht. Seine Himmelsbeobachtungen lieferten überzeugende Argumente für die Wirklichkeit eines heliozentrischen Systems, das bis dahin eher als mathematisches Modell existiert hatte.

Doch dann die Tragik der Verurteilung durch die Heilige Inquisition 1633, vor der er seinem Werk abschwören musste! Vor schlimmerer Strafe verschont, lebte Galilei 17 Jahre lang bis zu seinem Tod in der Villa »Il Gioiello«, idyllisch über Florenz gelegen, im Hausarrest. 78 Jahre war er alt geworden, am Ende erblindet. In der Basilika Santa Croce fand er später seine letzte Ruhestätte, gegenüber den Grabmälern Dantes und Michelangelos.

Wie war es möglich, dass beste Kontakte ihn nicht mehr vor der Inquisition schützen konnten wie die Jahre zuvor? Der Papst, ihm wohlgesonnen, hatte zunächst die Veröffentlichung des *Dialogo* gestattet unter der Voraussetzung, dass er das heliozentrische System als Hypothese behandle und nicht als Wahrheit. Doch Galilei brüskierte den Klerus mit der Figur des einfältigen Simplicio, den er die Argumente für das ptolemäische Weltbild vortragen ließ. Die Kritik an der Kometentheorie des Ingolstädter Jesuitenpeters und Astronomen Christoph Scheiner könnte ihm den Unmut des Ordens zugezogen haben. Zusätzlich ließen vielleicht außenpolitische Ereignisse wie der 30-jährige Krieg in Deutschland den Vatikan um seine Vormachtstellung in Glaubensfragen fürchten, sodass er gegen »ketzerisches« Gedankengut härter vorgehen wollte. Erst im Jahr 1992 war es der katholischen Kirche möglich, Galilei zu rehabilitieren. *Christine Füssl-Gutmann*

Freundes- und Förderkreis

Deutsches Museum e. V.

GENERATIONENWECHSEL IM VORSTAND



»Das Abitur ist geschafft«, sagte Generaldirektor Wolfgang M. Heckl auf der Mitgliederversammlung des Freundes- und Förderkreis Deutsches Museum im November 2009, die ganz im Zeichen von Abschied und Neubeginn stand.

Nach neun erfolgreichen Jahren verließen Christiane Kaske, Christina Gräfin Podewils von Miller, Prof. Dr. Otto Meitinger, Prof. Dr. Adolf Birkhofer und Dr. Gerhard Mahler den Vorstand. Wolfgang Heckl bat sie alle auf die Bühne des Ehrensaals, drückte jedem von ihnen – in Erinnerung an eines der vielen vom Freundeskreis geförderten Jugendprojekte – ein Monochord in die Hand und bat sie, darauf zu spielen. Alle versuchten es tapfer, obgleich sie dieses nach mathematischen Grundsätzen konstruierte Instrument weit weniger virtuos zu spielen wussten, als sie über all die Jahre die Geschicke des Freundeskreises lenkten.

Als Christiane Kaske ihre Idee eines Freundeskreises für das Deutsche Museum in die Tat umzusetzen begann, ahnte wohl niemand, dass neun Jahre später 235 Mitglieder geworben und insgesamt 2,7 Millionen Euro an Spenden eingesammelt sein würden. Und doch sind es nicht nur die guten Zahlen, die der Schatzmeister Gerhard Mahler stets präzise berichtete, sondern die große Herzlichkeit und das leidenschaftliche Engagement aller, die diesen Verein geprägt haben.

Nichts ist dem Freundeskreis zu klein, um nicht durch eine finanzielle Unterstützung zum

Leben erweckt zu werden – nachdem das Projekt geprüft und für gut befunden wurde. Hier werden Sicherheitsvitrinen benötigt, dort sind alte Bücher vor dem Zerfall zu bewahren, eine Publikation wäre ohne Zuschuss nicht finanzierbar oder ein unzureichend behindertengerechter Gang muss rasch erneuert werden.

Nichts – oder fast nichts – ist dem Freundeskreis andererseits zu groß. Er ist erstes Mitglied des Gründerkreises der Zukunftsinitiative, jener größten und umfassendsten Sanierungs- und Erneuerungsanstrengung, die das ehrwürdige Haus im 21. Jahrhundert ankommen lassen soll. Über alle Jahre hat sich der Freundeskreis mit großem Erfolg der ganz Jungen und der Senioren angenommen. Die Seniorenführungen werden sogar schon von anderen Museen kopiert.

Gründungsmitglied Isolde Wördehoff steht dem Freundeskreis als Vorsitzende vor, Stellvertreter ist Camilo Dornier, ebenfalls ein Gründungsmitglied. Des Weiteren gehören dem Vorstand an: Dr. Christian Rothmund, Dipl.-Phys. Franz-Josef Schöniger, Dr. Bernd-A. von Maltzan, Dipl.-Ing. Henrik Arneht und Monika Czernin, eine Urenkelin des Museumsgründers Oskar von Miller. Für den Neuanfang erhielt Isolde Wördehoff von Wolfgang Heckl ein



Ein Monochord überreichte Wolfgang M. Heckl jedem scheidenden Vorstandsmitglied des Freundeskreises: (v.l.n.r.) Prof. Dr. Adolf Birkhofer, Christina Gräfin Podewils von Miller, Dr. Gerhard Mahler, Prof. Wolfgang M. Heckl, Christiane Kaske und Prof. Dr. Otto Meitinger.

museumsreifes Paddel. Zwar habe sie es nicht mit einem sinkenden Schiff zu tun, aber doch mit einem, welches mittels der Hilfe des Freundeskreises durch die Unbill der Zeiten gesteuert werden müsse. Sie wolle Mitglieder – vor allem junge – finden und binden und das gute Erbe des Freundeskreises erhalten, antwortete Isolde Wördehoff.

Nach dem mitreißenden Festvortrag von Ex-Astronaut Prof. Ulrich Walter beim eleganten Dinner in der Luftfahrthalle dankte die Vorsitzende den scheidenden Vorstandsmitgliedern und überreichte ihnen die goldene Ehrennadel.

Monika Czernin

Unterstützen Sie den Freundeskreis des Deutschen Museums!

Jahresbeitrag:

- ▶ 500 Euro für persönliche Mitgliedschaften
- ▶ 250 Euro für Juniormitgliedschaft (bis 35 Jahre)
- ▶ 2.500 Euro für Mitgliedschaften mittelständischer Unternehmen nach EU-Norm
- ▶ 5.000 Euro für die Mitgliedschaft großer Unternehmen

Kontakt:

Freundes- und Förderkreis
Deutsches Museum e. V.
Museumsinsel 1 · 80538 München

Ihre Ansprechpartnerin:

Claudine Koschmieder
☎ 089 / 21 79-314 · Fax 089 / 21 79-425
c.koschmieder@deutsches-museum.de

Veranstaltungen & Ausstellungen

Januar bis März 2010

MUSEUMSINSEL

AUSSTELLUNGEN

SONDERAUSSTELLUNGEN

- bis 31. Januar Ein Buch verändert die Welt – 150 Jahre
On the Origin of Species
- bis 8. Februar expedition materia – die Welt der innovativen Werkstoffe
ab 25. März Ozean der Zukunft
- bis 31. März Vom Hochofen zum Hybridantrieb
MAN – 250 Jahre deutsche Technikgeschichte
- bis 2011 Entwicklung des Universums

MONTAGSKOLLOQUIUM

Bibliotheksbau, Seminarraum der Institute (Raum 1402); Eintritt frei
Information: Andrea Walther, ☎ 089 / 21 79 - 280
E-Mail: a.walther@deutsches-museum.de

- Beginn 16.30 Uhr, ab 16 Uhr Austausch bei Kaffee/Gebäck im Foyer der Verwaltung
- 11.01. Plastikmüll. Wenn Dinge nicht verschwinden
- 25.01. Homöopathie und Pflanzenheilkunde im Dritten Reich
- 08.02. Russlands Fahrt in die Moderne – Mobilität und sozialer Raum im Eisenbahnzeitalter

WISSENSCHAFT FÜR JEDERMANN

Mittwoch, 19 Uhr, Ehrensaal, 1. OG, Abendkasse ab 18 Uhr, Einlass 18.30 Uhr
Reservierung am Veranstaltungstag, 9 bis 15 Uhr: ☎ 089 / 21 79 - 221
Eintritt (soweit nicht anders angegeben): 3 €, private Mitglieder frei

- 13.01. Darwins Albtraum – Die Schönheit
- 20.01. Katastrophen und Aussterbeereignisse in der Erdgeschichte
- 27.01. Künstliche Viren für den zielgerichteten Transport von Medikamenten
- 03.02. Neues von der Entdeckungsmaschine: Der Large Hadron Collider am CERN
- 10.02. (Thema noch nicht bekannt)
- 17.02. Bionanotechnologie
- 24.02. (Thema noch nicht bekannt)
- 03.03. High Energy – Die Energie-Show (Science-Comedy)

FRAUEN TECHNIK WISSEN

Mittwoch, 10 Uhr (soweit nicht anders angegeben), Treffpunkt: Eingangshalle

- 13.01. Von der Forschung zur Anwendung – Biotechnologie in der neuen Ausstellung Zentrum Neue Technologien
- 10.03. Von der Muskelkraft bis zum Sonnenofen – Aus der Geschichte der Energienutzung

SENIORENFÜHRUNGEN

Donnerstag 10 Uhr und 14 Uhr, Eingangshalle, Anmeldung: Seniorenbeirat der LH München, Burgstraße 4, 80331 München, ☎ 089 / 233 - 2 11 66

- 14.01. Einblicke in die unsichtbare Nanowelt
- 11.02. Geschichte und Folgen der Atomspaltung
- 11.03. Zur Entwicklung der modernen Pharmazie

SONDERVORFÜHRUNGEN GLASBLASEN

2. OG, Glasbläserstand neben der Altamirahöhle

- Sa 15.01. u. So. 16.01., jeweils 11.30 u. 14 Uhr
Mi 10.02., 14 Uhr
Fr 26.03. u. Sa. 27.03., jeweils 11, 13 u. 15 Uhr
So 28.03., jeweils 11, 13 u. 15.00 Uhr

Glasfiguren
Glasapparate
Glasperlen
Gläserne Pflanzen

KONZERTE IN DER MUSIKINSTRUMENTEN-AUSSTELLUNG

Aktuelle Informationen unter www.deutsches-museum.de/information/konzerte sowie ☎ 089 / 21 79 - 445, E-Mail: s.berdux@deutsches-museum.de

- Mi 20.01., 18 Uhr der dritte mittwoch: Vom Cembalo zum Flügel
- Sa 23.01., 14.30 Uhr Orgelkonzert: Zum 200. Geburtstag von Robert Schumann
- Mi 17.02., 18 Uhr der dritte mittwoch: Kammermusik für Barockvioline
- Sa 20.02., 14.30 Uhr Orgelkonzert: Werke von Vinzenz Lübeck u. a.
- So 28.02., 11.15 Uhr Matinee: Klangexperimente
- Sa 13.03., 14.30 Uhr Orgelkonzert: »Musica Italiana« – eine musikalische Zeitreise
- Mi 17.03., 18 Uhr der dritte mittwoch: Musik u. a. von John Dowland
- So 28.03., 11.15 Uhr Matinee: Paradise Lost

DAS DNA-BESUCHERLABOR: GENFORSCHUNG BEGREIFEN

Vereinbarung von Kursterminen: Beate Schuster, ☎ 089 / 21 79 - 252

Weitere Informationen auf den Internetseiten des Museums:

www.deutsches-museum.de/ausstellungen/neue-technologien/labore/besucherlabor/

KINDER- UND JUGENDPROGRAMM

MIMKI – MITTWOCH IM KINDERREICH

Workshops für Kinder von 4 bis 8 Jahren

Mittwoch 14.30 bis 15.30 Uhr (außer in den Ferien); keine Anmeldung erforderlich.

Kosten: Museumseintritt für Kinder ab 6 Jahren

TUMLAB – LABOR FÜR SCHÜLER UND LEHRER

Kinder ab 10 Jahre; Anmeldung: montags 10 bis 12 Uhr/14 bis 16 Uhr unter

☎ 089 / 21 79 - 558, Informationen unter: www.tumlab.de, E-Mail: kontakt@tumlab.de

OSTERFERIENPROGRAMM

Für Kinder von 9 bis 15 Jahren. Information und Anmeldung (soweit erforderlich):

☎ 089 / 21 79 - 592, g.kramer@deutsches-museum.de

Di 30.03. – Do 01.04., jeweils 10–16 Uhr

Forschen, Entdecken, Erfinden: Energie für die Zukunft

SCHREIBWERKSTATT ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN

Die Schreibwerkstatt für Science-Fiction-Geschichten für Jugendliche ab 14 Jahre

Information und Anmeldung: ☎ 089 / 21 79-435, p.scheller@deutsches-museum.de

Genauer Programmablauf unter www.deutsches-museum.de/schreibwerkstatt

Di 30.03. – Do 01.04.

SONNTAGSTREFF FÜR KINDER UND JUGENDLICHE

Für Kinder und Jugendliche von 9 bis 15 Jahren, keine Anmeldung erforderlich,

Kosten: Museumseintritt, Information: Gabriele Kramer, ☎ 089 / 21 79-592, g.kra-

mer@deutsches-museum.de, Treffpunkt: Eingangshalle des Deutschen Museums

So 28.02., 11–12.30 Uhr

Ein UFO schwebt über der Ausstellung im Zentrum Neue Technologien. Im Inneren der Kapsel ist das DNA-Besucherlabor untergebracht.



VERKEHRZENTRUM

SONDERAUSSTELLUNGEN

bis 10. Januar	Trabant – die letzten Tage der Produktion
ab 22. Januar	Go Easy Go Bahn – Eisenbahn & Werbung
bis 7. Februar	100 Jahre Führerschein
bis 31. März	Gebirgsbahnen – Fluchtlinien der Moderne

RADL-SONNTAG: »RADELN IN ALLEN LEBENSLAGEN«

So 21. März, 11 – 17 Uhr
Kosten: Museumseintritt

VORTRÄGE

Donnerstag, Beginn: 18.30 Uhr, Eintritt 3 €, Mitglieder frei	
14.01.	Transport und internationale Klimapolitik
28.01.	Parkraummanagement – Lösung für den (ruhenden) Verkehr?
04.02.	Mobilität, Lebensstile und Klimaschutz
18.02.	Ist ein Weltkulturerbe für den täglichen Gebrauch geeignet?
25.02.	e-mobility – Von der Vision zur Realität
04.03.	Gebirgsbahnen. Fluchtlinien der Moderne – Eisenbahn und Welterbe
18.03.	Rot für Stinker. Die Verschärfung der Umweltzone
25.03.	Mit der Darjeeling-Bahn zum Fuß des Himalayas

FRAUEN TECHNIK WISSEN

Kosten: Museumseintritt; Treffpunkt: Kasse
Mi 10.02., 10.00 Uhr Mobil ohne CO₂

KINDER- UND JUGENDPROGRAMM IM VERKEHRZENTRUM

Buchung von Kindergeburtstagsfeiern unter ☎ 089 / 21 79 - 597

KINDERKOLLEGGKURS: WANN FUHR DIE ERSTE EISENBAHN?

Für Kinder von 8 bis 12 Jahren
Sa 23.01., 10–11.30 Uhr
Anmeldung erforderlich: 089/ 34 16 76, kinderkolleg@kulturundspielraum.de
Kosten Museumseintritt plus 2,- € Kursgebühr; Treffpunkt: Kasse

SONNTAGSTREFF FÜR KINDER UND JUGENDLICHE

Für Kinder und Jugendliche von 9 bis 15 Jahren, keine Anmeldung erforderlich.
Kosten: Museumseintritt, Information: Gabriele Kramer, ☎ 089 / 21 79 - 59, g.kramer@deutsches-museum.de, Treffpunkt: Kasse
So 14.03., 11–12.30 Uhr

FAHRRAD-FLICK-KURSE

Mi 13.01., 03.02., 03.03., jeweils 14.30–15.30 Uhr
Eintritt: 3,- Euro plus 1,50 € Materialkosten; Treffpunkt: Kasse
Anmeldung erforderlich: ☎ 089 / 50 08 06 - 500

KINDERFÜHRUNGEN

Kosten: Museumseintritt
Wie die Kutsche auf die Schiene kam
Mo 04.01., Di 05.01., Fr 08.01., Fr 15.01., Di 19.01., Sa 13.03., jeweils 15 Uhr
Vom Hochrad zum Mountainbike
Do 07.01., Sa 23.01., Do 18.02., Sa 20.02., Sa 27.02., jeweils 14 Uhr
Geschichten und Geschichte der Trambahn
Mi 06.01., Sa 16.01., Sa 30.01., Sa 13.02., Sa 27.03., jeweils 14 Uhr
Wie das Auto laufen lernte
Sa 09.01., Mi 27.01., Sa 06.02., Mi 17.02., Sa 06.03., jeweils 14 Uhr

FLUGWERFT SCHLEISSHEIM

SONDERAUSSTELLUNG

bis 28. Februar Hans Grade, der Lanz-Preis und die Anfänge des Deutschen Motorflugs

SONDERVERANSTALTUNGEN

Do 18.02. 17.30 Uhr 50. Jahrestag des ersten deutschen Passagierjets:
Das Flugzeug 152 (Vortrag der Royal Aeronautical Society)
Sa 06.03., So 07.03. jeweils 9–17 Uhr Die Luftfahrt im Kleinen

KINDER- UND JUGENDPROGRAMM IN DER FLUGWERFT

FLUGMODELLBAUKURS

Für Kinder ab 12 Jahren, Jugendliche und Erwachsene
Anmeldung: 01 73 / 4 80 73 68, E-Mail: epochell@t-online.de
Kosten: 49 € (je nach Modell, inklusive Kursgebühr, Materialkosten und Museumseintritt); Werkzeug wird gestellt.
Do 07.01. (Weihnachtsferien), Sa 06.02., Sa 20.03., jeweils 9 – 17 Uhr

WORKSHOP: BAU EINER MODELLRAKETE

Für Kinder ab 12 Jahren, Jugendliche und Erwachsene
Anmeldung: 01 73 / 4 80 73 68, E-Mail: epochell@t-online.de
Kosten: 49 € (je nach Modell, inklusive Kursgebühr, Materialkosten und Museumseintritt); Werkzeug wird gestellt.
Di 3.11., 9–17 Uhr, Sa 23.01., Do 18.02. (Winterferien), jeweils 9 – 17 Uhr

WORKSHOP »FLIEGENDE OBJEKTE«

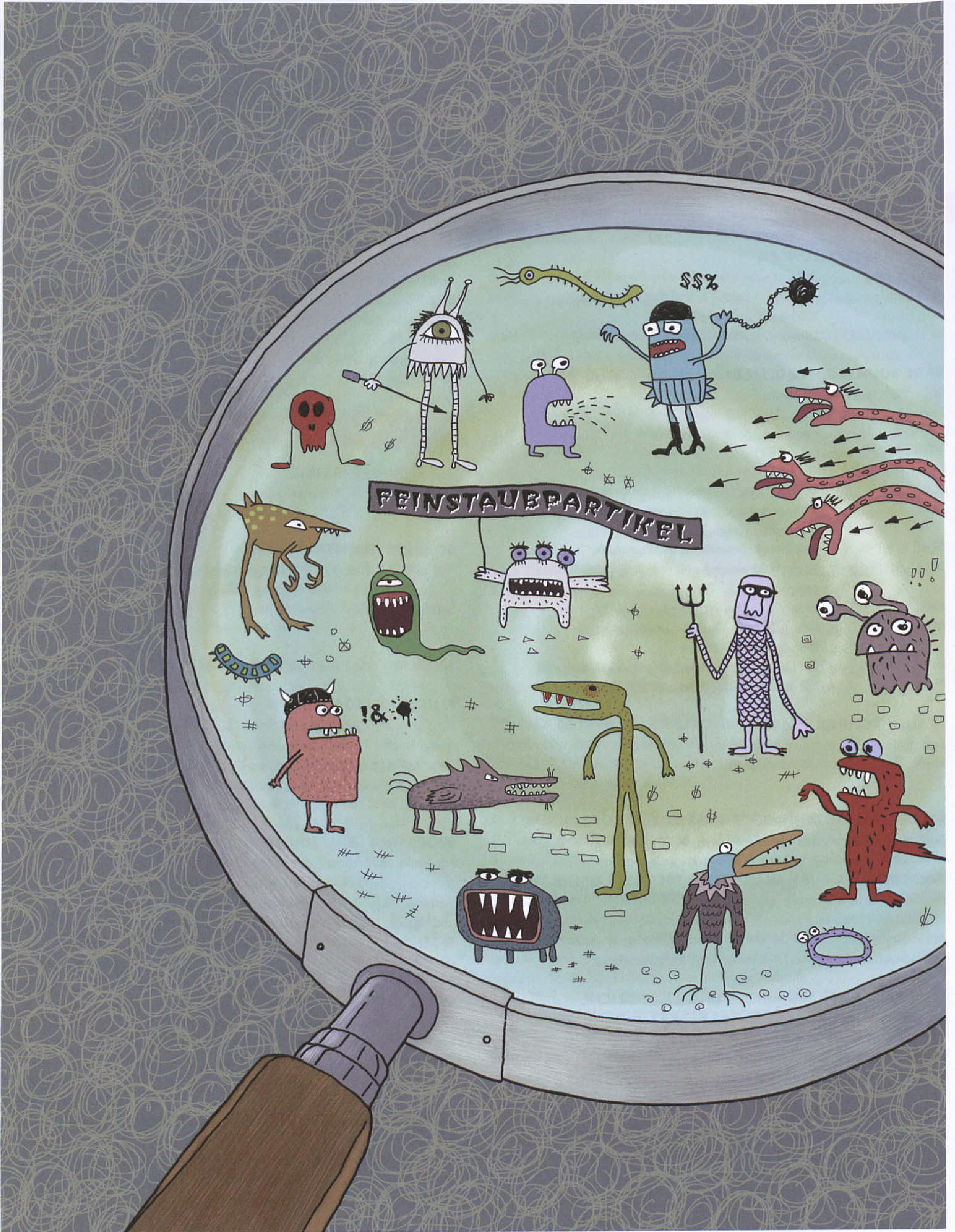
Für Kinder von 9 bis 13 Jahren
Anmeldung erforderlich in der Flugwerft unter: 089 / 31 57 14-10
Kosten: Museumseintritt (keine Kursgebühr)
Sa 27.02., 10–16 Uhr

WORKSHOP FÜR DEN FLIEGENDEN ZIRKUS: Elektrofesselflugmodell

Für Kinder von 9 bis 15 Jahren
Anmeldung erforderlich in der Flugwerft unter: 089 / 31 57 14-10
Kosten: 25,- € (inkl. Kursgebühr, Materialkosten und Museumseintritt)
Mo 04.01. und Di 05.01., jeweils 10– 16 Uhr

Schlusspunkt

Die Zukunft ist nano



Ich werde heute davon berichten, wie der Staat mir mein Auto gestohlen hat. Bevor ich zu den Details dieses ungeheuerlichen Vorgangs komme, werde ich jedoch einige ganz allgemeine Überlegungen zum Thema Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit anstellen. Das scheint mit dem erwähnten Autoklau zunächst mal nichts zu tun zu haben. Wir werden jedoch sehen, dass beides in Wahrheit sehr eng miteinander verflochten ist.

Der normale Mensch denkt ja, dass alles, was er sieht, auch da ist. Einige denken sogar, dass alles, was sie nicht sehen, nicht da ist. Dass

Autoklau

Text: Daniel Schnorbusch, Illustration: Jana Konschak

das nicht stimmen kann, zeigen uns die Wissenschaften. Wissenschaftler tun kaum etwas anderes, als sich mit unsichtbaren Dingen zu befassen. Mathematiker reden von den Zahlen, von der Eins, der Zwei oder der Siebenundzwanzig, aber sehen kann man diese Zahlen selbstverständlich nicht. Wir können einen Baum, zwei Äpfel oder siebenundzwanzig Autoradios sehen. Das war's aber auch schon. Astronomen reden von fernen Sternen, aber was sie sehen, ist irgendein Licht. Der Stern, der das Licht angeblich ausgesandt hat, der existiert womöglich gar nicht mehr.

Auch die Theologen und die Esoteriker befassen sich hauptamtlich mit dem Unsichtbaren. Einige scheinen sogar umso fester an das Unsichtbare zu glauben, je unsichtbarer es ist. Wäre ja noch schöner, wenn sich Gott einfach so zeigte und zu uns »Hallo, da bin ich« sagte. So was macht ein Gott einfach nicht.

Und Politiker, die lieben das Unsichtbare sowieso. Was sollten sie ihren Wählern auch schon versprechen können, wenn das, was sie versprechen, bereits Realität wäre. Dass nicht wenige Politiker mit den Esoterikern verwandt sind, ist allerdings auch nicht ganz von der Hand zu weisen. Je weniger Geld in der Kasse ist, desto mehr scheinen einige zu glauben, es sei doch irgendwie da. Ich bin mir nicht sicher, ob Fräulein Schröder in einem ihrer früheren

Leben Wissenschaftlerin, Politikerin oder Esoterikern gewesen ist, aber zum Unsichtbaren hat auch sie eine besondere Affinität. »Es sieht hier aus, wie bei Hempels unterm Sofa«, sagt sie regelmäßig jeden Samstag, »ich bekomme schon Atemnot vor lauter Staub.« »Ich sehe keinen Staub«, sage ich dann, »wenn wir nächste Woche putzen, reicht das dicke.«

Fräulein Schröder murmelt dann aber nur irgendsowas wie Schmutzfink und schreibt mir eine To-do-Liste. Ich sauge dann den unsichtbaren Staub weg, entferne die unsichtbaren Kalkflecken auf den Fliesen und trage

den unsichtbaren Müll zur Tonne. Auf dem Weg zur Tonne komme ich an meinem unsichtbaren Auto vorbei.

Das ist kein Scherz. Mein Auto ist wirklich unsichtbar. Es ist nicht nur unsichtbar, es ist gar nicht mehr da. Also da ist es schon noch, aber eben nicht mehr dort, – also hier. Mit dem Mülleimer in der Hand halte ich an der Stelle, wo mein unsichtbares Auto jetzt steht und mein sichtbares Auto einstmals stand, immer eine Schweigeminute und bete zu meinem unsichtbaren Gott, auf dass er diejenigen, die da kamen, um mir mein Auto zu nehmen, dass er diese mit einem üblen, eitrigen Aussatz schlagen möge, dass er fürchterliches Gericht über sie halten möge, dass er sie grillen möge über einem heiligen Feuer bis zum jüngsten Tage. Mein Gott ist zugegeben, wenn es denn nötig ist, ein eher alttestamentarischer Gott, einer eben, der noch was vom Strafen versteht.

Sagt Ihnen Peugeot 505, Baujahr 86, etwas? Falls nicht, dann sage ich nur: Kultauto. Absolutes Kultauto. Wenn es Ihnen aber etwas sagt, dann werden auch Sie verstehen, warum mein Herz immer noch blutet, warum es sich empört gegen diese Ignoranten in den Rathäusern, diese Lobbyisten, diese Umweltschuttenverordnungner. Es hätte ja nicht unbedingt eine grüne Plakette sein müssen. Eine rote hätte mir durchaus genügt. Aber nichts da.

Nicht für mein Auto. Da sagen einem diese Politbanditen, nachdem das Auto bereits dreiundzwanzig Jahre tadellos gefahren ist, dass es auf einmal die Luft unzumutbar mit »Feinstaub« belaste. Und sie sagen, dass es deshalb in der Stadt nicht mehr fahren dürfe.

Dumm nur, dass ich genau dort wohne. Mitten in der Stadt. Und »Feinstaub«? Hat's den denn nicht schon immer gegeben? Wieso ist der auf einmal gefährlich? Haben wir hier nicht einfach den Fall vorliegen, dass das bislang Unsichtbare hinaustritt in die Sphäre des Sichtbaren, so wie längst verloren geglaubte Socken, die ich samstags mit dem Besen unter dem Bett hervorhole, wenn ich mal wieder eine dieser To-do-Listen abarbeite? Aber alte Socken unter dem Bett richten auch keinen Schaden an, selbst dann nicht, wenn man gar nicht weiß, dass sie dort liegen.

Fräulein Schröder aber sagte zu all dem nur, dass es ja auch schöne neuere Autos gebe. Welche mit Klimaanlage, welche, die eine Halterung für den Kaffeebecher hätten, welche mit CD-Player. Sie sei es eigentlich schon lange leid, dass sie andauernd mit irgendwelchen spitzen Gegenständen die verwurschtelten Bänder aus dem Kassettenrekorder herausoperieren müsse. Ich war fassungslos. »Becherhalterung«. Immerhin war sie aber dann doch so taktvoll, mir anzubieten, das Auto für mich zu verkaufen.

Zwei Wochen später bekam ich für das schönste Auto meines Lebens die symbolische Summe von 500,- Euro und einen warmen Händedruck. Herr Nazzar strahlte, als ich den Vertrag unterschrieben hatte, und zeigte mir zum Dank ein Familienfoto mit all seinen Kindern und Cousinen und Cousins. Wenn ich einmal nach Algier käme, solle ich mich doch bei seinen Verwandten melden. Sie würden dort ein kleines Geschäft betreiben, sie könnten mir die Stadt zeigen und gewiss ein günstiges Quartier besorgen. Da stand ich dann mit einer Plastiktüte voller tausendfach gehörter Musikkassetten in der Hand auf der Straße und winkte ihm und meinem Auto hinterher, bis ich beide nicht mehr sehen konnte. Algerien, dachte ich, muss ein wunderbares, ein von Gott geliebtes Land sein, denn so etwas wie Feinstaub haben die da offenbar nicht. Den gibt es irgendwie nur bei uns. ■

THEMA: KOMMUNIKATION

LASS UNS DOCH DARÜBER REDEN!

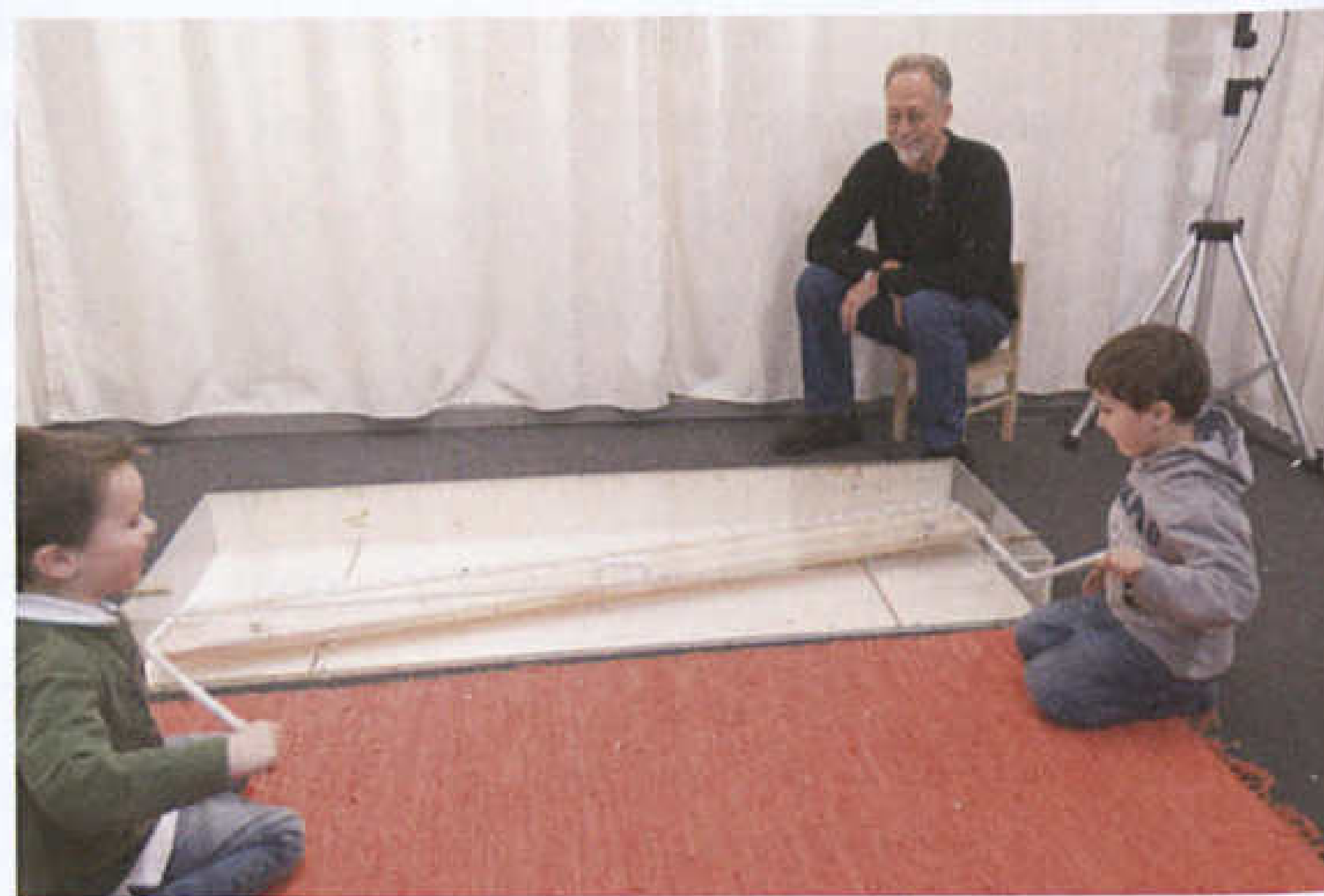
Mit historischen, sozialen und technischen Aspekten schriftlicher und verbaler Kommunikation beschäftigen wir uns in der nächsten Ausgabe von *Kultur & Technik*. Über seine jüngsten Arbeiten zur Erforschung der Ursprünge der menschlichen Kommunikation befragen wir Michael Tomasello. Außerdem lernen Sie Guglielmo Marconi 1874–1937 kennen, den Erfinder der drahtlosen Telegrafie. Marconis Erfindung markiert den Beginn des »Kommunikationszeitalters«, das uns im Zeitraffer-tempo mit immer neuen Techniken zur Optimierung der Informationsübermittlung beglückt.

Nach dem Buchdruck haben die elektronischen Medien, zuletzt das Internet, unsere Kommunikation nachhaltig verändert. Inwieweit wirkt sich das zum Beispiel auf unser Denken und unsere Sprache aus? Während gedruckte Medien einer linearen Erzählstruktur folgen, orientieren sich beispielsweise elektronische Hypertexte an der assoziativen Arbeitsweise des Gehirns. Wie Hypertexte funktionieren, lesen Sie im nächsten Magazin. Und Ulrich Jentsch wirft in seinem Essay abschließend einen Blick auf die Zusammenhänge zwischen Technik und globaler Kommunikation.



Guglielmo Marconi gilt als Erfinder der drahtlosen Telegrafie.

Die Spielregeln von Kommunikation interessieren den Verhaltensforscher Michael Tomasello.



IMPRESSUM

Das Magazin
aus dem Deutschen Museum

34. Jahrgang

Herausgeber: Deutsches Museum München
Museumsinsel 1
80538 München
Postfach 80306 München
Telefon (089) 21 79-1
www.deutsches-museum.de

Gesamtleitung: Rolf Gutmann (Deutsches Museum),
Dr. Stefan Bollmann (Verlag C. H. Beck, verantwortlich)

Beratung: Dr. Sabine Gerber, Dr. Kampschulte

Redaktion: folio gmbh, Gistelstraße 63, 82049 Pullach,
Telefon (089) 121167-0, E-Mail: kute@folio-muc.de;
Sabrina Landes-Rachlé (Leitung), Bärbel Bruckmoser
(Redaktion; Kaleidoskop), Dr. Caroline Zörlein, Jessica
Ricco (MikroMakro) Andrea Bistrich (Redaktion; Kor-
rektorat), Birgit Schwintek (Grafik); www.folio-muc.de

Verlag: Verlag C. H. Beck oHG, Wilhelmstraße 9,
80801 München; Postfach 400340, 80703
München, Telefon: (089) 38189-0, Telex: 5215085
beck d, Telefax: (089) 38189-398, Postbank: Mün-
chen 6229-802, www.beck.de; Der Verlag ist oHG.
Gesellschafter sind Dr. Hans Dieter Beck und
Dr. h.c. Wolfgang Beck, beide Verleger in München.

Wissenschaftlicher Beirat: Dr. Frank Dittmann
(Kurator für Energietechnik, Starkstromtechnik
und Automation), Dipl.-Ing. Ludwig Dorn (Kura-
tor für Luftfahrt), Dr. Elisabeth Vaupel (For-
schungsinstitut für Technik- und Wissenschaftsge-
schichte), Bernhard Weidemann (Leiter Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit Deutsches Museum)

Herstellung: Bettina Seng, Verlag C.H.Beck

Anzeigen: Fritz Leberherz (verantwortlich), Verlag
C.H.Beck oHG, Anzeigen-Abteilung, Wilhelm-
straße 9, 80801 München; Postfach 400340, 80703
München; Telefon: (089) 38189-598, Telefax: (089)
38189-599. Zurzeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 26,
Anzeigenschluss: sechs Wochen vor Erscheinen.

Repro: Rehmsbrand, Rehms & Brandl Medientechnik
GmbH, Friedenstraße 18, 81671 München

Druck und Bindung: Memminger MedienCen-
trum, Fraunhoferstraße 19, 87700 Memmingen

Versand: Druckerei C.H. Beck, Niederlassung des
Verlags C.H.Beck oHG, Bergerstr. 3, 86720 Nördlingen

Bezugspreis 2010: Jährlich 24 €;
Einzelheft 7 €, jeweils zuzüglich Versandkosten

Für Mitglieder des Deutschen Museums ist der
Preis für den Bezug der Zeitschrift im Mitgliedsbei-
trag enthalten (Erwachsene € 52, Schüler und Stu-
denten € 32). Erwerb der Mitgliedschaft: Schrift-
lich beim Deutschen Museum, 80306 München.
Für Mitglieder der Georg-Agricola-Gesellschaft
zur Förderung der Geschichte der Naturwissen-
schaften und der Technik e.V. ist der Preis für den
Bezug der Zeitschrift im Mitgliedsbeitrag enthalten.
Weitere Informationen: Georg-Agricola-Gesell-
schaft, Institut für Wissenschafts- und Technikge-
schichte, TU Bergakademie Freiberg, 09596 Frei-
berg, Telefon (03731) 393406.

Bestellungen von *Kultur & Technik* über jede
Buchhandlung und beim Verlag. Abbestellungen
mindestens sechs Wochen vor Jahresende beim Ver-
lag.

Abo-Service: Telefon (089) 38189-679.

Die Zeitschrift erscheint vierteljährlich. Sie und
alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen
sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung
außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechts-
gesetzes bedarf der Zustimmung des Verlags.

ISSN 0344-5690

