

Gesch 400

B 9797

28 7361

Kultur & Technik

Zeitschrift des Deutschen Museums

Verlag C. H. Beck, München

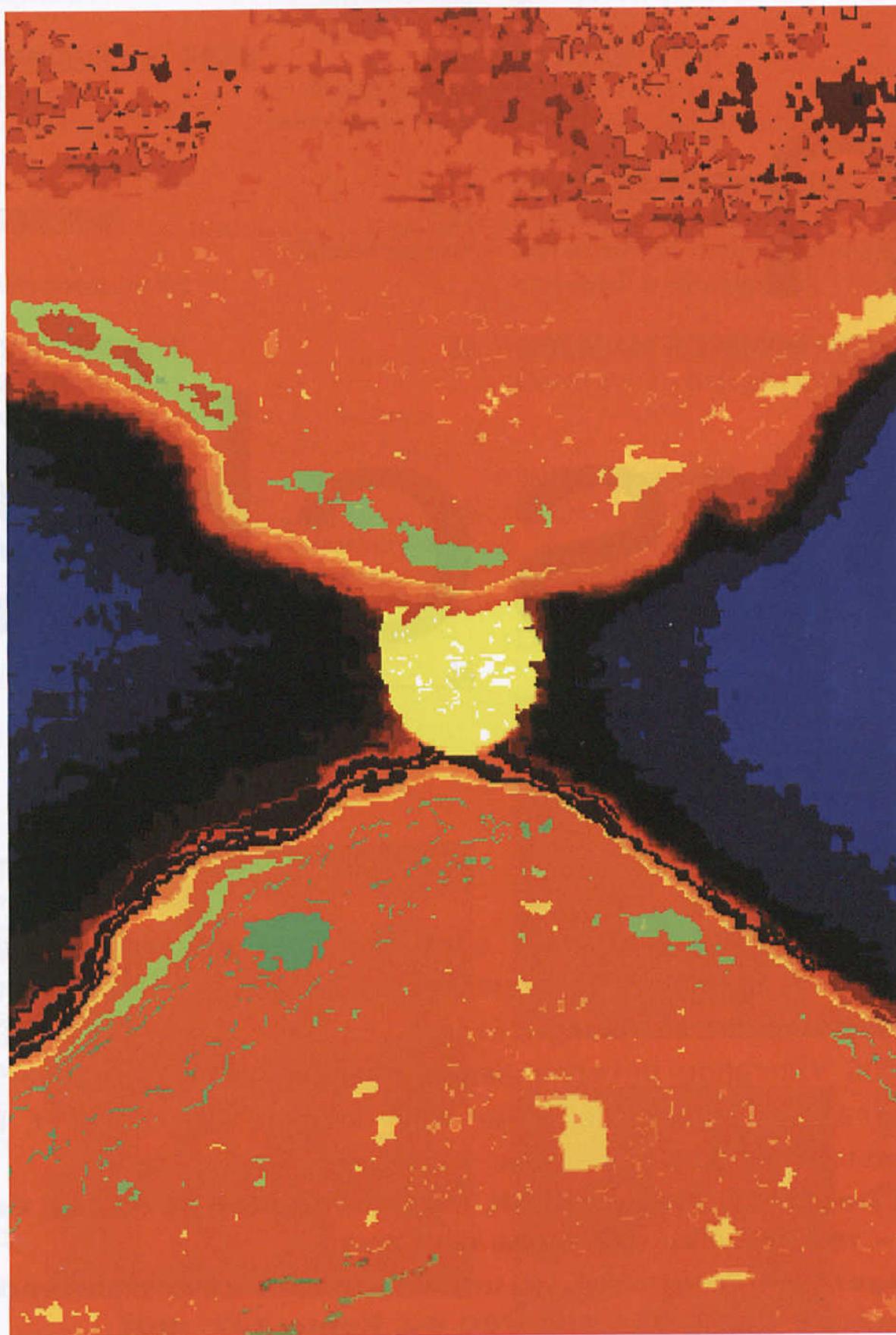
1/2000

**NANO-
TECHNIK**
Forschung im
Unsichtbaren

Chemiker als
Architekten

Ist die
Nanowelt
museumsreif?

Doktor Profs
Mikrodrom



**DEUTSCHES
MUSEUM**

„Das ist wie mediale
Rohkost ...“
Wissenschaft live im
Deutschen Museum
Bonn

INTERVIEW

Nikolaus Fiebiger
über die Förderung
innovativer Technik



MUSEUMSINGEL 1
80538 MÜNCHEN
DR. ERNST H. BERNINGER
C/O DEUTSCHES MUSEUM
0230383 1 258
PVST - DPAG - Entgelt bezahlt
809797

Was verdient ein Forscher

Chancen. Und Unterstützung. Deshalb hat sich der Stifterverband die Aufgabe gestellt, die Arbeitsbedingungen für engagierte Menschen, die in der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung tätig sind, durch effektive Förderung zu verbessern. Etwa 4.000 führende Unternehmen und engagierte Privatpersonen unterstützen uns dabei bereits mit Spenden. Für das Unternehmen Zukunft und für die Zukunft Ihres Unternehmens. Schließen Sie sich an.

Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft, Barkhovenallee 1, 45239 Essen

Telefon (0201) 84 01 - 182, Telefax (0201) 84 01 - 304

e-mail: Thomas.Reiniger@stifterverband.de, Internet: <http://www.stifterverband.de>

Bankverbindung: Deutsche Bank, BLZ 360 700 50, Konto 247 1902

Stifterverband
für die Deutsche Wissenschaft

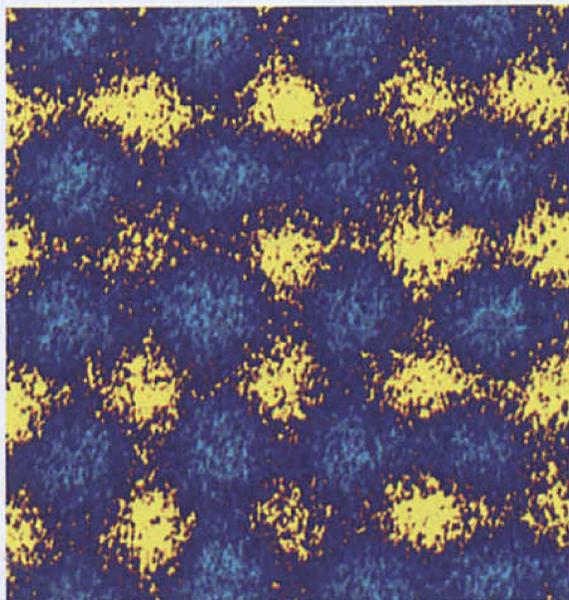
TITELBILD: RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE AUFNAHME EINES PALLADIUMCLUSTERS.
FOTO: APPLIED PHYSICS LETTERS 1997, 71, 1273

EDITORIAL	4	MERKWÜRDIG	40
Nanotechnik Unterwegs in die Nanowelt	<i>Marc-Denis Weitze</i>	Die Flöhe husten hören Flohglas, Flohzirkus und literarische Flöhe	<i>Ernst H. Berninger</i>
KULTUR & TECHNIK RUNDSCHAU	6	DEUTSCHES MUSEUM BONN	44
Nachrichten zu technischer Kultur und Technikgeschichte	<i>Christiane und Hans-Liudger Dienel</i>	„Das ist wie mediale Rohkost ...“ „Wissenschaft live“ im Deutschen Museum Bonn	<i>Ranga Yogeshwar</i>
NANOTECHNIK • GRUNDLAGENFORSCHUNG	10	STAHLRÖSSER	46
Forschung im Unsichtbaren Das Center for NanoScience	<i>Marc-Denis Weitze Dieter Beisel</i>	Eisen, Rauch und Wasserdampf Dampfbetriebene Schmalspurbahnen im Erzgebirge	<i>Wilhelm Endlich</i>
NANOTECHNIK • SUPRAMOLEKULARE CHEMIE	16	MUSEUMSPORTRÄT	50
Chemiker als Architekten Wie man mit Molekülen die Nanowelt baut	<i>Marcel Mayor Jean-Marie Lehn</i>	Wohnliche Wärme Das Ofen- und Keramikmuseum Velten	<i>Monika Dittmar</i>
NANOTECHNIK • CLUSTERCHEMIE	22	AUS DER WISSENSCHAFTSGESCHICHTE	52
Schnell geschaltet Metallcluster als Elektronenschalter	<i>Günter Schmid</i>	Die Geburt der Mikroskope Der niederländische Wissenschaftler Leeuwenhoek und der Forschungsstreit	<i>Klaus Meyer</i>
NANOTECHNIK • FORSCHUNGSPOLITIK	26	GEDENKTAGE TECHNISCHER KULTUR	56
Strategische Forschungsplanung Wie innovative Technologien gefördert werden können <i>Interview mit Nikolaus Fiebiger</i>		Daten zur Technikgeschichte	<i>Sigfried von Weiher Manfred von Weiher</i>
NANOTECHNIK • AUSSTELLUNGEN	30	DEUTSCHES MUSEUM	62
Ist die Nanowelt museumsreif? Die Sammlungen des Deutschen Museums in München und Bonn	<i>Max Seeberger Ernst Hofmeister Marc-Denis Weitze</i>	Nachrichten und Veranstaltungen	<i>Birgit Heilbronner</i>
DR. PROFS MIKRODROM	38	SCHLUSSPUNKT	65
Nanometer! Klein, kleiner, am kleinsten		Beethoven im Busch Digitale Satellitenrundfunkprogramme für die Afrikaner	<i>Dieter Beisel</i>
		VORSCHAU / IMPRESSUM	66

SCHNELL GESCHALTET

Nanowissenschaftler arbeiten mit Metallclustern, die aus nur ein paar Dutzend Atomen bestehen. Ziel der Forschung sind Schalter, die mit einem einzigen Elektron arbeiten.

SEITE 22



DAMPFEISENBAHNEN Das Erzgebirge ist ein Eldorado für Eisenbahnfreunde: Hier stehen noch einige Schmalspurbahnen unter Dampf. **SEITE 46**



LEEUWENHOEK Ein Pionier der Mikroskopie war der niederländische Wissenschaftler Antoni van Leeuwenhoek. Seine Erfindungen und Auseinandersetzungen mit den Zeitgenossen beschreibt Klaus Meyer. **SEITE 52**

BEILAGE • MINIATURISIERUNG

Viel Spielraum nach unten
Ein Vortrag von 1959 – von einem
Vordenker der Nanotechnik

Richard P. Feynman

UNTERWEGS IN DIE NANOWELT

Technische Winzlinge, ganz groß

Das Deutsche Museum schaut nicht nur zurück, sondern wagt auch den Blick in die Zukunft. Neben der Biotechnologie und der Informationstechnologie wird der Nanowissenschaften zugetraut, eine Leitdisziplin des 21. Jahrhunderts zu werden. Sie verspricht neue Materialien, Oberflächen mit Eigenschaften nach Maß, „U-Boote“, die durch Arterien flitzen, und Maschinen von der Größe eines Moleküls. Bis die Nanotechnik marktreif ist, müssen freilich noch einige Hürden überwunden werden. Es ist nicht einfach, mit Strukturen zu arbeiten, die um das 10.000fache kleiner sind als der Durchmesser eines menschlichen Haares.

Die Nanowelt – der Name leitet sich von dem griechischen Wort „nanos“, Zwerg, ab – entzieht sich unserem Vorstellungsvermögen. Die typische Maßeinheit ist hier der Nanometer: ein Millionstel Millimeter. In diesem Bereich lassen sich Atome wie Erbsen zählen, und die Gesetze der Quantenmechanik führen zu merkwürdigen Dingen.

In der Natur gibt es keine scharfe Trennlinie zwischen Mikro- und Nanowelt. Nur unsere Maßskala wechselt hier die Vorsilbe. Daher wird in diesem Heft auch immer wieder vom Mikrokosmos gesprochen, der den Forschern schon länger vertraut ist.

FORTSCHRITT IN ZWEI RICHTUNGEN

Man kann sich dem Gebiet der „technischen Winzlinge“ auf zwei verschiedene Arten nähern: Die Physiker gelangen über Miniaturisierung *top-down*, also von oben nach unten, zu

immer kleineren Strukturen. Der wichtigste Motor der Miniaturisierung war und ist dabei die Halbleiterindustrie, bei welcher der Übergang von der Mikrotechnik zur Nanotechnik gut zu erkennen ist. Aber auch Beschichtungen und andere zweidimensionale Strukturen können zunehmend genau kontrolliert und in ihren Eigenschaften maßgeschneidert werden.

Die Chemiker dagegen kommen mit immer größeren Molekülen *bottom-up*, von unten nach oben, in den Nanobereich. Molekül-Aggregate wiederum können in vielen Bereichen interessante Anwendungen haben, etwa in der Pharmazie als Transportvehikel, die Wirkstoffe exakt an den gewünschten Ort bringen, oder in den Materialwissenschaften als intelligente Materialien. Kein Wunder, daß die Nanowelt ein interdisziplinärer Treffpunkt für Physiker, Chemiker, aber auch Biologen und Ingenieure ist.

AM ANFANG EINER LANGEN ENTWICKLUNG

Die Geschichte der Nanotechnik ist noch nicht geschrieben. Aber schon jetzt steht fest, daß Richard Feynman einen wichtigen Platz darin einnehmen wird – nicht als Macher, sondern als Visionär. Wir haben diesem Heft eine Rede Feynmans aus dem Jahr 1959 beigelegt, in der er sich Gedanken zu „Viel Spielraum nach unten“ macht.

Das ist nicht nur ein spannender Rückblick auf die Zukunft von gestern, sondern auch ein großes Lesevergnügen. Der Beitrag zeigt, wie man mit Abschätzungen auf der Basis be-

kannter Naturgesetze technische Entwicklungen voraussehen kann.

Auch dazu möchte diese Ausgabe von *Kultur & Technik* anregen: Feynmans Visionen mit der Wissenschaft von heute zu vergleichen.

Haben Sie Interesse an den technischen Winzlingen bekommen? „Wissenschaft live“ am 31. Januar im Deutschen Museum Bonn zeigt, was man mit dem Raster-Tunnel-Mikroskop tun kann. Außerdem berichten im Rahmen unserer Wintervorträge in München mehrere Forscher aus dem Reich der technischen Winzlinge: Prof. Wilhelm Barthlott von der Universität Bonn (19. Januar) sowie die Professoren Hermann Gaub und Jörg P. Kotthaus vom Center for Nano Science der Universität München (am 16. Februar bzw. 1. März). Kommen Sie und fragen uns Löcher in den Bauch! Oder schreiben Sie uns, was Sie von der Zukunftsmusik halten!

Marc-Denis Weitze

Klinisch sauber wäre zu wenig: Im Nanobereich wäre die Kollision der dort gefundenen oder erzeugten Strukturen mit einem Staubkorn so etwas wie in der Makrowelt der Zusammenstoß der Erde mit einem Gestirn. Die Arbeit im Reinraum, in dem der Elektronenstrahlschreiber eines der wichtigsten Arbeitsinstrumente ist, ist für die Nanoforschung unerlässlich.



VON CHRISTIANE UND HANS-LIUDGER DIENEL

NANOTECHNIK: SCHLÜSSEL ZUM 21. JAHRHUNDERT?

In der Forschungsförderung spielt der Begriff der Schlüsseltechnologie eine wichtige Rolle. Schlüsseltechnologien müssen gefördert werden. Doch was ist eine Schlüsseltechnologie? Lohnt es sich, in einer bestimmten Technologie durch staatliche Förderung die Nase einen Zentimeter weiter vorne zu haben?

Eine Reihe von Innovationsforschern rät eher dazu, Schlüsselallianzen statt Schlüsseltechnologien zu identifizieren und zu fördern: erfolversprechende Allianzen zwischen Technologiefeldern, die in Deutschland besonders stark vertreten sind und deren Förderung einen echten, langanhaltenden strategischen Vorsprung bewirken kann.

Die Förderung der Nanotechnologie entspricht in mancher Hinsicht diesem Allianzmodell. Das BMBF allein hat sechs nanotechnologische Kompetenzzentren mit einer befristeten Förderung ausgestattet, die jeweils unterschiedliche industrielle Netzwerke beziehungsweise Allianzen aufbauen (Informationen: <http://www.nanonet.de/>). Zwei Zentren und ihre Schwerpunkte werden hier vorgestellt:

KOMPETENZ IN NANOSTRUKTUREN: DER NANOCLUB LATERAL

Der Nanoclub Lateral wird vom Institut AMICA (Advanced Microelectronic Center Aachen) und der Gesellschaft für Angewandte Mikro- und Optoelektronik (AMO GmbH Aachen) als gemeinnütziges Forschungsinstitut zur Erzeugung und Einsatz lateraler Nanostrukturen betrieben. Mehr als 50 Forschungsinstitute und 20 Industrieunternehmen bilden das Netzwerk, das im wissenschaftlich-technischen Bereich in acht Clustern mit verschiedenen Forschungsschwerpunkten organisiert ist: Magnetelektronik, Ultraelektronik (RSFQ/SET), Sub-100 nm CMOS,



Die NanoWorld auf der Hannovermesse.

Nanostrukturen durch Selbstorganisation, Lithographie, Nanoanalytik lateraler Strukturen, Simulation und Nanotools. Die bundesweite Netzwerk-Infrastruktur soll in den acht Feldern nach Anwendungen lateraler Nanostrukturen in innovativen Produkten suchen.

Kontakt: Koordinationstelle Nanoclub Lateral, Telefon: +49-241-88 67-128 Fax: +49-241-88 67-573 email: info@nanoclub.de

KOMPETENZ ZENTRUM ULTRADÜNNE FUNKTIONALE SCHICHTEN

Das Zentrum vernetzt die Forscher und Entwickler ultradünner Schichten. Diese Nanotechnologie läßt sich bei elektronischen Bauelementen, Sensoren, Implantaten und künstlicher Haut sowie bei Verschleiß- und Korrosionsschutzschichten anwenden. Ziel des Zentrums ist es, diese zukünftigen Märkte mitzubestimmen.

Dazu haben sich 31 Unternehmen, 10 Hochschulinstitute und 16 Forschungseinrichtungen als Mitglieder im Kom-

petenzzentrum Ultradünne funktionale Schichten zusammengeschlossen. Die Koordination liegt beim Fraunhofer Institut Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Chemnitz.

Kontakt: Geschäftsstelle des Nano-CC-UFS im Fraunhofer IWS Dresden, Dr. Ralf Jäckel Telefon: +49-351-25 83-444, Fax +49-351-25 83-300 Internet: www.nanotechnology.de

DIE NANOWORLD AUF DER HANNOVERMESSE VOM 20. - 25. MÄRZ 2000

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) wird auf der Hannovermesse Industrie wie im letzten Jahre einen Gemeinschaftsstand zum Thema „NanoWorld“ organisieren. Aussteller sind vor allem die BMBF-geförderten Forschungseinrichtungen. 26 Einrichtungen waren im letzten Jahr vertreten. Diesmal werden es mit Sicherheit mehr Einrichtungen werden, denn die Nanotechnologie boomt – zumindest im Forschungsbereich.

VOM LEXIKON ZUM WISSENSNAVIGATOR

Ein Vorbild für die Universallexika ist die Enzyklopädie von Diderot und d'Alembert von 1751 bis 1780 in 35 großformatigen Bänden, die zum Standardwerk der französischen Aufklärung avancierte. Das politische Ziel der Enzyklopädie ist heute wie damals dasselbe: die Emanzipation breiter Volksschichten durch freien Zugang zum Wissen.

Was in der Zeit der Interaktivität und der Vernetzung heute möglich wird, ist ein Lexikon nach dem Hypertext-Prinzip. Wichtig sind zukünftig die Schlüsselbegriffe und die Auswahl und Gewichtung der Informationen im Internet. Das Lexikon der Zukunft soll auf dem Internet frei schwimmen, ohne dabei seine eigentliche Funktion zu verlieren – eine geistige Landkarte zur Verfügung zu stellen, mit deren Hilfe sich erfolgreich in Wissensnetzen navigieren läßt. Ein von Artur P. Schmidt entwickelter Wissensnavigator ist seit Ende März 1999 online im Netz verfügbar: www.dva.de/wissensnavigator

PATENTANMELDUNGEN DEUTSCHER UNTERNEHMEN

Eine kleine, überschaubare Zahl von Firmen teilt sich die vorderen Plätze im Ranking der weltweit erfolgreichsten deutschen Patentanmelder. Immer wieder lesen wir die Namen der gleichen Unternehmen. Vor einem Jahr, im Januar 1999 waren die erfolgreichsten Unternehmen der Reihe nach von oben nach unten: Siemens, Bosch, BASF, Daimler-Benz, Mannesmann, Volkswagen, Bayer, ABB, BMW und Voith Sulzer. Vor einem halben Jahr, im Juni 1999 gehörten dazu: Siemens, Bosch, Henkel, Mannesmann, Daimler-Benz, BASF, BMW, Volkswagen, Bayer und die ABB.

Ganz anders die Situation in der Nanotechnologie. Hier bestimmen kleine High-Tech-Unternehmen, Universitäten und Forschungsinstitute die Szene. Auch international sind Universitäten, etwa die Stanford University, ganz vorn in der Statistik.

WIE ENTWICKELT SICH DIE NANOTECHNIK?

Diese Frage stellte das US-Computermagazin *Wired* führenden Nano-Experten. Deren Prognosen bezüglich der Einführung bestimmter technischer Neuerungen reichten von 2000 bis 2100. Die nachstehend genannten Jahreszahlen sind Durchschnittswerte der eingegangenen Schätzungen

2004: Biosensoren als erste kommerzielle Produkte

Die ersten kommerziellen Nanoprodukte werden vermutlich Biosensoren sein. Sie messen den Blutzucker oder die Konzentration anderer Substanzen. Einige Fachleute glauben jedoch, daß ein Computerspeicher mit Terabyte-Kapazität schneller marktreif sein wird. Speichermedium ist eine Schicht bestimmter Moleküle. Die Leseköpfe könnten modifizierte Spitzen von Rasterkraftmikroskopen sein.

2009: Erlaß der ersten Nanotechnik-Gesetze

In weiteren fünf Jahren werden erste Nanotechnik-Gesetze erlassen werden. Nach den Erfahrungen der Gentechnologie fürchten viele befragte Forscher nichts so sehr, wie die Einschränkung der Forschung durch Gesetze und prognostizieren, daß aus Angst vor möglicher Bedrohung die Weichen für die Nanotechnik falsch gestellt werden. Allgemein begrüßt wurden jedoch Gesetze, die sich auf Nanowaffen beziehen.

2011: Der Molekular-Assembler

Der Bau von Nanomaschinen erfordert ein Gerät, das sich frei bewegen und Atome präzise plazieren kann. Rastermikroskope sind ein erster Schritt auf diesem Weg. Ausgehend von der Mikroskopentechnik, könnte ein Vorläufermodell nach Expertenmeinung in einigen Jahren fertiggestellt sein. Den Durchbruch bringen aber erst Geräte, die selbst im Nanomaßstab gebaut sind.

2029: Die Zellreparatur

Maschinen, die schadhafte Zellen reparieren, sind äußerst komplexe Apparate. Mechanische Kräfte, analog zur Reparatur eines Autos, helfen im Nanobereich nicht. Statt dessen könnten speziell gestaltete Vehikel Biomoleküle in Zellen verfrachten. Vorbilder sind die Viren, die in Körperzellen eindringen können. Gentechnisch verändert, könnten sie als die benötigten Transportvehikel fungieren.

2041: Der Nanocomputer

Computer von Bakteriengröße, glauben die meisten Befragten, wird es in absehbarer Zeit nicht geben. Dabei könnten sie theoretisch milliardenmal schneller arbeiten als heutige Rechner. Damit wären sie Wegbereiter der künstlichen Intelligenz. Weil sich Elektronen in kleinen Dimensionen nach Quantenregeln verhalten, benötigen Nanocomputer vermutlich ein radikal neues Design.



Multischichtspiegel zur Strukturuntersuchung ultradünner Schichten.

NEUE MEDIEN VERÄNDERN DIE UMFRAGEFORSCHUNG

Die neuen Techniken der computergestützten Telefoninterviews, welche im kommerziellen Bereich die persönlichen Interviews zunehmend ablösen, haben die Geschwindigkeit und Verbreitung von Umfragen und die Zahl der Umfrageinstitute in den letzten Jahren boomartig in die Höhe schnellen lassen.

Ausschließlich im Forschungsbereich wird noch klassisch konservativ gearbeitet. Nur knapp 3% der von der DFG zwischen 1987 und 1996 geförderten Projekte der empirischen Sozialforschung haben mit Telefoninterviews gearbeitet, dafür aber ganz überwiegend persönlich-mündlich (55%) und/oder schriftlich (56%) befragt.

Umfragen prägen Meinungen und bestimmen den Diskussionsverlauf und Entscheidungen in Demokratien. Spötter sagen, wir leben nicht in einer Demokratie, sondern in einer Demoskopie. Auch in der Marktforschung boomen die Umfragen. Viele Umfrageergebnisse sind aber heute nur schwer kontrollier- und nachvollziehbar. Durch die Ausweitung der Anbieter von Umfragedurchführungen ist die institutionelle Qualitätsgarantie erschwert. Die etablierten Institute der empirischen Sozialforschung haben Konkurrenz bekommen. Der Markt wächst, aber für die ein-

zelnen Institute wird es eng. Die Etablierten fürchten eine „Aushöhlung des Forschungsbegriffs“ und ein Absinken der Qualität der empirischen Sozialforschung. Sie fordern Qualitätsstandards und Kontrolle, z. B. durch öffentliche Archive, für die Umfrageergebnisse und Verfahren.

Deshalb hat sich auf Anregung der deutschen Forschungsgemeinschaft eine Arbeitsgruppe von führenden Vertretern der empirischen Sozialforschung unter Leitung des Berliner Soziologen Max Kaase zusammengetan und eine Denkschrift zur Qualitätssicherung herausgegeben, die im Berliner Akademie Verlag erschienen ist. Sie zeigt den aktuellen Stand und die Qualitätsprobleme in der Umfrageforschung im internationalen Vergleich.

Ein drängendes Problem der Qualitätssicherung von Umfragen wird in der Denkschrift nicht einmal erwähnt: die bisher ungelöste Aufgabe der Bewertung von qualitativen Informationen aus Umfragen. Da viele Umfragen immer mehr Informationen, die immer schwieriger zu quantifizieren sind, hervorbringen, ist das Desiderat zumindest überraschend.

Literatur:

Max Kaase (Hg.): Qualitätskriterien der Umfrageforschung. Denkschrift der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Berlin 1999, 288 Seiten.

VON KRISTINE UND FLORIAN DIERCK

STROM WIRD IMMER BILLIGER - UND FARBIGER

Schneller als noch vor einem Jahr erwartet, müssen die Stromversorger auch für Privatkunden auf breiter Front in ganz Deutschland die Preise senken. Auch die Privatkunden sind nicht länger „captive customers“, die Monopole sind gefallen, und die Konkurrenz hat völlig neue Rahmenbedingungen für den Strommarkt geschaffen.

„Also ich glaube, Strom ist gelb.“



Seit der Strommarkt liberalisiert ist, tobt die Werbeschlacht.

Für mittelständische Stromabnehmer hat vor allem der Bundesverband der Energieabnehmer (VEA) die Preissenkungen ausgehandelt. Mehr als 4500 Mitglieder erhielten Ende 1999 Strom von der PreussenElektra AG zu 11 Pfennig pro kWh und damit um 30 bis 50% billiger als zuvor.

Den Reigen im Preiskampf für Privatkunden eröffneten sogenannte Energieagenturen – zumeist kleine, junge Unternehmen von smarten Existenzgründern –, welche den traditionellen Gebietsversorgern die Stirn boten und mit hohem Risiko noch ohne eindeutige rechtliche Rückendeckung um Privatkunden warben.

Den Anfang machte im Juni 1999 die Berliner Ares Energie AG. Die großen Stromversorger gerieten unter Druck und gingen früher als geplant seit

der Jahresmitte 1999 dazu über, ihr Produkt bundesweit anzubieten und sich gegenseitig Konkurrenz zu machen. Im Juli 1999 eröffneten die RWE den Preiskampf mit einer bundesweiten Werbekampagne um Privatkunden. Wenige Tage später ging die Energie Baden-Württemberg mit einer Tochtergesellschaft Yello zum Gegenangriff über: mit einem neuen Tiefpreis (19 Pf/kWh, 19 DM Grundpreis) und der bundesweit plakatierten These, der Strom sei gelb. RWE konterte mit der Behauptung, Strom sei blau. Kein Anbieter konnte sich nun dem Wettbewerb um Strompreise und Stromfarben entziehen. Kinder werden in einigen Jahren im guten Glauben aufwachsen, der Strom hätte eine Farbe.

MODULOR: MATERIAL TOTAL

Seit einigen Jahren ist er ein Kultgegenstand: der Katalog hochwertiger Haushaltswaren der Firma Manufaktur, besprochen im Feuilleton der Frankfurter Allgemeinen Zeitung und Katalysator einer Renaissance handgefertigter, teurer, zeitlos schöner Messer, Schuhanzieher, Brotschneidemaschinen und anderer Geräte des (nicht all-)täglichen Bedarfs.

Eine ähnliche Wirkung kann man dem Berliner Katalog Material Total der alteingeführten Berlin-Kreuzberger Firma Modulor vorhersagen, der Mitte 1999 in völlig neuem Gewand erschien. Alle Materialien, die das Herz des Designers, Modellbauers, Werbefachmanns, Architekten und Kultur&Technik-Lesers begehren könnte, sind hier auf ca. 500 engbedruckten Seiten beschrieben: Der Katalog informiert über Herkunft, Eigenschaften, Verarbeitungshinweise, Einsatzmöglichkeiten und Preise der Materialien und Halbzeuge; auf anspruchsvollem Niveau und mit guten Abbildungen. Kapitel zu Kunststoff, Gummi, Holz/Kork, Papier/Pappe, Metall, Textilien, Zeichnen/Büro, Werkzeug, Klebstoff, Modellieren, Far-

ben, Modellbau und die unvermeidliche (und interessanteste) Residualkategorie Diverses führen zu über 150 Produktgruppen und über 10.000 Artikeln.

Das Hauptgeschäft in Berlin-Kreuzberg in der Gneisenaustraße 43-45 ist Zentrale des wachsenden Versandgeschäfts. Dort gibt es den Katalog für 10 DM (zuzügl. 6 DM Versand). Erhältlich auch eine Musterkiste mit 150 Qualitätsmustern verschiedener Materialien für 22 DM (zuzügl. 3 DM Versand).

Fax: 030/69036445

Internet: www.modulor.de

KARTOFFELKÄFER ALS BIOSENSOR

Der Kartoffelkäfer riecht mit seinen Fühlern Stoffkonzentrationen, die weit unterhalb der Wahrnehmungsschwelle der menschlichen Nase liegen. Forschungsteams der Universitäten Gießen und Rostock sowie des Forschungszentrum Jülich arbeiten seit Jahren daran, die Chemorezeptoren des Kartoffelkäfers zu verstehen und für die Entwicklung von Biosensoren in industriellen Anwendungen zu nutzen. Der Fühler des kleinen Käfers sendet proportional zu bestimmten Duftstoffen ein sehr schwaches elektrisches Signal aus. An dieser bioelektronischen Schnittstelle können die

Jülicher Forscher seit kurzem mittels eines Transistors Spannungen exakt messen und damit die Konzentration des Duftstoffes bestimmen. Ähnliches gilt für viele der rund eine Million Insektenarten.

Ein großer Teil der flüchtigen Verbindungen kann von Insekten erschnuppert werden. Die Gießen-Rostock-Jülicher Gruppe ist deshalb dabei, die sensorischen Fähigkeiten von Insekten zu katalogisieren.

Das weitergehende Forschungsziel besteht darin, die Käfergene zu identifizieren und zu isolieren, die den Bau der Rezeptorproteine steuern, die für den jeweiligen Geruchssinn der Fühler verantwortlich sind. Wenn das gelingt, könnten die Wissenschaftler langfristig vollsynthetische Geruchsantennen entwickeln. Industrielle Anwendungen gibt es en masse. Entsprechend groß ist das Interesse in der chemischen Industrie und Sensorik. Das Prinzip des Biosensors ist dabei uralt. Schon die Harzer Bergleute nahmen im Mittelalter Kanarienvögel als Biosensoren für den CO₂-Gehalt mit in die Grube.

SEHEN, RIECHEN, SCHMECKEN

Wie wichtig sehen, riechen, schmecken und messen als Bestandteile der gutachterlichen Tätigkeit für die Beamten der



Des einen Feind, des anderen Freund: der Kartoffelkäfer als Biosensor und Forschungsobjekt in Jülich.

Umweltforschung zwischen 1920 und 1960 war, hat der Freiburger Technikhistoriker Norman Fuchsloch am Beispiel der Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin (WaBoLu) im Bereich der Luftreinhaltung untersucht. Die Mitarbeiter des WaBoLu sind, so Fuchsloch, bei nachbarschaftlichen Beschwerden sehr pragmatisch vorgegangen. Im Zentrum ihrer wissenschaftlichen Analyse – das zeigen Korrespondenz und Gutachten – stand der unmittelbare sinnliche Eindruck bei der Ortsbesichtigung und das Gespräch mit den Anwohnern und Beschwerdeführern. Die im engeren Sinne naturwissenschaftlich-technischen Analysen waren dabei für die Handlungsempfehlungen nahezu ohne Relevanz.

Literatur:

Norman Fuchsloch: Sehen, riechen, schmecken und messen als Bestandteile der gutachterlichen und wissenschaftlichen Tätigkeit der Preussischen Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene im Bereich der Luftreinhaltung zwischen 1920 und 1960. Freiberg 1999 (45,40 DM).

AUSBILDUNGSVERBUND MIKROTECHNOLOGIE IN BERLIN

Vier Klein- und Mittelbetriebe und einige Forschungsinstitute bilden seit September 1998 16 Auszubildende in einem neuen Beruf aus: als Mikrotechnologen mit den Schwerpunkten Halbleitertechnik und Mikrosystemtechnik.

Der Mit-„Erfinder“ des neuen Berufs, der Ausbildungsleiter der TU Berlin, Rudolf Rapp, hat den Verbund gezimmert, weil keines der beteiligten Unternehmen oder Institute den Beruf allein ausbilden könnte. So wandern die Auszubildenden zwischen den Betrieben, die wiederum von den Auszubildenden entscheidend profitieren. Durch die Ausbildung erarbeiten sich die Betriebe selbst wichtige Kompetenzen im Bereich der Mikrotechnologie. Die meisten Unternehmen gehören zum

Forschungsverbund Mikrosystemtechnik. Über das unverfängliche Thema der Ausbildung eröffneten sich damit viele Möglichkeiten der Forschungsk Kooperation zwischen Konkurrenten.

Die jungen Mikrotechnologen arbeiten in der Produktion und deren Infrastrukturbereichen sowie in FuE-Bereichen von Betrieben und Forschungseinrichtungen. In dem Schwerpunkt Halbleitertechnik stellen sie Halbleiterprodukte her durch Aufbringen von Schichten, Strukturieren, Ätzen, Dotieren und Montage sowie durch halbleiterspezifische Prüfungen. In dem Schwerpunkt Mikrosystemtechnik werden insbesondere Träger für die Bauelemente durch Beschichtungsverfahren sowie Mikrosysteme durch Bestücken, Löten, Bonden, Versiegeln und Testen hergestellt. Typische Einsatzgebiete sind zum Beispiel die Herstellung von Schaltungsträgern in Dickschichttechnik oder Dünnschichttechnik, Hybridtechnik, SMD-Montagetechnik, Herstellung von Bauelementen durch lithographisches Tiefätzen oder Galvano- und Abformtechnik.

Informationen: Ausbildungsverbund Mikrotechnologie Berlin, www.tu-berlin.de/organisation/zuv/lid/ausbildung

SPÄTE FREIHEITEN: DAS BILD DES ALTERS UND DIE GERONTECHNOLOGIE

Vom 10. bis 13. Oktober 1999 fand in der Technischen Universität München die dritte internationale Konferenz für Gerontechnologie statt, eine neue technische Disziplin, die aber in die Sozialwissenschaft, die Psychologie und das Design hineinreicht.

Nicht nur in Europa, auch in den USA, Japan und China wächst derzeit die Gerontechnologie. Ursache ist nicht nur der demographische Wandel, sondern auch das neue Lebensgefühl und die gewachsenen Konsumansprüche der Senioren. Sie sind eine der wichtigsten Käufergruppen gewor-

den. In der Werbung tauchen immer mehr Senioren auf. „Alt müsste man sein“, dieser Wunsch, vor Jahren noch kaum denkbar, ist heute unter jüngeren Menschen nicht ganz selten. Das junge Alter zwischen 60 und 75 gilt als gesichert, im Besitz der geistigen und körperlichen Kräfte und dem beruflichen Druck entronnen.

Am 17. Oktober eröffnete in Bielefeld die Ausstellung „Späte Freiheiten. Bilder vom Alter“, die die Entstehung und Verbreitung dieses neuen Lebensgefühls dokumentiert.

TAGUNGSVORSCHAU FÜR K&T-LESER

27. Februar bis 1. März 2000: Transdisziplinarität. Internationale Konferenz über das Management von Komplexität im 21. Jahrhundert. Die Konferenz dient dem Austausch über ein ungelöstes Problem der gegenwärtigen Forschung: Wie kann transdisziplinäre Forschungsk Kooperation funktionieren, wie arbeiten Disziplinen anwendungsorientiert zusammen? Veranstalter sind die ETH Zürich, das Unternehmen ABB und der Schweizerische Nationalfond. Die Konferenz findet in Zürich statt.

Informationen:

Internet: www.snf.ch/transdisciplinarity/home.html

11. bis 15. September 2000: Hyforum 2000. Das Forum für Zukunftsenergien und die BMW AG veranstalten das International Hydrogen Energy Forum im Hotel Bayerischer Hof in München. Die Tagung ist nicht auf Wasserstofftechnologien beschränkt, sondern integriert alle nachhaltigen Energieerzeugungsverfahren.

Amerikanische, japanische und chinesische Wasserstoffverbände sind Co-Veranstalter und sichern den internationalen Charakter der Tagung.

Informationen:

Internet: www.zukunftsenergien.de
e-mail: energie.forum@t-online.de
Marc-Denis Weitze

Erwin, 31 Jahre, steht auf Windenergie. Ganz besonders freut er sich auf das Windenergieprojekt *Kunst und Windenergie zur Weltausstellung*.

Eine attraktive Rendite und Kunstwerke, die von den Herstellern der Windenergieanlagen gesponsert werden.

Beteiligungen ab 3.000 € (5.868 DM).

Interessiert?

Tel. 05 11 | 1 33 23
Fax 05 11 | 1 52 17
www.windwaerts.de
Brüderstr. 4B
30159 Hannover

Windwärts
Energie GmbH



FORSCHUNG IM UNSICHTBAREN

Das Center for NanoScience in München

VON MARC-DENIS WEITZE UND DIETER BEISEL

In München haben sich Wissenschaftler verschiedener Disziplinen zum Center for NanoScience (CeNS) zusammengeschlossen, um fachübergreifende Grundlagenforschung zu betreiben. Die Wissenschaftler untersuchen Strukturen im Bereich von Millionstel Millimetern. Die erhofften Anwendungen im Rahmen einer künftigen Nanotechnik sind vielfältig: Sie reichen von der Effizienzsteigerung von Speichermedien über wirksamere Methoden zur Bekämpfung von Krankheiten bis hin zur Speicherung von Licht.

Das Raster-Tunnel-Mikroskop, für dessen Entwicklung Gerd Binnig und Heinrich Rohrer 1986 den Nobelpreis für Physik erhielten, kann Oberflächen mit atomarer Auflösung abtasten (siehe hierzu auch den Beitrag Seite 30ff.). Die Auflösung ist sehr hoch, weil der Tunnelstrom stark vom Abstand abhängig ist und die scharfe Spitze typischerweise aus nur einem Atom besteht. Das erlaubt Präzisionsmessungen im Bereich von zehntel Nanometern. Die Oberfläche des Forschungsobjekts muß jedoch elektrisch leitend sein – nur so kann der Tunnelstrom fließen.

Das Raster-Kraft-Mikroskop ist vom Raster-Tunnel-Mikroskop abgeleitet und umgeht diese Einschränkung. Die feine Spitze am Ende eines Hebelarms erinnert an einen sehr empfindlichen Plattenspieler (siehe Abbildung). Diese Spitze hängt an einer Blattfeder, die sich meßbar verbiegt, wenn die Spitze die aus atomaren Bergen und Tälern bestehende Topographie einer Probe entlangfährt. Die Feder-Verbiegung kann mit einem Laser so genau gemessen werden, daß die Topographie tatsächlich mit atomarer Präzision abgebildet wird.

„Der große Vorteil des Raster-

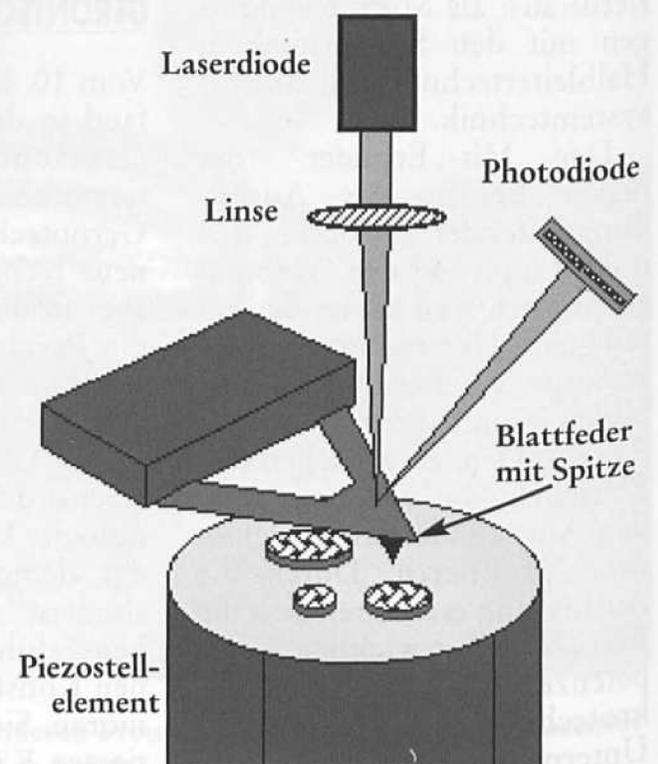
Kraft-Mikroskops im Gegensatz zum Tunnelmikroskop liegt darin, daß es auch in Flüssigkeiten funktioniert“, so der Biophysiker Hauke Clausen-Schaumann. „Biologische Moleküle trifft man unter natürlichen Bedingungen eigentlich nur in wäßrigen Lösungen an. Zudem sind sie aktiv, wie zum Beispiel Enzyme. Wenn man sich für die Arbeitsweise solcher Moleküle interessiert – und wir Biophysiker interessieren uns dafür –, dann ist das Raster-Kraft-Mikroskop derzeit die einzige Technik, die es erlaubt, Moleküle in Nanometer-Auflösung unter natürlichen Bedingungen zu untersuchen. Die Auflösung ist rund tausendmal besser als bei einem optischen Mikroskop.“

Ein eindrucksvolles Beispiel für die Leistungsfähigkeit dieser Technik, die mittlerweile zu den Standardverfahren in biophysikalischen Laboratorien gehört, erläutert Clausen-Schaumann anhand der Wirkungsweise von Schlangengift. „Im Gift befindet sich ein Enzym, das Zellmembranen abbaut. Wir konnten mit unserem Mikroskop Bilder aufnehmen, in denen sich die Wirkungsweise dieser tödlichen Moleküle exakt verfolgen läßt. Die Moleküle suchen sich zunächst Defekte in der Membran als Angriffspunkte. Hier lagern sie sich an und fressen sich in die Membran hinein. Durch jedes Gift-Molekül entsteht ein kleiner Graben in der Membran. Diese Gräben haben eine Breite von zehn Nanometern, und wir können jeden einzelnen sichtbar machen. Wir sehen in dieser Auflösung zwar nicht die einzelnen Enzyme, aber wir sehen, was jedes einzelne Enzym macht.“ (Siehe Abbildungen Seite 11.)

Schematischer Aufbau eines Raster-Kraft-Mikroskops. Die Probe wird von einem Piezostellelement unter einer im Idealfall atomar scharfen Spitze am Ende einer reflektierenden Blattfeder bewegt, deren Verbiegung mit einem Lichtzeiger detektiert wird.

Enzymen bei der Arbeit zuzuschauen, ist zwar an sich schon spannend, aber es gibt auch Anwendungen dafür. Der Wissenschaftler vom Lehrstuhl für Angewandte Physik braucht nicht lange zu überlegen: „Wir können auf diese Weise die Wirkungsmechanismen von Enzymen besser verstehen. Das erlaubt Versuche, solche Moleküle als Pharmazeutika nutzbar zu machen. Das Enzym beispielsweise, dem wir bei der Arbeit zugeschaut haben, dient im Magensaft der Verdauung. Es spielt aber auch bei der Signalübertragung zwischen Nervenzellen eine Rolle.“

„Wir verwenden das Raster-Kraft-Mikroskop aber nicht nur zur Abbildung, so wie es in vielen Laboratorien der Welt Standard ist, sondern wir können damit auch Moleküle auseinanderziehen und messen, welche Zugkräfte eine chemische Bindung aushält. Auf die Mikroskop-Spitze wirken Kräfte im Pico-Newton-Bereich. Das sind zehn hoch minus zwölf Newton – das Millionstel eines Millionstel Newton. Wir haben also Federn, mit denen wir solche Kräfte messen können. Und am Ende dieser



Federn ist eine ganz scharfe Spitze, die so klein ist, daß wir ein einzelnes Molekül daran hängen können. Wenn das andere Ende des Moleküls noch an der Unterlage, gewissermaßen am Tisch, befestigt ist, können wir daran ziehen.“ (Siehe Abbildung unten.)

Die Versuche gleichen Experimenten mit einem Gummiband: Wenn zu stark an ihm gezogen wird, zerreißt es. „Wir haben schon verschiedene Bindungen gemessen. Silizium-Kohlenstoff ist uns bei 2 Nano-Newton gerissen, Schwefel-Gold schon bei 1,4 Nano-Newton.“ Im letzten Jahr hat eine andere Gruppe verknotete Moleküle untersucht. Sie reißen genau wie Seile: direkt am Knoten.

Konkrete Anwendungsmöglichkeiten solcher Forschungen zeichnen sich ab. „Vor ein paar Jahren haben wir mit Rezeptor-Ligand-Systemen begonnen. Diese Molekülpaare, die wie Schlüssel und Schloß genau zusammenpassen, spielen in der Biologie eine ganz wichtige Rolle. Darauf basiert zum Beispiel die Erkennung von Zellen untereinander, die Signalübertragung und auch die Katalyse.“

„Die Erkennung zwischen Antikörper und Antigen im Immunsystem ist ein weiteres Beispiel. Bis wir die Experimente gemacht haben, bei denen wir einzelne dieser Paare auseinandergezogen haben, war nicht bekannt, welche Kräfte die Bindungen zwischen bestimmten Rezeptoren und Liganden aushalten. Solche Untersuchungen sind nützlich, wenn man neue Arzneimittel entwirft.“

„Oft sucht man zu eine Schloß den Schlüssel, der am besten hineinpaßt. Man macht dann solche Bindungstests mit Millionen verschiedener Substanzen, die man selbst herstellt oder im

Urwald gefunden hat. Der Stoff, der am besten bindet, ist der gesuchte Schlüssel. Ein Vorteil dieser Technik ist, daß nur sehr, sehr kleine Substanzmengen zum Testen gebraucht werden. Kein Wunder, daß auch die großen Pharmafirmen gerne diese Kraftmeßtechnik verwenden möchten.“

LICHT SPEICHERN – MIT HILFE VON SCHALL

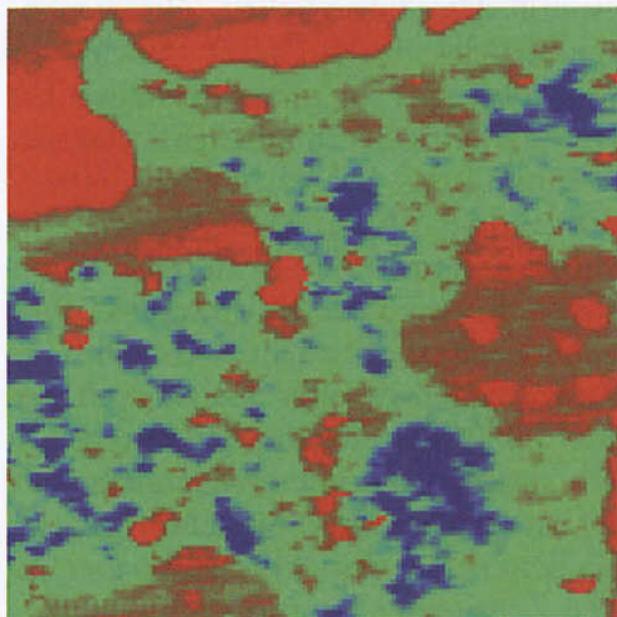
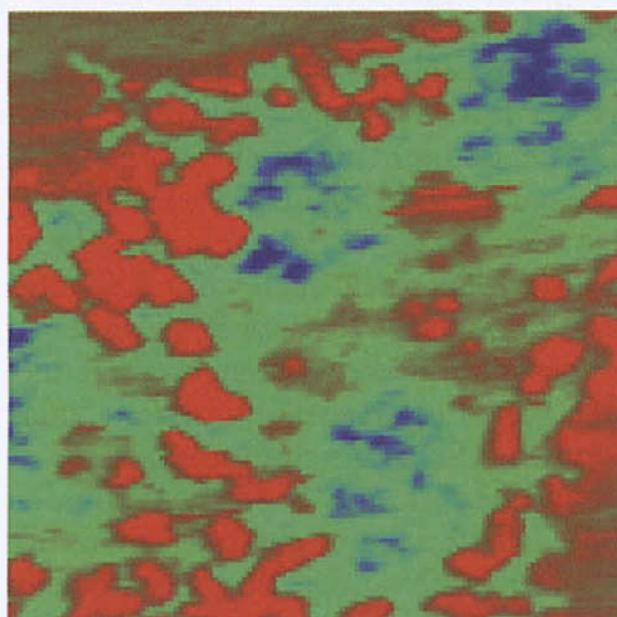
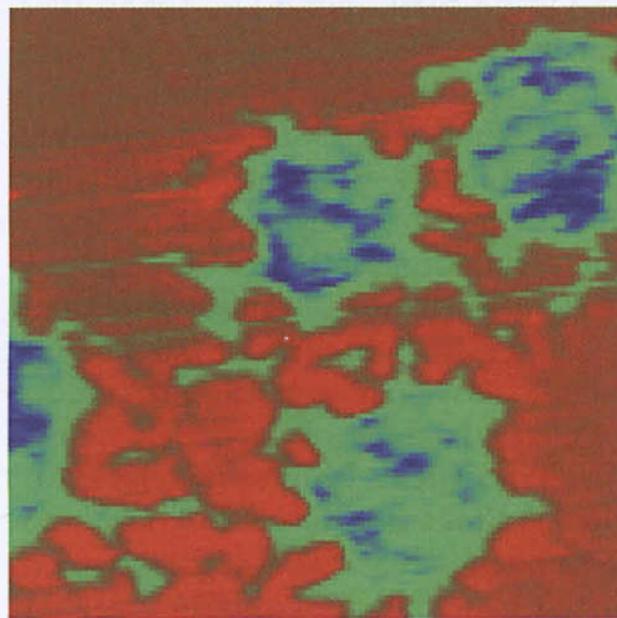
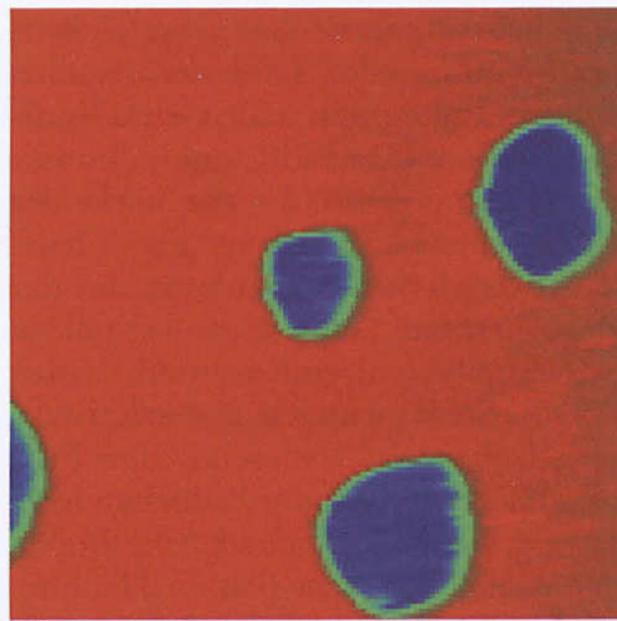
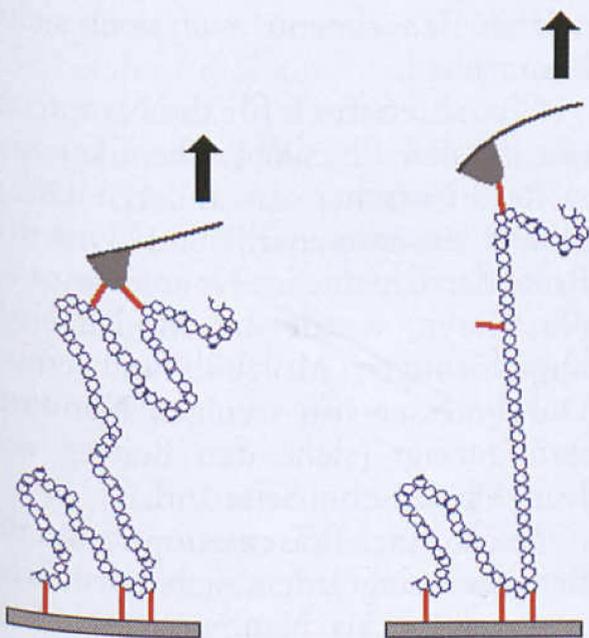
Licht ist ein ideales Medium, um Informationen zu übertragen: Es ist mit 300.000 Kilometern pro Sekunde ungeheuer schnell, und die vielen Wellenlängen, die es enthält, erlauben die Übertragung ganz unterschiedlicher Informationen mit einem einzigen Lichtstrahl, ohne daß ein Informationswirrwarr entsteht. Glasfaserkabel machen in der Telekommunikation von diesen Vorteilen des Lichts Gebrauch. Nur eines läßt das Licht nicht mit sich machen: Es läßt sich nicht festhalten, nicht speichern. Dies aber wäre die Voraussetzung dafür, eines Tages mit Lichtgeschwindigkeit arbeitende optoelektronische Computer bauen zu können.

Hier ist am Lehrstuhl für Experimentelle Halbleiterphysik an der Ludwig-Maximilians-Universität in München – Lehrstuhlinhaber ist Professor Dr. Jörg P. Kotthaus – ein Durchbruch gelungen, der weltweit Beachtung gefunden hat. Die Wissenschaftler besannen sich auf die 1880 von Marie und Pierre Curie (1867–1934 beziehungsweise 1859–1906) entdeckte Piezoelektrizität von Halbleiterkristallen zurück. Das heißt: In den Kristallen entsteht ein elektrisches Dipolmoment, wenn sie mechanischer Beanspruchung – etwa Druck oder Zug – ausgesetzt werden. Umgekehrt lösen elektrische Wechselfelder an piezoelektrischen Kristallen mechanische Schwingungen aus.

Es ist also auf der einen Seite mög-

Links: Ein Polymer (Polyzucker) wird mit kovalenten Verankerungen zwischen Kraftmikroskopspitze und Probe eingespannt. Dann wird so stark gestreckt, bis die kovalenten Verbindungsstellen reißen.

Rechts: Enzyme unter dem Raster-Kraft-Mikroskop. Die Bilder zeigen (von oben nach unten) die Ausbreitung eines Giftes in den 10 Nanometer breiten Kanälen einer künstlichen Zellmembran: den ursprünglichen Zustand und den zwei, vier und sechs Minuten nach der Zugabe des Giftes.



lich, bei entsprechender Oberflächenbeschichtung von Halbleiterkristallen – bevorzugte Materialien sind Indium-Gallium-Arsenid- und Aluminium-Gallium-Arsenid – die Stärke der elektrischen Ladung an der Oberfläche des Kristalls abzulesen, auf der anderen Seite kann der Kristall in Schwingung versetzt werden, wobei sich die Schwingungen an der Kristalloberfläche wie Wellen an der Erdoberfläche nach einem Erdbeben fortsetzen. Wellenlängen und Amplituden der Wellen bewegen sich im Nanobereich; es sind „Nanobeben“.

Diesen Effekt nutzt Dr. Achim Wixforth, Mitarbeiter im Kotthaus-Team, um das Licht – ganz wörtlich – in die Falle zu locken. Mit Bestrahlung durch Licht werden negativ geladene Elektronen (e^-) aus den Kristallatomen herausgeschlagen und in den Wellentälern des „Nanobebens“ eingefangen. An Stelle der Elektronen bleibt ein positives Elektronenloch (h^+ ; das h steht für englisch *hole* = Loch) zurück. Normalerweise würde das Elektron innerhalb von Nanosekunden wieder in das Elektronenloch zurückfallen, wobei in einer Art Lichtblitz ein Photon entsteht. In den starken piezoelektrischen Feldern, die die akustische Oberflächenwelle begleiten, werden die Elektronen und Löcher jedoch räumlich voneinander getrennt und bleiben in den Wellentälern bzw. -bergen gefangen. Dort werden sie nicht mehr mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegt, sondern nur noch mit der Wellengeschwindigkeit an der Kristalloberfläche, das heißt mit Schallgeschwindigkeit.

Werden die die Welle begleitenden piezoelektrischen Felder an einem bestimmten Ort des „Photonenförderbandes“ wieder ausgeschaltet, kommt es mit dem neuerlichen Zusammenschluß des e^-h^+ -Paares zu einem Lichtblitz, der die gleiche Qualität hat wie das eingestrahelte Licht, das die Trennung des Paares bewirkt hatte – nun jedoch nicht nach Nanosekunden, sondern in den bisherigen Experimenten erst nach bis zu fast 100 Mikrosekunden. Erreicht wird so eine Zeitverzögerung oder Speicherzeit von 1 : 10.000. Wo das ungehinderte Licht schon einen Kilometer durchgeht hätte, ist es in seiner Speicherform im Wellental auf dem Halbleiter erst einen Zentimeter vorangekommen. Das

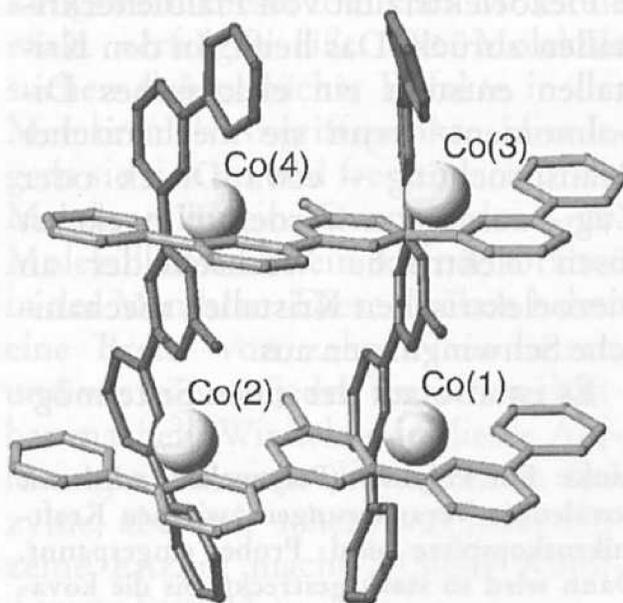
Abschalten der lateralen Potentialmodulation und somit das Auslösen des Lichtblitzes kann z. B. über eine Metallelektrode oder auch durch eine der transportierenden Welle entgegenlaufende zweite Welle erreicht werden.

Wellengeschwindigkeiten an Halbleiterkristall-Oberflächen, die durch äußere Einflüsse verursacht wurden, lassen sich ohne Kabelverbindungen durch Funkabfrage sehr genau messen. Das läßt die Erkundung von Umgebungsbedingungen an schwer zugänglichen Orten zu – zum Beispiel im Innern von Brennkammern oder im Innern des menschlichen Körpers, so daß neue diagnostische Möglichkeiten eröffnet werden.

„Die Idee war ganz einfach die“, sagt Achim Wixforth mit Understatement, „Schall zur Speicherung von Licht zu verwenden“.

FESTPLATTEN MIT HÖHERER SPEICHERDICHTE

Nicht nur Physiker sind am CeNS beteiligt. „Gefordert bei der Weiterentwicklung der Materialwissenschaften ist zunächst einmal die Chemie“, so Privatdozent Dr. Ulrich Schubert von der TU München. Chemiker liefern neue Materialien und können deren Eigenschaften untersuchen. Besonders viel verspricht man sich von der supramolekularen Chemie (siehe Seite 16ff.). Hier werden Organisations- und Erkennungsprozesse der Natur auf chemische Synthesen übertragen.



Ein [2 x 2]-Metall-Gitter. Vielleicht sind daraus die Festplatten der Zukunft aufgebaut. Die vier Kobalt-Atome (Co) können verschiedene chemische und physikalische Zustände einnehmen und bieten so eine gute Voraussetzung für einen Informationsspeicher. Abmessung: circa 2 nm x 2 nm.

„Einen Arm aus Atomen nachbauen?“

Was ist Nanotechnik? Umfrage unter Besuchern des Deutschen Museums

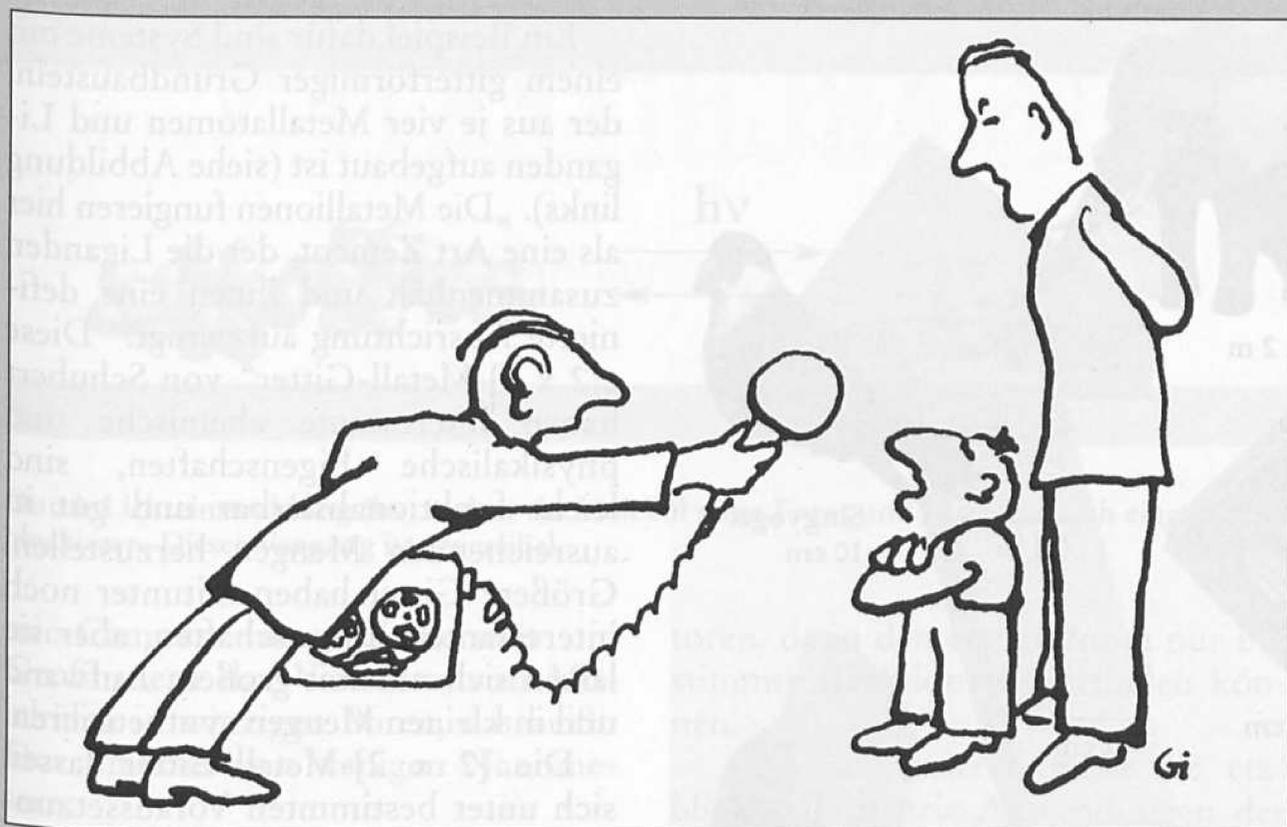
Immer mehr Forscher entdecken die Nanowelt, technische Anwendungen scheint es viele zu geben. Und trotzdem scheint die Nanotechnik zu den in der Allgemeinheit eher unbekannteren Wissenschaftsdisziplinen zu gehören. *Kultur & Technik* wollte wissen, ob die Besucher des Deutschen Museums schon einmal etwas von Nanotechnik gehört haben und was sie sich darunter vorstellen. In der Abteilung Mikroelektronik haben wir Meinungen zum Thema gesammelt und nach dem Kenntnisstand gefragt.

Anhand einer Abbildung konnten die zum Interview eingeladenen Besucher erkennen, wie winzig ein Nanometer ist: Die Größenordnung von Millionstel Millimetern liegt um den Faktor 1000 unter den typischen Abmessungen der Mikroelektronik, und natürlich werden besondere Mikroskope – besser: „Nanoskope“ – gebraucht, um die winzigen Objekte entdecken zu können.

Den befragten Besuchern wurden einige Beispiele der heutigen Forschungen im Nanokosmos vorgestellt: Die Forscher können einzelne Moleküle und Atome manipulieren, mit Atomen schreiben – und das Resultat solcher Experimente auch noch sichtbar machen.

Charakteristisch für die Nanotechnik ist, daß Physiker, Chemiker und weitere Forscher aus anderen Disziplinen zusammenarbeiten. Um die Rolle der Chemie im Nanokosmos zu illustrieren, wurde das Modell eines kugelförmigen Moleküls mit einem Durchmesser von wenigen Nanometern gezeigt (siehe den Beitrag von Jean-Marie Lehn, Seite 16ff.).

Nach dieser Präsentation waren die Besucher eingeladen, sich zu überlegen, was sie als Nanowissenschaftler



mit einem unbegrenzten Forschungsbudget anstellen würden.

Die meisten Besucher hatten von Nanotechnik noch nichts gehört. Eine typische Antwort kam von einem Betriebsinformatiker, 28 Jahre:

Nanosekunden habe ich schon gehört, aber Nanotechnik?

Ein angehender Mathematikstudent, 19 Jahre, war nach eigener Auskunft mit dem häuslichen PC bestens vertraut und für naturwissenschaftlich-technische Themen aufgeschlossen. Nach der Präsentation des Themas meinte er, geradezu seine Unkenntnis entschuldigend:

Produkte der Nanotechnik im Alltag? Das ist sicherlich noch ein weiter Weg.

Rar waren die Auskünfte darüber, wo die Anwendungsbereiche der Nanotechnik liegen könnten. Für zwei Buben aus der 7. Klasse einer Realschule, die bei der Präsentation ebenso begeistert wie erstaunt wiederholten: „Was, ein Millionstel Millimeter?!“ oder: „Atome kann man verschieben!“, eröffneten sich Science-fiction-Dimensionen. Sie nannten als Anwendungsbeispiele:

Vielleicht läßt sich ein Arm Atom für Atom nachbauen?

Vielleicht kann man sogar komplette Menschen oder Tiere auf diese Weise herstellen, da muß man sie nicht klonen.

Pragmatisch-kritisch äußerte sich ein Mädchen aus der 11. Klasse, für die die Nanotechnik noch Zukunftsmusik war:

Machen das nur Wissenschaftler, oder wird das schon in der Computerindustrie eingesetzt? Und: Leiterbahnen aus einzelnen Atomen bauen: Das dauert ja ewig!

Nutzen und Einsatzmöglichkeiten sah ein Student der Wirtschaftsingenieurwissenschaften durchaus nicht nur utopisch, obwohl er die Nanotechnik nicht kannte:

Von Mikrosystemtechnik habe ich schon gehört, auch als Maßeinheit ist mir der Begriff „Nano“ bekannt, aber sonst?

Nach der Präsentation entwickelte er folgende Vorstellungen:

Im Medizinbereich sicherlich einsetzbar, vielleicht lassen sich die Sehschwächen verändern, wenn man die Netzhaut so genau behandeln kann?

Glatte Oberflächen lassen sich damit bestimmt hervorragend herstellen, zum Beispiel die Spiegeloberflächen bei einem Fernrohr.

Es lassen sich Datenspeicherungsmöglichkeiten ausbauen, auch Erkennungs- oder Identifizierungscodes, die nicht gleich erkennbar oder veränderbar sind.

In einer zweiten Runde sollten nur solche Besucher befragt werden, die

bereits etwas von Nanotechnik gehört hatten. Vor allem sollten auch ältere Besucher für die Interviews gewonnen werden, um das Altersspektrum möglichst weit zu spannen. Doch nach fünf Absagen mit: „Leider noch nie etwas davon gehört“ oder: „Absolut nichts davon gehört“ – darunter ein Informatiker, der vor sieben Jahren seinen Abschluß gemacht hatte – wurden die Fragen vor allem wieder an jüngere Besucher gerichtet.

Ein Programmierer aus Herfurt, Ende 20, hatte bereits etwas über Nanotechnik gelesen und wußte auch aus seiner Computer-Zeitschrift, daß sich das Feld in einem sehr frühen Stadium befindet. Für seine Branche sah er durchaus Möglichkeiten der Anwendung:

Die atomare Manipulation ist für die Chipherstellung durchaus denkbar, da jetzt auch die Grenzen im Mikrobereich erreicht sind. Aber welche Verfahren setzt man da ein?

Bei Leiterbahnen mit drei bis vier Atomen Querschnitt spielen sicherlich Quanteneffekte ein Rolle. Wie löst man das?

Die nächsten Besucher reagierten auf die Frage nach ihren Kenntnissen über Nanotechnik wieder mit einem Kopfschütteln. Doch dann tauchte ein älterer Herr auf. Ob er schon etwas von Nanotechnik ...? „Na klar“, war die Auskunft des Maschinenbauingenieurs um Ende 50, „so etwas liest man doch“. Einige seiner Bemerkungen:

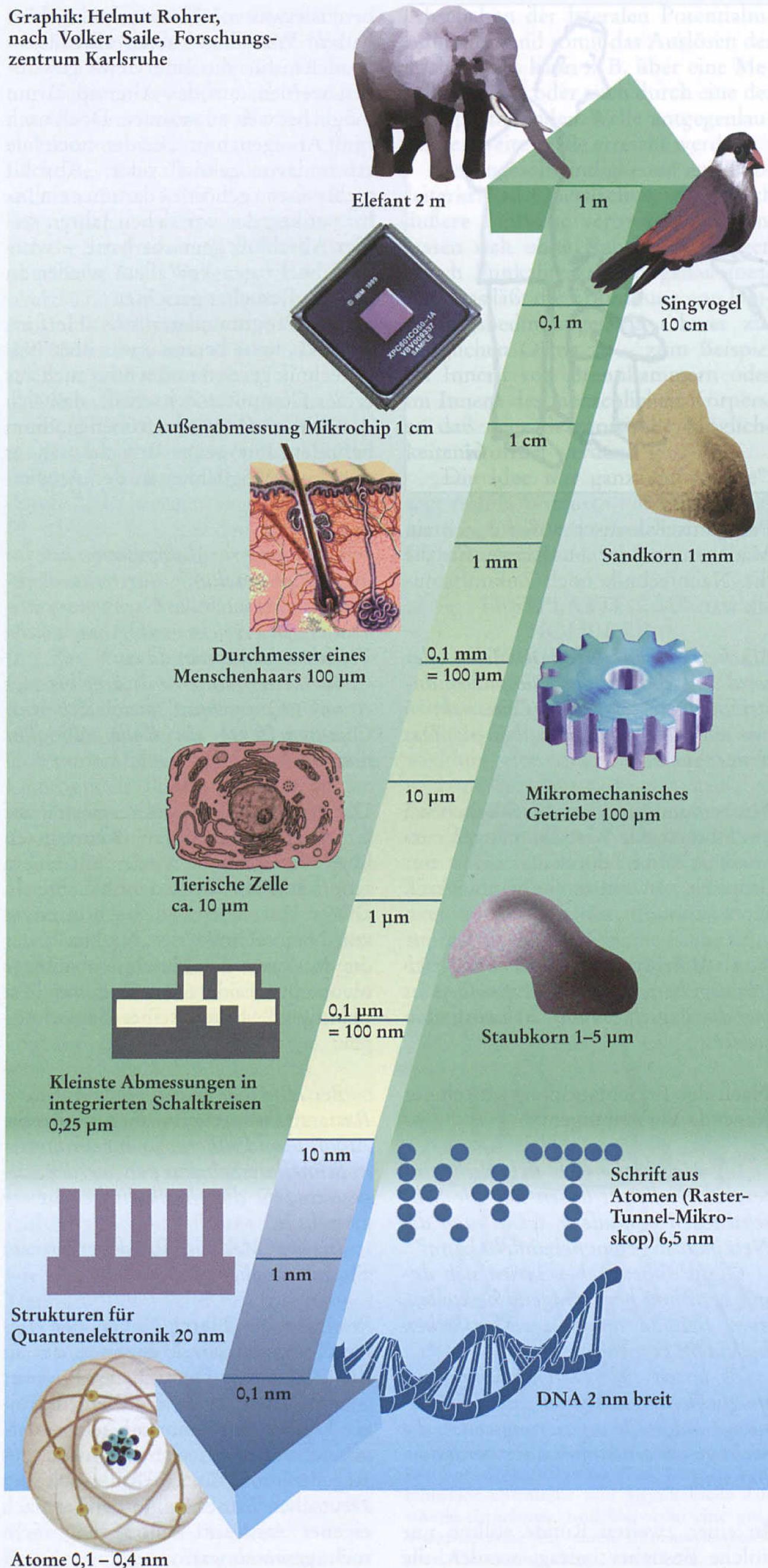
Bei IBM hat man bereits mit dem Rasterelektronenmikroskop einzelne Atome zum Firmenlogo angeordnet.

Schnellere Schaltzeiten werden angestrebt, bis die physikalische Grenze erreicht ist.

In der Medizin ist sicherlich ein Einsatz möglich.

Wer war der Herr? Neben den vielen Touristen ein Münchner, der in der Nähe des Deutschen Museums wohnt. Er wollte zwar an seinem freien Tag ins Schwimmbad gehen, entschied sich dann aber aufgrund des Regenwetters für einen Besuch des Deutschen Museums, in dem er nach eigener Auskunft schon ewig nicht mehr gewesen war. ■

Graphik: Helmut Rohrer,
nach Volker Saile, Forschungs-
zentrum Karlsruhe



Ein Beispiel dafür sind Systeme mit einem gitterförmiger Grundbaustein, der aus je vier Metallatomen und Liganden aufgebaut ist (siehe Abbildung links). „Die Metallionen fungieren hier als eine Art Zement, der die Liganden zusammenhält und ihnen eine definierte Ausrichtung aufzwingt.“ Diese „[2 x 2]-Metall-Gitter“ von Schubert haben interessante chemische und physikalische Eigenschaften, sind leicht funktionalisierbar und gut in ausreichenden Mengen herzustellen. Größere Gitter haben mitunter noch interessantere Eigenschaften, aber sie lassen sich nur mit großem Aufwand und in kleinen Mengen synthetisieren.

Die [2 x 2]-Metall-Gitter lassen sich unter bestimmten Voraussetzungen in Schichten anordnen. So ist es dem Chemiker aus Garching gemeinsam mit einer Forschergruppe aus Ulm gelungen, eine Graphit-Oberfläche mit diesen Quadraten zu bedecken. Die Beschichtung sollte sich stabilisieren lassen, so daß die Quadrate auch bei Temperaturen bis einige 100 Grad Celsius an ihrem Platz bleiben. Mit dem Raster-Tunnel-Mikroskop läßt sich solch eine Schicht in molekularer Auflösung abbilden (siehe Abbildung Seite 15 unten links).

Für technische Anwendungen ist es von Interesse, daß einzelne Gitter mit einer winzigen Spitze angesteuert werden können und auf ihnen Informationen magnetisch oder elektrochemisch gespeichert werden können. Solche molekularen Informationsträger könnten wesentlich höhere Informationsdichten speichern als heutige Festplatten.

Die Abbildung Seite 15 unten rechts zeigt, wie ein einzelnes Gitter mit dem Raster-Kraft-Mikroskop entfernt wurde. Solchen Schichten wird aber nicht nur eine Karriere in der Informationsspeicherung prophezeit. Wenn sie modifiziert werden, könnten die Oberflächen auch andere Funktionen übernehmen, beispielsweise als Katalysator oder als Substrate für biologische oder medizinische Anwendungen.

MOLEKÜLE ALS OPTISCHE SCHALTER

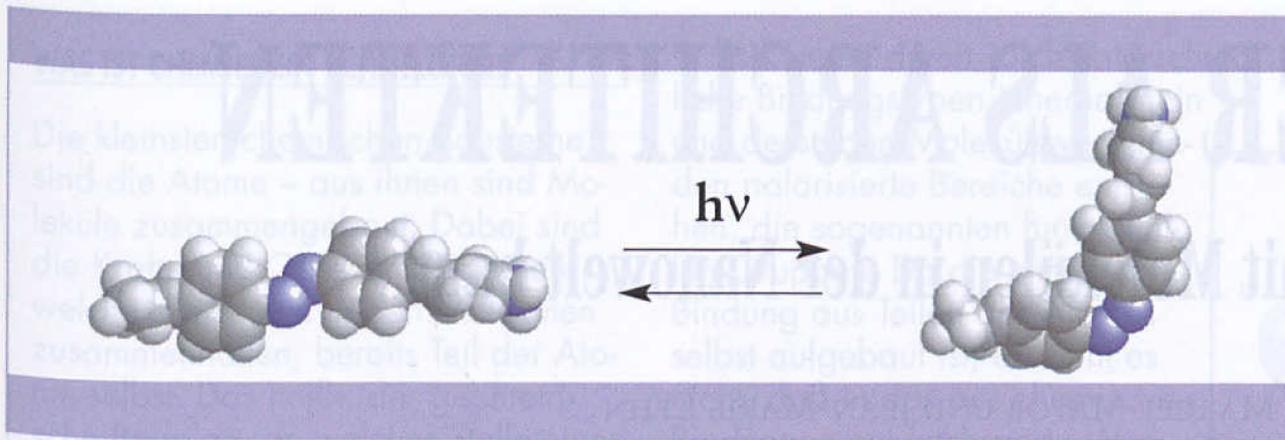
Die Arbeitsgruppe von Professor Christoph Bräuchle im Münchner Süden untersucht auf dem neuen Che-



Die Nanowissenschaft beschäftigt sich mit der Herstellung und Untersuchung von Strukturen im Bereich von nur wenigen Nanometern. An der Ludwig-Maximilians-Universität München haben Forscher aus den Bereichen der Physik, Biochemie, Biologie und Medizin das Center for NanoScience (CeNS) ins Leben gerufen, um dort gemeinsam und fachübergreifend in diesem interdisziplinären Wissenschaftsgebiet zu forschen. Inzwischen arbeiten hier mehr als einhundert Wissenschaftler.

Im CeNS werden die Grundlagen der zukünftigen Nanotechnik erforscht, die ganz neue Verfahren in Pharmazie, Materialwissenschaft und Informationstechnik ermöglichen wird. Neben der Forschung ist vor allem die Ausbildung junger Wissenschaftler eines der Hauptziele von CeNS.

Kontakt: Dr. Christian Kallinger
Center for NanoScience, Ludwig-Maximilians-Universität München,
Geschwister-Scholl-Platz 1,
80539 München, Tel: (089) 2180 3141
Internet: www.cens.de



Durch Lichteinstrahlung ($h\nu$) ändert ein Molekül seine Form und kann dadurch einen Kanal blockieren. Dieser Vorgang ist reversibel.

mie-Campus der Universität in Großhadern das Verhalten von Molekülen in winzigen Poren, das heißt: Durchmesser von wenigen Nanometern.

Zeolithe sind Silikatmaterialien, die Poren „nach Maß“ besitzen. Die Poren der Kristalle sind regelmäßig angeordnet und können Durchmesser von einem knappen bis über zehn Nanometer haben. Über Kanäle sind die Poren miteinander verbunden.

Äußerlich sind Zeolithe zwar nur ein unscheinbares weißes Pulver, und auch die Bestandteile, aus denen Zeolithe aufgebaut sind – Silizium, Aluminium und Sauerstoff –, sind wenig spektakulär. Aber die Chemiker können dieses nanoporöse Material als Sieb für Moleküle verwenden. Manche Moleküle sind nämlich genauso groß, daß sie gerade in den Poren steckenbleiben können.

Molekularsiebe dienen in großen Mengen als Waschmittelzusatz (siehe auch Seite 37), aber auch als Katalysa-

toren, da in den engen Poren nur bestimmte Reaktionen stattfinden können.

„Uns interessieren nicht die etablierten Industrie-Anwendungen der Zeolithe“, so Bräuchles Mitarbeiter Dr. Fred-Walter Deeg. „Wir loten das Potential dieser Materialien für High-Tech-Anwendungen aus.“ Und da haben die Physiko-Chemiker schon sehr bestimmte Vorstellungen. Moleküle in den Zeolith-Poren könnten als optische Schalter dienen oder die Grundlage optischer Speicher sein. Besonders anschaulich ist die Idee eines optischen Verschlusses (Abbildung oben): Ein langes Molekül liegt in einem Kanal. Wird das Molekül durch Lichteinstrahlung angeregt, biegt es sich zu einem rechten Winkel.

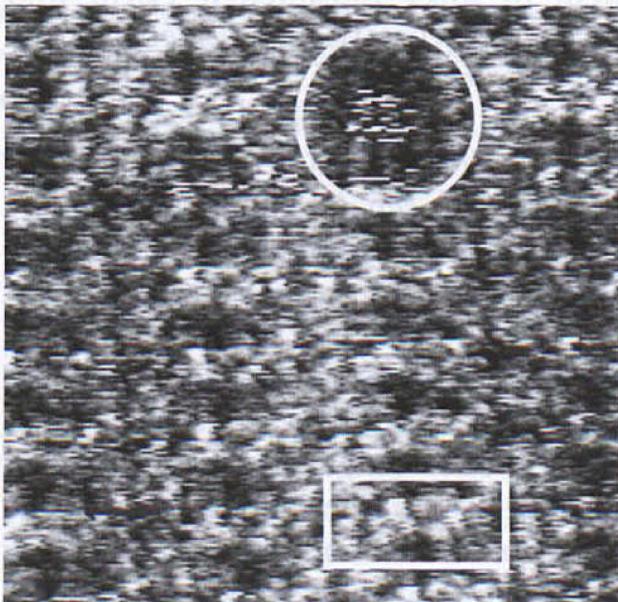
Der Sehprozeß in der Netzhaut des Auges wird durch eine ähnliche photochemische Umwandlung eingeleitet. Wenn die Abmessungen stimmen, ist der Kanal durch die Verbiegung des Moleküls verstopft – andere Moleküle

kommen somit nicht mehr vorbei. Verwendet man die angrenzenden Poren als Reaktionskammern, so könnten sich die Stoffströme im Inneren des Zeolith-Kanalsystems kontrollieren lassen.

Bräuchles Mitarbeiter stellen die Zeolithe nicht selbst her, sondern beziehen sie von anderen Laboratorien, vorwiegend von inländischen. „Deutschland ist in Sachen Zeolith-Herstellung weltweit mit an der Spitze“, so Deeg. „Merkwürdigerweise ist bei der Synthese dieser Nano-Materialien aber noch viel Alchimie im Spiel. Man braucht ein paar 100 Grad Celsius, hohen Druck und wirft die Zutaten zusammen.“ Die Größe der entstehenden Poren wird durch Zusätze, die Template, gesteuert, und viele Prozeß-Parameter beruhen auf langjähriger Erfahrung. □

Links: [2 x 2]-Metall-Gitter bedecken eine Graphitoberfläche. Mit dem Raster-Tunnel-Mikroskop kann man die Kantenlänge „sehen“. Durch chemische Modifizierung und nachfolgende Belichtung sollten stabile Schichten erhalten und manipuliert werden können.

Rechts: Von der Graphitoberfläche ist ein einzelnes [2 x 2]-Metall-Gitter entfernt worden (durch den Kreis markiert). Das Rechteck markiert ein stehendes Gitter.



CHEMIKER ALS ARCHITEKTEN

Wie man mit Molekülen in der Nanowelt baut

VON MARCEL MAYOR UND JEAN-MARIE LEHN

Chemiker nähern sich der Nanotechnik auf dem supramolekularen Weg. Bereits heute läßt sich in ihrem Baukasten ein faszinierendes Potential für zukünftige Nanoarchitekturen erkennen.

Während sich die molekulare Chemie mit starken kovalenten Bindungen befaßt, handelt es sich bei der supramolekularen Chemie um schwächere Kräfte zwischen den einzelnen Molekülen. Supramolekulare Chemie geht über das Molekül hinaus. Durch verhältnismäßig schwache Kräfte werden Moleküle zu einer größeren Einheit zusammengehalten – der supramolekularen Überstruktur. Die beteiligten Moleküle müssen freilich zueinander passen.

Wenn sich Moleküle zu supramolekularen Strukturen aneinanderlagern, wirken *Kräfte* verschiedener Natur. Ein Beispiel ist die Anziehung zwischen positiv und negativ geladenen Teilen von Molekülen, sogenannte elektrostatische Wechselwirkungen. Auch durch Wasserstoffbrückenbindungen können große Überstrukturen organisiert werden. Das Prinzip einer Wasserstoffbrückenbindung basiert darauf, daß eine relativ elektronenreiche funktionelle Gruppe des einen Moleküls sich an ein Wasserstoffatom einer anderen funktionellen Gruppe eines Nachbarmoleküls bindet. Die beiden Moleküle werden dadurch zusammengehalten. Die enorme Bedeutung derartiger Bindungen wird sofort offensichtlich, wenn wir uns vor Augen führen, daß unser Erbgut von Molekülpaaren (den beiden sogenannten Basenpaaren) gespeichert, übertragen, abgelesen und umgesetzt wird, die auf Wasserstoffbrückenbindungen basieren (siehe Abbildung unten).

Die Kräfte, die Moleküle zu supramolekularen Überstrukturen zusammenhalten, sind aber nur ein Teil des Prinzips der supramolekularen Chemie. Ein ebenso wichtiger Aspekt ist die *molekulare Erkennung*. Wir haben gesehen, daß ein Molekül eine bestimmte räumliche Form hat und seine funktionellen Gruppen daher im Raum definiert angeordnet sind. Damit im einfachsten Fall zwei Moleküle miteinander eine supramolekulare Überstruktur ausbilden können, muß die räumliche Anordnung ihrer funktionellen Gruppen derart aufeinander abgestimmt sein, daß sie in Wechselwirkung treten können.

Dieser Sachverhalt wird sehr anschaulich durch eine Analogie wiedergegeben, mit der Emil Fischer vor über 100 Jahren die Enzym-Substrat-Bindung beschrieben hat: „Um ein Bild zu gebrauchen, will ich sagen, daß Enzym und Glucosid wie Schloß und Schlüssel zueinander passen müssen, um eine chemische Wirkung aufeinander ausüben zu können.“ Ebenso wie Schloß und Schlüssel in ihrer räumlichen Form genau ineinander passen müssen, müssen die in Wechselwirkung tretenden funktionellen Gruppen von Molekülen, die eine supramolekulare Überstruktur ausbilden, in ihrer räumlichen Form und ihren elektrostatischen Eigenschaften zueinander passen.

Daraus folgt direkt die dritte wichtige Komponente des Prinzips der supramolekularen Chemie: die *Selektivität*. In den Worten des zuvor verwendeten Bildes ist klar, daß ein Schlüssel nur in sein Schloß paßt, und man durch Ausprobieren aus mehreren Schlössern das passende finden wird – oder umgekehrt durch Testen von mehreren Schlüsseln den passenden für ein bestimmtes Schloß. Der selbe Vorgang spielt in der supramole-

kularen Chemie eine zentrale Rolle. Die zusammenhaltenden Kräfte sind schwach genug, daß die Moleküle verschiedene Bindungspartner ausprobieren können, bis sie diejenigen finden, die am besten zu ihnen passen, und dadurch zum stabilsten Übermolekül führen.

Derart sucht sich ein Molekül die zum Aufbau einer supramolekularen Überstruktur geeigneten Partner selbst aus. Die Information dafür, d. h. der Konstruktionsplan des Übermoleküls, ist also bereits in den zum Aufbau notwendigen molekularen Bausteinen gespeichert. Durch ihre Struktur und die räumliche Anordnung der funktionellen Gruppen zueinander sind sie für den Aufbau der gewünschten Überstruktur programmiert.

VOM SELBSTAUFBAU ZUR NANOTECHNIK

Ein Nanometer ist ein Milliardstel Meter oder ein Millionstel Millimeter. In der Nanowelt gelten die physikalischen Gesetze unserer makroskopischen Welt nur noch bedingt. Die Größe eines Objekts beginnt ein wichtiger Faktor physikalischer Phänomene zu werden – das heißt, physikalische Eigenschaften hängen unmittelbar von der Größe des Teilchens ab. Gelingt es also, die Größe zu kontrollieren, kann man dadurch direkt die physikalischen Eigenschaften einstellen.

Für bestimmte physikalische Eigenschaften sind sogenannte Quanten und deren Wellenfunktionen verantwortlich. Der unmittelbare Einfluß der Teilchengröße auf die physikalischen Eigenschaften hängt damit zusammen, daß die Teilchendimensionen in der Größenordnung der Wellenlängen dieser Quantenwellen-

WAS IST CHEMIE? EIN SCHNELLKURS

Die kleinsten chemischen Bausteine sind die Atome – aus ihnen sind Moleküle zusammengebaut. Dabei sind die Kräfte und Gesetzmäßigkeiten, welche die Atome in den Molekülen zusammenhalten, bereits Teil der Atome selbst. Das heißt, der geometrische Bauplan, an welcher Stelle eines Atomes eine Bindung zu einem Nachbaratom ausgebildet werden kann, ist für eine bestimmte Atomsorte charakteristisch. Die räumliche Anordnung von Atomen in einem Molekül ist also bereits durch die Atome, seine Einzelbausteine, vorgegeben.

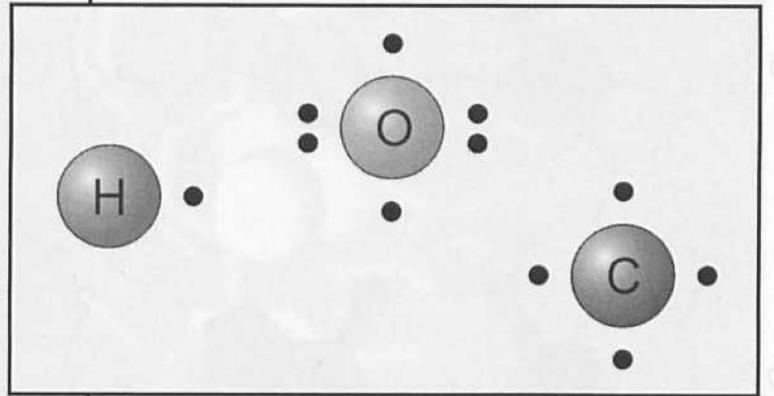
Atome bestehen aus einem Kern, welchen die Elektronen umgeben. Diese Elektronen unterliegen ihrerseits ganz bestimmten Regeln. Eine davon ist die, daß Elektronen gerne zu zweit ein Orbital – ihren Aufenthaltsraum – besetzen. Besitzt nun ein Atom z. B. eine ungerade Elektronenzahl und demzufolge ein einsames Elektron, so wird es sich mit einem anderen Atom, einem das ebenfalls ein ungepaartes Elektron aufweist, zusammenschließen. Beide Atome profitieren von dieser Elektronenpaarbildung und teilen es sich, d. h. es befindet sich in einem Aufenthaltsraum genau zwischen den beiden Atomen. So entsteht eine kovalente Bindung.

Sind die beiden Atompartner stark unterschiedlicher Natur, so kann es sein, daß das durch die Bindung gebildete Elektronenpaar stärker zu einem Atom hingezogen wird als zu dem anderen. Es handelt sich dann um eine polare kovalente Bindung. Geht ein einsames Elektron ganz auf das Nachbaratom über, so bilden sich ein positiv und ein negativ geladenes Ion, und man spricht von einer ionischen Bindung (die beiden Atome werden durch elektrostatische Kräfte zusammengehalten).

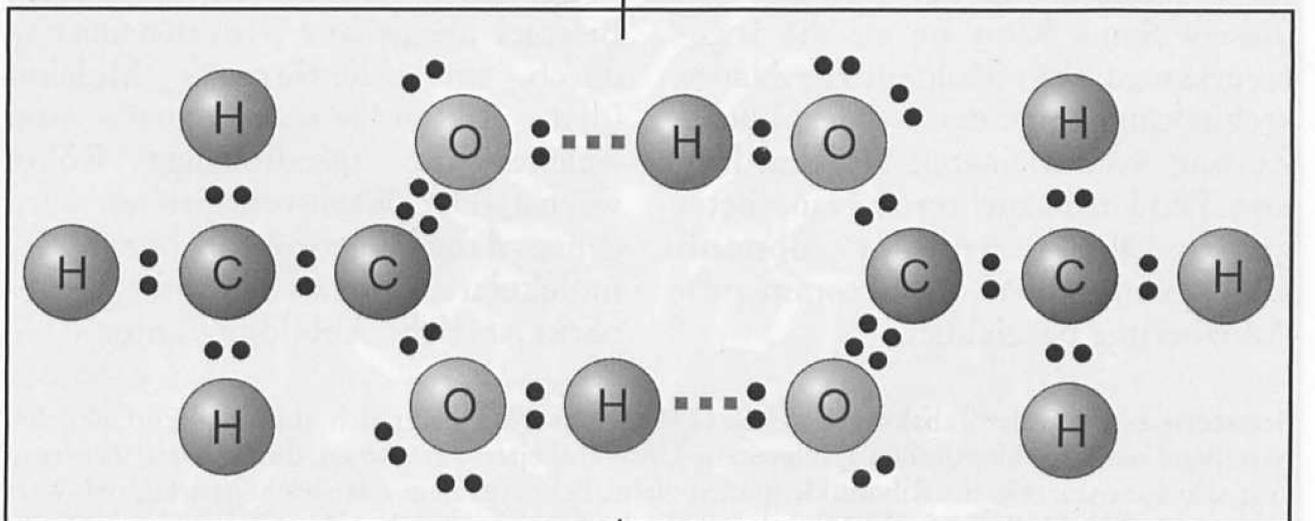
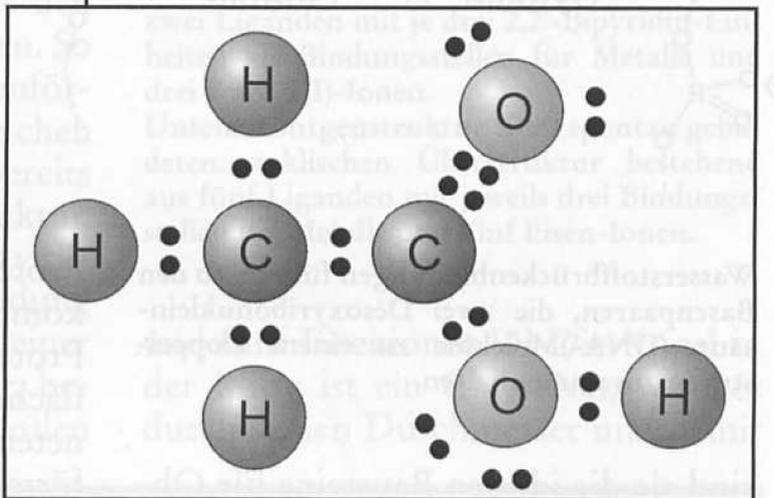
Es können durch solch unterschiedliche Bindungstypen innerhalb ein und desselben Moleküls verschiedenen polarisierte Bereiche entstehen, die sogenannten funktionellen Gruppen. Da die chemische Bindung aus Teilen des Atomes selbst aufgebaut ist, erstaunt es nicht, daß in das aus chemischen Bindungen erwachsende Werk – dem Molekül – die Eigenschaften der einzelnen Atome eingehen. Daß bereits die einzelnen kleinen Teile Informationen für den Gesamtaufbau der größeren Konstruktion beinhalten, ist ein Prinzip, dem wir auch bei supramolekularen Strukturen begegnen.

Die klassische molekulare Chemie, wie sie seit über einem Jahrhundert betrieben wird, befaßt sich mit den Eigenschaften und dem Aufbau von Molekülen, sie kontrolliert und manipuliert chemische Bindungen. Beispielsweise kann sie ein Molekül aus zwei Molekülen zusammenfügen, indem sie diese durch eine neue kovalente Bindung zusammenhängt. In mehr als einem Jahrhundert entdeckte man im Bereich der molekularen Chemie ein mittlerweile riesiges

Einzelne Atome mit ihren Elektronen (dargestellt als schwarze Punkte): C=Kohlenstoff, O=Sauerstoff, H=Wasserstoff



Moleküle: Zwei Kohlenstoffatome, zwei Sauerstoffatome und vier Wasserstoffatome werden durch kovalente Bindungen zu einem Molekül (Essigsäure) zusammengefügt.



Arsenal an Kenntnissen und Reaktionen, die den kontrollierten Aufbau von immer komplizierteren Molekülen ermöglicht.

Übermolekül: Zwei Essigsäuremoleküle bilden durch zwei Wasserstoffbrückenbindungen (heller gepunktete Linien) ein Dimer als supramolekulare Überstruktur.

funktionen sind – man spricht daher auch von „Quantum Size-Effekten“, die sich unserem Alltagsverständnis entziehen.

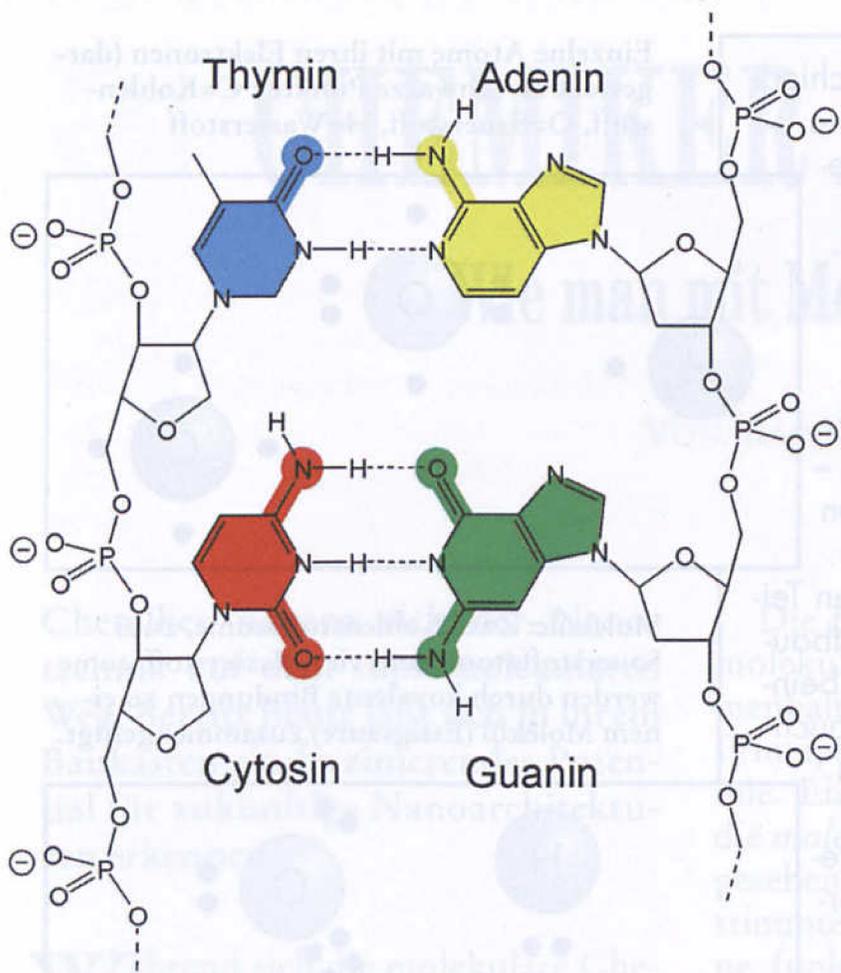
Um möglichst kleine Teilchen zu erhalten, kann man natürlich bestehende Objekte verkleinern, sie beispielsweise halbieren und derart aus einem Teilchen zwei halb so große er-

halten, diese dann wieder halbieren und damit immer weiter verfahren. Die Methode, bestehende Objekte noch kleiner zu gestalten, wird als „Top-Down“ (von Oben nach Unten, von Groß nach Klein)-Annäherung bezeichnet. Sie weist jedoch gewisse Probleme auf, beispielsweise wird es mit abnehmender Größe eines Ob-

jekts zunehmend schwieriger, es zu halbieren.

Einen ganz anderen Zugang zu mehreren Nanometern großen Objekten, quasi aus entgegengesetzter Richtung kommend, ermöglicht die supramolekulare Chemie. Da Moleküle ihrerseits bereits bis zu wenigen Nanometern groß sein können,

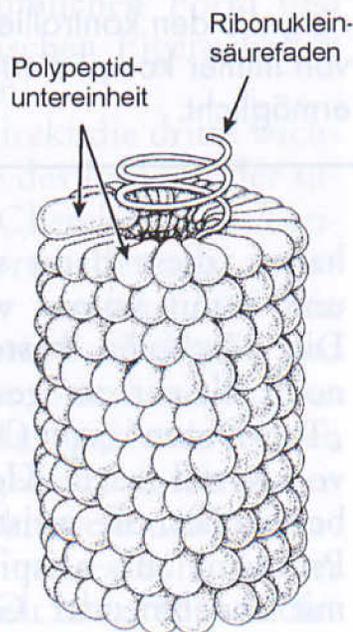
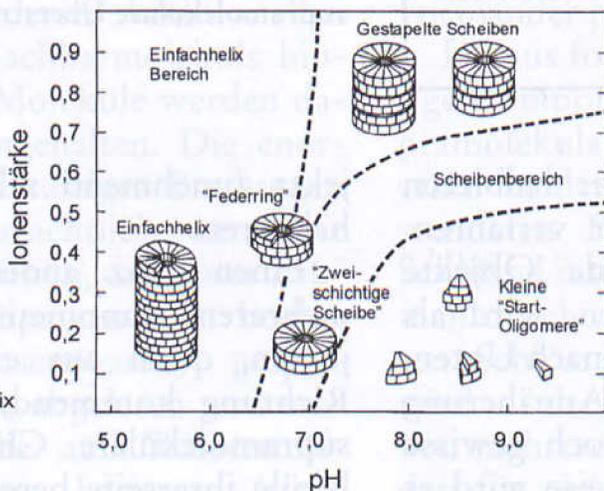
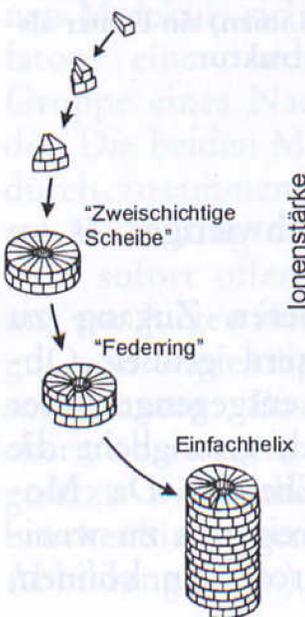
Abbildung: Marcel Mayor



Wasserstoffbrückenbindungen führen zu den Basenpaaren, die zwei Desoxyribonukleinsäure-(DNA-)Moleküle zu einem Doppelstrang zusammenhalten.

sind sie die idealen Bausteine für Objekte in dieser Größenordnung. Die supramolekulare Chemie lehrt uns, wie mehrere Moleküle zu Überstrukturen zusammengefügt werden – in diesem Sinne kann sie als die Ingenieurskunst vom Molekül zur Nanoarchitektur verstanden werden. Dieser Zugang, vom kleineren Molekül herkommend zum mehreren Nanometer großen Objekt, wird als „Bottom-Up“ (von unten her kommend)-Annäherung bezeichnet.

Selbstorganisation des Tabakmosaikvirus (TMV). Das TMV setzt sich aus einer Einfachhelix, bestehend aus 2130 identischen Hüllprotein-Untereinheiten zusammen, durch deren Zentrum sich schraubenförmig ein Ribonukleinfaden zieht. Bei neutralem oder leicht saurem pH-Wert aggregieren die Hüllprotein-Untereinheiten (siehe Diagramm) über Zwischenstufen zu Stäbchen, die dem nativen nukleinsäurehaltigen Virus in Form und Größe weitgehend entsprechen.

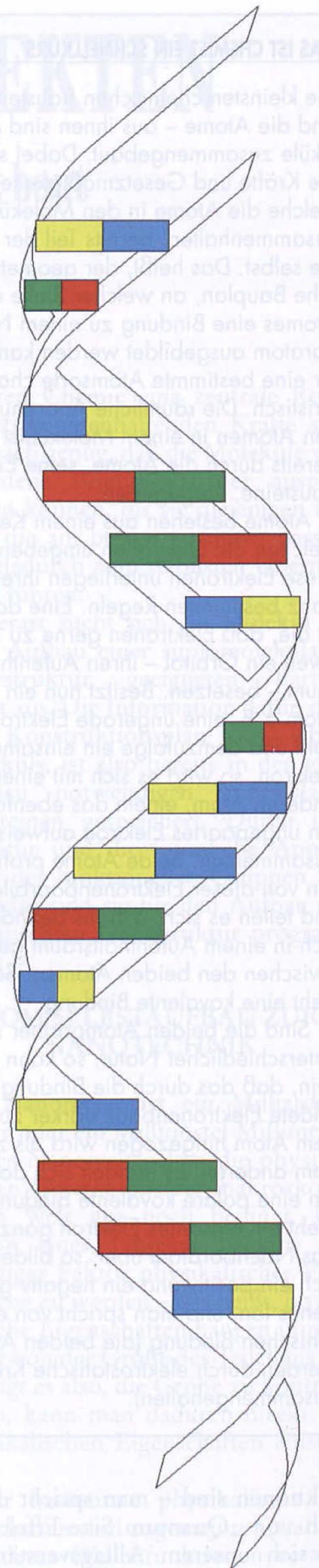


Z. B.: DAS TABAKMOSAIKVIRUS

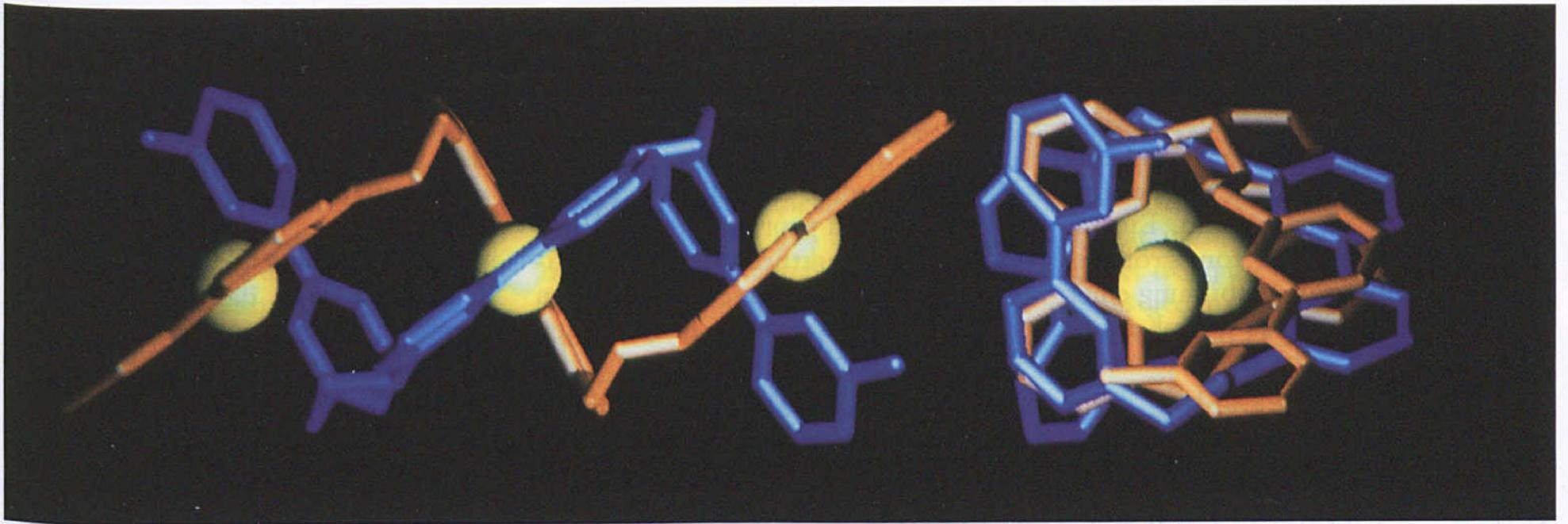
Das zugrunde liegende Prinzip, daß sich Überstrukturen spontan aus ihren vorprogrammierten Komponenten durch supramolekulare Kräfte selektiv und nach Bauplan zusammensetzen, läßt sich anhand einiger Beispiele detaillierter veranschaulichen. Dieses Prinzip wird uns von zahlreichen biologischen Systemen vorge-macht, die durch supramolekularen Selbstaufbau entstehen. Ein berühmtes Beispiel ist die Selbstorganisation des Tabakmosaikvirus. Von einer einfachen Moleküleinheit – einem

Protein – ausgehend wird hier eine komplexe Architektur aufgebaut. Die Proteineinheit besitzt an ihrer Oberfläche die Information zu ihrer geordneten Aggregation. Die segmentförmigen Proteineinheiten fügen sich dadurch erst zu Federringen und diese schließlich zu spiralförmigen Röhren zusammen.

Besonders elegant ist an diesem Beispiel die genaue Prozeßsteuerung durch ein fadenförmiges Molekül (den Ribonukleinsäurefaden), um welches die spiralförmige Röhre wächst. Der Wachstumsprozeß wird genau dann abgebrochen, wenn der molekulare Faden vollständig eingepackt ist (siehe Abbildung unten).



Symbolische Darstellung der helikalen Überstruktur von zwei DNA-Molekülen im Doppelstrang.



Z. B.: DOPPELSPIRALEN

Bereits bei der Erklärung der Wasserstoffbrückenbindung haben wir die Basenpaare der Desoxyribonukleinsäure (DNA) erwähnt, den Speicher unseres Erbguts. Auch sie führen zur Ausbildung einer supramolekularen Überstruktur, nämlich zur Ausbildung einer Doppelspirale (Doppelhelix). Derartige helikale Überstrukturen lassen sich auch durch supramolekulare Systeme anhand von Bindungsphänomenen darstellen, die in der Biologie nicht vorkommen. Werden Untereinheiten, die sich an einem Metallatom ausrichten möchten (koordinieren), kettenförmig aneinander gehängt, so bilden diese Moleküle mit den entsprechend geeigneten Metallatomen eine helikale supramolekulare Struktur. Die Abbildung oben zeigt die Seiten- und Aufsicht der Kristallstruktur einer derartigen Doppelspirale, bestehend aus zwei Molekülen und drei Kupfer-Ionen.[1] Die aneinandergeketteten Bindungsstellen für Kupferionen bewirken, daß sich die beiden Moleküle spiralförmig um die drei Kupfer-Ionen winden und eine Doppelhelix ausbilden. In diesem Fall war das biologische System der DNA die Inspiration und das Vorbild der supramolekularen Architektur.

Z. B.: ZYKLISCHE ÜBERSTRUKTUREN

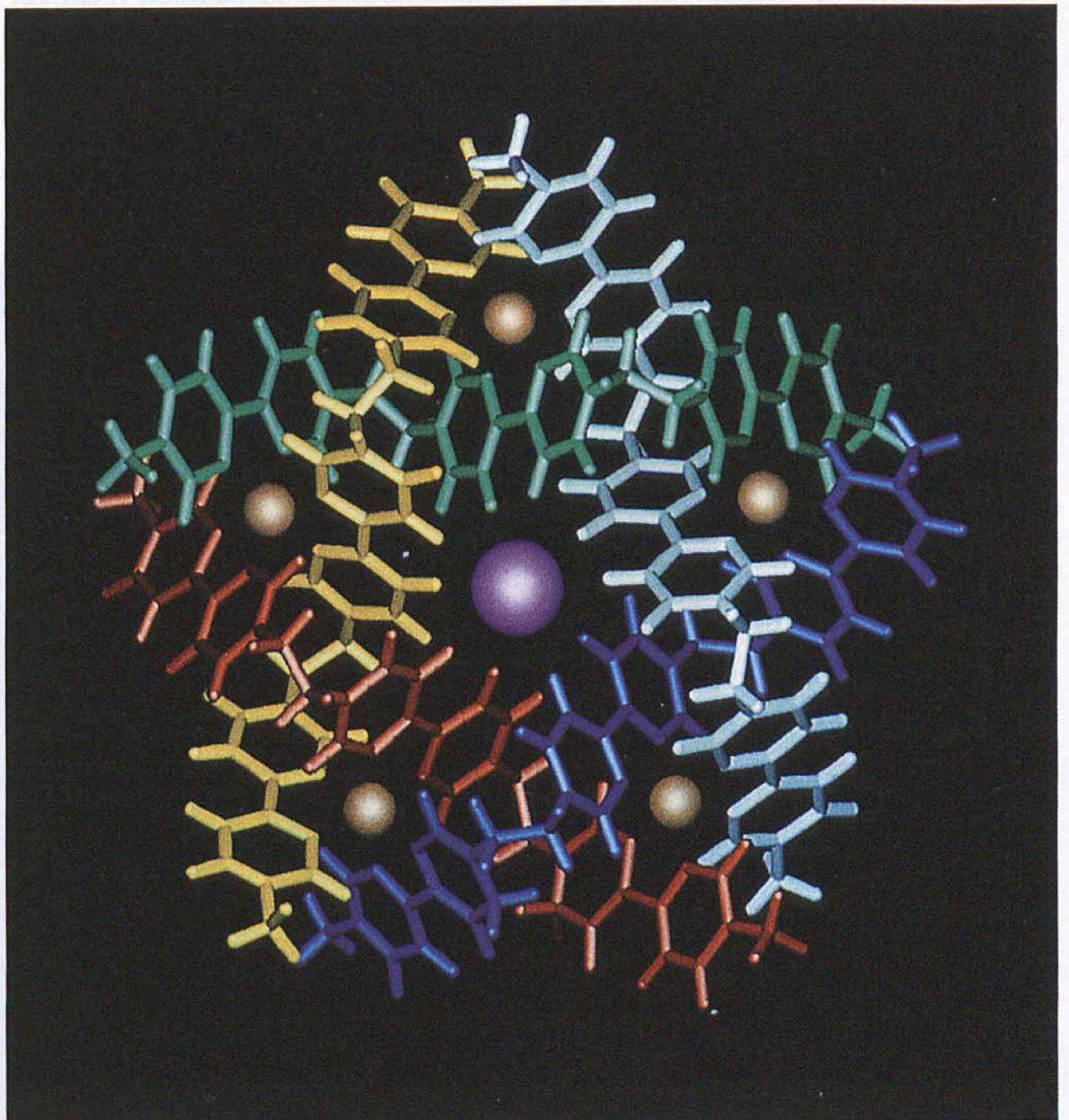
Natürlich ist dieses Prinzip nicht auf Architekturen beschränkt, die von biologischen Systemen vorgegeben werden – im Gegenteil, der Phantasie sind keine Grenzen gesetzt und beliebige erdenkliche Objekte zugänglich, sofern es uns gelingt, die Moleküle

derart zu gestalten und die Metalle entsprechend zu wählen, daß sie den Bauplan des Objekts in sich tragen. So erlaubt eine andere Art der kettenförmigen Anordnung von drei gleichen Untereinheiten nicht nur die bereits besprochene helikale Überstruktur, sondern auch den Aufbau einer zyklischen Überstruktur. Die Abbildung unten zeigt die Kristallstruktur einer solchen zyklischen Überstruktur, bestehend aus fünf Kettenmolekülen

Oben: Seiten- und Aufsicht der Röntgenstruktur einer Doppelspirale bestehend aus zwei Liganden mit je drei 2,2'-Bipyridin-Einheiten als Bindungsstellen für Metalle und drei Kupfer(I)-Ionen.

Unten: Röntgenstruktur einer spontan gebildeten, zyklischen Überstruktur bestehend aus fünf Liganden mit jeweils drei Bindungsstellen für Metalle und fünf Eisen-Ionen.

und fünf Eisenionen.[2] Die Kugel in der Mitte ist ein Chlor-Ion, welches durch seinen Durchmesser und damit



genaues Einpassen in den zentralen Hohlraum den Aufbau des Fünferings begünstigt. In eingehenden Studien konnte sogar gezeigt werden, daß durch Wahl dieses zentralen Ions die Größe des zyklischen Übermoleküls diktiert werden kann. Ein im Vergleich zum Chlor-Ion größeres Sulfat-Ion führt zur Ausbildung einer zyklischen Struktur aus sechs Kettenmolekülen und sechs Eisen-Ionen in Form eines Sechserings.[3]

Z. B.: GITTERSTRUKTUREN

Nicht nur helikale und zyklische Struktur motive werden auf diese Art und Weise zugänglich. Durch Wahl von starrerem Untereinheiten, die an die Metalle binden, verlieren die Moleküle die Beweglichkeit, wickeln sich nicht mehr spiralförmig um die Metallatome, sondern bilden mit geeigneten Metallen Gitterstrukturen aus. Beispielhaft ist die Kristallstruktur eines 3x3-Gitters abgebildet (siehe Abbildung unten).[4] Es besteht aus sechs starren Molekülen mit je drei Andockstellen für Metallatome und neun Silber-Ionen.

Z. B.: KÄFIGSTRUKTUREN

Die bisher gezeigten Beispiele waren jeweils aus einer einzigen Sorte molekularer Bausteine aufgebaut. Daß diese Beschränkung nicht nötig ist, zeigt das Zusammenfügen von unterschiedlichen Molekülen zu einer supramolekularen Überstruktur (siehe Abbildung Seite 21). Die Abbildung zeigt die Kristallstruktur eines dreistöckigen Übermoleküls. Es wird durch drei Moleküle als starre Seitensäulen mit jeweils drei Bindungsstellen für ein Metall, drei flachen Molekülen als Bodenplatten mit drei seitli-

Röntgenstruktur eines Gitters bestehend aus sechs starren Liganden mit jeweils drei Bindungsstellen für Metalle und neun Silber-Ionen. Die Gitterstruktur bildet sich unter den gewählten Bedingungen spontan.

chen Bindungsstellen für ein Metall und schließlich neun Kupfer-Ionen, die das Gebilde zusammenhalten, aufgebaut.

Wir sehen, daß Moleküle sich sehr kontrolliert zu großen supramolekularen Überstrukturen zusammenfügen lassen. Die Gesetzmäßigkeiten der supramolekularen Chemie lassen keine prinzipielle Begrenzung der Größe und Vielfalt der Überstrukturen erkennen. Der Weg, einem Molekül bereits den Bauplan der Überstruktur mitzugeben, so daß diese dann spontan aufgebaut wird, ist ein sehr vielversprechender, effizienter und nicht zuletzt eleganter Zugang zu Objekten in der Größenordnung mehrerer Nanometer.

ANPASSUNGSFÄHIGE STRUKTUREN

Es gibt aber noch ganz andere Vorzüge von Objekten, die auf supramolekularen Prinzipien aufgebaut sind. Sie können sich äußeren Bedingungen anpassen. Sie sind nämlich nicht für die Ewigkeit gebaut, sondern entstehen in einem dynamischen Prozeß. Eine bestimmte supramolekulare Überstruktur ist unter gegebenen Umständen die stabilste Form und somit das unter diesen bestimmten Bedingungen isolierbare Objekt. Das Objekt ist aber nach wie vor ein dynamisches Produkt und eine unmit-

telbare Folge der Randbedingungen: Eine Veränderung der Randbedingungen kann eine andere supramolekulare Überstruktur begünstigen – das ursprüngliche Objekt abbauen und die Bausteine für eine neue, unter den geänderten Randbedingungen stabilere Überstruktur verwenden. Dies führt dazu, daß Objekte basierend auf supramolekularen Überstrukturen sich an äußere Bedingungen anpassen können – sie sind für äußere Einflüsse zugänglich.

Beispielsweise haben wir die Kristallstruktur einer zyklischen Verbindung gesehen, welche aus fünf Kettenmolekülen und fünf Eisen-Ionen besteht und in ihrer Mitte ein Chlor-Ion einschließt (siehe Abbildung unten). [2,3] Ändern sich die Randbedingungen derart, daß anstatt der Chlor-Ionen größere Sulfat-Ionen zur Verfügung stehen, so bildet sich spontan eine neue zyklische Verbindung aus sechs Kettenmolekülen und sechs Eisen-Ionen, welche in der Mitte einen größeren Hohlraum aufweist und somit das Sulfat-Ion aufnehmen kann.

Die erwähnte Dynamik supramolekularer Überstrukturen ermöglicht auch Reparaturen nach der Art eines Selbstheilungsprozesses. Der Bauplan der Überstruktur ist nämlich durch die Bausteine, also die einzelnen Moleküle, vorgegeben. Wird aus Versehen ein falsches Molekül eingebaut oder ein bereits eingebauter Baustein

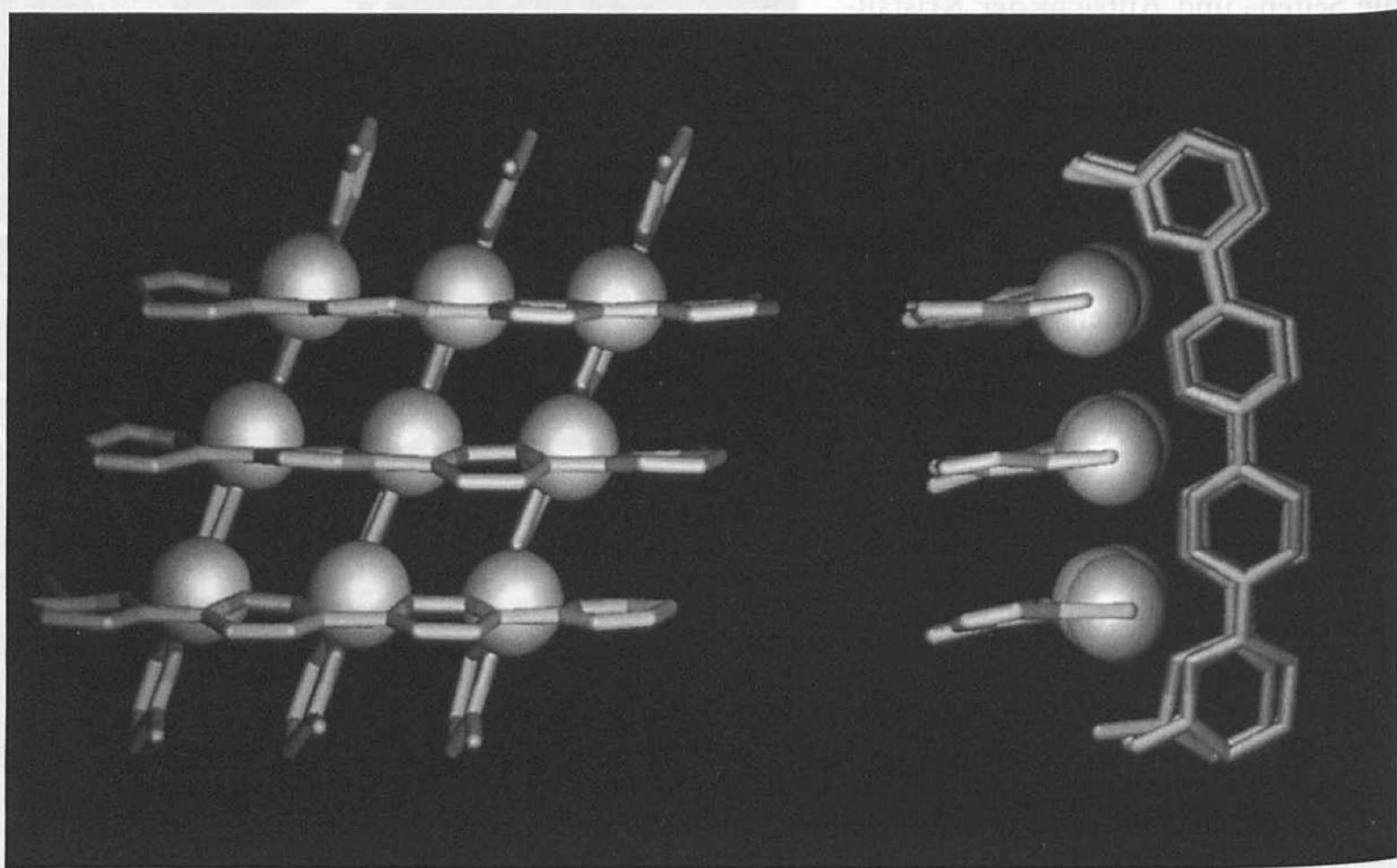


Foto: Jean-Marie Lehn

plötzlich defekt, erlaubt die Dynamik eine Korrektur durch Austausch des fehlerhaften Teils gegen ein neues, besser passendes und fehlerloses Molekül. Dieser Reparaturmechanismus gewährleistet das makellose Funktionieren und den perfekten stabilen Aufbau der supramolekularen Überstruktur. Interessant wäre es beispielsweise, Bildschirme aus solchen Materialien zu bauen: Wenn ein einzelner Bildpunkt wegen Abnutzung nicht mehr funktioniert, kann dieser Fehler wie von selbst wieder korrigiert werden.

Gerade diese beiden außerordentlichen Eigenschaften, die Anpassungsfähigkeit an äußere Umstände und der selbsterkennende Reparaturmechanismus, sind charakteristisch für supramolekulare Systeme und führen zu einer völlig neuen Dimension von Objekten und Materialien im Nanometerbereich, den sogenannten „schlau- en Materialien“ (smart materials).

EINE VISION

Wir haben gesehen, daß sich Moleküle spontan zu supramolekularen Übermolekülen zusammenfügen, und daß diese durch die Reversibilität ihrer Bildungen enorme Vorteile wie Anpassungsfähigkeiten und Selbstheilungsfähigkeiten aufweisen. Die

prinzipiellen Sachverhalte sind bisher nur an wenigen Systemen gezeigt worden, und es gilt, noch manche Hürde zu nehmen, bis anpassungsfähige Systeme für spezifische Probleme zur Verfügung stehen.

Um zu zeigen, daß damit aber keineswegs das Potential der supramolekularen Chemie und ihrer Anwendung in der Nanotechnik ausgeschöpft ist, erlauben Sie uns nun, eine kurze Vision zu formulieren. Bisher basiert die Anpassungsfähigkeit der beschriebenen Objekte nur auf einer strukturellen Änderung des Übermoleküls, nicht aber seiner Bausteine. Gelingt es nun, Systeme zu finden, die unter äußerem Einfluß die molekularen Bausteine selbst derart umbauen, daß sie zu einer neuen Überstruktur führen, so erhält diese Anpassungsfähigkeit eine gänzlich neue Qualität. Das System selbst wird in einem gewissen Sinne lernfähig – es paßt sich nicht nur passiv den äußeren Umständen an, sondern baut sich aktiv derart um, daß es den veränderten Randbedingungen besser entspricht. Im Sinne des Bildes der „schlau- en Materialien“ würden derartige Systeme dann zu lernfähigen, vielleicht sogar zu „intelligenten Materialien“ führen. Dies ist zugegebenerweise noch Zukunftsmusik, und die heutige Forschung ist noch weit

davon entfernt, derartige Systeme zu entwerfen. Dennoch vermag sie anschaulich aufzuzeigen, daß das Potential der supramolekularen Chemie und ihr Einfluß auf die Nanotechnik bei weitem noch nicht ausgereizt sind. Die Selbstorganisation erlaubt die Nanofabrikation und Nanomanipulation zu umgehen, indem sich die Überstrukturen spontan, aber kontrolliert aus ihren Komponenten zusammenbauen, ohne daß Manipulationen von außen benötigt werden. Im Gegenteil,

Röntgenstruktur einer zylindrischen, käfigartigen Architektur aus drei verschiedenen Komponenten, die sich unter gewissen Bedingungen spontan zu der Überstruktur zusammenfügen. Die Komponenten sind drei starre Seitensäulen mit jeweils drei Bindungsstellen für Metalle, drei flache Bodenplatten mit ebenfalls jeweils drei Bindungsstellen für Metalle und neun Kupfer-Ionen.

wir stehen noch ganz am Anfang einer vielversprechenden und äußerst interessanten Entwicklung. Die Grenzen der erdenklichen Systeme scheinen hauptsächlich durch unser Vorstellungsvermögen, unsere Kreativität und Visionen gesetzt zu sein, daher ist an dieser Stelle die Phantasie eines jeden Lesers gefordert, lassen Sie ihr freien Lauf.

WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

J.-M. Lehn: Supramolecular Chemistry – Concepts and Perspectives, VCH Weinheim 1995

Literaturzitate zu den Abbildungen:

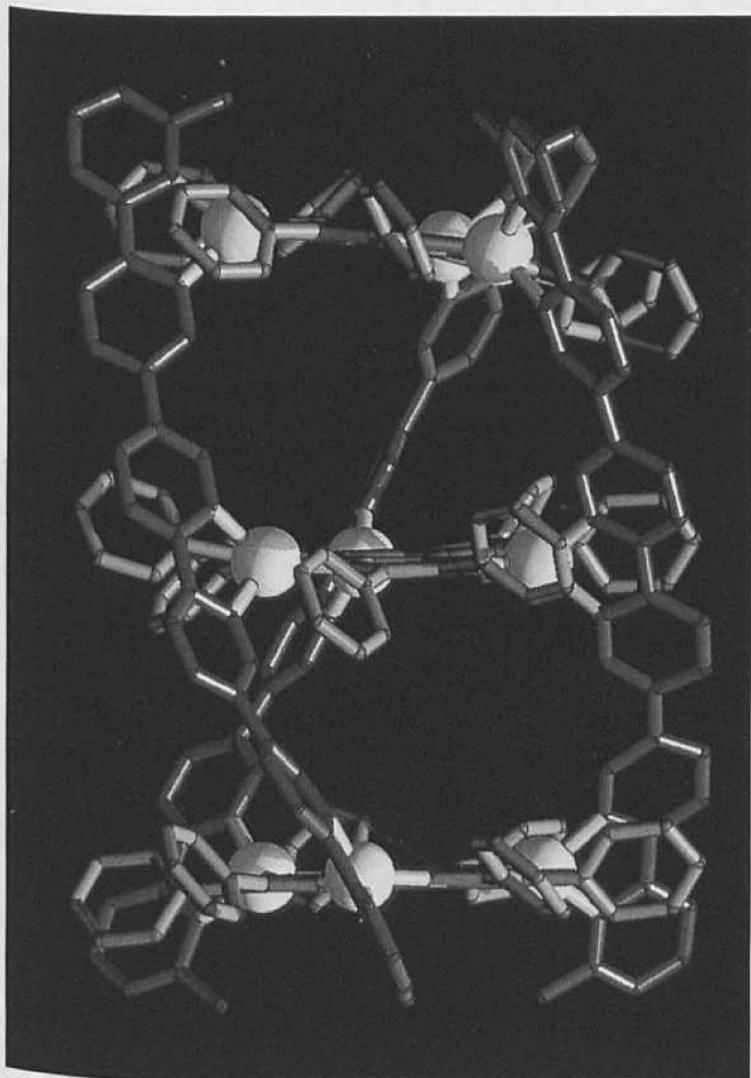
- [1]: J.-M. Lehn, A. Rigault, J. Siegel, J. Harrowfield, B. Chevrier, D. Moras, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 1987, 84, 2565.
- [2]: B. Hasenknopf, J.-M. Lehn, B. O. Kneisel, G. Baum, D. Fenske, Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1996, 35, 1838.
- [3]: B. Hasenknopf, J.-M. Lehn, N. Boumediene, E. Leize, A. Van Dorselaer, Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1998, 37, 3265.
- [4]: P. N. W. Baxter, J.-M. Lehn, J. Fischer, M.-T. Youinou, Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1994, 33, 2284.
- [5]: P. N. W. Baxter, J.-M. Lehn, B. O. Kneisel, G. Baum, D. Fenske, Chem. Eur. J. 1999, 5, 113.



DIE AUTOREN

Marcel Mayor, geboren 1965, wurde als Chemiker in Bern promoviert und arbeitete dann mit Jean-Marie Lehn in Strassburg. Zur Zeit arbeitet er an seiner Habilitation auf dem Gebiet der molekularen Elektronik am Forschungszentrum Karlsruhe.

Jean-Marie Lehn, geboren 1939, ist Professor am Collège de France auf dem Lehrstuhl für Chemie der molekularen Wechselwirkungen in Paris und Direktor des Instituts für supramolekulare Wissenschaften und Technologie (ISIS) an der Universität Louis Pasteur in Strassburg, wo er das Labor für supramolekulare Chemie leitet. Seine Leistungen im Bereich der supramolekularen Chemie wurden unter anderem 1987 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet.



SCHNELL GESCHALTET

Metallcluster als Einzelektronenschalter

VON GÜNTER SCHMID

Metallcluster, die aus nur ein paar Dutzend Atomen bestehen, haben völlig andere Eigenschaften als makroskopische Metallproben. Die Phänomene, die sich aus den Regeln der Quantenmechanik ergeben, lassen sich aber auch nutzen, beispielsweise in der Nanoelektronik.

Der griechische Philosoph Demokrit (ca. 460 – 380 v. Chr.) prägte als erster den Begriff „Atom“ (*atomos* = unteilbar) für das kleinste Teilchen eines Stoffes. Wir wissen aber seit Thomsons 1897 durchgeführten fundamentalen Experimenten, daß Atome durchaus weiter teilbar sind. Demokrit hat aber insofern recht behalten, als Atome in der Tat die kleinsten Bausteine eines Elementes sind, weil in ihnen alle Eigenschaften des makroskopischen Stoffes (Bulk) angelegt sind und nicht im einzelnen Elektron, Proton oder Neutron, aus denen sich die Atome zusammensetzen.

Bei seinem Gedankenexperiment hat sich Demokrit im Grunde einfach vorgestellt, was resultieren muß, wenn ein Stoff, beispielsweise ein Metall wie Gold, bis zum ultimativ kleinsten Teilchen zerkleinert wird. Dabei hat dieser weise Mann allerdings eines nicht ahnen können: Wäre er nämlich in der Lage gewesen, das Experiment tatsächlich durchzuführen, so hätte er festgestellt, daß lange vor dem Erreichen einzelner Atome die Goldpartikel zuerst blau, dann rot und schließlich grün geworden wären. Er hätte wohl auch bemerkt, daß diese Teilchen nicht mehr, wie massives Gold, bei 1064 Grad Celsius (°C), sondern größenabhängig bei immer niedrigeren Temperaturen schmelzen.

Ansicht einer Fläche, die mit ligandstabilisierten Gold-Clustern (Au_{55} , blau dargestellt) belegt wurde.

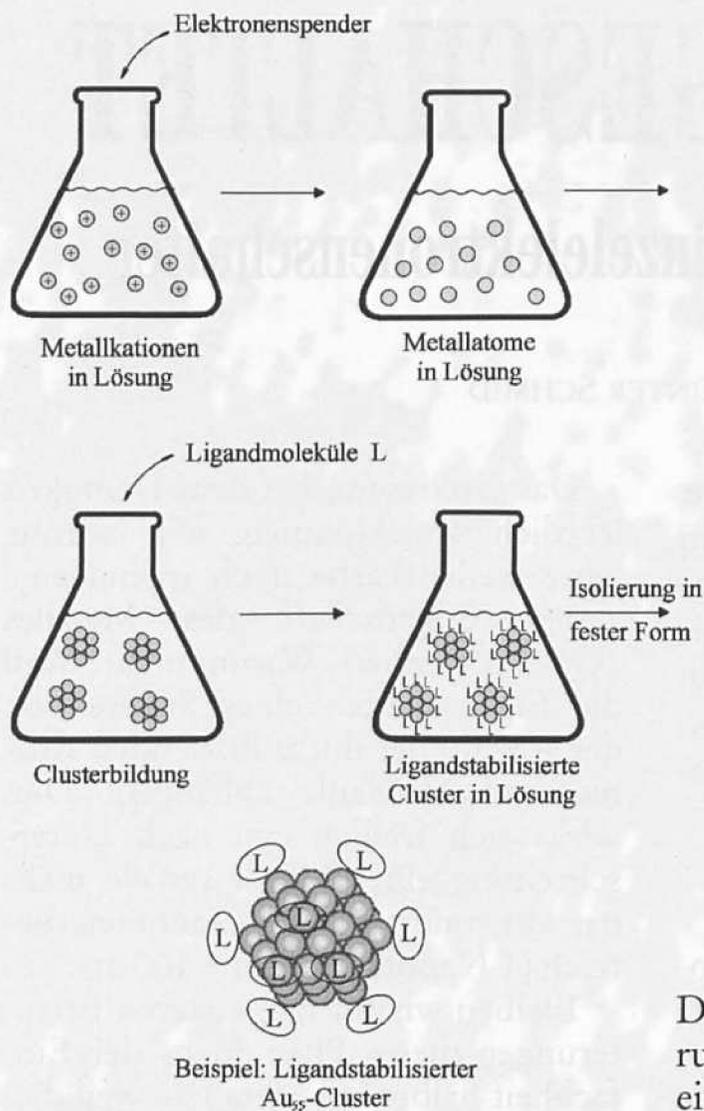
Das Goldatom, bei dem Demokrit letztlich angekommen sein würde, hätte weder Farbe noch irgend eine andere Eigenschaft des Metalles „Gold“ offenbart. Warum nicht? Weil die Eigenschaften eines Stoffes von der Anzahl der ihn aufbauenden Atome und Moleküle abhängen! Dies wirkt sich freilich erst nach Unterschreitung einer Mindestgröße meßbar aus, und zwar im Nanometerbereich (1 Nanometer, nm = 10^{-9} m).

Bleiben wir für die weiteren Erläuterungen dieses Phänomens der Einfachheit halber bei Metallen, weil diese relativ einfache Strukturen, dafür jedoch interessante elektronische Eigenschaften besitzen. Wie klein muß ein Metallteilchen nun wirklich werden, um die typischen Bulk-Eigenschaften meßbar zu verändern? Diese Frage können wir mittlerweile einigermaßen zuverlässig beantworten, nachdem wir uns viele Jahre mit der Synthese solch kleiner Metallpartikel (Cluster) beschäftigt haben.

ZWEI WEGE, EIN ZIEL

Der Zugang zu Metallclustern kann prinzipiell durch Verkleinerung größerer Teilchen oder umgekehrt durch den Aufbau aus Atomen erfolgen. Diese sogenannte Bottom-up-Methode hat sich als ein chemisch relativ einfacher Weg erwiesen. Metallatome werden in Lösung aus positiv geladenen Ionen durch geeignete Reduktionsmittel (Elektronen-Lieferanten) erzeugt. Einzelne Metallatome sind sehr reaktiv und lagern sich, auch in Lösung, schnell zusammen (Koaleszenz). Letztlich würde sich bei diesem Vorgang ein Metallniederschlag bilden, wie dies zum Beispiel bei der Verspiegelung von Glas mit Silber geschieht.

Will man jedoch Cluster aus nur einigen Dutzend oder vielleicht ein paar tausend Atomen erzeugen, muß



Schematische Darstellung der Clusterherstellung.

der Wachstumsprozeß rechtzeitig gestoppt werden. Dies geschieht durch geeignete Moleküle (Liganden L), die an die Cluster-Oberfläche gebunden werden und so das Weiterwachsen verhindern. Die Beschaffenheit dieser Moleküle erlaubt auch den vorläufigen Verbleib der Cluster in Lösung, woraus sie schließlich durch geeignete Verfahren, wie sie in der Chemie üblich sind, isoliert werden können. Die Abbildung oben verdeutlicht in vereinfachter Form den Vorgang der Clusterbildung.

Für die Untersuchung ihrer Eigenschaften ist es wichtig, daß die Cluster eine möglichst einheitliche Größe und Struktur besitzen. Ferner ist zu berücksichtigen, daß die Eigenschaften dieser Teilchen stets auch dem Einfluß der Ligandhülle unterliegen, also nicht direkt mit „nackten“ Clustern zu vergleichen sind. Trotz dieses Handicaps konnten im Laufe des vergangenen Jahrzehnts außerordentlich aufschlußreiche Studien an ligandgeschützten Clustern vorgenommen werden.

Naturgemäß sind diejenigen Experimente am interessantesten, die Auskunft über das elektronische Innenle-

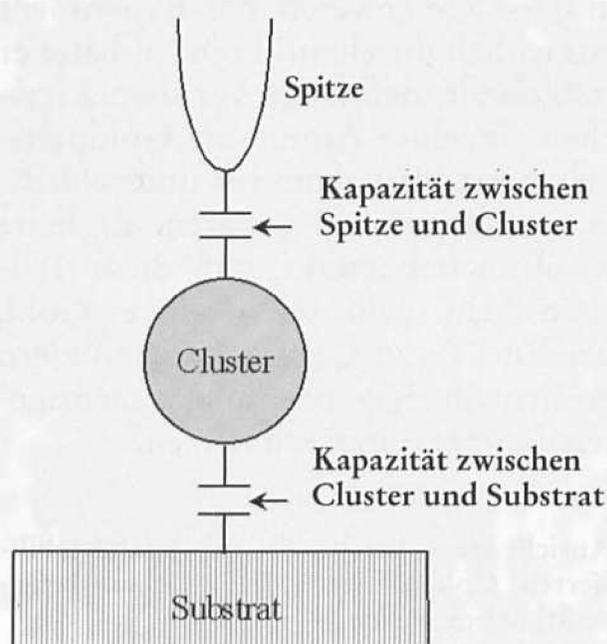
ben der Partikel geben können; hier ist es die Frage nach dem Entstehen und Vergehen des metallischen Zustandes.

Sogenannte Strom-Spannungskennlinien eignen sich hierfür besonders, weil sie Abweichungen vom Ohmschen Gesetz anzeigen: Bulk-Metall zeigt eine lineare Strom-Spannungs-Abhängigkeit. Teilchen, die so klein sind, daß die elektronische Bandstruktur des Metalls beginnt, sich in diskrete Energieniveaus aufzuspalten, folgen diesen klassischen physikalischen Gesetzmäßigkeiten nicht mehr. An ihre Stelle treten quantenmechanische Regeln.

QUANTENMECHANISCHE EFFEKTE

Dieser größenabhängige Quantisierungseffekt (QSE) kann am besten an einzelnen Clustern beobachtet werden, die mit einer dünnen Isolatorschicht versehen, zwischen zwei Metallspitzen oder einer Spitze und einem anderen leitfähigen Kontakt angebracht sind. In unserem Fall besteht die Isolatorschicht aus den organischen Ligandmolekülen. Verhält sich ein Metallteilchen wegen seiner geringen Größe nicht mehr metallisch, so kann nach dem Übertritt eines einzelnen Elektrons von der Spitze auf das Teilchen nicht sofort ein zweites, drittes und so weiter folgen, sondern das erste Elektron blockiert dies durch seine negative Ladung so lange, bis diese sogenannte „Coulomb-Barriere“ durch die äußere Spannung kompensiert wird.

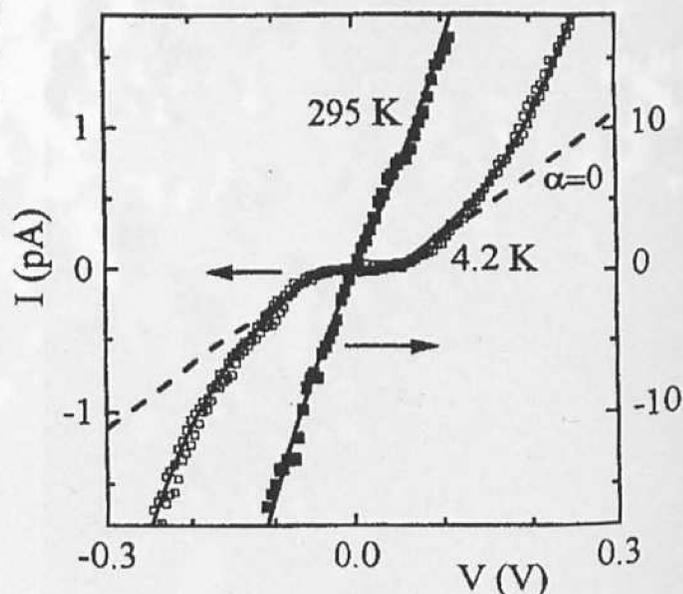
Dieses Phänomen ist nicht nur von der Teilchengröße, sondern auch von



der Temperatur abhängig. Nach der Beziehung $E_{el} = e^2/2C \gg k_B T = E_{kin}$ muß die elektrostatische Energie E_{el} eines Elektrons zur Beobachtung solcher Einzelelektronenübergänge (Single electron transfer, SET) sehr viel größer sein als die kinetische Energie E_{kin} , da Elektronen sonst unkontrolliert von der Spitze in den Cluster übergehen können. Da die Kapazität C unter anderem direkt proportional zur Teilchengröße ist, wird E_{el} um so größer, je kleiner der Cluster ist. Anders ausgedrückt: Je kleiner der Cluster, um so höher kann die Temperatur T werden, um SET-Vorgänge auszulösen.

Das ist für mögliche spätere Nutzungen von Bedeutung, wo man natürlich möglichst bei Raumtemperatur arbeiten möchte. Gelingt es nämlich, Cluster geeigneter Größe für derartige SET-Vorgänge zu nutzen, hätte man den kleinstmöglichen Schalter, der mit einem einzigen Elektron arbeitet. Derzeit sind noch circa 10^4 Elektronen zur Schaltung siliciumbasierter Transistoren erforderlich.

Die Abbildungen unten zeigen neben dem Meßprinzip experimentelle Ergebnisse von Strom-Spannungs-Untersuchungen unterschiedlich großer Metallcluster in Abhängigkeit von der Temperatur. Die Abbildung Seite 25 oben zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines ligandstabilisierten 17 nm großen Palladium-Clusters, der zwischen zwei Platinspitzen festgehalten wird. Die

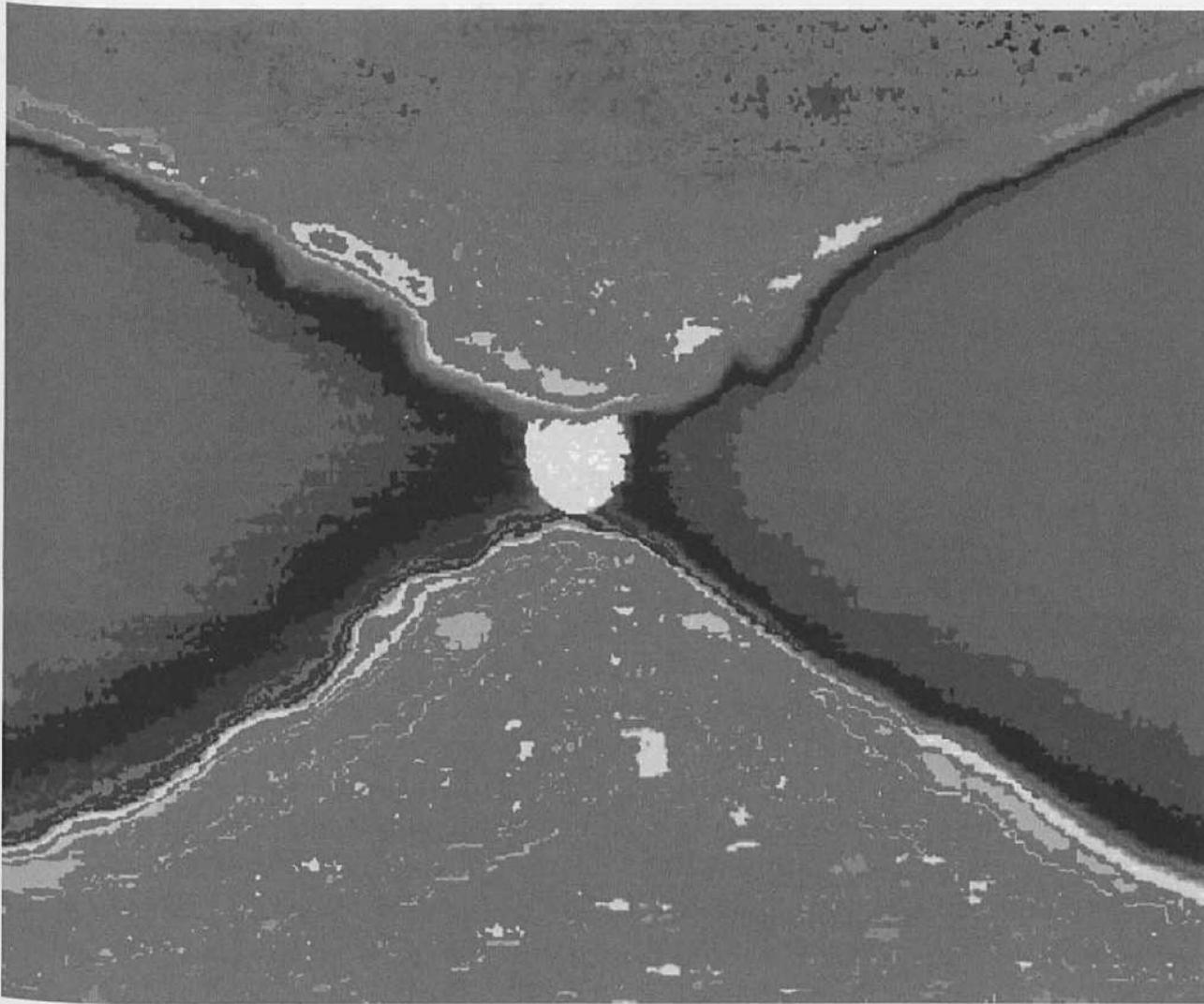


Links: Meßprinzip zur Untersuchung einzelner Cluster.

Oben: Strom-Spannungs-Kennlinien dieses Clusters bei 295 und 4,2 Kelvin. Die Gerade bei 295 K dokumentiert metallisches Verhalten nach den Ohmschen Gesetzen, während bei 4,2 K eine Coulomb-Barriere zu sehen ist.

DER AUTOR

Prof. Günter Schmid, geboren 1937, ist Inhaber des Lehrstuhls für anorganische Chemie an der Universität Essen, wo er sich schwerpunktmäßig mit der Herstellung und Untersuchung von Metallnanoclustern befaßt. Neben ca. 250 Originalarbeiten publizierte er mehrere Monographiebeiträge und gab 1994 das Buch *Clusters and Colloids* heraus.



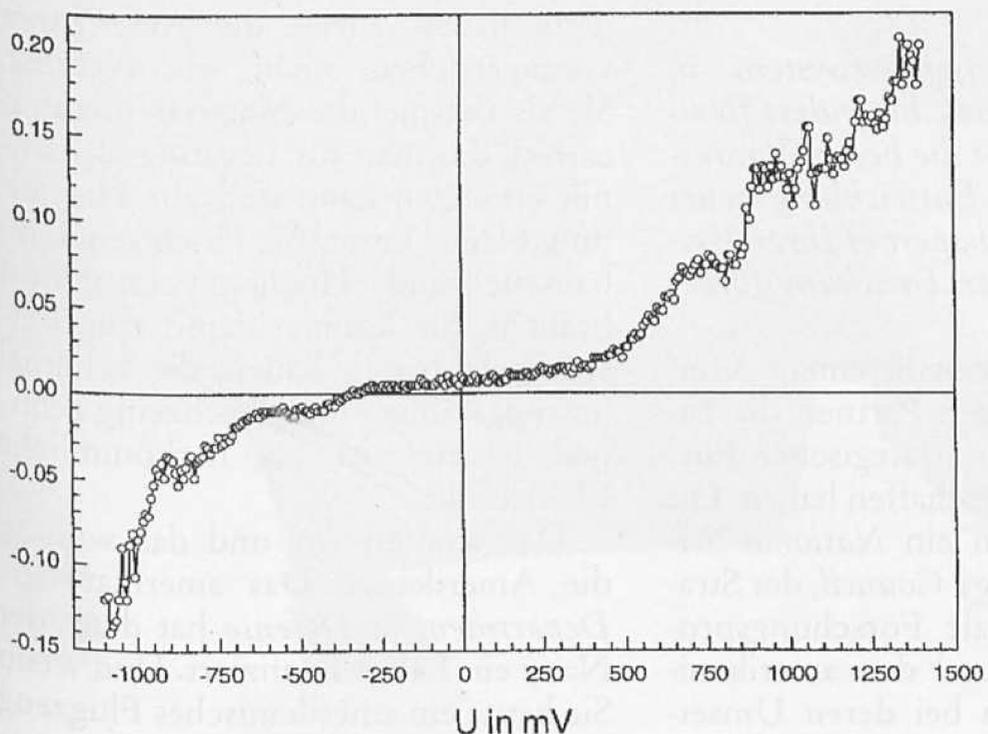
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines 17 nm messenden ligandstabilisierten Palladiumclusters (Mitte) zwischen zwei Platinspitzen. Die dünne Ligandhülle ist nicht zu erkennen.

Ligandhülle ist nicht sichtbar. Das Meßergebnis (siehe S. 25) belegt, daß bei 295 Kelvin ($\approx 22^\circ\text{C}$) eine lineare Strom-Spannungs-Abhängigkeit existiert, die Ohmsches, also Bulk-Verhalten signalisiert. Bei 4,2 K dagegen erkennt man eine typische Coulomb-Barriere zwischen etwa $-0,1$ und $+0,1$ Volt, ein Beweis für das quantenme-

chanische Verhalten dieses Teilchens bei der Temperatur flüssigen Heliums.

Der Sprung zu einem Cluster mit einem Zehntel des Durchmessers ist in Abbildung unten zu sehen. Bereits bei Raumtemperatur wird nun eine ausgeprägte Coulomb-Barriere sichtbar, ein Beweis für die SET-Schaltefunktion dieses Clusters bei Raum-

Strom-Spannungs-Kennlinie eines einzelnen ligandstabilisierten Au_{55} -Clusters ($\text{Ø} = 1,4 \text{ nm}$) bei Raumtemperatur. Die Kleinheit des Clusters gestattet Einzelelektronenschaltung bereits bei Raumtemperatur.



temperatur. Übrigens handelt es sich hierbei um einen Cluster aus nur noch 55 Goldatomen ($\text{Ø} = 1,4 \text{ nm}$), der sich in jeder Hinsicht als der ideale metallische „Quantenpunkt“ auch für weitere Entwicklungen erwies.

Diese Entwicklungen werden sich für geraume Zeit auf die Erzeugung gezielter Anordnungen von Clustern für mögliche künftige Einsätze in der Nanoelektronik konzentrieren müssen. Es ist uns kürzlich erstmals gelungen, mehrere tausend Au_{55} -Cluster in einer Schicht regelmäßig anzuordnen. Die Abbildung Seite 22 zeigt einen Ausschnitt aus einer solchen Oberfläche. Die Cluster tragen in diesem Falle eine Ligandhülle aus Phosphanmolekülen (PR_3).

ENORME RECHENLEISTUNGEN

Gelingt es, diese als Transistoren wirkenden Cluster in solchen oder ähnlichen Anordnungen zu nutzen, sind Speicher- und Rechengeschwindigkeiten denkbar, die heutige Computergenerationen um das Millionenfache übertreffen können. Rund 8000 dieser Cluster-Schalter passen auf einen heutigen Siliziumtransistor. Anders ausgedrückt benötigte die gleiche Anzahl derzeit verfügbarer Transistoren, zum Beispiel auf einem 64 Megabit-Chip, eine etwa 100.000mal größere Fläche, entsprechend aufwendige elektronische Schaltvorgänge eingeschlossen.

Selbstverständlich sind noch gewaltige Anstrengungen notwendig, um diese grundlegenden Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen. Viele ungelöste Probleme stehen an. Das immense Interesse großer Computerhersteller an quantenmechanisch basierten Chips zeigt jedoch, daß diese Technologie wohl nicht aufzuhalten sein wird. □

STRATEGISCHE FORSCHUNGSPLANUNG

Wie innovative Technologien gefördert werden können

KULTUR & TECHNIK IM GESPRÄCH MIT NIKOLAUS FIEBIGER

Professor Dr. Nikolaus Fiebiger war Rektor und Präsident der Universität Erlangen-Nürnberg und langjähriger Geschäftsführer der Bayerischen Forschungstiftung. *Kultur & Technik* hat ihn zu den Förderungsmöglichkeiten von Zukunftstechnologien im internationalen Vergleich und zu den Aussichten der Nanotechnik befragt.

Kultur & Technik: *Herr Professor Fiebiger, immer mehr Forscher im In- und Ausland arbeiten auf dem Gebiet der Nanotechnik. Auch die Bayerische Forschungstiftung fördert Projekte, bei denen es um kleinste Strukturen geht.*

Fiebiger: Die Bayerische Forschungstiftung fördert Projekte, die innovativ sind und bei denen eine mögliche Umsetzung in Produkte erkennbar ist. Dazu gehören auch Projekte, bei denen kleinste Strukturen wichtig sind. Im einzelnen geht es dabei um die Entwicklung von Verfahren oder Anwendungen, etwa in der Mikromechanik, der Mechatronik und der Medizintechnik. Neben der Förderung von Forschungsverbänden – etwa zur Mikrosystemtechnik oder Lasertechnik – oder Großprojekten geben wir etwa die Hälfte unseres Geldes für Einzelprojekte aus.

K&T: *Können Sie Beispiele nennen?*

Fiebiger: Wir fördern zum Beispiel ein Projekt, das unter Verwendung optischer Lithographie Chips mit Stegbreiten von 120 Nanometern zu realisieren versucht. Der verfügbare Laser erzeugt Licht mit einer Wellenlänge von 157 Nanometern und kann mit der „normalen“ Optik keine Strukturen von 120 Nanometern erzeugen. Die Wellenlänge muß normalerweise kleiner sein als die Strukturen. Strahlung mit kleineren Wellenlängen kann

man aber nur mit einer völlig anderen und viel teureren Methode erzeugen, etwa der Elektronenstrahl-Lithographie.

K&T: *Das klingt sehr theoretisch. Wie sieht Forschungsförderung praktisch aus?*

Fiebiger: Es wurde herausgefunden, daß unter Berücksichtigung der Phase mit dem verfügbaren Laser auch Strukturen erzeugt werden können, die kleiner als die Wellenlänge sind. Jetzt müssen Wissenschaftler im Forschungsbereich Optik und die potentiellen Anwender zusammenarbeiten. Beide binden wir in einem Projekt zusammen. Ob das den gewünschten Erfolg bringt, ist natürlich noch offen. Das Beispiel zeigt, wie mühsam der Weg zu immer kleineren Strukturen sein kann. Nur interdisziplinäre Zusammenarbeit führt hier zum Erfolg.

ICH HABE IMMER MONIERT,
DASS WIR KEINE AUSREICHENDE STRATEGISCHE
FORSCHUNGSPLANUNG IN
DEUTSCHLAND UND IN DER
EU HABEN.

K&T: *Unser Forschungssystem in Deutschland ist nicht besonders flexibel und bietet nicht die besten Voraussetzungen für die Entwicklung neuer Technologien. Wo hapert es Ihrer Meinung nach bei der Forschungsförderung?*

Fiebiger: Wir stehen in einem Konkurrenzkampf gegen Partner, die Instrumente zu einer strategischen Forschungsplanung geschaffen haben. Die Amerikaner haben ein *National Science and Technology Council*, der Strategien für nationale Forschungsprojekte entwickelt und den amerikanischen Präsidenten bei deren Umset-

zung berät. Die Japaner können mit ihrem *Ministry of International Trade and Industry* (MITI) langfristige Ziele festsetzen. MITI sagt: „Das brauchen wir, um konkurrenzfähig zu sein“, und dann wird ein Programm aufgelegt. Zur Realisierung und zur Gewinnung geeigneter Firmen und Institutionen tragen in Japan kulturelle und gesellschaftliche Traditionen viel bei, so daß sich keiner der Mitarbeit entziehen und sagen kann: „Da machen wir nicht mit.“

Wer macht so langfristige Programme bei uns? Ich habe immer moniert, daß wir keine ausreichende strategische Forschungsplanung in Deutschland und in der EU haben.

K&T: *Hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) nicht weiter vorausschauende Programme? Was ist mit den Großforschungseinrichtungen? Trägt das aus Ihrer Sicht nicht weit genug?*

Fiebiger: Sie sind sicherlich nützlich, aber für große Programme – denken Sie zum Beispiel an das amerikanische Programm „Krieg der Sterne“, bei dem Milliarden in die Wissenschaft gepumpt worden sind – reicht das nicht. Aber auch viele kleinere Projekte haben zuerst die Amerikaner vorangetrieben, nicht wir. Nehmen Sie als Beispiel das Material Siliziumcarbid, das man für Leistungselektronik einsetzen kann und zur Herstellung blauer Laser, für Hochfrequenzbauteile und Hochtemperaturchips braucht. Sie können damit eine Leistungselektronik bauen, die zehnmal leistungsfähiger und gleichzeitig zehnmal leichter ist als herkömmliche Elektronik.

Das wußten wir und das wußten die Amerikaner. Das amerikanische *Department of Defense* hat dann der Navy ein Labor finanziert. Und wenn Sie heute ein amerikanisches Flugzeug



von einem Flugzeugträger aus starten sehen, ist es genau mit dieser Leistungselektronik ausgestattet. Natürlich sind mit dem Material auch bedeutende zivile Anwendungen möglich. Aber das alles ist ein Ergebnis strategischer Planung in den USA.

Das Entwicklungsprogramm für den *Airbus* war in Europa bislang das einzige technologische Projekt, das vergleichbar ist. Wer wagt sich aber heute an solche risikobehafteten, weit vorausschauenden Programme? Es gibt einige Felder, wo genau so etwas notwendig wäre, um sich der Übermacht

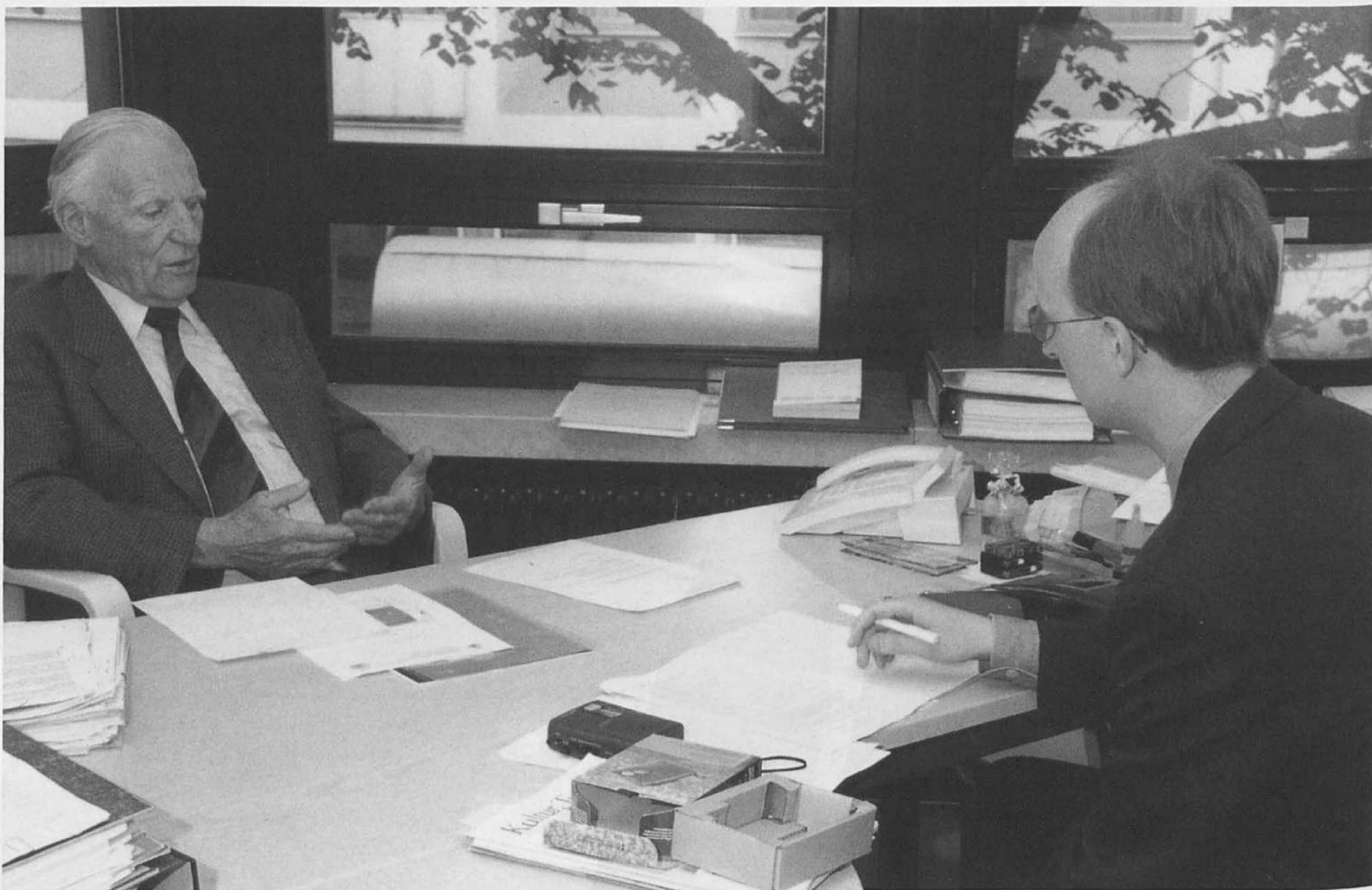
ern ein wissenschaftlich-technischer Beirat, der WTB. Er berät die Staatsregierung in Technologiefragen, erarbeitet Vorschläge für Forschungsschwerpunkte und stellt dabei auch langfristige Überlegungen an.

Wenn dann ein Programm empfohlen wird, stellt sich natürlich die Frage, wie es durch die Staatsregierung eingeleitet werden kann. Der WTB selbst hat zur Umsetzung keine eigenen Mittel. Man braucht aber mindestens 50 Millionen jährlich, um etwas erfolgreich anzustoßen.

sehr effizienten Technologietransfer initiiert. Das so „veredelte“ Geld fließt an die Wirtschaft zurück.

K&T: *Nun steht die Bayerische Forschungstiftung nicht isoliert da. Auf welche Weise kann sie die staatliche Forschungsförderung ergänzen?*

Fiebiger: Sie füllt eine Lücke in der allgemeinen Förderung, weil sie schneller und flexibler handeln kann als staatliche Einrichtungen, und weil sie sich – nach Empfehlungen des WTB – auf zukunftssträchtigen Feldern engagiert und dort Kompetenz sammelt.



von Amerika und Japan zu erwehren und eine herausragende Spitzenstellung einzunehmen. Denken Sie an die Entwicklung von Software. Aber wer in Europa macht die strategischen Konzepte?

K&T: *Wie sollte nach Ihrer Auffassung eine zukunftsorientierte Forschungspolitik aussehen?*

Fiebiger: Der Staat braucht für eine vorausschauende und langfristig angelegte Wissenschafts- und Technologiepolitik eine Beratung. Diese Rolle übernimmt seit einigen Jahren in Bay-

K&T: *Und da wurde ein Instrument gesucht, das diese Programme auch finanziell stützen kann.*

Fiebiger: Ja, und zwar ein flexibles Instrument. Eine Stiftung ist da ein geeignetes und weltweit erprobtes Instrument, um Fördermittel zu sammeln und schnell, unbürokratisch und zielgerichtet einzusetzen. Das Geld kommt in unserem Fall aus bayerischen Staatsbeteiligungen an Industrieunternehmen. Die Stiftung „veredelt“ dieses Geld, indem sie Wissenschaft und Wirtschaft in gemeinsamen Projekten zusammenführt und einen

Wenn die Industrie bereit ist, in gemeinsamen Projekten mit der Wissenschaft 50 Prozent der Kosten zu übernehmen, bedeutet das, daß das Vorhaben tatsächlich zukunftssträchtig ist.

K&T: *Warum legen Sie so großen Wert auf die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft?*

Fiebiger: Die Wissenschaft hat Kenntnisse, die für innovative Produkte hilfreich sein können, ja, sie erst ermöglichen. Die Wirtschaft ist an gerade solchen Produkten interessiert. Die Vorteile einer Zusammenarbeit liegen also

auf der Hand. Der Technologietransfer, der beide Partner zusammenbringen soll, funktioniert nach meiner Erfahrung aber nicht mit Hochglanz-Broschüren, sondern nur, wenn man Personen der beiden Lager zusammenbringt. Wenn Personen aus Wissenschaft und Wirtschaft gemeinsam an einem Projekt arbeiten, entsteht der optimale Technologietransfer. Das funktioniert hervorragend.

K&T: Und das ist verwirklicht bei Ihren Projekten?

Fiebiger: Genau das machen wir in den geförderten Projekten und bei den Forschungs-Verbänden.

DIE KETTE VON DER GRUNDLAGENFORSCHUNG BIS ZUM MARKTREIFEN PRODUKT MUSS ZU EINEM RING GEBOGEN WERDEN.

K&T: Sie standen in den 70er und 80er Jahren an der Spitze von Bayerns zweitgrößter Universität. Sicherlich war es Ihnen bereits in Erlangen wichtig, Wissenschaft und Wirtschaft zusammenzuführen?

Fiebiger: Ja, allerdings nicht ganz unangefochten, weil wir dabei angeblich die reine Wissenschaft verlieren. Das ist aber nicht stichhaltig. Man darf die anwendungsnahe Forschung nicht isoliert betrachten.

Wir haben von der Grundlagenforschung bis zum marktfähigen Produkt eine Kette, deren Glieder möglichst gleich stark sein sollten. Das erste Glied ist die Grundlagenforschung, von der die Universitäten und die Max-Planck-Institute den Löwenanteil erbringen. Dieses Glied wird in unserem Lande schwächer und steht sicherlich nicht im Mittelpunkt staatlicher Förderung. Selbst die DFG bekommt von den Politikern gesagt, daß sie mehr auf die Anwendung zielen soll.

In der Mitte der Kette häuft sich die anwendungsnahe Forschung, die bis zu den Prototypen reicht. Hier agieren etwa die Fraunhofer-Institute, die Großforschungseinrichtungen, ein Großteil der universitären Forschung und so weiter. Dann kommt – nach dem Prototyp – oft eine Lücke: Wer macht ein marktfähiges Produkt?

Wenn diese Kette nicht zu einem Ring gebogen wird, wenn wir mit einem marktfähigen Produkt also kein Geld für die Grundlagenforschung verdienen, können wir vorne auch nichts einspeisen und die Grundlagenforschung finanzieren.

K&T: Das klingt nach einer schwierigen Gratwanderung zwischen Grundlagen- und Anwendungsfor-

Fiebiger: Das ist zuweilen der Fall. Wir wollen in unseren Projekten den Weg zum marktfähigen Produkt fördern, aber uns nicht von der Politik dazu verführen lassen, nur Anwendungsforschung zu betreiben. Wenn ich bei der Arbeit an einem Forschungsprojekt die Idee habe, daß sich aus den Ergebnissen möglicherweise etwas anwenden läßt, muß ich diese Idee zum frühestmöglichen Zeitpunkt umsetzen. Sonst macht das die Konkurrenz.

Aufbauend auf dem Prototyp ist die Wirtschaft gefragt. Aber wenn die Leute, die an der Universität oder anderswo den Prototyp gebaut haben, nicht weiter an der technischen Entwicklung zum marktreifen Produkt mitarbeiten, geht die Entwicklung ja teilweise wieder von vorne los. Wertvolle Zeit wird so vergeudet. Wir müssen erreichen, daß dieses Know-how direkt von der Wissenschaft zur Wirtschaft transferiert werden kann. Dazu sind noch einige rechtliche und organisatorische Voraussetzungen zu schaffen.

K&T: Noch einmal zur Nanotechnik. Worin sehen Sie die besonderen Herausforderungen auf diesem Feld?

Fiebiger: Normalerweise liegen die Herausforderungen in bestimmten Anwendungen, die dazu zwingen, einzelne Techniken zu entwickeln, die aber dann auch wieder in anderen Feldern einsetzbar sind. Denken Sie an die immer kleineren Chips, die vielleicht nur noch Stegbreiten von 120 Nanometern haben. Zu deren Herstellung brauchen Sie eine neue Technik. Was Sie dann mit dem Chip machen, ist eine völlig andere Frage.

Wir fördern beispielsweise ein Projekt zur Mikropositionierung: Die Aufgabe ist dabei, ein größeres Werkstück auf einem Fräser oder ei-

ner Drehbank mikrometergenau zu positionieren. Eine wesentliche Rolle bei solchen mechanischen Aufgaben spielt die optische Meßtechnik. Hier suchen Sie für eine Anwendung die leistungsfähige Technik. Aber es geht genauso umgekehrt: Ich miniaturisiere und sage: „Die Anwendung wird sich schon finden.“ Wenn Herr Binnig ein neues Mikroskop erfindet, dann hat er ein Instrument geschaffen, mit dem man ungeheuer viele Dinge machen kann. Veranlaßt hat ihn vielleicht wissenschaftliche Spielerei nach dem Motto: „Das müßte doch gehen ...“.

K&T: Können Sie anhand der Projekte, die über Ihren Schreibtisch gelaufen sind, eine Trennlinie zwischen Mikro- und Nanotechnik sehen?

Fiebiger: Da ist keine scharfe Grenze. Mikro, Nano – das sind unsere Kategorien. In Wirklichkeit ist da ein Kontinuum. Sagen Sie 0,1 Mikrometer oder 100 Nanometer? Das Wort „Nanotechnik“ ist attraktiv, weil es neue Ziele zeigt, der Weg verläuft aber kontinuierlich zu immer kleineren Dimensionen.

K&T: Man erkennt aber auch an Ihren Projekten, wie wir auf dem Weg zu immer kleineren Strukturen sind.

Fiebiger: Ja, wir sind allmählich auf dem Weg in die Nanowelt, und es wird auch noch dazu kommen, daß jemand so etwas wie eine künstliche Stubenfliege baut. Dazu brauchen wir allerdings noch einige Dinge, die wir heute nicht haben und die wir uns vielleicht noch gar nicht ausmalen können.

Hier muß und wird die Natur unser größter Lehrmeister sein. □

Das Gespräch mit Professor Nikolaus Fiebiger führte Marc-Denis Weitze.

DER INTERVIEWPARTNER

Nikolaus Fiebiger, geboren 1922, Dr. rer. nat., war ordentlicher Professor für Experimentalphysik an der Universität Erlangen-Nürnberg und seit 1975 deren Präsident. Er ist Ehrenbürger der Stadt Erlangen und Ehrensensator der Technischen Universität München.

IST DIE NANOWELT MUSEUMSREIF?

Die Sammlungen des Deutschen Museums in München und Bonn

VON MAX SEEBERGER, ERNST HOFMEISTER UND MARC-DENIS WEITZE

Vom Flohglas zum Rastermikroskop

Mikroskope eröffnen uns eine für unsere Sinne unzugängliche Welt. Ohne diese Instrumente gäbe es die Mikro- und Nanotechnik nicht. In der Abteilung Optik des Deutschen Museums kann die Entwicklung dieser Instrumente, von den Anfängen um 1600 bis heute, verfolgt werden. An ausgewählten Originalen wird die lange Geschichte der „Licht-Mikroskope“ deutlich.

Diese Entwicklung reicht vom einfachsten Flohglas, das seinen Namen von dem in dieser Zeit wohl häufigsten Untersuchungsobjekt erhielt, bis zum Hochleistungsmikroskop, das es beispielsweise Robert Koch ermöglichte, die Erreger verheerender Seuchen zu identifizieren und damit den Weg zu ihrer Bekämpfung freizumachen. Das Auflösungsvermögen dieser Mikroskope wird durch die Wellenlänge des Lichtes begrenzt und liegt bei etwa 0,2 Mikrometer (=200 Nanometer).

In die Nanowelt kann man damit nicht eintreten. Erst die Erfindung des „Elektronen-Mikroskopes“ 1932 durch Ernst Ruska und Bodo von Borries, dessen Elektronenstrahl eine 100 000mal kleinere Wellenlänge als die des Lichtes aufweist, öffnete diese Türe. Allerdings müssen die Präparate dem Vakuum und dem hochenergetischen Elektronenstrahl standhalten. Das ist für den Betrieb notwendig. Ein originalgetreuer Nachbau des ersten Elektronenmikroskopes von Ruska (Abbildung) und das erste

serienmäßig von Siemens hergestellte Elektronenmikroskop sind in der Ausstellung zu sehen.

Das Licht-Mikroskop und das Durchstrahlungs-Elektronen-Mikroskop (TEM) funktionieren nach dem gleichen Prinzip. Sie erzeugen mit Glaslinsen bzw. elektromagnetischen Linsen ein reelles Bild des Objektes, das durch ein Okular bzw. auf einem Fluoreszenzschirm betrachtet werden kann.

EIN NEUER MIKROSKOPTYP: DIE RASTERMIKROSKOPE

Die Rastermikroskope sind dagegen dadurch gekennzeichnet, daß eine feine Sonde die Objektoberfläche Zeile für Zeile abtastet oder „abrastert“. An jedem Punkt der Probenoberfläche gibt es unterschiedliche Wechselwirkungen mit der Sonde. Aus diesen Signalen wird das Bild Punkt für Punkt zusammengesetzt. Das ist also eine ganz andere Art der Bildentstehung als bei den klassischen Mikroskopen.

Bei dem von M. Knoll 1934 erstmals beschriebenen und von Max von Ardenne 1937 konstruierten „Raster-Elektronen-Mikroskop“ ist ein feiner Elektronenstrahl auf die Oberfläche des Objektes fokussiert und rastert die Probe ab. Die Wechselwirkung zwischen Probenoberfläche, die elektrisch leitfähig sein muß, und Elektronenstrahl liefert die Signale für brillante plastische Bilder mit einer Auflösung, die heute im Nanometer-Bereich liegt.

Mit der Erfindung des Raster-Tunnel-Mikroskops (RTM), für die

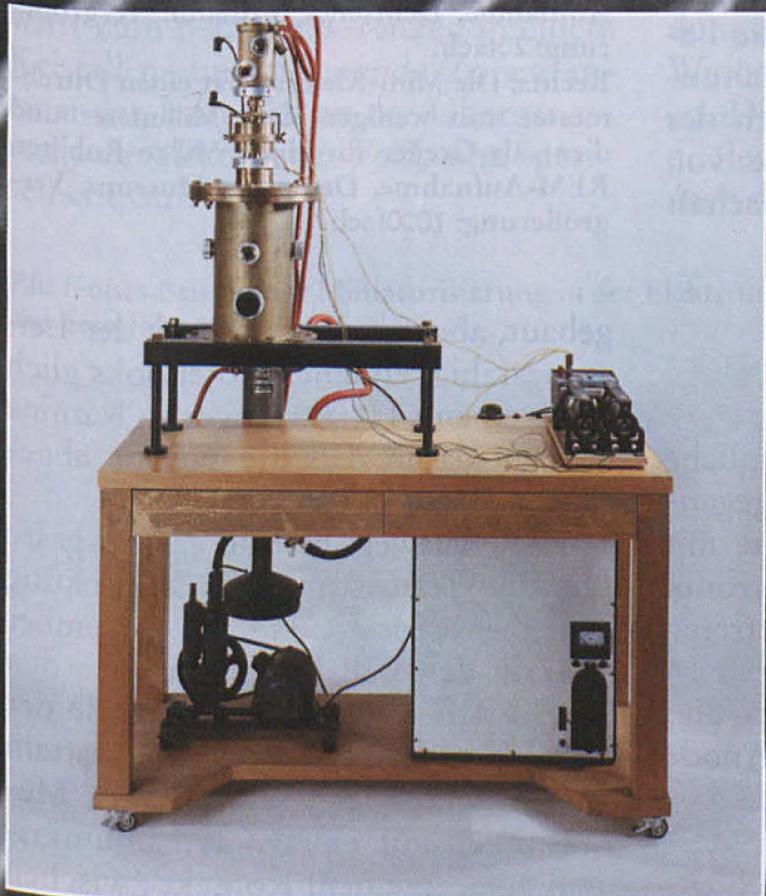
Gerd Binnig und Ernst Rohrer 1986 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet wurden, beginnt eine neue Ära. Seit dieser Zeit ist es möglich, nicht nur Strukturen in der Größe von Atomen zu sehen, sondern diese auch gezielt zu verändern. Hier sehen viele die eigentliche Geburtsstunde der „Nanotechnik“.

Beim Raster-Tunnel-Mikroskop wird eine feine Metallspitze durch Piezokristalle bewegt und so über die Probe geführt, daß sie deren Oberfläche gerade nicht berührt. Der zwischen Probe und Meßspitze fließende Tunnelstrom ist abhängig von der Topographie und dem Abstand zwischen Spitze und Probenoberfläche und liefert somit die Signale zur Bilderzeugung. Das RTM ist aber zugleich auch ein Werkzeug in der Hand des Nano-Technikers. 1990 gelang es damit erstmals, einzelne Atome gezielt zu plazieren.

BEOBACHTUNGEN IM ATOMBEREICH

Binnig und Rohrer haben das erste betriebsfähige RTM originalgetreu für das Deutsche Museum nachgebaut. Mit einem speziell für die Ausbildung an Hochschulen konstruierten RTM ist es möglich, den Besuchern Atome auf einer Graphitoberfläche zu zeigen.

Das Raster-Kraft-Mikroskop ist eine Weiterentwicklung des RTM. Bei ihm gleitet die feine Meßspitze direkt über die Probenoberfläche. Die dabei auftretenden Kräfte dienen zu deren Abbildung. Leider ist dieser Mikroskoptyp in der Ausstellung noch nicht vertreten. MS



Der Springschwanz ist ein ca. 1 Millimeter großes Insekt, das man öfters beim Gießen als kleines hüpfendes Pünktchen in der Blumenerde sehen kann. Er kann nicht naß werden. Die auf der Abbildung erkennbare Netzstruktur seiner Oberfläche hat einen wasserabweisenden Effekt.
REM-Aufnahme, Deutsches Museum, Vergrößerung: 10.000fach.

Kleines Bild: Das erste Elektronenmikroskop von Ernst Ruska, Berlin 1933, Vergrößerung: ca. 12.000fach. Das Original existiert nicht mehr. Das ausgestellte Instrument wurde unter der Anleitung von Ernst Ruska 1980 originalgetreu nachgebaut.

DSM 1950

—

#

—

8

157

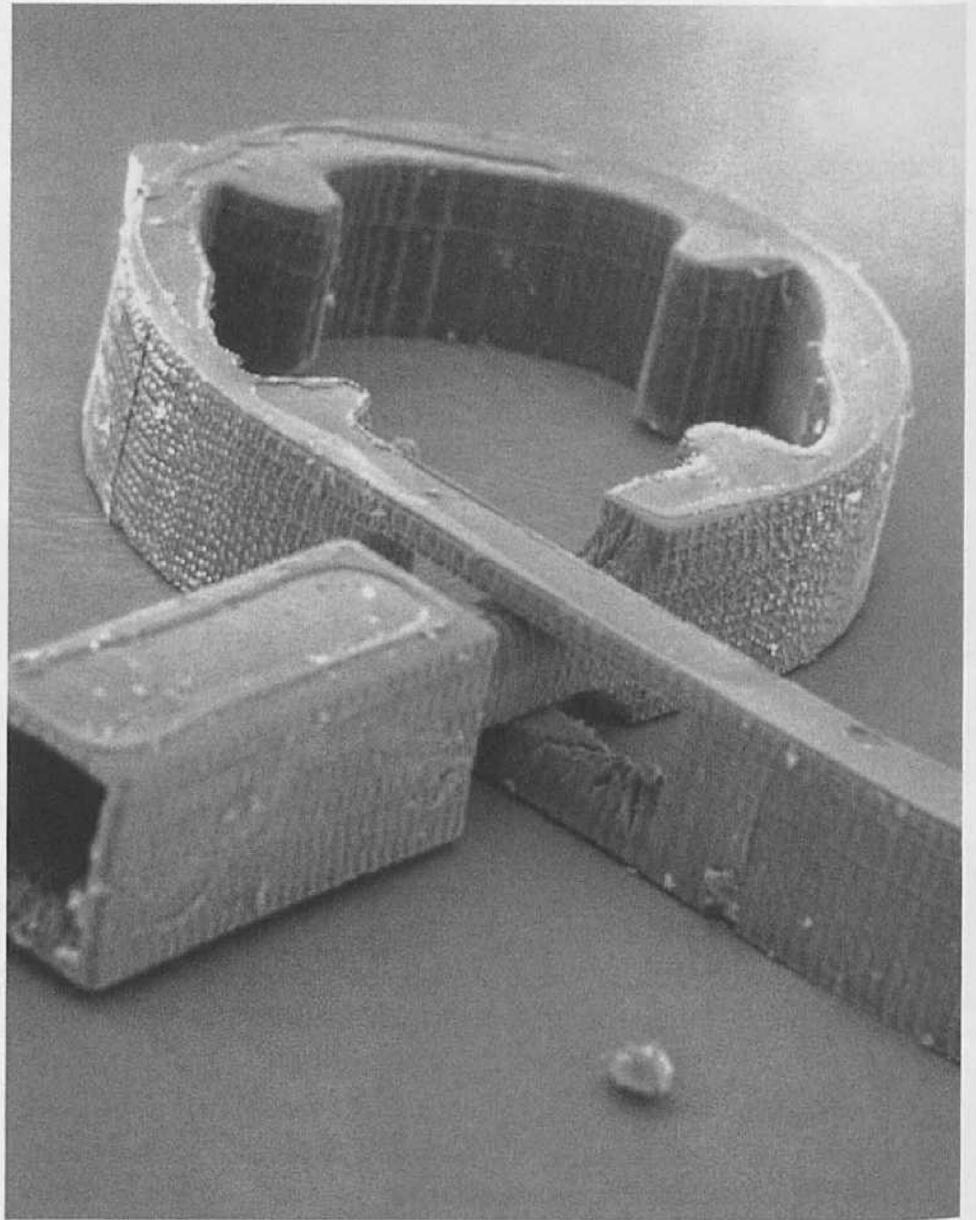
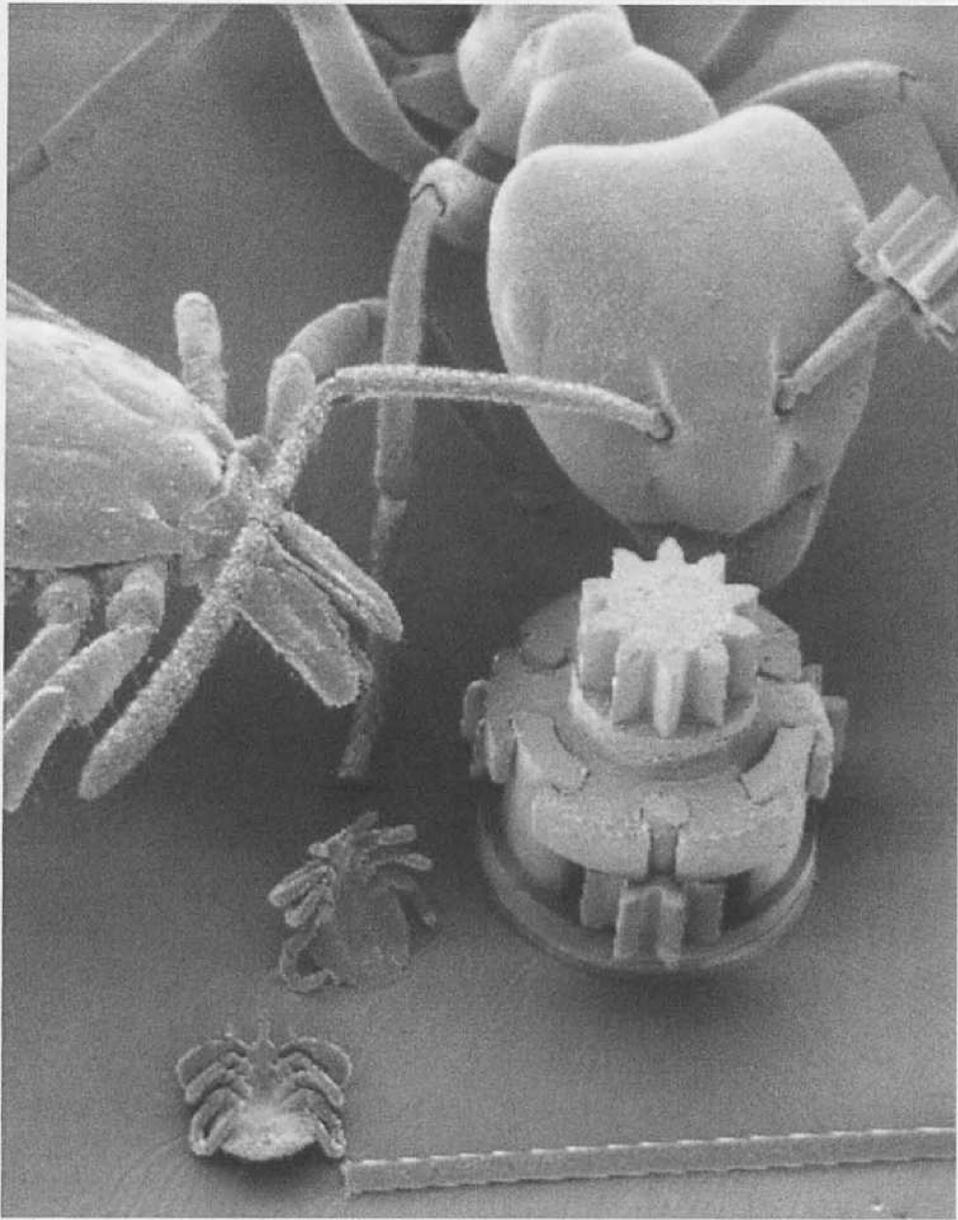
XZ

3647E
2995E

PH

99E

mm



Der Weg der Mikroelektronik

In der Mitte des 20. Jahrhunderts entstand ein elektronisches Bauelement, das die Welt veränderte: der Transistor. Seine Erfindung war ähnlich folgenreich wie die der Dampfmaschine, die zum Industriezeitalter führte. Der Transistor öffnete den Weg zur Informationsgesellschaft. Und als es gelang, den Transistor immer weiter so zu verkleinern, daß Millionen davon auf einem fingernagelgroßen Siliziumplättchen Platz fanden, die man zu einer Integrierten Schaltung leitend verband, konnte man von „Mikroelektronik“ sprechen.

Diese labyrinthartigen Schaltkärtchen im Miniformat drangen in alle technische Bereiche ein, revolutionierten technische Geräte und Systeme und riefen Tausende von neuen Anwendungen hervor.

Im Jahr 1990 wurde im Deutschen Museum die Abteilung „Mikroelektronik“ eröffnet. In der Ausstellung wird die geschichtliche Entwicklung dieser Halbleiterbauelemente dargestellt, und weltweit erstmals im Muse-

um zeigt sie auch in einer Fertigungsstraße, wie diese schier Wunder vollbringenden „Chips“ hergestellt werden. Ein Bergwerk im Keller, die Fabrikation der Integrierten Schaltungen hoch oben unter dem Dach des Museums – das sind Extreme von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik.

DIE GEBURT DES TRANSISTORS

Im Transistor spielen sich ähnliche Vorgänge ab wie in der vorausgegangenen Vakuum-Elektronenröhre, mit der 1906 die eigentliche Elektronik begann. In der Vakuumröhre treten Elektronen aus dem beheizten Draht der Kathode (negativer Pol) aus und fliegen durch das Vakuum zur Anode (positiver Pol). Zwischen beiden Polen befindet sich ein Metallgitter, dessen elektrische Spannung den Elektronenstrom in seiner Stärke verändert oder für die Signalübertragung moduliert. Die Nachteile der Vakuumröhren sind ihr großer Platz- und Energiebedarf und die Abwärme der Kathodenheizung. In der unmittelbaren Nachkriegszeit wurden zwar die ersten Computer noch mit Röhren

Links: Ameise und Zecke dienen hier zum Größenvergleich für ein Planetengetriebe, ein Meisterwerk der Mikrotechnik. REM-Aufnahme, Deutsches Museum, Vergrößerung: 20fach.

Rechts: Die Mini-Klemme hat einen Durchmesser von weniger als 2 Millimeter und dient als Greifer für einen Mikro-Roboter. REM-Aufnahme, Deutsches Museum, Vergrößerung: 1000fach.

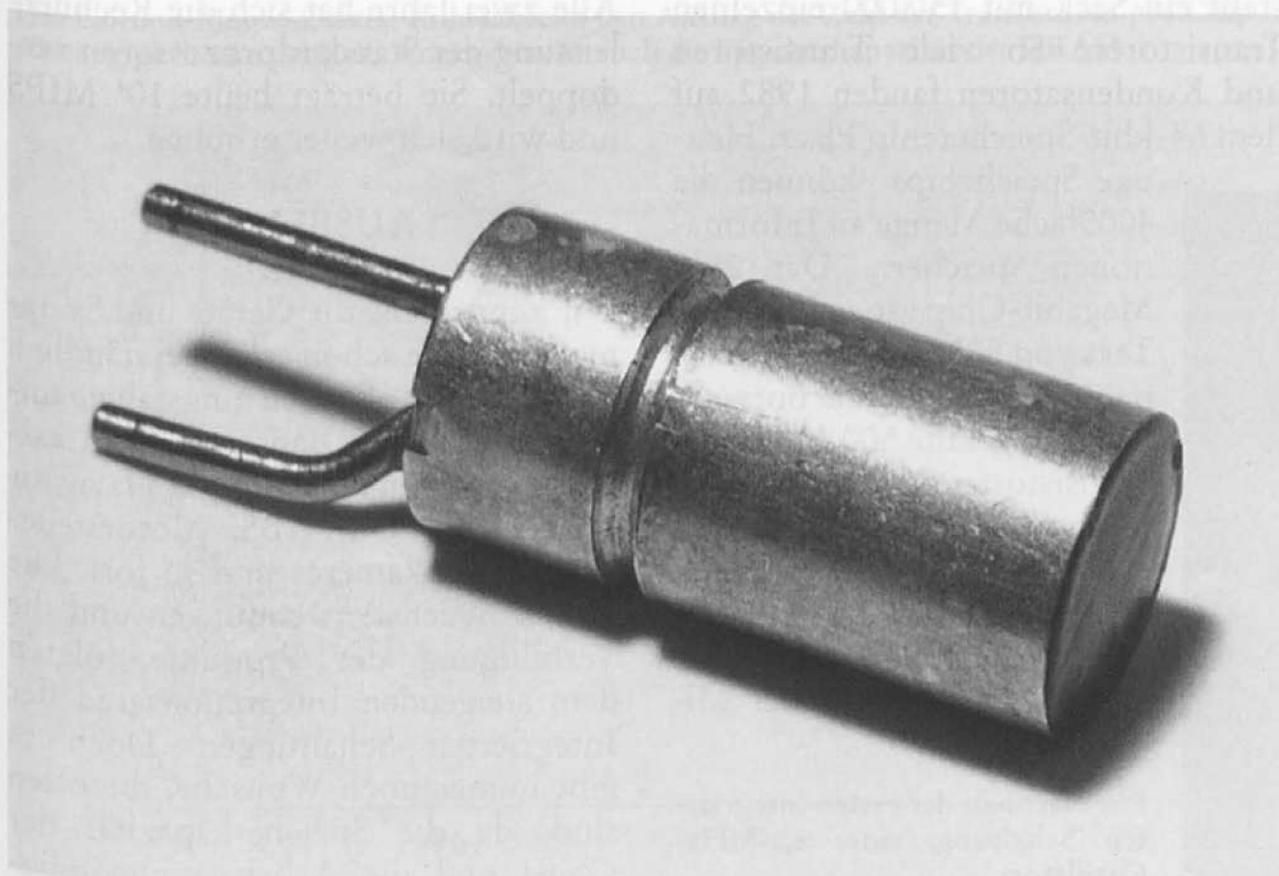
gebaut, aber ein Rechner mit der Leistungsfähigkeit eines Notebooks glich eher einem Heizkraftwerk. Kamine sorgten dafür, daß die Wärme abgeführt wurde.

Den Ausweg aus dieser Sackgasse bot der Transistor. Die Entdeckung des Transistoreffekts im Dezember 1947 in den Bell Laboratories in den USA wurde zu einer Sternstunde der modernen Technik. Walter Brattain und John Bardeen setzten zwei Metallspitzen auf einen Germaniumkristall auf. An einem Kontakt zwischen Metall und Halbleiter bildete sich eine Sperrschicht aus, die den Strom nur in einer Richtung hindurchließ. Als Brattain und Bardeen die Spitzen immer mehr annäherten, stellten sie fest, daß bei entsprechender Schaltung die eine Spitze Ladungsträger injizierte und die Sperrwirkung des zweiten

Spitzenkontakts verminderte. Dieser Verstärkereffekt führte schließlich zum Spitzentransistor (Abbildung unten). Man konnte mit kleinen Spannungen wie in der Elektronenröhre Ströme steuern und modulieren. Die Vorgänge im Vakuum wurden in das Innere eines Halbleiterkristalls gelegt. William Shockley erweiterte diese Anordnung zum flächenhaften Germaniumtransistor, der eine wesentlich höhere Stabilität aufwies als die Spitzenkontakte. Für ihre Entwicklungen erhielten Brattain, Bardeen und Shockley 1956 den Nobelpreis für Physik.

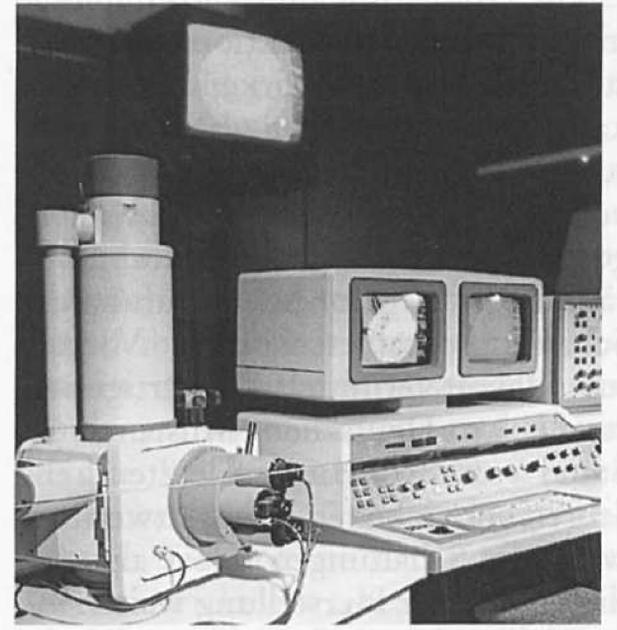
Das Rezept zum Bau eines Transistors besteht darin, einen reinen Halbleiterkristall wie Germanium oder Silizium mit Fremdatomen so zu dotieren, daß zwei unterschiedliche Leitungstypen entstehen. Reine Halbleiter haben keine freien Elektronen. Bringt man aber Spuren von Fremdatomen aus der 5. Gruppe des Periodischen Systems in das Kristallgitter, z. B. Phosphor, werden Elektronen frei. Man spricht von einem n-Leiter (negative Ladungsträger). Atome der 3. Gruppe wie Bor verursachen jedoch frei bewegliche positiv geladene „Löcher“. Der Halbleiter wird zum p-Leiter. Grenzen in einem Kristall n- und p-leitende Zonen aneinander, baut sich an der Übergangsstelle ein elektrisches Feld, eine Sperrschicht, auf.

Ein frühes Beispiel der Miniaturisierung in der Elektronik: Ein Spitzentransistor von Siemens aus dem Jahr 1953.



VORFÜHRUNGEN IN DER ABTEILUNG OPTIK

Das Deutsche Museum bietet Führungen durch die Abteilung Optik an. Besonders interessant sind die Vorführungen am Raster-Elektronen-Mikroskop von Zeiss. So kann man z. B. die Auferweckung eines Bärtierchens aus seiner Trockenstarre unter dem Lichtmikroskop miterleben und anschließend seinen Feinbau am Raster-Elektronen-Mikroskop bewundern. Unter der Vielzahl der vorhandenen Präparate befinden sich auch Beispiele aus der Mikrotechnik und zur Bionik. Ein winziges Zahnrad auf dem Fühler einer Ameise macht seine Dimensionen augenscheinlich, und die Greifwerkzeuge einer Laus können dem Bioniker Anregungen zur Lösung eines technischen Problems bieten. Der Besucher kann den Start des kleinsten Hubschraubers der Welt erleben – ein Meisterwerk der Mikro-



Digitales Raster-Elektronen-Mikroskop „DSM 950“, Carl Zeiss, Oberkochen, 1989. An diesem Mikroskop finden, wenn es die personelle Situation erlaubt, täglich Vorführungen statt.

technik – und anschließend über ein Stethoskop dessen Motor mit aufgeflanschem Planetengetriebe in Betrieb sehen.

Es gibt verschiedene Arten von Transistoren. Beim Injektionstransistor mit der Schichtenfolge npn oder pnp im Kristallinneren werden Ladungsträger injiziert, die den hohen Widerstand einer Sperrschicht abbauen. Die wichtigste Transistorart wurde jedoch der MOS-Transistor, der nach der Schichtenfolge Metal-Oxide-

Semiconductor benannt ist (Abbildung Seite 34). Dabei wird der Elektronenstrom im Silizium zwischen den Zonen mit den pn-Übergängen durch eine Spannung an einem Gate gesteuert, einem Metallfleck auf dem Siliziumoxid der Kristalloberfläche. Das Gate entspricht dem Gitter der Vakuumröhre.

IMMER MEHR – IMMER KLEINER

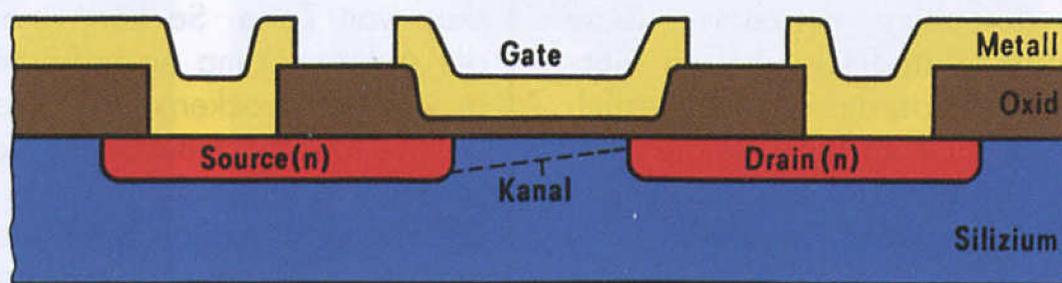
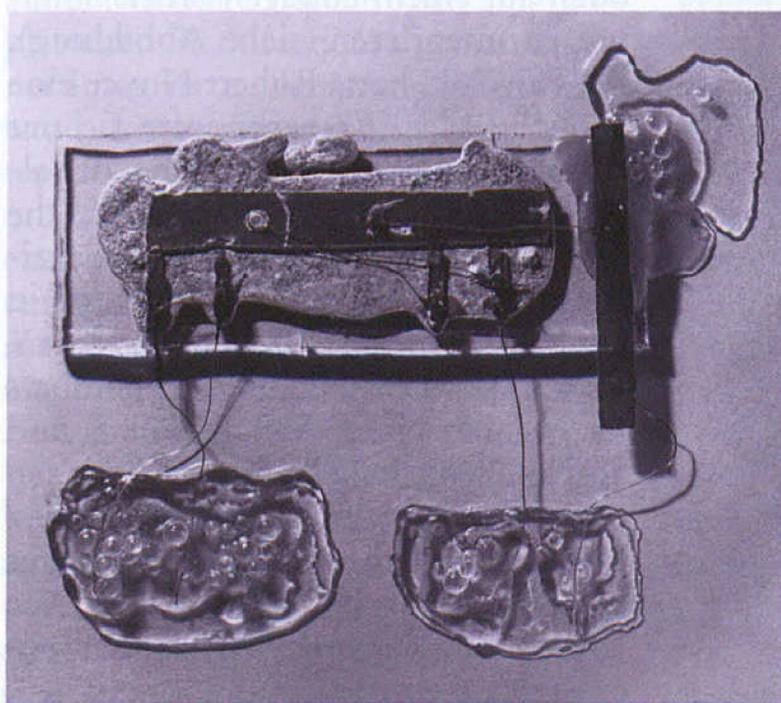
Jack Kilby von Texas Instrument hatte im Juli 1958 die Idee Widerstände, Kondensatoren, Transistoren und Dioden auf einem einzigen Stück Silizium zu integrieren (siehe Abbildung). Bei Fairchild hatte Robert Noyce eine ähnliche Idee. Er verknüpfte sie mit der Silizium-Planartechnik, bei der alle Bauelemente durch das gleiche technologische Verfahren der selektiven Eindiffusion der Dotieratome in die Kristalloberfläche erzeugt werden. Durch Überziehen der Kristalloberfläche mit einer Metallschicht und anschließendem teilweisem Wegätzen entstehen die gewünschten leitfähigen Verbindungsbahnen, die vorher mit Photomasken definiert wurden. Aus Tausenden von einzelnen Transistoren entsteht so eine Schaltung.

Die Umsetzung dieser Technologie in die Massenproduktion setzt ein subtiles Zusammenwirken der physikalischen, chemischen, photographischen und elektronischen Prozesse voraus: die Präzision der Herstellungsgeräte, die Reinheit der Produktionsräume, die elektronische Prüfung der Schaltungsparameter. Eine Vorstellung davon vermittelt die Fertigungsstraße im Deutschen Museum mit Stand von 1990. In den letzten zehn Jahren entwickelten sich weltweit sowohl die Schaltungen selbst als auch die Geräte zur Herstellung weiter.

Es gibt eine große Zahl verschiedener Integrierter Schaltungen, doch zwei Schaltungsarten ragen in ihrer Bedeutung als Speerspitze der Entwicklung und der Produktionszahlen heraus: die Speicherchips und die Prozessoren.

An der Zahl der Speicherplätze, gemessen in Bits, läßt sich die technische Entwicklung leicht darstellen. Sie begann 1970 mit bescheidenen 1000 Bit und strebt nun dem 1-Gigabit-Speicher zu (siehe Abbildung). Die Speicherkapazität vervierfachte sich alle 3 Jahre, wie es Gordon Moore schon 1970 vorausgesagt hatte. Oft wurde eine Grenze dieses Anstiegs in den letzten Jahrzehnten prognostiziert, doch immer wieder wurde sie durch technische Weiterentwicklungen hinausgeschoben.

Heute sieht man sie mit herkömmlicher Technik bei 64 Gigabit im Jahr 2010. „Herkömmlich“ heißt jedoch, daß man bei jeder Stufe neue Kunstgriffe entwickeln muß, denn die einzelnen Transistoren müssen ja immer kleiner werden, um einige Millionen davon auf einem daumennagelgroßen



MOS = Metall-Oxid-Silizium

Schema eines MOS-Transistors (n-Kanal-MOS)

Die Schnittzeichnung eines Metal-Oxide-Semiconductor-Transistors.

Kristallplättchen unterzubringen. Die kleinsten Strukturen bei den gegenwärtig in Produktion befindlichen 256-Megabit-Speicherchips liegen bei 250 Nanometer (nm). Beim 64-Gigabit-Speicher mit 70-nm-Strukturen werden weitere hochsensible und kostspielige Prozessschritte, vor allem in der Photolithographie, benötigt werden.

In einer Ecke der Mikroelektronik-Abteilung des Deutschen Museums steht ein Sack mit 150.000 einzelnen Transistoren. So viele Transistoren und Kondensatoren fanden 1982 auf dem 64-kbit-Speicherchip Platz. Heutige Speicherchips können die 4000fache Menge an Informationen speichern. Der 256-Megabit-Chip speichert den Text von 8000 Schreibmaschinenseiten. Die dazu notwendigen ungefähr 500 Millionen Transistoren und Kondensatoren würden den Rauminhalt der ganzen Abteilung übersteigen.

Die andere bedeutende integrierte Schaltung ist der Mi-

Ein Nachbau der ersten integrierten Schaltung, eines 1,3-MHz-Oszillators.

kroprozessor, 1970 von Ted Hoff bei Intel entwickelt. Er gehört zur Gruppe der Logikschaltungen, denn seine Transistoren verarbeiten Daten und Signale nach einem vorgegebenen logischen Programm. Seine Leistungsfähigkeit wird in Millionen Instruktionen pro Sekunde (MIPS) angegeben. Mit zunehmender Zahl der Transistoren auf dem Chip und Komplexität der Schaltung stieg auch die Leistungsfähigkeit der Prozessoren an. Alle zwei Jahre hat sich die Rechnerleistung der Standardprozessoren verdoppelt. Sie beträgt heute 10^4 MIPS und wird sich weiter erhöhen.

AUSBLICK

Wir kennen alle die Geräte und Systeme, die heute schon selbstverständlich sind, die aber ohne leistungsfähige mikroelektronische Bausteine nicht existieren würden: Mobilfunk, Navigationssysteme, PC, ABS, Motorsteuerung, Videokameras und so fort. Die immer neuen Anwendungen und die Verbilligung der Produkte folgten dem steigenden Integrationsgrad der Integrierten Schaltungen. Doch es gibt immer noch Wünsche, die offen sind, da die Speicherkapazität der Chips und die Arbeitsgeschwindig-

keit der Prozessoren nicht hoch genug sind. Zum Beispiel gibt es noch keine sprecherunabhängige Sprachverarbeitung, kein fehlerloses Lesen der Handschrift oder eine elektronische Sprachübersetzung in Echtzeit (man könnte damit deutsch in das Telefon hineinsprechen, und der japanische Gesprächspartner am anderen Ende hörte die Sätze in seiner Sprache). Die Geräte werden immer kleiner und auch preiswerter, da die Chips immer leistungsfähiger, aber kaum teurer werden.

Wo ist aber die Grenze der Miniaturisierung? In den nächsten 15 Jahren wird man mit der oben als „herkömmlich“ bezeichneten Technologie den Integrationsgrad weiter steigern. Natürlich sind ständig verbesserte Prozeßschritte, neue Verfahren, teure Geräte nötig, um im Jahr 2010 Strukturen von 30 nm zu beherrschen. Aus dieser Steigerung des Integrationsgrades ergibt sich eine neue Entwicklungsrichtung: die Integration ganzer Systeme auf einem Chip.

Je komplexer die Schaltungen werden, desto aufwendiger gestaltet sich die Designarbeit für den Schaltungsentwurf. Sie ist ohne Rechnerunterstützung undenkbar. Millionen von Transistoren sinnvoll zu einer Funktion miteinander zu verbinden, kann nur mit „Electronic Design Automation“ (EDA) geschehen. Allerdings hat sich bereits eine Schere geöffnet zwischen dem, was die Technologie ermöglicht, und dem, was die Ent-

wurfstechnik leistet: Die Entwurfstechnik hinkt der Technologie nach. Der Entwicklungsaufwand für EDA muß verstärkt werden, um deren Möglichkeiten auch ausschöpfen zu können.

DER WEG ZUR QUANTENELEKTRONIK

Die Grenzen der klassischen Physik bilden nicht unbedingt auch eine Grenze für die Entwicklungsfähigkeit der mikroelektronischen Strukturen. Isolierende Schichten eines Chips mit einer Dicke von 10 nm stellen für Elektronen keine Barriere mehr dar, sie „untertunneln“ diese Schicht. Chipentwickler haben diesen Quanteneffekt als Chance für die Einleitung eines neuen Stadiums der Elektronik erkannt. Benötigt man für die Ausführung einer Schaltfunktion in einem Transistor heute etwa 500.000 Elektronen, so genügen dafür in der Quantenelektronik etwa 10 Elektronen, im Prinzip genügt ein Elektron. Ein Chip mit 1-Elektron-Transistoren wurde 1998 als Laborversuch in Japan vorgestellt.

Ein MOS-Transistor der Quantenelektronik könnte so aussehen: Die beiden dotierten Kristallzonen Source und Drain (vergleiche Abbildung) rücken auf einen Abstand von einigen 10 nm zueinander. Werden durch eine kleine äußere Spannung am Gate die dazwischen vorhandenen Elektronen in den richtigen Energiezustand ge-

bracht, durchtunneln sie den isolierenden Abstand. Das Durchtunneln selbst erfolgt ohne Energieverlust. Damit entsteht auch keine Wärme.

Bei tiefen Temperaturen hat man den Quantentransistor-Prozeß schon nachgewiesen. Dabei genügt ein isolierender Abstand von 40 nm. Je näher man aber der Raumtemperatur kommt, desto kleiner müssen die Abstände zwischen Source und Drain werden. Bei Raumtemperatur werden Strukturen unter 10 nm verlangt. Die richtige Technologie dafür muß erst noch entwickelt werden. Aus der Mikroelektronik wird die Nanoelektronik. Quanteneffekte könnten schon beim 4-Gigabit-Speicher eine Rolle spielen, sicher aber bei dem für das Jahr 2015 prognostizierten 256-Gigabit-Speicher.

Die Mikroelektronik war eine Basiserfindung des 20. Jahrhunderts und entwickelte sich zum Innovationsmotor in vielen Bereichen. Im neuen Jahrhundert wird neben der Mikroelektronik die Nanoelektronik den Siegeszug der Informationstechnik fortsetzen. *EH*

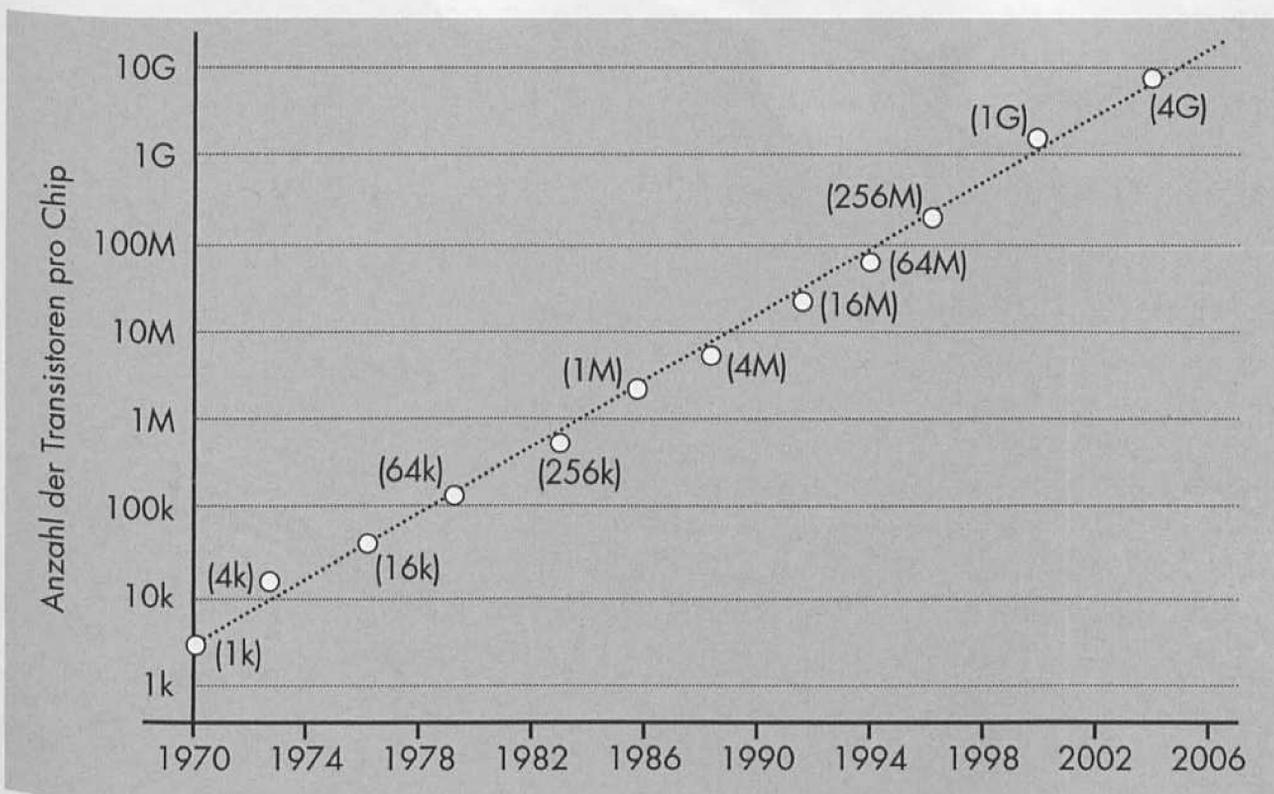
Ein Spaziergang durch die Nanowelt in Bonn

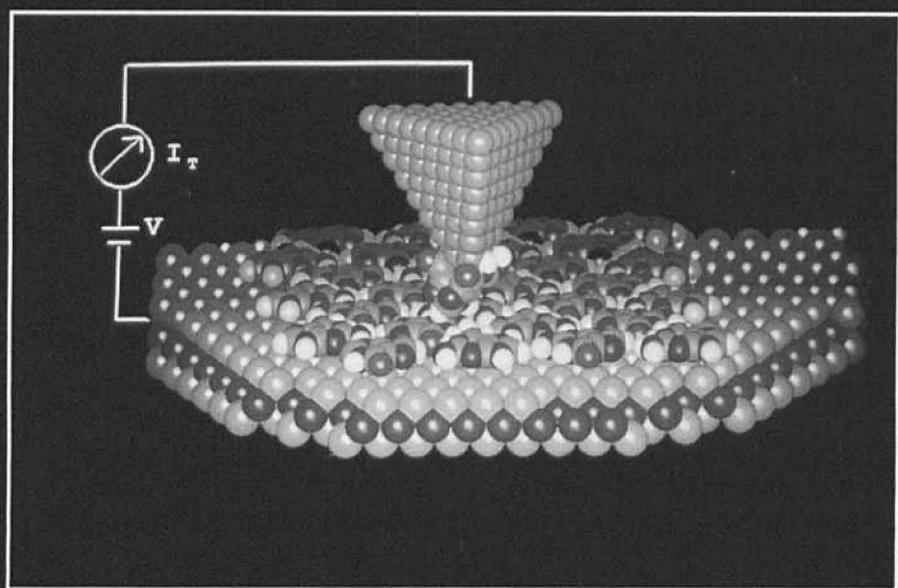
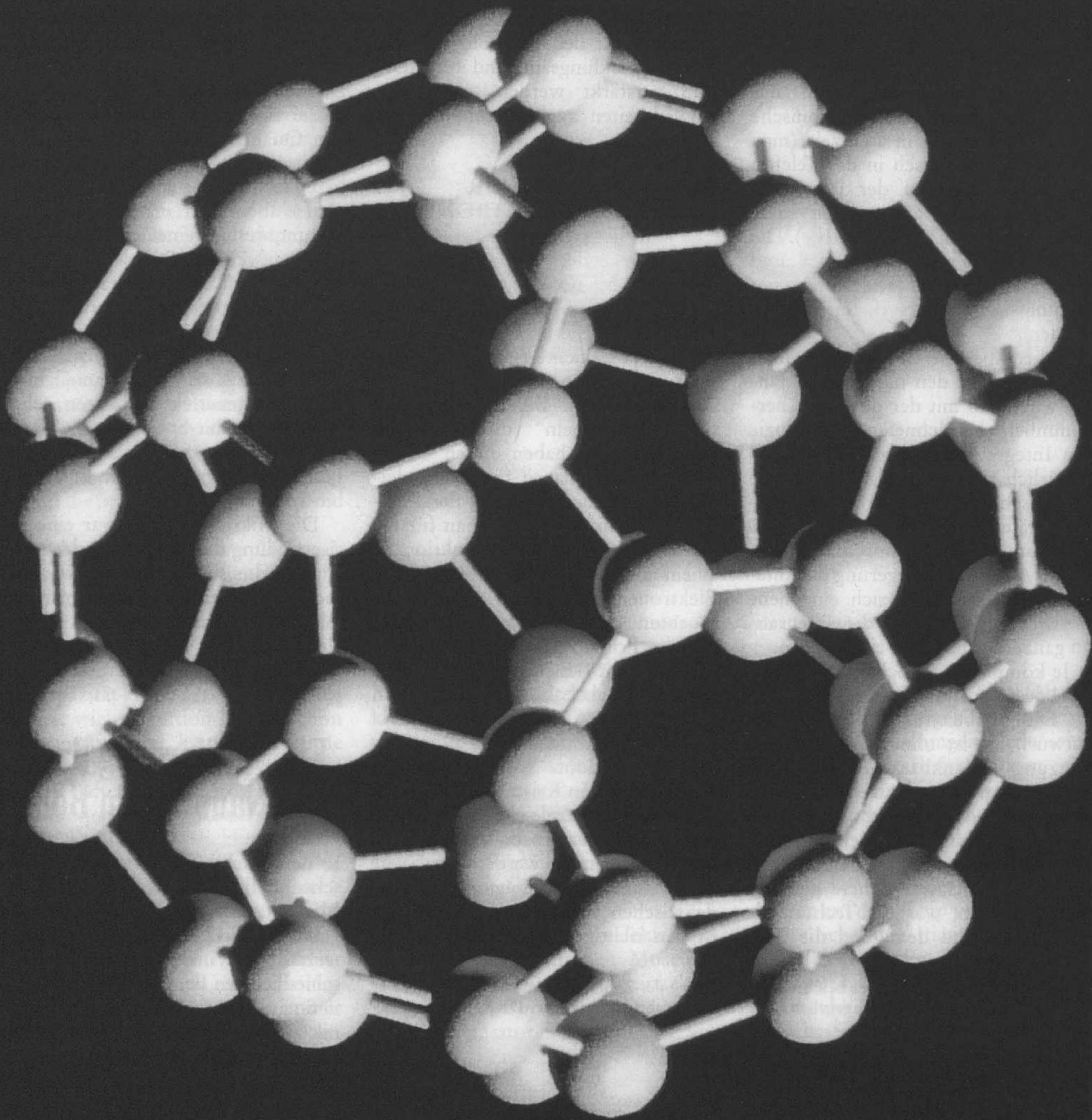
In der Bonner Zweigstelle des Deutschen Museums werden verstärkt Kontakte zur aktuellen Wissenschaft geknüpft. Kein Wunder, daß man hier technische Winzlinge aus den unterschiedlichsten Bereichen antrifft.

So ist natürlich die Mikroelektronik auch in Bonn vertreten. Genannt sei hier nur beispielhaft die Auslöse-Elektronik des Airbag. Herzstück dieser Elektronik ist ein Beschleunigungssensor, der die bei einem Unfall auftretenden Verzögerungen – also die negative Beschleunigung – registriert. Moderne Systeme enthalten einen piezoelektrischen Biegebalken, in dem eine elektrische Spannung entsteht, die proportional zur Beschleunigung ist.

Auch ein wichtiges Verfahren der modernen Glastechnik wird in Bonn vorgestellt. Mit dem Sol-Gel-Verfahren läßt sich Glas bei deutlich niedrigerer Temperatur herstellen als durch das seit Jahrtausenden angewandte Schmelzen der Ausgangsstoffe Sand,

Das Gordon-Moore-Gesetz: Es beschreibt den Anstieg der Zahl der Transistoren pro Chip in Abhängigkeit von der Zeit. Angegeben ist auch die Speicherkapazität der DRAM.





Natron und Kalk. Die Technik ist mittlerweile so gut unter Kontrolle, daß sich damit Glas-Eigenschaften nach Maß fertigen lassen. So kann Glas durch Auftragen einer poröser Sol-Gel-Schicht entspiegelt werden: Dank dieser mikrostrukturierten Oberfläche wird der Übergang des Brechungsindex von der Luft in das Glas kontinuierlich. Die Reflexion an der Grenzschicht wird deutlich verringert.

UMWELTFREUNDLICHE NANOTECHNIK

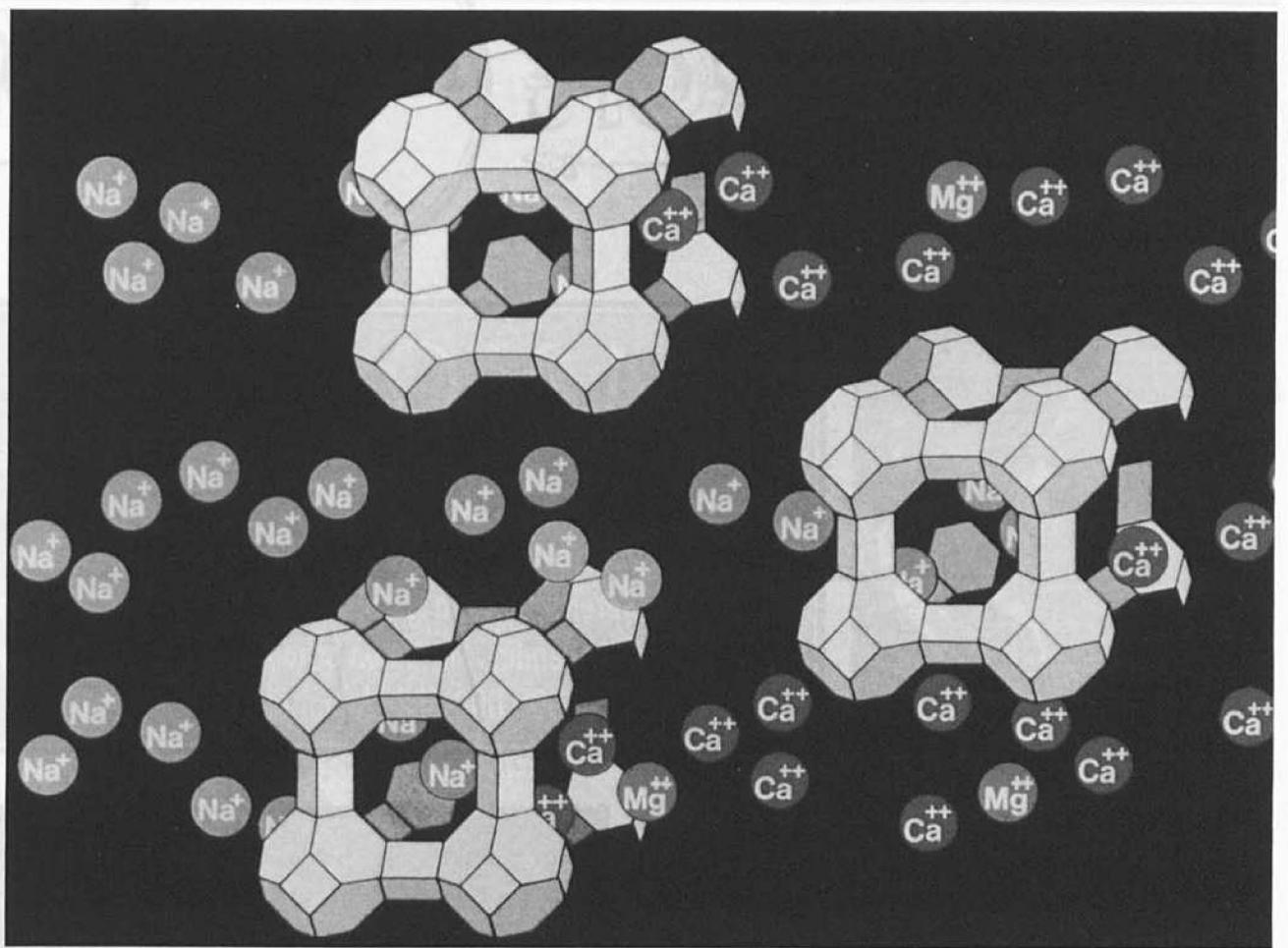
Sogar im Waschmittel findet man heute Stoffe, die auch in der Nanowissenschaft eine Rolle spielen. Zeolithe enthärten das Wasser, verhindern so ein Verkalken der Waschmaschine und verstärken die schmutzlösende Kraft der Tenside. Früher hat man Wasch- und Reinigungsmitteln Phosphate als Hilfsstoffe beigelegt. Diese stellen jedoch ein erhebliches Umweltproblem dar. (Sie fördern als Düngemittel das Algenwachstum, insbesondere in ruhenden Gewässern. Der Abbau der abgestorbenen Algen durch Mikroorganismen verbraucht viel Sauerstoff, was wiederum zu einem Sterben der Fische führen kann.) Das Kristallgitter der Zeolithe (Abbildung rechts)

hat typischerweise Poren von einem Nanometer Durchmesser. Damit werden die „harten“ Calcium-Ionen aus der Waschlauge herausgesiebt. Zeolithe werden heute in vielen Bereichen eingesetzt, denn kleine Poren mit Durchmessern im Nanometer-Bereich können interessante Materialeigenschaften hervorrufen. So werden sie als Katalysatoren, Molekularsiebe, Reaktionskammern und Ionenaustauscher eingesetzt, denn die Poren und Kanäle in den Kristallen unterscheiden Moleküle nach ihrer Größe.

Gezeigt wird außerdem eine Apparatur, mit der sich fußballförmige Kohlenstoff-Moleküle einfach herstellen lassen. C_{60} (Abbildung links) hat einen Durchmesser von 0,7 Nano-

Große Abbildung: Das Fulleren C_{60} hat die Struktur eines Fußballs. Geometrisch ist es ein gekapptes Ikosaeder und besteht aus 12 Fünf- und 20 Sechsecken.

Kleine Abbildung: Computersimulation: Die Nadelspitze des Mikroskops hat den Durchmesser von einem einzigen Atom und rastert über eine Oberfläche.



Im Kristallgitter des Zeolith werden Calcium- und Magnesiumionen (Ca^{2+} und Mg^{2+}) festgehalten. Natrium-Ionen (Na^+) treten statt dessen aus.

meter und gehört zur Gruppe der Fullerene. Diese Gebilde aus aneinandergeschlossenen Fünf- und Sechsecken aus Kohlenstoffatomen stellen neben Graphit und Diamant die dritte stabile Kohlenstoff-Modifikation dar.

Über die Verwendungsmöglichkeiten der Fullerene wurde seit ihrer Entdeckung im Jahr 1985 viel spekuliert – Anwendungsideen reichten vom molekularen Gleitmittel über Supraleiter bis hin zu Transportvehikeln. Derzeit sorgen aber Nano-Röhren für noch mehr Furore. Diese sind auch allein aus Kohlenstoffatomen aufgebaut, die in Fünf- und Sechsecken angeordnet sind, aber als übergeordnete Struktur ergeben sich statt der Kugel Röhren, die bis zu einem Mikrometer lang werden können. Nano-Röhren vereinen interessante mechanische und elektronische Eigenschaften mit chemischer Stabilität.

Auch ein Raster-Tunnel-Mikroskop (siehe Seite 30ff.) steht im Deutschen Museum Bonn. Es handelt sich um das Gerät von Prof. Wolfgang Heckl, der als Physiker an der Universität München auch am CeNS (siehe Seite 10ff.) beteiligt ist. Heckl konnte damit erstmals die vier Basenbausteine der Erbsubstanz – Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin – mikroskopisch darstellen und unterscheiden. Die Nadelspitze erkennt

Unterschiede zwischen den Basen, wenn diese auf einer Kristalloberfläche angeordnet sind (kleine Abbildung links). Die Präparation der zweidimensional geordneten Basenschichten stellte dabei die größte experimentelle Herausforderung dar. Der Tunnelstrom zwischen Mikroskopspitze und Oberfläche ist abhängig davon, über welchem Teil eines Moleküls sich die Nadelspitze gerade befindet. Der Experimentator kann auf einem Monitor den in Helligkeitswerte übersetzten Tunnelstrom beobachten.

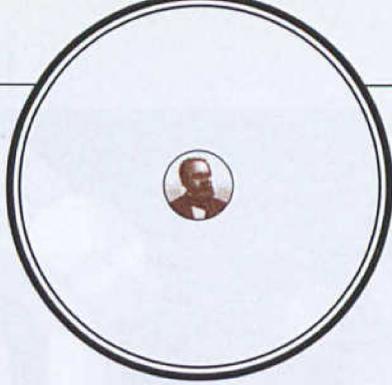
MDW

DIE AUTOREN

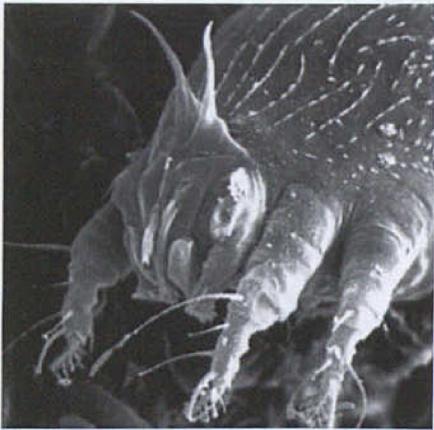
Max Seeberger, geboren 1940, Dipl. Ing. (FH), ist Referatsleiter für Optik, Geodäsie und Geophysik im Deutschen Museum.

Ernst Hofmeister, geboren 1922, promovierte 1952 in Physik. 1955 bis 1989 war er in leitenden Funktionen im Halbleiterbereich der Siemens AG tätig. Er wirkte maßgeblich beim Aufbau der Abteilung Mikroelektronik im Deutschen Museum mit.

Marc-Denis Weitze, geboren 1967, Dr. rer. nat., studierte Chemie, Physik und Philosophie, ist derzeit wissenschaftlicher Volontär im Deutschen Museum.



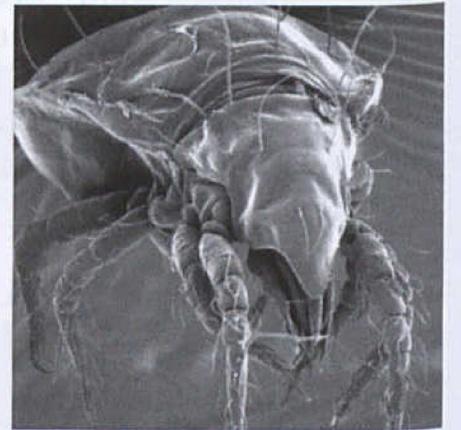
Ein sehr kleines Technodrom nennt man auch gerne Mikrodrom!



Attacke: die Gallmilbe

NANOMETER!

Unglaublich, aber wahr: Wenn Du aufgewirbelten Staub in der Sonne fliegen siehst, so sind die kaum sichtbaren Körnchen manchmal 1000 mal kleiner als ein Haar. Nochmals 100 000 mal kleiner als diese feinen Körner ist der Bereich, in dem geforscht wird! Natürlich sind dafür spezielle Mikroskope notwendig. Mit ihnen schaut man in eine Nanowelt, d.h. die Dinge sind dort 1000 000 mal kleiner als 1 Millimeter!

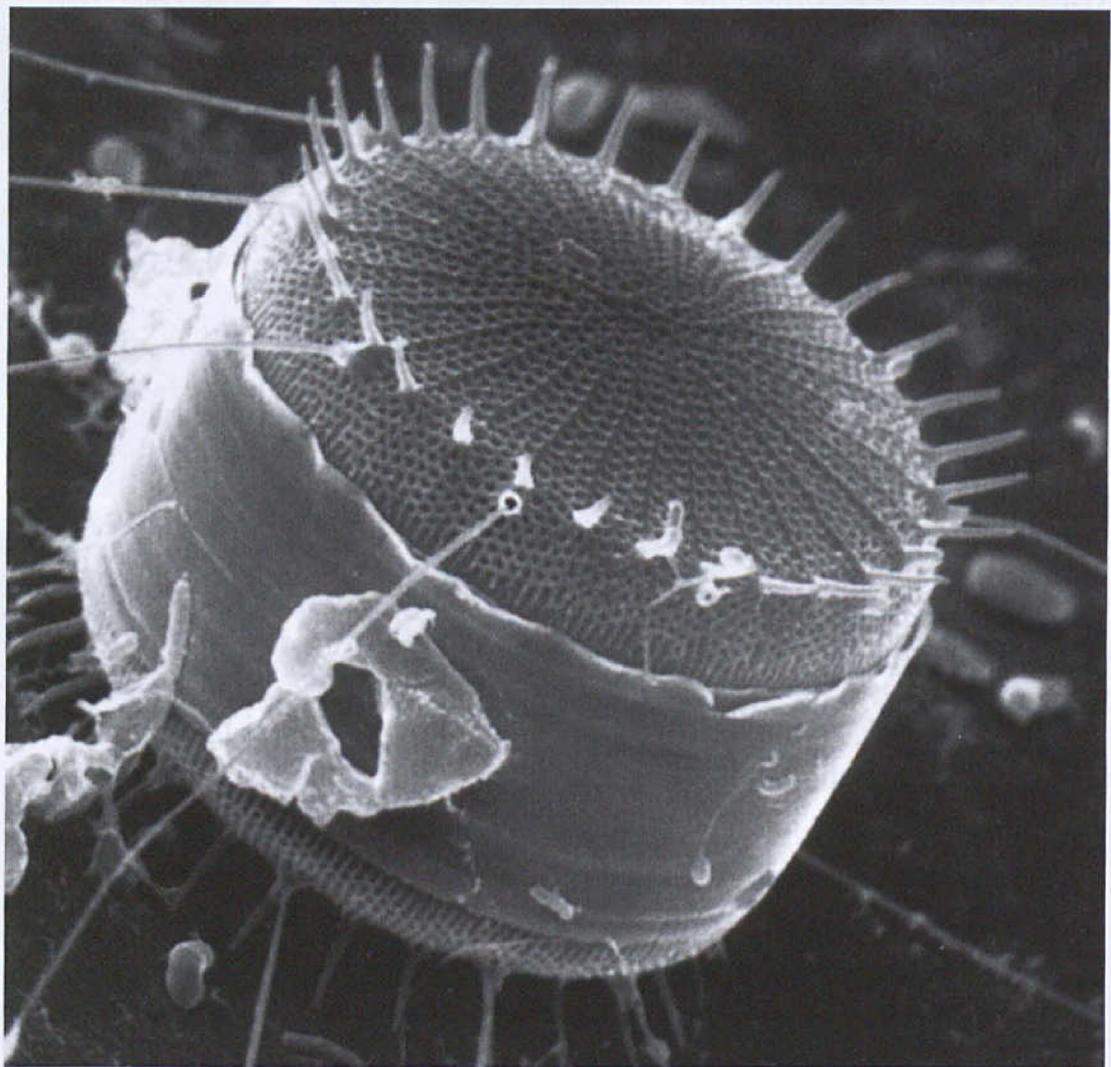


Die Raubmilbe greift an. Halb so schlimm.

Klein, kleiner ...

Wenn du einen Wassertropfen aus einem Fluß oder Teich in deiner Nähe mit bloßem Auge betrachtest, dann siehst du – Wasser und vielleicht ein paar kleine Teilchen, die darin schweben. Dabei tummeln sich in diesem Wassertropfen mehr Lebewesen, als in einem großen Zoo!

Das Mikroskop ermöglicht uns eine Reise in diese unsichtbare Welt. Dort entdecken wir z. B. Geißeltierchen, die aus einer einzigen Zelle bestehen. Ihr dünner Schwanzfaden schlägt hin und her und treibt so das Tierchen voran. Kieselalgen finden sich in den verschiedensten bizarren Formen. Kaum zu glauben, daß die Kalkalpen zum wesentlichen Teil aus Skeletten dieser winzigen Lebewesen entstanden sind!



Wie ein Wesen aus einer fernen Welt: Die über 5000 mal vergrößerte Kieselalge



Ein Plüschtier? Nein, ein Springschwanz, allerdings in 77-facher Vergrößerung

... am kleinsten

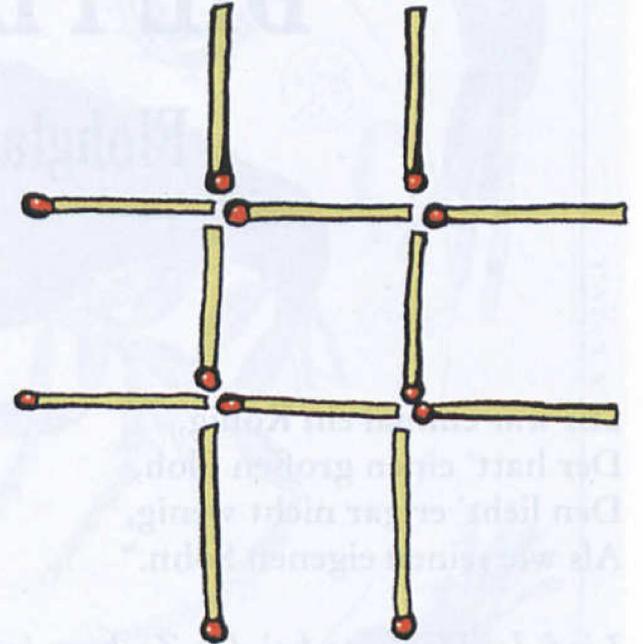
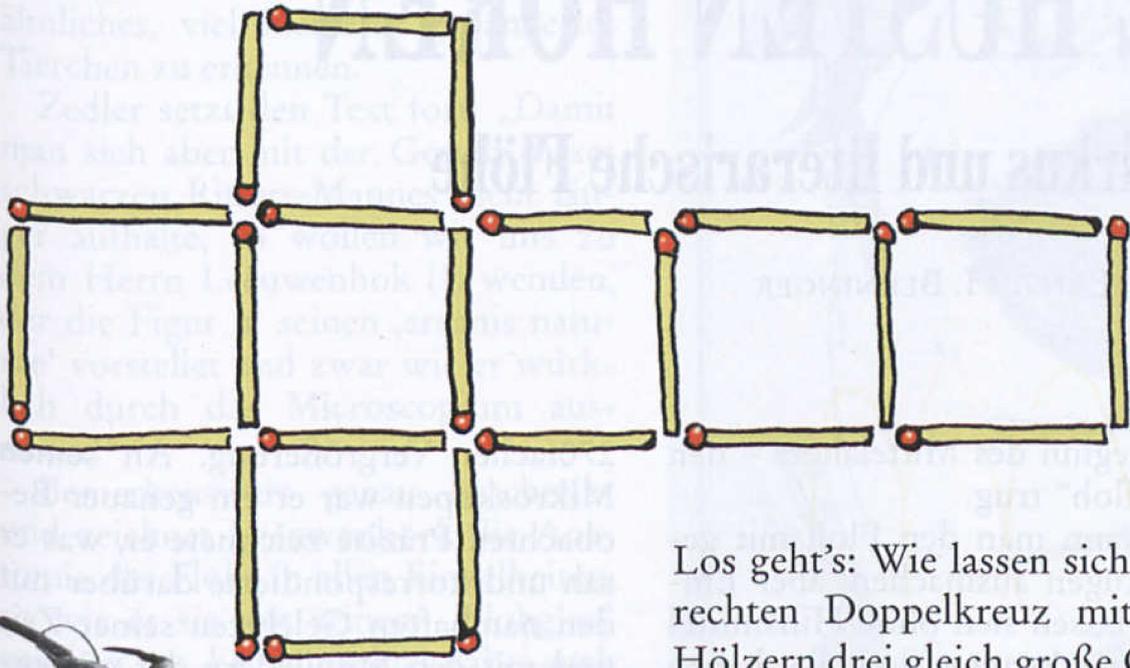
Der Blick durchs Mikroskop ist auch beim Bau von Computer-Chips nützlich: So kann man kontrollieren, ob die feinen Vertiefungen für die Leiterbahnen richtig in die kleine Platte eingätzt worden sind.

Wissenschaftler haben sich ein neues Ziel gesteckt. Sie vergleichen die

heutige Herstellung mit dem Versuch, mit Boxhandschuhen Lego zu bauen: da lassen sich zwar die Steine in verschiedene Haufen sortieren, aber nicht wirklich zu Figuren zusammensetzen. Sie sind dabei, immer feinere Methoden zu entwickeln, mit denen sie sogar Atome gezielt bewegen und neu anordnen können. Stell dir vor, sie möchten einen „Nano-Computer“ bauen, der nicht größer ist als eine Bakterie!



Klein, aber fein: Denkspiele mit Streichhölzern



Los geht's: Wie lassen sich aus dem rechten Doppelkreuz mit den 12 Hölzern drei gleich große Quadrate bilden, wobei nur drei Streichhölzer umgelegt werden dürfen? Und wie lassen sich aus dem linken Kreuz sieben Hölzer so entfernen, daß vier gleich große Quadrate entstehen? Nicht schwer, oder? Die Lösung findest Du auf Seite 59.



Kennt jeder und ärgert den Gartenfreund: die Blattlaus, 30-fach vergrößert.

Das ist die berühmte Melitta Aroma-Pore, mit ihr schmeckt der Kaffee nochmal so gut! Heißt es.



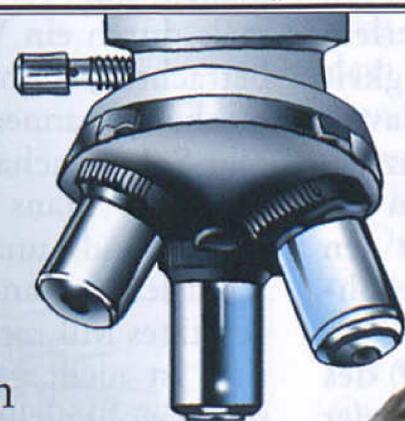
Reisepaß in die Mikrowelt

Im Deutschen Museum kannst du einen Reisepaß für die Mikrowelt erwerben. Stereomikroskop, Lichtmikroskop und Raster-Elektronen-Mikroskop eröffnen faszinierende Einblicke. Du lernst z.B. das Bärtierchen kennen: Es lebt eigentlich im Wasser, kann aber über 100 Jahre im Trockenen abwarten, beispielsweise in Moospolstern einer Ufermauer. Am Mikroskop kannst du zuschauen, wie es im Wassertropfen wieder aktiv wird. Übrigends: fast alle Bilder hier sind von Klaus Macknapp am Elektronenmikroskop im Deutschen Museum gemacht worden.



Entdeckungen in der Mikrowelt

- Wimpertierchen
- Kieselalgen
- Geißeltierchen
- Amöben
- Springschwänzchen
- Bärtierchen
- Rädertierchen
- Bakterien



..... bestätigt

Das Bärtierchen sieht doch recht sympathisch aus, oder?



DIE FLÖHE HUSTEN HÖREN

Flohglas, Flohzirkus und literarische Flöhe

VON ERNST H. BERNINGER

„Es war einmal ein König,
Der hatt' einen großen Floh,
Den liebt' er gar nicht wenig,
Als wie seinen eigenen Sohn.“

Lied des Mephisto bei den Zechern in
Auerbachs Keller. Goethe, Faust.

Der Menschenfloh, mit dem lateinischen Namen *pulex irritans*, zu deutsch also „juckender Floh“, ist als Weltbürger hinreichend bekannt. In der Menschengeschichte war er lange Zeit das kleinste Lebewesen, mit dem es der Mensch zu tun hatte und mit dem er sich – notgedrungen – auseinandersetzen mußte. So wurde er zu einem Symbol des Winzigen schlechthin. Immer wieder wendete sich deshalb das Interesse der Menschen dem Floh zu.

Johann Heinrich Zedler berichtet 1735 in seinem *UNIVERSAL-LEXICON aller Wissenschaften und Künste, welche bißhero durch menschlichen Verstand und Witz erfunden und verbessert worden* als den neuesten Stand des Wissens vom Floh: „Floh ist ein kleines, jedermann bekanntes und beschwerliches Ungeziefer, welches zu garnichts zu taugen und zu nutzen scheint. Den Teutschen Namen Floh hat vielleicht dieses kleine Tierlein von seiner grossen Geschwindigkeit bekommen – daß er gleichsam davon ‚flöhe‘, wenn er bey dem Frauenzimmer genaschet und ihm gleichsam das Blut abgestolen, wiewohl er oft den Raub mit seinem eigenen Blute bezahlen muß.“

In der neuesten Auflage (1999) des *Etymologischen Wörterbuches der deutschen Sprache* von Friedrich Kluge wird diese Herleitung des Namens bestätigt; dort ist weiterhin nachzulesen, daß dieser Bewohner unserer Erde auch schon im Althochdeutschen –

also zu Beginn des Mittelalters – den Namen „floh“ trug.

Zwar kann man den Floh mit gesunden Augen ausmachen, aber Einzelheiten lassen sich ohne Hilfsmittel nicht mehr erkennen. deshalb „haben sich die Alten von ihm auch bisweilen wunderliche Einbildungen gemacht“ (Joh. Heinr. Zedler). Als der Mensch nun Werkzeuge, Lupen und Vergrößerungsgläser erfunden hatte, mit denen er kleine Objekte genauer betrachten und untersuchen konnte, konzentrierte sich der Eifer, das Augenmerk, der Erforscher der Natur auch auf den kleinen Quälgeist.

Der Universalgelehrte und Jesuitenpater Athanasius Kircher (1602-1680) besaß ein Vergrößerungsglas und hat damit Flöhe betrachtet. Er kommt dann allerdings zu dem irrigen Schluß, daß sie aus Urin, Staub und Kot gezeugt würden. Auf ihn geht wohl auch die Bezeichnung „Flohglas“ (*vitrum pulicarium*) zurück. Später wurde der Ausdruck auch für die ersten Mikroskope verwendet.

DIE ERSTEN MIKROSKOPE

Auf die Idee, zwei Sammellinsen hintereinander zu setzen, um gewissermaßen das vergrößerte Bild nochmals durch ein Vergrößerungsglas zu betrachten, kamen 1590 die Brillenmacher Johannes (Hans) Janssen und sein Sohn Zacharias aus Middelburg. 1609 hat Hans Lipperhey ebenfalls in Holland, unabhängig von seinen Landsleuten Janssen, ein zusammengesetztes Mikroskop gebaut; die Priorität ist nicht ganz klar, aber inzwischen wohl nicht mehr so wichtig.

Auf historisch festeren Boden kommen wir dann bei dem Naturforscher Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723) aus Delft. Er fertigte mehr hundert Mikroskope mit bis zu

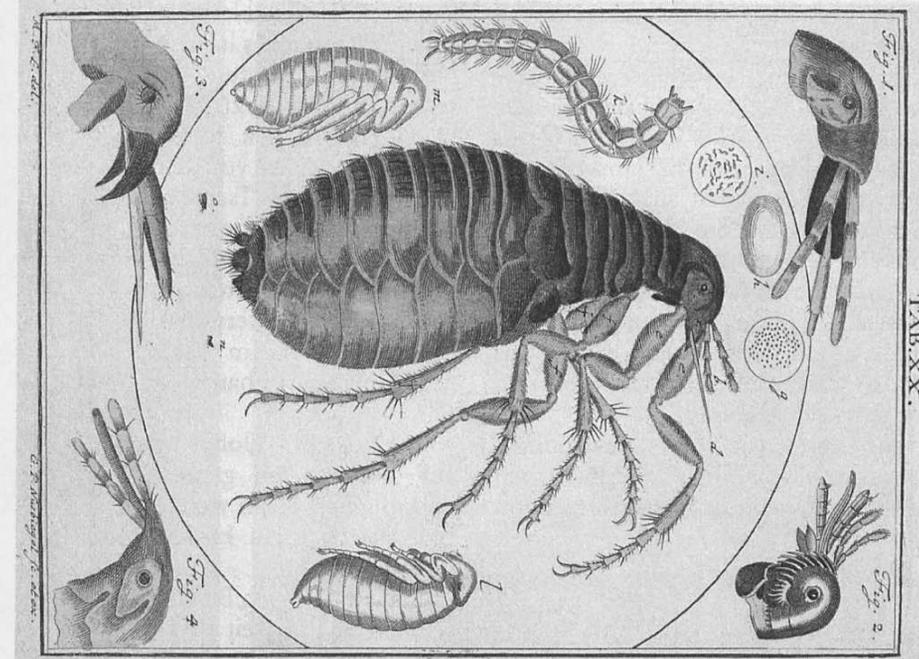
270facher Vergrößerung. An seinen Mikroskopen war er ein genauer Beobachter. Präzise zeichnete er, was er sah und korrespondierte darüber mit den namhaften Gelehrten seiner Zeit und mit den Mitgliedern der wissenschaftlichen Akademien. (Zu Leeuwenhoek siehe auch Seite 52ff.)

Der Lexikograph Johann Heinrich Zedler berichtet über mancherlei Spe-

kulationen über das Aussehen des Flohs, „wunderliche Einbildungen“. Man glaubte ein den Heuschrecken ähnliches, viel kleineres gepanzertes Tierchen zu erkennen.

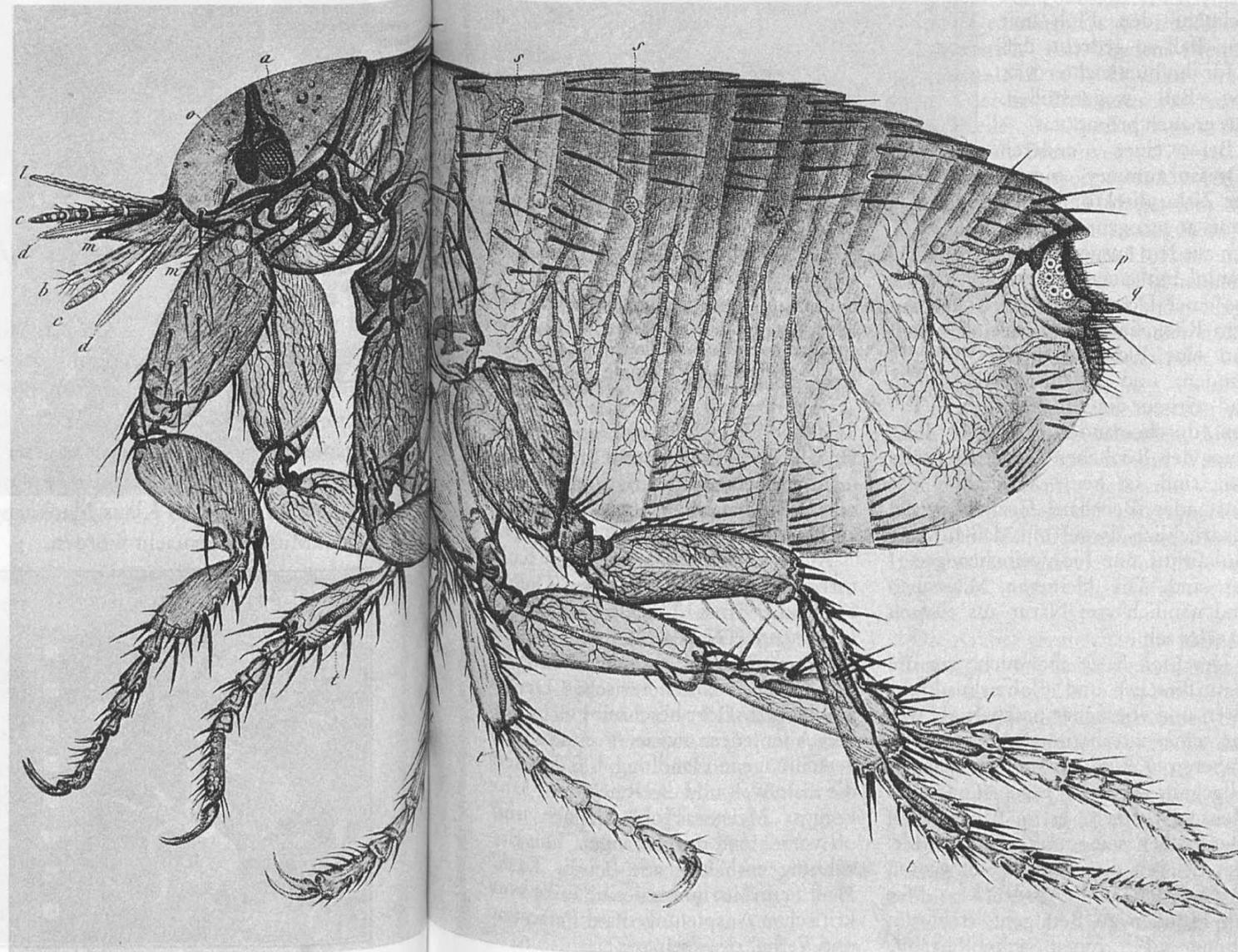
Zedler setzt den Text fort: „Damit man sich aber mit der Gestalt dieses schwarzen Ritters-Mannes nicht länger aufhalte, so wollen wir uns zu dem Herrn Leeuwenhok (!) wenden, der die Figur in seinen ‚arcanis naturae‘ vorstellt und zwar wie er wirklich durch das Microscopium aussieht!“

Bemerkenswert genau beschreibt und zeichnet Leeuwenhoek die Anatomie des Flohs in allen Einzelheiten, so wie er sie mit seinem „Flohglas“ gesehen hat. Er beobachtet dabei auch die Fortpflanzung des winzigen Tierchens und kann nun auch die Annahme von Athanasius Kircher von der Zeugung der Flöhe berichtigen.



Oben: Martin Froben Ledermüllers Mikroskopische Gemüths- und Augen-Ergötzung. 1760. Tafel XX mit der Abbildung des Flohs (Mitte) sowie einiger Entwicklungsstufen und mehrerer anatomischer Details.

Links: Felix Dujardin: Nouveau Manuel de l'observateur au microscope. 1842/43. Floh in 60facher Vergrößerung.



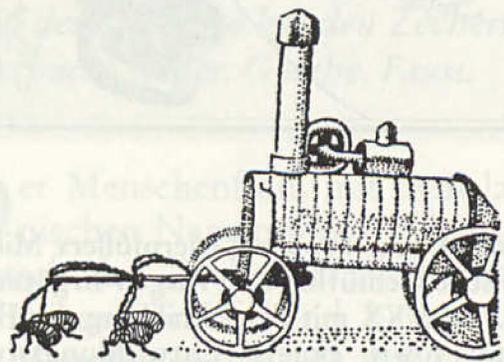
Wenn Zedler seinen Lexikonartikel mit der Anmerkung beginnt, daß eben der Floh zu gar nichts zu taugen oder zu nützen scheint, so ergänzt er das zum Schluß des Textes; er erwähnt nämlich dort, daß eine Mademoiselle Cuson in der Jacobs-Straße zu Paris einen Floh von mittlerer Größe besessen habe, der vor ein kleines silbernes Stück (Geschütz) gespannt war und dieses hinter sich herzog. Das Geschütz-Rohr war so lang wie ein Fingernagel und so dick wie eine Nähnaedel. Es lag auf kleinen Rädern und wog etwa 80mal mehr als der Floh. In dem Bericht heißt es weiter, daß die Kanone von Zeit zu Zeit geladen und abgeschossen wurde, „ohne daß sich der Floh darüber entsetzt hätte“.

Die Mitteilung endet mit der Nachricht, daß dieser Artist in einem Büchsen, das mit Sammet ausgefüllt war, hauste, und daß er jeden Tag eine Viertelstunde aus dem Arm seiner Besitzerin Blut saugen durfte.

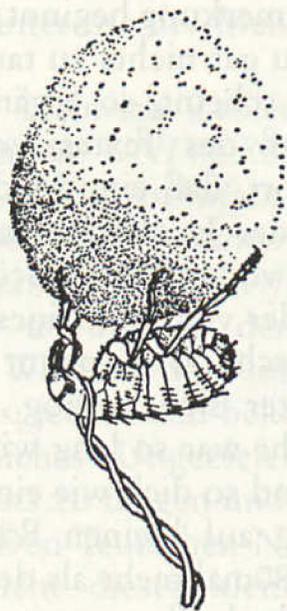
Gute 250 Jahre später hat der populäre Zoologe Bernhard Grzimek (1909-1987) in der von ihm unter dem Titel *Grzimeks Tierleben* herausgege-

benen Enzyklopädie des Tierreichs es sich nicht nehmen lassen, den Artikel über den Flohzirkus selbst zu schreiben. Er stellt fest, daß die Flöhe der Flohzirkusse, die bis in die Mitte des gerade abgelaufenen 20. Jahrhunderts viel von sich reden machten, nicht dressiert waren. Sie waren vielmehr mit einem hauchdünnen Golddrähtchen um die Hinterbrust gefesselt und dadurch in ihren Bewegungen so behindert, daß sie nun nicht mehr hüpfen, sondern sich nur noch kriechend fortbewegen konnten.

So kann man ihren Bewegungsdrang, wahrscheinlich den Fluchttrieb bei hellem Licht, dazu ausnützen, um



Im Flohzirkus spannt man Flohweibchen vor winzige Fahrzeuge ...



... und läßt sie mit Bällen aus Hollundermark jonglieren.

Bernhard Grzimek: Grzimeks Tierleben. 1969. Bd 2, S. 431: Szenen aus dem Flohzirkus.

sie kleine Wagen ziehen und andere „akrobatische Kunststücke“ ausführen zu lassen. Beim Fluchttrieb mobilisiert das kleine Tierchen seine

ganzen Kräfte und kann so auch Erstaunliches leisten.

Der bekannteste „Direktor“ eines Flohzirkus – so fährt Grzimek fort – war in jener Zeit vor dem II. Weltkrieg der Tscheche Raimund Otawa. Er bereiste viele Länder und trat mit seinen Akrobaten vor gekrönten Häuptern und Diktatoren auf. Im Laufe der Jahrzehnte baute er sein Programm immer weiter aus: Ein Floh wird auf den Rücken gedreht und jongliert einen weißen Ball aus leichtem Hollundermark mit seinen Füßen. Auf „Befehl“ schnellert er ihn weit in die Luft. Der Floh hat natürlich nicht auf den Befehl reagiert; der Meister hatte vielmehr den Floh mit dem Ball so gedreht, daß es für ihn nun leichter war, den Ball wegzustoßen, was er auch prompt tat.

Bei einer anderen „Dressurnummer“ nimmt der Zirkusdirektor kleine, bunt angezogene Ballerinen aus fein ausgewalztem Staniol mit einer Pinzette aus einer Dose. Unter jedem Röckchen ist bei ihnen eine Flohfrau angebunden, und so hüpfen und wirbeln die Tänzerinnen durcheinander. Daß unter den Röckchen weibliche Flöhe tätig sind, ist keine Maßnahme des Anstandes; Bernhard Grzimek weist ausdrücklich darauf hin, daß für den Flohzirkus nur Flohweibchen geeignet sind. Die kleineren Männchen sind nämlich von Natur aus einfach zu schwach.

Der Floh hatte aber nicht nur die Naturforscher und Flohzirkusdirektoren und -besucher beschäftigt. Wegen seiner internationalen Karriere in früheren Zeiten, seiner ehemaligen Allgegenwart in den Behausungen der Menschen, spielte er im Alltagsleben allenthalben seine ambivalente Rolle. Das belegen die vielen Sprichwörter, Redensarten und Ausdrücke: „Wer mit Hunden zu Bett geht, steht mit Flöhen auf“, „Einen Sack Flöhe hü-

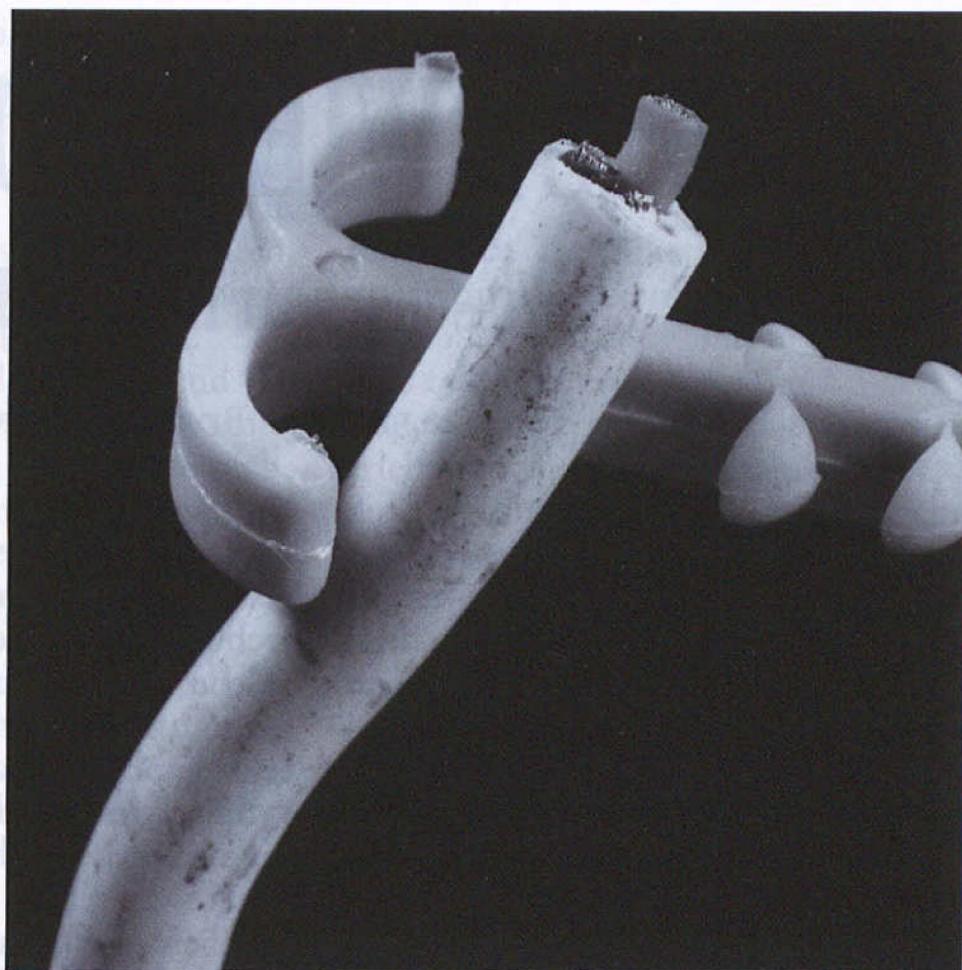
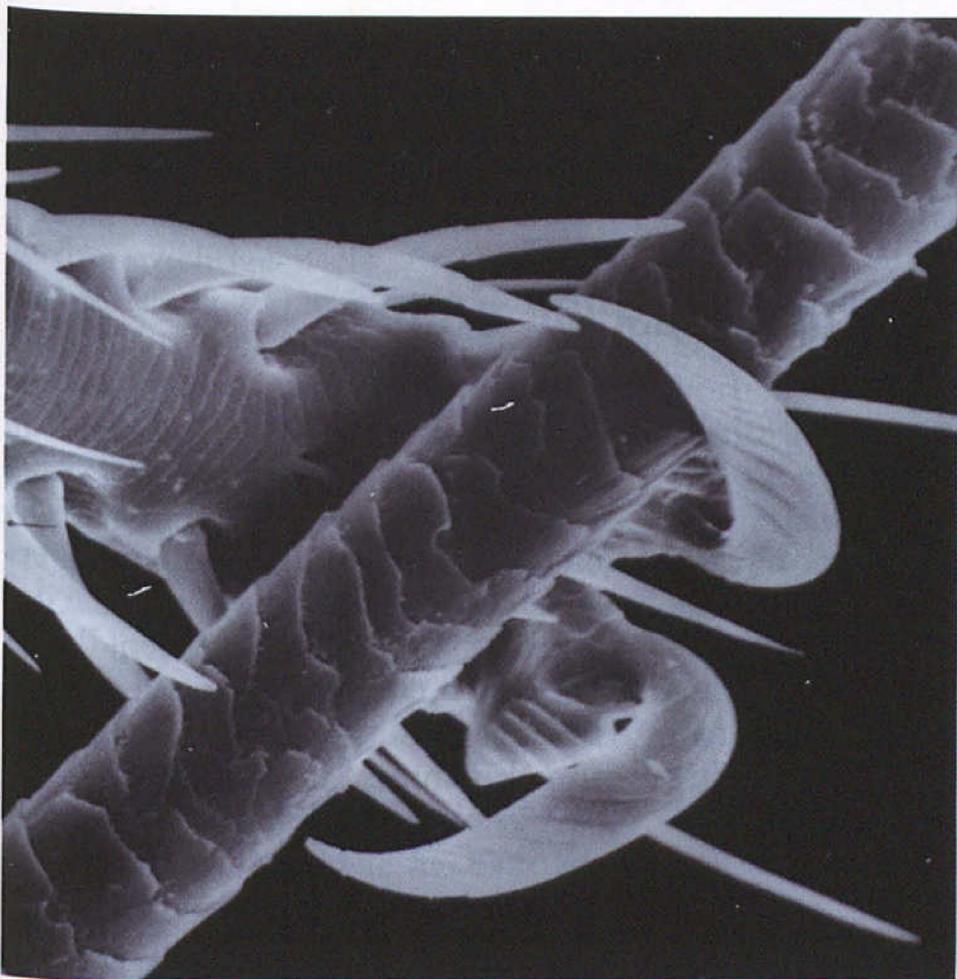


Enno Littmann: Vom morgenländischen Floh. 1925.

„Die Psyllotoxoten sind auf Flöhen beritten, wovon sie auch ihren Namen haben, von diesen Flöhen hat ein jeder die Größe von zwölf Elefanten.“ Radierung von Marcus Behmer.

ten“, „Die Flöhe husten hören“, „Jemanden einen Floh ins Ohr setzen“ oder „Flohmarkt“, „Floh hüpfen“ und „Flohkiste“.

Auch Dichter verschiedener Kulturkreise wendeten sich dem Thema Floh zu. Ernst Theodor Amadeus Hoffmann (1776–1822) hat mit dem Märchen „Meister Floh“ dem unruhigen Gesellen ein literarisches Denkmal gesetzt. Dort beschreibt er in sieben Abenteuern zweier Freunde eine verschlungene Handlung, bei der sich die reale Welt und das Reich des Flohkönigs „Meister Floh“ vielfach und oft verwirrend durchdringen. Die Erzählung enthält – wie bei E. T. A. Hoffmann fast immer – eine Fülle von kritischen Anspielungen auf Personen und Verhältnisse seiner Zeit.



Ein Flohzirkus ist zeitweilig der Schauplatz der Handlung. Ein Mikroskopmacher Leuwenhöck wird als der wieder erstandene Antoni van Leeuwenhoek ein Träger der Handlung. Als ein alter Herr Swammer ist Leeuwenhoeks Kollege, der holländische Zoologe Swammerdam, mit der Handlung verwoben.

FLÖHE UND ZEITKRITIK

Das Märchen, das mit den Worten „Es war einmal ...“ beginnt, endet, nachdem die Bösen bestraft und die Guten glücklich geworden sind, noch einmal mit dem Flohzirkus: „Gar hübsch war es aber von dem Meister Floh, daß er der Tyßischen Nachkommenschaft am Christtage es nie an den zierlichsten, von den geschicktesten Künstlern seines Volkes vorgestellten Darbietungen fehlen ließ.“

Zu Beginn der Erzählung „Meister Floh“ scheint alles Märchenhafte problembeladen und fragwürdig. Meister Floh führt aber dann, im humoristischen Fortschreiten der Handlung und dabei auch der Erkenntnis, die handelnden Personen und die heterogenen Teile der Handlung (Wunderwelt und Welt des Alltags; Kritik an Wissenschaft, an Justiz und an unsozialer Vereinzelung; Probleme der Liebe, der Kunst und der Selbsterkenntnis) zu einem „fröhlichen und erwünschten Ende“ zusammen.

In seiner Struktur einfacher, dabei

aber nicht weniger reich an tiefschürfenden Gedanken, ist die Erzählung „Hüpfenstich“ von Clemens Brentano (1778–1842). Die Handlung entspricht der des Flohliedes aus Auerbachs Keller in Goethes *Faust*, das Ludwig van Beethoven (1770–1827) und Modest Mussorgski (1839–1881) vertont haben: Ein Floh gewinnt die Liebe und das Vertrauen des Königs; er steigt in ein hohes Hofamt auf; dann verspielt er durch Überheblichkeit alle Sympathie und endet kläglich. Brentano formt aus dieser einfachen Geschichte eine Parabel der Lebensweisheit.

Die morgenländische Literatur ist noch reicher an Geschichten, Märchen, Fabeln, Liedern und Versen vom Floh. Das mag sich wohl so erklären, daß neben der ausgesprochenen Liebe der Orientalen zu diesen Literaturgattungen der Floh in jenen Gegenden noch weit häufiger vorkommt.

Die Araber vergleichen die kleinen Hüpfger gern mit Reitersleuten, hingegen Wanzen und Läuse mit Fußsoldaten. So empfinden die Beduinen die Flöhe weitaus unangenehmer als das sonstige Ungeziefer. Als Beleg mag die Geschichte „Die Laus und der Floh“ aus dem im Morgenland weit verbreiteten *Buch von Kalila und Dimna* dienen: „Im Bette eines vornehmen Mannes war eine Laus, die pflegte, wenn der Mann schlief, ihn behutsam zu beißen, so daß er nichts

Werner Nachtigall: Konstruktionen. Biologie und Technik. 1986.

Der Floh als Lehrmeister für eine technische Konstruktion: Klammerklaue am Vorderbein des Hundeflohs mit Hundehaar (links), und Spezialdübel zur Kabelverankerung.

merkte. Lange Zeit wohnte sie dort, ohne daß jemand sie fing. Da kam einmal ein Floh gesprungen. ... Zur Nachtzeit, als der Mann schlief, biß der Floh ihn heftig. Sofort sprang jener auf und forschte nach. ... Der Floh nun hüpfte von dannen und entkam. Doch als der Mann das Bett durchsuchte, fand er nur die Laus und tötete sie.“

Nun muß die Betrachtung über die Lebewesen, die, ehe es die Welt der Nanogrößen gab, als die Kleinsten angesehen wurden, gewaltsam abgebrochen werden, denn die orientalischen Erzählungen – auch die vom Floh – haben meist kein Ende. □

DER AUTOR

Dr. Ernst H. Berninger, geboren 1933, studierte Physik und Philosophie in Erlangen, Berlin und Wien. Von 1970 bis 1998 war er Direktor der Bibliothek des Deutschen Museums, von 1987 bis 1998 Dozent für Technikgeschichte an der ETH Zürich.

„DAS IST WIE MEDIALE ROHKOST ...“

„Wissenschaft live“ im Deutschen Museum Bonn

ALEXANDRA BORA IM GESPRÄCH MIT RANGA YOGESHWAR

Kultur & Technik: *Das Raster-Tunnel-Mikroskop wird am 31. Januar 2000 im Mittelpunkt von „Wissenschaft live“ stehen. Haben Sie selbst schon einmal eines gesehen?*

Yogeshwar: Ja, und ich habe diese sehr einfache, fast schon rohe Struktur des Abtasters bewundert.

Kultur & Technik: *Haben Sie durchgesehen?*

Yogeshwar: Man kann nicht durchschauen, sondern man sieht ein elektronisches Bild auf einem Computermonitor, das mitunter sogar eingefärbt wird – also ein sehr künstliches Gebilde. Die Erfahrung des direkten Durchschauens ist nicht da. Insofern hat das Raster-Tunnel-Mikroskop – ähnlich wie das Fernrohr von Galileo Galilei – die Eigenschaft, daß man sich nie sicher sein kann, ob das, was man da sieht, real ist. Galilei hat die fernen Monde des Jupiters gesehen, die man mit bloßem Auge nicht erkennt. Durch das Raster-Tunnel-Mikroskop sieht man atomare Strukturen.

Kultur & Technik: *Was ist speziell für Jugendliche an diesem Thema interessant?*

Yogeshwar: Der Reiz liegt eindeutig im Eröffnen neuer visueller Räume. Jeder Schüler lernt im Chemieunterricht, wie die Benzolstruktur aussieht, nur: So richtig gesehen hat er sie noch nicht. Das Faszinierende ist, daß es mit dem Raster-Tunnel-Mikroskop zum ersten Mal möglich ist. Das finde ich einen unglaublichen Einblick.

Kultur & Technik: *Aber letzten Endes muß der Laie einfach glauben, daß das, was er sieht, tatsächlich Benzol ist oder etwas anderes. Ist es schwierig, den Zuschauern so etwas klarzumachen?*

Yogeshwar: Generell besteht das Problem, daß Wissenschaft in weiten Be-

reichen nicht sinnlich erfahrbar ist – besonders moderne Wissenschaft. Gentechnik braucht eine immense technische Aufbereitung, um bestimmte Genmuster zu erkennen. Elementarteilchenphysik braucht Stahl in mehrfachen Mengen des Eiffelturms, um die mikroskopischen Reaktionen von Quarks zu sehen.

Überall gilt, daß wir mit der Wissenschaft in Bereiche vordringen, die extrem abstrakt sind, und wir uns nur mit Hilfe von Technik ein Bild machen können. Daher kommen wir auch in eine Krise: die Krise der Nicht-Sinnlichkeit von Wissenschaft. Die rein visuelle Erfahrung ist nicht mehr möglich – anders als beim Lichtmikroskop, durch das man schaut und durch das man dann etwa die tanzen- den Pantoffeltierchen sieht.

Kultur & Technik: *Kann man verstehen, was man nicht sehen, was man sich nicht vorstellen kann?*

Yogeshwar: Ursprünglich ist Wissenschaft einmal ausgezogen, um eine Welt, die nur auf den Glauben gesetzt hatte, mit der Grundidee der Aufklä-

rung, nämlich des Überprüfens, zu ersetzen. Heute, nach Jahrhunderten der Wissenschaft, ist sie an einen Punkt gekommen, an dem sie für den Laien ähnliche Qualitäten hat wie eine Religion: Ergebnisse sind in ihrer Komplexität nicht mehr nachvollziehbar und im Gesamtzusammenhang nicht mehr zu positionieren. Sie sind nur noch Aussagen, die man nun glauben mag oder nicht.

Kultur & Technik: *Was läßt sich dagegen tun?*

Yogeshwar: Ich finde es sehr wichtig, daß es Erfahrungen einer Authentizität gibt: Bei der Wissenschaft gibt es die Möglichkeit, Prozesse zumindest in Teilen transparenter zu machen. Das versuchen wir bei „Wissenschaft live“.

Kultur & Technik: *Sagen die Besucher auch mal: „Ich glaube das alles nicht!“?*

Yogeshwar: Es wäre wunderbar, wenn dem öfter so wäre. Aber häufig ist es wie bei der Religion: Die meisten Leute glauben es.



Foto: Deutsche Museum Bonn

Kultur & Technik: *Was ist das Besondere an „Wissenschaft live“?*

Yogeshwar: „Wissenschaft live“ zeichnet sich durch die Art aus, wie ein Thema angegangen wird. Dabei gibt es drei wichtige Ziele. Erstens wird das Museum zu einer Kommunikationsplattform: Schüler, Besucher und Wissenschaftler kommen miteinander in Kontakt. Ich erlebe, wie Themen, die sehr kompliziert sind, so erklärt werden müssen, daß auch Laien sie verstehen.

Zweitens erlebe ich etwas, was im Fernsehen beinahe unmöglich ist: Die Strömungsrichtung kehrt sich um. Medien funktionieren sonst so, daß sie eine klare Richtung zum Zuschauer oder Konsumenten definieren. Hier wird das umgedreht. Der Zuschauer stellt die Fragen und gestaltet dadurch den Ablauf.

Drittes Ziel ist es, Wissenschaft in einer Form zu präsentieren, die sich von anderen abhebt. Es ist kein reines Ausstellungsstück, keine reine Fernsehsendung, keine reine Diskussion und auch keine reine Schaltung in ein Labor, sondern es ist ein Gemisch von alledem. Vor allem verzichtet „Wissenschaft live“ auf dramaturgische Inszenierungen und ist daher in gewisser Weise wie mediale Rohkost – ohne Konservierungsstoffe.

Kultur & Technik: *Was hat das für Vorteile?*

Yogeshwar: Die Offenheit der Sendung und ihre Transparenz haben eine ganz andere Eindringtiefe als wohlgestaltete Fernsehsendungen. Die sind alle glatt, perfekt, und es gibt keine Ritzen für Unsicherheit und Glaubwürdigkeit. Bei „Wissenschaft live“ nehmen die Zuschauer mehr von einem Thema mit. Das gilt besonders für die Schüler, die auf die Sendung vorbereitet werden, also im Vorfeld Kontakt zu einem Wissenschaftler aufnehmen und sich in das Thema einarbeiten. Vielfach präsentieren sie selber während der Veranstaltung Experimente, zeigen beispielsweise, wie man das Erbgut aus einer Tomate isoliert.

Kultur & Technik: *Sie haben einmal gesagt: „Wissenschaft live“ betreibt man. Kann man es dann überhaupt vorbereiten?*

Yogeshwar: Es wird sehr, sehr gut vorbereitet von den Kollegen im Deut-

schen Museum Bonn. Es ist wirklich beachtlich, was sie machen. Aber, wenn ich ganz ehrlich antworten sollte, müßte ich sagen: „Man darf es nicht vorbereiten. Zwar muß man thematisch einiges vorher erarbeiten. Aber man darf es nicht in stur vorgegebene Richtungen kanalisieren.“ Der Vorteil: Jeder, der dort anwesend ist, merkt ganz intensiv, daß er Bestandteil dieses Prozesses ist und also nicht nur erlebt, sondern mitgestaltet. In dem Moment, in dem den Besuchern ein zu enges Korsett präsentiert wird, macht man die Kernidee kaputt.

Das ist schwer, man muß ein bißchen Mut haben. Und der begründet sich nicht auf Faulheit, sondern es ist der Mut, wirklich situativ an das Thema heranzugehen.

Kultur & Technik: *Ist das nicht so etwas wie: das Ungeplante planen? Ich würde denken, man sollte um so besser vorbereitet sein, weil man sich in dem Thema besser auskennen muß, als wenn man alles vorhersehen kann. Nur den Ablauf, wann welches Teilgebiet zur Sprache kommt und ob überhaupt, das sollte am besten nicht festgelegt sein.*

Yogeshwar: Ja. Als Moderator bin ich bei „Wissenschaft live“ sehr viel stärker gefordert als bei einer normalen TV-Sendung. Dort habe ich vorher ein klares Konzept und muß ein bißchen darauf achten, daß die Zeiten eingehalten werden. Bei „Wissenschaft live“ muß ich die Gratwanderung wagen zwischen der Einhaltung eines groben Programms – weil sonst zum Bedauern aller wichtige Aspekte des Themas nicht angesprochen werden können – und dem Zulassen von Spontanität.

Kultur & Technik: *Gab es schon den Fall, daß die Spontanität überhandgenommen hat?*

Yogeshwar: Das gibt es regelmäßig. Es gibt Fälle, da bin ich mehr zufrieden, bei anderen dann nicht. Das ist ja nicht immer nur alles eitel Sonnenschein. Viel hängt von den Schulklassen ab. Manchmal spielen sie wunderbar mit, im Sinne der aktiven Gestalter. Sie begreifen sich so, und ich kann ihnen dann beim Ausüben helfen. Es entwickelt sich ein Feuer – und dann läuft das vielleicht manchmal auch in eine Richtung davon. Aber es gibt

auch Fälle, da klappt das nicht. Es gibt natürlich auch für mich Momente, in denen ich es schaffe, und andere, in denen ich versage.

Kultur & Technik: *Wie steht es mit den Wissenschaftlern? Sind die immer zu Spontanität fähig und in der Lage, alles verständlich zu erklären?*

Yogeshwar: Ich habe Wissenschaftler erlebt, die phantastisch reagiert haben, die aufgeblüht sind, weil sie vielleicht schon vergessen hatten, daß das, was sie ein Leben lang machen, nicht nur Fachleute interessiert, sondern bei entsprechender Präsentation auch Laien. Ich habe aber auch welche erlebt, die mit dieser Situation völlig überfordert waren und sich zurückgezogen haben in Schutzmechanismen, wie mit Salven von Fachvokabeln auf die ganz einfache Frage eines Zwölfjährigen zu antworten.

Jedenfalls behaupte ich, daß „Wissenschaft live“ auch für Wissenschaftler manchmal eine ganz neue Erfahrung ist, weil sie nach 20, 30 Jahren in einem Labor auf einmal mit neugierigen jungen Menschen konfrontiert werden, die allesamt nicht bei Herrn Professor sowieso ihre Diplomarbeit machen und damit auch nicht abhängig sind. Ganz offen artikulieren die Schüler neue Ideen, stellen ehrliche Fragen und das in einer Frische, die der Wissenschaftler vielleicht seit Jahrzehnten nicht erfahren hat. □

Das Gespräch mit Ranga Yogeshwar führte Alexandra Bora.

AUTORIN UND GESPRÄCHSPARTNER

Alexandra Bora ist freie Journalistin und lebt in Bonn. Sie schreibt u. a. für den Bonner General-Anzeiger sowie weitere Tageszeitungen und Wissenschaftsmagazine.

Ranga Yogeshwar moderiert „Wissenschaft live“, seit es 1996 gestartet wurde. Yogeshwar ist Wissenschaftsredakteur beim WDR und unter anderem Moderator der TV-Sendungen „Quarks & Co“, „Kopfball“ sowie zahlreicher Sondersendungen und Diskussionen. Der Vater von vier Kindern wurde 1959 in Luxemburg geboren, hat an der RWTH Aachen Physik studiert und arbeitet seit 1983 als Journalist.

EISEN, RAUCH UND WASSERDAMPF

Dampfbetriebene Schmalspurbahnen im Erzgebirge

VON WILHELM ENDLICH

Bis 1918 waren Bayern und Sachsen benachbarte Königreiche, welche schon früh Eisenbahngeschichte schrieben. Schließlich gehörten die Bahnstrecken Nürnberg-Fürth (1835) und Dresden-Leipzig (1840) zu den frühen Länderbahnen im späteren Deutschen (Kaiser-)Reich ab 1871.

Zunächst überwog bei den Haupt- und Nebenlinien der Eisenbahnen die Regel- oder Normalspurweite von 1435 Millimetern, die sich an den ersten englischen Lokomotiven mit ihren 4 Fuß 8 1/2 Zoll Spurbreite orientierte. In Sachsen hatte man jedoch schon früh und aufmerksam die Entwicklung der schmalspurigen Eisenbahnen als mögliche Neben- oder Sekundärbahnen beobachtet.

Ein vom sächsischen König Albert am 5. November 1877 erlassenes Dekret erläutert: „Eisenbahnen mit 0,75 m Spurbreite sind geeignet, ebenso wohl dem allgemeinen, wie dem Bergwerks- und Steinbruchs-, Fabriken- und Landwirtschaftsverkehr dadurch zu dienen, daß die nach den einzelnen Etablissements führenden und den Transport in denselben vermittelnden Arbeits- und Huntegleise, welche man mit 0,5 bis 0,8 m Spurbreite hergestellt findet, dieselbe Spurbreite erhalten können, wie die eigentliche Bahn selbst.“

Das königliche „Decret Nr. 24, die Erbauung mehrerer Sekundäreisenbahnen betreffend“, das am 8. Dezember 1879 bei der II. Kammer der Landstände (Landtag) einging, war als Beratungs- und Beschlußvorlage gedacht. Es führt aus: „Die schmalspurige Bahn kann sich dem natürlichen Terrain weit besser anschmiegen; die Zulässigkeit sehr kleiner Halbmesser für die Curven gestattet derartigen

Bahnen meistens längs bestehender Verkehrswege hinzuzuführen; es lassen sich die Durchschneidung der Feldkomplexe leichter umgehen und wesentliche Ersparungen an Grunderwerbskosten erzielen.“ Nicht nur die Kosten für den Oberbau und die Betriebskosten seien bei Schmalspurbahnen geringer, auch die Betriebsmittel (Loks und Wagen) ließen sich im Verhältnis zu ihrer Leistungsfähigkeit „bedeutend wohlfeiler herstellen“.

Nach fast 20jährigem Hin und Her zwischen betroffenen Kommunen und sächsischem Landtag – das gab es also schon damals! – wurde die Direktion der Königlich Sächsischen Staatsbahnen (Kgl.Sä.St.B.) mit der Realisierung mehrerer Schmalspurbahnen beauftragt. So entstand als erste sächsische Schmalspurbahnstrecke die von Wilkau (später Wilkau-Haßlau), nahe dem damaligen Zwickauer Kohlerevier an der Hauptstrecke Zwickau-Aue gelegen, nach Kirchberg. Sie war 6,72 Kilometer lang und wurde am 17. Oktober 1881 eröffnet.

Sehr bald jedoch forderten der damals aufblühende Handel und die Industrie die Verlängerung der Bahnstrecke nach Saupersdorf (3,35 Kilometer) im Jahre 1882 und Wilzschhaus, später Schönheide-Süd, (24,25 Kilometer) im Jahre 1893. Dort kreuzte die Schmalspurbahn auf der eindrucksvollen Muldetal-Brücke die damalige Hauptstrecke Aue-Adorf, wo die Möglichkeit bestand, Regelpurwaggons auf spezielle Schmalspur-Rollwagen umzuladen. Holz- und Glasindustrie forderten die weitere Verlängerung der Strecke bis Carlsfeld (7,33 Kilometer), die im Jahre 1897 eröffnet wurde. Die Bahn von Wilkau-Haßlau nach Carlsfeld mit dem späteren Streckenkürzel WCd war einige Zeit die sächsische Schmalspurbahn der Superlative:

- sie war mit 41,65 Kilometern die längste Strecke;
- sie verband 13 Ortschaften;
- 46 Firmen-Anschlußbahnen zweigten von ihr ab;
- sie hatte die engsten Kurven mit Radien von 50 beziehungsweise 60 Metern und die steilsten Strecken bis 2,5 Prozent vor dem Bahnhof Carlsfeld;
- zu ihr gehörten eindrucksvolle Brückenbauwerke wie die Stützengrüner Viadukte oder die Muldetal-Brücke.

Foto: André Marks (u.)

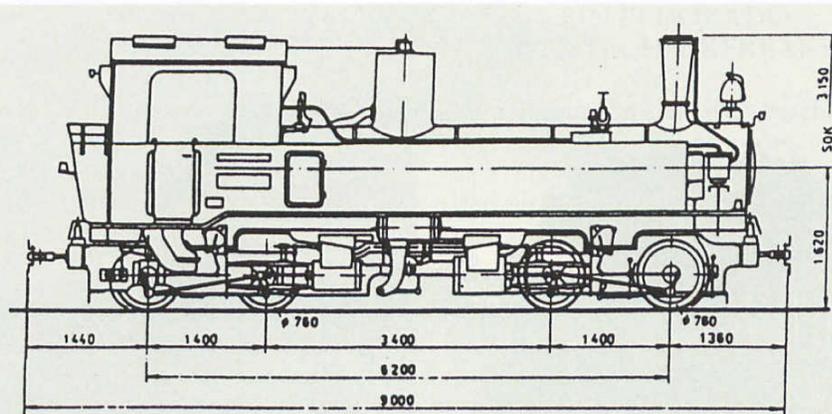
Abbildung: Museumsbahn Schönheide-Carlsfeld e. V., Schönheide (r.)



Rechts: Lokomotive der Baureihe 99.51-60. Die Lok aus dem Jahr 1912 wird derzeit restauriert und soll in der Saison 2000 für die Museumsbahn Schönheide fahren. Unten: Winterliche Idylle mit Dampfproß: die Preßnitztalbahn.

Eine nicht minder eindrucksvolle technische Leistung waren die für solche Gegebenheiten erforderlichen Dampflokomotiven der Sächsischen Maschinenfabrik vorm. Richard Hartmann in Chemnitz. Mit der Gattungsbezeichnung I K (K für Kleinbahn 0,75 Meter) beschaffte die Kgl. Sä.St.B. zur Eröffnung der WCd 1881 erste Lokomotiven der Bauart C n 2 t, einer gedungenen Dreikupppler-Tenderlok mit Entgleisungsneigung in zu schnell gefahrenen Kurven. Die zugelassenen Geschwindigkeiten betragen je nach Streckenverlauf allerdings nur 15 bis 30 Kilometer pro Stunde.

Als leistungsstärkere und kurvengängigere Variante lieferte die inzwischen als „Hoflieferant“ geltende Firma Hartmann nach den Zwischengat-



tungen II K und III K von 1892 bis 1916 ihre berühmt gewordene IV K in elf Bauserien mit insgesamt 96 Exemplaren. Sie waren auf allen der damals mehr als 500 Kilometer sächsischer Schmalspurbahnstrecken im Einsatz.

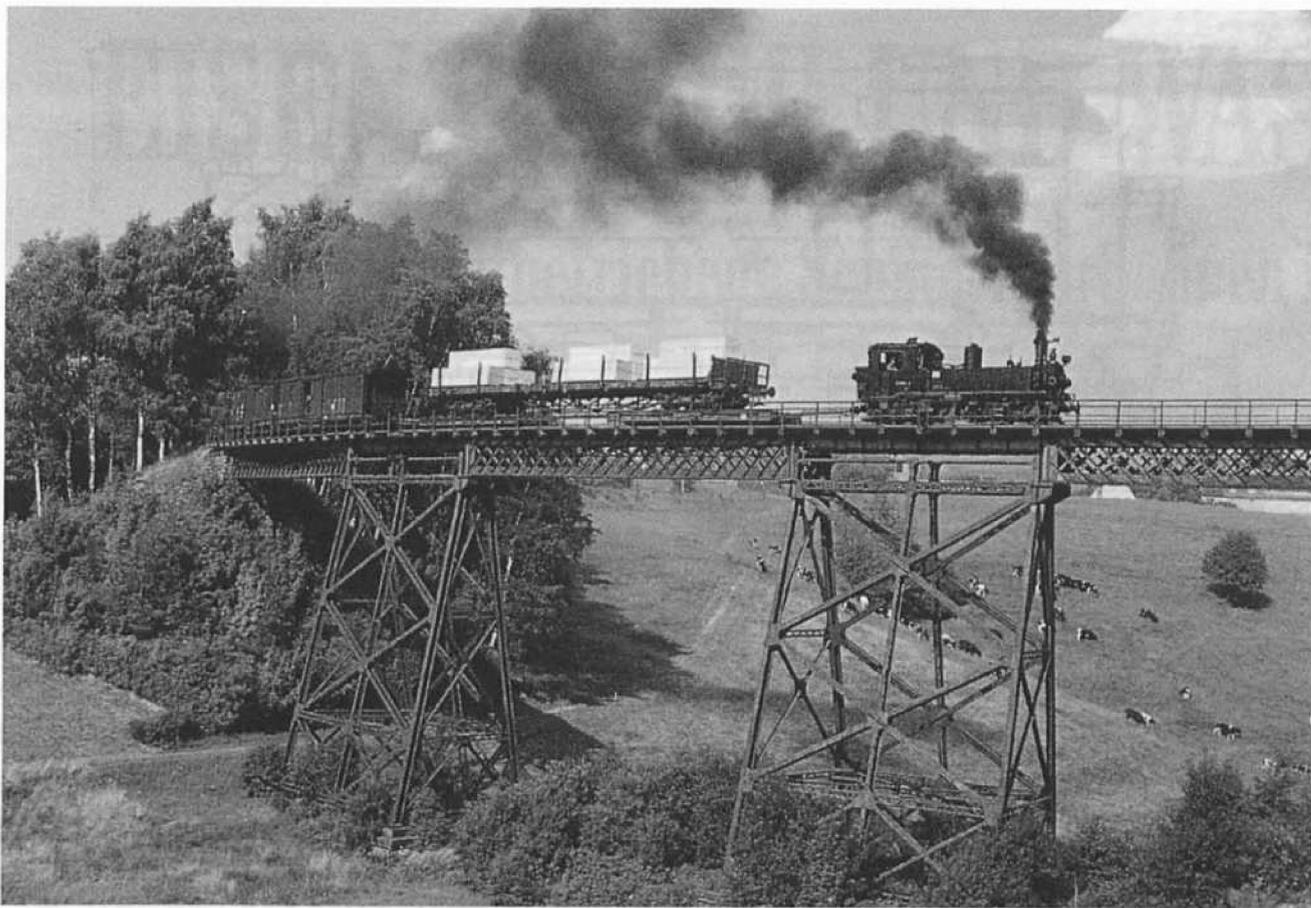
Die IV K ist eine 4-Zylinder-Verbund-Naßdampf-Lokomotive mit Hoch- und Niederdruckteil und mit gegenläufig arbeitenden Triebwerken in zwei Drehgestellen der Bauart

B'B'n4v. Bei der zierlich wirkenden Lok mit etwa 220 PS (162 kW) am Zughaken vermißt man die sonst üblichen „Dampfschläge“ beim Anfahren und an Steigungen. Unter anderem ihr leiser Lauf forderte den kräftigen Gebrauch von Dampfpeife und Läutewerk beim Queren von Ortschaften und Straßen.

Von der allseits beliebten, nunmehr über 100jährigen IV K existieren noch

DIE MUSEUMSBAHNEN

- *Museumsbahn Schönheide-Carlsfeld e. V.*, Am Fuchsstein/Lokschuppen, 08304 Schönheide, Telefon/Fax (037755) 4303. Sonderfahrten nach Anmeldung.
- *IG Preßnitztalbahn e. V.*, Markt 188, 09477 Jöhstadt, Telefon/Fax (037343) 2300. Sonderfahrten jederzeit möglich.
- *Fichtelbergbahn Cranzahl-Oberwiesenthal (CW)*. Gemeinde Neudorf/Erzgebirge, 09465 Neudorf, Telefon/Fax (037342) 8388. Es gibt einen Plandienst sowie Sonderfahrten mit Einsatz eines bewirtschafteten Salonwagens.
- *Weißeritztalbahn von Freital-Hainsberg nach Kipsdorf*. Fremdenverkehrsamt Altenberg, 01776 Schellerhau, Telefon/Fax (035052) 20791. Sonderfahrten sind jederzeit möglich.
- *Sächsisches Schmalspurbahn-Museum Rittersgrün*, Kirchstr. 4, 08355 Rittersgrün, Telefon (037757) 7440, Fax (03774) 74360.
- *Eisenbahnmuseum Schwarzenberg*, Schneeberger Straße, 08340 Schwarzenberg. Über: Verein Sächsischer Eisenbahnfreunde e.V., Glück-Auf-Siedlung 3, 08340 Erla, Telefon (03774) 23212, Fax 74360.



Oben: Das Große Stützengrüner Viadukt (118 m lang, 21 m hoch, erbaut 1893) mit Güterzug samt IV K im Jahre 1975. Rechts: Dasselbe Brückenaufleger 1998.

22 Exemplare als Denkmal- und Museumsloks, wovon immerhin zwölf betriebsbereit sind. Nach erheblich gestiegenen Transportleistungen bei den schmalspurigen Erzgebirgsbahnen während des Zweiten Weltkriegs folgte zu Zeiten der *Deutsch-Sowjetischen AG Wismut* nochmals die höchste Auslastung der Strecken im Hinblick auf die Uransuche und den rigorosen Uranabbau. Schon in den 60er Jahren ging jedoch dessen Bedeutung zurück, und es wurden die wirtschaftlichen Schwierigkeiten der Region wieder deutlich.

Die Folge: Noch zu DDR-Zeiten wurde – gegen den Protest der Bevölkerung – die Mehrzahl der Bahnen in den 70er Jahren eingestellt und durch den sogenannten SEV (Schienenersatzverkehr) mit Bus und Lkw ersetzt, welcher die maroden Straßen zusätzlich belastete. Das Schlimmste aber war der rigorose Abbau samt Verschrottung von Schienen – verniedlicht als Rückbau bezeichnet – von Weichen und historisch wertvollen Brückenbauwerken.

Eisenbahn-Freunde wurden noch vor der Wende, aber besonders danach, aktiv, taten sich in Vereinen oder Interessengemeinschaften zusammen und begannen, noch vorhandene Loks und Wagen wiederherzustellen, Lok-



schuppen und Bahnhöfe herzurichten, $\frac{3}{4}$ -Meter-Schienenstränge auf den alten Trassen neu zu verlegen und einen Teilbetrieb zu organisieren. Sie erhielten Unterstützung vor allem durch das Arbeitsamt Annaberg-Buchholz im Rahmen von Arbeitsbeschaffungsmaßnahmen. Denn: Von einigen innovativen Industriensiedlungen abgesehen – zum Beispiel Uhren aus Glashütte oder FCKW-freie Kühlschränke aus Niederschmiedeberg oder die traditionell-berühmten Holzspielzeuge – lebt die Erzgebirgsregion heute vom Tourismus. Und so dampft es eben wieder auf den Schmalspurbahnen im Erzgebirge.

SCHMALSPURBAHNEN UNTER DAMPF

Museumsbahn Schönheide-Carlsfeld e. V. Schönheide. Der Verein hat den Lokschuppen wiederhergestellt, ein kleines Museum in einem Original-Packwagen eingerichtet, in mühsamer Kleinarbeit etwa vier Kilometer Strecke der früheren WCd zwischen Schönheide über Neuheide nach Stützengrün-Bürstenfabrik wieder aufgebaut und befährt die Strecke an Feiertagen mit ihrer IV K-Diesellok V 10 C. Die vereinseigene IV K 99582 muß derzeit mit einem Neubaukessel aus dem AW Meiningen ausgerüstet werden, der mit 170.000 Mark die Vereinsmittel erheblich belastet. Da sind natürlich Spender gefragt.

IG Preßnitztalbahn e. V., Jöhstadt. Der Bahnhof war Endbahnhof der Strecke Wolkenstein-Jöhstadt (WS), welche 1892 eröffnet und 1986 stillgelegt sowie abgebaut wurde. Sie galt mit ihren 23 Kilometern und den erheblichen Steigungen von 1 : 40 beziehungsweise 2,5 Prozent und mit ihren 52 Brücken als eine der landschaftlich schönsten Erzgebirgsstrecken. Nicht von ungefähr hat gerade die Preßnitztalbahn mehr als 300 begeisterte Mitglieder und gilt als besonders aktiv.

Jöhstadt mit seiner schönen Bahnhofsanlage und dem Museum diente als Ausgang für den Wiederaufbau

EIN ELDORADO FÜR TECHNIKFREAKS

Abgesehen von den hier beschriebenen Schmalspurbahnen konzentriert sich im sächsischen Erzgebirge eine der europaweit größten Ansammlungen von 25 technischen Museen und 22 Schaubergwerken. Das Gebiet reicht von der südöstlichen Grenze zu Tschechien auf dem Erzgebirgskamm bis etwa zur Linie Plauen-Zwickau-Chemnitz-Dresden. Die Reviere entlang der berühmten „Silberstraße“ um die großen historischen Bergstädte Freiberg, Schneeberg, Annaberg oder Marienberg blicken auf eine zum Teil über 500jährige Bergbaugeschichte zurück: Die bloße geographische Bezeichnung „Erzgebirge“ trifft hier ziemlich genau den Kern.



Die IV K der Museumsbahn Schönheide–Carlsfeld e.V. mit offenem Aussichtswagen.

von bisher 6,5 Kilometern Strecke bis fast nach Steinbach. Sie wird von drei IV K sowie zwei alten Dieselloks im Feiertags-, Zwischendurch- und Wochenendverkehr befahren.

Fichtelbergbahn Cranzahl-Oberwiesenthal (CW). Die 17,4 Kilometer lange Strecke wird seit ihrer Inbetriebnahme im Jahr 1897 bis heute planmäßig mit Dampflok befahren und ist damit als Rarität anzusehen. Bis 1929 waren IV Ks im Einsatz, die danach durch die weiterentwickelten VII K ersetzt wurden; diese wurden vom *Lokbau Carl-Marx*, Babelsberg, in den 50er Jahren modifiziert weitergebaut. Eine IV K ist noch betriebsbereit für Traditionszüge. Einzig ihre Einstufung als Touristenbahn zu DDR-Zeiten bewahrte die Bahn vor dem Schicksal der anderen Bahnen. Sie ging von der DR auf die DB und seit 1997 an die Region über.

Weißeritztalbahn von Freital-Hainsberg, nahe Dresden, nach Kipsdorf (HK). Die Bahn hat eine Streckenlänge von 26,1 Kilometern und gilt als dienstälteste deutsche Schmalspurbahn, weil sie bereits 1883 eröffnet wurde und seither nahezu ununterbrochen im Dienst stand. Vorhanden ist ein großes Schmalspur-Bahnhofsgebäude mit Museum im Kurort Kipsdorf. Bis 1923 gehörte die IV K

zum Stammbestand und wurde danach durch die VII K ersetzt. Eine IV K ist noch betriebsbereit. Die Bahn steht unter kommunaler Regie.

Sächsisches Schmalspurbahn-Museum Rittersgrün. Das Museum entstand 1992 am früheren Endbahnhof der Schmalspurstrecke Grünstädtel-Oberittersgrün (GR), die 1889 mit 9,36 Kilometern Länge eröffnet, 1971 stillgelegt und abgebaut wurde. Es enthält neben einer IV K und einer VII K auch andere Loks sowie eine umfangreiche Sammlung von Personen-, Güter- und Gepäckwagen und ein komplettes Bahnhofsgebäude samt Einrichtung. Auch hier soll die Strecke, zumindest bis zum Haltepunkt Unterrittersgrün – ein Kilometer –, restauriert werden.

Eisenbahnmuseum Schwarzenberg. Dieses Museum stellt die Verbindung zur Regelspur her. Der 1902 in Betrieb genommene Lokschuppen mit Drehscheibe bildet die Basis einer hervorragenden Sammlung von 15 Dampf- und Dieselloks sowie von 50 Reisezugwagen aus der sächsischen Eisenbahngeschichte. Dampfzug-Sonderfahrten stehen auf dem Programm, wenn auch nicht so intensiv wie auf den Schmalspurbahnen, da schließlich Gleise der Deutschen Bahn befahren werden müssen.

ZITIERTE UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR

- Tourismusverband Erzgebirge e.V.* (Hg.): Prospekte „Eisen, Rauch und Wasserdampf“, „Technische Museen im Erzgebirge“, „Schaubergwerke im Erzgebirge“. 09456 Annaberg-Buchholz, Telefon/Fax (03733) 23553.
- Heinrich, R. und G. Parzyk:* Die Schmalspurbahn Wilkau-Haßlau-Carlsfeld, EK-Verlag GmbH, Freiburg 1995.
- Weisbrod, M.:* Die sächsische IV K/Lokomotivgeschichte einer 100jährigen – Teil 1. *Eisenbahn-Journal special* 8/92, Hermann Merker Verlag GmbH, Fürstfeldbruck.
- Neidhardt, I.:* IV K-Einsatz auf sächsischen Schmalspurstrecken – Teil 2. *Eisenbahn-Journal special* 8/93, Hermann Merker Verlag GmbH, Fürstfeldbruck.
- Jacobi, V.* (Hg.): Schmalspurbahn Cranzahl-Oberwiesenthal 1897–1997 Jubiläumsbrochure, Hobby-Foto-Jacobi, Römersgrün 1997.
- Petrak, A.:* Schmalspurbahn Wolkenstein-Jöhstadt. Verlag Kenning, Nordhorn 1996.
- Becher, St.:* Mit der Weißeritztalbahn ins Ost-erzgebirge. Hg. vom Weißeritztalbahn e. V., Freital (c/o Fremdenverkehrsamt Altenberg, 01776 Schellerhau).

DER AUTOR

Wilhelm Endlich, geboren 1930, Dipl.-Ing., ist Inhaber des ibc Ingenieur- und Beratungsbüros in München. Seit er in den Jahren 1939–45, vor fast 60 Jahren, sächsische Schmalspurbahnen befuhr, ist sein Interesse an diesen Bahnen wach geblieben. So ist er nicht nur Fördermitglied des Deutschen Museums, sondern auch der Museumsbahn Schönheide/Carlsfeld e.V.

WOHNLICHE WÄRME

Museums-Porträt: das Ofen- und Keramikmuseum Velten

VON MONIKA DITTMAR

Am 7. Juli 1905 gründeten der Kantor Gustav Gericke, der Amtsvorsteher Hermann Aurel Zieger und der Ofenfabrikant C. H. Hermann Schmidt im Dachgeschoß einer Schule in Velten das „Ortsmuseum für die Kachelofen-, Tonwarenindustrie und Heimatpflege“. Den Grundstock des Museums bildeten Kacheln und Ofenschmuck, Entwurfszeichnungen, Musterbücher, Ofenmodelle, Fotografien von Produktionsanlagen und Produktionsabläufen und letztlich auch komplette Öfen.

Die Sammlung wurde zunächst von den ortsansässigen Fabrikanten zusammengetragen, und so gelangten in das Museum Quellen aus erster Hand. Geschenke und Ankäufe von Veltener Bürgern, von Ofensetzern und keramischen Betrieben und Schulen ließen es in den folgenden Jahren stetig wachsen.

Im Jahr 1905 – dem Jahr der Museumsgründung – befand sich der Ort Velten auch auf seinem wirtschaftlichen Höhepunkt. Die im Ort vorhandenen fast 40 Ofenfabriken – eine in der Welt einmalige Ballung – lieferten allein 100.000 Kachelöfen nach Berlin, das hieß: Wärme und Wohnlichkeit der Berliner Wohnzimmer kamen überwiegend aus Velten.

70 Jahre zuvor, am 7. Juli 1835, hatte der Maurerpolier J. Ackermann die baupolizeiliche Genehmigung für den Aufbau der ersten Kachelofenfabrik und Ziegelei in Velten erhalten, ein Gründungsakt mit einer großen Tragweite für den Ort. Die riesigen Tonvorkommen, die sich am Ortsrand befanden, waren die Ursache für das Gründerfieber, das bei den

Bauern Veltens in den nächsten Jahrzehnten einsetzte und 38 Ofenfabriken entstehen ließ.

Bereits um 1830 bezog der Berliner Ofenfabrikant Tobias Christoph Feilner für seine Öfen, die meist von Karl Friedrich Schinkel entworfen wurden, den Ton aus Velten, und die Veltener Bauern nutzten die Erfahrungen Feilners und den massenhaften heimischen Rohstoff und stellten sich in den kommenden Jahrzehnten auf die Herstellung von Ofenkacheln um. Sie produzierten anfänglich ausnahmslos weiße Schmelzkacheln für die sogenannten Berliner Öfen, die Velten weit über die Mark Brandenburg hinaus berühmt gemacht haben.

Zunächst stand daher der Kachelofen im Mittelpunkt der Sammlung des Veltener Museums, doch als neue

Energiequellen wie Gas und Elektrizität begannen, dem tönernen Wärmespender der letzten Jahrhunderte den Rang abzulaufen, erweiterte es seine Sammlung auf die Gefäß- und Baukeramik. Nach 1920 gelangten unter anderem Produkte der Steingutfabriken Velten-Vordamm, Arbeiten von Hedwig Bollhagen, Otto Douglas Hill, Wilhelm E. Schade, Keramiken aus Bunzlau, Hameln und Rheinsberg in das Veltener Museum und bildeten somit einen weiteren Höhepunkt des Bestandes.

ODYSSEE EINER AUSSTELLUNG

1954 konnte das „Keramik- und Heimatmuseum Velten“, wie es nun hieß, ein eigenes Haus beziehen, doch als 15 Jahre später die zerbrechliche Sammlung im Schutt des inzwischen baufälligen Gebäudes zu versinken drohte, schien Verkauf der letzte Ausweg. 1970 schloß das Veltener Museum endgültig seine Pforten; die damalige Stadtverwaltung hatte es nicht vermocht, das Gebäude zu erhalten, und bot nun die Sammlungen den Museen der Umgebung und Berlins zur Übernahme an. So kam es, daß die weit über seine Ortsgrenzen hinaus bekannten Bestände verkauft wurden und für fast 25 Jahre in den Kellern und Magazinen des Berliner Zeughauses eingelagert wurden.

Im Herbst 1992 konnten mit einer Sonderausstellung „Märkische Ton-Kunst“ Teile des Bestandes einer beachtlichen Zahl von Besuchern erstmals wieder

Links: Veltener Ton in seiner schönsten Form: Blumenbukett und Vogel, um 1900. Seite 51: Ein reich verzierter Mittelsimsofen, kolorierter Druck um 1905.



zugänglich gemacht werden, und das Deutsche Historische Museum, inzwischen Hausherr des Berliner Zeughauses, übergab im Anschluß die Museumsbestände wieder an die Stadt Velten.

In der letzten noch produzierenden Veltener Ofenfabrik, der Ofenfabrik Schmidt, Lehmann & Co. GmbH in der Wilhelmstraße 32, befindet sich nun der wieder nach Velten heimgekehrte Museumsbestand. Er umfaßt über 60 komplette Öfen, neben den Kachelöfen aus Velten, Berlin, Nürnberg und Meissen auch Dauerbrandöfen und Küchenherde, weiterhin etwa 4000 Kacheln und Ofenteile aus ganz Deutschland, über 1000 Stücke der Gefäß- und Baukeramik, neben den Musterbüchern und -blättern auch eine keramische und heiztechnische Schriftensammlung, Gemälde, Dokumente und Postkarten zur Geschichte Veltens und der Mark Brandenburg sowie eine berühmte Sammlung von Originalfotografien.

1905 hatte die Gemeinde Velten den namhaften Berliner Fotografen Waldemar Titzenthaler beauftragt, die Ofenkachelfabriken des Ortes sowie „den Werdegang der Fabrikation der Kachel“ mit der Kamera festzuhalten. Seine Bilder sind faszinierende Zeitzeugen. Sie vermitteln einen Eindruck von Velten, als der Ort sich auf dem Höhepunkt seiner wirtschaftlichen Entwicklung befand, mit den meisten Ofenfabriken und dem größten Produktionsumfang, und von den Menschen, die in diesen Fabriken gearbeitet haben. Die Fotografien gelangten in das gerade gegründete Veltener Museum und sind bis heute neben den schmucken Öfen und Kacheln ein Höhepunkt der Sammlung. Vorhanden sind 37 Aufnahmen von Ofenfabriken, 32 Aufnahmen der Produktion sowie einige

Fotografien von sonstigen gewerblichen Anlagen und Gebäuden.

Ein Förderverein hatte es sich seit 1992 zur Aufgabe gemacht, in der Ofenstadt Velten wieder ein Ofenmuseum einzurichten, und seit 1994 entsteht in bisher zwei Etagen der Ofenfabrik mit Mitteln der Stadt Velten, des Landes Brandenburg, des Bundes und von Sponsoren das „Ofen- und Keramikmuseum Velten“. Der Standort in einer „arbeitenden“ Fabrik mit den darin noch vorhandenen Maschinen und Brennöfen bietet eine ideale

Möglichkeit für die Einrichtung eines Museums, das sowohl Industriemuseum als auch kulturhistorisches Museum mit regionalem wie auch überregionalem Charakter sein will.

Die Besucherzahlen wachsen stetig. Zum einen freuen sich die Besucher natürlich über die alten und gemütlichen Wärmespenden, zumal wenn man selbst in einer zentralbeheizten Wohnung lebt, zum anderen rückt in Zeiten des wachsenden Energiebewußtseins gerade die individuelle Heizung wieder neu in das Interesse

der Bauherren von Einfamilienhäusern.

AUSSTELLUNGEN UND VERANSTALTUNGEN

Neben der ständigen Ausstellung zur Kulturgeschichte des Heizens und zur Keramik der 20er und 30er Jahre gibt es wechselnde Sonderausstellungen: Im Jahr 2000 sind Ausstellungen zu Künstlerentwürfen für Öfen, zur Keramik der 50er Jahre, zur Keramik von Mario Enke und zur Industriekultur im Land Brandenburg geplant. Weitere Veranstaltungen sind: im Mai Töpfermarkt, im Herbst Weinfest und Kunsthandwerkermarkt, am 3. Adventswochenende ein Weihnachts-

DAS MUSEUM

Ofen- und Keramikmuseum Velten, das Museum in der Ofenfabrik, Wilhelmstraße 32, 16727 Velten, Telefon (03304) 31760, Fax (03304) 505887. Öffnungszeiten: Dienstag–Freitag 11–17 Uhr, Samstag–Sonntag 13–17 Uhr. Jeden Mittwoch und jeden ersten Samstag im Monat ist um 15 Uhr die Teilnahme an einer Führung durch die Produktionsräume der Ofenfabrik möglich. Für größere Gruppen können telefonisch auch andere Besichtigungszeiten vereinbart werden.

- Ofenfabrik Schmidt, Lehmann & Co. GmbH, Wilhelmstraße 32, Telefon (03304) 502324.
- Töpferei Am Museum, Wolfgang Lindner, Telefon (03304) 30858.
- Werkstätten für Keramik Hedwig Bollhagen, Triftstraße 7, 16727 Marwitz, Telefon (03304) 39800.
- Auskünfte und Anmeldungen zur Töpferkantine: Telefon (03304) 31760 und 502324.

markt sowie etwa sechs Museumskonzerte im einmaligen Ambiente des Dachgeschosses der über 125 Jahre alten Ofenfabrik, das jetzt Ausstellungsraum ist.

Der auf dem Gelände von Ofenfabrik und Museum befindliche Keramikladen hält ein vielfältiges und preiswertes Angebot von weit über 20 keramischen Werkstätten bereit, unter anderem von Hedwig Bollhagen aus Marwitz, Christa Koslitz aus Hohen Neuendorf, Wolfgang Lindner aus Velten und Herbert Schulze aus Cernitz. Beachtenswert sind auch die vielfältigen Angebote von Intarsienkeramik des Berliner Keramikers Dietrich Löwe.

Auf dem Gelände ist die Töpferwerkstatt von Wolfgang Lindner entstanden. Dort können die Besucher bei der Töpferarbeit zusehen. Eine „Töpferkantine“ neben dem Keramikladen hält einen kleinen Imbiß für alle bereit, die von Öfen und Keramik hungrig geworden sind. □

DIE AUTORIN

Monika Dittmar, geboren 1942, ist Historikerin und leitet seit 1994 das Ofen- und Keramikmuseum Velten.

DIE GEBURT DER MIKROSKOPE

Der niederländische Wissenschaftler Leeuwenhoek und der Fortpflanzungsstreit

VON KLAUS MEYER

DAS TOR ZUM MIKROKOSMOS ÖFFNET SICH

Der Durchbruch kam mit einem Paukenschlag, dem Buch „Micrographia“ des Robert Hook. Dieses Werk erschien im Jahre 1664 in London, wo Hook (1635–1703) der Experimentalcustos der Royal Society war. Es enthielt 57 Kupferstiche in großem Format mit genauen Beschreibungen der Befunde und außerdem noch weitere bedeutende Beiträge zu Astronomie, Physik etc. Es hat ganze Generationen von mikroskopierenden Natur-

forschern angeregt und insofern wirklich Epoche gemacht.

Neben Hook traten in dieser Epoche noch weitere vier große naturforschende Mikroskopiker auf den Plan: Malpighi (1628–1694), Grew (1641–1712), Swammerdam (1637–1680) und unser Leeuwenhoek (1632–1723).

Daß Leeuwenhoek als Autodidakt eine so einzigartige Fülle von mikroskopischen Beobachtungen durchführen konnte, ist neben seinen persönlichen Fähigkeiten zwei besonderen Umständen zu verdanken: zum einen der durch ihn erheblich gesteigerten

DIE URSPRÜNGE

Die Vorgeschichte der optischen Instrumente kann man auf einen Satz reduzieren: Im Altertum wurde der Spiegel erfunden, im Mittelalter die Brille und am Anfang des 17. Jahrhunderts fast gleichzeitig das Fernrohr und das Mikroskop.

Das Fernrohr machte sogleich Furore. Die Astronomen hatten geradezu darauf gewartet, und auch beim Militär und in der Seefahrt wurde es sofort eingesetzt. Ganz anders das Mikroskop. Über ein halbes Jahrhundert lang wußte man nichts Rechtes damit anzufangen.

Die untere Sichtbarkeitsgrenze des Menschen liegt in der Größenordnung eines Flohes, allenfalls einer Milbe. Daß es noch kleinere Strukturen gibt, daß in diesem springenden Floh eine Fülle innerer Organe arbeiten, das hatte noch niemand eines Gedanken für wert gehalten. Dabei war das hübsche Tierchen überall zu finden. Es wurde für lange Zeit das beliebteste Beobachtungsobjekt der frühen Mikroskope, die man deshalb oft als Flohgläser bezeichnete (siehe hierzu den Beitrag Seite 40ff.).

ANTONI VAN LEEUWENHOEK (1632–1723)

Antoni van Leeuwenhoek wurde im Jahre 1632 in Delft als Sohn eines Korbmachers geboren. Irgendeine wissenschaftliche Bildung hat er nie genossen, auch keinerlei Sprachen gelernt außer seinem heimatlichen Dialekt, aus dem sich gerade im 17. Jahrhundert erst die niederländische Schriftsprache entwickelt hatte.

Sechs Jahre lang betrieb Leeuwenhoek in seiner Heimatstadt Delft einen eigenen Tuchhandel. Im Jahre 1660 gab er das Geschäft auf und wurde städtischer Beamter: „Camerbewar-der der Camer van Heren Schepenen“, d. h. etwa: Hausmeister des Gerichtsraumes im Rathaus. Etwa um diese Zeit muß er mit seinen mikroskopischen Experimenten begonnen haben. Die Anstellung im Rathaus hat er 39 Jahre lang beibehalten. Sie war mit einem beträchtlichen, steigenden Gehalt und Pension verbunden. Ein zweiter städtischer Auftrag kam später hinzu: „Winegauger“ – der verpflichtete ihn, an den Stadttore die eingeführten Alkoholika in den Fässern zu vermessen. Beide Tätigkeiten

paßten durchaus nicht zu dem hohen internationalen Ansehen Leeuwenhoeks. So darf man wohl vermuten, daß es Sinekuren waren, mit denen die große, reiche Stadt Delft ihren berühmten Mitbürger unauffällig unterstützte.

In Leeuwenhoeks Biographie fehlen die 13 Jahre zwischen seinem Berufswechsel 1660 und seinen ersten Kontakten zur Royal Society 1673. In diesem Zeitraum muß er sich vom Kaufmann zum Wissenschafts-Autodidakten entwickelt haben. 1668 erfolgt die besagte Reise nach London. Vielleicht hatte er schon in Delft erfahren, daß London ein Zentrum der Mikroskopie zu werden versprach, vielleicht gab sogar Hooks „Micrographia“ den Anlaß. Fünf Jahre nach dieser Reise jedenfalls – vermutlich sogar etwas früher – hatte sich in Delft bereits herumgesprochen, daß dieser städtische Angestellte hervorragende Mikroskope herzustellen verstand.

Im Jahre 1680 wählte die Royal Society Leeuwenhoek zu ihrem Mitglied. Zu seinem berechtigten Stolz gehörte er damit zur Weltelite der Wissenschaft.

gerten Qualität der Mikroskopoptik und zum anderen seiner neuen methodischen mikroskopischen Dimension des Sehens.

Seine Linsen vergrößerten durchweg 100- bis 200fach, ihr Auflösungsvermögen lag bei einigen tausendstel Millimetern. Damit wurden Dinge sichtbar, an deren Existenz bis dahin kein Mensch dachte, die niemand gesucht oder zu finden gehofft hatte.

EINE REVOLUTION: DIE ENTDECKUNG DER ANIMALCULA

Die Liste mit Leeuwenhoeks Entdeckungen ist schier unerschöpflich. Er fand die Infusorien im Wasser, die Bakterien im Mund, die Hefe im Bier. Er brütete Floheier in seiner Hosentasche aus und konnte die Entwicklung nicht nur dieses Tierchens, sondern auch zahlreicher anderer Insekten verfolgen. Er untersuchte die mikroskopische Struktur des Holzes, die Histologie vieler tierischer Körpergewebe, fand z. B. die Darmzotten und die quergestreiften Fasern der Muskeln beim Floh so gut wie beim Walfisch.

Er hat alle seine Mikroskope selbst angefertigt, alle Linsen selbst geschliffen. Jedes seiner über 500 Mikroskope trug ein spezielles Präparat, das er seinen zahlreichen Besuchern demonstrierte.

Unstreitig die bedeutendste von Leeuwenhoeks Entdeckungen ist die der Spermatozoen. Damit war die Fortpflanzung von Mensch und Tier erstmals ein Thema naturwissenschaftlicher Forschung geworden. Ein Arnheimer Medizinstudent, Johan Ham, besuchte Leeuwenhoek im Jahre 1677 und bat ihn, eine Probe zu untersuchen, die er in einer Phiole (Ampulle) mitgebracht hatte; es sei Gonorrhoe-Exkret. Leeuwenhoek sah eine Unmenge lebhaft bewegter, geschwänzter Zellen, kleiner als die ihm wohlbekannten Erythrozyten, und war sich sogleich klar, daß er die männlichen Samenzellen vor sich hatte. Da sie sich bewegten, hielt er sie



Mit Allongeperücke und Mikroskop: Antoni van Leeuwenhoek, 1632–1723.

des Männchen in einem Spermienkopf zeigten, den „Homunculus“. Bei einigem Nachdenken kam man darauf, daß diese in Folge aller Generationen seit Adam in jedem Spermium enthalten sein müßten und daß sie alle eine Seele hatten. Für Philosophen und Theologen kamen aufregende Zeiten, insbesondere Leibniz nahm das Problem ernst genug, es in seine „Theodicee“ aufzunehmen, wobei auch Leeuwenhoek, den er seit langem hoch schätzte, erwähnt wurde, worauf dieser recht stolz war.

Eine merkwürdige Laune der Wissenschaftsgeschichte hat es gefügt, daß gleichzeitig mit Leeuwenhoek in der gleichen Stadt ein sehr tüchtiger Arzt und Anatom lebte, Reinier de Graaf (1641–1673), der Leeuwenhoeks Arbeiten der Royal Society empfohlen hatte. Dieser de

Graaf hatte im Jahre 1672 eine gründliche Untersuchung der weiblichen Genitalien publiziert. Er hatte sich auch mit dem bis dahin wenig verstandenen Organ Ovarium beschäftigt, hatte die heute nach ihm benannten Follikel beschrieben und sie als Säugetiereier angesehen. Das wurde nun, nachdem Leeuwenhoek die animalcula gefunden hatte, in Medizinerkreisen erörtert und natürlich auch Leeuwenhoek berichtet.

VERWIRRUNG DER BEGRIFFE IN DER FRÜHEN GENETIK

Damit nun war Leeuwenhoek ganz und gar nicht einverstanden. Er hatte die Samentierchen gefunden, er bestand auf der männlichen Alleinvertretung im Zeugungsvorgang und verbat sich ganz entschieden den weiblichen Gleichberechtigungsanspruch. Es entstand eine äußerst lebhaft wissenschaftliche Kontroverse um die Rollen von Samen und Ei bei der Konzeption, für die wir heute, nachdem die Dinge doch so klar lie-

für Tierchen und nannte sie entsprechend lateinisch „animalcula“. Von größeren Zellen, also Leukozyten, die man bei Gonorrhoe erwarten müßte, ist nicht die Rede; es war also ein Ejakulat. Ham, der eigentliche erste Entdecker, stellte keinerlei Prioritätsansprüche und verschwand.

Leeuwenhoek hatte die richtige Idee, daß ähnliche Samenzellen bei allen Tieren existieren müßten. Er suchte sie sogleich (durch Sektion) bei Schlachttieren und Hunden, im Laufe der Jahre bei 20 verschiedenen Tierarten, sogar bei Insekten, Flöhen etc., und stellte fest, daß diese Samenzellen bei den kleinsten Tieren fast die gleiche Größe besitzen wie bei den großen und daß sie überall Beweglichkeit und sehr ähnliche geschwänzte Formen haben.

Natürlich machte man sich Gedanken über Inhalt und Funktion dieser animalcula. Man stellte sich vor, das zukünftige Lebewesen sei in extrem verkleinerter Form darin verborgen, „präformiert“. Es wurden sogar Bildchen gezeichnet, die ein hocken-

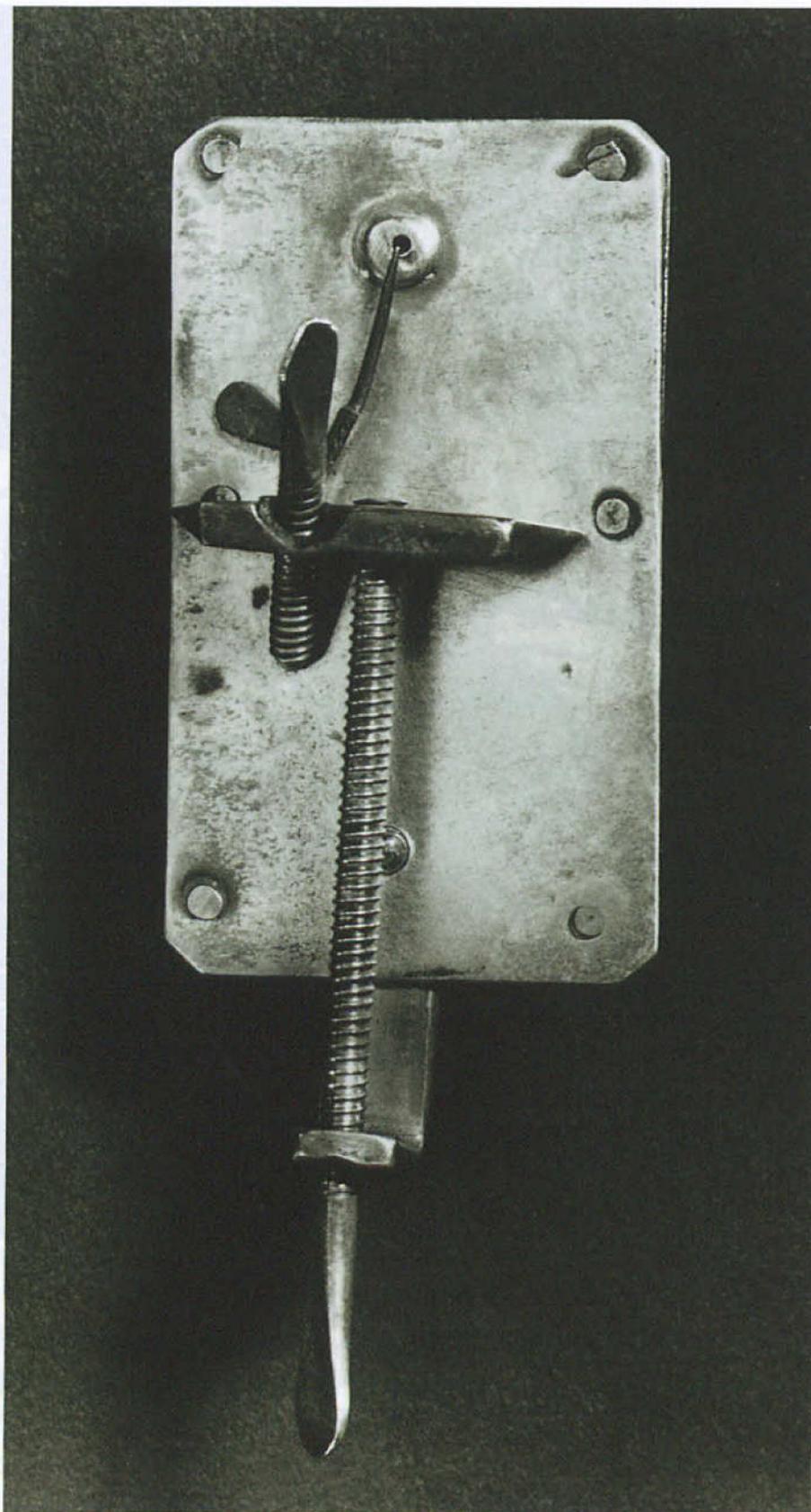
Bild rechts und Seite 55: Auf den ersten Blick sind sie kaum als optische Geräte erkennbar – und trotzdem markieren Leeuwenhoeks Apparate einen ersten Höhepunkt der Mikroskopie. Seine Gläser waren im 17. Jahrhundert „state of the art“.

gen, kein richtiges Verständnis mehr empfinden.

Schon mit dem Ausdruck „Eizelle“ sind wir mitten in der Polemik der Ovulisten. Hätten sie diesen Begriff gekannt und abgegrenzt, wäre man in der Verständigung schon ein Stück weiter gewesen. Man sprach aber nur vom Ei und meinte damit mal das ganze Vogelei, mal den Graafschens Follikel, mal die damals rein hypothetische Eizelle, die in Wirklichkeit erst 150 Jahre später durch von Baer gefunden und gesehen wurde. Der Begriff „Animalculum“ der Animalculisten war ähnlich ungenau definiert. Leeuwenhoek hatte die Spermatozoen, da sie sich bewegten, als Tierchen angesehen und deshalb „diertjes“ genannt, lateinisch „animalcula“, Samentierchen also. Aber unter „Samen“ verstand man natürlich seit eh und je die Samen der Pflanzen, aus denen ohne weibliches Zutun die Pflanze entsteht. Daß dem bereits ein Sexualvorgang, nämlich die Pollenbestäubung, vorhergegangen war, war unbekannt.

DER STREIT MIT DEN OVULISTEN

Es lag also der irrige Gedanke nahe, aus dem (männlichen) Samen könnte ohne weibliche Hilfe ein Lebewesen entstehen, wie die Pflanze aus dem Pflanzensamen, der in Wirklichkeit ja ein Embryo ist. Und wenn schon, was ja nicht zu leugnen war, ein Muttertier in Funktion trat, so wiesen dem die Animalculisten keine andere Leistung zu, als die Ernährung des Embryos, wie sie der Dotter dem Küken gibt oder die Erde dem Pflanzensamen. Leeuwenhoek hat während seines ganzen auf die Spermientdeckung



folgenden Arbeitslebens immer wieder gegen die „Ovulisten“ polemisiert. Einen gewissen Höhepunkt erreichte die Polemik zwischen Animalculisten und Ovulisten 1694. Es waren mittlerweile 14 Jahre vergangen, seit die Streitfrage „Ovum oder Spermium“ akut geworden war, die die Wissenschaftler der ganzen gebildeten Welt so brennend interessierte. Man neigte weitgehend dazu, der Eizelle ihr Recht zu gönnen, wenn nur nicht Leeuwenhoek, der nun doch als Weltautorität galt, die abwegige Meinung vertreten hätte, die Ovarien seien bloße Atavismen und die Eier bei Säugtieren eine Fiktion.

Es lag also wirklich nahe, daß der Reverend G. Garden aus Aberdeen sich zum „Sprecher der Opposition“ machte und in einem sehr höflichen

und sachlichen Brief dem großen Leeuwenhoek die neueren Erkenntnisse schonend beizubringen versuchte in der Hoffnung, er möge „ein Einsehen haben“ und den Eiern die Bedeutung zuerkennen, die die Ovulisten ihnen zudachten.

Gardens wichtigstes Argument: „Es soll nun eine Unvereinbarkeit bestehen zwischen der Größe der im Ovar gelagerten Eier und den Tubenostien; diese (die Eileitereingänge) seien enger als die Eier. Dabei haben schon R. de Graaf, Malpighi und andere demonstriert, jene „Membranen“ in den Ovarien seien nicht die eigentlichen Eier, sondern bilden die „glandulae“ [wir sagen heute Follikel], in deren Inneren die Eier gebildet werden. Sie brechen auf, wobei eine feine Öffnung entsteht, deren Maß den Tubentrichtern entspricht.“

LEEUVENHOEKS POLEMIK

Gardens übrige Einwände betreffen einzelne Fälle von Bauchhöhlenschwangerschaft, die beweisen, daß die Ansiedlung des Embryos nicht unbedingt im Uterus stattfinden muß; ferner ein vivisektorisches Experiment, wobei einem Kleintier die Ovarien entfernt und der Uterus belassen wurde, worauf dieses Tier dann nicht mehr konzipierte. Ferner einige Überlegungen zur sogenannten Cicatricula, das sei der Punkt des Eies, an dem allein der Spermatozyt angelagert werden kann.

Leeuwenhoek parierte diese triftigen Argumente nicht ungeschickt: Die besagten zwei Bauchhöhlenschwangerschaften genügten nicht als Beweis einer Befruchtung außerhalb des Uterus, und das beschriebene Kastrationsexperiment hatte noch weniger Beweiskraft, ein so geschundener Uterus konzipiert nicht mehr. Auch wußten die Ovulisten nicht recht, worin die Leistung der Eier denn nun eigentlich bestehen sollte. Von der Befruchtung hatte man eine nur undeutliche Vorstellung, an Kernverschmelzung war kein Gedanke. Es blieb ei-

gentlich nur die Ernährung des Embryos (wie beim Vogelei). Und darauf ließ Leeuwenhoek sich nicht ein; dazu genügte Uterus und Plazenta.

Was aber sagte Leeuwenhoek zu dem stärksten Argument der Ovulisten, dem Löchlein im Ovarialfollikel, aus dem das winzige Ei entschlüpfen konnte. Mit diesem Löchlein zerfiel ja Leeuwenhoeks Hauptargument, daß nämlich der große Follikel unmöglich die enge Tube passieren konnte. Klar, aber das kleine, aus dem Follikel entwichene Ei konnte bestimmt durch die Tube in den Uterus gelangen und sich auf diesem Wege irgendwo mit dem animalculum treffen. Was sollte Leeuwenhoek dazu erwidern? Ganz einfach! Er ignorierte die Trumpfkarte seiner Gegner, stellte sich taub und führte weiter alte und neue Gründe ins Feld, daß das Kamel nicht durch das Nadelöhr schlüpfen könne.

Leeuwenhoeks Antwortbrief an Garden ist eine aus dem Gedächtnis zitierte Reihe von fremden Argumenten, von denen keines irgendeine Beweiskraft gegen die Rolle der Ova besitzt. Die Zumutung, seinen Standpunkt als Animalculist zu verteidigen, hatte ihn so konsterniert, daß er von der sachlichen Diskussion abwich und seine Zuflucht unter Berufung auf verstorbene Gewährsmänner in blanker Polemik suchte:

„Was nun tatsächlich die Hypothesen von Swammerdam und de Graaf betrifft, so war ich diesen hochverdienten Männern gut bekannt, sie waren oft bei mir zu Gast und haben sich über meine Entdeckungen gefreut. Ich zweifle nicht, daß sie, wenn sie noch lebten, sich ihres späteren Irrtums schämen würden. Wenn aber irgendwer die Ehre beansprucht, die Zeugung durch Eier zu entdecken, hätten sie sich dem entgegen gestellt und wären in so heftige Worte ausgebrochen, daß sie nicht nur krank geworden, sondern eines plötzlichen Todes gestorben wären.“

Diese Antwort Leeuwenhoeks an Garden kann seinen Verehrern nicht gefallen haben – sie entsprach in keiner Weise seinem wissenschaftlichen Rang. Objektiv gesehen, war seine Stellung in diesem Streit, obwohl er letzten Endes irrte, gar nicht so schlecht.

Die Ovulisten selbst wußten ja mit dem Ei so recht nichts anzufangen.



Auch unter ihnen waren die Begriffe ungenau. Niemand wußte, was unter Konzeption, Befruchtung etc. korrekt zu verstehen war. Die Sexualität der Pflanzen war noch nicht veröffentlicht oder anerkannt. Mit „animalculum“ wurden Spermatozoen mal vor, mal nach der Berührung mit der Eizelle verstanden; zwischen Eizelle und Vogelei wurde nicht streng geschieden. Im Grund war die Eizelle (die also nicht einmal diesen Namen hatte) eine Fiktion, ein Analogieschluß. Sie wurde realiter erst 140 Jahre später durch v. Baer entdeckt. Trotzdem ist Leeuwenhoeks Irrtum verzeihlich: Hätte er eine korrekte, akademische Bildung genossen, wäre ihm wohl ein Kompromiß eingefallen, der die Erkenntnisse der anderen Partei berücksichtigt hätte.

STREITBARE GELEHRTEN

Seine Auseinandersetzungen haben Parallelen: Man denke nur an den unversöhnlichen Streit zwischen Newton und Leibniz um die Infinitesimalrechnung, zwischen Newton und Hook um die Himmelsmechanik.

Von Leeuwenhoeks Bedeutung für die Wissenschaftsgeschichte gibt die hier vorgelegte Arbeit nur einen schmalen und nicht einmal günstigen Teilaspekt. Betrachtet man seine Persönlichkeit und Leistung im ganzen, so wird man in ihm einen der fruchtbar-

sten Wissenschaftler und originellsten Autodidakten aller Zeiten erkennen.

Das 17. Jahrhundert, das die Niederländer ihr goldenes nennen, erlebte den Übergang von der tausendjährigen aristotelisch-scholastischen Stagnation zur experimentellen Naturwissenschaft, die von Roger Bacon postuliert und von Galilei bis Newton so glanzvoll entwickelt wurde.

Leeuwenhoek hatte das Glück, in diesen Aufstieg einbezogen zu sein. Die Royal Society, die sich der neuen, Baconschen Richtung und der induktiven Methode verschrieben hatte, förderte ihn durch ihre Anerkennung. Leeuwenhoeks Biographie wirft ein helles Licht auf diesen äußerst glanzvollen Abschnitt der Wissenschaftsgeschichte.

DER AUTOR

Klaus Meyer, geboren 1910, war Internist, bevor er in seinem 70. Lebensjahr begann, sich der Geschichte der Optik zuzuwenden. Heute gilt er als Fachmann auf dem Gebiet der Mikroskopie und besitzt eine reichhaltige Sammlung alter Mikroskope. Seine wichtigste Veröffentlichung zum Thema ist der Band *Die Geheimnisse des Antoni van Leeuwenhoek*, für den er Leeuwenhoeks Schriften übersetzt und kommentiert hat.

VON SIGFRID UND MANFRED VON WEIHER

1.1.1900

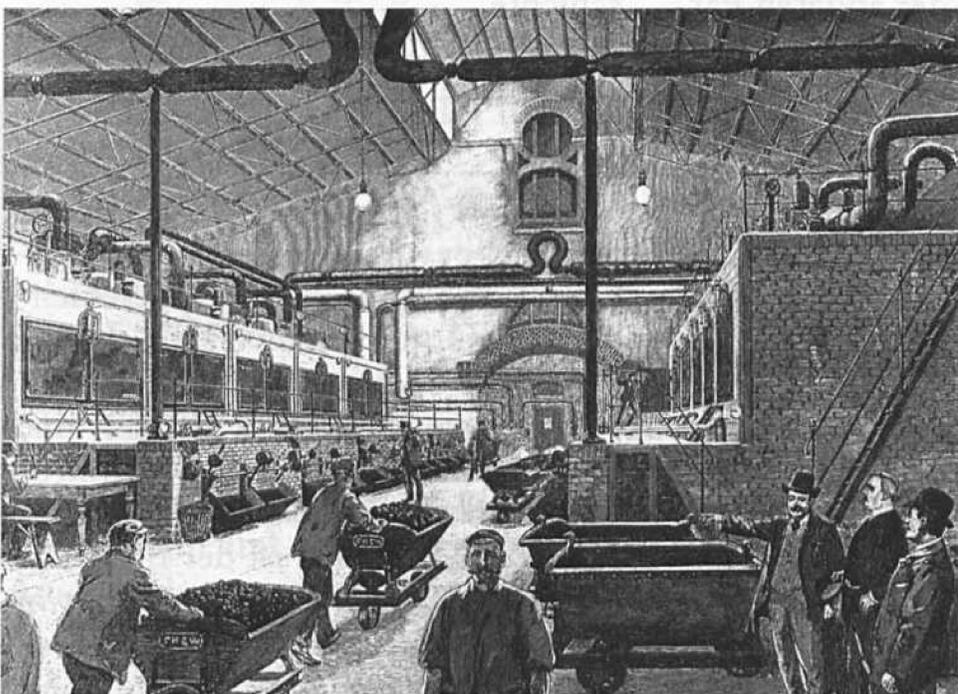
Das neue **Handelsgesetzbuch** des Deutschen Reiches tritt in Kraft und ersetzt die bis dahin gültigen Landesgesetze. Es berücksichtigt viele durch die moderne Industriegesellschaft und den technischen Fortschritt bedingte Neuerungen wie zum Beispiel das Eisenbahnwesen für Transport und Personenverkehr.

2.1.1800

In Kleinwaltersdorf bei Freiberg, Sachsen, wird **Karl Friedrich Plattner** geboren. Als qualifizierter Bergmann zeichnet er sich durch wesentliche Verbesserungen in seinem Fach aus. Seine Probierkunst mit dem **Lötrohr** veröffentlichte er 1835. Er gilt auch als der Erfinder des nach ihm benannten Verfahrens zum Ausziehen des Goldes durch Chlorgas.

4.1.1850

In Frankfurt/Main wird **Wilhelm von Oechelhäuser** geboren. Richtungweisend war seine 1893 in Zusammenarbeit mit Hugo Junkers geschaffene Konstruktion des **Zweitakt-Gasmotors** mit gegenläufigen Antriebskolben. 1896 konstruierte er die **Großgasmaschine**. Als Vorsitzender des *Vereins Deutscher Ingenieure* (VDI) sowie als Schriftsteller war er anfangs des 20. Jahrhunderts eine der führenden Persönlichkeiten in Technik und Wirtschaft.



Ein modernes Technologiekonzept, auch wenn die Kohleloren noch per Hand bewegt wurden: Das Fernheizwerk in Dresden um 1900.

6.1.1925

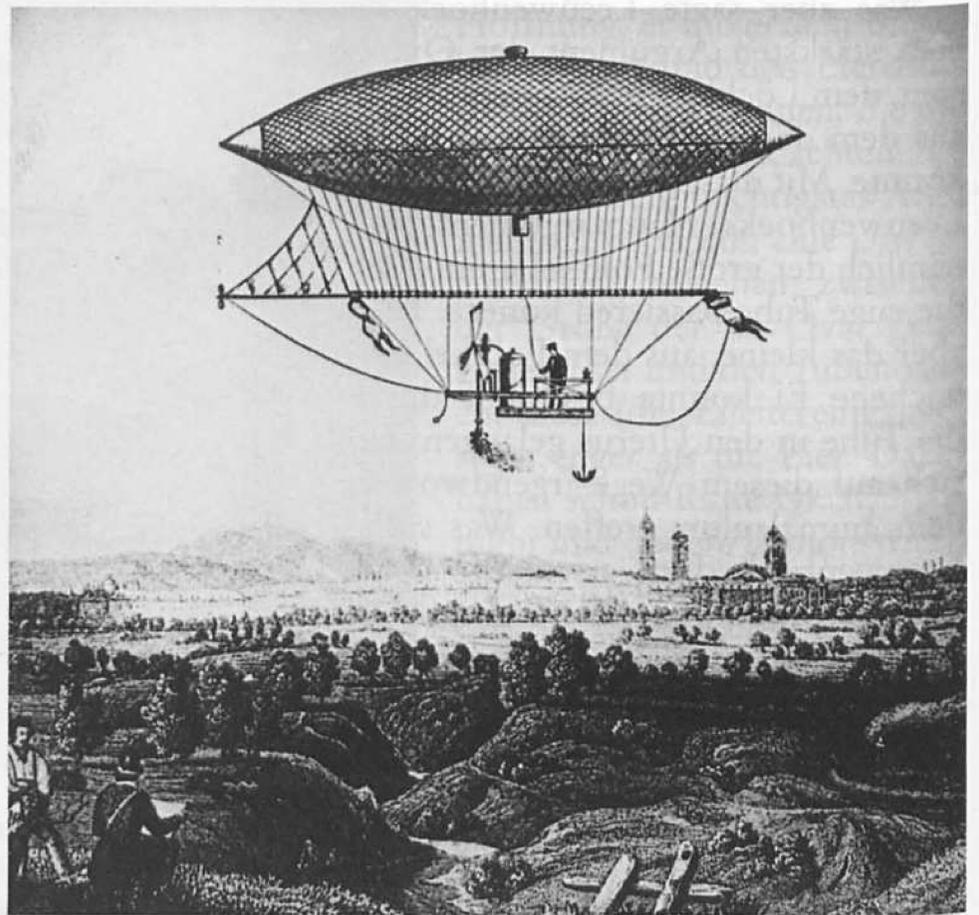
In seinem Geburtsort Goslar stirbt im 74. Lebensjahr der Metallurge **Wilhelm Borchers**. Nach jahrelangem Wanderleben, das ihn auch nach Amerika führte, übernahm er 1897 an der TH Aachen die Professur für Metallhüttenkunde und Elektrometallurgie. Das bis dahin noch wenig erforschte Gebiet der elektrochemischen **Aufschließung von Erzen** hat Borchers in erfolgreicher Forschertätigkeit 28 Jahre lang vorangebracht.

7.1.1625

London setzt als erste Stadt **Miet-Kutschen** ein, die besonders vor den großen Gasthäusern Aufstellung nehmen.

8.1.1825

In Paris wird **Henry Giffard** geboren. Er zählt zu den Wegbereitern des technischen Fortschritts in Frankreich. Zunächst Lokomotivführer, trat er 1852 mit einem 44 Meter langen **Dampfluftschiff** mit 3 PS bei 9 km/h an die Öffentlichkeit. Auch mit einem 1855 gebauten, etwas größeren Luftschiff blieb er hinsichtlich des geringen wirtschaftlichen Wirkungsgrades relativ erfolglos. Mit einer sinnvoll konstruierten **Dampfstrahlpumpe** jedoch wurde er Millionär. Spektakulär war sein Riesenballon zur Pariser Weltausstellung von 1878.



8.1.1825

In New Haven, USA, verstirbt im 60. Lebensjahr **Eli Whitney**. 1793 erfand er die **Entkernungsmaschine für Baumwolle**, die für diesen Industriezweig bahnbrechend wurde. Für die Fabrikation von Gewehren schuf er die Grundlage zur Serienfertigung der Einzelteile und ihrer beliebigen Austauschbarkeit.

14.1.1575

In Annaberg im Erzgebirge stirbt 60-jährig **Barbara Uttmann**, eine geborene von Elterlein aus Nürnberg. Sie führte das **Handwerk des Spitzenklöppelns** und damit auch den **Handel mit Spitzen** im Erzgebirge ein und rettete so die Existenz vieler armer Familien. Die Stadtgemeinde Annaberg errichtete 1886 auf dem Marktplatz ein Standbild der Wohltäterin.

16.1.1875

In Hamburg nimmt die **Deutsche Seewarte** ihren Dienst für die Sicherheit und den Wetterdienst auf. (Siehe *Kultur & Technik* 4/1999, Seite 60.)

18.1.1850

Der Ingenieur **Pfützner** wird geboren, der im Jahre 1900 zusammen mit seinem Kollegen **Temper** das Fernheizwerk in

Ein Vorläufer Zeppelins: Mit seinem Dampfluftschiff machte **Henry Giffard** schon 1852 (!) Furore.

Dresden errichtete. Es diente zur Heizung des königlichen Schlosses, des Theaters, der Gemädegalerien, der Museen und der Hofkirche und war das erste **Fernheizwerk des Kontinents**.

21.1.1950

In London verstirbt 47-jährig der britische Schriftsteller **George Orwell**. In seinem letzten Lebensjahr erschien sein Hauptwerk **1984**, in dem er in satirischer Form die Fortentwicklung des Überwachungsstaates mit technischen Mitteln als Vision der nahen Zukunft in den Raum stellt.

22.1.1775

In Lyon, Frankreich, wird **André Marie Ampère** geboren. 1820 führte den Physiker die Entdeckung des Elektromagnetismus durch seinen dänischen Kollegen **H. Chr. Oersted** zu der Beobachtung, daß elektrischer Strom den Ausschlag einer Magnetnadel bewirkt (**Ampèresche Schwimmerregel**). Damit wurde bewiesen, daß Elektrizität als „Strom“ wirksam sein kann. Später wurde die Maßeinheit

der elektrischen Stromstärke als „Ampère“ international eingeführt.

22.1.1900

In London, seinem Geburtsort, verstirbt im 69. Lebensjahr der Physiker und Ingenieur **David Edward Hughes**. 1855 wurde sein Name durch die geistreiche Konstruktion eines **Drucktelegraphen** mit Klaviatur bekannt, die international rasch eingeführt wurde. Nach betriebstechnischen Verbesserungen, darunter der Ersatz des Federantriebs durch Elektromotor und Fliehkraftregler durch Siemens um 1895, wurde der Hughestelegraph bis um 1945 eingesetzt. Hughes gelang im Jahre 1879 auch die Konstruktion eines **Audio-meters** zur Bestimmung der Empfindlichkeit des menschlichen Ohres.

26.1.1975

Im Zuge der großen Europa-Fernstraßen ist die **Eröffnung** des 2,5 Kilometer langen **neuen Elbtunnels** in Hamburg zwischen Waltershof und Otmarshen von Bedeutung. Nun ist der Autoverkehr aus Südeuropa über die E45 beziehungsweise A7 zur Nord- und Ostsee erleichtert. Im Zuge der weiteren Verkehrsplanung wird Kopenhagen ohne Fährbetrieb über die Fehmarnbrücke erreichbar.



29.1.1700

In Groningen, Niederlande, wird der Naturwissenschaftler **Daniel Bernoulli** geboren. Als Mathematiker und Mediziner, besonders aber als Physiker hat er Hervorragendes geleistet. Schwerpunkte seiner Arbeiten liegen auf dem Gebiet

der **Pneumatik** und der **Hydrodynamik**, die er in seinem 1738 herausgegebenen Werk *Hydrodynamik* niedergelegt hat. 1725 wird er Mitglied der St. Petersburger Akademie, ab 1733 lebt und lehrt er in Basel.

1.2.1755

Im französischen Bourmarin kommt **Philippe H. Girard** zur Welt. Er entwickelte sich zu einem vielseitig befähigten Ingenieur. 1810 schuf er die erste brauchbare **Flachspinnmaschine**, die er zeitlebens verbesserte. Bemerkenswert war seine mit Flüssigkeit gefüllte **Glaslinse** für achromatische Fernrohre.

4.2.1875

In Freising, Bayern, wird **Ludwig Prandtl** geboren. Früh mit den Problemen der Formgebung von Schiffen und Luftfahrzeugen beschäftigt, fand der junge Physiker auf diesem Fachgebiet seine Lebensaufgabe. Er wurde der **Begründer der Aero-Dynamik**, der schon 26jährig an der TH Hannover

André Marie Ampère entdeckte den Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus. heute ist die Maßeinheit für Stromstärke nach ihm benannt.

Professor wurde. Nach seinem Ruf nach Göttingen untersuchte er in seinem Windkanal die Strömungsverhältnisse praktisch, wobei er besonders die Grenzschichtprobleme in Betracht zog. Bis 1947 war Prandtl als Professor für angewandte Mechanik in seinem Göttinger Institut tätig und erwarb sich den Ehrentitel „**Vater der Stromlinie**“.

5.2.1725

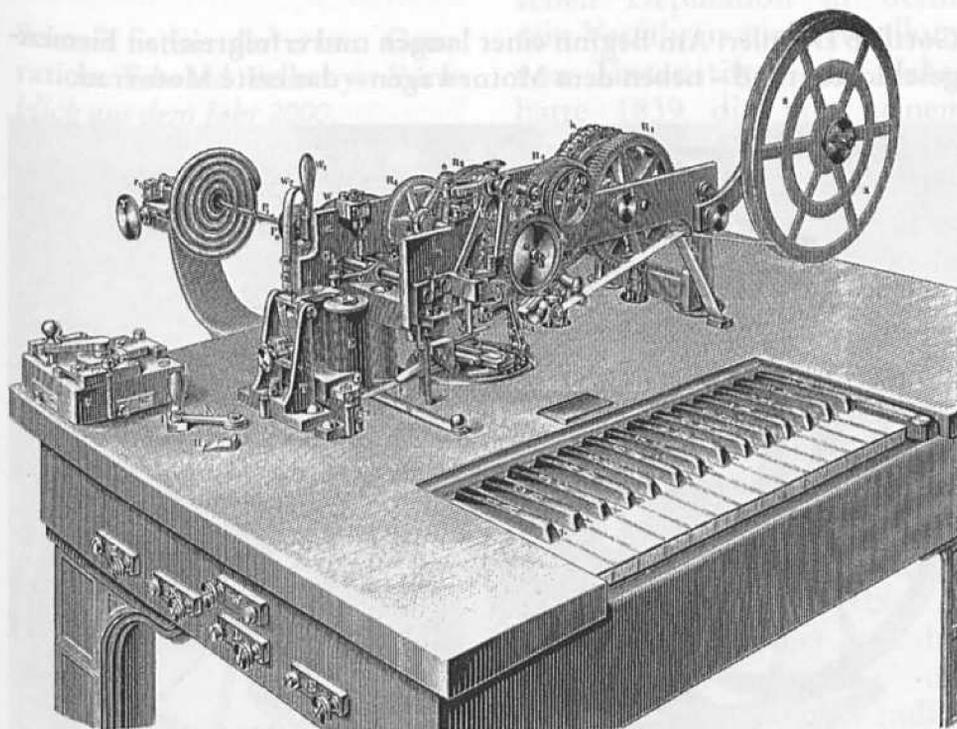
In Nürnberg stirbt mit 71 Jahren der Kupferstecher **Christoph Weigel**. Mit seinem Werk *Abbildung und Beschreibung der Gemein-Nützlichen Hauptstände*, das 1698 in Regensburg erschien und unter 200 Berufsbildern im besonderen die zahlreichen **Handwerksberufe** mit ihren Werkzeugen und fachlichen Attributen präsentiert, ergänzt durch betont christliche Textbeigaben des volkstümlichen Kanzelredners Abraham a Sancta Clara, hat er eine Darstellung der Handwerkstechnik vor 300 Jahren gegeben. 1987 erschien eine Faksimile-Neuausgabe.

7.2.1925

In Karlsruhe stirbt 83jährig der Erdöl-Chemiker **Karl Engler**. In seinem Standardwerk *Das Erdöl* (6 Bände) hatte er die Ergebnisse seiner umfassenden Forschungen niedergelegt. Er hatte unter anderem die Theorie aufgestellt, daß das Erdöl durch die Zersetzung organischer Substanzen entstanden sei. Sein Name lebt fort in der Maßeinheit „**Englergrad**“, mit der man die Zähflüssigkeit beziehungsweise Viskosität eines Öles bestimmt.

11.2.1650

In Stockholm stirbt im 54. Lebensjahr der französische Gelehrte **René Descartes** (Cartesius), der erste Schöpfer einer philosophischen Lehre auf mathematisch-naturwissenschaftlicher Grundlage. 1637 erschien



Pionierstück der Kommunikationstechnik: David Edward Hughes' Drucktelegraph mit Klaviatur war bis 1945 im Einsatz.



Öffentlicher Nahverkehr in London um 1830: Goldworthy Gurney brachte alltagstaugliche Dampfwagen auf die Straße.

in Leiden sein *Discours de la méthode* zugleich mit einer Abhandlung über die Geometrie. Hiermit wurde er Begründer der analytischen Geometrie. Neben seiner Maxime „*cogito ergo sum*“ ist weniger bekannt, daß er den vielleicht frühesten Vorschlag zur Schaffung eines **technischen Museums** machte.

11.2.1800

In Lacock-Abbey bei Chippenham, England, wird **William Henry Fox Talbot** geboren. 1839 entdeckte er die Lichtempfindlichkeit des Bromsilbers, die für die Herstellung fotografischer Papiere von Bedeutung wurde. Talbot nannte sein Verfahren „*Kalotypie*“. Damit war er einer der Wegbereiter der **Fotografie**.

12.2.1850

Carl Gotthelf Kind (1801–1873), ein armer Bergmannssohn, der sich mit Fleiß emporgearbeitet und besonders den Fragen der Tiefbohrungen zugewendet hatte, erhält ein preußisches Patent auf seinen **Schachtbohrer** zum Abteufen breiter Schächte in festem Gestein. 1867 wird ihm für sein bergmännisches Lebenswerk und seine Konstruktionen der große Preis der Pariser Weltausstellung zuerkannt.

23.2.1925

Auf der Bahnstrecke München-Garmisch wird der **elek-**

trische Zugbetrieb mit Einphasen-Wechselstrom von $16\frac{2}{3}$ Hz aufgenommen.

25.2.1725

In Void, Frankreich, wird **Nicolas Joseph Cugnot** geboren. Als Ingenieur konstruierte er 1763 seinen ersten **Dampfstraßenwagen**. Sein 1771 gebauter dreirädriger Geschützschiefer durchbrach bei seiner Probefahrt sogar eine Mauer. Seit 1800 bewahrt das *Conservatoire des Arts et Métiers*, das älteste Technische Museum der Welt, dieses Fahrzeug, das viele Franzosen mit gewissem Recht als erstes Auto betrachten.

26.2.1825

Der Blechschmied **Cornelius Whitehouse** in Wednesbury, England, erhält ein Patent auf ein **Röhrenschweiß-Verfahren**. Ein Blech wird erhitzt und mittels einer besonderen Vorrichtung durch ein Ziehisen gezogen, wobei die beiden Kanten des Blechs miteinander verschweißt werden. Die Fabrikation erlangte seinerzeit große Bedeutung; in gewisser Hinsicht kann das Verfahren als früher Vorläufer der Ziehrohr-Methode von Mannesmann (um 1890) angesehen werden.

28.2.1875

Der Ingenieur **Sir Goldworthy Gurney** stirbt 82jährig in Reeds, Großbritannien. Zu-

nächst Arzt, widmete er sich später seinen spezifisch technischen Interessen, im besonderen dem Bau von **Dampfstraßenwagen**, die um 1830 eine Alternative zur Dampfbahn darstellten und vor allem um London eine wichtige Rolle spielten. Auf den Gebieten Beleuchtung- und Landwirtschaftstechnik sowie Warmluftheizung trat Goldworthy Gurney ebenfalls hervor.

28.2.1900

In Stuttgart kommt **Wolfram Hirt** zur Welt. Seine Pionierleistungen auf dem Gebiet des sportlichen **Motor- und Segelfluges** erregten in aller Welt Aufsehen: Am 10. März 1931 wagte Hirt als erster eine Segelflugvorführung über und zwischen den Wolkenkratzern von New York. 1935 machte er deutsche Segelflugzeuge in Japan bekannt.

1.3.1875

Franz Ritter von Felbinger, österreichischer Ingenieur und Kunstmaler (1844–1906), kann nach erfolgreichen Einrichtungen **pneumatischer Rohrpostanlagen** in Paris und Berlin nun auch in Wien sein System mit einer 75 Kilometer langen **Rohrpost** in Betrieb nehmen.

6.3.1475

In Caprese, Italien, wird der Renaissance-Künstler **Michel-**

angelo (Buonarroti) geboren. Unter seinen Ingenieurleistungen ist der Bau der **Peterskirche** in Rom hervorzuheben, an der er bis an sein Lebensende 1564 tätig war. Die von ihm begonnene Kuppel von St. Peter wurde 1590 vollendet.

6.3.1900

In Bad Cannstadt stirbt 66-jährig **Gottlieb Daimler**, der Erfinder des schnelllaufenden **Kraftfahrzeugmotors** (900 Umdrehungen pro Minute) sowie des Motorrades und des Motorbootes. 1926 vereinigte sich die von ihm gegründete Firma mit der Unternehmung von Carl Benz (1844–1929) zur **Daimler-Benz AG**, der heutigen **DaimlerChrysler AG**.

7.3.1850

John Fowler erhält ein britisches Patent auf einen Pferdeflug zum Ausheben von Entwässerungsrinnen. 1856 entwickelt er daraus den **Dampfflug**, der die moderne Landwirtschaftstechnik maßgeblich beeinflusste. Sein kreativer Mitarbeiter war der deutsche Ingenieur und Dichter Max Eyth (1836–1906).

8.3.1900

In Hoboken, New Jersey, USA, wird **Howard Hathaway Aiken** geboren. Er bildete sich zum Mathematiker und Elektroingenieur. Bekannt wurde

Gottlieb Daimler: Am Beginn einer langen und erfolgreichen Firmengeschichte stand – neben dem Motorwagen – das erste Motorrad.



er durch die Entwicklung von Großrechenanlagen, darunter 1944 der Rechner Mark I.

12.3.1925

In München stirbt 74-jährig **Moritz Schröter**, Professor für theoretische Maschinenbau- lehre an der TH München. An einer Reihe bedeutsamer Erfindungen hatte er mitgewirkt: an der Kältemaschine Lindes, an der Heißdampf-Verbund- maschine Schmidts, am Wär- memotor Diesels sowie an der Parsonschen Dampfturbine.

15.3.1850

In Furtwangen, Hochschwarz- wald wird Deutschlands erste staatliche **Uhrmacherschule** begründet. Ihr erster Direktor, **Robert Gerwig** (1820-1885), war der Erbauer der Schwarz- waldbahn.

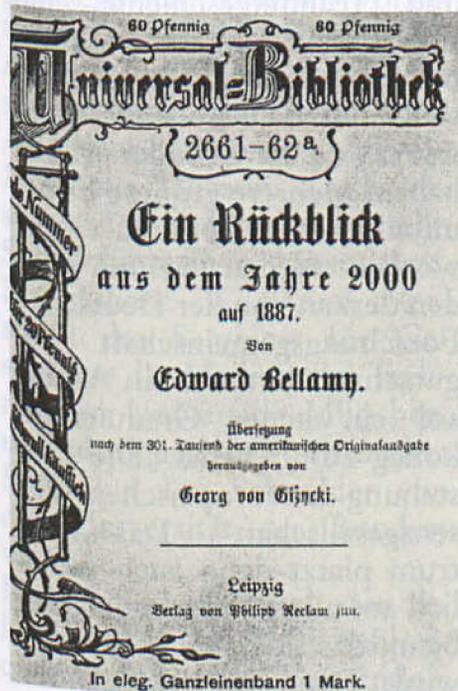
18.3.1900

Dem schwedischen Chemiker **Frederik Adolf Kjellin** (1872-1910), der 1899 die **Erzeugung von Elektrostahl** ent- wickelt hatte, gelingt es zum ersten Mal, in Gysinge sein Verfahren großtechnisch anzu- wenden. Sein Ofen, der 1800 Kilogramm faßt, ermöglichte eine jährliche Elektrostrahler- zeugung von 1500 Tonnen.

19.3.1700

Kurfürst **Friedrich III. von Brandenburg**, der spätere er-

Science fiction der ersten Gene- ration: Edward Bellamys *Rück- blick aus dem Jahr 2000*.



DIE AUTOREN

Sigfrid von Weiher, geboren 1920, Dr. phil., bearbeitet die Rubrik „Gedenktage techni- scher Kultur“ seit 1983, seit einiger Zeit zusammen mit seinem Sohn **Manfred von Weiher**. Von Weiher, Tech- nik- und Industriehistoriker, gründete 1939 die Sammlung von Weiher zur Geschichte der Technik. Seit 1951 bei **Siemens**, war er dort von 1960 bis 1983 Leiter des Siem- ens-Archivs, von 1970 bis 1982 war er Lehrbeauftragter für Industriegeschichte an der Universität Erlangen- Nürnberg. Er ist Ehrenmit- glied des Vereins Deutscher Ingenieure und Mitglied der Technisch-Literarischen Ge- sellschaft. Er veröffentlichte zahlreiche Aufsätze und Bü- cher zur Technik- und Indu- striegeschichte. Zuschriften an die Autoren: Leo-Graetz- Str. 9, 81379 München.

ste König Preußens, verfügt die Errichtung eines **Observatori- ums** und einer **Akademie der Wissenschaften** in Berlin. Bei- de Institute werden der Lei- tung **Gottfried Wilhelm von Leibnitz'** unterstellt.

19.3.1875

Johann Lothar von Faber (1817-1896) reicht der techni- schen Deputation in Berlin sein Verfahren zur Herstellung von **Tintenstiften** ein. Faber hatte 1839 die von seinem Urgroßvater 1760 in Stein bei Nürnberg gegründete Bleistift- fabrik übernommen und führte wichtige Verbesserungen in die Bleistiftherstellung ein.

19.3.1900

In Paris wird **Jean Frédéric Joliot** geboren. Durch die Heirat mit Irène Curie wurde er der Schwiegersohn von **Marie Curie**, deren Namen er dem sei- nigen hinzufügte. 1935 erhielt er zusammen mit seiner Frau den Chemie-Nobelpreis für die Herstellung künstlicher **radio- aktiver Elemente**. Joliot-Cu- rie war namhaftes Mitglied der Résistance.

Geburt der Zeit

Skavlen der Zeit
Zeit der Astronomie
Vorgeschichtliche Zeit - antike Hochkulturen, Griechisch und Romer
Zeit des christlichen Mittelalters
Zeit der Renaissance und des Barock
Zeit der Zukunft - Ausblick auf das 21. Jahrhundert
Geschichte der Bilder und Begriffe

Eine Ausstellung der
Staatlichen Museen Kassel,
der Wintershall AG
und der OAO Gazprom
gebührenfreies Telefon
(0800) 1008025

Museum Fridericianum Kassel
12. Dezember 1999 bis 19. März 2000

25.3.1800

In Berlin kommt **Heinrich von Dechen** zur Welt. Seit 1841 Berghauptmann im Rheinland, erwarb er sich Ver- dienste um die Erweiterung der Absatzmöglichkeiten für Produkte der Berg- und Hüt- tenwerke. Besonderes Augen- merk richtete er auf das **berg- männische Transportwesen**.

25.3.1875

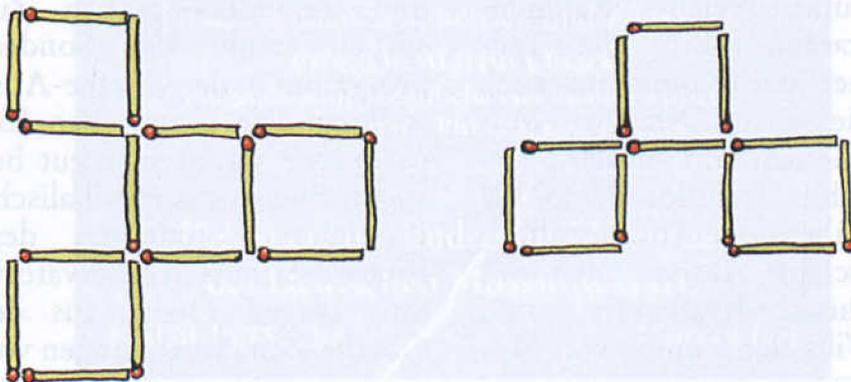
In Dresden-Gruna wird **Sieg- fried Hartmann** geboren. Er bildete sich zum Ingenieur und schuf die Voraussetzungen zur Gründung des Reichs- bundes deutscher Technik. 1929 war er der Initiator und Mitbegründer der Technisch-

literarischen Gesellschaft (TE- LI), der ältesten Journalisten- Vereinigung zur Förderung technischer Information und Wissensbildung.

29.3.1850

In Chicopee Falls, Massachu- setts, USA, kommt der Schriftsteller **Edward Bel- lamy** zur Welt. 1887 verfaßte er den aufsehenerregenden utopischen Sozialroman *Looking backward 2000 - 1887* (Rückblick aus dem Jahr 2000 auf 1887). Darin schildert er - ähnlich wie Jules Verne - viele technische Errungenschaften, die inzwischen verwirklicht wurden, so zum Beispiel den Rundfunk.

AUFLÖSUNG DES RÄTSELS VON S.39



ZUSAMMENGESTELLT VON BIRGIT HEILBRONNER

INTERNATIONALES MUSEUMS-DIREKTOREN-TREFFEN

1995 initiierte Neil Cossons, Direktor des National Science Museum in London, erstmalig ein Treffen der Direktoren der bedeutendsten Science Center und Technikmuseen aus aller Welt. Vier Jahre später lud Wolf Peter Fehlhammer zu einem Folgetreffen ins Deutsche Museum nach München ein: Vom 21. bis 24. September tagten insgesamt sieben Direktoren aus sechs Ländern und diskutierten die besonderen Aufgaben der Science Centers und Technikmuseen im 21. Jahrhundert sowie deren Rolle in der Weltbildungslandschaft. Eine wichtige Frage, die alle Direktoren zunehmend beschäftigt, ist die nach Art und Umfang der Beratertätigkeit von Museen.

Der Wunsch nach Beratung für Firmenmuseen, privaten Science Centers und Neugründungen im Ausland hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Bislang handhaben die Museen die Beratung individuell: Vereinbarungen über Leistungen, Umfang oder auch Bezahlung dieser Tätigkeiten gibt es in keinem der Häuser. Besonders diskutiert wurde in diesem Zusammenhang auch die Verantwortung der Science Centers aus den westlichen Industrienationen gegenüber den Ländern der Dritten Welt oder den Entwicklungsländern. Das Verständnis für Wissenschaft und Technik gerade in diesen Ländern zu fördern und zu stärken, gehört zu den wichtigsten bildungspolitischen Herausforderungen des nächsten Jahrtausends. Den führenden Technikmuseen und Science Centers fällt dabei eine ganz besonders wichtige Rolle zu.

Ein umfangreiches Rahmenprogramm führte die Teilnehmer der Konferenz auch auf die Spuren Oskar von Millers: Gemeinsam mit der Sparte Mobile Tradition der BMW AG führte eine Ausfahrt in historischen Automobilen ins Walchensee-Kraftwerk und zur Villa der Familie von Mil-

ler in Niederpöcking am Starnberger See.

Aufgrund des großen Erfolgs des Directors Meeting in München und um den Kontakt weiter zu vertiefen, wurde einstimmig beschlossen, daß Treffen dieser Art von nun an jedes Jahr stattfinden sollen. Die nächste Tagung steht bereits fest: Im Jahr 2000 treffen sich die Museumsdirektoren in Barcelona.

*Wolf Peter Fehlhammer
Sabine Hansky*

ERSTE LANGE NACHT DER MÜNCHNER MUSEEN

Mit diesem Andrang hatte wohl niemand gerechnet: 50.000 Kunstinteressierte stürmten in der Nacht vom 13. November die Museen und Galerien zur ersten „Lange Nacht der Münchner Museen“. Bereits um 19 Uhr waren die Shuttle-Busse übervoll, die Besucher standen in meterlangen Schlangen vor den Museen; einige Häuser mußten sogar zeitweise wegen Überfüllung schließen. „Eine Nacht der Kunst und Kultur für alle, wie sie München noch nie erlebt hat“, schwärmte Oberbürgermeister Christian Ude, und auch der Veranstalter, das Münchner Stadtmagazin sowie die beteiligten Häuser sind sich einig, daß die Aktion fester Bestandteil des Münchner Kulturkalenders werden soll. Großer Andrang und interessantes Publikum auch im Deutschen Museum: Bereits um 19 Uhr drängten so viele Besucher in den Hof des Deutschen Museums, daß zusätzlich zur Goethe-Sonderausstellung die Abteilung Schifffahrt geöffnet werden mußte. Insgesamt 6000 Besucher waren es in der Nacht, und besonders großen Zuspruch erfuhr das Sonderprogramm in der Goethe-Ausstellung: Die chemischen Experimente waren sehr gut besucht, ebenso das musikalische Programm. Studenten des Richard-Strauss-Konservatoriums trugen Lieder aus der Goethe-Zeit, Vertonungen von



berühmten Goethe-Gedichten sowie Briefe und Texte von Goethe vor. Voll war auch der Filmsaal, wo vom frühen Abend bis spät in die Nacht Filme liefen, die verschiedene Aspekte von Goethes Schaffens vorstellten.

Sabine Hansky

FÖRDERVEREIN FÜR MÜNCHNER ZENTRUM FÜR WISSENSCHAFTS- UND TECHNIKGESCHICHTE GEGRÜNDET

Am 22. November 1999 ist im Deutschen Museum ein neuer Verein gegründet worden: der „Verein der Freunde und Förderer des Münchner Zentrums für Wissenschafts- und Technikgeschichte“. Das Münchner Zentrum, bekanntermaßen ein Zusammenschluß der drei Münchner Universitäten und

Lange Nacht, großer Andrang: Den gab es – wie an allen Veranstaltungsorten – auch im Deutschen Museum.

des Deutschen Museums im Bereich der Wissenschafts- und Technikgeschichte, hat sich im Verlauf seiner nunmehr genau zweijährigen Existenz durchaus so entwickelt, wie es sich die Gründer erhofft haben. Mehrere größere Drittmittelprojekte konnten eingeworben werden; weitere werden derzeit von der Deutschen Forschungsgemeinschaft begutachtet, darunter ein Antrag auf ein neues Graduiertenkolleg zum Thema „Die Entstehung der europäischen Wissenschaftsgesellschaft“. Das Zentrum platzt denn auch räumlich aus allen Nähten, ein Problem, das in Bälde gelöst sein wird. Denn im Bereich des

ehemaligen Gutenbergsaals werden dank einer Sonderfinanzierung durch den Freistaat Bayern neue Büroräumlichkeiten erschlossen. Das Baubüro ist zuversichtlich, den Umbau im Februar/März nächsten Jahres abgeschlossen zu haben.

Das Münchner Zentrum krankt aber an dem Geburtsproblem, weder Geld einnehmen noch ausgeben zu können. Es hängt bislang völlig am Tropf der Trägereinrichtungen. Buchstäblich jede Briefmarke muß den Etats der Universitäten bzw. des Museums entnommen werden, geschweige denn, daß das Zentrum eigenes Personal beschäftigen könnte, etwa eine dringend benötigte Kraft für das noch nicht existente Zentralsekretariat. Diesen Geburtsfehler soll der neue Verein beseitigen. Er soll dem Zentrum durch Mitgliedsbeiträge von Einzelpersonen, vor allem aber von Institutionen und Unternehmen sowie durch deren Spenden finanzielle Mittel zuführen, die das Zentrum in die Lage versetzen, seine vielfältigen Aufgaben effizient zu erfüllen. Die Gründungsversammlung hat mit Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Dieter Adam, bis vor kurzem Prorektor der Ludwig-Maximilians-Universität München, eine Gallionsfigur zum Vorsitzenden gewählt, die sich von Beginn an mit großem Engagement für die Belange des Münchner Zentrums verdient gemacht hat. Zweiter Vorsitzender ist der Forschungsdirektor des Deutschen Museums, nicht zuletzt um zum Ausdruck zu bringen, daß das Deutsche Museum das Herzstück des Zentrums darstellt. Schriftführerin ist Frau Prof. Dr. Juliane Wilmanns, Vorstand des Seminars für Geschichte der Medizin der Technischen Universität München, und als Schatzmeister fungiert Prof. Dr. Ivo Schneider von der Universität der Bundeswehr.

Die Gründungsmitglieder erhoffen sich, mit Hilfe zahlreicher Spenden das Verständnis

für Wissenschafts-, Technik- und Umweltfragen zu verbessern. „Der Verein soll das Münchner Zentrum finanziell stärken und fit für die erfolgreiche Bearbeitung seiner vielversprechenden Forschungsvorhaben machen“, sagt Prof. Adam. *Helmuth Trischler*

Kontaktadresse:
MZWTG, c/o Deutsches
Museum, 80306 München

ARTEFACTS IV: ARTEFACTS AND COMMUNICATIONS VOM 14.-16. NOVEMBER 1999 IN PARIS

Am zweiten Novemberwochenende fuhr eine Gruppe von Mitarbeitern des Deutschen Museums nach Paris, um die Tagung Artefacts and Communications zu besuchen. 1996 initiierten das Londoner Science Museum, das National Museum for American History in Washington und das Deutsche Museum eine Serie von Konferenzen, um die Beschäftigung mit den Objekten in Museen zu verstärken. Einmal im Jahr kommen nun Mitarbeiter der verschiedenen Museen zusammen, um sich mit der Geschichte und der Präsentation von Artefakten zu beschäftigen. Nach der ersten Konferenz in London 1996, der zweiten in Washington 1997 und der dritten in München 1998 kamen nun Paris und das Conservatoire des Arts et Metiers (CNAM) an die Reihe.

Die Tagung begann am Sonntag nachmittag (14. November) im Zentrum der Stadt mit einer Führung durch die bisher noch nicht eröffneten Hallen des CNAM. Es war bereits zu erkennen, daß die Ausstellung nach einem sehr puristischen Konzept aufgebaut sein wird – die Objekte werden nach Technologiefunktionen in Ausstellungshallen unterteilt und in Glasvitrinen ausgestellt. Die Ledersofas und die interaktiven Bildschirme sorgen aber sicher für genug Kurzweil beim Besucher. Nach der Führung folgte ein erstes Kennenlernen bei einem Empfang in den Ausstellungsräumen,

Januar - Februar - März 2000

Wissenschaft für jedermann



Wintervorträge des Deutschen Museums

Mittwoch, 19. Januar 2000, 19 Uhr

Lotusblumen und Autolacke
Grundlagenforschung in der Biologie und ihr Nutzen für die Technik

Prof. Dr. Wilhelm Barthlott
Universität Bonn

Botanisches Institut und Botanischer Garten

Mittwoch, 2. Februar 2000, 19 Uhr

Ergonomie – Technik, die passt

Prof. Dr. Heiner Bubb

Technische Universität München / Lehrstuhl für Ergonomie

Mittwoch, 16. Februar 2000, 19 Uhr

Biophysik molekularer Maschinen

Prof. Dr. Hermann Gaub

Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl für Angewandte Physik

Mittwoch, 23. Februar 2000, 19 Uhr

Design in der Natur – der Baum als Lehrmeister

Prof. Dr. Claus Mattheck

Forschungszentrum Karlsruhe
Institut für Materialforschung

Mittwoch, 1. März 2000, 19 Uhr

Aufbruch in den Nanokosmos

Prof. Dr. Jörg P. Kotthaus

Ludwig-Maximilians-Universität München / Sektion Physik

Mittwoch, 8. März 2000, 19 Uhr

Wie bewegen sich Moleküle?

Fundamentale Symmetrien und Zeitskalen

Prof. Dr. Martin Quack

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Laboratorium für Physikalische Chemie

Die Vorträge finden im Ehrensaal des Deutschen Museums statt.

Einlaß 18.15 Uhr

Eintritt frei

das in den Restaurants rund um die Gare du Nord fortgesetzt wurde.

Bereits zu Beginn des darauffolgenden Tages wurde, nun in den Depots des CNAM im Norden von Paris, deutlich, wie fruchtbar ein auf die Objekte konzentrierter Forschungsansatz sein kann. Herr Trischler regte an, sich mit dem Einfluß der Objekte auf die Moderne zu beschäftigen, indem man eines der wesentlichen Merkmale dieser Epoche, die Ausdifferenzierung von Kommunikation und deren Prägung durch die Objekte, untersucht. Vorträge der ersten Sektion setzten dies gleich um. Richard Doty, Washington, und Russell Roberts, National Museum of Photography, Film & Television, Bradford, zeigten am Beispiel von Banknoten und der frühen Photographie, wie sich die Repräsentation von Gesellschaft und ihre bildhafte Vermittlung durch Artefakte änderte.

Bei den weiteren Vorträgen der Konferenz wurde das breite Kaleidoskop der Themen deutlich, die man bei der Beschäftigung mit Objekten und ihrer Rolle bei der Kommunikation diskutieren muß. Highlights waren zum einen die Vorträge über das französische Telegraphensystem und die Anfänge der Rohrpost in den USA. Sie warfen die Frage auf, wie man große technische Systeme in Ausstellungen präsentiert und dabei angemessen berücksichtigt, daß sie nicht nur eine technische, sondern auch eine gesellschaftliche und wirtschaftliche Vernetzung darstellen. Zum anderen erkannte der Zuhörer von Oskar Blumtritts Vortrag über den Flying Spot Scanner des Forschers Manfred von Ardenne, wie der objektorientierte Ansatz die neuere Technikgeschichte befruchten und sicherstellen kann, daß die technischen Artefakte in ihr angemessen beachtet werden.

Auf einer Führung lernten die Teilnehmer die Depots und Werkstätten des CNAM kennen. Ein besonders wichtiges Thema, die digitale Bildverar-

beitung und deren Bedeutung für die Museumsarbeit, wurde auf der abschließenden Podiumsdiskussion des ersten Abends behandelt.

In der Abschlusdiskussion des zweiten Tages kam der fruchtbare Blick eines Außenstehenden zum Tragen. Robert Friedel von der University of Maryland regte an, künftige Konferenzen sollten sich mehr mit der Frage beschäftigen, für wen die Objekte eigentlich präsentiert würden (die Objekte selbst seien zwar noch nicht hinreichend, aber schon intensiv erforscht). Als ein Desiderat künftiger Konferenzen, so stellte es sich außerdem heraus, sollten neben der empirischen Arbeit mit Artefakten stärker theoretisch ausgerichtete Vorträge versuchen, ein Gerüst für das Arbeitsgebiet zu bieten.

Das Deutsche Museum hofft, diese Anregungen auf der nächsten Tagung „Artefacts V: Artefacts and the Environment“ umsetzen zu können, die vom 13. bis 15. 8. 2000 im Vorfeld der Tagung der Society for the History of Technology (SHOT) wieder in München stattfinden wird. Auf dieser Konferenz wird es unter anderem darum gehen, den Zusammenhang zwischen dem Um-

gang mit natürlichen Ressourcen und Objekten zu erforschen.

Gerhard Mener

MOLL-PREIS 1998

Am Donnerstag, dem 11. November 1999, wurde der Moll-Preis für Publikationen für das Jahr 1998 – wie immer im Vorraum der Generaldirektion – feierlich übergeben. Erfreulicherweise war der Stifter des Preises, Herr Dr. Moll, selbst gekommen, um die Preise zu überreichen. Zusammen mit Herrn Professor Fehlhammer gratulierte er den Preisträgern und verlas die Laudationes. Ausgezeichnet wurden zum einen fachwissenschaftliche Veröffentlichungen, zum anderen populärwissenschaftliche Arbeiten – in Buch- oder Aufsatzform. Den Bildungspreis teilen sich Hubert Henkel für seinen Ausstellungsführer „Musikinstrumente: Ein Begleitbuch zur Ausstellung mit Mini-CD, München 1998“ und Jürgen Teichmann für den Artikel „Das Deutsche Museum. Ein Plädoyer für den Mythos von Objekt und Experiment“, in: Günter Bayerl und Wolfhard Weber (Hrsg.): Sozialgeschichte der Technik. Ulrich

Troitzsch zum 60. Geburtstag. Münster u. a. 1998, S. 199-208. Der Forschungspreis ging sowohl an unseren Mitarbeiter im Forschungsinstitut Herrn Alexander Gall für die Monographie „Das Atlantropa-Projekt. Die Geschichte einer gescheiterten Vision. Hermann Sörgel und die Absenkung des Mittelmeers“. Frankfurt a.M./New York 1998, wie an Matthias Heymann, Mitarbeiter im Zentralinstitut für Technikgeschichte, für den Artikel „Signs of hubris. The shaping of wind technology styles in Germany, Denmark, and the USA, 1940-1990, in: Technology & Culture 39 (1998), S. 641-670.“

Andrea Lucas

POMPEJI - NATUR, WISSENSCHAFT UND TECHNIK IN EINER RÖMISCHEN STADT

Die Ausstellung *Pompeji - Natur, Wissenschaft und Technik in einer römischen Stadt* (25. 2. bis 28. 5. 2000) möchte dem breiten Publikum rund 400 archäologische Fundstücke aus der Gegend um den Vesuv auf eine völlig neue Art präsentieren.

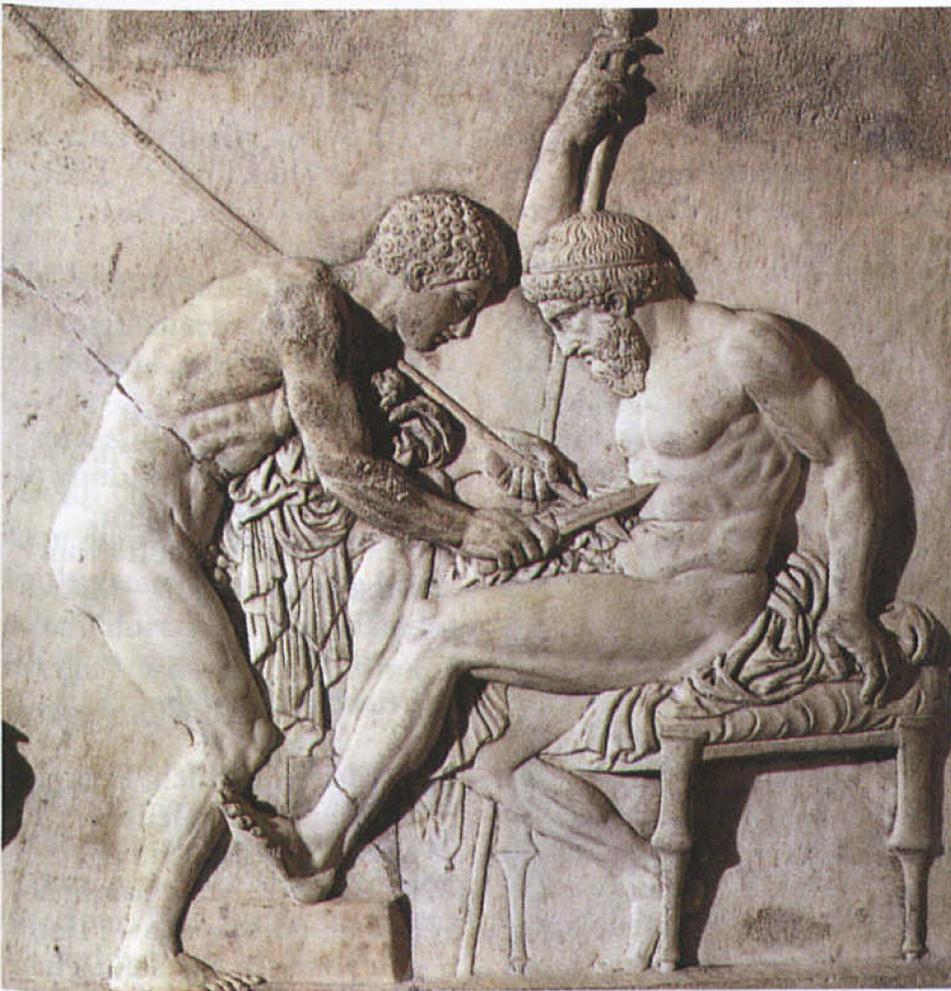
Pompeji diskutiert weder künstlerische noch religiöse Aspekte eines Schaustücks. *Pompeji* setzt sich zum Ziel, die einzelnen Gegenstände als Belegexemplare des Wissensstands eines Volkes in einem präzisen historischen Moment heranzuziehen. Natur, Wissenschaft und Technik werden in einen Zusammenhang gesetzt: Aus der unmittelbaren Beobachtung der Natur gewinnt der Mensch Erkenntnisse, die er zu seinen Gunsten umsetzt.

Das archäologische Fundstück wird Dokument des Wissens einer Zeit. Ein Beispiel: Aus der Betrachtung eines Freskos, wie z. B. das des „Bacchus mit dem Vesuv“, können wir die Darstellung eines für die örtliche Wirtschaft wesentlichen

Links und Seite 63: Verblüffende Erkenntnisse verspricht die Ausstellung *Pompeji - Natur, Wissenschaft und Technik in einer römischen Stadt*.



Januar · Februar · März 2000



Bestandteils, des Weins, lesen; wir können daraus aber gleichzeitig auch wichtige Informationen über die Geomorphologie der antiken Vesuvgegend und Erkenntnisse über die Landwirtschaft dieser Zeit gewinnen.

Diese Kriterien gelten für alle Schaustücke: Sie zeigen Darstellungen aus der Tier- und Pflanzenwelt, sie erklären naturwissenschaftliche Phänomene (z. B. formverändernde Effekte bei bestimmten spiegelnden Oberflächen) und erläutern technische Erfindungen (z. B. das Funktionieren einer Olivenöl- presse).

Mehr als zwanzig verschiedene wissenschaftliche Disziplinen leisten ihren Beitrag zum Projekt *Pompeji*. In vielen Fällen hat die intensive Auseinandersetzung mit bisher nicht genauer bestimmten Objekten zu ihrer Identifikation und Analyse geführt.

Die Ausstellung bietet dem Besucher die Möglichkeit, funktionierende Modelle der Maschinen aus dem 1. Jahrhundert n. Chr. zu sehen und zum Teil auch zu benutzen. Einige typische Produkte aus dieser Zeit, wie zum Beispiel Stoffe aus Ginster, werden re-

konstruiert und dem Besucher direkt zugänglich gemacht.

Pompeji will eine Einheit zwischen Fundstücken, Rekonstruktionen, Kurzfilmen und Computeranimationen schaffen. Dem Besucher eröffnet sich dadurch ein breites Angebot, nicht nur an Konfrontation, sondern an aktiver Auseinandersetzung mit den Inhalten. Zielsetzung dieser Interaktivität ist es, den Zugang zu den einzelnen Objekten und den mit ihnen verbundenen Informationen klar und einfach zu gestalten.

Viele der Fresken und Mosaiken sind bekannt, einige andere waren bis jetzt in den Magazinen versteckt. Ein Großteil der Ausstellungsstücke ist bei *Pompeji* allerdings zum ersten Mal zu sehen, vor allem, weil es sich oft um „technische“ Stücke handelt, wie zum Beispiel Ventile oder chirurgische Instrumente.

Das wissenschaftliche Konzept zur Ausstellung stammt von der Soprintendenza Archeologica di Pompei, die auch einen großen Teil der Ausstellungsobjekte besitzt. Der zweite Leihgeber ist die Soprintendenza Archeologica di Napoli bzw. das Archäologische Nationalmuseum in

Neubeiten-Ecke: »Weg in die Zukunft«

3. Febr. bis 12. März 1. OG.
Materialien der Zeit
 Das Musée International d'Horlogerie de la Chaux-de-Fond und der Uhrenhersteller Blancpain zeigen in Uhren verwendete Werkstoffe

Sonderausstellungen

- bis 19. März Eingang Bibliothek Eintritt frei
»Goethe und die Naturwissenschaften«
 Die Ausstellung bringt Goethes naturwissenschaftliche Bemühungen in den Gesamtzusammenhang seiner Lebensgeschichte
- bis 16. Januar 1. OG.
»Der Wald und wir«
 Wanderausstellung des finnischen Science Centres HEUREKA
- bis 15. Mai 2. OG.
»unter die Haut«
 Sonderausstellung über die bildgebenden Verfahren in der Medizin
- ab 13. Januar bis 6. Februar
25 Jahre Deutsche Krebsforschung
 Eine Ausstellung der Deutschen Krebshilfe e. V.
1. März bis 28. Mai (geplant)
Pompeji - Natur, Wissenschaft und Technik in einer römischen Stadt

Flugwerft Schleißheim

Effnerstraße 18 · 85746 Oberschleißheim · Telefon (089) 31 57 14-0

- bis 13. Febr.
Flugplätze im Großraum München (1890–2000)
 Sonderausstellung des Vereins zur Erhaltung der hist. Flugwerft e.V.
- 19./20. Febr.
Hallen Airshow
 Umfangreiches Flugprogramm mit allem, was in einer Halle fliegt
- 18./19. März
Plastikmodellbau-Ausstellung
 Flugzeug-, Auto- und Schiffsmodelle, Flohmarkt, Zubehörhandel

Orgelkonzerte und Matineen

in der Abteilung Musikinstrumente · Orgelkonzerte 14.30 Uhr, Matineen 11 Uhr

22. Januar
Orgelkonzert – Solist: Friedemann Winkelhofer
23. Januar
Matinee – Klavierwerke von Joseph Haydn
 Solisten: Prof. Hedwig Bilgram und N.N.
26. Januar
Orgelkonzert – Solistin: Elisabeth Zawadke
19. Februar
Orgelkonzert – Solist: Karl Maureen
20. Februar
Matinee – J. Seb. Bach – Goldberg-Variationen, Solist: Bernhard Gillitzer
23. Februar
Orgelkonzert – Solistin: Anette Wende
18. März
Orgelkonzert – Joh. Seb. Bach, Orgelmesse I, Solist: Michael Ebert
19. März
Matinee – N.N.
25. März
Orgelkonzert – Joh. Seb. Bach, Orgelmesse II, Solist: Michael Ebert

Kolloquiumsvorträge

Montagskolloquien MZWT, 16.30 Uhr, Filmsaal Bibliotheksbau, freier Eintritt

10. Januar
 Michael Allen, Georgia Tech University, Atlanta
Modernität des Nationalsozialismus
 Die Unübersichtlichkeit der Technikgeschichte
24. Januar
 Anne Fitzpatrick, George Washington University, Washington DC
Computers, Nuclear Weapons, and Science
 Postwar weapons laboratories in America and Russia
7. Februar
 Gerd Graßhoff, Universität Bern
Computermodellierung als Mittel zur Rekonstruktion wissenschaftlicher Entdeckungsprozesse
21. Februar
 Gerhard Dohrn-van Rossum, TU Chemnitz-Zwickau
Mittelalterliche Uhren und moderne Stundenrechnung
 Montagsseminare des MZWT, 16.30 Uhr, Seminarraum der Institute
17. Januar
 Dr. Rudolf Seising
Karl Menger: Logische Toleranz im Wiener Kreis
31. Januar
 Gerhard Mener
Nationale Sicherheit und nationales Innovationssystem
14. Februar
 Dr. Werner Scheibmayr
Einführung in die konstruktivistische Systemtheorie

Deutsches Museum

Museumsinsel 1, D-80538 München, Telefon (089) 21 79-1

Neapel. Das Florentiner Museo delle Scienze stellt sein Know-how in Sachen multimediale Gestaltung zur Verfügung.

PAPIERAUSSTELLUNG NEU GESTALTET

Die Abteilung Papiertechnik wurde in den vergangenen Monaten neu gestaltet und im Rahmen der Mitgliederversammlung des Verbandes Deutscher Papierfabriken (der als Hauptsponsor die Umgestaltung ermöglicht hat) am 2. Dezember der Öffentlichkeit übergeben.

Die Umgestaltung betraf vor allem den Bereich der modernen Papierherstellung, bezog aber auch die übrige Ausstellung mit ein. Das Hauptexponat des modernen Bereiches, eine funktionsfähige Papiermaschine im Labormaßstab, ist nun auch für die Zeiten, in denen keine Vorführung stattfindet, durch ein modernes Multimediasystem erschlossen. Über die Wiedergabe der Vorführung hinaus bietet das System ein umfassendes Angebot zum High-Tech-Werkstoff Papier; unterschiedliche Zielgruppen sind durch vielfältige Angebote angesprochen. Die Vitrinen für die Kleinexponate dieses Bereiches sind in Erlebniswände gefaßt, so daß bestimmte Botschaften wie „Papier ist aus Holz gemacht“ oder „Papier ist Verpackung“ nicht allein durch Objekte und Texte, sondern durch großflächige Eindrücke transportiert werden. Die Ausstellungsfläche beschränkt sich somit nicht auf die übliche Vitrinhöhe zwischen 60 und 200 cm, vom Boden aus gemessen, sondern bezieht auch die übrigen Bereiche mit ein. So sind in den Boden Karikaturen eingelassen, die auf Dekorpapier gedruckt und dann

Ein mitreißendes Ausstellungskonzept in neugestalteten Räumen: Die Abteilung Papiertechnik ist seit 2. Dezember wieder zugänglich.

zu Bodenplatten weiterverarbeitet sind. Der Interaktivtisch ist durch ein Origami-Mobile hervorgehoben; dort können Besucher wichtige Eigenschaften von Papier selbständig nachvollziehen. Die Besucher können sich eine Falanleitung für zwei besonders attraktive Origami-Modelle aus einem stummen Verkäufer mitnehmen. Darüber hinaus zeigt der Ausgangsraum die allgegenwärtige Rolle von Papier in unserer heutigen Kultur und Gesellschaft.

Ebenfalls grundlegend neu gestaltet wurde der mittlere Raum der Papierherstellung im 19. Jahrhundert. Hier wurde das besonders wichtige Exponat, die älteste erhaltene Papiermaschine der Welt, ihrer Bedeutung entsprechend ins Zentrum der Präsentation gestellt. Die Eingangsfront zeigt als Großfoto die Papiermühle Haynsburg, das bekannteste Objekt der Ausstellung vor 1945, und weist so auf die Ausgangssituation der Büttenpapierfertigung im 19. Jahrhundert hin. Am Ende des Raumes steht das Großfoto einer jetzt laufenden, aber eher älteren Papiermaschine, um einen Eindruck von den realen Produktionsbedingungen zu geben.

Neu hinzugekommen ist das Gemälde der Zellstofffabrik Aschaffenburg, das für die

Ausstellung 1928 gemalt wurde und einen detailreichen Überblick über die Produktionsabläufe bei der Zellstoff- und Papierherstellung gibt. Im ersten Raum wurden die Texte überarbeitet und griffiger gefaßt.

Die Neugestaltung der Abteilung Papier ist ein Gemeinschaftsprojekt zusammen mit dem Westfälischen Freilichtmuseum in Hagen und dem Leopold-Hoesch-Museum in Düren. An allen drei Standorten gibt es Papierausstellungen, die das aufwendig produzierte und daher kostspielige Multimediasystem ohne zusätzliche Lizenzgebühren nutzen können. Die Ausstellung wurde vor allem durch die Unterstützung des Verbandes Deutscher Papierfabriken und seiner Mitgliedsfirmen sowie weiterer Sponsoren getragen und soll den Werkstoff Papier ebenso modern und attraktiv präsentieren wie die benachbarten Abteilungen Drucktechnik und Glastechnik es schon seit geraumer Zeit tun.

Winfried Glocker

FRAUEN FÜHREN FRAUEN

Mittwoch 10 Uhr

- 12. 1.: Anita Kuisle: Licht und Sehen – Optik-Ausstellung
- 19. 1.: Vera Ludwig: Von der

Idee zum Modell – Bildhauer-, Maler- und Modellbauwerkstätten

- 26. 1.: Sylvia Hladky: Energiespirale ohne Ende? – Läßt sich unser Energiebedarf beeinflussen?
- 2. 2.: Christine Lippold: Kochen mit Sonnenenergie – Technik, Erfolge, Hindernisse
- 9. 2.: Elisabeth Lill: Bits and Bytes – Die Entwicklung digitaler Rechenanlagen
- 16. 2.: Elisabeth Knott: Vom Kristall zum Chip – Mikroelektronik

Mittwoch 14.30 Uhr

- 23. 2.: Isabella Milch: Energie aus dem Sternenfeuer – Kernfusionsforschung
- 1. 3.: Andrea Lucas: Sammeln, Bauen, Forschen ... – Hinter den Kulissen des Deutschen Museums
- 8. 3.: Angelika Müller: Das gefährdete Paradies – Zur Ökologie unseres Planeten
- 15. 3.: Dr. Bettina Gundler: Meilensteine der Verkehrsgeschichte – Verkehrsabteilungen des Deutschen Museums
- 22. 3.: Isolde Wördehoff: Dein Wunsch war immer – fliegen – Entwicklung der Luftfahrt
- 29. 3.: Dr. Eva Mayring: Verborgene Schätze – Sonder-sammlungen/Archive des Deutschen Museums



Foto: Deutsches Museum

BEETHOVEN IM BUSCH

Digitale Satellitenrundfunkprogramme für die Afrikaner

„In vielen Regionen Afrikas, Asiens, Mittel- und Südamerikas ist es schwierig, Radiosender zu empfangen. Sie liegen außerhalb der Reichweite von UKW-Sendern. Mit einem digitalen Satellitenrundfunksystem können die Menschen dort jetzt auch Radio hören.“ (www.fhg.de/german/presse/md/md1999/)



Mit digitalen Satellitenrundfunkprogrammen wäre das Leben dieser Afrikanerin sicher weniger freudlos.

Was nur haben das Bild rechts, das eine Frau mit ihrem Kind auf dem Rücken an einer Feuerstelle in einem Flüchtlingslager im Sudan zeigt, und das Bild unten rechts mit den Wanderern auf einer äthiopischen Landstraße gemeinsam? Richtig, beide Bilder vermitteln eine etwas gedrückte Stimmung, und wir kennen auch den Grund: Auf keinem der Bilder ist ein Rundfunkgerät zu sehen, aus dem mit Hilfe des „weltweit ersten digitalen Satellitenrundfunksystems“ Musik „in CD-Qualität“ erklänge, um Ohren und Herz der Menschen in Afrika zu erfreuen.

senden Dutzende verschiedener Radiostationen aktuelle Informationen und Musik in guter Qualität.“ Wie ungerecht ist doch die Welt: „Von einem solchen Radio-Luxus können Milliarden Menschen jedoch nur träumen: Wer in Afrika, Asien, Mittel- und Südamerika außerhalb der Ballungszentren lebt, muß sich oft mit dem verzerrten Rauschen der Kurzwellensender zufriedengeben.“

Dies zu ändern, hat sich das US-Unternehmen *WorldSpace* aufs Firmenbanner geschrieben. Es „will die drei Kontinente mit digitalem Satelliten-

rundfunk versorgen“. Da darf Deutschland nicht hintan stehen: „Wesentliche Teile der Übertragungstechnik und die Prototypen der Empfänger haben Forscher des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS, Bereich Angewandte Elektronik, in Erlangen entwickelt. Dafür wurden die Wissenschaftler mit dem Fraunhofer-Preis ausgezeichnet.“

Und nicht nur dies: „Den Praxistest hat das weltweit erste digitale Satellitenrundfunksystem ... bereits bestanden.“ 1998 „wurde der erste Radio-

satellit ins Weltall geschossen. *AfriStar* versorgt den afrikanischen Kontinent mit digitalem Rundfunk.“

Afrika wurde oft als der dunkle Kontinent bezeichnet. Die Dunkelheit ist vorbei. Wer etwa wollte noch beispielsweise im Kongo Kriege führen, wenn er statt dessen im Busch Beethoven-Musik in CD-Qualität empfangen kann?

Es braucht nicht viel, um die Menschen auf unseren Bildern oben und rechts unten glücklich zu machen. Denn „es wird nur ein tragbares Radio mit integrierter Satellitenantenne benötigt“. Das Geld dafür kann man sich bei jeder Bank besorgen. Ebenso das Geld für einen PC. Und dann haben die Menschen in Afrika nicht nur einen Rundfunkempfang in CD-Qualität, sondern sie können auch von „neuen multimediale Anwendungsgebieten“ Gebrauch machen, denn die mit dem Medium Rundfunk empfangenen Programme können „direkt von einem PC weiterverarbeitet werden“.

Ja, es ist so einfach, Afrikaner glücklich zu machen. *D.B.*

Dabei könnte das alles ganz anders sein, etwa wie bei uns: „Mit fröhlicher Musik geweckt zu werden, Nachrichten aus aller Welt zu hören oder spannende Hörspiele zu verfolgen, ist hierzulande kein Problem. Rund um die Uhr



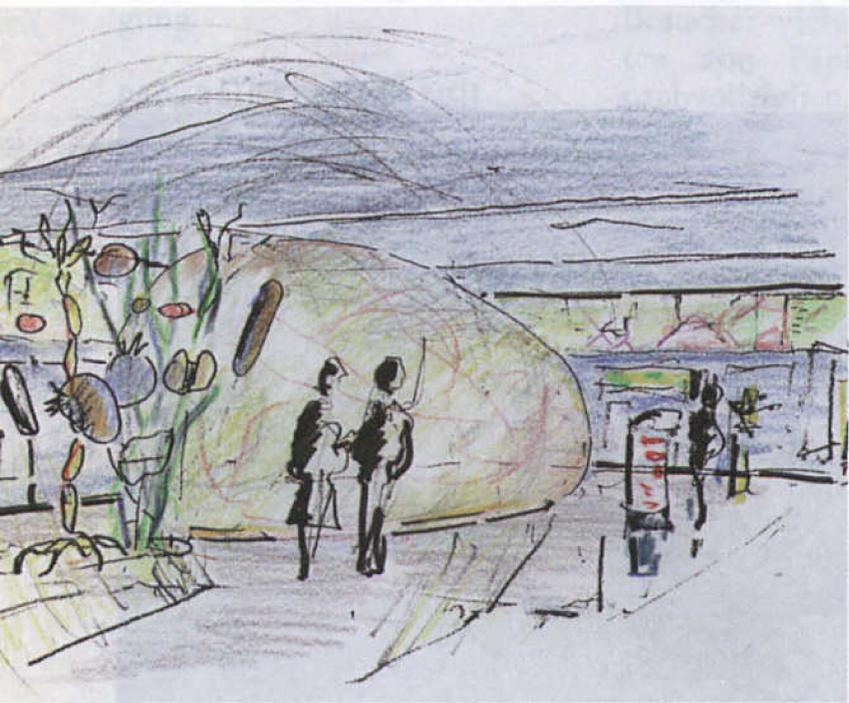
Deutsche Wissenschaftler im Einsatz für Afrika (links) und – noch – ohne Musik wandernde Afrikaner.

Fotos: Fraunhofer-Gesellschaft (l. u.); Dieter Beisel, München (o. und r. u.)

Die Biowissenschaften sind in den letzten Jahrzehnten zu einer Leitwissenschaft geworden – sie werden die Forschung des neuen Jahrhunderts prägen. Ab Mai 2000 wird im Deutschen Museum eine neue Ausstellung zu sehen sein, die den Themen Biochemie und Pharmazie gewidmet ist. Auch allem menschlichen Leben liegen komplexe biochemische Vorgänge zugrunde. So wird der Besuch der Ausstellung zugleich zu einer Reise in das eigene Ich. □ Die antike Gesundheitsgöttin Hygieia war weiblich. Doch in der Moderne dauerte es lange, bis Frauen

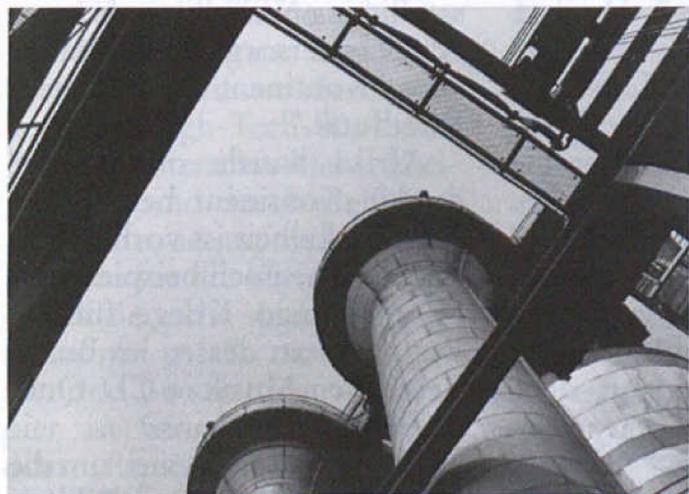


HEILKRAFT. Nicht nur in der Mythologie war die Gesundheit göttlich und ein Geschenk der Götter. Noch in dem Gemälde „Medizin“, 1901, von Gustav Klimt (1862–1918) erscheint die Gesundheit in der Gestalt der Göttin Hygieia.



PHARMAZIE. Mittelpunkt der neuen Ausstellung Pharmazie ist das begehbare Modell einer menschlichen Zelle. Das Ausstellungsmotto „You are Chemistry“ wird so direkt erfahrbar.

den Beruf der Apothekerin ausüben durften. □ Die architektonischen Zeugnisse ganzer Industrien verfallen. In künftigen Erlebnislandschaften des Ruhrgebiets erfahren sie eine neue Nutzung.



INDUSTRIE. Architektonische Zeugnisse der Ruhr-Industrie leben fort im Landschaftspark Duisburg-Nord.

Die Kultur & Technik-Frage

Auf unsere letzte Frage („Wodurch kommt die starke Vergrößerung des Horizontes bei Föhn zustande?“) erreichte uns keine Antwort. Die Redaktion appelliert noch einmal an Ihren Sachverstand – und wird die Frage gegebenenfalls im nächsten Heft selbst beantworten.

IMPRESSUM

Kultur & Technik Zeitschrift des Deutschen Museums 24. Jahrgang

Herausgeber: Deutsches Museum, Museumsinsel 1, D-80538 München, Postfach: D-80306 München. Telefon (089) 2179-1.

Redaktion: Dr. Alex Klubertanz, Dr. Stephan Meyer (verantwortlich), Peter Kunze (Deutsches Museum). Redaktionsanschrift: Occamstraße 3, D-80802 München. Telefon: (089) 333750, Telefax: (089) 333750. ISDN Mac (089) 34029704. E-mail: Dieter.Beisel@t-online.de

Verlag: C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung (Oscar Beck), Wilhelmstr. 9, D-80801 München / Postfach 400340; D-80703 München, Telefon: (089) 38189-0, Telex: 5215085 beck d, Telefax: (089) 38189-398, Postgirokonto: München 6229-802.

Der Verlag ist oHG. Gesellschafter sind Dr. Hans Dieter Beck und Wolfgang Beck, beide Verleger in München.

Redaktionsbeirat: Dr. Ernst H. Berninger, Dipl.-Ing. Jobst Broelmann, Dr. Peter Frieß (Deutsches Museum Bonn), Christof Gießler, Rolf Gutmann, Sabine Hansky, Werner Heizerling, Andrea Lucas, Dr. Eva Mayring, Dr. Annette Noschka-Roos, Prof. Dr. Jürgen Teichmann, Prof. Dr. Helmuth Trischler, Dr. Marc-Denis Weitze.

Gestaltung: Prof. Uwe Göbel, München.
Layout: Dr. Alex Klubertanz, München.
Herstellung: Ingo Bott, Verlag C.H. Beck.

Anzeigen: Fritz Leberherz (verantwortlich), Verlag C. H. Beck, Anzeigen-Abteilung, Wilhelmstraße 9, D-80801 München. Postanschrift: Postfach 400340, D-80703 München; Telefon: (089) 38189-602, Telefax: (089) 38189-599. – Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 16. Anzeigenschluß: 6 Wochen vor Erscheinen.

Satz: Belprint, Occamstraße 3, D-80802 München. Telefon und Telefax: (089) 333750. E-mail: Dieter.Beisel@t-online.de

Repro: Rehbrand, Rehms & Brandl Medientechnik GmbH, Friedenstraße 18, D-81671 München.

Druck: Appl, Senefelderstraße 3-11, D-86650 Wemding.

Bindung und Versand: C. H. Beck'sche Buchdruckerei, Bergerstr. 3, D-86720 Nördlingen.

Bezugspreis 2000: Jährlich DM 39,80, Einzelheft DM 10,80, jeweils zuzüglich Versandkosten. – Für Mitglieder des Deutschen Museums ist der Bezug der Zeitschrift im Mitgliedsbeitrag enthalten (Erwachsene DM 76,-, Schüler und Studenten DM 45,-). Erwerb der Mitgliedschaft: Museumsinsel 1, D-80538 München.

Für Mitglieder der Georg Agricola-Gesellschaft zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik e. V. ist

der Bezug der Zeitschrift im Mitgliedsbeitrag enthalten. Weitere Informationen bei der GAG-Geschäftsstelle: Am Bergbaumuseum 28, D-44791 Bochum, Telefon (0234) 5877140.

Bestellungen von Kultur & Technik über jede Buchhandlung und beim Verlag. **Abbestellungen** mindestens 6 Wochen vor Jahresende beim Verlag.

Abo-Service: Telefon (089) 38189-335.

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

ISSN 0344-5690

