Zeitschriftenstelle

Kultur und Technik – Das Magazin aus dem Deutschen Museum **1/2004** | 6 Euro | B 9797

ZB
7361/1

Aus Zucker und Stärke Biokunststoffe lassen sich nach Gebrauch problemlos kompostieren

Wundermetall Titan Es sieht aus wie Stahl, ist ebenso fest – jedoch nur halb so schwer

Der wiedererstandene Polyphem Jahrzehnte dauerte die Rekonstruktion der hellenistischen Plastik

KULTUR & TECHNIK

Wunderstoffe aus Menschenhand

Technischer Fortschritt ist eng mit der Entwicklung neuer Materialien verknüpft. An ihnen arbeiten Chemiker, Physiker und Ingenieure in interdisziplinären Teams.

BIBLIOTHEK DES DEUTSCHEN MUSEUMS MÜNCHEN

Veranstaltungen & Ausstellungen JANUAR BIS MÄRZ 2004

SONDERAUSSTELLUNGEN

bis 31.01. **Justus Liebig: Seine Zeit und unsere Zeit**
Sonderausstellungsraum im 2. OG

Justus Liebig: Der streitbare Gelehrte
Bibliotheksgebäude

Justus von Liebig – der große Chemiker, engagierte Lehrer, fleißige Publizist, Wissenschaftsmanager und Mitbegründer chemischer Fabriken würde in diesem Jahr seinen 200. Geburtstag feiern. Seine Karriere begann in Gießen, einen großen Teil seines Lebens und Wirkens verbrachte er in München. Aus Anlass dieses Jahrestags zeigt das Deutsche Museum zwei von der Universität Gießen konzipierte Ausstellungen.

bis 25.01. **Blicke in eine unsichtbare Welt**
Bergwerk

Many Szejstecki, ein Künstler aus dem Ruhrgebiet, stellt seine Werke vor. In großformatigen Zeichnungen präsentiert er das Ruhrgebiet aus seiner besonderen Perspektive, legt die beim Bergbau geschaffenen Wege, Schächte und Strecken frei und entwickelt so seine „Bergbaupanoramen". In Zusammenarbeit mit dem Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus und der Deutschen Steinkohle AG.

bis 14.11. **100 Jahre Motorflug 1903–2003**
Luftfahrthalle 1. OG.
Die Gebrüder Wright und der Beginn des Motorflugs

Jeden ersten und dritten Mittwoch im Monat (nicht an gesetzlichen Feiertagen!) bleibt eine ausgewählte Abteilung bis 20 Uhr geöffnet. Ab 18 Uhr gibt es ein Sonderprogramm wie z.B. Abendführung, Sondervorführung oder Konzert (Unkostenbeitrag 3.- Euro).

07.01. **Physik** (Experimente mit flüssigem Stickstoff)
21.01. **Musik** (Konzert)
04.02. **Führung Industrielle Revolution** (Werkzeugmaschinen, Kraftmaschinen, Motoren, Starkstrom, Textil)
18.02. **Musik** (Konzert)
03.03. **Führung Industriedesign** (Schifffahrt, Luftfahrt, Raumfahrt, Kraftmaschinen)
17.03. **Musik** (Konzert)
10.01. **„Maschinentheater"** Die Technik in der Neuzeit
14.02. **Bibliotheksführung**
13.03. **Bibliotheksführung**

VERKEHRSZENTRUM DES DEUTSCHEN MUSEUMS

15.01./16.01. **20.00 Uhr**
19.00 Uhr: Führung durch das Verkehrszentrum

17.01./18.01. **19.00 Uhr**
18.00 Uhr: Führung durch das Verkehrszentrum

KONZERTE IM DEUTSCHEN MUSEUM

11.01. 11.15 Uhr – **Matinee**
„... für Klavier zu vier Händen"
Werke von Mozart, Giordani, J. Chr. Bach und von Dalberg, gespielt auf Tafelklavieren des 18. Jahrhunderts
von Ella Sevskaya und Michael Günther

17.01. 14.30 Uhr – **Orgelkonzert**
Prof. Reinhard Jaud (Innsbruck)
auf der Ahrend-Orgel

21.01. 18 Uhr – **der dritte mittwoch.**
„Pièces de Clavecin"
mit Kompositionen von Byrd, Rameau, Bach u. a.
Studierende der Cembaloklasse von Michael Eberth

18.02. 18 Uhr – **der dritte mittwoch.**
„musica per salterio"
mit Kompositionen von Vivaldi, Telemann, Schickhardt und Romaldi
Studierende der Hackbrettklasse von Birgit Stolzenburg

13.03. 14.30 Uhr – **Orgelkonzert**
Jürgen Rieger (Stuttgart)
Orgelmusik aus vier Jahrhunderten

14.03. 11.15 Uhr – **Matinee**
Jarmila Kozderková (Prag)
Tschechische Klaviermusik der Moderne
auf dem neuen Steinway-Konzertflügel der Sammlung

17.03. 18 Uhr – **der dritte mittwoch.**
„ein barockes Streichkonzert"
mit Kompositionen von H.I.F. Biber u.a.
Studierende der Barockviolinklasse von Anne Röhrig

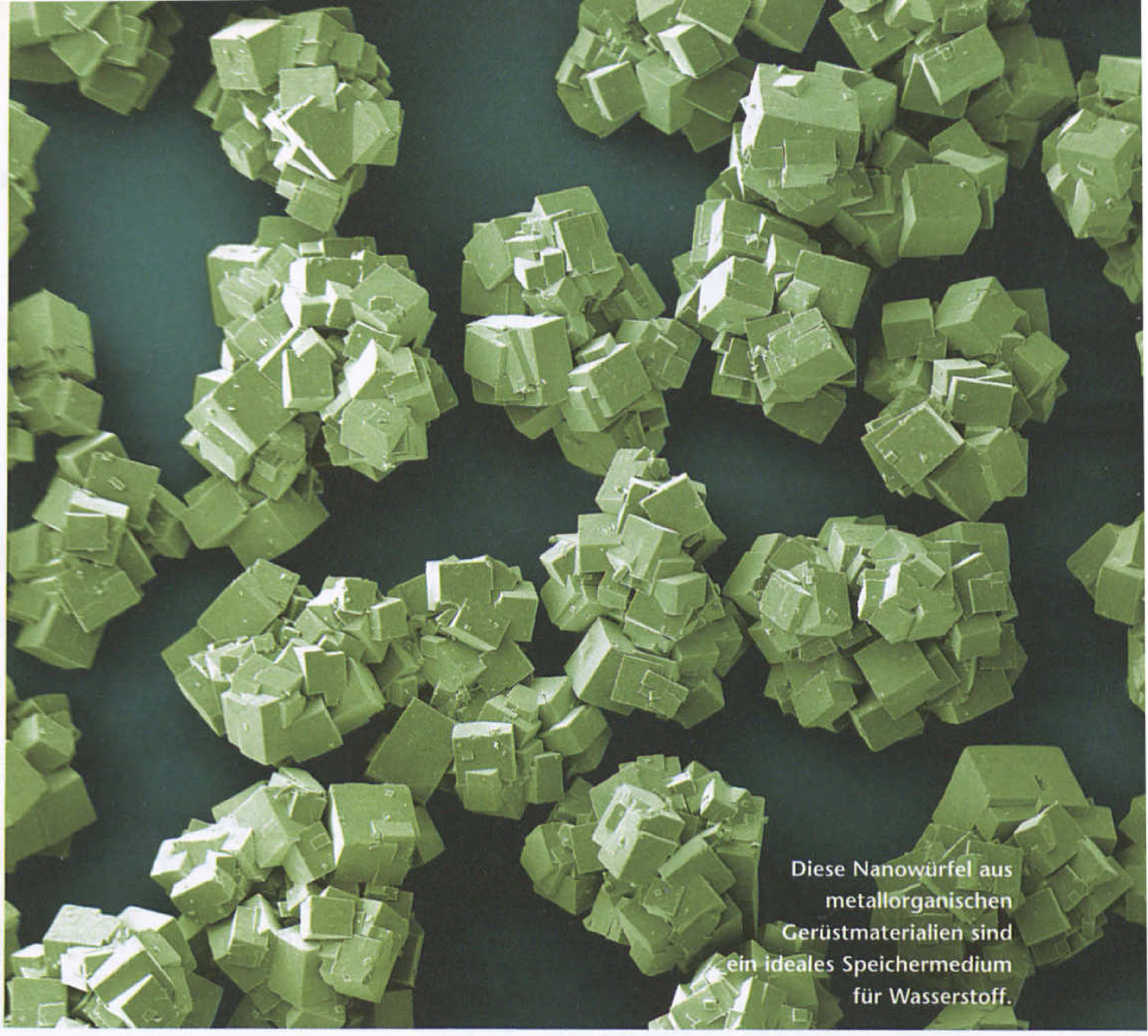
Weitere Informationen unter http://www.deutsches-museum.de
sowie Tel. 2179-445 und Mail s.berdux@deutsches-museum.de.

Museum geschlossen:
1. Januar, 24. Februar (Faschingsdienstag)

Abteilungen geschlossen:
Abt. Foto und Film (Wiedereröffnung 2005)

Editorial

Wunderstoffe aus Menschenhand



Diese Nanowürfel aus metallorganischen Gerüstmaterialien sind ein ideales Speichermedium für Wasserstoff.

Selten machen wir uns bewusst, wie sehr unser Alltag von der Verfügbarkeit und den spezifischen Eigenschaften unzähliger Materialien bestimmt wird. Nur wenn in den Nachrichten von einer materialbedingten Katastrophe berichtet wird – dem Zugunglück bei Eschede etwa – , werden wir für kurze Zeit an diese Abhängigkeit erinnert.

LIEBE LESERINNEN,
LIEBE LESER,

im allgemeinen wissen wir ziemlich wenig über die Materialien, die wir benutzen (und wegwerfen). Wer würde, um ein ganz normales Alltagsprodukt als Beispiel zu nehmen, schon vermuten, dass allein zur Fabrikation eines Kugelschreibers etwa zehn verschiedene Materialien vonnöten sind?!

Dass Entwicklungsstand und Kulturleistungen der Menschheit unweigerlich an das Vorhandensein gewisser Materialien gebunden sind, ist eine Binsenweisheit. Wie sehr die Präsenz eines hauptsächlich verwendeten Materials den Zivilisationsstand einer Epoche bestimmt, zeigt die Tatsache, dass ganze Zeitalter nach dem in der jeweiligen Epoche vorherrschenden, unverzichtbaren Material benannt wurden: Steinzeit, Bronzezeit, Eisenzeit, Zeitalter von Kohle und Stahl. Moderne Industriegesellschaften sind von der Verfügbarkeit bestimmter Materialien sehr viel abhängiger als Agrargesellschaften, unsere Zeit ist dies sehr viel mehr als alle früheren Epochen. Das gilt nicht nur qualitativ, sondern, wie die ständig steigenden Verbrauchskurven bestimmter Materialien zeigen, auch quantitativ. Wer über Materialien redet, muss im Zeitalter der Wegwerfgesellschaft also auch an Stichworte wie „Umweltprobleme“ und „Recycling“ denken.

Das Thema „Materialien“ hat nicht nur Bezüge zur Chemie, Physik und den Ingenieurwissenschaften, sondern – und das macht es so spannend und vielseitig - auch zu scheinbar entfernt liegenden Gebieten wie etwa Kunst, Architektur, Design, den Bio-, Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften. Einen Hauch dieser Vielfalt hoffen wir in diesem Heft eingefangen zu haben.

Ihre

Dr. Elisabeth Vaupel
Leiterin der Abteilung Chemie
des Deutschen Museums

Frauen unter sich
Ein Wochenende lang
„Frauen führen Frauen“

Fr/Sa/So 23./24./25. April 2004

Cherchez la Femme

Zur Geschichte von Frauen in Naturwissenschaft und Technik

Frauenarbeit von der Steinzeit bis zur Gegenwart – von der Arbeit im Hackfruchtbau bis zu den „Leichtlohngruppen“, über Frauen in der Naturwissenschaft wie Karoline Herschel, Mileva Einstein Maric, Marie Curie und vieles mehr in drei Führungsvorträgen am Samstag und Sonntagvormittag. Freitag- und Sonntagnachmittag stehen zur freien Verfügung, um von zentraler Lage aus das Museum oder München zu erkunden.

2 Übernachtungen mit Frühstück inkl. Führungshonorare und Museumseintritt 95 Euro (EZ) und 85 Euro (DZ) + 7% MwSt. Anmeldung bis spätestens 15. März erforderlich!
Die Zimmer (Etagenduschen und –WCs) sind modern ausgestattet und ruhig - direkt im Museum gelegen. Wir empfehlen die Anreise mit öffentlichen Verkehrsmitteln.

Information und Anmeldung:
Christine Füssl-Gutmann oder Cordula Gronemann
Tel. 089-2179/243, Tel. 089-2179/294, Fax 089-2179/273
e-mail: c.fuessl@deutsches-museum.de und c.gronemann@deutsches-museum.de
Deutsches Museum, Museumsinsel 1, 80538 München

Kerschensteiner Kolleg

Inhalt

Wunderstoffe aus Menschenhand

Thema

12 Biokunststoffe
Lassen sich nach Gebrauch problemlos kompostieren
von Bettina Schmidt

16 Wundermetall Titan
Der Werkstoff des Raumfahrtzeitalters
von Alexander Wanner

21 Kunststoffe mit Gedächtnis
Materialien erinnern sich
von Jürgen Schulte, Steffen Kelch und Andreas Lendlein

24 Betonkultur
Die Vielfalt von Stahlbeton
von Lucien F. Trueb

29 Kampf dem Sprödbruch
Keramiken gehören zu den ältesten Werkstoffen
von Martin Jansen

32 Was soll der Glanz?
Der Siegeszug des Chrom.
von Otto Kraetz

37 Die Bilanz zählt
Interview mit
Carl-Otto Gensch

38 Der wiedererstandene Polyphem
Eine hellenistische Plastik wurde rekonstruiert
von Bernard Andreae

42 Von der Atombombe zur Bratpfanne
Teflon ist das Ergebnis eines fehlgeschlagenen Versuchs
von Martin Schneider

Folien aus Biokunststoffen lösen sich von selber wieder auf.

02 Terminkalender
Sonderausstellungen, Verkehrszentrum, Konzerte

06 Kaleidoskop

46 Terminkalender
Wintervorträge, Flugwerft Schleissheim, Kolloquiumsvorträge, Kerschensteiner Kolleg

47 Gedenktage technischer Kultur
Die wichtigsten Daten und Persönlichkeiten, von Januar bis März

49 Deutsches Museum intern
100 Jahre Deutsches Museum: Bilder und Berichte von den Feierlichkeiten rund ums Jubiläum. Nachrichten und bibliophile Kostbarkeiten

60 Flugobjekte zum Anfassen
Die Geschichte der Luftfahrtabteilung von Wilhelm Füßl

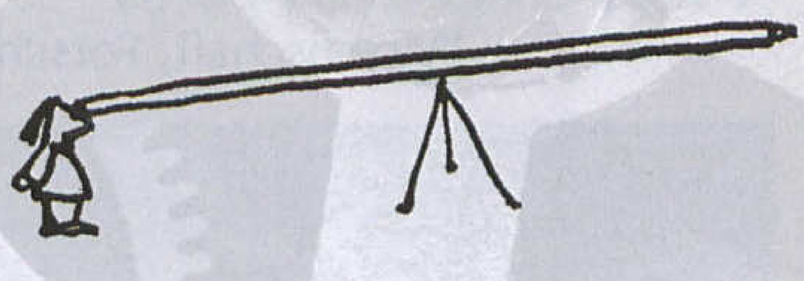
64 Schlusspunkt
Das Wesen der Dinge

66 Vorschau, Impressum

Abbildungen: Archiv Trieb; Carmen e.V.; DuPont

24
Beton macht spektakuläre moderne Architektur möglich: Wie das Guggenheim-Museum in New York.

40
Der Chemiker Roy Plunkett entdeckte zufällig das Teflon.



Mo/Di/Mi/Do 4.-8. April 2004

Himmel und Weltall

Astronomie für Familien mit Kindern (ab etwa 10 Jahren)

* Was sieht man am Himmel?
* Astronomie als Hobby
* Von Milchstraßen und Schwarzen Löchern
* Gibt es fremdes Leben im Weltall?

Das Deutsche Museum bietet mit seiner Ausstellung Astronomie ein 4tägiges Programm, das für Kinder gedacht ist, die noch kein spezielles Vorwissen haben (und das auch für Eltern interessant ist).

Literatur: Jürgen Teichmann, Das unendliche Reich der Sterne, Arena-Verlag Würzburg 2000 (ab 10 Jahren).

4 Übernachtungen mit Frühstück inkl. Seminargebühren und Museumseintritt:
€ 165 für Erwachsene, € 115 für Kinder.
Mitglieder des Deutschen Museums erhalten 10% Ermäßigung.

Information und Anmeldung: Christine Füssl-Gutmann
Tel. (089)2179-243, Fax (089)2179-273
E-Mail: c.fuessl@deutsches-museum.de

Deutsches Museum, Museumsinsel 1, 80538 München

Kerschensteiner Kolleg

MAGIC – WELTWEIT GRÖSSTES GAMMASTRAHLEN-TELESKOP

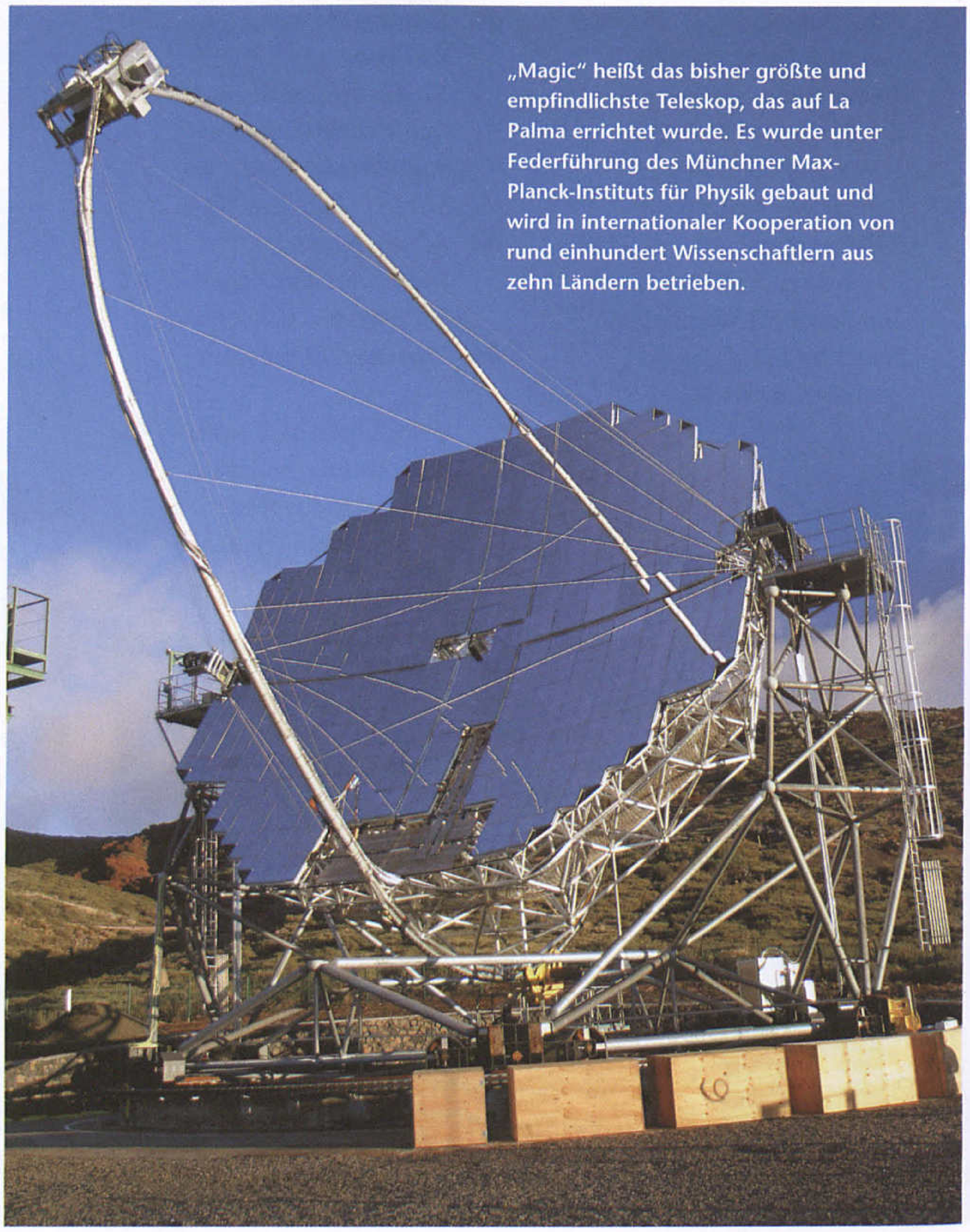
Ein neues Großteleskop auf der spanischen Insel La Palma soll die Gamma-Strahlung von fernen Galaxien, Quasaren und explodierenden Sternen untersuchen. Es registriert die Lichtblitze von „Luftschauern", die beim Eindringen kosmischer Gammaquanten in die Erdatmosphäre entstehen.

MAGIC steht für „Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov". Das Teleskop ist mit einem Spiegeldurchmesser von 17 Metern weltweit das größte und empfindlichste Instrument seiner Art für den bisher weitgehend unerforschten Energiebereich zwischen 20 und 300 Milliarden Elektronenvolt.

Beobachtungen im Gammastrahlen-Bereich des elektromagnetischen Spektrums zählen zu den jüngsten Zweigen in der langen Geschichte der Astronomie. Da die Erdatmosphäre für dieses extrem energiereiche Licht undurchlässig ist, erfordern direkte Beobachtungen den Einsatz von Satelliten oder Raketen. Diese können allerdings nur Gammastrahlung bis zu Energien von einigen zehn Milliarden Elektronenvolt registrieren.

In den Zentren aktiver Galaxien oder in den Überresten explodierter Sterne entstehen jedoch viel größere Energien. Messbar sind sie nur mit einem Trick, da die Gammaquanten aus dem Universum nicht bis zur Erdoberfläche vordringen: Dabei nutzen die Forscher die Tatsache, dass sich ein hochenergetisches Gammateilchen in den oberen Schichten der Atmosphäre beim Vorbeiflug an einem Atomkern spontan in ein Elektron und ein Positron umwandeln kann. Beide Teilchen erzeugen wiederum in einer Art Schneeballsystem weitere Sekundär-Teilchen: Eine Teilchenlawine, ein so genannter „Luftschauer", entsteht. Die elektrisch geladenen Teilchen des Schauers, deren Geschwindigkeit höher ist als die Lichtgeschwindigkeit in Luft, emittieren „Cherenkov-Licht". Diese 1934 von P. A. Cherenkov entdeckte elektromagnetische Strahlung breitet sich in Flugrichtung des ursprünglichen Gammateilchens als blauer Blitz aus. Auf der Erdoberfläche beleuchtet solch ein Blitz von wenigen Milliardstel Sekunden Dauer eine Fläche von einigen hundert Metern Durchmesser. Dennoch ist seine Intensität für die Beobachtung mit bloßem Auge viel zu schwach. Das neue Teleskop wird nun erstmals den Spektralbereich zwischen 20 und einigen 100 Milliarden Elektronenvolt untersuchen.

Weitere Informationen zum MAGIC-Teleskop unter: http://hegra1.mppmu.mpg.de/MAGICWeb



„Magic" heißt das bisher größte und empfindlichste Teleskop, das auf La Palma errichtet wurde. Es wurde unter Federführung des Münchner Max-Planck-Instituts für Physik gebaut und wird in internationaler Kooperation von rund einhundert Wissenschaftlern aus zehn Ländern betrieben.

Abbildung: Robert Wagner/MPI für Physik, München

AUDI-WANDERER STROMLINIE SPEZIAL:

NACHBAU EINER LEGENDE

Es ist der bisher aufwändigste Nachbau seit dem Typ C Silberpfeil. In einem einzigartigen Restaurationsprojekt hat Audi drei „Wanderer Stromlinie Spezial"-Fahrzeuge, die 1938 und 1939 an der 4700 Kilometer langen Fernfahrt Lüttich–Rom–Lüttich teilnahmen, nachgebaut. Als „bislang größte Herausforderung" bezeichnete der Restaurator Werner Zinke im sächsischen Zwönitz die zweijährige Arbeit an den Originalnachbauten. „Bis auf Radstand und Spur hatte ich keine verlässlichen Daten. Ich musste mich vor allem an den historischen Fotos orientieren". Das Ergebnis ist mehr als gelungen. Zwei der bemerkenswert schönen Sport-Roadster sollen bei ausgewählten historischen Rennen zum Einsatz kommen, später wird dann ein Fahrzeug im Audi museum mobile in Ingolstadt zu bewundern sein.

Startbereit: Der „Wanderer Stromlinie Spezial" von Audi, 1938.

Schon kurz nach ihrer Entstehung 1931 hatte die Fernfahrt Lüttich–Rom–Lüttich den Ruf der schwierigsten internationalen „Ohne-Halt-Langstreckenfahrt", und galt als „Königin unter den Ralleys". Mehr als 100 Stunden nonstop saßen die Fahrerteams am Steuer. Die „Wanderer Stromlinie Spezial" – ausgestattet mit einem Sechszylindermotor mit Dreivergaseranlage und zwei Litern Hubraum – erreichten bei 70 PS eine Höchstgeschwindigkeit 160 km/h. Alle drei Fahrzeuge gelangten gut platziert ins Ziel und gewannen 1939 den „Coupe des Constructeurs".

Für Modellautosammler hat Audi Tradition ein 1:43-Modell des „Wanderer Stromlinie Spezial" in limitierter Auflage von 100 Stück anfertigen lassen. Die Modelle mit der Startnummer 17 entsprechen detailgetreu den großen Vorbildern.

Bestellungen: Artikelnummer M054,
125 Euro, Audi Tradition,
Fax: 0841/8992-567

JAHR DER TECHNIK 2004

Mehr als 2.500 Veranstaltungen werden im neuen, vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ins Leben gerufenen Wissenschaftsjahr 2004, dem „Jahr der Technik", erwartet, davon zehn zentrale Großveranstaltungen. Wie in den Jahren zuvor steht auch in diesem Jahr der Dialog zwischen Wissenschaftlern, Wissenschaftlerinnen, Bürgern und Bürgerinnen wieder an erster Stelle. Ein Techniktruck wird quer durch Deutschland fahren, um einem breiten Publikum insbesondere das Thema „Nanotechnologie" zu präsentieren. An einem „Tag der Technik" werden bundesweit Technikabteilungen von Firmen und Forschungsinstituten ihre Pforten für die Öffentlichkeit öffnen.

Vom Herzschrittmacher über die Brennstoffzelle bis zum Mikroroboter – das Jahr der Technik will anschaulich machen, wo Technik zum Einsatz kommt und was moderne Ingenieurwissenschaften für die Gestaltung und Entwicklung unserer Gesellschaft leisten. Nicht zuletzt geht es darum, Jugendliche für die Ingenieurwissenschaften und Forschung zu begeistern und die Bedeutung der Technik für den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Deutschland zu vermitteln. Schwerpunkte der Veranstaltungen sind Mobilität und Kommunikation, Jugend und Ausbildung, Elektronik und Optik sowie Energie- und Umwelttechnik.

Mehr unter: www.jahr-der-technik.de

JAHR DER TECHNIK 2004

Wissenschaft und Öffentlichkeit im Dialog über Mobilität, Kommunikation, Ausbildung, Elektronik, Optik, Energie und Umwelt.

Abbildungen: Audi; BMBF

830 KILOMETER QUER DURCH DEUTSCHLAND

Sicher und wohlbehalten ist die alte, rund 140 Tonnen schwere Dampflok aus dem hohen Norden mit der Bezeichnung „44 606“ in ihrer neuen bayerischen Heimat angekommen. 22 Jahre lang war sie nicht mehr bewegt worden, und nun rollte sie anstandslos im Schlepp einer Diesellok rund 830 Kilometer quer durch Deutschland – von Wilhelmshaven zum Bahnpark nach Augsburg.

Die ölgefeuerte Lokomotive, 1941 von Krupp in Essen gebaut, war 1981 in Wilhelmshaven direkt an der Nordsee als Denkmal aufgestellt worden. Als sich die Stadt Wilhelmshaven Anfang des Jahres 2003 dazu entschloss, wegen einer Umgestaltung der Kaianlagen die Maschine abzugeben, bewarben sich gleich zwölf Museen und Eisenbahnvereine aus ganz Deutschland. Den Zuschlag erhielt der Förderverein Bahnpark Augsburg, der das beste Präsentationskonzept vorlegen konnte und die denkmalgeschützte 44 606 zusammen mit den Dampfloks 41 018 und 41 364 in eine „Gläserne Dampflokwerkstatt“ einbinden wird.

Letzter Bahnhof „Bahnpark Augsburg“: Krupp in Essen baute 1941 die ölgefeuerte Lokomotive „44 606“.

Mehr zum Bahnpark Augsburg unter:
www.bahnpark-augsburg.de

BERLINER ERKLÄRUNG FORDERT OFFENEN ZUGANG ZUM WISSEN

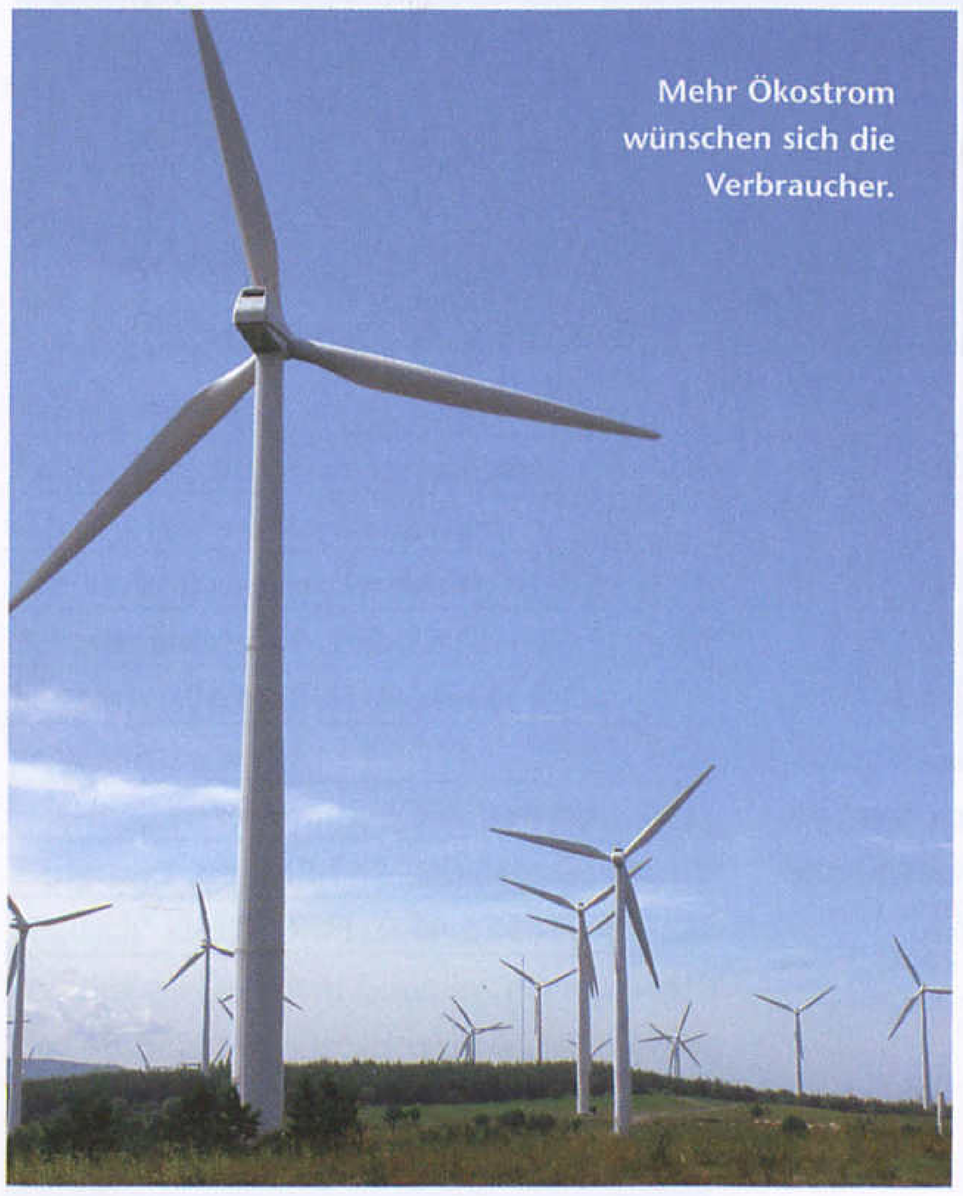
Im Oktober vergangenen Jahres unterzeichneten führende Vertreter internationaler Wissenschaftsorganisationen die „Berliner Erklärung über offenen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen“ (Berlin Declaration on Open Access to Knowledge in the Sciences and Humanities). Eine zentrale Forderung lautet, wissenschaftliche Publikationen über das Internet öffentlich zugänglich zu machen (open access). Die Empfehlungen des Gremiums richten sich sowohl an Forschungseinrichtungen als auch an Kulturinstitutionen wie Bibliotheken, Archive und Museen. Beiträge können wissenschaftliche Forschungsergebnisse, Roh- und Quellenmaterialien, Metadaten sowie digitale Repräsentationen von bildlichem und grafischem Material sein. Der Autor oder Urheber solle allen Nutzern grundsätzlich ein freies, unwiderrufliches und weltweites Recht auf den Zugang zu seinen Daten einräumen und genehmigen, das Werk – unter korrekter Angabe der Urheberschaft – zu nutzen, zu kopieren und digital weiterzuverarbeiten. Auch das kulturelle Erbe soll auf diese Weise im Internet zugänglich gemacht werden.

Abbildung: Jürgen Utecht (www.museumslok.de)

IM AUFWIND:

ERNEUERBARE ENERGIEN

Ökostrom erfreut sich einer steigenden Nachfrage in der Bevölkerung. Das ist das Ergebnis einer Umfrage des Meinungsforschungsinstituts Emnid im Auftrag des Fernsehsenders n-tv. 73 Prozent aller Befragten sprechen sich für eine weitere Förderung von Ökostrom in Deutschland aus. Nach Angaben des Bundesverbands Erneuerbare Energien (BEE) beträgt der Anteil erneuerbarer Energien am Gesamtstromverbrauch derzeit 8 Prozent. Für die Haushalte, die den Alternativstrom beziehen, bedeutet dies monatlich etwa einen Euro zusätzlich. Dass dieser Obolus sinnvoll eingesetzt ist, davon ist BEE-Sprecher Milan Nitzschke überzeugt. Es sei ein Beitrag für den Aufbau einer umweltschonenden Energieversorgung, die uns langfristig gesehen unabhängig von Energieimporten mache. Nitzschke: „Wer heute in Wind, Wasser, Sonne, Biomasse und Erdwärme investiert, schafft also die Bedingungen für eine zukunftsfähige Wirtschaft." Noch deutlicher werden die Präferenzen deutscher Verbraucher für eine alternative Energieversorgung in einer TNS–Emnid-Umfrage, die das Institut im Auftrag des Wissensmagazins P.M. erstellt hat: Demzufolge sind 96 Prozent der Befragten der Meinung, dass Sonnenenergie noch viel stärker genutzt werden müsse, 66 Prozent sind dafür, in Deutschland noch viel mehr Windräder aufzustellen. Nicht weniger als 58 Prozent der an der Umfrage beteiligten Frauen und 44 Prozent der Männer wären bereit, sich der Umwelt zuliebe einzuschränken und einen autofreien Tag pro Woche einzulegen, um Energie zu sparen.



Mehr Ökostrom wünschen sich die Verbraucher.

Bundesverband Erneuerbare Energien (BEE)
www.bee-ev.de

PLANETARIUM HAMBURG

STERNENTHEATER

Die Hansestadt Hamburg ist um eine Attraktion reicher: Im ehemaligen Winterhuder Wasserturm ist eines der weltweit modernsten Planetarien beheimatet. Kernstück der Sternenkuppel ist ein „Zeiss- Universarium IX"-Projektor, eine Spezialanfertigung, deren Installation allein zehn Wochen gedauert hat. Nun steuern 30 Computerprozessoren insgesamt 9100 Sterne am künstlichen Himmelszelt. Die Verwendung der neuesten Bilder und Daten von NASA und ESA erlauben eine naturgetreue Darstellung unseres Sonnensystems.

Pflegt das „Planetarium HH" einerseits das traditionelle Angebot für passionierte Sternengucker, öffnet es sich doch auch bewusst für ein anderes Publikum. Als „Digitales Theater" zeigt man in der Kuppel 380-Grad-Shows zum Thema Kosmos, bezaubert Kinder und Erwachsene mit Nenas Popmärchen „Madou und das Licht der Phantasie" oder verbindet Videokunst mit Konzerten.

www.planetarium-hamburg.de

WEBTIPP

Wissenschaft im Dialog

Den Dialog mit allen Gruppen der Gesellschaft stärken und das Interesse für Wissenschaft und Technik wecken will die 1999 gegründete Initiative Wissenschaft im Dialog (WiD). Auf rund 3000 bundesweiten Veranstaltungen und verschiedenen Diskussionsforen informiert das gleichnamige Internetangebot über neueste Forschungsergebnisse an deutschen Hochschulen und Instituten.

www.wissenschaft-im-dialog.de

WEBTIPP

Der Patentserver

Der Patentserver des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) richtet sich an alle Hochschulen und Forschungseinrichtungen, Unternehmen, Schulen und freie Erfinder. Die Website bietet allgemeine Informationen rund um das Thema „Patente" und nennt Ansprechpartner für die Patentierung und Verwertung von Erfindungen.

www.patente.bmbf.de

WEBTIPP

Projekt Museum Online

Ein Projekt, das Schule macht: Mit innovativen Technologien wollen Schüler in Österreich die Zusammenarbeit zwischen Schulen und Museen fördern. Museum Online, das im Rahmen des Projektunterrichts entstand, wurde 2003 von der Bertelsmann-Stiftung und AOL Time Warner als "best practice example" für die Förderung von Medienkompetenz im Bildungsbereich ausgezeichnet.

www.museumonline.at

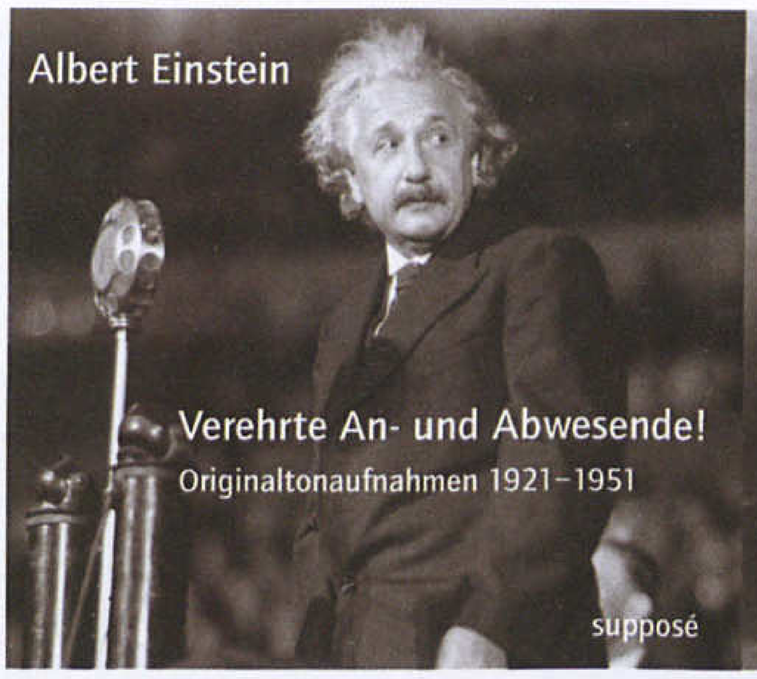
Abbildung: Jessica Eden

HÖRBUCH

GROSSE FORSCHER IM ORIGINALTON

In so manchem Rundfunkarchiv schlummern besondere Schätze: die Stimmen großer Natur- und Geisteswissenschaftler. Vorträge und Interviews bekommen ihre eigene Authentizität, werden sie von den Verfassern selbst vorgetragen. Da erklären etwa Erwin Schrödinger „Was ist Materie?“ oder Max Planck „Das Wesen der Wissenschaft“. Originalaufnahmen öffnen einen neuen Zugang zu Werk und Mensch.

Dank des kleinen Kölner Hörbuch-Verlages supposé kann man sich große Geister wie Albert Einstein oder Lise Meitner quasi ins Wohnzimmer holen. Das 2-CD-Set „Albert Einstein: Verehrte An- und Abwesende!“ zum Beispiel enthält 18 Originalaufnahmen mit fast zwei Stunden Gesamtdauer auf Deutsch und Englisch aus den Jahren 1921 bis 1951. Im jeweils beiliegenden Booklet finden sich Manuskripte bzw. die deutschen Übersetzungen der Reden.

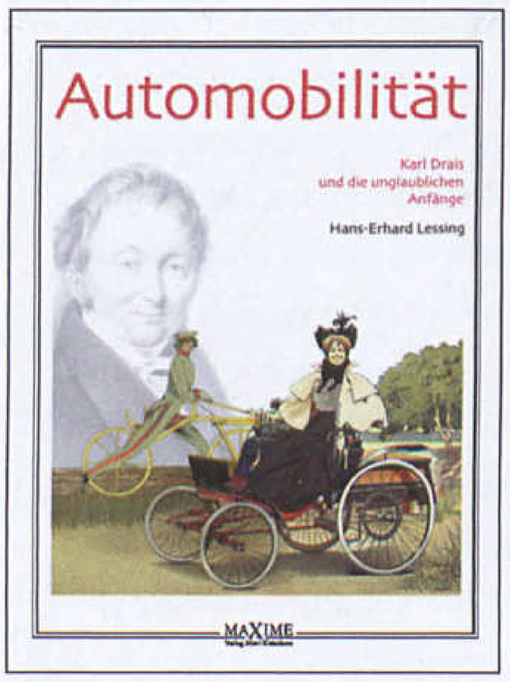


supposé hat aber nicht nur Historisches zu bieten. Der Verlag widmet sich auch dem Wissenschaftlichen Diskurs der Gegenwart. Computerpionier Joseph Weizenbaum, Kommunikationsphilosoph Vilém Flusser oder Chaosforscher Otto E. Rössler stehen unter anderem auf dem Programm. Reinhören!

www.suppose.de

„Albert Einstein: Verehrte An- und Abwesende!“ 2-CD-Set, 115 Minuten, ISBN 3-932513-44-4, EUR 24,80

„Lise Meitner: Die Frau in der Wissenschaft“ CD, 57 Minuten, ISBN 3-932513-46-0, EUR 18



BUCHTIPP: KARL DRAIS- BIOGRAPHIE

VOM FAHRRAD ZUM AUTO

Die Erfindung des Laufrades durch Karl Drais markierte einen Paradigmenwechsel in der Mobilitätsgeschichte. Unabhängig von tierischer Unterstützung entwickelte sich der moderne Individual- und Transportverkehr.

Hans-Erhard Lessing legt nun eine Biographie des Erfinders vor, die Drais' technische Entwicklungen in den Kontext ökologischer Umwälzungen wie der Klimaveränderung 1816/17 stellt. Der Einfluss von politischen Entwicklungen der Zeit auf Leben und Werk, wie die demokratische Bewegung im Vormärz, werden ausführlich dargestellt. Durch eine dem Lesefluss nicht immer zuträgliche, in ihrer Fülle beeindruckende Menge von Originaldokumenten und Bildern entsteht auf über 500 Seiten das Porträt eines zu Unrecht fast vergessenen Pioniers.

Hans-Erhard Lessing: „Automobilität - Karl Drais und die unglaublichen Anfänge“, MAXIME Verlag Leipzig, ISBN 3-931965-22-8, EUR 32

CD-TIPP

DER GUTE WOLF

Aufnahmen von Sergej Prokofiews "Peter und der Wolf" gibt es viele. Ökologisch korrekt ist die Geschichte jedoch nicht. Eine Neutextung und Vertonung des Sujets lag also nahe. „Peter And The Wolf – Wolf Tracks“ des Komponisten Jean-Pascal Beintus zollt nun Umwelt und Tier seinen Tribut. Bemerkenswert sind die Sprecher: Sophia Loren, Bill Clinton und Michael Gorbatschow.

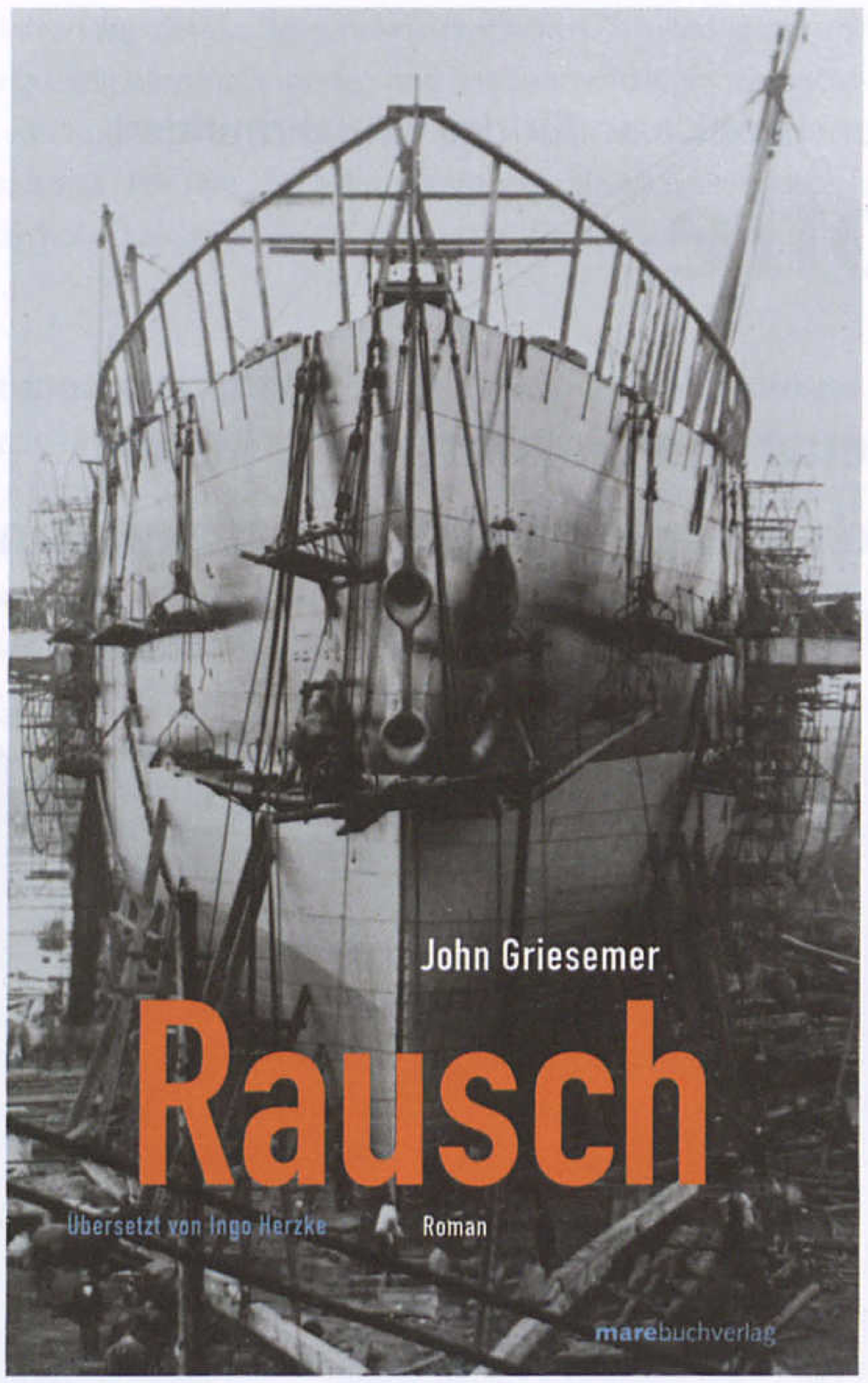
Pentatone Classics, ASIN: B0000AWCWW, ca. EUR 20 (engl.)

Abbildungen: supposé; Maxime Verlag

BUCHTIPP

DIE WUNDER DES ZEITALTERS

Der Übergang in eine neue Zeit glückt selten auf Anhieb. 1857 zum Beispiel geriet der Stapellauf der „Great Eastern", des bis dahin größten Dampfschiffs, das jemals gebaut wurde, zum Fiasko. Das Schiff rutschte nach seiner Taufe nicht wie geplant aus eigener Kraft ins Wasser. Drei Monate dauerte es, bis es endlich zu seiner Jungfernfahrt aufbrechen konnte. Technische Probleme, Todesfälle und finanzieller Ruin überschatteten jedoch das Ereignis. Ein ähnliches Schicksal ereilte in dieser Zeit auch das epochale Projekt der Verlegung eines Telegraphen-Kabels zwischen dem europäischen und amerikanischen Kontinent. Liegen gelassene Kabelknäuel auf dem Grund des Meeres vor Irland zeugen von vergeblichen Versuchen.



Auf dem Umschlag:
Die „Great Eastern" 1857 auf der Werft am Ufer der Themse auf der Isle of Dogs im Londoner East End.

Genau zu diesem vom Scheitern geprägten Zeitpunkt setzt John Griesemers Roman „Rausch" ein. Auf Schauplätzen im vom Bürgerkrieg gezeichneten Amerika, der alten Welt und an Bord von Ozeanriesen auf dem Meer zwischen den Kontinenten zeichnet er das Bild einer Generation im Aufbruch zwischen Viktorianischem Zeitalter und Moderne. Protagonisten sind der amerikanische Chefingenieur der Transatlantik-Verkabelung Chester Ludlow und seine Familie. Von seiner Frau entfremdet, stürzt er sich auf die Aufgabe, dem Fortschritt zu dienen. Zunächst bedeutet das allerdings, die Werbetrommel für das Projekt Atlantikkabel zu rühren – zeitgemäß eingebettet in eine Varieté-Vorstellung. In der, wie er selbst verheirateten Katerina Lindt findet er eine neue Gefährtin, die ihm sogar auf den Atlantik folgt. Die verlassene Gattin verfällt dem Spiritismus.

Auf den fast 700 Seiten seines historischen Romans verflicht Griesemer die persönlichen Entwicklungen seiner Charaktere mit den technischen und kulturellen Entwicklungen ihrer Zeit. Verzweifelt bemühen sich seine Protagonisten dabei die Balance zwischen ihren Lebensentwürfen und den Zugeständnissen an die technische Revolution zu halten, um nicht im Strudel der Ereignisse unterzugehen. Eine Vielzahl historischer Details und Personen, atmosphärische dichte Beschreibungen macht „Rausch" zu einem großen Erzählwerk.

Die „Great Eastern" übrigens kam, vor ihrem schäbigen Ende als schwimmender Vergnügungspark, doch noch zu Weltruhm. Als Kabelschlepper für das Transatlantik-Kabel.

John Griesemer: „Rausch",
Marebuchverlag,
ISBN: 3-936384-86-X, EUR 24,90

Abbildung: marebuchVerlag

NAXOS MUSIC LIBRARY

DIGITALE KLANGSCHATULLE

Naxos, Garant für qualitativ hochwertige CD-Produktionen, wagt sich als erstes Klassiklabel in den digitalen Markt. Logische Konsequenz für ein Label, dessen Gründer Heymann immerhin schon von Anfang an nur noch auf die Veröffentlichung auf CD setzte.

Nun sind alle Naxos-Veröffentlichungen seit der Gründung 1987 – 2400 Titel aus Klassik, Jazz und Audiobuch – mit einer Gesamtspiellänge von 4000 Stunden zusammengefasst erhältlich. Komprimiert in einer Klangqualität, die der CD fast nicht nachsteht, und auf einer 250–Gigabyte–Festplatte gespeichert lässt sich diese Musikbibliothek in einer kleinen blaumetallenen Box leicht in die Hand nehmen. An einen PC angeschlossen wird die Naxos Music Library über ein Web-Interface auf der Naxos-Website angesteuert, der Klang kommt dann aus den Lautsprechern des Computers. Für den Einzelkonsumenten ist die Box allerding nicht gedacht - vorerst sind Bibliotheken, Universitäten und Internetstationen die Zielgruppen. Allerdings wird bei Naxos schon darüber nachgedacht, die Box in abgespeckter Form an den Privatnutzer zu bringen. Auch Brenn-Stationen im Plattenhandel sind im Gespräch. Dann könnte der Konsument mit seinem individuell zusammengestellten Programm auf Audio-CD das Geschäft verlassen.

www.naxos.de

LEBENSWELT SCHIFF

Das Deutsche Technikmuseum Berlin eröffnete im Dezember 2003 seinen Neubau mit einer der weltweit größten Ausstellungen zur über 10 000-jährigen Geschichte der Schiffahrt.

www.dtbm.de

Eine neue Kunststoffklasse für das 21. Jahrhundert

Biokunststoffe

Neuartige Biokunststoffe lassen sich mit geringerem Energieaufwand produzieren und nach Gebrauch problemlos kompostieren.

Von Bettina Schmidt

Aus biologisch abbaubaren Materialien besteht diese Tüte voller Äpfel. Nach Gebrauch landet sie auf dem Kompost.

Abbildung: C.A.R.M.E.N. e.V.

Kunststoffe[1] gehören zu den Universalgenies der Materialwissenschaften. Sie sind leicht und dennoch stabil, können kostengünstig hergestellt werden und besitzen vielfältige Gebrauchseigenschaften. Doch Allgegenwart von Kunststoffen bringt trotz vieler Vorteile auch ökonomische und ökologische Schwierigkeiten mit sich: Für ihre Herstellung werden große Mengen endlicher fossiler Ressourcen verbraucht, ihre hohe Langzeitstabilität bereitet in der Abfallwirtschaft Probleme.

DIE NEUARTIGE SPEZIES DER BIOKUNSTSTOFFE, auch „Biologisch Abbaubare Werkstoffe" (BAW) oder „Bioplastik" genannt, orientiert sich an herkömmlichen Massenkunststoffen wie Polyethylen und Polypropylen – und ist diesen gleichzeitig überlegen. Ebenbürtig sind beide Kunststofftypen in ihren technischen Eigenschaften und ihrer Gebrauchstauglichkeit. Biokunststoffe bestechen jedoch durch einen weiteren Vorteil: Sie werden durch Mikroorganismen, Pilze oder Bakterien biologisch abgebaut. Dabei entstehen Biomasse (Kompost), Kohlendioxid und Wasser – Substanzen also, die Pflanzen bei der Fotosynthese wieder verbrauchen. Da für die Herstellung von Biokunststoffen überwiegend nachwachsende, durch Fotosynthese hergestellte Rohstoffe wie Stärke oder Zucker verwendet werden, ist der Stoff- und Kohlendioxid-Kreislauf weitgehend geschlossen. Ähnliches gilt für die energetische Verwertung, sei es durch Vergärung oder Verbrennung. Biokunststoffe genügen somit dem Prinzip einer naturnahen Kreislaufwirtschaft, bei dem Rohstoffe auf dem Acker angebaut, zu Produkten verarbeitet und nach Gebrauch wieder in den Kreislauf der Natur eingebracht werden. Dadurch werden fossile Ressourcen geschont und gleichzeitig drängende Probleme der Abfallwirtschaft (steigende Kunststoffabfallberge)[2] sowie des Klimaschutzes (klimarelevante Emissionen bei der Verbrennung erdölbasierter Produkte)[3] verringert. Solche Argumente begannen jedoch erst in den 1980er Jahren eine Rolle zu spielen. Biokunststoffe sind daher eine sehr junge Entwicklung.

VON DER KARTOFFEL ZUM STÄRKEBLEND: Biokunststoffe können sowohl aus nachwachsenden Rohstoffen als auch aus Erdöl hergestellt werden. Allerdings haben Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen eindeutig die Nase vorn: Ihr Marktanteil beträgt 80 Prozent.

Tabelle 1: Auf der Basis von Zucker, der auch durch Stärkeverzuckerung gewonnen wird, können Polymilchsäure (PLA)[4] aber auch Polyhydroxyalkanoate (PHA)[5] hergestellt werden. Native Stärke wird entweder mit Plastifizierungsmitteln (z.B. Glycerin) zu thermoplastischer Stärke verarbeitet oder zu so genannten Stärkeblends. Für diesen Biokunststofftyp wird Stärke mit synthetischen, ebenfalls biologisch abbaubaren Polymeren (z.B. Polyestern) compoundiert. Auf diese Weise werden kunststoffähnliche Materialeigenschaften erzielt. Mengenmäßig sind Stärkeblends derzeit die bedeutendste Biokunststoffklasse.

Tabelle 1:
Rohstoffbasis und Typen von Biokunststoffen

Rohstoffbasis	Biokunststofftyp
Erdöl	Polyester
Stärke/Erdöl	Stärkeblend
Stärke	Thermoplastische Stärke
Zucker	Polymilchsäure
	Polyhydroxyalkanoate
Cellulose	Celluloseacetat

PRODUKTVIELFALT VON AUTOREIFEN BIS MULCHFOLIEN: Biokunststoffe können mit den gängigen Verfahren der Kunststofftechnologie verarbeitet werden, sei es durch Spritzguss, Extrusion, Blasformen, Kalandrieren, Schäumen, Gießen, Tiefziehen, Verspinnen. Dadurch kann eine breite Palette von Produkten hergestellt werden. **Tabelle 2** (Seite 25) fasst die wichtigsten, derzeit realisierten Produkte und Einsatzgebiete von Biokunststoffen zusammen, einige davon sind in den Abbildungen 1a-c dargestellt. Prinzipiell könnten bei einem großen Teil der Kunststoffan-

[1] 2002 wurden weltweit 194 Millionen Tonnen Kunststoff produziert, davon 8,5 Prozent (16,5 Millionen Tonnen) in Deutschland. Gegenüber dem Vorjahr entspricht dies einem Plus von 5,8 Prozent.

[2] Die Produktion von Kunststoffpackmitteln steigt stetig. Wurden in Deutschland 1992 noch 2,1 Millionen Tonnen hergestellt, waren es 2001 bereits 3,1 Millionen Tonnen. Diese Mengen spiegeln sich auch im Anteil der Verpackungsabfälle am deutschen Hausmüll wider.

[3] Im „European Climate Chance Programme" werden Polymere aus nachwachsenden Rohstoffen als eine der Produktsparten identifiziert, mit deren Hilfe mittelfristig beträchtliche Mengen an Kohlendioxidemissionen eingespart werden könnten.

[4] Für die Synthese von PLA wird Zucker fermentativ zu Milchsäure umgesetzt, aus der ihrerseits das Polymer hergestellt wird.

[5] Auch PHA ist ein Fermentationsprodukt. Es wird von Bakterien aus Zucker gebildet.

Tabelle 1 zeigt, welche Rohstoffe eingesetzt werden sowie die gängigsten Biokunststofftypen, die daraus hergestellt werden können.

wendungen herkömmliche Kunststoffe durch ihre Bioalternativen ersetzt werden. Besonders sinnvoll wäre es jedoch bei solchen Produkten, bei denen das Recycling technisch schwierig ist und inzwischen sowohl ökonomisch als auch ökologisch infrage gestellt wird. So könnten benutzte, mit Lebensmittelresten verschmutzte Verkaufsverpackungen oder Fastfood-Geschirr bequem und problemlos mit dem übrigen Bioabfall entsorgt werden.

Auch bei Anwendungen, deren Funktion einen biologischen Abbau verlangt (z.B. Bioabfallsäcke) oder Kompostierbarkeit den Gebrauch vereinfacht wie bei Pflanztöpfen oder Mulchfolien, wären Biokunststoffe im Vorteil. Kein extra Entsorgen des Plastikpflanztopfes mehr, nachdem die Staude im Garten eingepflanzt wurde, kein arbeitsaufwändiges Einsammeln der Folienfetzen, nachdem die Gurken geerntet wurden.

Grundsätzlich können auch sonstige, technische Vorzüge den Ausschlag für die Verwendung von Biokunststoffen geben. Das zeigt das Beispiel des Autoreifens, in dem ein Teil des Füllstoffs aus Kieselerde, Kieselgur und Ruß durch einen Stärkeblend ersetzt wurde. Als Folge des geringeren Reifengewichts und niedrigeren Rollwiderstands vermindert sich der Treibstoffverbrauch und somit der Kohlendioxidausstoß gegenüber dem Vorgängermodell pro gefahrenem Kilometer um rund 8 Gramm.

Nur vollständig kompostierbare Verpackungen erhalten dieses Logo.

Untersuchungen haben gezeigt, dass Verbraucher kompostierbare und herkömmliche Kunststoffprodukte gut unterscheiden können.

LEBENSMITTELVERPACKUNGEN aus Biokunststoffen könnten sehr gut über die haushaltsnahe Biotonne gesammelt und durch Kompostierung entsorgt werden. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist, dass diese Produkte keine Schadstoffe in den Kompost eintragen und auch tatsächlich schadlos biologisch abbaubar sind. Dies wird durch eine Produktzertifizierung nach DIN V 54 900 gewährleistet. Nur wenn alle Kriterien erfüllt sind, dürfen die Produkte mit dem Kompostierbarkeitslogo gekennzeichnet werden.

Dennoch scheitert es in Deutschland derzeit noch an gesetzlichen Vorgaben, vor allem an der Bioabfallverordnung und Verpackungsverordnung, dass Produkte aus Biokunststoffen diesen Entsorgungsweg nutzen und sich damit schneller und kostengünstiger am Markt etablieren können. Eine Novellierung beider Verordnungen könnte einen echten Impuls für Biokunststoffe in Deutschland geben.

KOMPOSTIERBARE VERPACKUNGEN IM KASSELER EINZELHANDEL. Eine Frage wurde bis vor kurzem von Kritikern der kompostierbaren Verpackungen besonders häufig gestellt: Sind Verbraucher in der Lage, Biokunststoff- von herkömmlichen Kunststoffverpackungen zu unterscheiden und ohne Fehlwürfe über die Biotonne zu entsorgen? Das vom Bundeslandwirtschaftsministerium geförderte „Kasseler Modellprojekt“ brachte diesbezüglich Klarheit. Dazu wurden rund ein Dutzend verschiedener kompostierbarer Lebensmittelverpackungen während einer eineinhalbjährigen Testphase über den Einzelhandel eingeführt. Die hohe Verbraucherakzeptanz und das gute Sortierverhalten sprechen für sich – und für die kompostierbaren Verpackungen.

FÖRDERUNG FÜR BIOKUNSTSTOFFE. Da die Entwicklung von Biokunststoffen erst vor zwei Jahrzehnten begann, ist ihre Herstellung technisch und wirtschaftlich bei weitem noch nicht so optimiert wie die herkömmlicher

Abbildungen: IBAN Berlin

Tabelle 2:
Realisierte Produkte und Einsatzbereiche von Biokunststoffen

Einsatzbereich	Produktbeispiele
Gartenbau	➤ Pflanztöpfe ➤ Steckunterlagen ➤ Torfsäcke ➤ Samenbänder ➤ Bindematerial ➤ Pflanzenclips
Landwirtschaft	➤ Mulchfolien ➤ Abdeckfolien
Medizintechnik	➤ Implantate ➤ Nähfäden ➤ Schrauben ➤ Operationsmaterial ➤ Kapseln
Verpackung	➤ Loose-Fill ➤ Folien ➤ Tüten, Netze ➤ Blister ➤ Flaschen, Becher ➤ Trays
Convenience	➤ Hygieneprodukte (Windeln, Binden) ➤ Bioabfallsäcke ➤ Golf-Tees ➤ Autoreifen ➤ Textilien
Fastfood/ Catering/Imbiss	➤ Teller, Trays ➤ Becher ➤ Besteck ➤ Strohhalme

Kunststoffe. Um diesen Wettbewerbsnachteil auszugleichen und die aussichtsreiche Produktsparte der Biokunststoffe schneller voranzubringen, werden insbesondere Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet aber auch der Aufbau von Produktionsanlagen mit Bundes- und Landesmitteln gefördert. Künftig soll noch die Markteinführung der Produkte hinzukommen, da sich in der Praxis dieser letzte Schritt für viele Innovationen als Stolperstein erwiesen hat.

Die weltweiten Produktionskapazitäten für Biokunststoffe belaufen sich derzeit auf ca. 250.000 Tonnen pro Jahr. Bezogen auf die

Abbildung: C.A.R.M.E.N. e.V.

Kunststoff zu Erde? Kein Problem, wenn er aus Zucker, Stärke oder Cellulose besteht.

DR. BETTINA SCHMIDT ist bei C.A.R.M.E.N. e.V. – die bayerische Koordinierungseinrichtung für Nachwachsende Rohstoffe – Leiterin der Abteilung für Stoffliche Verwertung Nachwachsender Rohstoffe. Sie ist dort zuständig für Projektbegutachtung, -management und Beratung.

Kunststoffgesamtproduktion (194 Millionen Tonnen/Jahr) sind Biokunststoffe somit noch ein verhältnismäßig „kleines Licht". Allerdings besitzen Massenkunststoffe auch einen Entwicklungsvorsprung von mehreren Jahrzehnten. Vor allem im Verpackungsbereich sehen Experten gute Chancen für Biokunststoffe: Danach könnten mittelfristig etwa 10 Prozent aller Verpackungskunststoffe in Deutschland (3,7 Millionen Tonnen) und in der EU (ca. 12 Millionen Tonnen) durch Biokunststoffe substituiert werden. ■■

Weiterführende Quellen

www.ibaw.org

www.vke.de

www.kunststoffverpackungen.de

www.carmen-ev.de

➤ European Climate Chance Programme, Working Group 5, *Working Item Renewable Raw Materials*, Summary Interim Report, October 2000.

➤ *Jahrbuch 2002 Nachwachsende Rohstoffe – Wirtschaftsfaktor Biomasse*, C.A.R.M.E.N. (Hrsg.), Straubing 2002.

➤ *Leitfaden und Produktkatalog Biologisch Abbaubare Werkstoffe*, 2. Auflage, C.A.R.M.E.N. (Hrsg.), Straubing 2001.

Wundermetall Titan

Werkstoff des Raumfahrtzeitalters

Kaum ein anderer Werkstoff verfügt über ein exotischeres und prestigeträchtigeres Image als Titan. Dabei ist es nach Eisen, Aluminium und Magnesium das vierthäufigste Metall in der Erdkruste und auf den ersten Blick von gewöhnlichem Stahl nicht zu unterscheiden.

Von Alexander Wanner

Bauteile aus Titanlegierungen sorgen in Flugzeugturbinen für den nötigen Schub.

Abbildungen: Deutsches Museum München

Woher rührt die Faszination für Titan? Und wie begründet ist der Mythos um das Wundermetall? Titan besitzt ein außergewöhnliches Eigenschaftsprofil. Es ist so fest wie Stahl, aber nur etwa halb so schwer. Im Vergleich zu Aluminium ist es zwar 60 Prozent schwerer, aber doppelt so belastbar und deutlich hitzebeständiger. Außerdem ist Titan äußerst korrosionsbeständig und absolut ungiftig. Doch diese handfesten „technischen" Gründe allein vermögen den einzigartigen Nimbus von Titan nicht vollständig zu erklären. Vielmehr ist das Image von Titan ganz wesentlich davon geprägt, dass dieses Metall erst vor rund fünfzig Jahren in größeren Mengen verfügbar wurde und dann kometenhaft zum Luft- und Raumfahrtwerkstoff schlechthin aufstieg. Der Normalverbraucher hat erst seit relativ kurzer Zeit die Möglichkeit, durch einen tieferen Griff in den Geldbeutel beispielsweise beim Kauf eines Fahrrads, eines Golfschlägers, eines Brillengestells oder einer Armbanduhr persönlich in den Genuss der Vorzüge von Titan zu kommen.

DENNOCH REICHT DIE ENTDECKUNGSGESCHICHTE des Titans viel weiter zurück, über 200 Jahre, bis ins ausgehende 18. Jahrhundert. Der Franzose Antoine Laurent de Lavoisier (1743–1794), der als Begründer der modernen Chemie gilt, hatte erkannt, dass fast alle Stoffe chemische Verbindungen oder Gemische aus „einfachen Stoffen", also chemischen Elementen sind, die er an die Stelle der bereits von Aristoteles vorgeschlagenen vier klassischen Elemente Feuer, Wasser, Luft und Erde setzte. Es war aber noch völlig unklar, wie viele „einfache", das heißt nicht weiter zerlegbare Stoffe es gibt. Zahlreiche Forscher machten sich mit Elan und Ehrgeiz daran, die chemische Zusammensetzung von Mineralien zu analysieren, und es kam einer wissenschaftlichen Sensation gleich, wenn es gelang, ein neues, bisher unbekanntes chemisches Element zu identifizieren. Einer der Pioniere auf diesem Gebiet war der preußische Apotheker und spätere Akademieprofessor Martin Heinrich Klaproth (1743–1817). Bei der Untersuchung des Roten ungarischen Schörl stellte er im Jahr 1795 fest, dass es sich dabei um das Oxid eines unbekannten Metalls handeln musste. Trotz seines für damalige Verhältnisse einzigartigen Sachverstandes fand er jedoch keinen Weg, das reine Metall zu gewinnen. Ohne sie je in Händen gehalten zu haben, sah er es als geboten an, dieser „neuen metallischen Substanz einen schicklichen Namen zu geben". Er schrieb dazu: „Wenn sich für ein neues Fossil [= Element] kein, auf eigenthümliche Eigenschaften desselben hinweisender Name auffinden lassen will ... so halte ich es für besser, eine solche Benennung auszuwählen, die an sich gar nichts sagt, und folglich auch zu keinen unrichtigen Begriffen Anlaß geben kann. Diesem zufolge will ich den Namen für die gegenwärtige metallische Substanz ... aus der Mythologie, und zwar von den Ursöhnen der Erde, den Titanen, entlehnen, und benenne also dieses neue Metallgeschlecht: Titanium". Diese zunächst provisorische Bezeichnung blieb bis heute erhalten und erscheint aus jetziger Sicht als durchaus würdig und angemessen. Klaproth stellte später fest, dass der englische Landgeistliche und Hobbymineraloge William Gregor bereits vier Jahre vor ihm ebenfalls ein titanhaltiges Mineral analysiert hatte und erkannte ihm die Entdeckung des Titans zu. Hätte sich die von Gregor gewählte Bezeichnung durchgesetzt, würde das Titan heute den wenig spektakulären Namen Menachin tragen.

Akademieprofessor Martin Heinrich Klaproth (1743–1817). Bei der Untersuchung des Roten ungarischen Schörl stellte er im Jahr 1795 fest, dass es sich dabei um das Oxid eines unbekannten Metalls handeln musste. Er gab diesem Metall den Namen „Titanium".

DIE HERSTELLUNG VON REINEM, METALLISCHEM TITAN erwies sich als äußerst schwierig. Während des 19. Jahrhunderts versuchten sich die namhaftesten Chemiker ihrer Zeit daran. Sie produzierten aber meistens nur Titannitride oder -karbide – wegen ihres Glanzes und metallischen Erscheinungsbildes wurden sie fälschlicherweise für das Element selbst gehalten – oder aber stark verunreinigtes Titan. All diese Substanzen waren brüchig und zu nichts weiter zu gebrauchen. Die Eigenschaften von metallischem Titan blieben völlig im Dunkeln. Nicht einmal über seine Farbe herrschte Klarheit, und über seinen Schmelzpunkt wurden wilde Spekulationen angestellt. Manche Forscher vermuteten ihn gar bei rekordverdächtigen 6000 Grad Celsius.

Im Jahr 1910 schließlich gelang dem Chemiker M.A. Hunter am amerikanischen Rensselaer Polytechnic Institute ein entscheidender Schritt. Im Auftrag der von Thomas Edison gegründeten General Electric Company war er auf der Suche nach einem extrem hitzebeständigen und zugleich elektrisch leitfähigen Material zur Herstellung von Glühwendeln. Hunter hatte erkannt,

Abbildungen: Deutsches Museum München

dass alle bisherigen Versuche zur Herstellung von reinem Titan daran gescheitert waren, dass das frisch erzeugte, noch heiße Titan sofort mit den Luftbestandteilen Stickstoff und Sauerstoff extrem feste chemische Verbindungen einging. Luft, so folgerte er, störte also und musste unbedingt von der Reaktion fern gehalten werden. Hunter produzierte zunächst ein titanhaltiges Zwischenprodukt, indem er eine Mischung aus Titandioxid (Rutil, TiO_2) und Kohlenstoff (C) unter Chlorgas (Cl_2) glühte. Dabei fand folgende Reaktion statt:

$$TiO_2 + 2C + 2Cl_2 \rightarrow TiCl_4 + 2CO$$

Das flüssige Titantetrachlorid ($TiCl_4$) ließ sich leicht von dem gasförmigen Kohlenmonoxid (CO) trennen und konnte, wie schon im Jahr 1887 von den skandinavischen Chemikern Nilson und Petersson gezeigt worden war, mit metallischem Natrium zu Titan und Kochsalz (NaCl) umgesetzt werden:

$$TiCl_4 + 4Na \rightarrow Ti + 4NaCl$$

Hunters entscheidender Trick war es, diese sehr heftige, explosionsartige Reaktion in einem sorgfältig evakuierten und dicht verschlossenen Stahlbehälter durchzuführen. Damit die Reaktion in Gang kam und vollständig ablief, musste der Stahlbehälter bis zur Rotglut erhitzt werden. Da der Innendruck bei der Reaktion auf gefährlich hohe Werte anstieg, die in der damaligen Zeit nur bei der Verwendung relativ kleiner Stahlbehälter beherrschbar waren, ließen sich in einem Arbeitsgang nur geringe Mengen von Titan herstellen. Immerhin konnten nun endlich die chemischen und physikalischen Eigenschaften dieses Metalls studiert werden. Etwas enttäuscht stellte Hunter fest, dass der Schmelzpunkt „nur" bei rund 1800 Grad Celsius lag (tatsächlich liegt er sogar noch etwas tiefer, bei 1648 Grad Celsius), was eine Anwendung als Glühwendelmaterial ausschloss. Weitere Studien zeigten, dass hoch reines Titan zäh und verformbar ist, geringste Verunreinigungen mit Stickstoff oder Sauerstoff aber dazu führen, dass es spröde wie Glas wird. Bei normaler Umgebungstemperatur können die Luftgase Stickstoff und Sauerstoff und auch viel aggressivere Medien dem Titan nichts anhaben, da sich auf blankem Titan an der Luft in Sekundenschnelle eine dünne Oxidhaut bildet, die das Metall vor weiterem Angriff schützt. Ein Problem ist allerdings, dass diese Haut oberhalb von 600 Grad Celsius zunehmend durchlässiger wird. Wichtige Hochtemperaturverarbeitungsschritte wie Gießen oder Schweißen müssen deshalb zwangsweise im Vakuum oder in Edelgasatmosphäre durchgeführt werden. Heutzutage sind solche Technologien bis zur Perfektion entwickelt – in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts tat man sich damit noch wesentlich schwerer, zumal es auch keinen Sinn machte, Zeit und Geld in derartige Entwicklungen zu investieren, solange kein großtechnisch nutzbares Verfahren zur Herstellung von Reintitan existierte und seine vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten noch nicht erkannt waren. Bis in die 1930er Jahre hinein blieb metallisches Titan eine wenig beachtete Laborkuriosität, von der weltweit nur wenige Kilogramm existierten.

Titanskulptur im Ariana Park am Völkerbundpalast in Genf.

DIE EIGENTLICHE GEBURTSSTUNDE der modernen Titan-Technologie schlug schließlich im Jahr 1937 in Luxemburg-Stadt. In einer mondänen Villa in der noblen Wohngegend „Belair" befand sich das private Forschungslaboratorium des Metallurgen Dr. Wilhelm Kroll (1889–1973), der nach dem Studium an der Technischen Hochschule in Berlin-Charlottenburg zunächst in verschiedenen Metallhütten und Gießereien gearbeitet und sich dann selbstständig gemacht hatte. Kroll war nicht nur ein genialer Forscher und Ingenieur, er hatte auch Geschäftssinn und, fast noch wichtiger, das Gespür für Chancen, die sich am Horizont abzeichneten. Seine Forschungsarbeiten konzentrierten sich auf aktuelle metallurgische Fragestellungen, die ihm technologisch bedeutsam erschienen und Lizenzeinnahmen aus Patenten versprachen. Als

Abbildung: Deutsches Museum München

einer der wenigen hatte er das enorme Anwendungspotenzial von Titan erkannt und suchte nun wie besessen nach einem effizienteren Herstellungsverfahren. Kroll arbeitete am liebsten alleine – er beschäftigte lediglich einen Mechaniker, einen Laboranten und eine Schreibkraft –, dennoch schaffte er den Durchbruch innerhalb von wenigen Jahren. Er orientierte sich zunächst am Hunter-Verfahren und überwand dann systematisch alle Nachteile, die einer wirtschaftlichen Anwendung dieses Verfahrens entgegenstanden: Statt des relativ teuren Natriums verwendete er Calcium und schließlich das noch billigere und weniger reaktive Magnesium. Die Kroll'sche Reaktionsformel lautete somit:

$TiCl_4 + 2Mg \rightarrow Ti + 2MgCl_2$

Außerdem gelang es Kroll, jegliche Druckdifferenz zwischen dem Inneren des Reaktors und der Umgebung zu vermeiden, indem er die Reaktion in Edelgasatmosphäre ablaufen ließ und mit Hilfe von speziellen Gummiballons für einen permanenten Druckausgleich sorgte. Er entwickelte eine Vorrichtung, mit der er das Titantetrachlorid allmählich zu der Magnesiumschmelze im Innern des Reaktors hinzugeben konnte, so dass die Reaktion mit einer kontrollierbaren Geschwindigkeit ablief. Da nun keine Berstgefahr mehr bestand, konnte der Behälter dünnwandig und im Prinzip beliebig groß sein. Mit einigen Kilogramm selbst produziertem Titan unternahm er 1938 eine Reise zu den sechs wichtigsten nordamerikanischen Produzenten von Nichteisenmetallen. Frustriert kehrte er nach Luxemburg zurück. Seine Erfindung war auf keinerlei Interesse gestoßen. Die Zeit schien einfach noch nicht reif dafür. Erst sieben Jahre später griff die US-amerikanische Bergbaubehörde (US Bureau of Mines) Krolls verbessertes Verfahren auf. In Boulder City, Nevada, baute sie eine erste Pilotanlage für die industrielle Produktion von Titan, mit der bereits Chargen von 50 Kilogramm hergestellt werden konnten. Wilhelm Kroll war an dieser Entwicklung nicht mehr direkt beteiligt, obwohl er Anfang 1940 – wenige Wochen vor der Invasion Luxemburgs durch die deutsche Wehrmacht – fluchtartig in die USA emigriert war. Das Patent, mit dem das Kroll-Verfahren in den USA geschützt war, wurde 1941 von

Wilhelm Kroll gilt als Vater der modernen Titan-Technologie. Er entwickelte im Jahr 1937 im Alleingang das Verfahren zur großtechnischen Herstellung von reinem Titan.

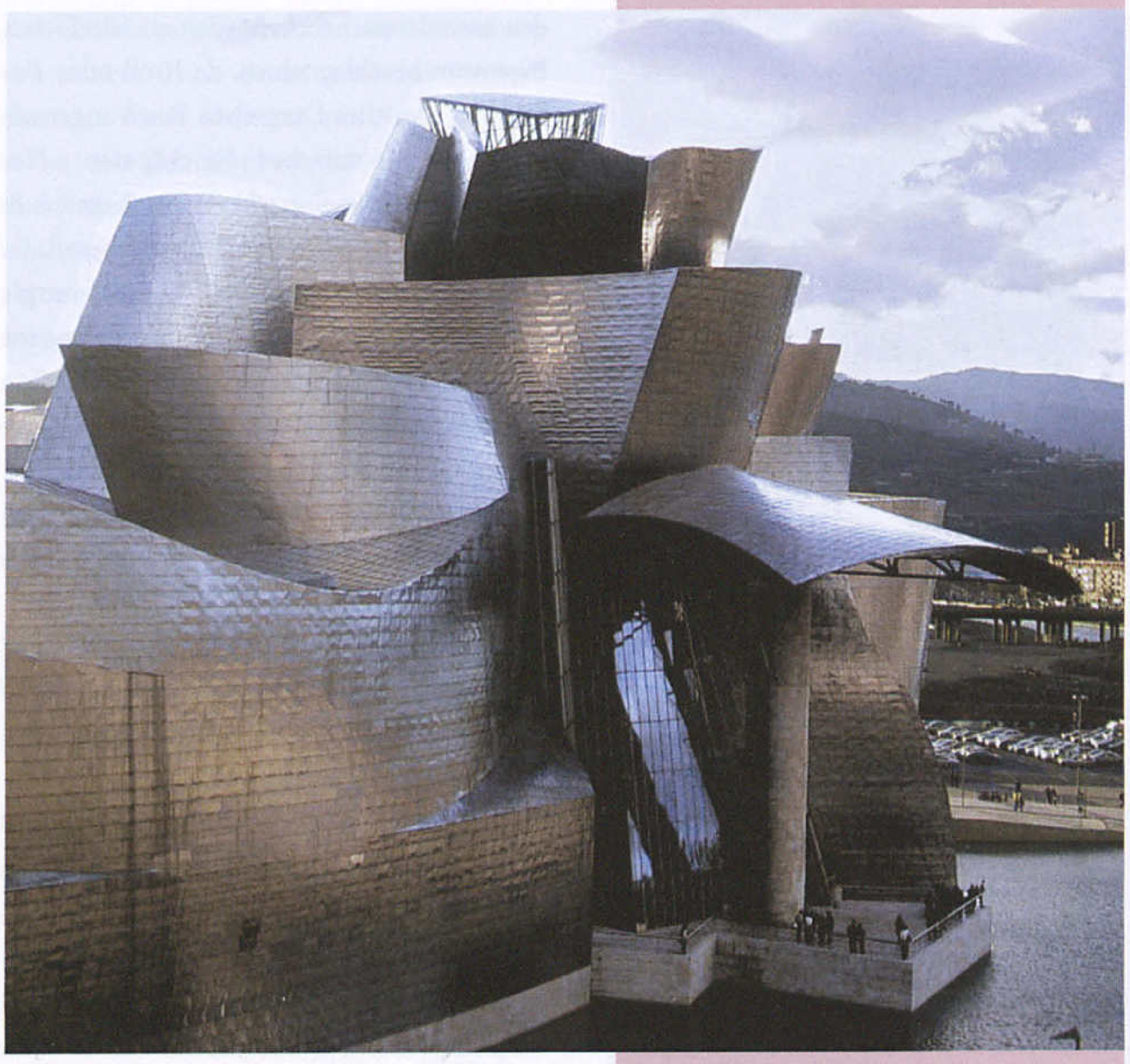
In dieser Villa in Luxemburg-Stadt befand sich von 1923 bis 1940 das metallurgische Laboratorium von Wilhelm Kroll.

den amerikanischen Behörden als feindliches Eigentum beschlagnahmt, da Kroll seine Erfindung zuerst im Deutschen Reich angemeldet hatte (Deutsches Reichspatent No. 674625) und die deutsche Firma Siemens & Halske eine ausschließliche Lizenz besaß. Es nützte Kroll auch nichts, dass er luxemburgischer Staatsbürger war, als er sein Patent im Deutschen Reich einreichte. Erst viele Jahre später konnte sich Kroll eine Entschädigung erstreiten, die allerdings in keinem Verhältnis zur wirtschaftlichen Bedeutung seiner Erfindung stand.

ALS ANFANG DER 1950ER-JAHRE der Kalte Krieg eskalierte, legte die amerikanische Regierung massive Rüstungsprogramme auf. Die Planer aller Waffengattungen stürzten sich auf das Titan, welches als Alternative zu Stählen dickere Panzerungen bei gleichem Gewicht, leichtere und zugleich leistungsfähigere Flugzeugturbinen, korrosionsbeständigere Unterseeboote und vieles andere mehr ermöglichen sollte. Mit Geldern aus den Rüstungsetats wurden innerhalb von wenigen Jahren sämtliche Technologien entwickelt, die dazu notwendig sind, um aus Rohtitan zuverlässige und beanspruchbare Bauteile zu fabrizieren. Zu dieser Zeit wurde auch eine Reihe von Titanlegierungen entwickelt. Die bekannteste und bis heute meist verwendete enthält sechs Prozent Aluminium und vier Prozent Vanadium und ist dadurch deutlich härter und ermüdungsbeständiger als reines Titan. Allein in den USA stieg die Produktion von Rohtitan zwischen 1948 und 1958 von weniger als 10 Tonnen auf über 10.000 Tonnen pro Jahr an. Auch in der Sowjetunion und in vielen anderen Industrieländern entstanden mit etwas zeitlicher Verzögerung enorme Produktionskapazitäten.

Auf Grund der hohen Entwicklungs-, Produktions- und Verarbeitungskosten wurde Titan zunächst fast ausschließlich zum Bau von Düsenjägern, Raketen und Raumfahrzeugen verwendet, wo man zur Erhöhung von Nutzlast, Geschwindigkeit und Reichweite nahezu unabhängig von den Kosten bereit war, bei der Gewichtsreduzierung bis an die Grenzen des technisch Machbaren zu gehen. Mit steigender Produktion sank allmählich auch der

Abbildungen: Foundation Nicolas Lanners



Die spektakuläre Fassade des Guggenheim-Museums in Bilbao, Spanien, besteht aus 33.000 Tafeln aus Reintitan, denen auch die salzwasserhaltige Küstenluft auf lange Sicht nichts anhaben kann.

Preis von Titan, und erst als er Mitte der 1960er Jahre auf ein Viertel des Preises von 1954 gesunken war, wurden auch zivile Anwendungen möglich. Als im Jahr 1969 die ersten Boeing-747-Jumbo-Jets in Dienst gestellt wurden, steckten in einer einzigen Maschine etwa neun Tonnen Titan. Bis heute ist die Luft- und Raumfahrtindustrie der Hauptabnehmer von Titan und Titanlegierungen. Allerdings hat sich diese Branche über die Jahre immer wieder als außerordentlich konjunkturabhängig gezeigt. Um die ständigen Wechselbäder aus Hochkonjunktur und Abschwung abzumildern, verschaffte sich die Titanindustrie zusätzliche Standbeine, zum Beispiel in der chemischen Industrie. Hier kommt Titan vor allem wegen seiner hervorragenden Korrosionsbeständigkeit zum Einsatz, beispielsweise beim Bau von Wärmetauschern, die auch bei Verwendung aggressiver Kühlmedien wie Meerwasser keinen Schaden nehmen. Diese Beständigkeit gegenüber Meerwasser hat das Titan auch in der Offshore-Industrie populär gemacht. Hier werden Armaturen und Rohre aus Titan im großen Stil zur Öl- und Gasförderung eingesetzt. Eine besonders wichtige Rolle spielt Titan in der Medizintechnik. Titan ist absolut körperverträglich und gilt deshalb als hervorragender Werkstoff für Implantate, insbesondere wenn diese auch mechanische Belastungen aushalten müssen. Künstliche Hüft-, Knie- und Armgelenke sowie Nägel, Platten und Schrauben zur Fixierung von Knochenfrakturen werden heute vielfach aus Titanlegierungen gefertigt. Als im Jahr 2001 erstmals einem Menschen ein funktionstüchtiges künstliches Herz eingepflanzt wurde, bestanden alle Klappen und Anschlüsse aus Reintitan.

Ein weiteres, noch junges Einsatzgebiet von Titan ist die Architektur. Das bisher wohl spektakulärste Titanbauwerk ist das im Jahr 1997 eingeweihte Guggenheim-Museum in Bilbao, dessen schuppenartige Außenfassade der amerikanische Stararchitekt Frank O. Gehry aus 33.000 Reintitantafeln mit einer Wandstärke von 0,35 Millimetern und einem Gesamtgewicht von 60 Tonnen konstruierte. Die Materialkosten waren sicherlich fast so spektakulär wie die Fassade selbst. Dafür gewährte der Hersteller eine 100-jährige Korrosionsgarantie, was er bei Verwendung eines anderen Werkstoffs wohl nicht gewagt hätte.

TITAN IST HEUTE, wie diese kleine Aufzählung zeigt, längst kein seltenes Material mehr. Der Hochleistungswerkstoff kommt immer häufiger dann zum Einsatz, wenn die spezifischen Anforderungen von anderen, billigeren Werkstoffen nicht erfüllt werden können. Allerdings sind Bauteile aus Titan nach wie vor so teuer, dass sie in Massenprodukten, beispielsweise in der Automobilindustrie, nur sehr selten zu finden sind. Doch vermutlich wird auch dies sich früher oder später ändern – und dann wird das Raumfahrtmaterial Titan endgültig auf der Erde angekommen sein. ■

ALEXANDER WANNER, Dr.rer.nat., ist Professor für Werkstoffkunde an der Universität Karlsruhe (TH). Seine Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf metallische Konstruktionswerkstoffe.

Abbildung: Dave Giribet

Kunststoffe mit Gedächtnis

Die erstaunlichen Fähigkeiten intelligenter Materialien

Kunststoffe mit Gedächtnis „erinnern" sich daran, welche Form sie einmal gehabt haben und nehmen diese beispielsweise beim Erhitzen wieder ein. Ungezählte Einsatzmöglichkeiten versprechen sich Wissenschafter von den vielseitigen Materialien.

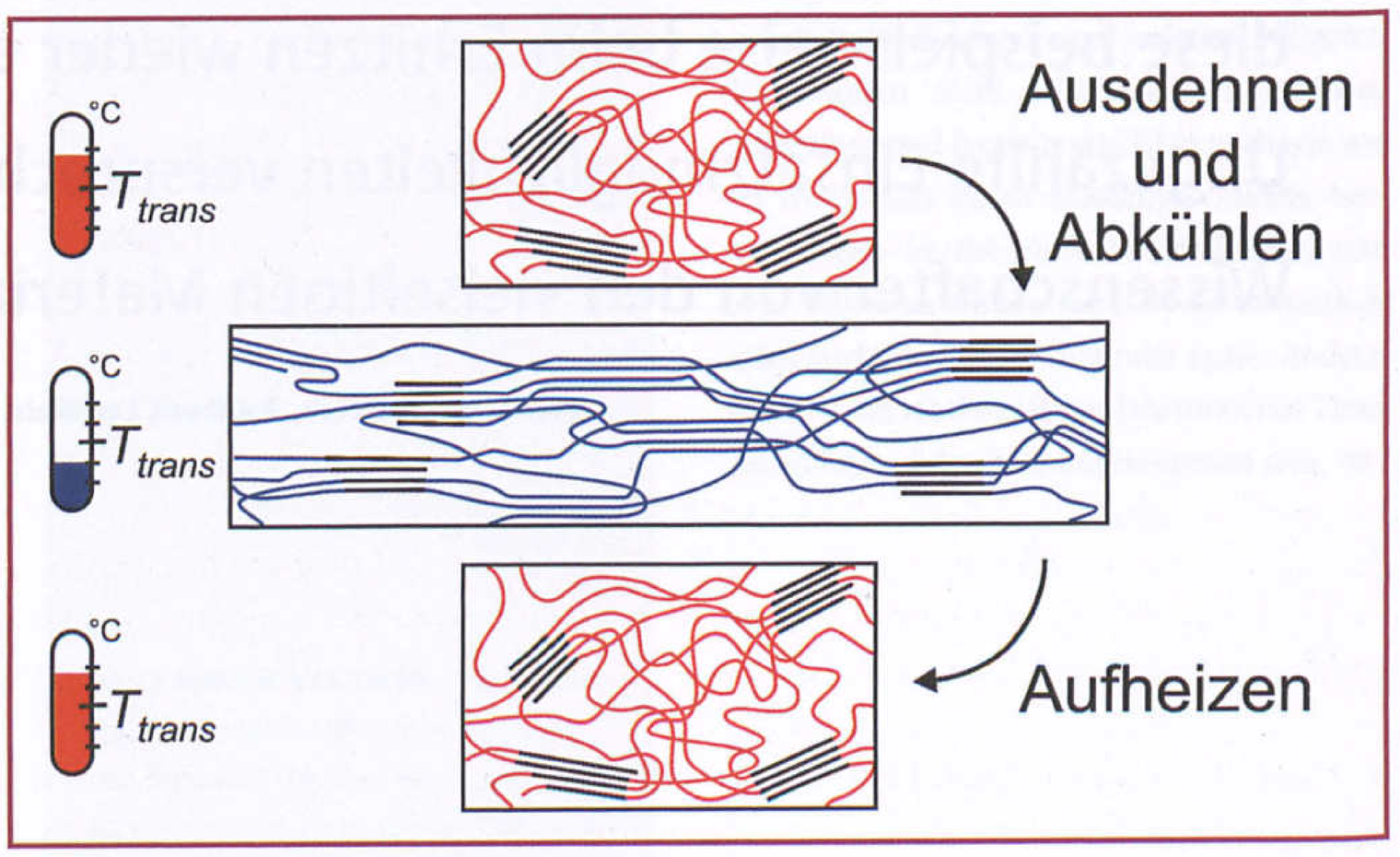
Von Steffen Kelch, Andreas Lendlein und Jürgen Schulte

Abbildungen: mnemoscience

Die Bilderserie auf Seite 21 zeigt die Leistungsfähigkeit der Formgedächtnispolymere. Der Kunststoff, der als permanente Form zu einem Kotflügel verarbeitet wurde, wurde durch Krafteinwirkung deformiert. In seiner temporären Gestalt weist der Kotflügel eine Beule auf. Heißluft aus einem Föhn reicht aus, um die ursprüngliche Form wieder herzustellen. Bei entsprechend optimierten Programmierungsbedingungen wird der Originalzustand mit einer Präzision von über 99 Prozent wieder hergestellt.

Löffel oder Gabeln sind verbogen? Kein Problem: Ein heißes Bad in der Spülmaschine bringt sie wieder in Form. Der Kotflügel des neuen Autos beim Einparken eingedellt? Einmal durch die Waschanlage fahren – schon ist das Teil wieder heil. Der Phantasie der Forscher sind beim möglichen Einsatz von Kunststoffen mit Formgedächtnis keine Grenzen gesetzt. „Selbstreparatur" könnte man so etwas auch nennen. Im Institut für Chemie des GKSS Forschungszentrums in Teltow bei Berlin werden von Professor Andreas Lendlein und seiner Arbeitsgruppe Materialien mit Formgedächtniseigenschaften für den Einsatz im medizinischen und industriellen Sektor entwickelt. Polymersysteme (eine Materialfamilie) sind die Grundlage dieser zukunftsweisenden Schlüsseltechnologie. In ihnen können die Eigenschaften des Kunststoffs bereits durch kleine Änderungen in der chemischen Struktur über weite Bereiche variiert werden. Ein solches Konzept bezeichnet man auch als Plattformtechnologie. Dabei konzentriert man sich nicht in erster Linie auf einen einzelnen Kunststoff, sondern hat eine Art „Baukasten" und kann die gewünschten Materialeigenschaften durch eine Kombination von zwei Arten von Bausteinen auf eine mögliche Anwendung hin maßschneidern. Der besondere Trick besteht nun darin, diese Kunststoffe aus den Teilbausteinen herzustellen wie eine Art Perlenkette mit unterschiedlichen Sorten von Perlen.

EINE WEITERE WICHTIGE GRUNDVORAUSSETZUNG bei Formgedächtnispolymeren ist das Vorhandensein von Vernetzungspunkten an bestimmten Stellen der Polymerketten. Diese Vernetzungsstellen gewährleisten die Formbeständigkeit des Materials in seiner permanenten Form. Die beiden Bausteine unterscheiden sich typischerweise in der Schmelz- oder Erweichungstemperatur (Glasübergangstemperatur) und sind nicht miteinander mischbar: Das Hartsegment bleibt noch fest, wenn sein Partner, das „Schaltsegment", längst dahinschmilzt: Der Erfinder der Technologie, Andreas Lendlein: „Die Hartsegmentkomponente ist für die permanente Form verantwortlich und bildet immer Netzpunkte. Als Gegenspieler wirkt das elastische Schaltsegment. Beim Abkühlen des Materials unter die so genannte Schalttemperatur wird das Schaltsegment fest und dominiert damit die Gestalt des Kunststoffes. Umgekehrt wird durch Erwärmen aus dem harten Material ein gummiartiger, weicher Kunststoff. Durch Abkühlen kann das gespannte Gummi in seiner Beweglichkeit eingeschränkt und so mechanische Spannung in dem Material regelrecht eingefroren werden. Erneutes Erwärmen über die Schalttemperatur lässt den Kunststoff wieder in seine Ursprungsform zurückschnellen."

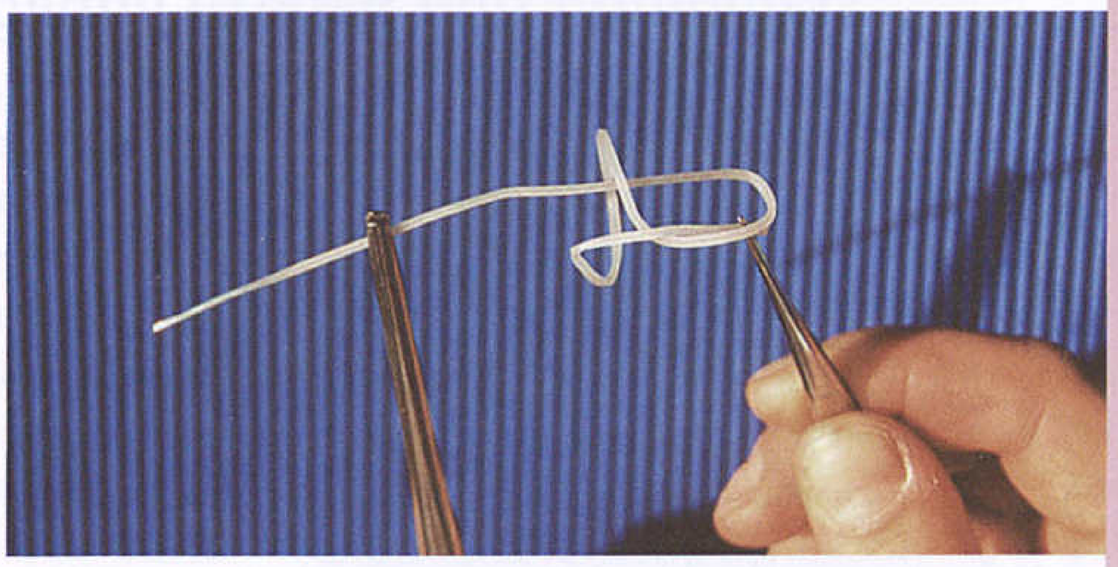


DIE SCHEMATISCHE DARSTELLUNG zeigt den molekularen Mechanismus des thermisch induzierten Formgedächtniseffektes für ein Polymer mit einem Schmelzpunkt als Schaltübergang. Ist die Temperatur höher als die Schmelztemperatur Ttrans, sind die Polymerketten der das

Abbildung: mnemoscience

Schaltsegment bildenden Phase flexibel (hier rot markiert) und das Polymer kann elastisch deformiert werden. Die temporäre Form wird durch Abkühlen unterhalb von Ttrans fixiert (hier blau markiert). Wird das Polymer wieder erwärmt, wird die permanente Form wiederhergestellt, weil die Polymerketten ein natürliches Bestreben haben, sich möglichst „unordentlich" zusammenzufalten und zu verknäulen.

DER FORMGEDÄCHTNISEFFEKT bedeutet also, dass ein Material neben seiner sichtbaren temporären Form noch eine permanente Gestalt gespeichert hat, die bei Bedarf durch Anwendung eines Stimulus, wie zum Beispiel einer Temperaturerhöhung oder einer Bestrahlung mit UV-Licht, nahezu exakt wieder abgerufen werden kann. Die Kunststoffe funktionieren wie eine Art „Schnappverschluss", indem sie sich ihre Ursprungsform „merken" und diese nach Applikation des Stimulus wieder einnehmen. Dieser Effekt kann im Sinne einer Selbstreparatur der aus den Materialien hergestellten Formkörper genutzt werden. Zudem lassen sich solche Kunststoffe biologisch verträglich und bioabbaubar gestalten. Solche abbaubaren Formgedächtniskunststoffe können gezielt für medizinische Zwecke hergestellt und auf diese Weise viele technische Neuerungen im Bereich der Medizintechnik verwirklicht werden.



Ein Beispiel für eine Anwendung im Bereich der Knopflochchirurgie stellt ein sich selbst zusammenziehender Knoten dar (Abb. links): während einer minimalinvasiven Operation ist es für den Chirurgen teilweise eine äußerst anspruchsvolle Aufgabe, in dem engen Operationsfeld komplexe Bewegungen auszuführen, wie etwa eine Wunde im Körperinneren fachgerecht zu vernähen. Aus einem thermoplastischen Formgedächtnispolymer konnte kürzlich ein chirurgischer Faden hergestellt werden, der sich selbst verknotet und sich gewebeverträglich auflöst, während die Wunde verheilt.

DENKBAR SIND BEISPIELSWEISE IMPLANTATE aus einem Formgedächtnis-Kunststoff, die genau bei Erreichen der Körpertemperatur ihre Form ändern können. Vor der Einpflanzung durch einen kleinen Einschnitt lägen sie in schlanker, langgestreckter Gestalt vor, um sich erst im Körper zu voller räumlicher Größe zu entfalten. In der sogenannten „Knopflochchirurgie", die als die sanfte Operationsmethode der Zukunft gilt, bietet das Gedächtnismaterial zusätzliche Vorteile gegenüber heute gebräuchlichen Biomaterialien: Durch winzige Schnitte führt der Arzt chirurgische Mini-Instrumente in den Körper ein und überwacht den Eingriff mit einem Endoskop. Dies schont die Patienten und hinterlässt kaum Narben. Allerdings ist es für den Arzt äußerst knifflig, in dem engen Operationsfeld komplexe Bewegungen auszuführen, wie etwa die Wunde im Körperinneren fachgerecht zu vernähen. Dort würde ein chirurgisches Nahtmaterial, welches sich selbst verknotet, einen großen Vorteil bedeuten.

Darüber hinaus besitzen die beschriebenen „Wunderkunststoffe" noch eine Reihe weiterer erstaunlicher Eigenschaften, die in dieser Form bisher nicht auf dem Markt verfügbar waren; durch ihre Zell- und Gewebekompatibilität und ihre steuerbare Abbaugeschwindigkeit stehen maßgeschneiderte Implantatmaterialien zur Verfügung. Aufgrund des Abbaus der Materialien im Körperinneren und der Fähigkeit des Körpers die Abbauprodukte einfach zu „verdauen", entfallen mögliche Folgeoperation der behandelten Patienten. Andreas Lendlein: „Wir haben vor einiger Zeit in der Zeitschrift *Science* ein chirurgisches Nahtmaterial vorgestellt. Dort wurden Materialien gezeigt, die sich selbst verknoten und die sich dabei mit einer definierten Kraft zusammen ziehen, so dass hier eine optimale Wundheilung möglich ist. "

AN DER WEITERENTWICKLUNG dieser patentierten und innovativen Technologie in marktfähige Produkte arbeiten mittlerweile bereits 30 Mitarbeiter. Bereits bestehende Materialien könnten mit Hilfe der neuartigen Plattform-Technologie ebenfalls revolutioniert werden. Seit der Vorstellung der Erfindung in den vergangenen Jahren u.a. in Amerikas renommiertem Wissenschaftsjournal PNAS, herausgegeben von der Nationalen Akademie der Wissenschaften der USA, besteht rege Nachfrage seitens der Industrie nach dem Material.

Abbildung: mnemoscience

PROF. DR. ANDREAS LENDLEIN, gründete die Firma mnemoscience, die an der Entwicklung marktfähiger Produkte aus Formgedächtniskunststoffen arbeitet. Im Jahr 2000 gewann die Firma den erstmals landesweit in NRW ausgeschriebenen Innovationspreis des Trägervereins Zenit e.V. 2001 erhielt das Unternehmen eine Auszeichnung im Rahmen des ZukunftsWettbewerb Ruhrgebiet sowie im Jahr 2002 den „Best-of-what's-new Award"des *Popular Science Magazine*.

DR. STEFFEN KELCH ist Gruppenleiter der Abteilung Biomaterialien am Institut für Chemie des GKSS Forschungszentrums in Teltow, Berlin.

DR. JÜRGEN SCHULTE ist seit 2000 Abteilungsleiter für die Bereiche Physikalische Analytik und Verarbeitung bei der mnemoScience GmbH in Aachen.

Im Verbund mit Stahlstäben ist Beton im Lauf des 20. Jahrhunderts zum wichtigsten Baustoff geworden. Weltweit bestehen heute über die Hälfte aller Bauwerke aus Beton. Die gestalterischen Möglichkeiten von Stahlbeton sind nahezu unbegrenzt.

Von Lucien F. Trueb

Betonkultur

Symbiose von Ingenieurwissenschaft und Kunst

Die Dachkonstruktion ist Wahrzeichen der Stadt und weltberühmt: der Architekt Jörn Utzon erbaute das Opernhaus von Sydney (1956–1973).

Abbildung: Archiv Trueb

Keine Erfindung der Neuzeit ist Beton – eine Mischung aus Zement, Sand, Kies und anderen Zuschlagstoffen. Bereits die Phönizier kannten echten Zement (auf Calciumsilicatbasis). Sie ließen auf der Insel Santorin einen kalkhaltigen Ton vulkanischen Ursprungs abbauen und verkauften ihn als hydraulischen Zement rund um das Mittelmeer. Später entdeckten die Römer die bei Puzzuoli am Vesuv vorkommende Puzzolanerde, die sich nach Zugabe von Kalk zu einem hervorragenden Zement brennen ließ. Der damit angemachte Beton wurde in Schalen aus Stein oder Ziegeln gestampft. Sogar die Verschalung mittels wiederverwendbarer Bretter und Balken war den Römern geläufig; sie verwendeten diese Technik zum Bau von Zisternen, Thermen, Kuppeln und großen Fundamenten, beispielsweise beim Kolosseum in Rom, das 80 n. Chr. fertig gestellt wurde. Der spektakulärste, nach fast zwei Jahrtausenden perfekt erhaltene römische Betonbau ist das zwischen 118 und 128 n. Chr. errichtete Pantheon in Rom. Es besteht aus einem zylindrischen Unterbau mit einem Durchmesser von 43,3 Meter und einer halbkugelförmigen Kuppel aus Stampfbeton. Der Scheitel der Kuppel ist offen, dort befindet sich eine Lichtöffnung von neun Meter Durchmesser.

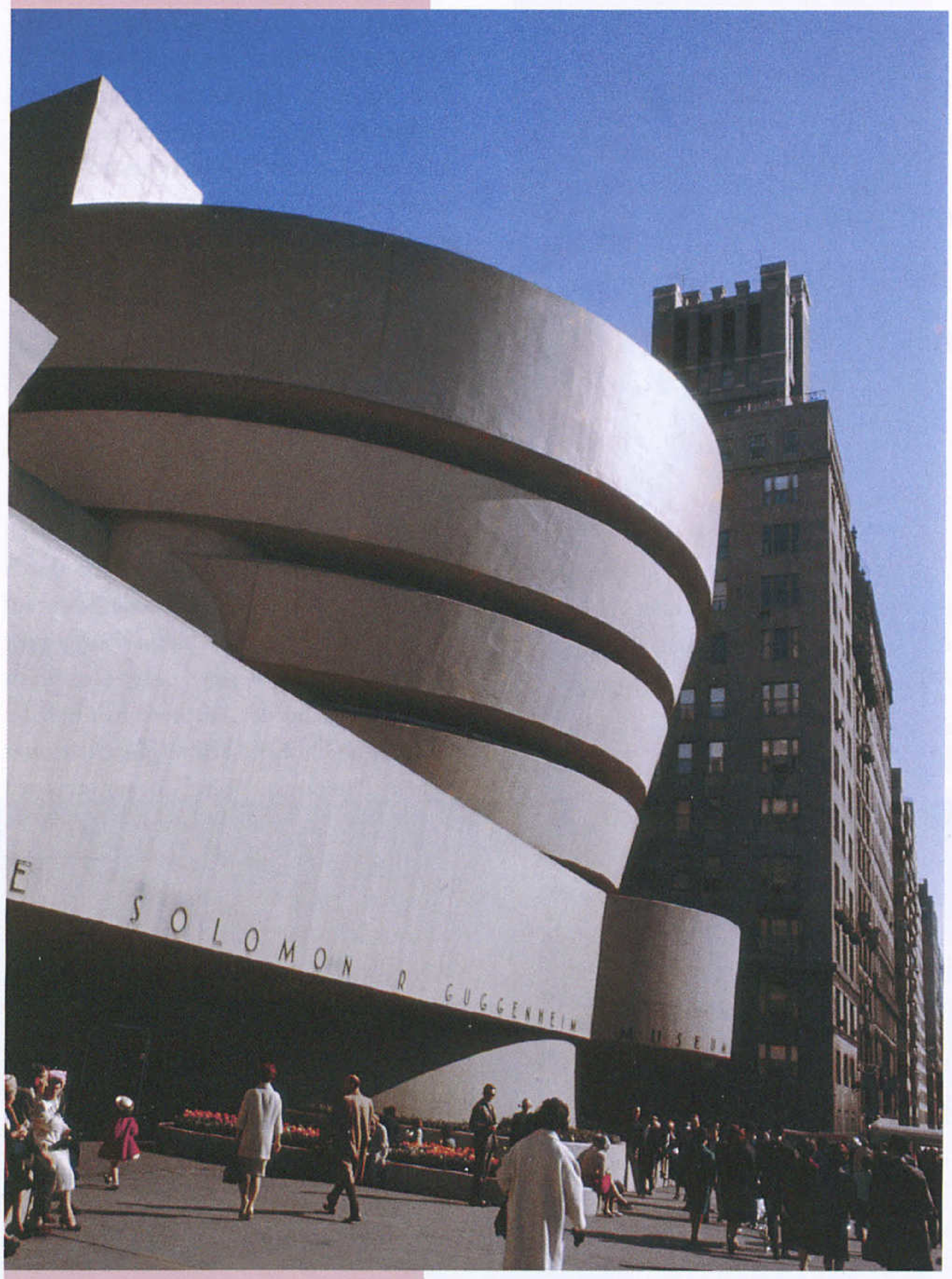
NACH DEM UNTERGANG des Römischen Reichs wurde die Beton-Bautechnik nur noch ganz selten angewendet. Das letzte in der römischen Tradition ausgeführte Betonbauwerk war der 1197 begonnene, 58 m hohe Schiefe Turm von Pisa. Es handelt sich um einen Betonzylinder von 2,7 Meter Wandstärke, der innen und außen mit Marmor verkleidet ist. Im Spätmittelalter ging das Wissen um hydraulische Bindemittel verloren, wurde aber im 16. Jahrhundert von den Holländern neu gefunden. Sie entdeckten, dass gemahlener vulkanischer Tuffstein, so genannter Trass ‚ähnlich wie die Puzzolanerde eingesetzt werden kann. Der Handel mit Trass wurde so wichtig, dass die leicht zugänglichen Lagerstätten gegen Ende des 18. Jahrhunderts weitgehend erschöpft waren.

Ein Substitutionsprodukt entwickelte der englische Maurermeister Joseph Aspdin: er ließ 1824 eine gebrannte Mischung von Ton und Kalksteinpulver im Verhältnis 1:1 als Portlandzement patentieren. Entscheidend war die 1844 gemachte Entdeckung, dass man beim Brennen des Gemischs bis zur Sintertemperatur bei 1450 °C gehen muss. So erhält man den so genannten Klinker, der unter Zusatz von Gips zu feinem Pulver gemahlen wird und einen hydraulischen Zement mit hervorragenden Eigenschaften liefert. Auf dieser technologischen Basis nahm die Zementindustrie Mitte des 19. Jahrhunderts einen rasanten Aufschwung. Statt wie bisher mühselig Backsteine oder zugehauene Steinquader zu vermörteln, konnte man den Beton in eine hölzerne Schalung gießen und ihn durch Stampfen verdichten. Dass Stampfbeton auf ideale Weise zum Bau von Talsperren geeignet ist, war schon im 19. Jahrhundert klar. Einen Höhepunkt fand der Talsperrenbau mit der 285 Meter hohen Schwergewichtsmauer *Grande Dixence* im Wallis, die am untersten Punkt 200 Meter breit ist und sich nach oben bis auf 15 Meter verjüngt; ihr Volumen beträgt sechs Millionen Kubikmeter. Damit werden 400 Millionen Kubikmeter Wasser aufgestaut.

STAMPFBETON war ein großer Fortschritt, doch mit Stahl (man spricht auch von Eisen) armierter Beton war ein spektakulärer Durchbruch. Zwar hatten schon die Römer ihren Beton gelegentlich mit Eisenstäben verstärkt. Doch auch diese römische Erfindung geriet in Vergessenheit und wurde erst Mitte des 19. Jahrhunderts neu gemacht.

Francois Hennebique (1842–1931) und Emil Mörsch (1872–1950) gelten als die Väter des modernen Stahlbetons. Von Frankreich aus begann dieses vielseitige Baumaterial seinen Siegeszug über die ganze Welt. Francois Hennebique verdanken wir die technischen Grundlagen – und die „Plattenbalkendecke", die bis heute nahezu unverändert monolithisch mit Eisenbetonstützen verbunden wird. Der Deutsche Mörsch erarbeitete die allgemeine Theorie des Stahlbetonbaus.Der französische Fabrikant von Gartenzubehör Joseph Monier gehörte zu den Ersten, die das Potenzial des Stahlbetons erkannten. Er ließ 1867 drahtbewehrte Beton-Blumenkübel pa-

Beton ist ein Gemenge aus Zement, Sand, Kies und anderen Zuschlagstoffen, die nach dem Abbinden einen Kunststein bilden. Zement entsteht durch Brennen von Ton und Kalkstein. Da der Werkstoff sogar unter Wasser abbindet, bezeichnet man ihn auch als hydraulische Betonkomponente. Zement, Sand und Wasser sind auch die Grundstoffe des am häufigsten eingesetzten Baumörtels. Beim Abbinden von Beton und Zementmörtel bildet sich ein dichter Filz nadelförmiger Calciumsilicat- und Calcium-Aluminatkristalle. Der klassische Mörtel (so genannter Luftmörtel), wie er von der Antike (mindestens seit 1200 v. Christus) bis ins 19. Jahrhundert verwendet wurde, bestand neben dem Zuschlagsstoff Sand aus gebranntem Kalk, der nach dem „Löschen" mit Wasser Kohlendioxid aus der Luft aufnimmt und sich langsam in Calciumcarbonat beziehungsweise Kalkstein umwandelt.



Ein Kunsttempel als Ikone modernen Bauens: Das Guggenheim Museum, New York, wurde 1959 von Franck-Lloyd Wright fertig gestellt.

tentieren; sechs Jahre später erhielt er ein Zusatzpatent für den Bau von Brücken. Auf dieser Basis wurde 1875 bei Chazelet die erste Brücke aus armiertem Beton gebaut, sie überquert einen Bach, ihre Spannweite beträgt 16 Meter.

Die Grundkomponenten des Stahlbetons – Zement, Zuschlagstoffe wie Kies und Sand sowie Armierungseisen – sind praktisch überall erhältlich und sehr preiswert. Die Herstellung von Zement aus Kalkmergel oder jeder geeigneten Mischung von Kalkstein und Ton ist relativ einfach, der damit verbundene Energieaufwand erstaunlich gering. Beton kann man in beliebige Formen vergießen, seine Festigkeit lässt sich durch die Beton-Rezeptur und Anpassen der Stahlbewehrung in weiten Grenzen variieren. Wichtig ist auch, dass die Wärmedehnung von Stahl und Beton etwa dieselbe ist.

ZU DEN PIONIEREN, die dem Stahlbeton eine geradezu verspielte Leichtigkeit und Eleganz gaben, gehört der Schweizer Ingenieur und Unternehmer Robert Maillart (1872–1940). Er entwickelte das Konzept des Beton-Gesamttragwerks mit eleganten, pilzförmigen Stützen, das keine balkenartigen Unterzüge und keine tragenden Wände benötigt.

Maillart schuf auch sehr gewagte Schalenkonstruktionen – bekannt wurde er aber vor allem für seine Brücken. Er brach mit der mehrtausendjährigen Tradition des Kreisbogens und ersetzte ihn durch einen Flachbogen, den er mit Platten kombinierte. Maillart konstruierte steife, kastenförmige Bauwerke, die schwund- und temperaturbedingte Spannungen aufnehmen können, und versah sie mit Gelenken. Das bekannteste Bauwerk dieser Art ist die 1929/30 ausgeführte, dreigelenkige Salginatobelbrücke bei Schiers in Graubünden. Bei einer Spannweite von 90 Meter beträgt die Stärke der Bogenplatte im Scheitel lediglich 20 Zentimeter. Maillarts revolutionäre Gestaltung eines rein funktionellen Bauwerks wurde schon bald als Kunst anerkannt. Die American Society of Civil Engineers verlieh der Salginatobelbrücke den Status eines „World Monument", eine äußerst selten vergebene Auszeichnung.

BETON UND STAHL BILDEN ZWAR EINEN IDEALEN VERBUNDWERKSTOFF, doch die Vorspanntechnik eröffnete dem Betonbau ganz neue Horizonte. Durch elastisches Verdehnen mindestens eines Teils der aus Drähten, Kabeln oder Rundeisen bestehenden Bewehrung setzt man den Beton unter Druckspannung. Zug- und Biegebeanspruchungen eines Spannbetonelements setzen (bis zu den zulässigen Grenzen) lediglich die „eingebauten" Druckkräfte herab, normalerweise wird ein vorgespanntes Betonteil gar nicht auf Zug beansprucht. Dank dieser Technik wurden lange Spannweiten und verblüffend dünne, darum auch elegante und kostengünstige Bauteile möglich. Pionier der vorgespannten Betonbrücken war der Franzose Eugène Freyssinet (1879–1962). Schon in den 1940er Jahren verwendete er vorgefertigte Betonbauteile, die am Brü-

ckenstandort zusammengebaut wurden. Diese Technik beschleunigt den Brückenbau enorm.

Für das Vorspannen gibt es verschiedene Verfahren. Zum Beispiel wird zuerst ein Stahlbetonkörper hergestellt; dabei liegt der Spannstahl frei beweglich in Kanälen aus Stahl oder Kunststoff. Wenn der Beton fest genug geworden ist, beginnt man mit dem Spannen. Schließlich verankert man die Spannglieder und presst Mörtel in die Spannkanäle.

Bei vorfabrizierten Betonteilen wird häufig der Bewehrungsstahl im gespannten Zustand in den Beton eingebettet. Wenn der Beton abgebunden ist, hebt man die externe Zugspannung auf. Dadurch wird der Beton unter Druck gesetzt und intern verspannt. Diese Vorspanntechnik machte den Bau außerordentlich eleganter Balkenbrücken möglich. Ein klassisches Beispiel ist die 1954 von F. Leonhardt erbaute Donaubrücke Untermarchtal mit fünf Feldern und vier Pfeilern.

Die Grande-Dixence-Talsperre im Wallis, 1961 fertig gestellt.

DER STAHLBETON war zuerst die Domäne der Ingenieure, die damit vorwiegend Brücken, Lagerhäuser, Markthallen und Fabriken bauten. Doch schon früh wurden Versuche durchgeführt, Geschossdecken, Gewölbe, Trennwände und Treppen, vereinzelt auch ganze Häuser aus Stahlbeton zu fertigen. So wurden in Frankreich serienweise Bahnwärterhäuschen aus nur fünf Zentimeter dicken Eisenbetonplatten gebaut. Das 1891 errichtete Kasino in Biarritz gilt als das erste Gebäude, das vollständig aus vorgefertigten Betonteilen besteht. In den USA entstand 1902 in Cincinnati auf der Basis von Hennebiques System von Stützen, Rahmenträgern und Platten das erste, 17-stöckige Stahlbeton-Hochhaus.

Es dauerte eine Generation, bis die Architekten auf breiter Basis begannen, mit dem neuen Werkstoff auch Wohnhäuser zu errichten. Zu den Pionieren gehörte der Franzose Auguste Perret (1874–1954). Er baute 1903 an der Rue Franklin in Paris ein achtstöckiges Privathaus, dessen Außenmauern aus Eisenbeton bestanden. Perret war ein Lehrer des Schweizer Architekten Le Corbusier (1887–1965), der neben dem Amerikaner Frank Lloyd Wright (1867–1959) als überragender Vorreiter der modernen Beton-Architektur gilt. Das Zeitalter der Flächentragwerke aus Stahlbeton begann mit einem großartigen Kuppelbau: die von Max Berg (1870–1947) geschaffene Jahrhunderthalle in Breslau (1911–1913). Der Durchmesser dieser Kuppel beträgt 65 Meter, sie übertraf die Spannweite des Pantheons erstmals deutlich. Während aber die Kuppel des Pantheons aus massivem Stampfbeton besteht, verwirklichte Berg eine sehr viel leichtere Bauweise aus 32 Rippen und sie verbindenden Ringen. Pier Luigi Nervi (1891–1979) führte das Konzept des Beton-Rippentragwerks bis zur letzten Konsequenz weiter. Die Dächer seiner Flugzeughallen (ab 1935) und vor allem seine Sportpaläste in Rom (1957) bestehen aus vorfabrizierten, geschwungenen und sich kreuzenden, sehr schlanken Elementen, die dem Kräfteverlauf exakt folgen.

DIE GESTALTERISCHEN MÖGLICHKEITEN des Betons begann man in den 1920er Jahren zur plastischen Modellierung monolithischer Bauten umfassend zu nutzen. Rudolf Steiners sehr massiv anmutendes Goetheneum (1928) in Dornach bei Basel besteht aus gekrümmten Flächen und scharfen Graten unter weitgehender Vermeidung des geraden Winkels. Der Aufwand für die Schalung war allerdings enorm und bedeutete eine echte Herausforderung für die daran beteiligten Zimmerleute. Dasselbe galt für die seit den 1930er Jahren verwirklichten Schalenkonstruktionen aus gekrümmten Betonflächen mit einer Wandstärke von wenigen Zentimetern. Solche Struktu-

Abbildungen: Archiv Trueb; H.Preisig

Festungsartige Strukturen: Die Sankt-Niklauskirche in Hérémence, 1963–1971, von Walter M. Förderer.

ren inspirierten die „dynamischen", gekrümmten Dächer Eero Saarinens, etwa beim TWA-Terminal in New York, wie auch Jörn Utzons (geb. 1918) sphärisch gekrümmten, bis 70 Meter hohen dreiseitigen Dachelemente des Opernhauses in Sydney. Die vom Kubismus beeinflusste Architektur der 1920er und 30er Jahre bevorzugte von der Funktion vorgegebene Formen aus dünnen, vertikalen Wänden, Balkonen, Flachdächern und großen, verglasten Öffnungen.

Eine Rückkehr zur Nutzung materialtypischer Eigenschaften vollzog Frank Lloyd Wright in den 1930er Jahren, wobei er in jedem Bauwerk mit ganz anderen Aspekten seiner grenzenlosen Kreativität spielte. Sein Haus am Wasserfall, Pennsylvania (1935–39), besteht vor allem aus Betonplatten, die nach allen Seiten auskragen; damit erzielte er eine raffinierte Symbiose mit der umliegenden Natur aus Fels und Wasser. Wrights Johnson-Wax-Verwaltungsgebäude in Wisconsin (1936–39) andererseits umfasst einen riesigen, dank pilzförmiger Stützen nicht unterteilten Bürotrakt. Schließlich akzentuiert das 1959 fertig gestellte Guggenheim-Museum in New York wieder ganz andere Eigenschaften des Betons: das trichterförmige Gebäude umschließt eine spiralförmige Rampe, an deren Innenwand die Gemälde der Sammlung hängen.

LE CORBUSIER (Charles-Edouard Jeanneret) schuf sowohl kubistisch-minimalistische als auch makroskopisch-modellierte Bauten – und deren Kombinationen, wie dies bei der Kapelle von Ronchamp bei Belfort und den Verwaltungsgebäuden von Chandigarh in Indien der Fall ist. Le Corbusier hatte eine deutliche Vorliebe für unverputzten, rauen und rohen Beton, dem die Maserung der Schalungsbretter eine biologisch bedingte Struktur gibt. Von Le Corbusier beeinflusst war Louis Kahn (1901–1974), dessen bekanntester Bau wohl das Salk Research Institute in La Jolla, Kalifornien ist. Kahn verwirklichte dort eine spiegelbildlich wiederholte Struktur aus glatten, regelmäßig versetzten Sichtbetonkuben, die durch horizontale und vertikale Fugen strukturiert sind. In den Bauten Mario Bottas, des heute bekanntesten Tessiner Architekten, findet man Gestaltungselemente seiner Lehrer Le Corbusier und Louis Kahn in ganz neuartigen Kombinationen.

DER LEICHTIGKEIT DES SCHALENBAUS diametral entgegengesetzt sind die Kirchen und Profanbauten der europäischen Architekten Gottfried Böhm und Walter Förderer (geb. 1928). Man nennt sie auch „Neo-Brutalisten", weil sie aus rohem Beton festungsartige Strukturen schufen. Als bekanntestes Bauwerk dieser Art gilt Förderers 1971 fertig gestellte Sankt-Niklauskirche im Walliser Bergdorf Hérémence: einander durchdringende, einfache geometrische Formen verbinden Chaos und Harmonie, kubistische Raumelemente und Skulptur auf eigentümliche Weise. Es entstand ein Sinnbild der Wechselwirkungen zwischen Physik und Leben. Neuesten Datums ist das Contemporary Arts Center in Cincinnati, USA, ein Werk der neobrutalistischen Architektin Zaha Hadid – ein Gebäude, das man als eine Durchdringung schwebender Kisten beschreiben kann. ■■

LUCIEN F. TRUEB studierte Chemie und Materialwissenschaften an der ETH Zürich. Er leitete 25 Jahre lang das Ressort „Forschung und Technik" der *Neuen Zürcher Zeitung*. Seit 1997 ist er als frei schaffender Wissenschaftsjournalist und Buchautor tätig.

Abbildung: Archiv Trueb

Kampf dem Sprödbruch

Neue Entwicklungen bei Hochleistungskeramiken

Kommerziell verfügbare Keramikbauteile wie Kugellager, Verschleißringe und Autoventile

Der frühe Mensch formte Geschirr aus Ton. Er trocknete es und brannte es zu einer porösen Keramik. Das war vor etwa 8000 Jahren, als man begann, natürlich vorkommende Stoffe zu künstlichen Materialien umzuwandeln.

Von Martin Jansen

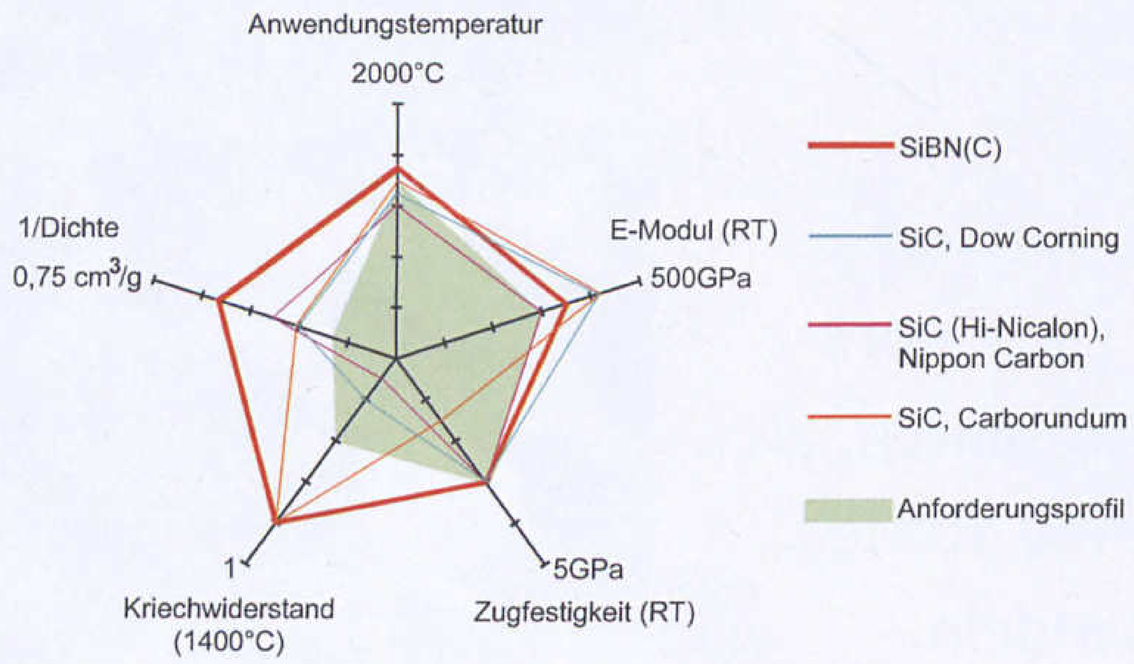
Hochtemperatur- und Korrosionsbeständigkeit, Verschleißfestigkeit, niedrige Dichte und nicht zuletzt ökologische Unbedenklichkeit zählen zu dem viel gepriesenen Eigenschaftsspektrum von Hochleistungskeramiken. Während aber noch Anfang der 80er Jahre des vergangenen Jahrhunderts die Einschätzung ihres Marktpotenzials äußerst euphorisch ausfällt, hat uns die seitherige Entwicklung gelehrt, dass die modernen Struktur- und Funktionskeramiken nicht mit einem Paukenschlag in die Konkurrenz der Werkstoffe eingebrochen sind, sondern vielmehr ganz unspektakulär, von der breiten Öffentlichkeit meist unbemerkt, ihre Einsatzbereiche eroberten. Beinahe schon alltäglich ist im Maschinenbau die Verwendung von Siliciumcarbid-Verschleißringen (serienmäßig im Automobilbau), von Wendeschneidplatten (Siliciumnitrid) in der zerspanenden Metallbearbeitung oder von Hartstoffen (Borcarbid) für Sandstrahldüsen. Wer denkt schon bei der Nutzung der so komfortablen und unverwüstlichen Einhebelwasserhähne an deren Herzstück aus zwei Keramikplättchen oder bei einer Space Shuttle Mission an den Hitzeschild aus Keramik, ohne den das Konzept der wiederverwendbaren Raumfähren nicht denkbar wäre?

Das Dilemma der so genannten Hochleistungskeramiken ist, dass man von einem vollen Verständnis der bei ihrer Herstellung und Verarbeitung ablaufenden Prozesse auch heute noch weit entfernt ist. Diese Werkstoffgruppe ist aus den wissenschaftlichen Laboratorien in die Fertigung gelangt. Damit sie die jeweils sehr hochgezüchteten und eng eingegrenzten Funktionen erfüllen können, müssen sie hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und Mikrostruktur definiert sein.

BEI DER KLASSISCHEN PULVERROUTE erfolgt die Herstellung von Bauteilen durch Formgebung und Sintern von Keramikpulvern. Dazu wird in der Regel das Keramikpulver zu einem Schlicker aufgeschlämmt, der dann in Formen aus porösem Gips gefüllt wird. Da der Gips das Wasser aufsaugt, entsteht eine feste Masse, die nach einer exakt vorherbestimmten Zeit aus der Form gelöst werden kann. Dieser „Grünkörper" wird in einem Brennofen gesintert. Die wichtigsten Ansatzpunkte bei der Optimierung der Pulverroute liegen in der Reinheit der Ausgangspulver, ihrer Morphologie und in den einzelnen Schritten des Formgebungsverfahrens. Die streckenweise mühsame, interdisziplinäre Entwicklungsarbeit ist erkennbar von Erfolg gekrönt, ist man heute doch in der Lage, in Serienfertigung Bauteile mit monolithischer

Die zu Nutzanwendungen des Menschen zugeführten Feststoffe werden als **Werkstoffe** bezeichnet. Man unterscheidet drei Werkstoffklassen, Kunststoffe (Polymere), Metalle und Keramiken, die jeweils ganz spezifische Eigenschaftsprofile aufweisen. Die älteste Werkstoffklasse bilden ohne Zweifel die Keramiken. Es gibt Fundstücke, die auf fünfundzwanzigtausend Jahre vor unserer Zeitrechnung datiert werden.

Anforderungsprofil und Klassifizierung keramischer Hochleistungsfasern



Gegenüberstellung der Anforderungen an keramische Fasern für den Turbinenbau und der Eigenschaften derzeitig verfügbarer Fasern.

Dichte und hoher Zuverlässigkeit zu produzieren. Auch wenn sie noch nicht serienmäßig im Automobilbau verwendet werden, kann die Entwicklung einer Massenfertigung von Ventilen als Modellfall angeführt werden.

Eine immanente Schwäche der nichtmetallischen anorganischen Werkstoffe ist ihr Sprödbruchverhalten, das unter thermischer und/oder mechanischer Belastung zu einem unberechenbaren, „katastrophalen" Versagen eines keramischen Bauteils führen kann. Dies dämpft verständlicherweise die Neigung der Ingenieure (durch die hohe Zuverlässigkeit der metallischen Werkstoffe verwöhnt), das ansonsten faszinierende Potenzial der Keramiken auszuschöpfen. Um die Häufigkeit ihres Versagens zu minimieren, sind auf mikroskopischer Ebene Spannungsspitzen zu vermeiden und die Rissausbreitungsgeschwindigkeiten herabzusetzen. Da alle kristallinen Feststoffe bevorzugte Spaltbarkeit entlang bestimmter Richtungen (Netzebenen) aufweisen, erschien es als ein auf den ersten Blick schlüssiger Ansatz, amorphe anorganische Netzwerke zu verwenden, die naturgemäß keine Netzebenen enthalten und in denen unvermeidbar vorhandene, nicht abgesättigte Bindungen die Rissenergie absorbieren können und die damit eine gewisse Schlagzähigkeit aufweisen könnten. Der Begriff „amorphe Hochleistungskeramik" birgt freilich einen Widerspruch in sich. Solche Materialien sind im thermodynamischen Sinne instabil hinsichtlich der Umwandlung oder des Zerfalls in kristalline Phasen, was ihren Einsatz in sicherheitsrelevanten Bereichen bei hohen Temperaturen eigentlich ausschließt. Wählt man allerdings Elementkombinationen, bei denen die Bindungsenergien weniger von einer langreichweitigen, kristallinen Ordnung als von starken kovalenten Bindungen bestimmt sind, so wird der Energieunterschied zwischen kristallinem und amorphem Zustand nur gering sein. Letztlich ausschlaggebend ist jedoch die kinetische Stabilität des amorphen Netzwerks gegenüber Umordnung und schließlich Kristallisation. Diese ist immer dann hoch, wenn atomare Bausteine verwendet werden, die wenigstens drei starke kovalente Bindungen ausbilden. In einem solchen Falle würde jeder Umordnungsschritt die gleichzeitige Öffnung mindestens zweier Bindungen an dem entsprechenden Netzwerkknoten erfordern, was nur mit geringer Wahrscheinlichkeit eintritt. Die genannten Voraussetzungen für eine möglichst hohe thermodynamische und kinetische Stabilität werden am ehesten bei Kombination der Elemente Silicium und Bor mit Stickstoff und Kohlenstoff erfüllt.

DER ÜBERZEUGENDSTE ANSATZ, die Schadenstoleranz von Keramiken zu verbessern, ist die Verwendung keramischer Verbundwerkstoffe. Besonders viel versprechend erscheinen Komposite aus keramischen Langfasern und keramischer Matrix. Erste Erfahrungen belegen eine signifikant gesteigerte mechanische Belastbarkeit, vor allem aber eine Charakteristik des Versagens, die derjenigen von Metallen phänomenologisch ähnelt: Lokale Schädigungen führen nicht gleich zum totalen Versagen des Bauteils.

Die Erschließung amorpher anorganischer Netzwerke als Hochleistungskeramiken und die Entwicklung leistungsfähiger keramischer Fasern haben einen starken konzeptionellen Überlapp. Die Herstellung keramischer Fasern setzt eine schmelzbare oder lösliche Zwischenstufe voraus, die zu einer Grünfaser versponnen, gehärtet und schließlich in die Keramik umgewandelt werden kann. Auch die Synthese eines „glasartigen" Materials aus den

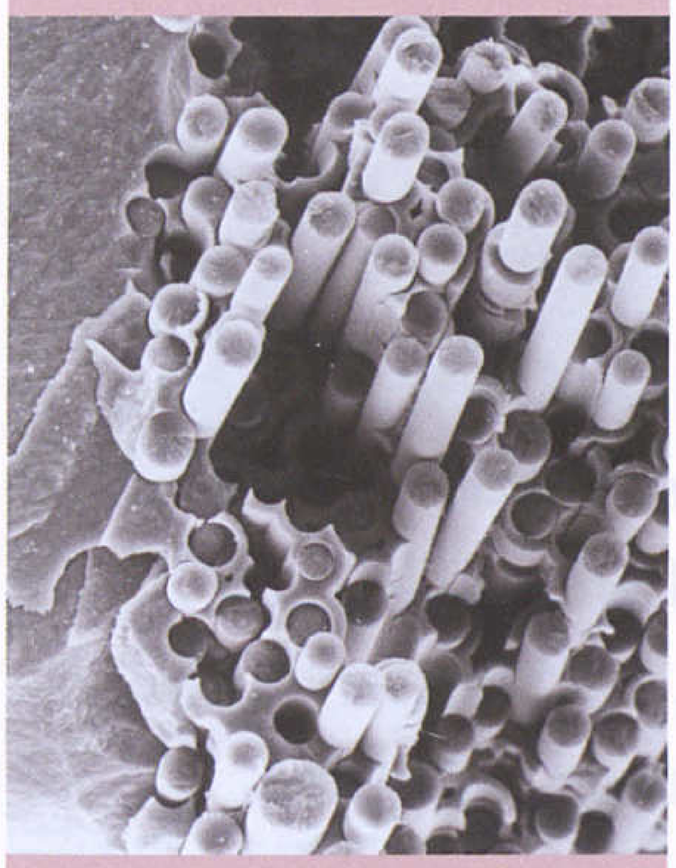
Komposite: Zusammengesetzte Werkstoffe, die zunehmend eingesetzt werden, um die Stärken verschiedener Werkstoffe in einem synergetischen Sinne zu kombinieren und zugleich die Schwächen zu kompensieren.

Abbildung: MPG

Elementen Si, B, N und C führt exklusiv über polymere Zwischenstufen. Der herkömmliche Weg zu einem amorphen „glasartigen" Netzwerk über eine Schmelze der konstituierenden Bestandteile ist hier versperrt, weil keine der binären Komponenten des Systems Si/B/N/C unzersetzt schmelzbar ist, vor allem würde Stickstoff unter den erforderlichen Bedingungen weitgehend ausgetrieben. Als einziger Ausweg bleibt daher der thermische Abbau eines präkeramischen Polymers, das seinerseits aus molekularen Vorläufern erzeugt wird.

DIE NAGELPROBE für die Schlüssigkeit des hier vorgestellten Konzeptes war naturgemäß die thermische Stabilität der keramischen Endprodukte. Hier wurden die hoch gesteckten Erwartungen noch übertroffen. Amorphes, daher im thermodynamischen Sinne metastabiles $Si_3B_3N_7$ verliert erst bei einer um etwa 150 Grad Celsius höheren Temperatur Stickstoff als kristallines Si_3N_4 oder als ein Komposit aus Si_3N_4 und BN. Im Falle des noch stärker vernetzten kohlenstoffhaltigen Materials $SiBN_3C$ steigt die Zersetzungstemperatur in inerter Atmosphäre gar auf ~1900 Grad Celsius. Die Oxidationsbeständigkeit ist die beste je für eine nichtoxidische Keramik beobachtete. Schließlich lassen sich im Rahmen des Auflösungsvermögens der Röntgenbeugung bis hinauf zu 1900 Grad Celsius keine strukturellen Veränderungen wie etwa eine (Teil)kristallisation nachweisen, eine wichtige Voraussetzung für die mechanische Stabilität bei hohen Temperaturen. Alles in allem präsentieren diese beiden ersten Vertreter einer neuen Klasse nichtoxidischer Keramiken ein Eigenschaftsspektrum, das bisher ohne Präzedens ist.

Eine der Stärken der neuen Werkstoffklasse ist ihre variationsreiche Verarbeitbarkeit und die Breite der potenziellen Einsatzgebiete. Da die Viskosität der vernetzten präkeramischen polymeren Zwischenstufen durch einfache, kontrollierte Wärmebehandlung von dünnflüssig bis fest (harzig) einstellbar ist und diese zudem in verschiedenen organischen Lösemitteln löslich sind, sind sie allen Verarbeitungstechniken der klassischen Polymerchemie zugänglich. Die Polyborosilazane gestatten also Beschichtungen und Infiltrationen ebenso wie eine Verarbeitung zu Folien oder Fasern.



Bruchfläche einer $SiBN_3C$-faserverstärkten SiC-Keramik.

Abbildung: MPG

Am weitesten vorangetrieben ist die Verarbeitung zu keramischen Langfasern. Über diese liegen auch die umfassendsten Charakterisierungen der Eigenschaften vor. Die Hi-Nicalon™-Faser ist nach relativ kurzer Auslagerung an Luft stark angegriffen, vor allem ist die Zugfestigkeit nahezu vollständig verloren gegangen. Bei der SiBNC-Faser ist im Zuge der Oxidation eine festanhaftende doppelte Deckschicht entstanden, die als doppelte Diffusionsbarriere wirkt. In jeder anwendungsrelevanten Beziehung ist das neue Material, und damit auch die daraus hergestellten Fasern, den bisher verfügbaren klar überlegen. Dies wird besonders deutlich bei einem Vergleich mit den sehr ehrgeizigen Vorgaben potenzieller Anwender, nämlich der europäischen Hersteller von Flugzeugturbinen. Wie aus dem in Abbildung 2 dargestellten Sterndiagramm hervorgeht, erfüllen Fasern aus SiBNC als einzige alle Vorgaben, wobei mit der extrem geringen Dichte (für den Flugzeugbau besonders wichtig) die Erwartungen besonders deutlich übertroffen werden.

GELINGT ES, DIE „richtige" Bindung zwischen keramischer Faser und keramischer Matrix herzustellen, ergibt sich der gewünschte Verstärkungseffekt. Die Bruchfläche eines Komposits aus $SiBN_3C$ (Faser) und SiC (Abb. 3) zeigt genau das angestrebte Verhalten: Die Faser wird weder zu schwach noch zu stark an die Matrix gebunden. Ersteres führt zu einem „Herausziehen" der Fasern bei Belastung, letzteres zu einem glatten Bruch durch Faser und Matrix. Ihr attraktives Eigenschaftsspektrum und ihre universelle Verarbeitbarkeit ermutigen zu der Prognose, dass die neue Keramik im 21. Jahrhundert einen ähnlichen Technologieschub wie der Stahl im 19. Jahrhundert auslösen wird. ■

Literatur

H. P. Baldus, M. Jansen: *Moderne Hochleistungskeramiken – amorphe anorganische Netzwerke aus molekularen Vorläufern,* Angew. Chem. 109 (1997) 338-54; Int. Ed. 36 (1997) 328-43.

P. Baldus, M. Jansen, D. Sporn: *Ceramic Fibers for Matrix Composites in High-Temperature Engine Applications,* Science 285 (1999) 699-703.

Martin Jansen, Britta Jäschke, Thomas Jäschke: *Amorphous Multinary Ceramics in the Si-B-N-C System,* In High Performance Non-Oxide Ceramics I, Structure and Bonding, Volume 101 (2002), Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

PROF. DR. MARTIN JANSEN ist Festkörperchemiker und Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart.

Was soll der Glanz?

Der Siegeszug des Chroms

Lange galt es als nutz- und wertlos. Erst die Glitzer- und Glamourlust der Zwanziger erlöste das Chrom von seinem Aschenputteldasein. Stuhlrahmen, Lampenfüße, Heckflossen, Schmuck und Wasserhähne – alles wurde mit einem glänzenden Silbermantel aus Chrom übergossen.

Von Otto Kraetz

Eines der faszinierendsten Phänomene der Geschichte ist die Tatsache, dass sich viele historische Erscheinungen einer rationalen Deutung entziehen und sich nur – wenn überhaupt – mit Hilfe der Psychologie erklären lassen. Im Folgenden sei am Beispiel der Geschichte des metallischen Chroms dargelegt, wie ein Metall, das in reiner Form eher nutzlos ist, als Teil einer Modeerscheinung erblühte.

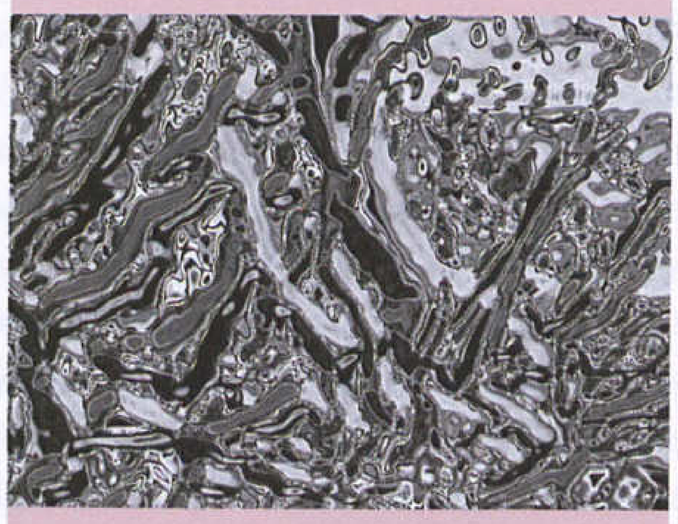
Zwar kannte man farbige Chromverbindungen, aber auch Chromstahl, seit dem ersten Viertel des 19. Jahrhunderts, doch noch 1910 hieß es in chemischen Nachschlagewerken: „Chrom wird für sich allein nicht angewendet." Dies sollte sich dann innerhalb weniger Jahrzehnte derart gründlich ändern, dass man das Chrom sogar als eine Art „Leitmetall", gewissermaßen als „Leitfossil", für eine bestimmte Epoche der Kulturgeschichte – von den Zwanzigern bis etwa 1970 – bezeichnen kann.

Seit dem letzten Drittel des 18.Jahrhunderts entwickelte man zahlreiche Legierungen, die das teure Silber ersetzen sollten, sozusagen Silbersurrogate: Argentan, Neusilber, Chinasilber, Tiersargent und viele mehr. Alle diese enthielten ein Metall, das gewissermaßen als Vorläufer des Chroms eine ähnliche Rolle spielte,

Blitzendes Kultobjekt: Harley Davidson hat mit Chrom nicht gespart.

das Nickel. Metallisches Nickel wurde schon früh als besonders preiswertes, aber doch glänzendes Metall, so genanntes „Münzmetall", für besonders wertlose Münzen verwendet, den „Nickel" eben, das in so gut wie allen europäischen Münzsystemen als wertlosestes Zahlungsmittel gilt. Daran hat sich bis heute nicht viel geändert, auch der „Euro" enthält Nickel als Legierungsbestandteil. Die Silber vortäuschenden Nickellegierungen wurden zu einer Vielzahl von Gebrauchsgegenständen, Schuhschnallen, Gürtelschließen, Knöpfen etc. verwendet.

DAS LETZTE DRITTEL des 19.Jahrhunderts brachte den großen Aufstieg der Elektrizität. Pioniere wie Werner von Siemens, Oskar von Miller, Emil Rathenau und Thomas Alva Edison bauten in erstaunlich kurzer Zeit europaweit ein gut funktionierendes Stromnetz auf. Eine der Folgen dieser Pionierleistung war das Entstehen einer Vielzahl von „galvanischen Anstalten", in denen Gebrauchsgegenstände aus weniger wertvollen Metallen mit Edelmetall, aber auch mit Nickel elektrolytisch überzogen wurden. Das aufsteigende, jedoch meist noch nicht wirklich vermögende Bürgertum entwickelte einen hohen Bedarf an versilberten – manchmal auch vergoldeten Bestecken, Uhrgehäusen, Metallvasen und Ähnlichem. Zwar hatte es Ansätze zu galvanischen Anstalten schon vorher gegeben, wie man z.B. den Lebenserinnerungen von W. v. Siemens entnehmen kann, doch zuvor gewann man die zum „Galvanisieren" notwendige elektrische Energie in Batterien, die man zwar leicht aufbauen konnte, die sich aber schnell verbrauchten und teuer kamen. Der Strom aus einem Generator war wesentlich kostengünstiger. So kam nach dem Aufbau der Stromnetze der elektrolytischen Galvanisierung, insbesondere der „Vernickelung", eine große Bedeutung zu. Hauptabnehmer vernickelter Produkte war das Militär. Beschläge am Zaumzeug der Kavallerie, Heraldisches auf und am Helm, Koppelschlösser, Knöpfe, Sporen etc. wurden häufig, wenn auch nicht immer, vernickelt. Reinigen und Polieren der „schimmernden Wehr" sowie die Pflege des „bunten Tuches" füllten reichlich die Tagesabläufe der Soldaten.



Flüssiges Chrom - eine Substanz, die lange Zeit als wertlos galt.

1. Verfahren zur Gewinnung:
Zur Gewinnung von metallischem Chrom kannte man vor dem Ersten Weltkrieg im wesentlichen drei Verfahren. Der erste französische Nobelpreisträger für Chemie, Henri Moissan, hatte gegen Ende des 19. Jahrhunderts seinen berühmten „Four electrique" entwickelt, einen elektrischen Hochtemperaturofen, in dem zwischen beweglichen Kohleelektroden eine Temperatur von 2 bis 3.000 Grad erreicht werden konnte, mit dem Moissan das Zeitalter der Hochtemperaturchemie begründete. Unter diesen extremen Bedingungen ließen sich auch Chromverbindungen durch Kohlenstoff zu metallischem Chrom reduzieren. Es gelang Moissan sogar, dieses zu hochreinem Metall zu destillieren.

Auch kunstgewerbliche Metallobjekte wurden, und werden gelegentlich bis heute, vernickelt. Hinter letzterem verbirgt sich der eigentümliche Sachverhalt, dass Nickel nicht ganz so ins Auge fallend, etwas zurückhaltender, sozusagen dezenter glänzt. Dies kann bei künstlerischer Anwendung ein entscheidender Vorteil sein. Greift man wieder zu chemischen Handbüchern der vorletzten Jahrhundertwende, so wird einem mitgeteilt, dass Nickel eigentlich nicht oder doch eher nur verhalten glänzt. Es wird nämlich als zwar „luftbeständiges", aber lediglich „grauweißes" Metall beschrieben.

Wenden wir uns nun dem großen Sieger zu! Dem endgültigen Durchbruch ging ein chromloses Zwischenspiel voraus, das jedoch die Bedeutung der Chemie für die Entwicklung der Kulturgeschichte drastisch aufzeigt. Auf der Verkokung der Kohle und Destillation des Teers beruhte nicht nur der gewaltige Aufstieg der technischen organischen Chemie des 19. Jahrhunderts, sondern das bei der Verkokung gewonnene Leuchtgas veränderte mit neuen Beleuchtungs- und Heizungsmöglichkeiten die Welt. Mit dem Leuchtgas kamen auch die stationären Gasmotoren für Gewerbetreibende – seither gibt man Gas, wenn es schneller gehen soll! Energiewirtschaftlich gesehen ist das Gas der Vorläufer des elektrischen Stromes. Gerne vergisst man, dass zum Aufbau der Gastechnik ganz wesentlich die Entwicklung eiserner Gasrohre gehörte, zu deren Herstellung eine Vielzahl äußerst trickreicher Verfahren ersonnen wurden. Die Gasdurchlässigkeit machte und macht noch heute gelegentlich geräuschvolle Probleme, deren gesteinsbewegende Kraftentfaltung zuweilen die Nachrichtensendungen im Fernsehen eindrucksvoll beleben. Merkwürdigerweise waren es gerade die eisernen Gasrohre, die den Anstoß für den Siegeszug des Chroms geben sollten.

DER NIEDERLÄNDISCHE ARCHITEKT Mart Stam (1899–1986) entwickelte aus weltanschaulich-sozialen und aus bautheoretisch-ästhetischen Überlegungen heraus 1926 ein aus zehn gleichlangen Gasrohren und zehn kurzen Knickverschraubungsstücken – nach einigen Überlieferungen ließ er diese zusätz-

Abbildungen: Harley Davidson; Andrew Buckley

2. Verfahren zur Gewinnung: Eine zweite von J. Park entwickelte Reduktion ging von Ammoniumbichromat aus, einer kristallinen leuchtend-orangeroten Verbindung, die mit Zucker unter Luftabschluss in einem Graphittiegel eine Stunde lang auf Weißgluthitze gebracht wurde. Um überschüssige Kohle zu entfernen, glühte man das entstandene Metall mit etwas Chromoxid nach. Dieses Verfahren ist – wenn auch sicher in der Handhabung –, angesichts des Preises für den wertvollen Zucker lediglich eine Laborkuriosität.

lich verschweißen –, das wohl erste Stahlrohrmöbel überhaupt. Das Revolutionäre seines Entwurfes lag im Fehlen der hinteren Beine, so dass er den Prototyp des ersten zweibeinigen „Freischwingers" geschaffen hatte. Zeichnungen dieser recht schlichten, aber doch einzigartigen Konstruktion stellte Stam noch im gleichen Jahr beim Stuttgarter Architektentreffen vor, auf dem die heute legendär-berühmte „Ausstellung Weißenhof-Siedlung" geplant wurde. Nach Stams Meinung – die seine Konkurrenten später naturgemäß nicht teilten –, wurde er so zum Anreger der anderen und noch heute weltbekannten Architekten und Designer, die ab 1926 ebenfalls – und heute wesentlich berühmtere – Stahlrohrmöbel zu entwerfen begannen. Die Frage, wer, wen, wann beeinflusste und wie frei „Freischwinger" verschiedener Konstruktion schwingen dürfen, beschäftigte noch jahrzehntelang die Patentgerichte und verschaffte den beteiligten Anwälten beträchtlichen Wohlstand, den Architekten und Designern jedoch ungeheuren Frust. Zwar bereicherten diese Rechtsstreitigkeiten die Formenvielfalt der Stahlrohrmöbel, musste doch der jeweils vor Gericht Unterlegene den zahlreichen Urteilen konstruktiv ausweichen, doch wollen wir die Schilderung des Spannungsfeldes Erfindergeist gegen Justiz hier übergehen.

STAMS GROßER KONKURRENT Marcel Breuer (1902–1981), Leiter der Tischlerwerkstatt am „Bauhaus" in Dessau, hatte schon 1925, also zeitgleich und wahrscheinlich doch früher als Stam, seinen ersten „stahlstuhl B3" entwickelt, nach einer Überlieferung inspiriert von dem Lenker seines gerade frisch angeschafften Ankerfahrrades mit einem Stahlrohrrahmen. Doch der B3 war starr und schwang nicht (!), ebenso wenig wie der 1927 von Breuer entworfene „stahlclubsessel aus gezogenem vernickeltem stahlrohr mit spanngurten – der abstrakte stuhl". Das Bauhaus in Weimar und später in Dessau neckte seine deutschtümelnden Zeitgenossen nicht nur mit extrem modernem Design, sondern auch mit einer zeitweise konsequent durchgehaltenen „kleinschreibung". Dieser „stahlclubsessel", nach einem Katalog der Firma Gavina aus den sechziger Jahren „Wassily" genannt (jetzt groß geschrieben, es scheint nicht bekannt zu sein, wo dieser Name eigentlich herkommt), ist ein noch heute berühmter, bis in die Gegenwart nachgebauter Klassiker moderner Wohnkultur. Sein besonderes Kennnzeichen sind stoffbespannte Seitenwangen und seine beiden seitlichen Kufen, die diesem Stahlrohrmöbel zwar seine einzigartige Eleganz verleihen, jedoch sein „Schwingen" verhindern.

Wassily wurde bereits im Januar 1926 zum ersten Mal in einer „Breuer-Ausstellung" in der Kunsthalle Dessau der Öffentlichkeit vorgestellt. Bei der Eröffnung des Bauhausgebäudes im Dezember des gleichen Jahres präsentierte Breuer eine erweiterte Kollektion von Stahlrohrmöbeln. Er konnte dabei auf einer zunächst von der Außenwelt nicht bemerkten Tradition des Bauhauses aufbauen, denn schon vor Breuer hatte man sich – wenn auch offenbar lange vergeblich bemüht – Rohre zu biegen, was ohne hässliche Knickfalten gar nicht so einfach ist. Noch Breuer selbst hatte offenbar Schwierigkeiten mit der Biegetechnik, denn er nahm die Hilfe der Junkerswerke in Anspruch, die ein beträchtliches „Know-how" bei der Produktion von Möbeln aus Leichtmetallrohren und Blechen für die Ausstattung von Flugzeugen und Luftschiffen entwickelt hatten.

Marcel Breuer (1902-1981), Leiter der Tischlerwerkstatt am „Bauhaus" in Dessau entwarf den Prototyp dieses vielkopierten "B3" bzw. "Wassily". Auch nach über 75 Jahren ein Klassiker moderner Wohnkultur.

Abbildung: Vitra Design Museum

Breuer entwarf und baute zunächst „aus stahlblech gebildete corpusmöbel", die er 1927 auf der Weißenhof-Ausstellung im Hause des berühmten Architekten Peter Behrens zeigte. Er arbeitete auch mit Duraluminium. Aber seine Klassiker waren „aus stahlrohr konstruierte skelettmöbel", die er auf der Weißenhof-Ausstellung in dem von seinem Entdecker und Vorgesetzten am Bauhaus, Walter Gropius, einem der einflussreichsten Gestalter der modernen Architektur, geschaffenen und gleichzeitig drolligerweise in dem von seinem Konkurrenten Mart Stam entworfenen Haus präsentierte. Breuers Möbel konnte man auch kaufen. Es wurden mehrere Varianten angeboten. Neben verschiedenen Stoffbespannungen durfte man zwischen drei Qualitäten der Oberflächenbehandlung des Stahlrohres entscheiden, das, im Rohzustand belassen, ob seiner Hässlichkeit absolut unverkäuflich gewesen wäre. „Gestrichen" war die preislich günstigste Variante, es folgte „vernickelt" und am teuersten: „verchromt". Das Publikum entschied sich mehrheitlich für das Chrom, so dass wir heute die Epoche der Stahlrohrmöbel als die Hochblüte des Chroms sehen, obwohl so gut wie immer auch das mattere „vernickelt" im Angebot blieb.

Den verchromten Stahlrohrmöbeln Marcel Breuers war stilistisch ein ungeheurer Erfolg beschieden, nicht zuletzt, weil sich eine Vielzahl der später so berühmten Architekten und Gestalter wie Ludwig Mies van der Rohe und Le Corbusier – um nur die prominentesten unter einigen Dutzend weiteren zu nennen – der neuen Technik gestalterisch annahmen. Auch kam es zu Großproduktionen, weil die altbekannte, ursprünglich auf Buchen-Bugholz-Möbel spezialisierte Firma Thonet sich der Produktion von Stahlrohrmöbeln zuwandte.

DOCH DIE STAHLROHRMÖBEL gerieten in den Strudel der Geschichte. Stahl, Chrom und Glas – häufig in Gestalt des frühen Kunststoffes „Plexiglas" –, entwickelten sich zum Hauptstilelement des besonders von den amerikanischen Designern Walter Dorwin Terague, Raimond Loewy sowie Donald Desky, neben vielen anderen propagierten Produktdesigns „Streamlining" und dem von glänzendem Chrom, aber auch von Aluminium, beherrschten „Modern Stile". Vor allem die extravaganten, mit Glas und Chrom ausgestatteten „Sets" der Hollywoodfilme machten den „Modern Stile" international populär und wurden in der Welt zum bewunderten und beneideten Symbol des „American Dream".

Doch keineswegs alle wollten ihn mitträumen. Den Nationalsozialisten war aufgefallen, dass viele der an dieser stilistischen Entwicklung beteiligten Designer mosaischen Glaubens waren, so war Marcel Breuer ungarischer Jude und lehnten daher Stahlrohrmöbel konsequent ab. Zwar hatte es zu Beginn des Dritten Reichs durchaus Kontakte zwischen den Resten des verfemten Bauhauses und der Reichsregierung gegeben, doch bevorzugte Albert Speer als Chefarchitekt Hitlers schließlich kernige deutsche Eiche. Für den luftig leichten Stil der „Moderne", der als Teil einer „jüdischen Weltverschwörung" gesehen wurde, hatte man kein Verständnis. Dies hat zur Folge, dass man aus Fotos von deutschen Wohnungsinterieurs dieser Zeit schnell auf die politische Gesinnung des Wohnungsinhabers schließen kann.

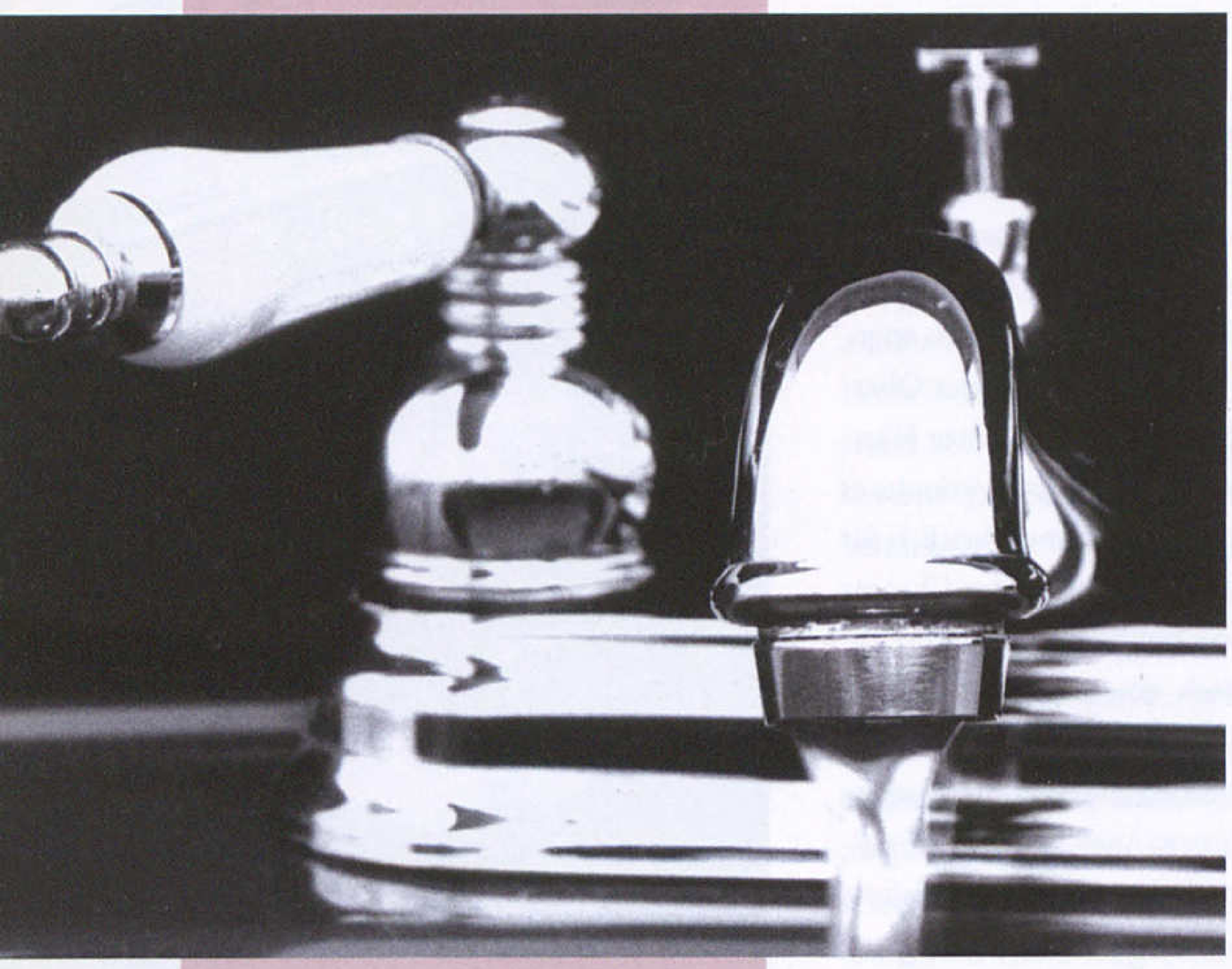
AUCH IN JÜNGERER ZEIT wurden und werden noch Stahlrohrmöbel neu entworfen, wenn auch vielfach die eingesetzten Rohre andere, häufig dünnere Querschnitte aufweisen als Mart Stams Gasrohrklassiker, so Pascal Mourgues Stuhl „Rio" von 1991 und Marco Marans Stuhl „Sinue" von 1995. Besonders auffällig sind leichte konstruktive Änderungen, offenbar zum Zwecke der Patentumgehung ersonnen, wie beispielsweise Alessandro Mendinis „Redisigned (!) Wassily Armchair" von 1978.

Der französischen Modeschöpferin Coco Chanel verdankt die Damenwelt nicht nur das „kleine Schwarze", sondern auch die Entwicklung des zum jeweiligen Kleid passenden „Modeschmucks", des „bijou de couture", aus nicht ganz so edlem Material. Wie immer belebt Konkurrenz das Geschäft, und da Coco Chanels große Konkurrentinnen Elsa Schiaparelli und Madeleine Vionnet sich auch dem Modeschmuck zuwandten, traten z.B. die außergewöhnlich schönen Ketten aus dem Kunststoff Galalith und Chrom der französischen Manufaktur Auguste Bonaz einen einzigartigen Siegeszug an. Dank des gestalterischen Einflusses des Bauhauses verlief die

Pure Angabe: Die funkelnde Heckflosse eines amerikanischen Straßenkreuzers.

3. Verfahren zur Gewinnung: Technisch durchführbar, aber in großen Mengen hinsichtlich der Sicherheit reichlich problematisch, ist das Thermitverfahren nach Th. Goldschmidt, in dem Chromoxid mit Aluminium zu metallischem Chrom reduziert wird. Jeder Student der Chemie kennt diese Reaktion, wenn auch meist nur mit Eisen, als einen der eindruckvollsten und gefährlichsten Vorlesungsversuche. Zum Glück ist es in der Praxis am einfachsten, in galvanischen Bädern mit zum Teil äußerst trickreichen Zusammensetzungen unedle Metalle elektrolytisch mit Chrom zu überziehen. In der Abteilung Chemie des Deutschen Museums kann man eine Demonstration zur Verchromung, nebst Erläuterungen und Beispielen, wie einem Motorrad, sehen.

Abbildung: Ed Hughes



Nutzloser Glanz? Chromierte Armaturen gehören heute zur Standardausstattung von Bad und Küche.

OTTO KRAETZ, Honorarprofessor, Dr.rer.nat.Dipl.chem., war über drei Jahrzehnte Mitarbeiter des Deutschen Museums. Er ist Verfasser mehrerer Bücher und zahlreicher Artikel insbesondere über die Geschichte der Chemie.

Entwicklung in Deutschland zunächst ähnlich. Die asymmetrisch abstrakt-verspielte Formensprache des Bauhauses fand sich auch auf deutschen Modeschmuckprodukten aus Kunststoff und Chrom, wenn auch von vornherein nicht so zahlreich wie in Frankreich und auch England. Die offiziellen Organe „deutscher" Goldschmiede forderten schon früh, dass jeder „expressionistische Entwurf" von jedem Wettbewerb auszuschließen sei. Da „deutsch" in erster Linie „symmetrisch" bedeutete und da man aus Chromstählen auch Granaten machen kann, wurde die Produktion von Chrom-Modeschmuck nach 1933 nahezu vollständig eingestellt.
Chrom kann aber auch ein Begleiter des Luxus sein. Das Bauhaus und seine Anhänger wurden, und dies entsprach durchaus zeitweilig seiner Intention, einer „sozialistischen" Grundhaltung verdächtigt. Die im Rahmen des „Art deco", dem Nachfolger des Jugendstils, entstandenen Schöpfungen der französischen Firma Jacques-Emile Ruhlmann – um wenigstens ein Beispiel zu nennen –, sind über dergleichen Verdächtigungen mehr als erhaben. Ruhlmanns opulente Entwürfe für schwerste Edelholztische, deren dunkle Platten auf breiten verchromten Stahlreifen ruhten, seine riesigen porzellanen Sèvres-Vasen, montiert auf monumentalen verchromten Stahlfüßen, die in der I. Klasse des Ozeandampfers „Ile de France" als Deckenstrahler dienten, aber auch seine hell leuchtend verchromten Beschläge auf Möbeln aus dunkelsten, edlen und möglichst seltenen Tropenhölzern sind noch heute Legende.

JEDE BETRACHTUNG DER GESCHICHTE des Chroms wäre völlig unvollständig, würde man sich nicht mit der einzigartigen Rolle dieses Metalls im Automobil- und Motorradbau auseinander setzen. Noch in den 30ern des 19. Jahrhunderts glänzten Autos eher dezent. Die Vernickelung beschränkte sich häufig auf die Kühlerfigur und – soweit von außen sichtbar –, die Hupen und die Fassungsringe der Lampen. Aus völlig unbegreiflichen Gründen begann schon Mitte der Vierziger das Chrom Kühler und Heck amerikanischer Automobile zu überwuchern, die dann bis in die 60er immer breiter und länger wurden. Auf dem Höhepunkt dieser Entwicklung Mitte der 50er bis Ende der 60er mutierte der Kühlerschmuck amerikanischer Straßenkreuzer – in Europa teils spöttisch, teils neidisch „Ami-Schlitten" genannt – zu stilistisch schwer bestimmbaren neobarocken Chromorgien –, gestalterisch häufig ein abstruses Mittelding zwischen reißzahnbewehrtem Haifischmaul und Doppelrammsporn. Das sich auslängende Heck wurde mit flugzeug- beziehungsweise raketenähnlichen Heckflossen versehen – bei den auf amerikanischen Überlandstraßen erlaubten geringen Geschwindigkeiten megaüberflüssig! Diese Flossen endeten in einem zweiten Chromgebirge, das eindrucksvollst in einer stilistisch schwer beschreibbaren Formensprache die Rückleuchten umfing. Die zu Sauriern aufgeblähten Riesenautos hatten faszinierende Fahreigenschaften. Einmal in Drehbewegung zeigte das Heck dem Fahrer, welche physikalische Bedeutung dem Drehmoment zukommt. Das Fahren auf Schnee und Eis gewann so beträchtlich an sportivem Reiz. Zahlreiche Hersteller von Zubehör boten Zusatzfederungen und -stoßdämpfer an, um bei Schaukelbewegungen des Fahrzeugs das Aufprallen des Hecks auf der Straßenpflasterung ebenso zu minimieren wie das Kippen der superschweren, weichst gefederten Karosse auf dem Fahrgestell. Das heißt, Fahren mit Chrom macht Spaß, aber eher dem Auge. Wiewohl nicht wirklich ganz frei von Chrom, bereiteten europäische Kleinwagen der Firmen VW und Renault der amerikanischen Mode ein Ende. Moderne Wagen zeigen auf Außenflächen kaum Chrom. Putz- und polierwütigen Liebhabern von Schönwetterfahrten mit Sinn für Symphonien in Chrom sei dringendst der Erwerb einer älteren Harley-Davidson ans Herz gelegt.

Sollte der geneigte Leser den Verfasser dieser Zeilen aber fragen wollen, was man eigentlich vom Chrom hat? Ehrlich – er weiß es auch nicht !

Abbildung: Daniel Norman

Interview

Carl-Otto Gensch: „Die Bilanz zählt!“

Es gibt keine umweltfreundlichen Werkstoffe, meint Carl-Otto Gensch vom Öko-Institut. Und nicht immer sind Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen die bessere Wahl.

Gibt es einen erkennbaren Trend zu ökologisch verträglicheren Materialien, oder spielt dieser Aspekt auch in der aktuellen Forschung eher eine untergeordnete Rolle?
Es gibt sicher erkennbare Trends zu ökologisch verträglicheren Materialien; so beginnt beispielsweise in Folge der europäischen Richtlinien zu Elektro- und Elektronikgeräten zur Zeit eine intensive Neubelebung der Forschung und Entwicklung hin zu einem „Design for Environment“ in dieser Branche. Klar ist aber auch, dass umweltverträglichere Materialien in einem vertretbaren Kostenrahmen liegen müssen, wenngleich hier eine verstärkte Produktverantwortung durch Hersteller und Vertreiber von Produkten dazu führt, dass bislang gesellschaftlich getragene Kosten - etwa für eine umweltverträgliche Entsorgung der Produkte - berücksichtigt werden. Dies kann in Folge auch zu einer Neubewertung vermeintlich teurer Materialien führen.

Was sind die wesentlichen Forderungen, die ein neuer Werkstoff erfüllen muss, um als umweltfreundlich zu gelten?
Es gibt keine umweltfreundlichen Werkstoffe; entscheidend ist, ob ein Werkstoff in einer festgelegten Anwendung gegenüber Alternativen insgesamt in einer Lebenswegbetrachtung eine aus Umweltsicht günstigere Gesamtbilanz aufweist. Wichtige Kriterien sind dabei Human- und Ökotoxizität, Beiträge zu globalen Umweltproblemen wie Treibhauspotenzial oder Ressourcenintensität oder Beiträge zur Versauerung von Böden und Gewässern etc.

Welche Chancen geben Sie Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen?
Nachwachsende Rohstoffe standen längere Zeit unter einem „Pauschalbonus“. Eigene Untersuchungen, aber auch andere Studien wie etwa die des Umweltbundesamts am Beispiel von biogenen Kraftstoffen haben gezeigt, dass bei näherer Betrachtung nachwachsende Rohstoffe nicht unbedingt umweltverträglicher sind im Vergleich zu konventionellen Rohstoffen. Es gibt auch Beispiele, wo der hohe Veredelungsgrad dazu führt, dass Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen wesentlich umweltbelastender als synthetische Materialien sind (Bsp. Viskose- versus Kunstfasern).

Welche Materialien, die wir heute in großem Stil verwenden (Stichwort: Computer/ LCD-Bildschirme etc.) sind besonders kritisch – in Hinblick auf Ökobilanz und Entsorgungsmöglichkeiten?
Die Herstellung elektronischer Baugruppen, wie sie heute nicht nur in Computern und Fernsehgeräten, sondern auch in jedem Haushaltgerät oder in Autos eingebaut sind, erfordert einen hohen Einsatz an – auch seltenen – Rohstoffen und ist in der Regel (Beispiel Chipproduktion) aufgrund der hohen technologischen Anforderungen sehr energieintensiv. Bislang können diese Produkte, da sie aus komplex zusammengesetzten Verbundwerkstoffen mit zum Teil umweltbelastenden Werkstoffen gefertigt werden – Stichwort Blei in Loten oder halogenhaltige Flammschutzmittel in Leiterplatten – nicht hochwertig recycelt werden. Die modernen Informations- und Kommunikationstechnologien tragen allerdings auch zur Einsparung von Ressourcenverbräuchen und zur Verminderung von Umweltbelastungen bei.

Wohin soll überhaupt der viele Müll, den die Wohlstandsgesellschaften in ungeheurem Maße produzieren?
Der „Müllnotstand“ der 80er und 90er Jahre des vergangenen Jahrhunderts besteht durch eine optimierte Abfallwirtschaft (Getrenntsammlung von Abfällen, verbesserte Behandlungs- und Entsorgungsanlagen) inzwischen so nicht mehr. An den grundsätzlichen Problemen unserer Konsumgesellschaft mit einem viel zu hohen Verbrauch an – ohne Zweifel effizienteren – Produkten hat sich allerdings kaum was geändert. Das Problem hat sich letztlich verschoben: vom nationalen Müllnotstand zur Frage nach einer globalen Gerechtigkeit bei knapper werdenden Ressourcen.

Was können wir tun, um die Vermüllung des Planeten zu verhindern?
Eine Mülltrennung mit einem ausgewogenen Maß zwischen Aufwand und Nutzen ist nach wie vor sinnvoll. Und neue Technologien sind – wenn man von Sonderfällen wie Nuklear-technologie absieht – nicht an sich „schädlich“ oder „problematisch“. Es kommt vielmehr darauf an, neue Technologien so zu entwickeln und einzusetzen, dass sie tatsächlich zur Lösung der drängenden globalen Probleme beitragen.

DIPL.-ING. CARL-OTTO GENSCH

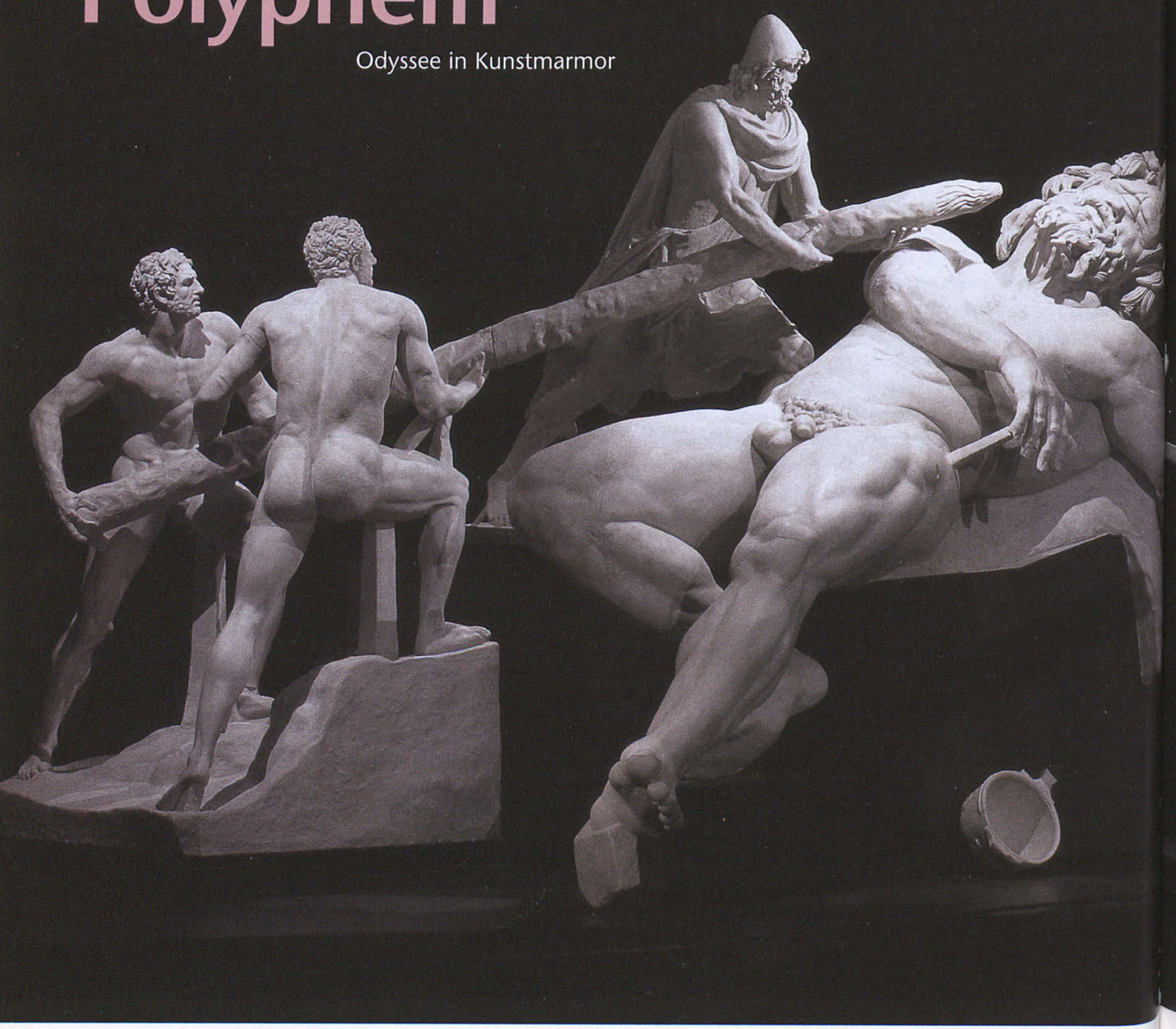
studierte Chemie-Ingenieur an den Technischen Universitäten München und Hamburg-Harburg. 1990 kam er als wissenschaftlicher Mitarbeiter zum Öko-Institut, Bereich Produkte & Stoffströme. Seit 2001 leitet er diesen Bereich.

Das Öko-Institut e.V. wurde 1977 im Zuge der Proteste gegen das KKW Whyl gegründet. Den Gründungsmitgliedern ging es um den Schutz der menschlichen Lebensgrundlagen. Die kleine Wissenschaftsschmiede ist heute eines der führenden Forschungsinstitute im Bereich der angewandten Ökologie. Es beschäftigt über 100 Mitarbeiterinnen und Mitabeiter an den Standorten Freiburg, Darmstadt und Berlin.
www.oeko-institut.org

Abbildungen: Photodisc; privat

Der wiedererstandene Polyphem

Odyssee in Kunstmarmor



Kleines Bild: Zur Abformung des Kopfes mit seinen vielen Hinterschneidungen im gelockten Haar waren mehrere Teilformen erforderlich.

Großes Bild: Die Blendung des Polyphem - in seiner heutigen Rekonstruktion eine Meisterleistung der Archäologen.

Abbildung: Wacker-Chemie GmbH

Ein epochales Kunstwerk hellenistischer Plastik entstand neu - mit Hilfe von Siliconkautschuk. In mühsamer, Jahrzehnte währender Arbeit haben Forscher die Figurengruppe des geblendeten Polyphem wieder zusammengeführt und abgeformt.

Von Bernard Andreae

Odysseus konnte seine Neugier nicht bezähmen. Er wollte wissen, wer in der Höhle wohnte, in der sich Kleinvieh, Schafe und Ziegen tummelten. Mit zwölf seiner Gefährten ging er hinein und fand Käse auf Darren, Lämmer in Pferchen, Gefäße voller Milch. Da verdunkelte sich der Eingang der Höhle und herein kam eine Riesengestalt, der einäugige Polyphem. Odysseus und seine Gefährten flohen in den innersten Winkel der Höhle. Doch zwei von ihnen griff der Riese und fraß sie.

ODYSSEUS SANN AUF RETTUNG. Mit Wein wollte er den Riesen betrunken machen, um ihm dann das Schwert in die Leber zu rammen. Doch als er den Rettungsplan noch einmal durchdachte, fragte er sich, wer den schweren Stein vom Höhleneingang wegschaffen sollte, mit dem der Riese die Höhle verschlossen hatte. Die Kraft dazu hatte nur der Riese selbst. Odysseus musste ihn also unschädlich machen, seine physische Kraft aber erhalten. So beschloss er, ihn nur zu betäuben und dann zu blenden.

Odysseus trat an den Riesen heran, reichte ihm einen Becher voll Wein und sagte: „Da, Kyklop, trink Wein, nachdem du das Menschenfleisch aßest." Der Riese trank einen Becher nach dem anderen, ein Gefährte füllte aus dem Weinschlauch nach. Schließlich sagte der immer betrunkener werdende Riese zu Odysseus: „Nenne mir Deinen Namen, dann will ich Dir auch ein Gastgeschenk geben." Odysseus erkannte seine Chance und sagte: „Niemand ist mein Name, Niemand nennen mich Mutter und Vater und alle Gefährten." Sollte der Riese später seine Artgenossen zu Hilfe rufen und erklären, niemand habe ihm ein Leids getan, dann würden diese unverrichteter Dinge davon gehen, wie es auch geschah. Der Riese antwortete: „Niemand, Dich werd' ich als letzten fressen, das soll dein Gastgeschenk sein." Dann fiel er betrunken nach hinten. Odysseus aber rief die Gefährten herbei, die den Ölbaumpfahl angespitzt und im Feuer geglüht hatten. Unter Aufbietung aller Kräfte lenken sie ihn ins Auge des Riesen.

DIE SAGE HAT WIEDER GESTALT ANGENOMMEN: Nach vierzig Jahren Arbeit an der – nur mit Hilfe anpassender Fragmente – rekonstruierten Polyphemgruppe von Sperlonga, wird sie inzwischen im Bochumer Museum der Öffentlichkeit präsentiert. Die Gruppe gehörte zu einer ganzen Odyssee in Marmor, einem Naturtheater, auf dem Odysseus in sechs Skulpturengruppen aus Marmor in den gefährlichsten Abenteuern wie ein lebendiger Held auftritt. Die Marmorgruppe stand ursprünglich in der Höhle des Kaisers Tiberius in Sperlonga, nahe Rom, und wurde dort von christlichen Mönchen im Jahre 511 mit der Spitzhacke zerschlagen.

In der endlich gelungenen Rekonstruktion stellt die Gruppe sich als ein epochales

Der Polyphem im Kautschukkleid. Auf die erste Kautschukschicht (weiß) folgen, je nach Stärke, zwei bis drei weitere (rosa). Zur Abformung des Körpers waren etwa 50 Teilformen erforderlich. Hier wird für die Bauchformung das Gipswiderlager abgenommen.

Kunstwerk hellenistischer Plastik dar. Es handelt sich dabei um die Marmorkopie eines verlorenen Bronzeoriginals aus der Zeit des Pergamonaltares (um 160 v. Chr.). Kaiser Tiberius (4/14-37 n. Chr.) beauftragte das rhodische Bildhaueratelier, das auch die Laokoongruppe aus dem Marmor gehauen hatte, die natürliche Grotte bei seiner Villa in der Nähe von Sperlonga mit den Skulpturen aus Marmor auszustatten. Die Skyllagruppe, Mittelpunkt bedeutender Ausstellungen in Rom und München, war mit Unterstützung und mit Material des Wacker-Konzerns schon 1996 rekonstruiert worden.

IM JAHR 1998 WURDE DER DRITTE VERSUCH unternommen, die schon 1957 in der Höhle von Sperlonga ausgegrabenen Fragmente der Polyphemgruppe abzuformen und wieder zusammenzusetzen. Unterstützt wurde das Vorhaben durch den Wacker-Konzern, die Fritz-Thyssen-Stiftung und die Alfred-und-Cläre-Pott-Stiftung.

Die Aufgabe war außerordentlich schwierig, weil die Ikonoklasten ganze Arbeit geleistet und die Gruppe in Tausende von kleinen und kleinsten Fragmenten zerschlagen hatten. Die mühsame Puzzlearbeit dauerte Jahrzehnte. Lücken blieben dort, wo Marmorfragmente spurlos verloren waren, weil sie zu Kalk gebrannt wurden. Diese Lücken galt es zu schließen, um die Gesamtkomposition des bedeutenden plastischen Werks zurückzugewinnen.

Für die beiden vorhergehenden Versuche standen noch nicht genügend Fragmente zur Verfügung. Diese wurden erst bei einer erneuten, gezielten Durchsuchung der verschiedenen Magazine der Ausgrabungen von Sperlonga identifiziert und angepasst. Absolut entscheidend war dabei ein Fragment, das nur auf einer Bruchfläche von zwei Quadratzentimetern mit dem anpassenden

ANZEIGE

Ob die Pietà im Sankt-Peters-Dom, das Steuben-Denkmal in Washington, die Höhlendecke in Altamira, der Telephosfries im Pergamonmuseum in Berlin – völlig naturgetreue Kopien weltberühmter Kunstwerke sind vom Original nicht zu unterscheiden. WACKER SILICONES bietet mit der Produktreihe ELASTOSIL® M innovative Lösungen an, die auch höchste Anforderungen der Anwender aus Industrie, Handwerk und Museen erfüllen. Besuchen Sie WACKER im Internet: **www.wacker.com**

INTELLIGENT INDUSTRY SOLUTIONS

Wacker-Chemie GmbH, SILICONES INFO-SERVICE
Tel. 0800 6279-800, Fax: +49 89 6279-2888, silicones@wacker.com

Abbildung: Wacker-Chemie GmbH

Fragment verbunden werden konnte. Dieses selbst aus vier kleineren Fragmenten zusammengefügte Fragment einer vierkantigen, etwa dreißig Zentimeter langen Stütze verbindet die Hüfte des Riesen mit dem kleinen Finger seiner rechten Hand und fixiert damit die Bewegung der Riesenfigur im Raum, von der Zehe seines linken Fußes bis zur rechten Schulter. Ohne diese sichere Anpassung hätte man die Gruppe niemals richtig rekonstruieren können.

DER RIESENLEIB DES SINNLOS BETRUNKENEN liegt zurückgesunken auf dem Felsensitz, über den der linke Arm herabgefallen ist. Der rechte Arm liegt quer über dem Leib, dessen unterer Teil durch ein anpassendes Fragment gesichert ist. Der Oberkörper ist zwar völlig verloren, doch kann der Oberkörper eines sitzenden Polyphem von gleicher Größe im Römischen Nationalmuseum Palazzo Altemps eine Vorstellung davon geben. Nur mit einer entsprechenden Drehung in den Weichteilen konnte ein Abguss dieses Oberkörpers in die Rekonstruktion der Gruppe eingefügt werden. Für die Abformung wurde Siliconkautschuk verwendet, der eine exakte Wiedergabe garantiert.

Durch diese Bemühungen konnte zunächst der Kopf des Riesen aus über hundert anpassenden Fragmenten fast vollkommen rekonstruiert werden. Die wenigen verbliebenen Lücken wurden nach dem Vorbild eines stilistisch und motivisch eng verwandten Polyphemkopfes in Boston durch den Bildhauer Silvano Bertolin geschlossen, dem auch die Abformung aller Teile und die Zusammenfügung der Fragmente verdankt wird. Nachdem die Rekonstruktion des Kopfes vollendet war, konnte dieser mit dem Körper verbunden und die ganze Figur dann in die Gesamtrekonstruktion der kolossalen Gruppe eingefügt werden. Hilfreich war dabei eine antike Darstellung der Gruppe in einem römischen Sarkophagrelief in Catania.

Die Gruppe bietet sich nun wieder in einer überzeugenden, nur aus anpassenden Fragmenten rekonstruierten Fassung dar. Der Schöpfer hat, wie Lessing es bei der Laokoongruppe beschrieb, einen fruchtbaren Augenblick ausgewählt, welcher der Einbildungskraft freies Spiel lässt.

Während ich bei den früheren Rekonstruktionen von der unbewiesenen Voraussetzung ausging, der Pfahl müsse in diesem Augenblick unaufhaltsam in Richtung des einen Auges des Kyklopen gestoßen werden, zeigte die neuerdings gelungene Auffindung der beiden Arme des Odysseus, dass dieser den Pfahl vorsichtig in Richtung des Auges des Riesen lenkt. Die Phantasie soll weitereilen, und man soll sich vorstellen, dass die beiden Gefährten, die mit dem Pfahl nach oben steigen, diesen auf das Niveau heben, auf dem Odysseus steht, so dass man den Pfahl schräg von oben zustoßen kann, also ähnlich, wie Homer es beschreibt.

STILISTISCH IST DIE POLYPHEMGRUPPE dem Pergamonaltar nächst verwandt. Das Bronzeoriginal dürfte also wie dieser um 160 v. Chr. zu datieren sein. In Sperlonga wurde die Gruppe zwischen 4 und 26 n. Chr. in Marmor kopiert. Eine zweite Kopie der Zeit zwischen 124 und 130 n. Chr. stand in der Villa Hadriana bei Tivoli in der römischen Campagnia. Von ihr stammen die Repliken der in Sperlonga verlorenen Köpfe der den Pfahl tragenden Gefährten. Schließlich wurde die Gruppenkomposition auch auf dem Sarkophagrelief von Catania wiederholt. Die Tatsache, dass die Gruppe dort sehr ähnlich aussieht wie die von H. Schroeteler und Silvano Bertolin nach meinen Angaben neu erarbeitete Rekonstruktion, kann als Neunerprobe für die Richtigkeit derselben angesehen werden. ■■

Nach dem Guss: Professor Andreae legt die Positionierung der Figuren fest. Odysseus hängt noch am Flaschenzug, sein Pfahl muss das Auge des Polyphem treffen.

PROF. DR. BERNARD ANDREAE,
Archäologe, ist Initiator und wissenschaftlicher Leiter der Rekonstruktion; viele Jahre Chef des Deutschen Archäologischen Instituts in Rom, Verfasser bedeutender kulturhistorischer Werke und lehrt heute in Rom.

Aus: Wacker Werken + Wirken Sonderdruck.
Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der Wacker-Chemie GmbH.

Abbildung: Wacker-Chemie GmbH

Von der Atombombe zur Bratpfanne

Teflon – die glatteste Substanz der Welt

Inzwischen dürfte es sich herumgesprochen haben: die berühmte Teflonpfanne verdanken wir keineswegs der Raumfahrt. Das erste Exemplar der segensreichen Erfindung konnte man bereits 1954 in Frankreich kaufen, vier Jahre bevor Sputnik 1 die ersten Signale aus der Erdumlaufbahn sandte. Heute erobert sich das Material unter den Handelsnamen Teflon, Fluon, Hostflon oder auch Gore-Tex immer wieder neue Anwendungsgebiete.

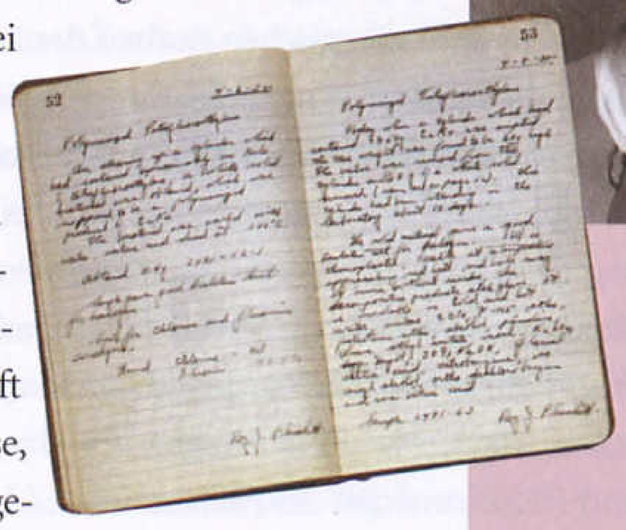
Von Martin Schneider

Große Entdeckungen geschehen häufig durch kleine Zufälle. Und genau durch einen solchen wurde in den 1930er Jahren auch das Beschichtungsmaterial Polytetrafluorethylen (PTFE), bekannter unter dem Namen „Teflon", entdeckt. Hätte sich ein Chemiker vorgenommen, eine solche Wundersubstanz zu erfinden, er wäre vermutlich in seiner Zunft für größenwahnsinnig erklärt oder zumindest als weltfremd belächelt worden: Beständigkeit gegen fast alle Chemikalien, gleichbleibende Gebrauchseigenschaften von minus 200 bis plus 280 Grad Celsius, hervorragende elektrische Isoliereigenschaften, keinerlei Feuchtigkeitsaufnahme und nicht zuletzt der niedrigste Reibwert aller festen Stoffe, der sie zur „glattesten" Substanz der Welt macht. Tatsächlich wurde die Wundersubstanz nicht zielgerichtet entwickelt, sondern zufällig entdeckt – bei der Suche nach einem neuen Kältemittel für Kühlschränke.

Abbildung: Luis Lotax

DIE BIS IN DIE 1930ER JAHRE in Kühlschränken eingesetzten Kältemittel wie Ethylen, Ammoniak oder Schwefeldioxid neigten leider dazu, sich über kleine Lecks in der Küche auszubreiten. Diese hochexplosiven, giftigen oder zumindest bestialisch stinkenden „Nebenwirkungen" ließen so manche Hausfrau der damaligen Zeit den Fortschritten der Technik doch eher distanziert gegenüberstehen.

Um den Absatz von Kühlgeräten voranzubringen, brauchte man dringend neue Kältemittel. Forscher bei General Motors, die seinerzeit nicht nur Autos, sondern auch Kältemaschinen entwickelten, stießen dabei auf eine wahrhaft ideale Substanzklasse, farb-, geruch- und geschmacklos, ungiftig und nicht brennbar: die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Dass sie in den oberen Schichten unserer Atmosphäre die Ozonschicht zerstören, sollte sich erst ein halbes Jahrhundert später herausstellen. General Motors gründete ein Joint Venture mit DuPont zur Herstellung von „Freon", chemisch Tetrafluordichlorethan. Einziger Kunde der Substanz durfte aus patentrechtlichen Gründen die Frigidaire-Abteilung von General Motors sein – ein höchst unbefriedigender Zustand für DuPont. In den Jackson-Laboratorien von DuPont in der Nähe von Philadelphia bekam daher ein junger Chemiker den Auftrag, nach anderen Kältemitteln zu suchen, die das General-Motors-Patent umgehen würden. Roy Plunkett war gerade 27 Jahre alt und hatte erst zwei Jahre zuvor seinen Doktor gemacht, das Kältemittelprojekt war sein erster größerer Auftrag für den Chemiemulti.



Plunkett wollte aus Tetrafluorethylen und Salzsäure einen neuen FCKW herstellen. Er legte sich einen enormen Vorrat mit Tetrafluorethylen an – fast einen Zentner, abgefüllt zu Portionen von knapp einem Kilo in kleinen Stahlflaschen von der Größe einer Haarspraydose. Plunkett lagerte das kostbare Gas bei Trockeneistemperaturen von etwa minus 80 Grad. Bei diesen Temperaturen war das Gas flüssig und der Druck in der Flasche gering – und damit auch die Gefahr, dass kleine Mengen des Gases durch undichte Ventile verloren gingen.

In verschiedenen Versuchsanordnungen wollte Plunkett das Chlor der Salzsäure dazu bringen, sich mit dem Tetrafluorethylen zu verbinden. Am Morgen des 6. April 1938 allerdings störte ein Zwischenfall die Routine. Eine Flasche gab nach Öffnen des Ventils kein Gas von sich, obwohl ihr Gewicht darauf hindeutete, dass sie noch voll sein musste. Mehr aus Neugier denn aus Forschungsdrang sägten Plunkett und seine Kollegen den Behälter auf – und fanden an der Innenwand einen wachsartigen weißen Niederschlag. Die einzelnen Moleküle des Gases hatten sich offensichtlich zu langen Ketten verbunden, waren also spontan polymerisiert.

Plunkett machte in den nächsten Tagen ein paar chemische Tests mit der Substanz. Trotz aller Bemühungen blieb der Stoff völlig unbeeindruckt von allem, was man mit ihm chemisch anstellte – er reagierte mit keiner anderen Substanz, schien völlig „inert" zu sein, wie Chemiker sagen. Selbst Königswasser, das teuflische Gemisch aus Salz- und Salpetersäure, in dem sich sogar Gold auflöst, vermochte dem Fluorpolymer nichts anzuhaben. Für einen Industriechemiker ist das zwar interessant, aber unter Anwendungsaspekten nicht unbedingt erfreulich, da man mit einem solchen Stoff wenig anfangen kann. Und als Kältemittel taugte der neue Feststoff schon gar nicht.

Eigentlich also ein ärgerlicher Fehlschlag. Dennoch probierte Plunkett, die Bedingungen, die zur Polymerisation geführt hatten, zu reproduzieren – wer weiß, wozu man die Substanz noch einmal brauchen könnte. Nachdem ihm dies gelungen war, reichte er ein Patent für sein Herstellungsverfahren ein, das seiner Firma 1941 zugesprochen wurde.

Die Polymerabteilung von DuPont, der kurz zuvor die Entwicklung von Nylon und Neopren gelungen war, experimentierte noch eine Weile mit dem neuen Material, um seinen Eigenschaften auf die Spur zu kommen, vielleicht sogar eine Anwendung und ein ökonomisches Herstellungsverfahren zu finden. Die Eigenschaften der neuen Substanzen, so

In seinem Labortagebuch notierte Roy Plunkett die zufällige Entdeckung eines neuen Materials, das später als Teflon bekannt wurde. Reichtum brachte ihm die Erfindung nicht. Das Patent gehörte der Firma, bei der er beschäftigt war.

Fluorkohlenwasserstoff (FCKW) sind Kohlenwasserstoffe mit Chlor und Fluoratomen. Diese Stoffe haben sich als Hauptverursacher für die Zerstörung der lebensnotwendigen Ozonschicht in der Stratosphäre herausgestellt. Als Treibgas steigen sie bis in die Ozonschicht und spalten dort durch die starke UV-Strahlung Chloratome ab. Diese entreißen dem Ozonmolekül ein Sauerstoffatom und oxidieren zu Chloroxid: Dieses zerfällt danach wieder in ein Chloratom und Sauerstoff. Da das Chlor nach dieser Reaktion wieder unverändert vorliegt, kann es erneut ein Ozonmolekül angreifen. Auf diese Weise kann ein einziges Chloratom bis zu 100 000 Ozonmoleküle zerstören!

Abbildungen: DuPont

Eigentlich wollten Roy Plunkett (rechts) und seine Mitarbeiter einen neuen FCKW herstellen. Doch statt einem Gas entstand eine neue Substanz. Auf dem Foto stellen Plunkett und seine Mitarbeiter nach, wie sie am 6. April 1938 - aus purer Neugierde - die Versuchsflasche aufsägten, an deren Wänden sich die neue Substanz angelagert hatte.

zeigten ausgiebige Tests, waren tatsächlich frappierend. Plunkett selbst hatte ja schon die chemische Unangreifbarkeit dokumentiert. Nur einige flüssige Alkalimetalle hinterließen Spuren. Überdies ließen die Substanz Temperaturen von plus 260 ebenso kalt wie die von minus 270 Grad Celsius – kurzfristig waren auch über 500 Grad kein Problem. Seine hohe dielektrische Konstante macht Teflon auch als Isolator unübertroffen. Und dann ist da noch die Eigenschaft, der Teflon letztendlich seine allgemeine Berühmtheit verdankt: Teflon gilt als die „glatteste" Substanz der Welt – wissenschaftlicher ausgedrückt: sein Reibungswert von 0,03-0,15 ist der niedrigste aller festen Werkstoffe.

VERANTWORTLICH DAFÜR – und im Prinzip für die gesamte Unangreifbarkeit der Substanz – ist das geringe Adhäsionsvermögen von PTFE. Das wiederum erklärt sich aus dem chemischen Aufbau des Moleküls. PTFE ist ein lang gezogenes Molekül aus Fluor- und Kohlenstoffatomen, deren Bindungen untereinander sehr stark sind. Dadurch sind die Wechselwirkungen zwischen PTFE und anderen Molekülen, etwa denen eines Spiegeleis, sehr gering.

Die Entwicklung eines großindustriell einsetzbaren Polymerisationsverfahrens erwies sich allerdings als schwierig. Nach langem Probieren fand man eine kontrollierbare Herstellungsweise; die war jedoch so teuer, dass an eine Umsetzung nicht zu denken war. Trotz seiner durchaus viel versprechenden Eigenschaften verschwand PTFE zunächst im Firmenarchiv – bis zum Jahr 1943, als die Väter der Atombombe bei ihrem Manhattan Project vor unlösbaren Problemen standen. Um das für die Kernspaltung nötige hochangereicherte Uran herzustellen, mussten sie mit Uranhexafluorid experimentieren – einem extrem korrosiven Stoff, der alle Behälter und Leitungen, mit denen er in Berührung kam, binnen kürzester Zeit zerstörte. DuPont war für den Bau der Anreicherungsanlage zuständig. Bei der Suche nach einem Material zum Schutz der Behälter und Leitungen erinnerte man sich der eigenartigen Substanz, die sich sämtlichen chemischen Angriffsversuchen widersetzt hatte.

UM HERAUSZUFINDEN, wie sich PTFE verarbeiten lassen könnte, mussten die Verfahrenstechniker allerdings Nachtschichten einlegen. Das Polymer ließ sich durch keine der gängigen Methoden wie Schmelzen oder Extrudieren in Form bringen. Und wie sollte man darüber hinaus eine Substanz, an der nichts haftet, dazu bringen, an irgendetwas zu haften, sprich: sie auf ein Substrat aufbringen?

Nach langem Probieren fanden die Ingenieure mehrere Möglichkeiten. Zum Formen borgten sie sich eine Technik aus der Pulvermetallurgie – die Sinterung. Dabei wird das PTFE-Pulver verdichtet und unter Erhitzung unterhalb des Schmelzpunktes quasi in Form „gebacken". Was das Aufbringen auf ein Substrat angeht, fanden sich ebenfalls Lösungen. So lassen sich zum Beispiel mit speziell hergestellten Lösungsmitteln einzelne Fluoratome aus der Teflon-Oberfläche herauszulösen. An die dünne Schicht freiliegender Kohlenstoffatome können herkömmliche Klebstoffe binden. Und später gelang sogar die Herstellung spezieller Klebemittel auf Fluorkohlenstoffbasis, die sowohl an Teflon als auch an metallenen Oberflächen banden.

Nachdem diese Probleme zumindest ansatzweise gelöst waren, fuhr DuPont die Produktion von „K416", wie PTFE nun im Code hieß, hoch, um genügend davon für die Forscher des Manhattan Projects liefern zu können. Ab 1943 schützte eine Teflonschicht die Behälter und Rohrleitungen der Atomforscher.

Nach dem Krieg, im Jahre 1948, begann die Firma mit der kommerziellen Produktion der Substanz, für die erst jetzt der Kunstname „Teflon" ersonnen wurde (vermutlich eine lautmalerische Version der Abkürzung TFE.). Seine Unangreifbarkeit machte Teflon zum idealen Material für Dichtungen und Beschichtungen aller Art. Das Material ist nicht nur extrem chemikalien- und temperaturbeständig; es nimmt auch keinerlei Feuchtigkeit auf und quillt damit nicht. Teflon-

Abbildung: DuPont

gleitlager lassen sich wegen des niedrigen Reibwertes und der großen Hitzebeständigkeit trocken, das heißt ohne weitere Schmierung, betreiben. Aufgrund seiner elektrischen Eigenschaften ist Teflon darüber hinaus auch ein ideales Isolationsmaterial.

ALS DER WETTLAUF INS WELTALL BEGANN, griffen auch die NASA-Ingenieure dankbar die Erfindung Roy Plunketts auf. Vom Explorer 1, dem ersten amerikanischen Satelliten aus dem Jahre 1958, bis zum heutigen Space-Shuttle haben Teflon und seine Derivate die Geschichte der amerikanischen Raumfahrt begleitet – als Kabelisolierung, Hitzeschutzkachel oder als Schutzschicht auf den Raumanzügen. Die Apollo-Mondlandefähren hatten mehrere Hundert Kilo Teflon an Bord; selbst die Sammeltüten für Mondgestein waren daraus gefertigt.

Und damit zur berühmten Teflonpfanne, von der es vereinzelt immer noch heißt, wir verdanken sie der Raumfahrt. Tatsächlich aber gab es sie schon vier Jahre, bevor die NASA ihren ersten Satelliten ins All schoss. Anfang der 1950er Jahre hörte der Pariser Chemiker Marc Gregoire von der schlüpfrigen Substanz. Als passionierter Angler hatte er ein Problem, das durch Teflon, wenn auch nicht völlig gelöst, so doch deutlich verkleinert wurde. Immer wieder ärgerte sich Gregoire über völlig verhedderte Angelschnüre. Eine hauchdünne Teflonschicht auf der Schnur half beim Entwirren.

Und die Pfanne? Die Idee dazu, so will es die Anekdote, kam seiner Frau Colette. Gregoire, der zu Küchenutensilien bisher keine größere Affinität bewiesen hatte, gründete eine neue Firma, mit der er ins Pfannengewerbe einstieg. Unter dem Namen „Tefal" produzierte Gregoire binnen weniger Jahre über eine Million Pfannen und Töpfe mit der Antihaftbeschichtung, zunächst nur in Europa. Mit etwas Verspätung gelang es dann, die neuartigen Küchenutensilien auch im Heimatland der Wundersubstanz, den USA, zu vermarkten.

DIE ENTDECKUNGSGESCHICHTE rund ums Teflon aber war damit noch nicht beendet. Gore-Tex beispielsweise ist nichts anderes als eine hauchdünne Teflonmembran, die zwar wasserdicht ist, Wasserdampf allerdings durchlässt. Schutz vor Regen und dennoch atmungsaktiv: für alle erdenklichen Arten von Outdoor-Aktivität war Gore-Tex ein wahres Traummaterial, das als Membran in Oberbekleidung oder in Schuhen eingesetzt wird. Das Geheimnis der Teflonmembran besteht aus winzigen Löchern – fast unglaubliche 1,5 Milliarden pro Quadratzentimeter. Wasser in Tropfenform kann sich wegen seiner Oberflächenspannung nicht durch die Löcher zwängen; Wasserdampf aber, wie er von der schwitzenden Haut aufsteigt, besteht aus einzelnen H_2O-Molekülen, die die Poren passieren können.

Gore-Tex ist allerdings nicht nur ein effektiver Schutz gegen Nässe – vielen Millionen Menschen steckt das Material auch unter der Haut. Seine unangreifbaren Eigenschaften machen es ideal für Implantate. Künstliche Gelenke oder Herzklappen werden aus Gore-Tex gefertigt, aber auch Inletts für verkalkte Arterien oder komplette Bauchschlagadern haben die Chirurgen auf Lager.

Gerade im Textilienbereich sorgt Teflon immer wieder für Überraschungen. Eine Art Teflonimprägnierung sorgt schon seit längerem bei manchen Textilien für eine gewisse Schmutzresistenz. Kürzlich aber gelang die Herstellung von Kleidungsstücken, bei denen jeder einzelne Faden mit Teflon ummantelt ist. Selbst ein Glas Rotwein, auf die Hose verschüttet, hinterlässt keine Flecken.

ROY PLUNKETT ÜBRIGENS, der durch seine Zufallsentdeckung im Jahre 1938 den Grundstein für Antihaft-Pfannen, Klimamembranen, Arterieninletts und rotweinresistente Hosen legte, hatte nach Einreichung des Patents 1941 nichts mehr mit der Wundersubstanz zu tun. Bis zu seiner Pensionierung im Jahre 1975 war er in wechselnden Positionen bei DuPont tätig, zuletzt als Produktmanager für den Bereich organisch-chemische Erzeugnisse. 1994 starb er 83-jährig in Corpus Christi, Texas. Außergewöhnlichen Reichtum hat ihm seine Entdeckung allerdings nicht gebracht: das Teflonpatent gehörte der Firma. ■

Abbildung: Bradley Mason

Teflonbeschichtet gleitet das Bügeleisen nahezu reibungslos über den Stoff.

MARTIN SCHNEIDER arbeitet seit 1988 als Wissenschaftsjournalist für Printmedien, Hörfunk und Fernsehen. Seit 1999 leitet er die Fernseh-Wissenschaftsredaktion des Südwestrundfunks (SWR) in Baden-Baden. 2002 erschien sein Buch „Teflon, Post-it und Viagra – Große Entdeckungen durch kleine Zufälle" im Wiley-VCH-Verlag, Weinheim.

Veranstaltungen & Ausstellungen JANUAR BIS MÄRZ 2004

WINTERVORTRÄGE – WISSENSCHAFT FÜR JEDERMANN

Eintritt 3 Euro. Mitglieder frei
Abendkasse ab 16.00 Uhr, Einlass 18.15 Uhr, Ehrensaal
Reservierung am Veranstaltungstag: 9 Uhr bis 15 Uhr, Tel. 089/2179-221

14. 01. 19 Uhr, Prof. Dr. Friedmann Schrenk
Johann-Wolfgang-Goethe-Universität, Frankfurt
„Adams Eltern – neue Funde, Forschungen, Fragen"

21. 01. 19 Uhr, Prof. Dr. Gerhard Rempe
Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching
Quantenphysik: Vom Paradoxon zum Quantencomputer

28. 01. 19 Uhr, Prof. Dr. Günther Hasinger
Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Garching
Das Schicksal des Universums

04. 02. 19 Uhr, Dr. Wolfgang Franz
Medizinische Klinik und Poliklinik I, München-Großhadern
Stammzellen und Herzinfarkt. Neue Wege kardiologischer Forschung

11. 02. 19 Uhr, Prof. Dr. Harald Lesch
Ludwig-Maximilians-Universität München
Institut für Astronomie und Astrophysik
„Wasser"

18. 02. 19 Uhr, Prof. Dr. Albrecht Beutelspacher
Justus-Liebig-Universität Gießen, Mathematisches Institut
„Mathematik zum Anfassen"

25. 02. 19 Uhr, Prof. Dr. Eckart Altenmüller
Institut für Musikphysiologie und Musiker–Medizin
Apollo in uns: Wie Musik im Gehirn entsteht

03.03. 19 Uhr, Dr. Mark Benecke
Internationale Kriminalbiologische Forschung und Beratung
Der unwiderstehliche Reiz der Leiche.
Erfolgreiche Verbrechersuche mit Insekten

22.03. 19 Uhr, Prof. Dr. Julian Nida-Rümelin
Georg-August-Universität Göttingen, Philosophisches Seminar
„Ethische Prinzipien und biotechnologische Entwicklung"

24. 03. 19 Uhr, Dr. Walter Kroy, Tharsos AG
„Die Zukunft ist anders!" Technik, Mensch und Gesellschaft zu Beginn des 21. Jahrhunderts

FLUGWERFT SCHLEISSHEIM

13./14. 3. **Modellbau-Flohmarkt** 9.00 bis14 .00 Uhr
Info und Anmeldung: Reinhard Krause, Tel. 089/609 32 34

20. /21.3. **Plastikmodellbau-Ausstellung** 9.00 bis 17.00 Uhr
Die Plastikmodellbau-Ausstellung wird präsentiert von Traudl's Modellbauladen. Aus dem Programm: Ausstellung von Flugzeug-, Auto- und Schiffsmodellen, Flohmarkt, Zubehörhandel, Prämierung ausgestellter Modelle. Info und Anmeldung:
Traudl's Modellbauladen, Tel./Fax: 089/8 92 94 58

bis 29. 02. **Sonderausstellung**
Der Traum vom Fliegen. Collagen und Grafiken von Klaus Gölker

27. 3.– 24. 6. **Sonderausstellung**
Wolkenbilder. Fotografien der Düsseldorfer Künstlerin Brigitta Thaysen

KOLLOQUIUMSVORTRÄGE

Montagsseminar des Münchner Zentrums für Wissenschafts- und Technikgeschichte im Wintersemester 2003/04, Seminarraum der Institute, montags, 16.30 Uhr

12. 01. **Rudolf Seising** (UniBw München), „Vernetzte Nervenzellen – Die Arbeiten von McCulloch und Pitts in den 1940er Jahren"

26. 01. **Ulf Hashagen** (DM, MZWTG), „Mechanisierung und Rationalisierung in deutschen Banken in der Weimarer Republik"

09. 02. **Gwen Bingle** (University of Pennsylvania, MZWTG), „Die technische Erzeugung des „natürlichen" Körpers am Ende des 20. Jahrhunderts"

VERANSTALTUNGEN IM KERSCHENSTEINER KOLLEG

Alle Veranstaltungen im Kerschensteiner Kolleg mit Übernachtung;
Anmeldung erforderlich unter Tel. 089-2179-243.

30. 01–01. 02. **Kerschensteiner Druckerei**
Maschinen – Turbinen – Figurinen
Wochenende für Familien in Zusammenarbeit mit der Museumswerk statt der VHS München

04. - 08. 04. **Himmel und Weltall**
Astronomie in den Osterferien für Familien mit Kindern (ab etwa 10 Jahren)

23. - 25. 04. **Cherchez la Femme.** Zur Geschichte von Frauen in Naturwissenschaft und Technik
Wochenende für Frauen

Historische Galerie

Gedenktage technischer Kultur: Januar–März 2004

Sigfrid und Manfred von Weiher

7.1.1904 In Biesdorf bei Berlin stirbt Friedrich **v. Hefner-Alteneck.** 1872 revolutioniert er die noch junge dynamoelektrische Energieerzeugung durch Einführung des Trommelankers und stellt 1878 seine **Differentialbogenlampe** vor, mit der bereits vor Einführung der Edison-Glühlampe öffentliche Plätze, Bahnhöfe, Fabrikhallen und Schiffe elektrisch beleuchtet werden.

13.1.1929 In Paris stirbt Auguste **Rateau**, der ab 1897 mit der Konstruktion vielstufiger Dampfturbinen und **Turbo-Kompressoren** sowie seines Abdampfspeichers der Nutzung der Dampfkraft zu wesentlich günstigerer Energieausnutzung verhilft.

21.1.1954 „**Nautilus**", das erste von Atomkraft angetriebene Unterseeboot der Welt, wird von der US-Marine in Dienst gestellt.

24.1.1879 In Bonn stirbt der Mechaniker und Glasbläser Heinrich **Geißler**, der Erfinder jener Gasentladungsröhre, die heute als **Leuchtstoffröhre** und Energiesparlampe für wirtschaftliche Beleuchtung sorgt. Auch seine Quecksilberluftpumpe und ein Vaporimeter zur Bestimmung alkoholischer Flüssigkeiten sind aktuell im Einsatz.

28.1.1829 In Ulm stirbt der Schneidermeister Ludwig Albrecht **Berblinger**. 1811 unternahm er am Ufer der Donau mit einem selbst gefertigten Flügelpaar einen viel beachteten **Flugversuch**, der mit einem Sturz in den Fluss endete. In dem Roman „Der Schneider von Ulm" setzte der Dichter-Ingenieur Max Eyth seinem Landsmann ein literarisches Denkmal.

6.2.1804 Auf seinem Landgut bei Philadelphia, USA, stirbt Joseph **Priestley**, ein vielseitiger Gelehrter, der sich besonders als **Chemiker** große Verdienste erwarb. 1774 entdeckt er – unabhängig von C. W. Scheele – den Sauerstoff und das Ammoniak, später Schwefelsäure, Salzsäure, Chlorwasserstoff und Kohlenoxid. Er erfindet die wirksame Absperrung von Gasen durch Quecksilber und empfiehlt die Atemluft durch Pflanzen zu verbessern. In seinen 1777 erschienenen „**Untersuchungen über Materie und Geist**" vertritt er die seinerzeit viel beachtete Überzeugung, dass alles geistige Geschehen durch mechanische Gehirnschwingungen bedingt sei.

7.2.1954 Das später auch bei der deutschen Luftwaffe eingesetzte und nach über 100 Abstürzen als unzuverlässig geltende einstrahlige Überschall-Kampfflugzeug „**Starfighter**" startet in den USA zu seinem Jungfernflug.

12.2.1979 In Genf beginnt die erste **Welt-Klima-Konferenz**, die auf Initiative mehrerer UN-Organisationen zustande kommt. Im Mittelpunkt steht die bis heute kontrovers diskutierte Frage inwieweit die menschliche Zivilisation das globale Klima beeinflusst.

21.2.1954 Mit 243 Stundenkilometern stellt die französische E-Lok CC-7121 einen neuen **Geschwindigkeitsrekord** für elektrisch getriebene Schienenfahrzeuge auf.

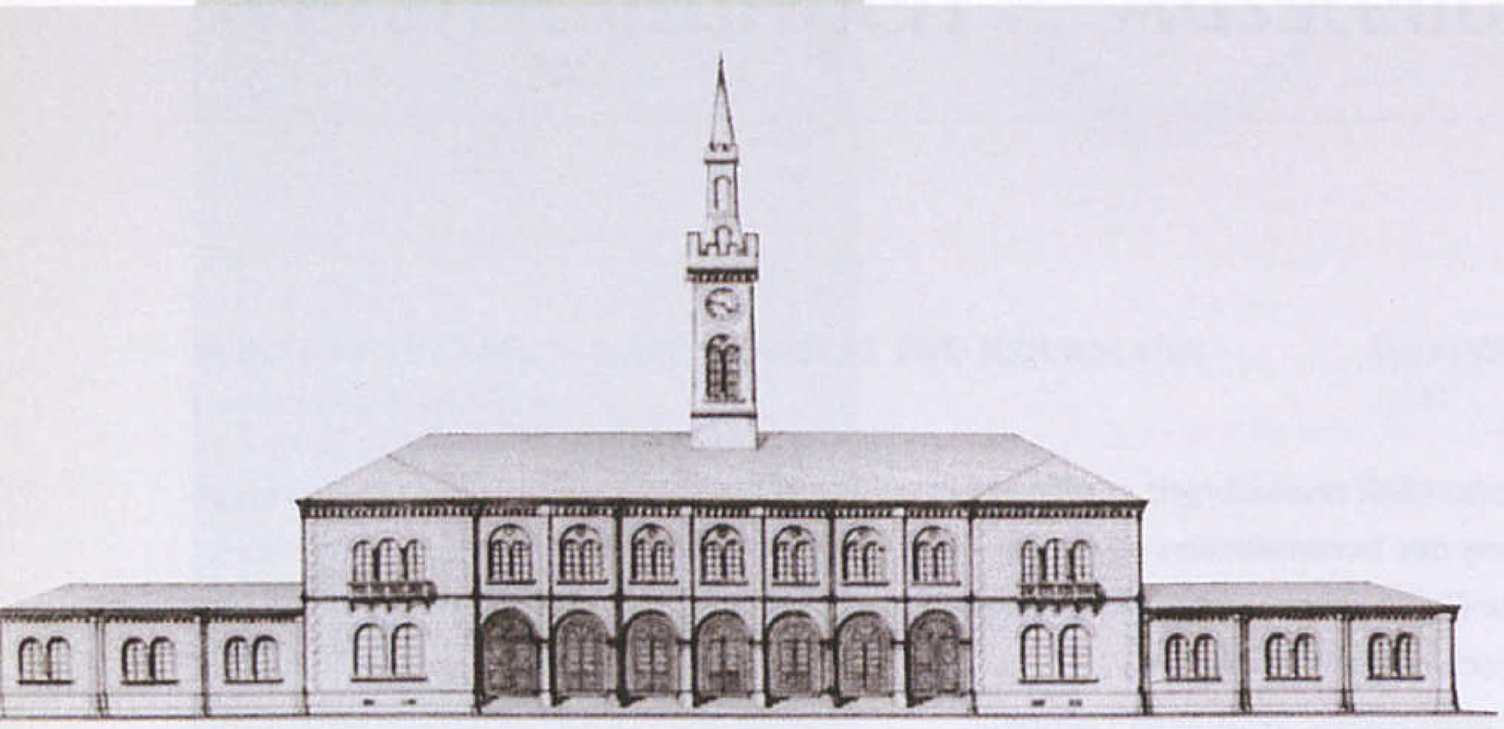
27.2.1854 In Karlsruhe stirbt der Architekt Professor Friedrich **Eisenlohr**. (Mehr dazu im Bildtext auf S.32)

1.3.1954 Auf dem Bikini-Atoll im Pazifik zünden US-Wissenschaftler die bislang stärkste Wasserstoffbombe der Welt und verseuchen dabei ahnungslose japanische Fischer.

2.3.1904 Beim Einsturz eines noch im Bau befindlichen **Hochhauses** mit elf Stockwerken mitten in New York sterben acht Arbeiter.

3.3.1829 In Menzendorf bei Lübeck wird Carl **Siemens** geboren. Als Bruder des Elektrotechnik-Unternehmers Werner von Siemens leitet er in Russland den Ausbau des elektrischen Telegrafie-Netzes, das die wichtigsten Metropolen des Zarenreiches miteinander verbindet. In St. Petersburg baut er eine bedeutende Filiale der Firma Siemens & Halske auf, die bis in den Ersten Weltkrieg maßgebenden Anteil an der **Elektrifizierung Russlands** hat.

5.2.1929 In Berlin stirbt Günther **Freiherr v. Hühnefeld**, dem 1928 in einem einmotorigen Junkers-Flugzeug gemeinsam mit Köhl und Fitzmaurice der erste Transatlantik-Westflug gelang.



27.2.1854 In Karlsruhe stirbt der Architekt Professor Friedrich **Eisenlohr**. Seine im einheitlichen Stil geschaffenen Bahnhofs- und Stationsgebäude der Badischen Eisenbahn, einer der ersten größeren staatlichen Bahnlinien Deutschlands, prägen für Jahrzehnte das charakteristische Bild deutscher Bahnhofsarchitektur. Als noch in jeder Stadt unterschiedliche Ortszeiten gelten, sorgen die von Eisenlohr besonders favorisierten Uhrentürme auf Bahnhofsgebäuden für eine rasche **Verbreitung der so genannten „Eisenbahnzeit"**, die die zeitliche Vernetzung Deutschlands in einer einheitlichen Zeitzone (Einführung der Mitteleuropäischen Zeit 1893) vorbereitet.

4.3.1879 In Fürth, Bayern, wird Bernhard **Kellermann** geboren. Nach seinem Studium an der TH München wendet er sich ganz der Schriftstellerei zu und schreibt mehrere technisch-utopische Romane, darunter „**Der Tunnel**" (1913), der auch als Film ein Welterfolg wird.

5.3.1754 In Paris wird der Architekt Léon **Dutourny** geboren. Mit seiner Forderung, der Baukunst durch Betonung geometrischer Grundformen neue Impulse zu verleihen, beeinflusst er als Lehrer der Architektur den Baustil fortschrittlicher Kollegen, namentlich des Revolutionsarchitekten Ledoux. Viele seiner Entwürfe zu kubistischen und **kugelrunden Bauwerken** konnten jedoch erst im Betonzeitalter verwirklicht werden.

5.3.1929 Anlässlich der Uraufführung des Revue-Filmes „Broadway Melody" in New York kommen erstmalig **Duftstoffe in einem Kino** zum Einsatz.

5.3.1979 In 278 000 Kilometer Entfernung passiert die US-**Raumsonde „Voyager 1"** den Jupiter und funkt beeindruckende Bilder des Riesenplaneten zur Erde.

9.3.1829 Joseph **Ressel**, der Pionier der Schiffsschraube, erhält ein österreichisches Patent auf Rollen- und **Kugellager**, um die „Reibung der Maschinenzapfen und Wagenachsen beinahe auf Null zu reduzieren und jede Schmiere entbehrlich zu machen". Alle modernen Verkehrsmittel und viele mechanische Geräte unseres alltäglichen Lebens wären ohne Ressels Kugellager undenkbar!

11.3.1909 Auf einem Schiff der Kieler Germaniawerft bewährt sich der erste für den Bordgebrauch taugliche **Kreiselkompass** des Ingenieurs Hermann **Anschütz-Kaempfe**, der dieses Orientierungsverfahren 1901 in der Absicht entwickelt hat, mit einem U-Boot den Nordpol zu erreichen. Die Idee, eine kreiselstabilisierte Navigationshilfe zu schaffen, war bereits 1852 von Léon Foucault geäußert worden.

11.3.1929 Mit über 372 km/h stellt der Brite Henry O'Neal de Hane Segrave einen neuen **Geschwindigkeitsrekord für Automobile** auf.

12.3.1929 Nachdem im Januar ein Stummfilm mit kurzer Toneinlage („Ich küsse Ihre Hand, Madame") in Berlin Premiere hatte, kommt nun der erste abendfüllende deutsche **Tonfilm „Melodie der Welt"** von Walter Ruttmann zur Aufführung.

14.3.1854 In Stehlen, Schlesien, wird der Chemiker und Serumforscher Paul **Ehrlich** geboren, der für seine Lehre von der Färbung des Blutes 1908 den Nobelpreis für Chemie erhält. Ehrlich gilt als Schöpfer der modernen Chemotherapie: Seine Entdeckung des Salvarsans macht ab 1909 erstmals nachhaltige Erfolge bei der **Behandlung der Syphilis** möglich.

15.3.1854 In Handsdorf (heute nord-westl. Polen) wird Emil v. **Behring** geboren. Als medizinischer Forscher gelingen ihm bahnbrechende Fortschritte in der Theorie, Diagnose und Therapie der Infektionskrankheiten. 1889 entdeckt er Antitoxine, 1893 das **Diphtherie-Heilserum**, für das ihm 1901 der Nobelpreis für Medizin zuerkannt wird und begründet so die ätiologische Blutserumtherapie. Die von ihm erfolgreich eingeführten Behring-Werke in Marburg zählen bis heute zu den angesehensten Pharma-Unternehmen Europas.

28.3.1979 Aus dem erst 3 Monate betriebenen Druckwasser-Reaktor des US-Kernkraftwerkes Three Mile Island bei Harrisburg entweichen radioaktiver Dampf und radioaktiv kontaminiertes Wasser und lösen so den bisher schwersten nuklearen Störfall in der Geschichte der friedlichen Nutzung der Kernenergie aus. Die Bevölkerung reagiert mit einer Massenflucht, das Risiko einer Explosion (Kernschmelze wie 1986 in Tschernobyl) gilt erst nach einer Woche als gebannt. Von offizieller Seite wird lapidar festgestellt, im Umkreis von 80 km werde es „nur zehn Krebstote mehr geben."

Abbildungen: Privatsammlung von Weiher

1 Jahre
Deutsches Museum

Die Faszination von Technik und Wissenschaft. Seit 100 Jahren im Deutschen Museum, München. Täglich 9–17 Uhr. Unter www.deutsches-museum.de erfahren Sie mehr.

„Wo die Liebe zur Technik geboren wird...“*

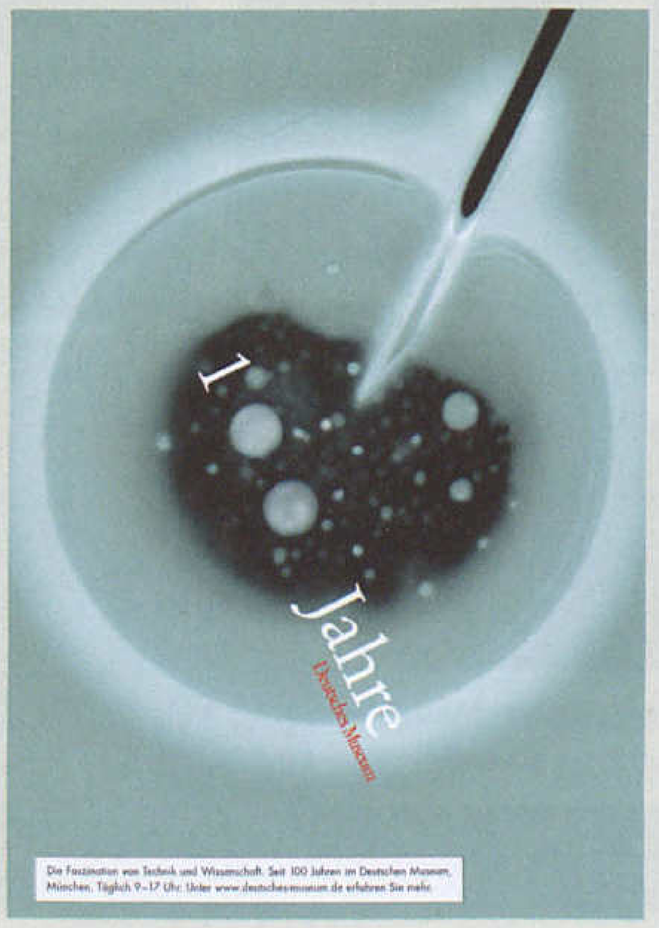
Die ersten 100 Jahre – das Jubiläum als Chance

Die ersten 100 Jahre – lautete das Motto der Kommunikation zum 100jährigen Bestehen des Deutschen Museums. Aufforderung, zurück zu blicken, ohne die Zukunft aus dem Auge zu verlieren.

Von Sabine Hansky

Neben der erfolgreichen Geschichte und Tradition standen vor allem die Zukunftsprojekte im Mittelpunkt: Das Kinderreich, die neue Dependance Verkehrszentrum und das geplante Zentrum Neue Technologien. Diese Ausstellungen, die neue Themen aufgreifen und stärker an den gesellschaftlichen Zusammenhängen von Wissenschaft und Technik orientiert sind, sollen die Zukunftsfähigkeit des Deutschen Museums weit über das Jahr 2003 hinaus sichern.

Das Jubiläum bot einen einzigartigen Anlass, die neue Ausrichtung und Positionierung des Hauses einer breiten Öffentlichkeit und den Medien vorzustellen. Mit Erfolg: „100 Jahre unentwegter Fortschritt", „Rückblick auf die Zukunft", „Deutsches Museum wird 100 Jahre jung" oder „Das Deutsche Museum in München ist 100 Jahre alt – und wird immer jünger" lauteten die Titel.



DIE ZAHL IM BILD

Zukunftsorientierung und zeitgemäße Gestaltung waren auch Anforderungen an die Werbekampagne zum Jubiläum – galt es doch, 100 Jahre Faszination von Technik und Wissenschaft sowie ein neues, modernes Bild vom Museum einprägsam und attraktiv zu vermitteln. Die von der Agentur Scholz&Friends entwickelte Kampagne erfüllte dies aufs Vortrefflichste: Die Plakate überraschten durch die Montage und Darstellung der Zahl 100 in vier verschiedenen Motiven; die Duplex-Farbigkeit unterschied sich wohltuend von der schreiend bunten Konkurrenz. Ungewöhnlich, aber außerordentlich wirksam.

Abbildungen: Florian Holzherr und Andreas Ohrenschall

Warum können Flugzeuge fliegen? Woher kommt das Licht?
Wie schnell dreht sich die Erde? Gibt es Leben auf anderen Planeten?

Erlebe die Antworten im Deutschen Museum

Film-Stills: Emotionsgeladener Abschluss des Festaktes: der Image-Film „Erlebe die Antworten".

„Leitfaden in einer komplizierten Welt"

Fast 1000 geladene Festgäste feierten in der Luftfahrthalle das hundertjährige Bestehen eines der ersten und größten naturwissenschaftlich-technischen Museen der Welt. Kulturstaatsministerin Christina Weiß würdigte das Museum als „Leitfaden in einer immer komplizierter werdenden Welt" und weiter: „So kann man Technik spannend und lustvoll begegnen".

„Das hundertjährige Haus hier in München darf als leuchtendes Beispiel dafür gelten, wie ein Bildungsauftrag modern und interessant verstanden wird."

Der Bayerische Ministerpräsident Edmund Stoiber wurde im Rahmen des Festaktes als „Herausragender Förderer" des Museums geehrt und lobte es als einen „Wegbereiter der Technik- und Wissenschaftsbegeisterung bei Millionen von jungen Menschen".

In seinem Schlusswort unterstrich der Generaldirektor des Deutschen Museums, Wolf Peter Fehlhammer, die große Bedeutung des Museums für ein umfassendes public understanding of science. In einem Appell an die Politik forderte Fehlhammer: „Planen Sie uns in Ihre Bildungsoffensiven ein (...). Machen Sie uns zu dem, was Museum sein und wirklich leisten kann – für die Gesellschaft! Nutzen Sie uns – künftigen Generationen zuliebe!"

Festakt: Fast 1000 geladene Gäste verfolgen den Festakt in der Luftfahrthalle (Bild oben). Ministerpräsident Edmund Stoiber (l.) wurde als „Herausragender Förderer" des Deutschen Museums geehrt. Es gratuliert Professor Heinz Riesenhuber (r.), Vorsitzender des Kuratoriums.

„Ein Haus voller Menschen"

Generaldirektor Wolf Peter Fehlhammer im Rückblick auf ein ereignisreiches Jubiläumsjahr

Kultur & Technik: Herr Professor Fehlhammer, ein anstrengendes Jahr liegt hinter Ihnen. Wie bewerten Sie rückblickend das 100-jährige Jubiläum?

Wolf Peter Fehlhammer: Wir haben sehr viel Glück gehabt, dass wir nach einigen Problemen, mit denen wir in den vergangenen Jahren zu kämpfen hatten, einfach toll feiern konnten. Das ist ein ganz starkes Verdienst unserer Öffentlichkeitsarbeit. Dank der bundesweiten Plakate wurde der Name „Deutsches Museum" in jeden Winkel des Landes gebracht.

Auch hatten wir eine faire Unterstützung durch die öffentlichen Zuwendungsgeber, vor allem Freistaat und Bund, und darüber hinaus haben wir selbst noch massiv Spendenmittel freigemacht, denn das 100-Jährige ist ja nun ein richtiges Jubiläum. Und wenn ich auf die Festlichkeiten zurückschaue, haben wir das, meine ich, recht gut gemeistert.

Der große Festakt ist natürlich immer das Wichtigste – wenn der Bundespräsident und die ganzen politischen Honorationen kommen. Erfreut waren wir auch, in diesem Rahmen den bayerischen Ministerpräsidenten zum herausragenden Förderer des Deutschen Museums ernennen zu können. Dafür haben wir eigens eine neue Ehrung erfunden, hat er uns doch zu einem neuen Museum verholfen, das wir dann am darauffolgenden Tag eröffnet haben – das Verkehrszentrum.

Gab es ein Erlebnis in diesem Jahr, dass Sie besonders beeindruckt oder bewegt hat?

Die Eröffnung des Kinderreichs. Das ist mein absolutes Lieblingskind im Deutschen Museum.

Aber es gibt natürlich auch viele andere Dinge, die mich sehr interessieren, insbesondere, das Museum wirklich zu öffnen, es wieder zu internationalisieren. Unser Gründer Oskar von Miller war ein unglaublich kosmopolitischer Mensch, der die Museumsidee in die ganze Welt getragen hat. Es gibt weltweit 20 große Technikmuseen, Wissenschaftsmuseen, die sich aufs Deutsche Museum berufen – in Tokio, in Kairo, in den USA, viele europäische Museen, Stockholm, Prag und einige andere. Das Deutsche Museum war ein Exportartikel, speziell nachdem es die Insel bezogen hat. Das war 1925. Da hatte man schon erkannt, wie fantastisch es ist. Trotz des Ersten Weltkrieges und der Wirtschaftskrise ist der Bau umgesetzt worden.

Aber zurück zu der Frage, was mir am Herzen liegt, sind insbesondere auch die bilateralen Beziehungen zu den beiden Nachbarländern Frankreich und Italien. Im Juli waren wir zu einem Dialog der Wissenschaftsmuseen sowie zu 40 Jahre Elysée-Vertrag eingeladen und hatten damit Gelegenheit, die Bande zu unseren französischen Kollegen fester zu knüpfen. Im Gegenzug hat sich das Deutsche Museum eine besondere Geste den Franzosen gegenüber erlaubt, indem es die Büste des ersten nichtdeutschen Wissenschaftlers in den Ehrensaal holte – des Chemikers Antoine Laurent Lavoisier. Ein wichtiges Zeichen, dass wir uns nicht nur als deutsches Museum empfinden, schon gar nicht als bayerisches oder Münchner Museum, sondern als internationales.

Ein Programm ganz anderer Art haben wir mit unserem Nachbarland Italien ins Leben gerufen: „cento classi" – 100 Schulklassen für 100 Jahre Deutsches Museum. Neben Besuchen und Praktika haben Schüler und Schülerinnen aus der Gegend von Rom unsere Hauptinternetseiten ins Italienische übersetzt. Ein ähnlicher Austausch mit anderen Regionen in Italien soll folgen.

Welche Abteilung des Deutschen Museums hat Sie selbst als Kind am meisten fasziniert?

Natürlich habe ich – wie viele andere Kinder auch – das Bergwerk geliebt. Das ist eine wunderschöne Bühnenlandschaft, ein einziges großes Bühnenbild – 800 Meter lang, so etwas gibt es nirgends, höchstens im Theater. Und immer wieder voller Überraschungen, zum Beispiel, wenn man vom Kohle- ins Salzbergwerk geht. Es gibt viele dunkle Ecken, es gibt Treppen, irgendwelche Emporen, die gerade den Kindern spannend und geheimnisvoll erscheinen.

Wichtig als Kind war für mich auch die Physikabteilung. Vor allem die vielen Experimente zum Selbstausprobieren haben mich begeistert. Jede Ecke habe ich gekannt, obwohl das viele Quadratmeter sind mit ebenso vielen Objekten und Modellen.

Gibt es irgendeine Anekdote oder ein Erlebnis aus dieser Zeit, die Sie erzählen könnten?

Woran ich mich immer wieder gerne erinnere, ist, dass wir als Kinder mit der kleinen Röntgenapparatur gespielt haben, in der man seine Hand oder seinen Geldbeutel hineinstecken und durchleuchten konnte. Heute würde man wohl „Feuer!" schreien, und sagen, so etwas gibt es doch nicht! Aber diese Art, damals mit den Dingen umzugehen, ist aus heutiger Sicht köstlich. Noch früher gab es sogar eine Ganzkörperapparatur, mit der man seinen ganzen Körper durchleuchten konnte. Die gibt es heute nur noch im Depot.

Das wäre bestimmt interessant, diese alten, kuriosen Geräte wieder einmal auszustellen und bewundern zu können. Haben Sie dies schon einmal erwogen?

Manches wird speziell für Ausstellungen wieder aus dem Depot geholt. Tatsächlich sind nur knapp 20 Prozent unserer gesamten Schätze ausgestellt. Für das Kinderreich haben wir vor einiger Zeit das Tanagra-Theater wieder aus dem Depot hervorgeholt. Das ist eine Vorrichtung aus Spiegeln, die die Firma Zeiss speziell fürs Deutsche Museum gebaut hat. Damit kann man zum Beispiel schauspielern und sieht sich dann auf einem kleinen Glasfenster abgebildet – ein früher Fernseher, wenn man so will. Ein anderes, unglaublich schönes Objekt ist das große Planetarium, das man früher hatte, bevor das moderne Projektionsplanetarium erfunden wurde. In dem fuhr man wie in einem Karussell im Kreis herum und bewegte sich so – auch körperlich –

Abbildung: Deutsches Museum München

„Bei uns soll man sich den Appetit holen, aber essen soll man anderswo – in der Schule, in der Hochschule, in der Bibliothek, in der Wissenschaft."

in den Planetenbahnen. Im Depot haben wir Reste davon, vermutlich ziemlich zerstört. Aber ich könnte mir vorstellen, dass man das noch einmal aufbaut.

Haben Sie ein Lieblingsmuseum – außer dem eigenen natürlich?

Das Museu de la Ciència in Barcelona. Es trägt den Beinamen „la caixa", weil es das Aushängeschild der spanischen Sparkassen ist. Das ist eine Mischform zwischen Technik- und Wissenschaftsmuseum, und gleichzeitig ist es naturkundliches Museum und ein wenig Zoo. Es ist voller Ideen und der Direktor, Jorge Wagensberg, ist ein unglaublicher Museumsmann, ein Unikum, was ihn dazu noch sehr sympathisch macht.

Ich habe dort fantastische Ausstellungen gesehen, richtige Inszenierungen. „Amazonas" beispielsweise, mit einem wirklichen Stück Regenwald, in dem es tatsächlich auch regnet! Oder die Ausstellung „Hurricane 1724", die den Untergang eines Schiffskonvois schildert, der Quecksilber an Bord hatte und im Sturm gekentert ist. Quecksilber hat man damals aus Spanien nach Mittelamerika geschafft, um dort in den Goldminen mit flüssigem Quecksilber das Gold herauszulösen. Vor 20 oder 30 Jahren gab es mal eine Expedition von National Geographic dorthin. Jorge Wagensberg hat diese Expedition nachgemacht, das heißt, er ist mit seinen Konservatoren getaucht und hat Reste von halb verrotteten Schiffsmaterialien raufgeholt, zum Teil auch noch völlig intakte Quecksilbergefäße. In seinem Museum hat er dann das ganze Szenario nachgebaut und in einem Bassin gezeigt, wie die Schiffe untergegangen sein könnten. Dazu stellten Tänzer eines Opernballetts in Barcelona die Geschichte pantomimisch dar. Fabelhaft.

Glauben Sie, dass neue Technologien die klassischen musealen Präsentationsformen in naher Zukunft ablösen werden?

Jorge Wagensberg erklärt diesbezüglich immer, dass man im Museum nicht Schule spielen, also keine reinen Fakten vermitteln müsse. Wir müssen Interesse stimulieren. Man soll sich den Appetit holen, aber essen soll man anderswo – in der Schule, in der Hochschule, in der Bibliothek,

Starke Worte – Generaldirektor Wolf Peter Fehlhammer betonte in seinem Schlusswort die Bedeutung des Museums für ein Grundverständnis von Wissenschaft und Technik

in der Wissensstadt, wo auch immer. Ich persönlich gehe zwar nicht ganz so weit wie Wagensberg, aber in diese Richtung: Wir im Deutschen Museum vermitteln und stimulieren, indem wir alle Register ziehen. Das heißt, auf keinen Fall nur noch neue Medien einzusetzen. Es gibt nichts schlimmeres in Museen, als auf Hunderte von Monitoren starren zu müssen.

Wenn Sie sich zum Beispiel unsere neue Abteilung „Pharmazie" anschauen, dann werden Sie merken, dass dies nichts mehr mit dem klassischen Museum zu tun hat. Pharmazie ist ein neues Thema, dem wir uns gestellt haben und zu dem bei uns kaum Objekte vorhanden sind. Folglich mussten wir die fehlende Sammlung ergänzen durch viel Szenographie, durch Modelle und eine Vielfalt an Medien – angefangen von der Tondusche, über Schwarzweißfilme, bis hin zu Computern, Informationsmonitoren, Touchscreens etc. Genauso gut aber kombinieren wir auch sehr viel mit Kunst – vorausgesetzt natürlich, es erweist sich als sinnvolle Ergänzung.

Museen sind erfolgreich, gerade weil sie nicht völlig virtuell sind, weil sie real und haptisch sind. Der Mensch ist kein zweidimensionales Wesen geworden, nur weil alle Projektionen und weil der Computer zweidimensional sind – der Mensch bleibt dreidimensional. Und das Museum trägt dem Rechnung. Je mehr die Leute auf die virtuelle Welt geworfen, reduziert werden, desto mehr brauchen und suchen sie den Ausgleich.

Wenn Sie einen Wunsch frei hätten – und reichlich Geld obendrein –, was würden Sie sich für das Deutsche Museum wünschen?

Die Beseitigung des größten Defizits – und das ist die hohe Personalknappheit. Wir haben einen Bruchteil des Personals, das etwa „La villette" in Paris hat oder das Science Museum in London. Trotzdem machen wir viel mehr Programme. Das ist ein Phänomen.

Ich habe einmal gesagt: „Ein Museum der Zukunft, wenn es erfolgreich sein soll, ist voller Menschen". Damit meinte ich keineswegs allein die vielen Besucher, sondern auch die Gegenüber – die Erklärer, die Ehrenamtlichen, die sich der Besucher annehmen und durchs Museum führen und begeistert Geschichten erzählen. Denn nur der Mensch interessiert den Menschen wirklich, und eine gute Führung ist ein einmaliges Erlebnis. Wir bekommen sehr viele Dankschreiben über hervorragende Führungen, die alle beeindrucken – ob es ein Kindergeburtstag ist, ob es Seniorenführungen oder ob es unser Programm „Frauen führen Frauen" ist, das seit langem mit großem Erfolg läuft. Ich möchte, dass das Museum voller solcher engagierter Leute ist.

(Die Fragen stellten S. Rachlé und A. Bistrich.)

Deutsches Museum München

WASSERFALL
„Den Wasserfall kann man anfassen. Das ist ein tolles Gefühl."
Im Kinderreich werden Kinder nass und glücklich

FEUERWEHR
Technik zum Mitmachen im neuen Kinderreich: Rettungskräfte tummeln sich um das Lenkrad im Feuerwehrauto

FASZINATION MUSIK
Wie klingen die Töne im Inneren der Gitarre?

„Museen sind erfolgreich, gerade weil sie nicht völlig virtuell sind, weil sie real und haptisch sind."

(W. P. Fehlhammer)

Abbildung: Deutsches Museum

das Kinderreich

„PAPA, WIE GEHT DAS?"

Fulminanter Auftakt im Jubiläumsjahr: Die Eröffnung des Kinderreichs im Februar 2003. Auf über 1300 Quadratmetern bietet das Deutsche Museum erstmalig ein dauerhaftes Angebot für kleine Forscher im Alter von drei bis zehn Jahren: Eine „Welt des Wissens" mit großzügigen Spielräumen, die Kindern und ihren Eltern spielerisch und phantasievoll Wissenschaft und Technik, ihre Phänomene und Rätsel erklärt. „Kinder sind Wissenschaftler. Sie hinterfragen alles: Die Ohren des Vaters und den freien Fall der Mandarine. Alles wird lustvoll untersucht, auseinandergenommen, beurteilt. Kinder erobern die Welt im Spiel", sagte Christof Giessler, Projektleiter des Kinderreichs. Mit der Eröffnung des Kinderreichs hat sich Wolf Peter Fehlhammer, der Generaldirektor des Deutschen Museums, im Jubiläumsjahr einen Traum erfüllt:

„Die Eröffnung des Kinderreichs ist von großer Symbolkraft, eine kleine Revolution. Es ist ein Zeichen einer neuen Zugewandtheit an unser wunderbarstes, bisher vernachlässigtes Klientel – die Kinder".

Der Erfolg gibt ihm Recht: 350.000 kleine und große Besucher seit der Eröffnung!

Begeisterte Besucher: Elfriede Orda mit ihrem Enkel bei der Eröffnung des Kinderreichs.

„Der Spaß am Denken und Tüfteln ist der Schlüssel zur Innovation": Wolf Peter Fehlhammer und der Erfinder Arthur Fischer im Kinderreich

Deutsches Museum intern

Die ersten 100 Jahre

„Ein Museum der Zukunft, wenn es erfolgreich sein soll, ist voller Menschen“

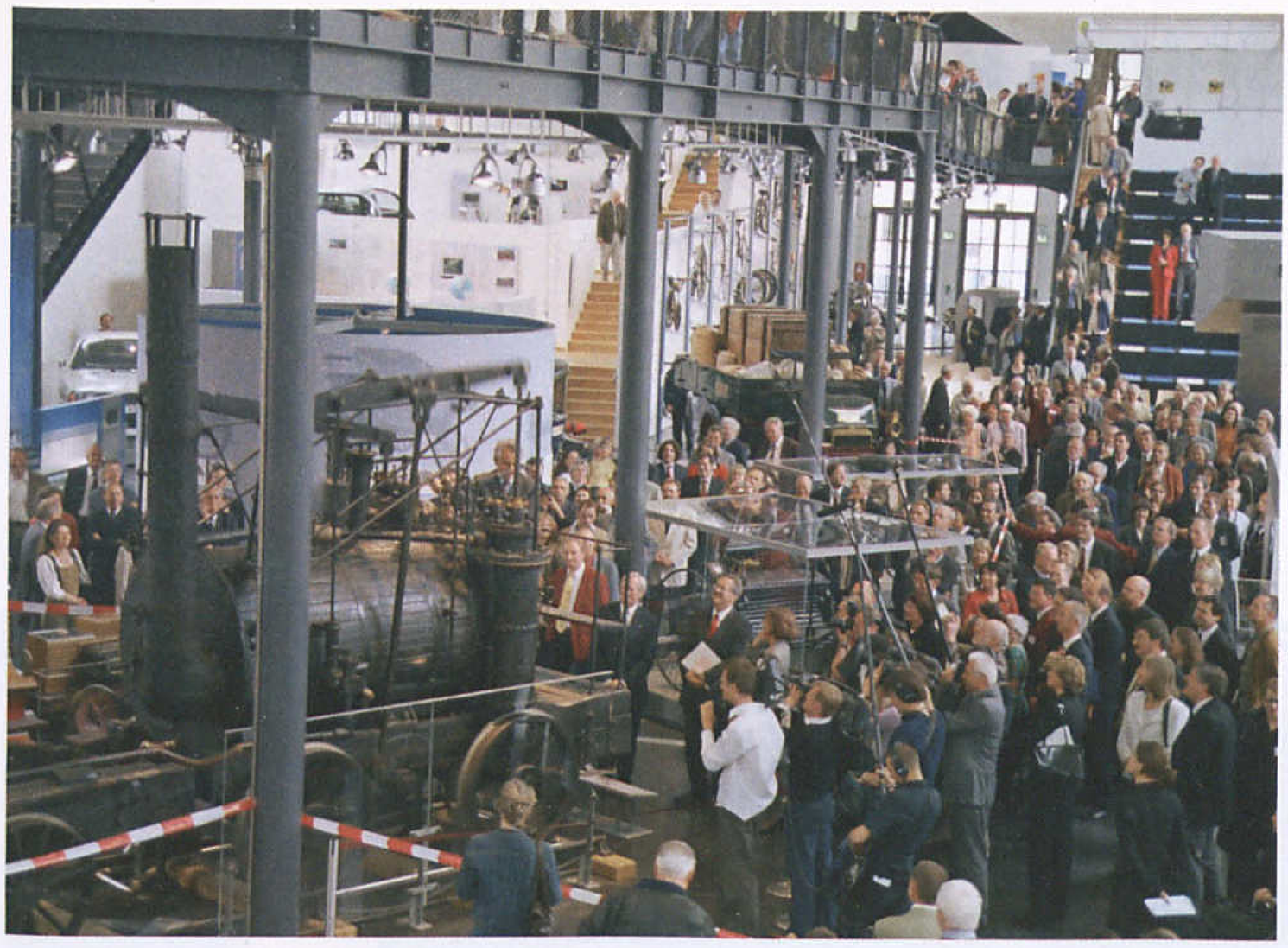
(W. P. Fehlhammer)

OKTOBERFESTSTIMMUNG IM MAI!

Das schönste Geburtstaggeschenk machte sich das Deutsche Museum selbst: Am 10. und 11. Mai eröffnete es sein neues Verkehrszentrum auf der Theresienhöhe. Ein Korso legendärer Fahrzeuge – vom Pferdebahnwagen bis zum futuristischen Streetcarver – führte von der Museumsinsel zur neuen Dependance. Trotz Nieselregens säumten fast 30.000 Menschen die Straßen und erfreuten sich an den rollenden Raritäten. Auf der Theresienhöhe strömten sie dann in das neue Museum und gerieten ins Schwärmen – angesichts der hellen, lichten Architektur der ehemaligen Messehallen und all der Horchs, Silberpfeile, Alpha Romeos und anderer seltener Ausstellungsstücke. Bis 2005 werden alle Eisen- und Straßenbahnen, Autos und Motorräder in den historischen, denkmalgeschützten Hallen ihre neue Heimat finden. Auf 12.000 Quadratmetern entsteht das größte Museum für Landverkehr weltweit.

Lust an der Bewegung:
Die Direktorin des Verkehrszentrums, Sylvia Hladky, erklärte dem Münchner Oberbürgermeister Christian Ude und seiner Frau, Edith von Welser-Ude, die ersten Knochenschlittschuhe

Alte Hallen, neue Konzepte:
Warum steht die Dampflok „Puffing Billy“ neben dem ältesten erhaltenen Lastwagen von Büssing und dem Rumpler Tropfenwagen?
Verkehr als Netzwerk begreifen und Verkehrsmittel in ihrem kulturellen Zusammenhang darstellen - ein bislang einzigartiger Ansatz



Die Eröffnung des neuen Verkehrszentrums hätte von Miller gefallen!

Schnauferlparade zum Jubiläum: Rund 250 Oldtimer schlängelten sich durch die Münchner Innenstadt zur Theresienhöhe

„Ich möchte, dass die Leut´ ins Museum hereinströmen wie in die Buden auf dem Oktoberfest."

(Oskar von Miller)

„HUMMELN AM HIMMEL"

Jubiläumsflugtage in der Flugwerft Schleißheim

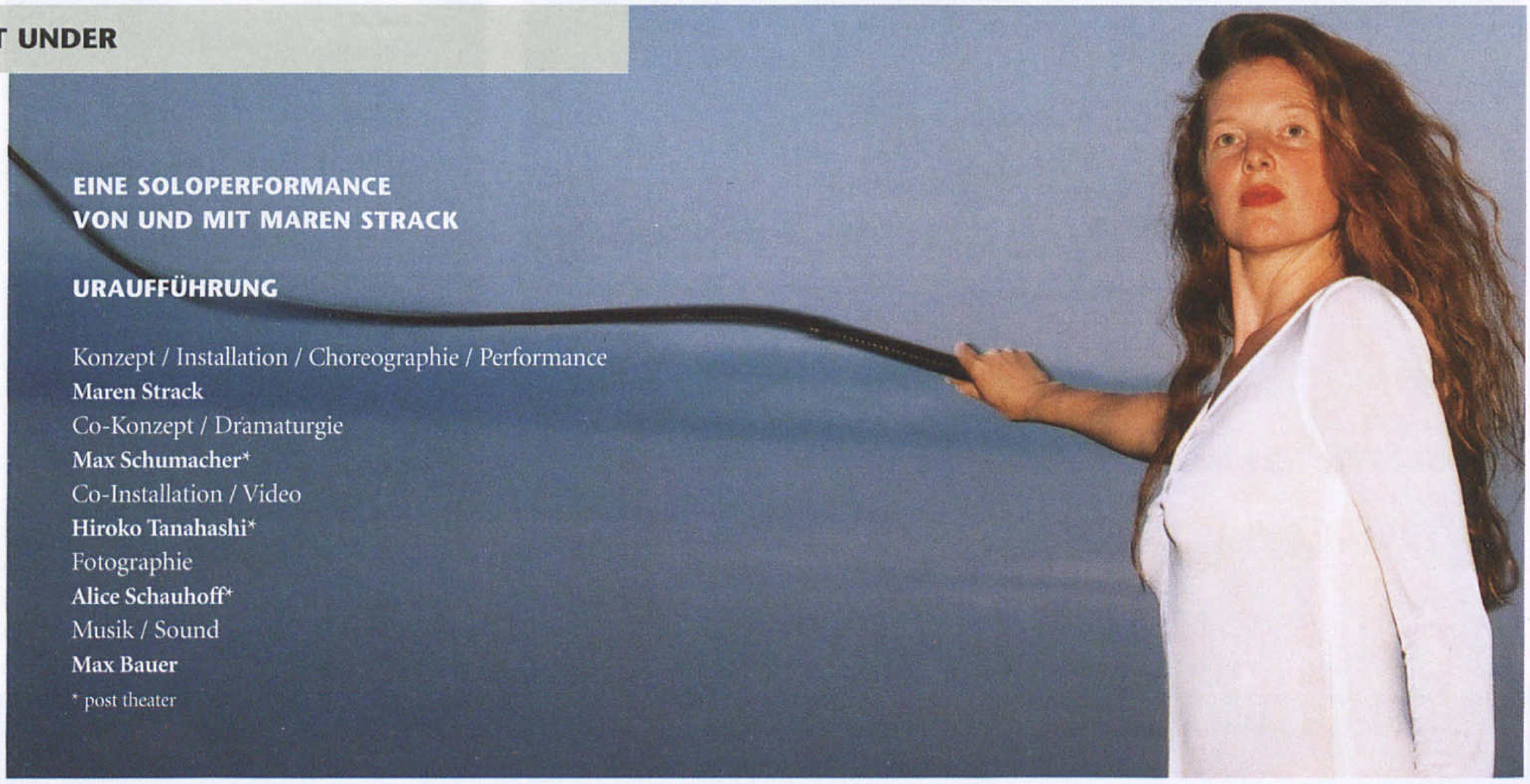
Vor genau 100 Jahren gelangen den Brüdern Orville und Wilbur Wright im kleinen Küstenort Kitty Hawk im amerikanischen Bundesstaat North Carolina die ersten Motorflüge. Die Flüge der Wrights und die Konstruktion ihrer Fluggeräte beeinflusste nachhaltig die Entwicklung des Motorflugs. Anlass genug, die Leistungen der Brüder mit der Sonderausstellung „Die Gebrüder Wright und der Beginn des Motorflugs" zu würdigen.

Fliegende Legenden am Boden und in der Luft erlebten die Besucher der Jubiläumsflugtage hautnah in der Flugwerft Schleißheim: Zwei Tage lang wurde ein spektakuläres Programm mit atemberaubenden Flugvorführungen, Himmels-Akrobatik und seltenen Oldtimern der Lüfte geboten. Und wer Lust hatte, konnte selber in die Luft gehen: Die „brummenden Hummeln" - alte Ju-Tanten und Antonovs - starteten den ganzen Tag zu Rundflügen über München und „kündeten der Stadt von 100 Jahren Deutschem Museum, 100 Jahren Motorflug und zehn Jahren Flugwerft Schleißheim".

Fast 30.000 Besucher genossen die spektakulären Flugvorführungen wie den Formationskunstflug der amtierenden Weltmeister aus der Tschechischen Republik.

Verantwortlich für die Zusammenstellung dieser Seiten ist Sabine Hansky, Leiterin Presse- und Öffentlichkeitsarbeit des Deutschen Museums.

6 FEET UNDER



Von 15. bis 18. Januar 2004 präsentiert Maren Strack im Verkehrszentrum des Deutschen Museums auf der Theresienhöhe ihre neue Performance „6 Feet Under", in der es der Künstlerin um ihr persönliches Verhältnis zum Wilden Westen geht. Dafür erlernte sie die Kunst des Peitschenschlagens und macht diese zum Kern ihrer Choreographie. Ausgangspunkt ist eine Geschichte aus Maren Stracks Biographie und der Mythos von Calamity Jane, die als einziger weiblicher Cowboy berühmt wurde. War Maren Strack in einem früheren Leben ein Cowgirl?

Maren Stracks Zusammenarbeit mit dem Verkehrszentrum gliedert sich ein in die Reihe „Zwischen Kunst und Wissenschaft", mit der das Deutsche Museum seit 1999 Brücken zwischen verschiedenen Kunstformen und den vielfältigen Themenfeldern der Wissenschaft schlägt. Maren Stracks Gastspiel ist das erste Kunstereignis, das im neuen Verkehrszentrum stattfindet.

Mit freundlicher Unterstützung des Kulturreferats der Landeshauptstadt München und des Fonds Darstellender Künste e.V. aus Mitteln des Beauftragten der Bundesregierung für Angelegenheiten der Kultur und der Medien

NEU ERSCHIENEN: GESCHICHTE DES DEUTSCHEN MUSEUMS

Als „kritische Festschrift" wollen die Herausgeber, Wilhelm Füßl und Helmut Trischler ihr Buch „Geschichte des Deutschen Museums" verstanden wissen. Sie zeigen, wie sich das Deutsche Museum vor dem Hintergrund der politischen, wirtschaftlichen, gesellschaftlichen, kulturellen und wissenschaftlich-technischen Entwicklung im Kaiserreich, in der Weimarer Republik, in den Jahren der braunen Diktatur und in der Bundesrepublik entwickelt hat. Und sie fragen nach, warum das Museum manchen Einflüssen weitgehend hilflos und anderen resistent gegenüberstand, welche institutionellen Bedingungen und Faktoren des Museums für eine offene Auseinandersetzung mit den zentralen Entwicklungsprozessen im letzten Jahrhundert eher dienlich und welche eher hinderlich waren.

Wilhelm Füßl, Helmut Trischler (Hrsg.):

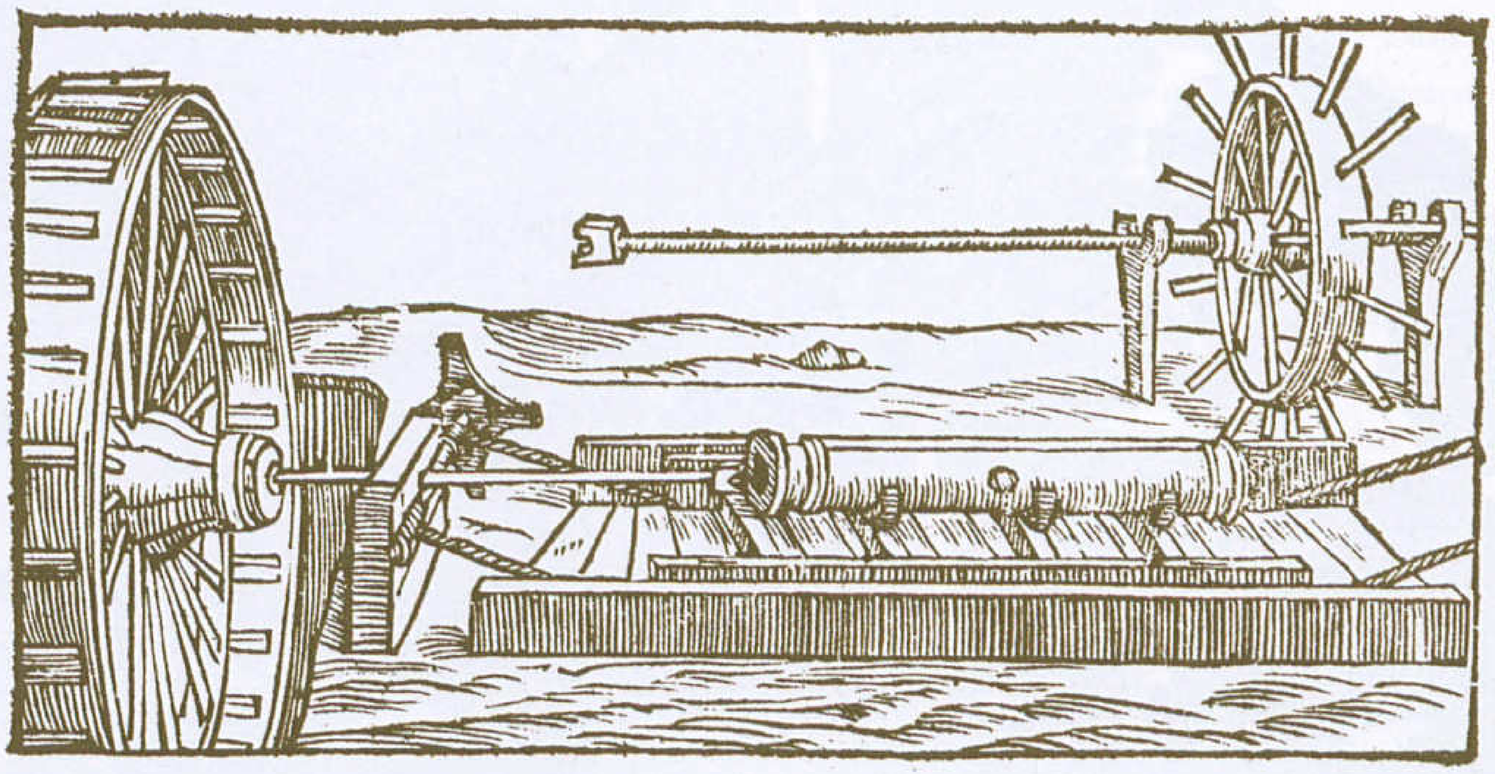
„Geschichte des Deutschen Museums – Akteure, Artefakte, Ausstellungen",

Prestel-Verlag, ISBN 3-7913-3025-X, EUR 39,95

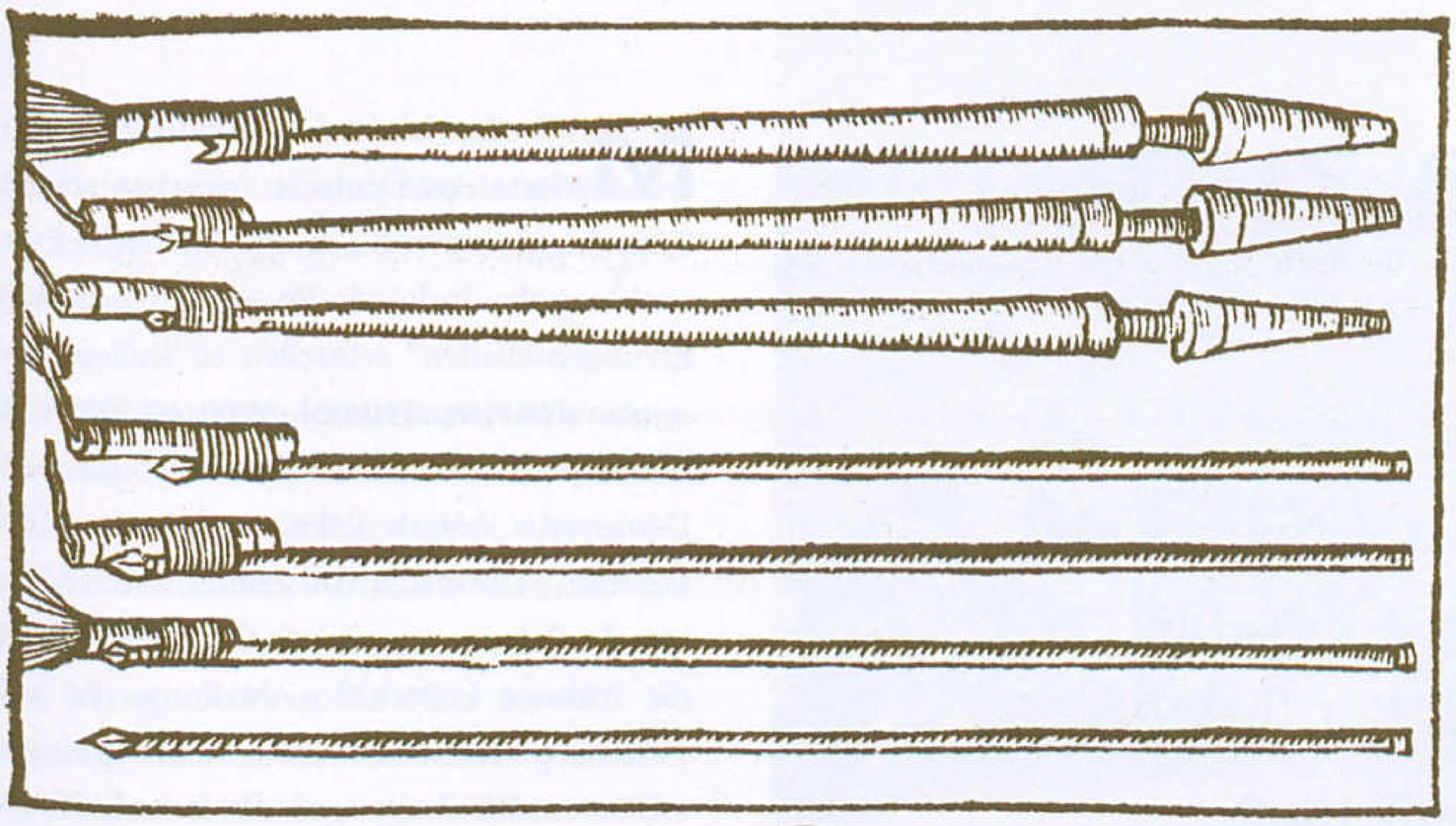
Vannoccio Biringuccios „De la Pirotechnia“

Vannoccio Biringuccio (1480–1537) arbeitete in der Toskana, vor allem in seiner Heimatstadt Siena, auf diversen Gebieten des Berg-, Hütten- und Gießereiwesens. Durch Reisen in Italien, im deutschsprachigen Alpenraum und in Sachsen erweiterte er seine Kenntnisse. Mit seinem Werk „De la Pirotechnia“ (Bibliothek des Deutschen Museums 1951 A 829) zählt Biringuccio zu den ersten experimentell arbeitenden Wissenschaftlern der Frühneuzeit. Das von Venturino Rossinello 1540 in Venedig gedruckte Werk ist neben Georg Agricolas „De re metallica“ das bedeutendste frühneuzeitliche Werk der Berg- und Hüttenkunde.

Während der Titel vermuten lässt, dass sich das Werk vor allem mit der Pyrotechnik beschäftigt, ist diesem Thema nur das letzte der insgesamt zehn Bücher gewidmet. Im Vordergrund stehen vielmehr Metallurgie, Hütten- und Gießereikunde. In diesem Rahmen werden auch



Geschützbohrmaschine nach Biringuccio, in seinen letzten Lebensjahren Leiter der päpstlichen Geschützgießerei.

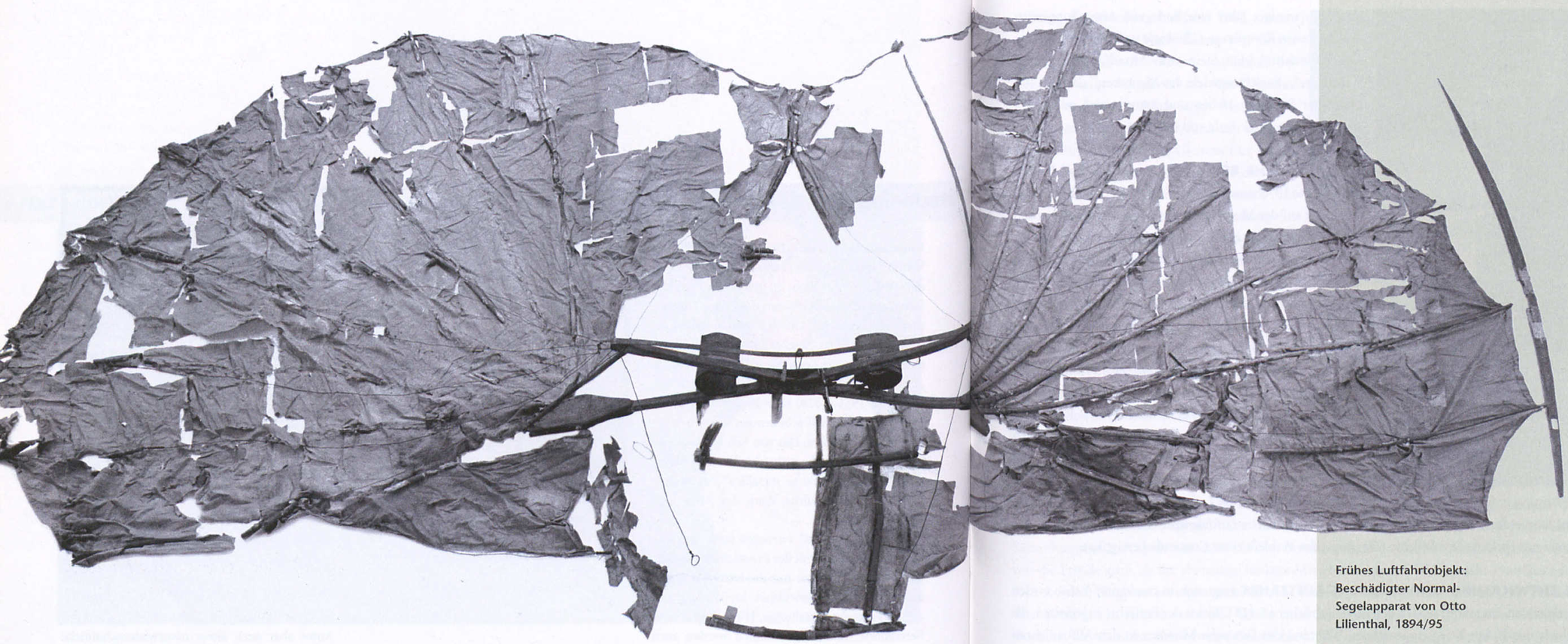


zahlreiche Spezialaspekte – wie etwa der Geschütz- und Glockenguss – behandelt. Biringuccios Werk gilt nicht nur als das erste umfassende Werk zu diesem Themenbereich, sondern auch als eines der frühesten technischen Lehrbücher. Das Buch ist eine erstrangige Quelle zur Geschichte des Berg- und Hüttenwesens sowie der Anorganischen Chemie. Georg Agricolas „De re metallica“ (1556) fußt in Teilen auf Biringuccio. Umgekehrt beeinflussten neben einigen spätmittelalterlichen deutschen Handschriften die im frühen 16. Jahrhundert erschienenen „Bergwerkbüchlein“ und „Probierbüchlein“ Biringuccios Arbeit. Daneben benutzte der Autor aber auch ältere naturwissenschaftliche Literatur, beispielsweise Plinius und Avicenna.

Das in Italienisch, besser gesagt im Sienesischen Dialekt verfasste, 168 Seiten umfassende Werk ist drucktechnisch sehr anspruchsvoll. 83 Holzschnitte illustrieren den kleingedruckten Text. Dem Buchschmuck dienen zahlreiche Holzschnitt-Initialen und ein opulent gestaltetes Titelblatt. Die ebenfalls als Holzschnitt ausgeführte Umrahmung des Titelblatts versinnbildlicht den Inhalt des Werkes wie auch den Druckort. Die große Bedeutung des Werkes für die Metallurgie der Frühneuzeit zeigen die italienischen Neuauflagen (1550, 1558, 1559, 1678) wie auch die Übersetzungen ins Französische (1556, 1572, 1627) sowie Lateinische (1658).

Dr. Helmut Hilz leitet die Bibliothek des Deutschen Museums.

Dem Kapitel über Pyrotechnik verdankt das Werk seinen Namen. Die Feuerlanze, eine neuartige Waffe für Nachtangriffe, war eine mit Feuerwerkskörpern ausgestattete Lanze. Von den uns vertrauten Silvesterraketen unterschieden sich diese Feuerwerkskörper kaum.



Flugobjekte zum Anfassen

Die Geschichte der Luftfahrtabteilung des Deutschen Museums beginnt mit der Gründung 1903. Zu dieser Zeit war die Luftfahrt, oder wie es damals hieß, „Luftschiffahrt", ein höchst moderner und innovativer Technikbereich.

Von Wilhelm Füßl

Mit der Aufnahme der Luftfahrt demonstrierte das Deutsche Museum seinen Sammlungsanspruch, „die geschichtliche Entwicklung der Industrie bis zu den neuesten Errungenschaften" ausstellen zu wollen. Bereits in den ersten Sammlungslisten 1905 war die Luftfahrt vertreten, damals noch ganz im Denken der Zeit als Teil einer Gruppe „Militärwesen". Die ersten Luftschiffer waren Militärs. In Bayern organisierte Oberst von Brug die früheste Luftschiffer-Abteilung, die um 1900 hauptsächlich zur Luftaufklärung eingesetzt war. Allerdings fand die Luftschifffahrt bei der Eröffnung 1906 in den provisorischen Räumen des Alten Nationalmuseums (heute: Staatliches Museum für Völkerkunde) keinen Platz. Erst die Ausdehnung in die Schwere-Reiter-Kaserne brachte im März 1910 eine eigene große Abteilung – in der vor allem die Ballonfahrt und die ersten Zeppelin-Objekte dominierten. Aus diesen bescheidenen Anfängen hat sich die Luftfahrt-Abteilung bis heute zu einem der größten Sammlungsbereiche des Museums entwickelt.

SCHON IN DEN 1920ER JAHREN waren Flugzeuge und Zeppeline zu einem expandierenden Verkehrsmittel geworden. Der gestiegenen technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bedeutung war sich die damalige Museumsleitung durchaus bewusst. Sie erkannte sehr genau, dass trotz vielfacher technischer Fehlschläge die Luftfahrt in der Öffentlichkeit hohe Aufmerksamkeit und großes Interesse fand. Zudem besaß der Museumsgründer Oskar von Miller (1855–1934) eine besondere Affinität zur Luftfahrt. Schon bei der Projektierung des von ihm erbauten Walchensee-Kraftwerks hatte sich Miller des Flugzeugs bedient und aus der Luft Erkundungen unternommen. Gleichzeitig war er von 1923 bis 1925 Aufsichtsratsvorsitzender der Trans-Europa-Union, einer Vereinigung der von Hugo Junkers kontrollierten und koordinierten Luftverkehrsgesellschaften in Mitteleuropa. In das 1925 neu eröffnete Museum auf der Insel platzierte Miller die Luftfahrt in die zentrale Mittelhalle. Über den Köpfen der beim Festakt anwesenden Gäste, die in der damals noch nicht eingerichteten Schifffahrtshalle im Erdgeschoss saßen, schwebten die neuen Eroberer der Lüfte. Deutlich erkennbar ist, dass in der Luftfahrtabteilung auf der Museumsinsel die ursprünglich dominante Stellung von Ballonen und Luftschiffen zurückgedrängt worden war. Schon im Juli 1919 hatte man museumsintern vereinbart, anstelle der Luftschiffe, die „zur Zeit zu viel Raum" einnähmen, moderne Flugzeuge, eine Fokker D VII oder eine Rumpler-Taube von 1909, im Original auszustellen, in einer Reihe mit dem Grade-Eindecker oder dem Wright-Doppeldecker, der erstmals 1909 in Deutschland geflogen war.

Frühes Luftfahrtobjekt: Beschädigter Normal-Segelapparat von Otto Lilienthal, 1894/95

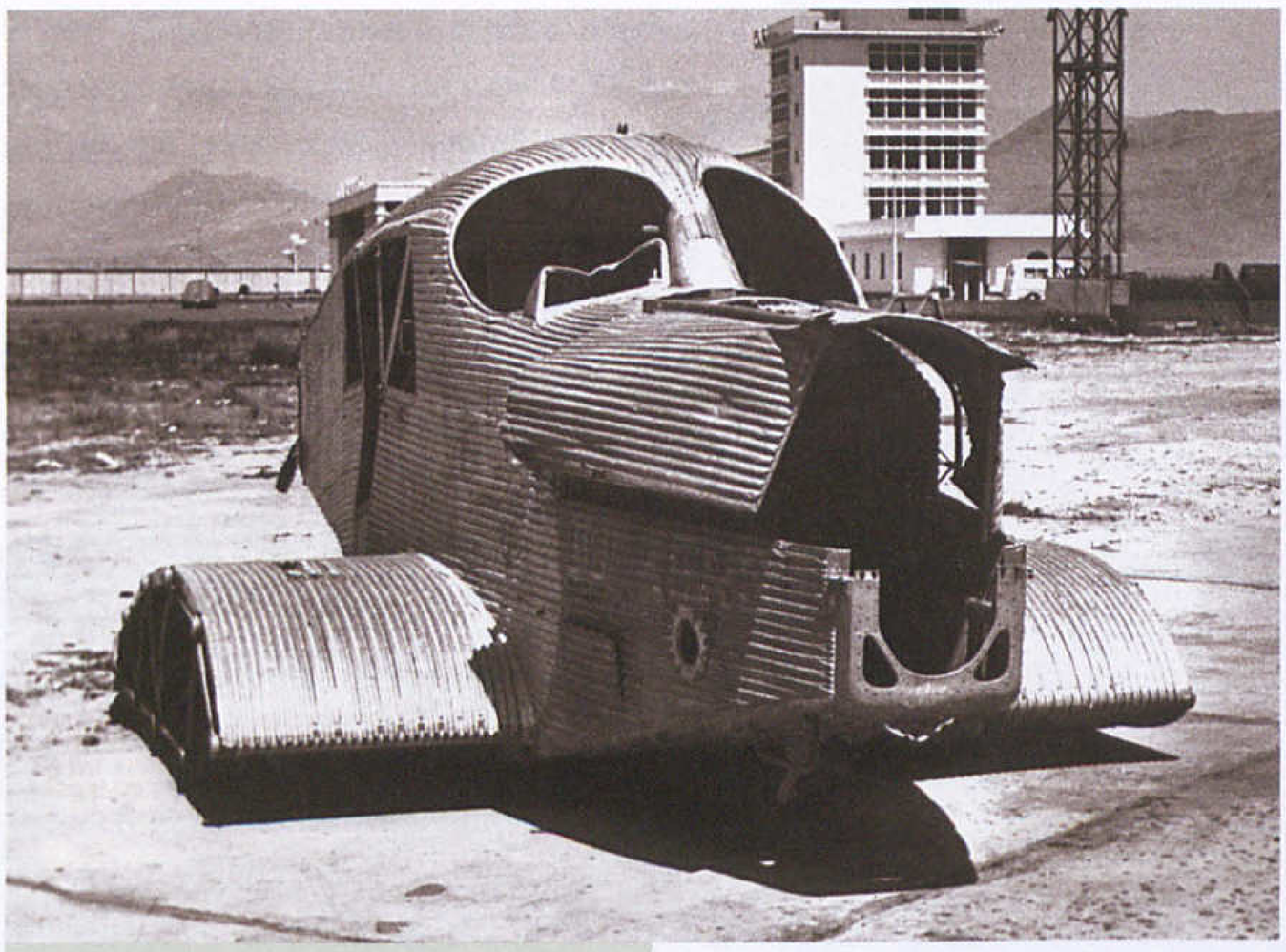
Abteilung Luftschifffahrt (Bereich Ballontechnik) in den provisorischen Sammlungen der Schwere-Reiter-Kaserne, um 1910

GEGEN ENDE DES ZWEITEN WELTKRIEGS wurde die Expansion der Luftfahrt im Museum auf Grund der schweren Verluste durch Bombentreffer und Brände zurückgeworfen. Infolgedessen kam es nach dem Krieg zu einer Stagnation der Luftfahrtabteilung, nicht zuletzt da die Übernahme von Militärmaschinen von den Alliierten verboten worden war und anfänglich eine potente Luftfahrtindustrie zum Aufbau einer neuen Ausstellung fehlte. Erst in den Jahren, in denen München zu einem Zentrum der deutschen Luftfahrtindustrie wurde, veränderten sich die Rahmenbedingungen. Die Impulse kamen Ende der 1960er- Jahre aber in erster Linie von der Raumfahrt, die zu diesem Zeitpunkt in der Öffentlichkeit eine ähnlich große Rolle spielte wie die Luftschifffahrt in den Jahren der Museumsgründung. Ab 1969 zeigte das Museum nicht nur die spektakuläre Sonderausstellung „Mensch und Weltraum", die später in eine eigene Raumfahrtabteilung mündete, sondern auch

Abbildungen: Deutsches Museum München

Deutsches Museum intern

Abteilung Luftfahrt



Ausgeschlachteter Rumpf der Junkers F 13 auf dem alten Flughafen von Kabul vor der Überführung nach München, 1969.

innerhalb weniger Jahre eine Serie von Ausstellungen zu verschiedenen Komplexen („Biologie und Medizin in Luft- und Raumfahrt", „Ein Stein vom Mond", „Weltraum – Weltmeere", „Forschungsziele des Menschen", „Apollo 10", „Start der Satelliten Helios und Symphonie" oder „Der Mensch entdeckt die Erde von oben").

DIE GESTIEGENE BEDEUTUNG der Luft- und Raumfahrt führte 1978 zum Bau einer eigenen Luft- und Raumfahrthalle auf der Museumsinsel, die 1984 eröffnet werden konnte. Ursprünglich als Halle für „Aquanautik", „Aeronautik" und „Astronautik" geplant (die so genannte 3A-Halle), fiel die Meeresforschung schon im Konzept weg. Die Vergrößerung der Luft- und Raumfahrt war auch von der Motivation getragen, der zunehmenden Konkurrenz durch neu entstehende Luftfahrtmuseen in Deutschland zu begegnen. Dennoch konnte der dominante Anspruch des Deutschen Museums – trotz des Zugewinns an Fläche und Objekten – nicht aufrechterhalten werden. Auch die Erweiterung der Luftfahrt um eine eigene Zweigstelle, die seit 1983 konzipiert wurde und 1992 in der Eröffnung der Flugwerft Schleißheim ihren Abschluss fand, konnte den Vorsprung des Deutschen Museums auf dem Gebiet der Geschichte der Luftfahrt letztlich nicht behaupten. Für die großen Flugzeuge wie die Super Constellation fehlten schlichtweg die Hallen. Der Anspruch, ein Nationales Zentrum für die Geschichte der Luft- und Raumfahrt zu sein, war nicht länger durchsetzbar. Heute konkurrieren zahlreiche Luftfahrtmuseen in Deutschland und Europa um spektakuläre Objekte, wie jüngst der Verbleib einer Concorde gezeigt hat.

DIE ENTWICKLUNG DER ABTEILUNG LUFTFAHRT zeigt sich in markanter Weise in den Objektzahlen. Insgesamt sind in den Zugangsbüchern 5.418 Objekte der Luftfahrt zugeordnet, die Verluste durch den Krieg eingerechnet. Während das Deutsche Museum in den Aufbaujahren zwischen 1903 und 1909 einen Zugang von nur 393 Exponaten verzeichnete, stieg die Zahl in den Jahrzehnten bis 1945 nicht zuletzt infolge der beiden Abteilungseröffnungen 1910 bzw. 1925 enorm an. In diesem Zeitraum kamen 1.695 Objekte ins Museum. Das alliierte Verbot zum Bau von Flugzeugen und somit die fehlende Industrie-Unterstützung schlug sich in einer äußerst geringen Zahl an Neuerwerbungen zwischen 1945 und 1965 nieder. Nur 322 Objekte wurden eingeworben. Die Blüte der deutschen Luftfahrtindustrie und die beiden neu errichteten Hallen für Luftfahrt auf der Museumsinsel sowie in Oberschleißheim führten zwischen 1966 und 1995 zu über 2.600 neuen Objekten. Nach Vollendung dieser Hallen reduzierte sich die Zahl der Neuerwerbungen naturgemäß von 1996 bis 2003 auf etwa 170 Objekte.

Ist die quantitative Objektentwicklung ein Indikator für die Phasen der Blütezeit beziehungsweise Stagnation der Abteilung Luftfahrt im Museum, so sind die Einzelobjekte und deren Qualität Zeichen für eine gezielte Sammlungsentwicklung. Bei der Fülle an Objekten im Bereich Luftfahrt können nur einige markante Beispiele herausgegriffen werden, die für interessante Objekte und manchmal spannende Erwerbungsgeschichten stehen.

Die früheste Erwerbung im Museum waren Ballonreste, die heute nicht mehr vorhanden sind. Schon 1904 kamen mit der Inventarnummer 2235 Originalteile von Otto Lilienthals Flügelapparat in das Deutsche Museum. Erworben hatte ihn das Museum über das Berliner Patentbüro Reichau & Schilling, das Teile des Nachlasses verwaltete. Nach heutigen Forschungen wurde dieser Gleiter von Lilienthal bei seinen Flugversuchen selbst benutzt, wie frühe Fotoaufnahmen von seinem Gleitflug vom 29. Juni 1895 zeigen. Im Museum wurden diese Reste jedoch fälschlicherweise zu einem Doppeldecker zusammengebaut. Schon in den ersten Sammlungen war dieser Flugapparat zu sehen. Bis in die 1940er-Jahre verblieb er in der Ausstellung, und erst bei der Wiederer-

öffnung der Abteilung Luftfahrt 1958 ersetzte man ihn durch eine Nachbildung. Der Gleiter ist technikhistorisch insofern von hoher Bedeutung, da er weitgehend aus von Lilienthal selbst verwendeten Materialien besteht. Die erhaltenen Reste geben auch Auskunft über den konstruktiven Aufbau des Gleiters. Der Lilienthal-Gleiter ist heute zu einer Ikone der Luftfahrtgeschichte geworden. Gemeinsam mit dem schriftlichen Nachlass Lilienthals im Archiv des Deutschen Museums, wo sich der größte Bestand zu diesem Luftfahrtpionier befindet, ermöglicht er einen sehr guten Einblick in die Arbeitsverhältnisse und -methoden Lilienthals.

Flugwerft Schleißheim. Nachtaufnahme der neuen Halle, 1992

DIE ERWERBUNGSGESCHICHTE von Objekten in der Luftfahrt ist manchmal auch kurios, wie ein Glanzstück der Sammlung, die Junkers F 13, demonstriert. Vier bis fünf Passagiere konnte die Wellblech-Maschine transportieren. Auf allen Kontinenten war das Flugzeug im Einsatz. Weltweit haben sich in Luftfahrtsammlungen nur einige Exemplare dieses Typs erhalten. Das Deutsche Museum hatte schon vor dem Zweiten Weltkrieg eine F 13 in seinem Sammlungsbestand, doch war diese bei den Bombenangriffen 1943/44 zerstört worden. Daher war die Freude groß, als der ehemalige Junkers-Mitarbeiter Kurt H. Weil im Jahr 1968 Reste einer F 13 auf dem Flugplatz im afghanischen Kabul entdeckte. Wenn man die historischen Fotos mit dem Rumpf sieht, hat man eher das Gefühl eines Schrotthaufens denn eines Museumsobjektes. Doch hat die Maschine eine bewegte Geschichte hinter sich: 1927 gebaut, wurde sie ein Jahr später gemeinsam mit einigen anderen Maschinen an den afghanischen König Amanullah ausgeliefert. Geflogen wurde sie vermutlich bis in die 1940er-Jahre. Nach dem Wiederauffinden wurde das demontierte Flugzeug trotz einiger Bedenken mit Hilfe der deutschen Luftwaffe mühsam nach Deutschland gebracht, und nach aufwändiger Restaurierung (die Flügel mussten neu gefertigt werden) in der Luftfahrthalle ausgestellt.

Junkers F 13: Die einmotorige Maschine war das erste Verkehrsflugzeug aus Ganzmetall und bildete Mitte der 1920er-Jahre das Rückgrat der neu gegründeten „Luft Hansa".

DIE SAMMLUNGSPOLITIK DES MUSEUMS war nicht immer unumstritten. So wurde das Angebot, das in Indien gebaute Kampfflugzeug HF 24 Marut zu übernehmen, von der Süddeutschen Zeitung „als „brisantes Geschenk" tituliert. Entwickelt hatte das Flugzeug Mitte der 1950er Jahre der deutsche Konstrukteur Kurt Tank. Ab 1964 war die Maschine einsatzfähig; bis zur Übergabe an das Museum 1986 wurde sie von der indischen Luftwaffe geflogen. Die Erwerbung war umstritten, da Indien diesen Jagdbomber 1971 im Krieg gegen das Nachbarland Pakistan eingesetzt hatte. Wie andere Maschinen auch, blieb das Flugzeug bis zur Eröffnung der Flugwerft Schleißheim im Depot. Die Ausstellung von Militärflugzeugen wurde in der Öffentlichkeit heiß diskutiert. Anlässlich der Eröffnung der Luft- und Raumfahrthalle 1984 erschien ein Flugblatt, das die mangelnde Sensibilität des Museums im Umgang mit den Kriegsmaschinen kritisierte. Dieses Flugblatt ist heute im Raum „Geschichte des Deutschen Museums" zu sehen.

IN UNSERER ZEIT werden solche kritischen Fragen selten gestellt. Die Flugzeuge werden heute mit großem fachlichen Interesse und einer gewissen Nostalgie betrachtet, wie die Besucherströme auf der Museumsinsel und in Schleißheim zeigen. Die über 40.000 Besucher der Jubiläumsflugtage in Oberschleißheim anlässlich der 100-Jahr-Feier des Deutschen Museums sprechen für sich. ▮▮

WILHELM FÜSSL, Historiker, Dr. phil., ist Leiter der Abteilung Archive des Deutschen Museums. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Geschichte des Museums. Er arbeitet an einer Biografie des Museumsgründers Oskar von Miller.

Schlusspunkt

Wunderstoffe aus Menschenhand

Das Wesen der Dinge

Von Daniel Schnorbusch

Die philosophische Annäherung an den Themenkomplex „Materialien" führte unseren Schlusspunkt-Autor in ein Sportgeschäft - das Eldorado für bewegungsbegeisterte Materialfetischisten.

Ich muss von allen guten Geistern verlassen gewesen sein, als ich zusagte, etwas über Material zu schreiben. Als Philosoph, der ich ja heimlich bin, bewege ich mich von morgens früh bis tief in die Nacht in ganz anderen Sphären, abstrakten, ephemeren, geistigen eben. Was habe ich schon mit „Material" zu schaffen, dachte ich und blätterte müde in meinem philosophischen Wörterbuch nach diesem Stichwort. „Material" gabs da nicht, dafür aber „Materialismus" und vor allem „Materie", eingekeilt zwischen Massenpsychologie und Mathematik. Seiten über Seiten und Verweise über Verweise dazu, Heraklit, Aristoteles, Descartes und Karl Marx. Materialismus, Idealismus, Dualismus, unvernichtbare und unerschaffbare Materie, Materie als Urstoff alles Seienden, leichte Materie, schwere Materie, dunkle Materie sogar, Materie ohne Ende. Mir schwindelte und ich sah ein, dass das meinen armen Geist überforderte und mein Körper auch, meine aus der Form geratene Materie sozusagen. Ich bekam heftiges Kniewackeln und übles Bauchgrimmen, legte mich mit einer Wärmflasche auf mein Sofa, schenkte mir einen Whiskey ein und rauchte eine Zigarette. Wenn du liegst, sagte ich mir, erholen sich dein Körper und dein Geist, zumal wenn sie in Wahrheit eins sind, wie ja einige behaupten. Da lag ich dann und starrte an die Decke und dachte, „Material, Material, Material", du Mutter aller Dinge, du hast mit dem praktischen Leben zu tun, mit dem handfesten, mit den Dingen, die uns umgeben und die wir tagtäglich verwenden, wie rück' ich dir nur zu Leibe und entlock' ich dir dein Geheimnis. „Geh' in ein Sporthaus", flüsterte mir schließlich gnädig mein Dämon ein, den ich, was sonst niemand weiß, zärtlich Fräulein Schröder nenne, „da findest du alles". „Ich soll in ein Sportgeschäft gehen? Das ist nicht dein Ernst!" entgegnete ich, „ich bin doch kein Kraxelhuber, ich bin Philosoph!" und fuhr unwillkürlich mit der Hand über meinen weichen Bauch. Aber Fräulein Schröder ließ nicht locker und hatte natürlich – wie immer – Recht. Kaum einer redet so gerne vom Material wie die Sportler mit ihren Mountainbikes, Snowboards und Kletterseilen. Das richtige Material, das falsche Material, billiges Material, hochwertiges Material, altes und neues, wer Material sucht und Menschen, deren Augen einen ganz seltsamen Glanz bekommen, allein wenn das Wort fällt, der muss zu den Sportlern.

„ENTSCHULDIGEN SIE" wandte ich mich an den braungebrannten Luis-Trenker-Typ an der Information, „ich suche Material". Luis Trenker sah mich irritiert und ratlos an. „Bitte sehr", sagte er schließlich und wies mit ausgreifender Geste auf die Treppe, „sieben Etagen Material, vom Keller bis zum Dach". Das hatte ich befürchtet. Tapfer stieg ich in den ersten Stock und sah mich um, ich stieg in den zweiten und in den dritten. Im vierten schien mir die Luft schon sehr dünn zu sein und im fünften, wo das Bergsteigermaterial untergebracht war, hechelte ich wie ein Hund nach der Treibjagd. Unübersehbare Mengen besten Materials hingen an Kleiderständern, lagerten in Regalen, standen in der Gegend herum. Geformte Materie aller Art: Polyester, Polyurethan und Polycarbonat, Graphit, Aramid und Neopren, Kevlar, Goretex und Elasthan, Aluminium, Edelstahl, Chrom-Molybdän und immer wieder das Metall der Metalle, Titan. Wer nach einem „Titanium" fragt, hat die Wahl zwischen Tennisschlägern, Fitness-Geräten, Snowboardbindungen, Boxhandschuhen, Sonnenbrillen, Trockenrudermaschinen, Golf-Caddies, Badminton-Rackets und Taucheranzügen. Alles irgendwie mit Titan, zum Einsatz gebracht selbst dort, wo man's gar nicht brauchen kann. Titan muss irgendwie „cool" sein, dämmerte es mir, während ich oben an die Wand gestützt und schwitzend auf den Lift wartete. Ich hörte es scheppern und rumpeln, dann herrschte eine Weile Stille.

EIN HEISERES RÖHREN ertönte, die Türen schoben sich ächzend zur Seite, der Aufzug war leer. Sein Boden war staubbedeckt, in den Ecken hingen Spinnweben und die Knöpfe ließen sich vor lauter Korrosion kaum drücken. Klar: Sportler gehen zu Fuß. Die brauchen keinen Lift. Es ging wieder abwärts, sehr gemächlich und mit unglaublichem Getöse. Hätte ich doch lieber die Treppe genommen, begann ich zu zweifeln, während ich hin- und hergerüttelt wurde. Dann ging es plötzlich sehr schnell, kein Rumpeln mehr, kein Lärm, statt dessen ein schwereloses Fliegen. Drei, vier Sekunden lang fühlte ich mich leicht und wohl. Dann ging das Licht aus. An den Knall, den es gegeben haben musste, konnte ich mich später nicht mehr erinnern. Aber immerhin war Fräulein Schröder so freundlich, mich im Krankenhaus zu besuchen und mir bei dieser Gelegenheit auch meine Halskrause etwas zu lösen. „Materialermüdung" hauchte sie mir zur Erklärung ins Ohr. Ich aber wußte nicht recht, wen sie meinte. ■■

DR. DANIEL SCHNORBUSCH ist Dozent für theoretische Linguistik an der Ludwig-Maximilians-Universität in München und freier Autor.

Abbildung: Jana Konschak

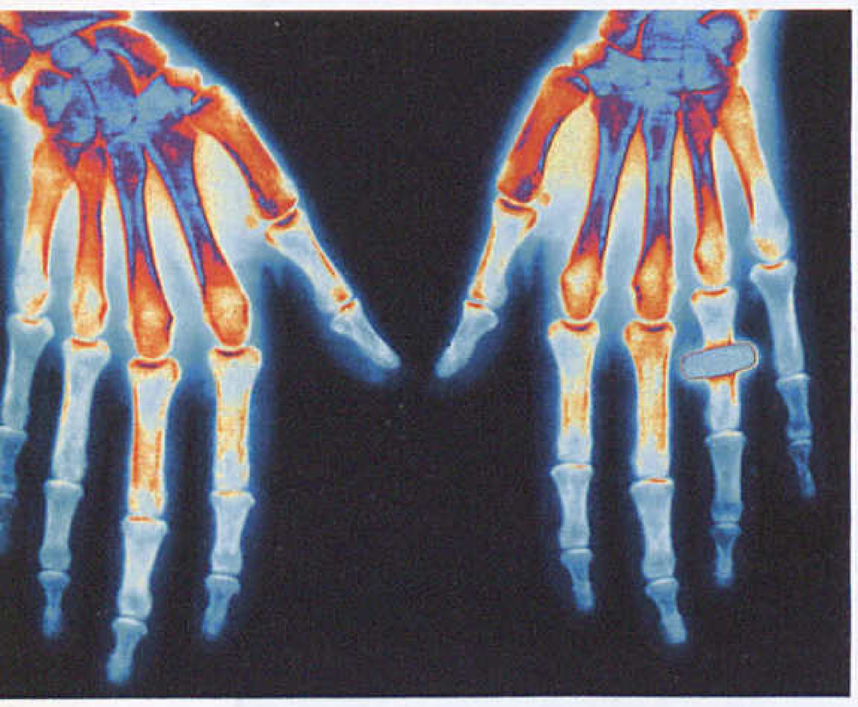
Vorschau

Heft 2/2004: Erscheinungstermin 5. April 2004

MENSCHEN-LEBEN ZWISCHEN ERSATZTEILEN

Die rasanten Fortschritte medizinischer Diagnostik und Therapie sind auch den Entwicklungen der Medizintechnik zu verdanken. Ein Bereich, in dem klassische Handwerksarbeit nach wie vor genauso gefragt ist wie wissenschaftlicher Forschergeist. Eine Sonderausstellung des Deutschen Museums wird Sie ab Mai 2004 durch diese spannende Welt vom Zahnersatz bis zum Tissue Engineering führen.

Kultur & Technik schaut hinter die Kulissen der Medizin-Industrie: Professor Gerd Hirzinger, Direktor am Deutschen Institut für Luft- und Raumfahrt, erläutert die Entwicklungswege „Von der Raumfahrt in den Operationssaal". Dr. Christian Lenk beleuchtet den Einsatz von Nanotechnologie in der Medizin. Mit Frau Professor Hildegunde Piza spricht Kultur&Technik über Möglichkeiten und Grenzen der Transplantationschirurgie. Der „Wissenschaftlerin des Jahres 2001" gelang als Erster die erfolgreiche Transplantation einer Hand. Oliver Tolmein macht sich Gedanken über Sinn und Unsinn von Ethikdebatten und Andrea Bistrich war bei einer Herzoperation live dabei.



Der Mensch als Ersatzteillager: Wer setzt medizinischem Ehrgeiz Grenzen?

Teamarbeit ist lebenswichtig. Kultur & Technik berichtet von einer Herzoperation.

IMPRESSUM

KULTUR & TECHNIK

Das Magazin
aus dem Deutschen Museum

28. Jahrgang

Herausgeber: Deutsches Museum München, Museumsinsel 1, D-80538 München; Postfach: D-80306 München, Telefon (089) 2179-1
www.deutsches-museum.de

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

Fachberatung, Deutsches Museum:
Dr. Matthias Knopp, Werner Heinzerling

Redaktion: folio gmbh, Horemansstraße 28, 80636 München, Telefon (089) 121167-0, Fax: (089) 12001153, ISDN (Leonardo): (089) 12001149
Email: kute@folio-muc.de
Sabrina Rachlé (Ltg.), Andrea Bistrich (Redaktion, Kaleidoskop), Bärbel Bruckmoser (Kultur, Koordination), Birgit Schwintek (Grafik).

Verlag: Verlag C.H.Beck oHG, Wilhelmstraße 9, D-80801 München; Postfach 400340, D-80703 München, Telefon: (089) 38189-0, Telex: 5215085 beck d, Telefax: (089) 38189-398, Postbank: München 6229-802, www.beck.de
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, Christof Gießler, Dr. Helmut Hilz, Dorothee Messerschmid, Dr. Eva A. Mayring, Dr. Annette Noschka-Roos, Prof. Dr. Jürgen Teichmann, Prof. Dr. Helmuth Trischler

Herstellung: Bettina Seng, Verlag C.H.Beck

Anzeigen: Fritz Lebherz (verantwortlich), Verlag C.H.Beck oHG, Anzeigen-Abteilung, Wilhelmstraße 9, D-80801 München; Postfach 400340, D-80703 München; Telefon: (089) 38189-598, Telefax: (089) 38189-599. – Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 17, Anzeigenschluss: 6 Wochen vor Erscheinen.
Repro: Rehmbrand, Rehms & Brandl Medientechnik GmbH, Friedenstraße 18, D-81671 München

Druck: aprinta Druck GmbH & Co. KG, Senefelderstraße 3-11, D-86650 Wemding

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

Bezugspreis 2004: Jährlich € 22.-, Einzelheft € 6,–, jeweils zuzüglich Versandkosten

Für Mitglieder des Deutschen Museums ist der Preis für den Bezug der Zeitschrift im Mitgliedsbeitrag enthalten (Erwachsene € 43,50, Schüler und Studenten € 25,50). Erwerb der Mitgliedschaft: Schriftlich beim Deutschen Museum, D-80306 München. – **Für Mitglieder der Georg-Agricola-Gesellschaft** zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik e.V. ist der Preis für den Bezug der Zeitschrift im Mitgliedsbeitrag enthalten. Weitere Informationen: Georg Agricola-Gesellschaft, Institut für Wissenschafts- und Technikgeschichte, TU Bergakademie Freiberg, 09596 Freiberg, Telefon (03731) 392226.

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

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

* * * * *

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

ISSN 0344-5690