

28 7361/1

**Aus Gas und Staub geboren** Aktuelle Erkenntnisse über die Entstehung der Planeten unseres Sonnensystems  
**Auf krummen Wegen zum Ursprung der Welt** Gravitationswellen berichten aus den Tiefen des Universums  
**Sternschau in der Wüste** Riesenteleskope auf den Berggipfeln der Atacama-Wüste in Chile erforschen das All

# KULTUR & TECHNIK



## Sterne, Planeten, Galaxien

Wie entstand das Sonnensystem? Können wir Gravitationswellen messen? Werden Menschen einst auf dem Mars leben? Die aufregenden Wege der Astronomie bei der Entschlüsselung der Geheimnisse des Universums.

# Sie haben noch viel vor.

## Haben Sie auch an alles gedacht?

Mit finanzieller Vorsorge alleine ist es nicht getan. Passt sich Ihr Haus, Ihre Wohnung jeder Lebensphase an? Werden Sie auch in Zukunft Menschen um sich haben, die für Sie da sind? Und wie steht es mit Unterstützung und Sicherheit im Alltag?

Das Augustinum hat seit vier Jahrzehnten Antworten auf Fragen des Alters.

Als **Augustinum Partner** können Sie sicher sein, ausreichend vorgesorgt zu haben. Und sich noch viel vornehmen.

Bitte senden Sie mir Informationsmaterial.

Name

Straße

PLZ, Ort

Telefon

Augustinum Wohnstifte

Postfach 700 129

81301 München

Fax 089 - 7098199

[www.augustinum.de](http://www.augustinum.de)



Der erste Schritt zu einer umfassenden Altersvorsorge. Informieren Sie sich über das Augustinum Konzept: Service Telefon 0800-22 12345

**21 x Augustinum:** Ammersee – Aumühle – Bad Neuenahr – Bad Soden – Bonn Braunschweig – Detmold – Dortmund – Essen – Freiburg – Hamburg Heidelberg – Kassel – Kleinmachnow/Berlin – Mölln – München – Roth Schweinfurt – Stuttgart – Überlingen

Augustinum 



## LIEBE LESERINNEN, LIEBE LESER,

im jetzt wieder beginnenden Winterhalbjahr ist es leichter, den Sternenhimmel zu bewundern, als im Sommer. Die Nächte sind länger, die Luft ist meist klar. Bei wolkenlosem Himmel und guten Bedingungen überwältigt uns das Muster aus scheinbar unzähligen, funkelnden Sternen (in Wirklichkeit sehen wir mit bloßem Auge nur etwa 3.000). Die meisten Sterne in unserer Galaxie und erst recht die unzähligen Galaxien in der Tiefe des Universums bleiben unserem Blick verborgen. Und doch macht schon dieser winzige Ausschnitt einen ehrfurchtgebietenden Eindruck. Aber nicht nur deshalb ist Astronomie für viele Menschen ein Thema von besonderem Reiz. Vielleicht liegt das auch an den Superlativen, welche die Astronomie bietet. Ihre zeitlichen und räumlichen Dimensionen, die Höhe der Energien mancher kosmischer Vorgänge oder die materielle Dichte kosmischer Objekte überfordern unsere Phantasie. Einige Fragestellungen der Astronomie berühren gar die Grenzen zur Philosophie und Religion.

Die Anregung für ein astronomisches Themenheft gab die ungewöhnliche Anhäufung astronomischer Ereignisse im Jahr 2004: der äußerst seltene Durchgang der Venus vor der Sonne (8. Juni 2004), die erfolgreichen Mars-Expeditionen der NASA (Ankunft Januar 2004), das erfolgreiche Einschwenken der Sonde Cassini in eine Umlaufbahn beim Saturn (Juli 2004) und die für Januar 2005 geplante Landung der Raumsonde Huygens auf dem Saturnmond Titan.

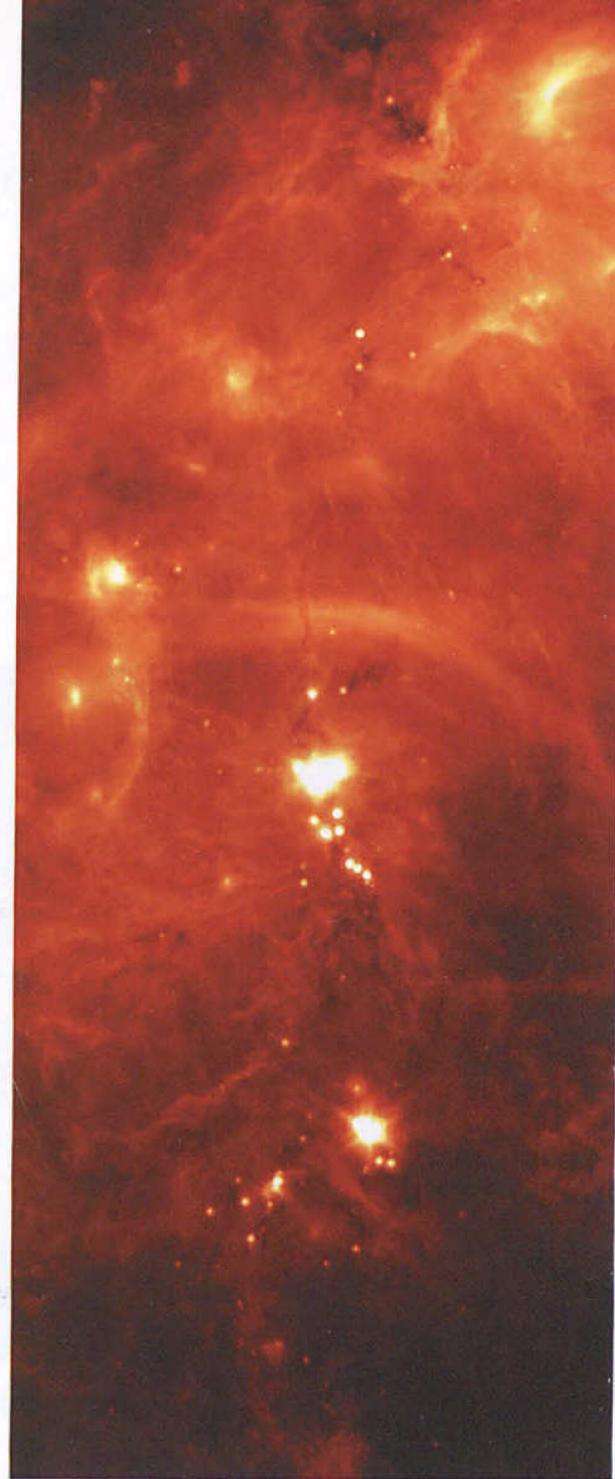
Mit in diese Reihe aktueller Ereignisse gehört auch der Start der ROSETTA-Sonde (März 2004), welche 2014 unter schwierigsten

Bedingungen auf dem winzigen Kern des Kometen 67P landen soll. Astronomen vermuten, dass die Kerne von Kometen aus ursprünglicher, – seit der Entstehung des Sonnensystems unveränderter – Materie bestehen. Aus deren Untersuchung erhofft man sich ein verbessertes Verständnis von der Bildung unseres Sonnensystems. Wie der komplexe Mechanismus funktioniert haben könnte, der vor ca. 4,5 Milliarden Jahren unsere Planeten schuf, skizziert Hans-J. Fahr in seinem Artikel. Der Beitrag von Puttkamers und das Interview mit Ulrich Walter beschäftigen sich u.a. mit der Frage, ob sich der Mensch auf anderen Himmelskörpern ansiedeln könnte.

Der primäre Forschungsgegenstand der Astronomie sind die materiellen Strukturen des Universums. Dass man zu ihrer Beobachtung die Astronomen heute gerne in die Wüste schickt, beschreibt E. Schmid in seinem Bericht über die Europäische Südsternwarte.

Mit dem Begriff »Teleskop« verbinden die meisten von uns die Abbildung eines entfernten Gegenstandes mit Hilfe des sichtbaren Lichtes. Doch Astronomen haben auch Teleskope für andere Wellenlängen des elektromagnetischen Spektrums (Radiostrahlung, IR-, UV-, Röntgen- und Gammastrahlung) ersonnen und gebaut. Dass sie heute sogar versuchen, Gravitationswellen zu beobachten und daraus Informationen über die materielle Beschaffenheit des Universums zu erhalten, lernen wir aus dem Beitrag von P. Aufmuth.

Nun mag der Einwand kommen: Wenn es schon Gravitationswellen gibt, die alle Materie im Universum (also auch uns Menschen) hin und her zerren, ohne dass wir etwas davon merken oder uns dagegen wehren können, könnten dann nicht doch die Himmelskörper den Ablauf des menschlichen Lebens beeinflussen? Einmal ehrlich: Wer hat nicht schon sein Horoskop gelesen und sich dabei ertappt (natürlich nur spaßeshalber!), die dort ste-



Sterngeburt DR21 im Sternbild »Cygnus«, aufgenommen vom Spitzer Space Telescope der NASA

henden Voraussagen auf seine aktuelle Lebenssituation anzuwenden? Wie das enden kann, erzählt Daniel Schnorbusch.

Das eingangs erwähnte Erlebnis eines prächtigen Sternenhimmels gehört leider nicht mehr zu unserer Alltagserfahrung. Wir erleben ihn heute meist nur noch in Urlaubssituationen oder künstlich im Planetarium. Welchem Wandel das Projektionsplanetarium, dessen Geburtsstätte das Deutsche Museum ist, in den vergangenen 80 Jahren durch die Entwicklung der modernen Astronomie unterworfen war, behandelt mein eigener Beitrag.

Ich wünsche Ihnen bei der Lektüre viel Spaß!

Ihr Gerhard Hartl  
Kurator der Abteilung Astronomie,  
Planetarium und Sternwarte

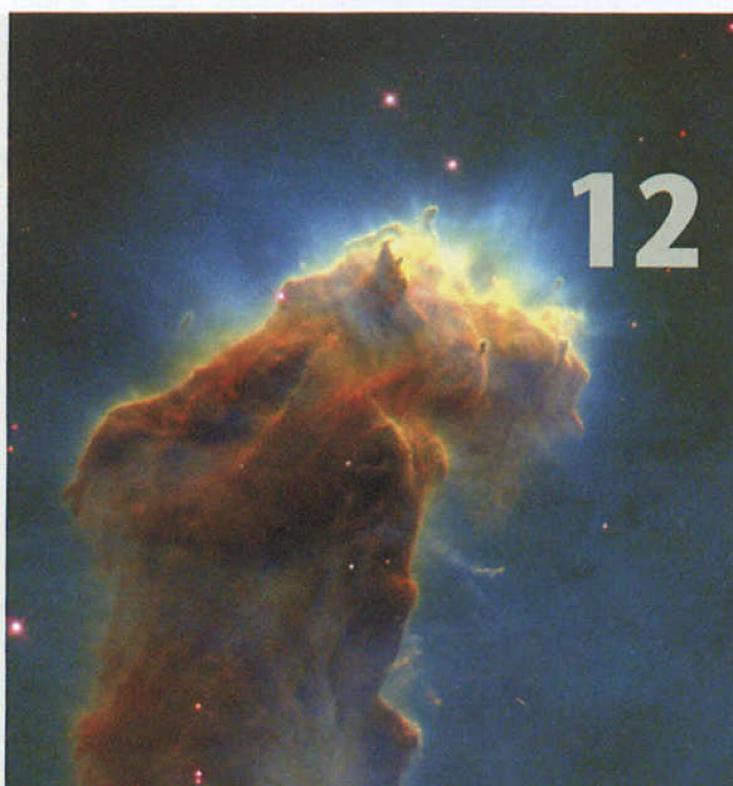
noch viel vor.

Thema	
<b>12</b>	<b>Aus Gas und Staub geboren</b> Die Entstehung des Sonnensystems von Hans J. Fahr
<b>18</b>	<b>Mission »Philae«</b> Im Jahr 2014 soll »Philae« auf dem Kometen 67P landen von Hilchenbach/Rosenbauer
<b>22</b>	<b>Auf krummen Wegen zum Ursprung der Welt</b> Die Beobachtung von Gravitationswellen von Peter Aufmuth
<b>26</b>	<b>Schöne neue Weltraumwelt</b> Ein kritischer Kommentar von Regina Hagen
<b>28</b>	<b>Nichts als schiere Neugier...</b> Interview mit Ulrich Walter von Andrea Bistrich

<b>34</b>	<b>Reisen zum Mars</b> Der Mars soll Ziel der bemannten Raumfahrt werden von Jesco Freiherr von Puttkamer
<b>39</b>	<b>Astronomie für die Sinne</b> Das Planetarium des Deutschen Museums von Gerhard Hartl
<b>42</b>	<b>Sternschau in der Wüste</b> Ein Besuch bei den Sternwarten in Chile von Eckehard Schmidt
<b>48</b>	<b>Bibliophile Kostbarkeit</b> Andreas Cellarius Meisterwerk: »Harmonia Macrocosmica« von Helmut Hilz

Magazin	
<b>50</b>	<b>Die Zwillingsmotoren</b> Die Geschichte des ersten serienreifen Dieselmotors von Horst W. Köhler

Rubriken	
<b>3</b>	<b>Editorial</b>
<b>6</b>	<b>Kaleidoskop</b> Nachrichten aus Wissenschaft, Bildung und Kultur
<b>54</b>	<b>Deutsches Museum intern</b> Nachrichten, Tipps, Termine
<b>61</b>	<b>Historische Galerie</b> Gedenktage technischer Kultur Oktober bis Dezember 2004
<b>63</b>	<b>Termine</b>
<b>64</b>	<b>Schlusspunkt</b> Der Mensch im Weltraum Von Daniel Schnorbusch
<b>66</b>	<b>Vorschau, Impressum</b>



# 12

**In interstellaren Gaswolken entstehen neue Sterne.**



# 22

**Albert Einstein geht – im Gegensatz zu Isaac Newton – davon aus, dass Gravitation keine eigenständige Naturkraft ist, sondern mit der Krümmung des Raumes zusammenhängt.**

Kalender  
 Erdkunde  
 zur Astronomie

Anzeige

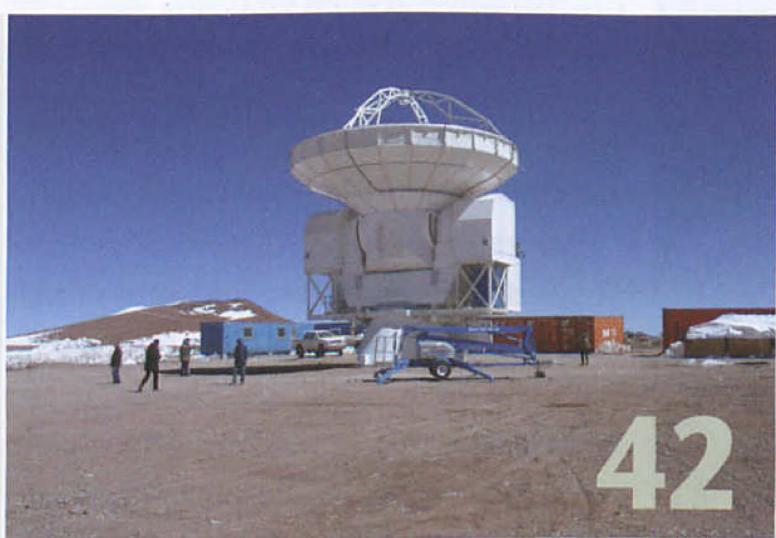


**M//Natur**  
 Besser leben mit M.

**Für München und eine gesunde Zukunft: Rund 35 Gigawattstunden jährlich umweltschonende Energie.**

München hat eine hohe Lebensqualität. Und damit das auch in Zukunft so bleibt, können Sie aktiv etwas dazu beitragen. Entscheiden Sie sich jetzt für M-Natur - das Ökostrom-Angebot der Stadtwerke München. Mit zusätzlich 1,78 Cent je Kilowattstunde fördern Sie die regenerative Energie-

gewinnung wie Wasserkraft, Sonnenenergie und Biomasse. Egal ob Sie Privat- oder Geschäftskunde sind, mit M-Natur liegen Sie immer richtig. Darum: Jetzt informieren und auf M-Natur umsteigen. [www.swm.de](http://www.swm.de).



**Auf über 4.000 Meter Höhe in den Anden befinden sich die größten Teleskope der Welt.**

**48**

**Die Bibliothek des Deutschen Museums besitzt die zweite, 1708 in Amsterdam gedruckte Ausgabe des Himmelsatlas von Andreas Cellarius: »Harmonia Macrocosmica«.**





NATIONAL GEOGRAPHIC STARTET TELE-ARCHÄOLOGIE-PROJEKT

## THE NEANDERTHAL TOOLS

Wie viel Neandertaler steckt noch in uns? Um diese Frage zu beantworten, startet National Geographic gemeinsam mit sieben europäischen Partnern das Tele-Archäologie-Projekt »The Neanderthal Tools« (TNT). Das weltweit bisher größte Verbundprojekt soll die Forschungen über Neandertaler zusammenführen und Aufschluss über Herkunft und Entwicklung des modernen Menschen geben. Die Ergebnisse der internationalen Studien sollen einer breiten Öffentlichkeit auf dem National Geographic ArchChannel präsentiert werden.

Neben vielen Informationen wird es ab 2005 auf einer eigenen Website zahlreiche interaktive Module geben, die im Stil einer Zeitreise in die Welt des Neandertalers führen. Parallel zum populären Wissenschaftsportaal sollen sich Paläoanthropologen und Archäologen auf einer geschlossenen Plattform über ihre Forschungen austauschen und zeitgleich an jedem beliebigen Ort mit den Fundstücken arbeiten können.

Bis zum Jahr 2006, dem 150. Jahrestag der Entdeckung des Neandertalers, soll das TNT-Projekt abgeschlossen sein. Dann wird man möglicherweise wissen, ob der Neandertaler tatsächlich der Vorgänger des Homo sapiens war oder aber eine eigene Menschenart, die vor etwa 27.000 Jahren verschwand.



War der Neandertaler tatsächlich der Vorläufer des homo sapiens?

## MINI-DIODE AUS KOHLENSTOFF-NANORÖHREN KLEINSTES ELEKTRONISCHES BAUTEIL WELTWEIT

Global Research, die weltweite Forschungs- und Entwicklungseinrichtung von General Electric (GE), hat eine besondere Hochleistungsdiode aus Kohlenstoff-Nanoröhren entwickelt. Die Nanodiode gehört mit zu den weltweit kleinsten bisher entwickelten elektronischen Bauteilen.

Die neue Diode aus Kohlenstoff-Nanoröhren ist der jüngste Erfolg des GE-Programms »Nanotechnology Advanced Technology«. Die bahnbrechende Technologie ist Titelthema der Juli-Ausgabe der Applied Physics Letters, herausgegeben von der American Physical Society.

Dioden sind Halbleiterelemente, die als Grundbausteine in vielen elektronischen Geräten wie Transistoren, Computerchips, Sensoren und LEDs zum Einsatz kommen. Die neue GE-Entwicklung ist funktional flexibler als herkömmliche Dioden: Die GE-Nanodiode kann nicht nur Licht aussenden, sondern auch registrieren und lässt sich somit als Diode oder Transistor einsetzen.

»Siliziumtransistoren haben die Vakuumröhrentechnik abgelöst und damit das elektronische Zeitalter eingeläutet. Die Kohlenstoff-Nanoröhrentechnik verleiht der Elektronik jetzt eine ganz neue Qualität«, so Margaret Blohm, Leiterin des GE-Nanotechnologie-Programms.

Nach Ansicht des Entwicklers der Diode, Dr. Ji-Ung Lee, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Nanotechnologie-Programm des GE-Forschungszentrums in Niskayuna, N.Y., könnte dieser technologische Durchbruch eine ganze Reihe wichtiger Anwendungen im Computer- und Kommunikationsbereich sowie der Leitungselektronik und Sensortechnik voranbringen.



## WETTER

**MEERESPFLANZEN BEEINFLUSSEN WOLKENBILDUNG**

Die US-Wissenschaftler Dierdre Toole von der Woods Hole Oceanographic Institution und David Siegel von der University of Santa Barbara haben entdeckt, dass sich pflanzliches Plankton gegen zu viel Sonne beziehungsweise gegen ultraviolette Strahlung wehrt, indem es mehr Wolken entstehen lässt.

Den komplexen Mechanismus haben die Forscher jetzt erstmals in der Sargasso-See im Atlantik beobachten können. Wenn im Sommer die Sonne auf das Meer brennt, belastet die starke UV-Strahlung das Plankton. Unter diesem Stress setzen die Pflanzen zu ihrem Schutz eine Substanz namens Dimethylsulfonpropionat (DMSP) frei, mit der sie, wie die Wissenschaftler vermuten, ihre Zellwände stärken. Gelangt DMSP ins Wasser, wird es von Bakterien in Dimethylsulfid (DMS) verwandelt. DMS wiederum ist in Wasser unlöslich und sammelt sich an der Oberfläche. Von dort kann es als Gas in die Luft gelangen, wo es mit Sauerstoff zu verschiedenen weiteren Schwefelverbindungen reagiert. So entstehen winzige Schwebpartikel, an denen Luftfeuchtigkeit kondensieren kann – es kommt zur Wolkenbildung. Auf diese Weise sorgen die Pflanzen dafür, dass sich Wolken über dem Meer bilden und dadurch weniger schädliche UV-Strahlung zu ihnen durchdringt.

In weiteren Untersuchungen wollen die Wissenschaftler herausfinden, wie sehr die vom Plankton produzierten Wolken tatsächlich das Klima oder die globale Temperaturentwicklung beeinflussen. Möglicherweise bestehe sogar die Möglichkeit, dass dieser Kreislauf die globale Erwärmung verlangsamt.

## Erlebnisreisen zur Astronomie



Besichtigung der ESO-Sternwarten (European Southern Observatory) in Nordchile. Wissenschaftliche Erklärungen durch einen Berufsastronomen: der südliche Sternenhimmel, die Milchstraße mit dem galaktischen Zentrum, die Magellan'schen Wolken usw.; Teleskopbenutzung. Einführung in die chilenische Kultur, Geografie und Geologie.

### Die Wege der Sonne – eine Reise zur

#### Archäoastronomie Mexikos

Erleben Sie das Schattenschauspiel der Tag- und Nachtgleiche im März 2005 an der Kukulcanpyramide auf Yukatan. Mit anschließender Rundreise zu den archäologischen und astronomischen Stätten Mexikos. Variable Anschlussprogramme und Reiseverlängerungen.

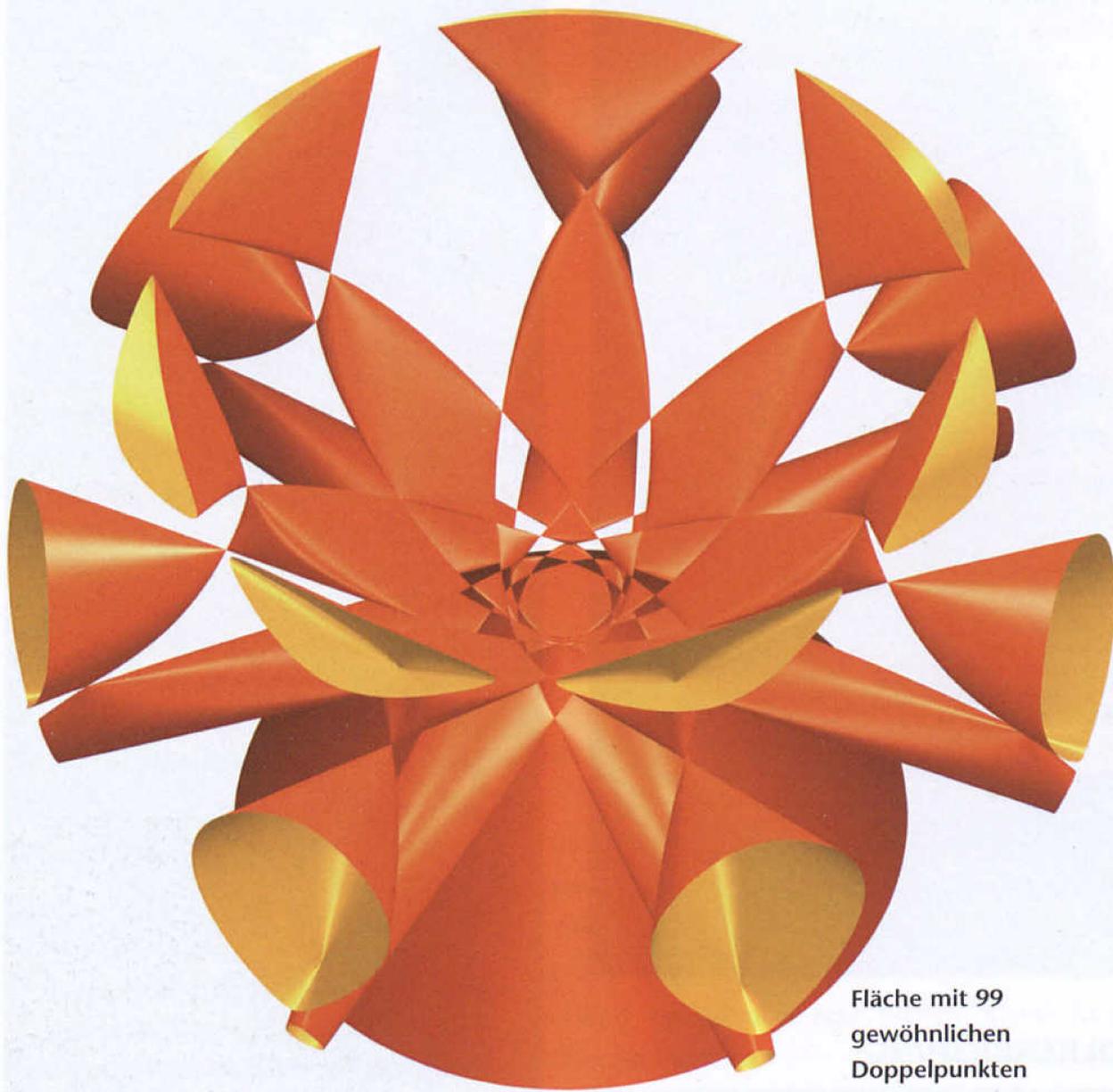
#### Sonnenfinsternisbeobachtungen

In 2005 und 2006 finden ringförmige und totale Sonnenfinsternisse außerhalb Deutschlands statt. Dazu gibt es spezielle Reiseangebote.

#### Informationen bei:

Dr. Eckehard Schmidt  
Brunhildstraße 1a, 90461 Nürnberg  
Telefon: 0911/ 472 09 78

info@wissenschaftsreisen.de  
www.wissenschaftsreisen.de



Fläche mit 99  
gewöhnlichen  
Doppelpunkten

## MATHEMATIK-WELTREKORD

Dem Wissenschaftler Oliver Labs aus der Arbeitsgruppe Algebraische Geometrie von Professor Dr. Duco van Straten an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz gelang ein wichtiger mathematischer Durchbruch: die Konstruktion einer Fläche von Grad 7 mit 99 Doppelpunkten. Damit verbesserte Labs den zwölf Jahre alten Rekord von S. Chmutov (Ohio State University) um 6 Doppelpunkte. Schon geraume Zeit gab es Indizien für die Existenz einer solchen Fläche durch umfangreiche modulare Computerrechnungen. Die Entdeckung folgte nach einer monatelangen Suche durch ein vertracktes Labyrinth von Gleichungen, das sogar für die schnellsten Computer unlösbar schien. Algebraische

Geometrie ist ein Teilgebiet der Mathematik, das sich mit der Beziehung zwischen den algebraischen Strukturen von Gleichungen und der geometrischen Struktur der Lösungen beschäftigt. Flächen mit vielen Doppelpunkten haben einen Bezug zur Kodierungstheorie, einem Eckpfeiler der modernen Telekommunikation. Für Spekulationen über Anwendungen sei es Labs zufolge aber noch zu früh. »Wir freuen uns, dass die Fläche hier in Mainz gefunden wurde und dass wir trotz der derzeit schwierigen Rahmenbedingungen Spitzenleistungen in der Forschung vorweisen können«, erklärte Professor Duco van Straten.

<http://enriques.mathematik.uni-mainz.de>  
<http://www.AlgebraicSurface.net>

## AKTIONSBÜNDNIS

### BILDUNG UND FORSCHUNG

Dreißig Organisationen aus Bildung und Wissenschaft haben sich in einem Aktionsbündnis zusammengeschlossen. Sie fordern den Gesetzgeber dazu auf, bei der anstehenden erweiterten Umsetzung der europäischen Urheberrechtsrichtlinie den Spielraum des Urheberrechts für Bildung und Wissenschaft zu nutzen.

Dem Aktionsbündnis »Urheberrecht für Bildung und Wissenschaft« gehören neben vielen wissenschaftlichen Fachgesellschaften unter anderen die Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V. (HGF), die Wissenschaftliche Gemeinschaft Leibnitz (WGL) an. Das Bündnis kritisiert, dass der Gesetzgeber bei der bisherigen Umsetzung der EU-Urheberrechts-Richtlinie 2001/29/EG in nationales Urheberrecht vornehmlich die Belange der Rechteinhaber zur kommerziellen Nutzung digitaler Medien berücksichtigt hatte. »Für Bildung und Wissenschaft ist es im Zeitalter der digitalen Medien von besonderer Bedeutung, dass Schulen und Wissenschaftseinrichtungen einen erleichterten Zugang zu und Umgang mit urheberrechtlich geschützten Werken behalten«, so Professor Thomas Hoeren, Institut für Informations-, Telekommunikations- und Medienrecht an der Universität Münster. Ziel des Aktionsbündnisses ist es daher, verstärkt auf die Bedeutung von Bildung und Forschung für die deutsche Volkswirtschaft aufmerksam zu machen. Anstatt vorrangig die Vermarktung von Information zu regulieren, müsse der Gesetzgeber in der zweiten Phase der Novellierung das Urheberrecht den Anforderungen von Bildung und Wissenschaft anpassen.

[www.urheberrechtsbuendnis.de](http://www.urheberrechtsbuendnis.de)

## NEU ERSCHIENEN: »ERWACHSENENBILDUNG UND DIE POPULARISIERUNG DER WISSENSCHAFT«

Das Deutsche Institut für Erwachsenenbildung (DIE), Bonn, hat eine neue Publikation über »Erwachsenenbildung und die Popularisierung der Wissenschaft« herausgegeben.

Darin wird speziell die Rolle der Naturwissenschaften in der Erwachsenenbildung aufgegriffen. Die Autoren untersuchen, welche »Wissenschaftskompetenzen« Erwachsene heute im Sinne einer mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundbildung brauchen.

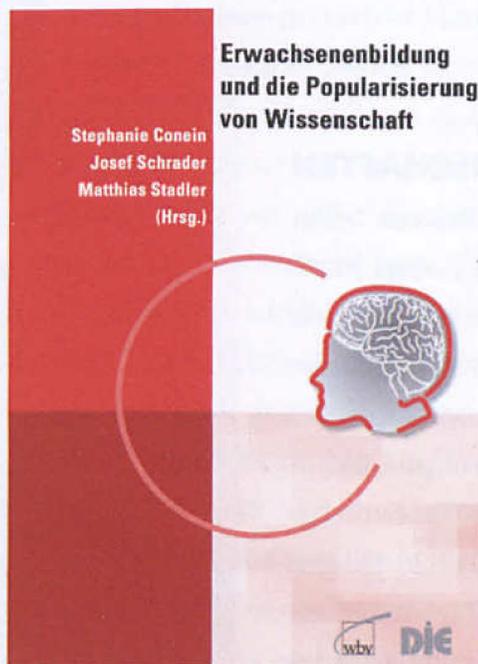
Ob Sachbücher, Internet oder Fernsehsendungen wie Quarks&Co: Das

Wissen über Wissenschaften steht derzeit hoch im Kurs, einschlägige Formate boomen. Auch die Forschungs- und Bildungspolitik hat die Bedeutung des »Public Understanding of Science« (PUS) erkannt und zahlreiche Initiativen und Wettbewerbe ins Leben gerufen. Zur gleichen Zeit berichtet jedoch die organisierte Erwachsenenbildung von einer

schlechten Annahme einschlägiger Angebote: Volkshochschulen verzeichnen sinkende Veranstaltungszahlen im Bereich Naturwissenschaft und Technik. Wie passt das zusammen?

Was steckt hinter dieser Ambivalenz?

Das Buch beschreibt den Stand der Erwachsenenbildung im Bereich von Mathematik, Naturwissenschaft und Technik; es stellt die Vermittlungsformen wissenschaftlichen Wissens außerhalb der organisierten Erwachsenenbildung vor und prüft ihre Brauchbarkeit.



**Stephanie Conein, Josef Schrader, Matthias Stadler (Hrsg.): Erwachsenenbildung und die Popularisierung von Wissenschaft. Probleme und Perspektiven von Mathematik, Naturwissenschaft und Technik. ISBN 3-7639-1864-7, Euro 22,90.**

[www.die-bonn.de](http://www.die-bonn.de)

## LÄNDERÜBERGREIFENDES PROJEKT GESTARTET DIE WEGE DES WASSERS

Wasser bedeutet Leben, bedeutete in der Vergangenheit vor allem Handel und Austausch, aber auch Nahrung und Energie – dies beweisen die vielen großen Städte und kleinen Dörfer, die an Flüssen oder Bächen angesiedelt sind. Gewässer machen nur vor natürlichen Barrieren halt. Trotzdem werden Fließgewässer heutzutage oft nur als linienhafte Elemente in einer durch politische Grenzen geteilten Landschaft wahrgenommen. Nach den Vorgaben des Europäischen Rates in der »Europäischen Wasserrahmenrichtlinie« sollen in Zukunft alle Einflussfaktoren der Fließgewässer ganzheitlich betrachtet werden.

Das Pilotprojekt »Wege des Wassers« – gefördert unter anderem von der EU und dem Land NRW – will die Rahmenbedingungen und Konsequenzen dieser neuen Sicht auf die Flüsse und Bäche der Maas-Rhein-Region untersuchen. Dazu hat das Geographische Institut der RWTH Aachen eine in ihrer Konstellation einzigartige Mannschaft von Wissenschaftlern (Universitäten Aachen, Lüttich, Amsterdam) und Wassermanagern (Staatliches Umweltamt Aachen, Wasserverband Eifel-Ruhr, Rijkswaterstaat Limburg, Waterschap Roer en Overmaas) für dieses Projekt gewinnen können. Erste Ergebnisse liegen bereits vor: Neben den zahlreichen natürlichen Faktoren, die auf die Gewässer wirken, zeigt sich, dass auch die kulturellen und historischen Rahmenbedingungen in den drei Partnerländern einen messbaren Einfluss auf die Qualität der Oberflächengewässer haben.

[www.wegedeswassers.de](http://www.wegedeswassers.de)

MIT GRIPS ZUM NÄCHSTEN LEVEL

## JUGEND FORSCHT

Unter dem Motto: »Jugend forscht – Der nächste Level« startet Europas größter wissenschaftlicher Nachwuchswettbewerb in die 40. Runde. »Wir ermuntern die Jugendlichen zu entdecken, was sie bisher noch nicht gesehen haben«, sagt Dr. Uta Krautkrämer-Wagner, Geschäftsführerin der Stiftung »Jugend forscht e.V.«. Teilnehmen kann jeder unter 21 Jahren. Das Thema muss lediglich in eines der sieben Fachgebiete passen: Arbeitswelt, Biologie, Chemie, Geo- und Raumwissenschaften, Mathematik/Informatik, Physik und Technik. Einzel- oder Teamarbeiten (bis drei Teilnehmer) sind zugelassen.

Anmeldeschluss: 30. 11. 2004

[www.jugend-forscht.de](http://www.jugend-forscht.de)

Anzeige

## Mineralientage München 2004

Hallen A4, A5, A6  
täglich 9 - 18 Uhr

29. Oktober:  
Fachhändlerstag

30.-31. Oktober:  
Publikumsbörse

41. Internationale  
Geo-Fachmesse

29. - 31. Oktober 2004  
Messe München



- Mineralien
- Fossilien
- Edelsteine
- Schmucksteine
- Esoterikbedarf
- Sammlerzubehör
- Werkzeuge
- Fachliteratur



Mineralientage München, Postfach 1361, D-82034 Oberhaching  
Besucherservice: ☎ 089-6134711 - Fax 089-6135400  
[www.mineralientage.de](http://www.mineralientage.de)

## KULTURGESCHICHTE DER STIMME

Der menschlichen Stimme widmet das ZKM in Karlsruhe eine Ausstellung besonderer Art: im sonst so visuell

geprägten Zeitalter steht bei »Phonorama« das akustische Erleben im Mittelpunkt. Aufzeichnungen berühmter Persönlichkeiten aus Stimmarchiven – Andy Warhol etwa sammelte Stimmen – sind dabei genauso zu hören wie Beispiele der Ausdrucksvielfalt von Ge-

sangslagen von Kastraten-Sopran bis Bass. Lautmalende Poeten kommen ebenso zu Wort wie Performancekünstler. Darüber hinaus liegt aber auch ein Schwerpunkt auf den Möglichkeiten der elektronischen Manipulation oder gar künstlichen Herstellung von gesprochener Sprache.

Natürlich gibt es in Karlsruhe auch etwas zu sehen, wie z.B. historische Phonographen und andere technische Geräte zur Aufnahme und Wiedergabe von Stimmen. Sprechmaschinen aus dem 18. und 19. Jahrhundert werden ebenso vorgestellt wie Messinstrumente und Notationsverfahren.

Bis zum 30. Januar 2005

ZKM Museum für Neue Kunst

<http://www.zkm.de/phonorama>



## HÖREN

### DER MANN OHNE EIGENSCHAFTEN

Der Fragment gebliebener Roman »Der Mann ohne Eigenschaften« von Robert Musil – zweifellos ein ebenso faszinierendes wie sperriges Stück Weltliteratur – steht Ende des Jahres im Mittelpunkt des Programms des Radiosenders Bayern2. Nach Großproduktionen wie »Moby Dick« oder »Der Zauberberg« kommt nun die Ursendung des 20-teiligen Hörspiels »Der Mann ohne Eigenschaften. Remix« vom 27. Dezember bis zum 5. Januar ins Radio.

Als Remix verstehen die Macher das Hörspiel aus mehreren Gründen. Zunächst einmal werden als Textvorlage nicht alleine die ersten zwei Teile des Romans, die schon zu Lebzeiten des Autors veröffentlicht wurden verwendet. Fast genauso viel Raum nehmen die Textskizzen, alternative Handlungsentwürfe, essayistische Abschweifungen aus dem Nachlass des Autors ein. Das umfangreiche Material ist durch die vom Klagenfurter Robert-Musil-Institut vorbildlich editierte textkritische Aufbereitung in digitaler Form zugänglich gemacht worden und findet nun

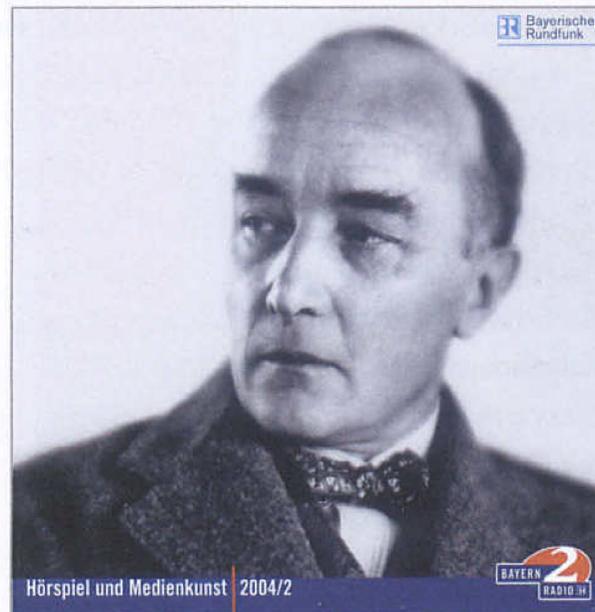
## ERNST BARLACH IN ULM

### ZEICHNUNGEN UND SKULPTUREN

Rund 100 Zeichnungen von Ernst Barlach sind bis zum 21. November in Neu-Ulm zu sehen. Barlachs Ausdrucksreichtum spiegelt sich in der Vielfalt seiner Motive und Formate. Er skizzierte fantasievollen Jugendstil, zeichnete Karikaturen für »Simplicissimus« und »Jugend«, bannte Straßenszenen mit schneller Hand aufs Papier und machte sich auch als Buch-Illustrator einen Namen. Ausgewählte Skulpturen ergänzen die Ausstellung.

Edwin Scharff Museum, Neu-Ulm

[www.edwinscharffmuseum.de/](http://www.edwinscharffmuseum.de/)



Musils »Mann ohne Eigenschaften« auf CD

seinen Weg in eine neue Fassung des Romans, die versucht, dem Schreibexperiment in seiner Gesamtheit künstlerisch gerecht zu werden. Ergänzt wird der Musil-Schwerpunkt durch ein Rahmenprogramm, das ab Mitte November beginnt, den Hörer in das Mammutwerk einzuführen. Eine kombinierte Buch-/Hörbuchausgabe wird begleitend beim Hörverlag erscheinen.

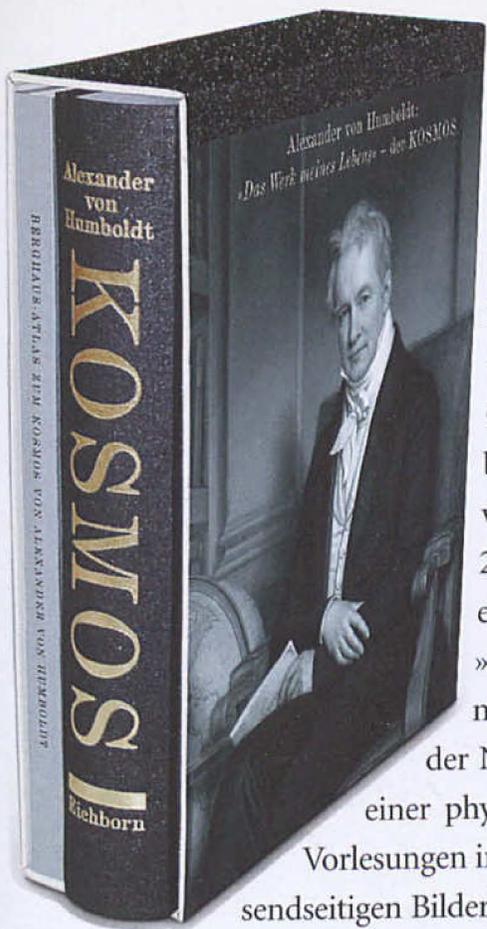
[www.br-online.de/kultur-szene/hoerspiel/](http://www.br-online.de/kultur-szene/hoerspiel/)

## FARBTUPFER FÜR GRAUE TAGE

Gönnen Sie sich um die Weihnachtszeit einen Ausflug in wärmere Gefilde. Gelegenheit dazu bietet sich ab dem 21. Dezember im Botanischen Garten in München-Nymphenburg. Dann flattern dort wieder tropische Schmetterlinge durchs Wasserpflanzenhaus.

Botanischer Garten

[www.botmuc.de/](http://www.botmuc.de/)



## THE WORLD ACCORDING TO HUMBOLDT

Herausgeber Hans Magnus Enzensberger feiert mit seiner »Anderen Bibliothek« in diesem Jahr 20-jähriges Jubiläum. Grund genug für eine publizistische Großtat: Mit dem Humboldt-Projekt soll Alexander von Humboldt (1769–1859) wieder mehr in den Blickpunkt gerückt werden. Im Herbst 2004 erscheinen drei seiner Hauptwerke in gewohnt sorgfältig editierter Ausgabe. Neben einer deutschen Erstausgabe von »Ansichten der Kordillern und Monumente der eingeborenen Völker Amerikas« und einer Neuauflage von »Ansichten der Natur« ist es vor allem die Ausgabe von »Kosmos - Entwurf einer physischen Weltbeschreibung«. Aus populärwissenschaftlichen Vorlesungen in Berlin entwickelt Humboldt in diesem Buch einen fast tausendseitigen Bilderbogen des Lebens auf der Erde, vom Eismeer bis zur Wüste. Darüber hinaus wendet er aber den Blick auch ins All, zu Nebelsternen und Kometen. Scheinbar mühelos verbindet Humboldt Wissenschaft und Abenteuer in einem großen, im besten Sinne populärwissenschaftlichem Werk, in dem es keine Differenzen zwischen Natur- und Geisteswissenschaft gibt. Durch sein – man würde heute sagen – globales Denken und ökologisches Bewusstsein, durch seine Unabhängigkeit als Forscher und vor allem durch seinen Enthusiasmus hat die Lektüre dabei nicht an Aktualität verloren.

Alexander von Humboldt, **KOSMOS-Entwurf einer physischen Weltbeschreibung**  
Eichborn Verlag, 944 Seiten, 99 Euro, ISBN 3-8218-4549-X

Im Internet: Humboldt - Portal [www.humboldt-portal.de](http://www.humboldt-portal.de)

### WEBTIPP

## DEUTSCH-ARABISCHES LITERATURFORUM »MIDAD«

Auf Initiative der Goethe-Institute im Nahen Osten und in Nordafrika entstand das Stadtschreiber-Projekt »Midad«. Sechs deutsche und sechs arabische Autoren leben jeweils einen Monat in der anderen Kultur, begegnen in fremden Städten dem alltäglichen Leben. Kairo, Ramallah, Hamburg und München sind einige der Stationen. Von ihren Eindrücken und Erlebnissen berichten die Autoren in Tagebüchern, die dann auf der zweisprachigen Website veröffentlicht wird.

Im Internet:

[www.goethe.de/midad](http://www.goethe.de/midad)

Anzeige

# ABENTEUER ARCHÄOLOGIE

*Jetzt kostenlos testen!*

ABENTEUER ARCHÄOLOGIE öffnet Ihnen vierteljährlich ein Tor in vergangene Welten. In packenden Beiträgen vermitteln Archäologen die Faszination längst verschwundener Kulturen.

Lernen auch Sie die Geheimnisse der Vergangenheit kennen und testen Sie ABENTEUER ARCHÄOLOGIE kostenlos.

[www.abenteuer-archaeologie.de](http://www.abenteuer-archaeologie.de)

Coupon ausschneiden oder per Fax an  
**0 6 2 2 1 9 1 2 6 - 7 5 1**

Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH  
Leserservice · Slevogtstraße 3–5 · D-69126 Heidelberg  
Tel.: 06221 9126-743 · Fax: 06221 9126-751  
E-Mail: [marketing@spektrum.com](mailto:marketing@spektrum.com)

Oja, ich möchte die aktuelle Ausgabe von ABENTEUER ARCHÄOLOGIE kostenlos testen. Falls ich nicht zwei Wochen nach Erhalt des Probeheftes den weiteren Bezug abbestelle, erhalte ich ABENTEUER ARCHÄOLOGIE im Jahresabonnement (vier Ausgaben) für 29,60 € (ermäßigter Preis auf Nachweis 25,60 €) frei Haus. Bei Versand ins Ausland werden die Mehrkosten berechnet. Ich kann mein Abonnement jederzeit beenden, zu viel bezahltes Geld erhalte ich zurück. Alle Preise verstehen sich inkl. Umsatzsteuer.

NAME / VORNAME \_\_\_\_\_

STRASSE / NR. \_\_\_\_\_

PLZ / WOHNORT \_\_\_\_\_

DATUM / UNTERSCHRIFT \_\_\_\_\_

4430169

Die Entstehung der Planeten unseres Sonnensystems

# Aus Gas und Staub geboren

7.000 Lichtjahre von der Erde entfernt befindet sich der Omega-Nebel. Einzelne Sterne dieses Systems strahlen zehn Millionen Mal heller als unsere Sonne.

Die Wissenschaft sucht stets nach naturgesetzlichen Erklärungen für die Erscheinungen der Natur. Auch Astronomen tun das. Aber wie zuverlässig lassen sich das »Sonnensystem« und die darin auftauchenden bekannten Planeten tatsächlich erfassen?

Von Hans J. Fahr

✓ **B**is vor kurzem erschien uns unser Sonnensystem als einzigartig im Kosmos. Doch spätestens als Michel Mayor und Didier Queloz vom astronomischen Observatorium der Universität Genf 1995 die erste Entdeckung eines extrasolaren Planetensystems verkündeten, ist die Situation eine völlig andere geworden. Inzwischen glaubt man, über hundert extrasolare Planetensysteme in unserer galaktischen Nachbarschaft entdeckt zu haben, und man sollte hoffen dürfen, an dieser exemplarischen Hundertschaft die entscheidenden Parameter für das »typische Sonnensystem« aufzufinden. Erfüllt sich damit die Hoffnung, Sonnensysteme und Planeten wie nach Baukastenanleitung entstanden verstehen zu können? Und somit dann auch: Sonne und Planeten nicht als ein Zufallsprodukt, sondern eher als eine Notwendigkeit des kosmischen Geschehens zu sehen? Man wird zur allgemeinen Überraschung antworten müssen: leider nein! Denn alle bisher gefundenen extrasolaren Sonnensysteme« sind bei genauerer Betrachtung unserem System doch sehr unähnlich. Zumindest soweit dies die heute bekannten Fakten aussagen können. Aber versuchen wir trotz der Abweichungen im Folgenden, soweit wir dies heute können, das Sonnensystem, seine Planeten und darunter speziell die Erde hinsichtlich ihrer Entstehungsgeschichte zu verstehen.



Sternengeburt: Kompakte interstellare Gaswolke, aufgenommen mit dem Hubble Teleskop.

**ASTROPHYSIKALISCHE VORAUSSETZUNGEN.** Ein kurzer Blick auf die Geburtsstätten der Sterne im Kosmos kann zeigen, mit welchen kosmischen Unwägbarkeiten die Entstehung unseres Erdplaneten zusammenhängt. Heute gibt es gute sowohl theoretische als auch beobachtungsgestützte Gründe anzunehmen, dass Sterne in dichten und dunklen, interstellaren Gaswolken entstehen, wo die Gasdichten größer und die Gastemperaturen kleiner als irgendwo sonst im freien Kosmos sind. Solche Dunkelwolken lassen sich an den verschiedensten Stellen unserer Galaxie, der Milchstraße, mit den Mitteln der heutigen Weltraumteleskopie optisch und infrarot in ihrer räumlichen Gestalt und Ausdehnung eindrucksvoll erkennen. Im Inneren dieser Wolken laufen faszinierende Geburtsvorgänge ab, die die Bildung von jungen Sternen und Sonnen zur Folge haben. Diese dichten und kalten Gasbereiche neigen dazu, ein unter ihrer eigenen Schwerkraft kollapsinstabiles Milieu auszubilden, welches durch lokale Störeinflüsse dazu veranlasst wird, im eigenen, von den Gas-

massen selbst arrangierten Gravitationsfeld, auf sein Massenzentrum hin zu kollabieren.

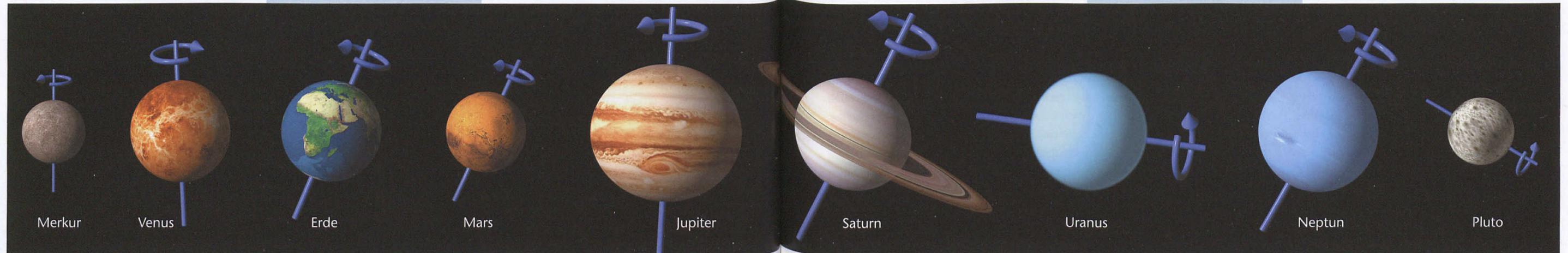
Wenn nur genügend viel Gasmasse auf genügend kleinem Raum zusammenkommt, so kann dieses Gas sich nicht mehr aus dem Gefängnis seiner eigenen Schwerkraft befreien. Es verbleibt als eigenes vom restli-

**Globulen:** Kompakte rundliche Dunkelwolken, bei denen es sich vermutlich um Vorstufen bei der Bildung von Protosternen handelt.

direkt über den telephotographischen Anblick gefunden worden, den sie im Lichte ihrer optischen oder infraroten Emissionen den heutigen Teleskopen darbieten. Dass solche inzwischen zahlreich gesichteten protoplanetaren Scheiben nicht einfach durchaus unstrukturierte, mehr oder weniger um den

Als Folge der chemischen Zusammensetzung der ursprünglichen Brocken stellt die Erde in diesem Stadium einen glühenden Ball aus geschmolzenen Mineralien wie verschiedenartigen Aluminium- und Magnesiumoxyden dar, deren Hauptbestandteile Silizium, Magnesium und Kalzium sind. Die an diese

diese spätestens von dem später einsetzenden, sehr starken T-Tauri-Wind der frühen Sonne dem Planeten wieder entrissen worden sein. Dieser sogenannte T-Tauri-Wind entsteht in der Umgebung der frühen Sonne als ein starker sonnenaußenwärts gerichteter Gas- und Plasmastrom, wenn in einer gewissen Ent-



chen Kosmos abgeschnürtes Massensystem, das dann einen vom Restkosmos isolierten Entwicklungsweg nimmt. Ein Gebilde wie unsere Sonne kann sich bei Ansicht der heute existenten interstellaren Gasphasen nur dann ausbilden, wenn die vorliegenden Gasdichten etwa 105 Gasmoleküle pro Kubikzentimeter betragen und die dazugehörigen Temperaturen Werte von unter 100 Kelvin annehmen. Solche Zustände liegen nun tatsächlich in interstellaren Dunkelwolken vor – und sie erlauben gemäß heutiger Sicht auch nur dort Sternentstehung.

Mit der beginnenden Verdichtung der beteiligten Materie im eigenen Schwerfeld wird eine Reihe von kompliziert aufeinander abgestimmten Prozessen eröffnet. Das kollabierende Gasgebilde erwärmt sich und baut immer höhere innere Drücke auf. Gleichzeitig kann über die Oberfläche der **Globulen** Energie in den umgebenden Kosmos abgestrahlt werden. So wird der Innendruck nicht wegen des Energiestaus immer größer, sondern lediglich das Fortschreiten des Kollapses für eine gewisse Zeitdauer verlangsamt.

Viele **protoplanetare** Gasscheiben sind inzwischen um junge Sterne herum entweder indirekt über ihre spektrale Emission oder

**Protoplanet:** Bei der Entstehung eines Sonnensystems bilden sich erst kleine Staubkörner, die sich zu größeren Körnern sammeln. Diese stoßen dann wieder zusammen und wachsen weiter an. Dieses Entwicklungsstadium wird »Protoplanet« genannt. Zusammenstöße von Protoplaneten führen schließlich zur Entstehung von Planeten.

**Akkretion:** Prozess, durch den ein kosmisches Objekt Materie aus seiner Umgebung aufammelt und seine Masse vergrößert (lat. accrescere: hinzuwachsen).

Zentralstern kreisende, homogen verteilte Gasmaterie erscheinen, sondern von einem hochkomplexen Strukturierungsgeschehen Zeugnis geben, wurde erst kürzlich wieder in besonders augenfälligem Maße an einer Infrarotaufnahme des 470 Lichtjahre von uns entfernten Sterns AB-Aurigae im Sternbild »Fuhrmann« offenbar.

**ERDE ALS TEIGARTIGE KUGEL.** Für das Massenwachstum des frühen Erdkörpers während der ersten 100 Millionen Jahre ist dasjenige Festkörpermaterial verantwortlich, welches in Form großer Gesteinsbrocken gravitativ auf den Protoplaneten hingezogen wird. Bei der **Akkretion** auf den irdischen Protoplaneten erhitzt es unter der wirkenden Schwerkraft und der freigesetzten Einschlagsenergie sowohl sich selbst als auch den Planeten kräftig. Das Einschlagsmaterial verflüssigt sich dabei schließlich zu einer erdmagnetischen Schmelze, die die gesamte Planetenoberfläche überzieht. Im Zuge dieses Geschehens bildet sich eine Art heiße, teigartige Kugel im sonnennahen Weltraum aus. Die Erde repräsentiert in dieser Phase also so etwas wie einen glutheißen Lavaball im sonnennahen Kosmos.

Mineralbildner chemisch gebundenen flüchtigen Gasbestandteile wie Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Wasserdampf ( $\text{H}_2\text{O}$ ), Methan  $\text{CH}_4$ , und Ammoniak  $\text{NH}_3$  können sich unter der waltenden Hitzewirkung chemisch zum Teil absplalten und als freie Gase brodelnd oder eruptiv aus dem Planeteninneren durch die Magmaschmelze an die Oberfläche treten. Die Frage stellt sich aber, ob ein solcher Ausgasungsprozess ausreichend für die Ausbildung der Uratmosphäre des Planeten gewesen sein kann. Diese Vermutung wird heute von den Astronomen verworfen mit der Begründung, dass der noch sehr heiße Planet, umgeben von dem ebenso heißen Restgas der protoplanetaren Scheibe, das austretende Gas in dieser Phase durch sein Schwerfeld nicht als planeteneigene Atmosphäre binden konnte, sondern dieses physikalisch zwangsläufig durch Verdunstung wieder in den umgebenden Weltraum verloren hat. Ähnlich ging es wohl auch mit dem heißen Gas der Scheibe, das den frühen Erdplaneten umgab: Auch dieses konnte nicht auf den Jungplaneten akkretiert und dort festgehalten werden.

Wenn dennoch Reste dieser frühesten Atmosphäre im Schwerfeld der Erde aus dieser Phase verblieben sein sollten, so dürften

So unterschiedlich die Planeten unseres Sonnensystems auch sind, ihre Entstehung scheint gewissen Regeln unterworfen zu sein. Die Illustration zeigt alle neun Planeten unseres Sonnensystems und ihre Neigungen. Der Nordpol eines Planeten liegt – nach internationaler Übereinkunft – oberhalb der Ekliptik. Venus, Uranus und Pluto haben danach Umlaufbahnen, die denen der anderen Planeten entgegenlaufen.

wicklungsphase des frühen Sonnensystems der weitere Zustrom von Materie aus der protoplanetaren Scheibe magnetisch, also durch den Druck eines inneren dipolaren, protosolaren Magnetfeldes, blockiert wird. Eine länger beständige Form der Uratmosphäre der Erde konnte sich demnach erst nach Abkühlen des glutflüssigen Erdballes, nach Auflösung des protoplanetaren Gasnebels und nach Abflauen des von der Sonne kommenden vehementen T-Tauri-Windes ausbilden.

Immerhin, die in dieser Phase wahrscheinlich immer noch aus dem Erdinneren eruptiv wie aus Vulkanschlotten massenweise hervorbrechenden Gase hätten in dieser Zeit dann an das planetare Schwerfeld gebunden bleiben können und somit eine erste Erdatmosphäre aus Kohlendioxid, Wasserdampf, Methan und Ammoniak ergeben – die Uratmosphäre unseres Planeten also. Gerade aber in dieser Phase kommt als weiterer wichtiger Atmosphärenlieferant jedoch der Einschlag von erdnahen Kometen und Asteroiden in Frage. Solche Objekte sollten nach Einschätzung der Astronomen die Erde zur damaligen Zeit noch in weit größerer Zahl umgeben und bombardiert haben als heute. Beim Einschlag solcher Objekte in den jungen Erdkörper wer-

Abbildungen: European Southern Observatory; J. Hester/PS. Scowen/NASA

Abbildung: Calvin J. Hamilton



den aufgrund der enormen Hitze- und Druckeinflüsse große Teile der aerophilen Materiebestandteile in gasförmigen Zustand versetzt und liefern im Schwerfeld des Erdplaneten ihren Beitrag zum frühen Atmosphärenmantel der Erde. Dieser besteht damals im wesentlichen aus Wasserdampf und Kohlendioxyd, eine der heutigen Erdluft völlig unverwandte Erscheinung.

**DIE T-TAURI-SONNE BIOGENISIERT DIE URATMOSPHERE.** Man kann sich angesichts des Gesagten fragen, wo denn diese Uratmosphäre unseres Planeten heute geblieben ist. Schließlich finden wir ja heute auf der Erde eine ganz andere Atmosphäre vor, die zu 78 Prozent aus Stickstoff, zu 21 Prozent aus Sauerstoff, und zu insgesamt 1 Prozent aus anderen Gasen besteht. Die Uratmosphäre hat jedoch voraussichtlich nur Kohlendioxyd, Wasserdampf, Methan und Ammoniak enthalten.

Gemeinhin wird angenommen, dass der erste freie Sauerstoff in der Atmosphäre der Erde erst nach Beginn der biologisch ablaufenden Photosynthese auf der konventionellen Basis chlorophyll-katalytisch aus Wasser und Kohlensäure aufgebauten Zuckers auftritt. Bei dieser gut bekannten, in den frühen Algen und Moosen, dem Meeresplankton, biologisch ablaufenden Photosynthese wird Sauerstoff freigesetzt, der dann als freies Gas aus dem Meer in die Atmosphäre austritt. Leben oberhalb oder an der Erdoberfläche erwartete man in dieser frühen Zeit überhaupt nicht, da die von der Sonne in die Atmosphäre ohne Ozonfilterung einfallende starke Ultraviolettstrahlung jeden komplexe-

Beobachteransicht einer Sternengruppe in der Milchstraße. Die Linie zeigt die imaginäre Umlaufbahn der Sonne.

#### Literatur

Fahr, H.J. und Willerding, E.,

Entstehung von Sonnensystemen: Eine Einführung in das Problem der Planetenbildung, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1999

Althaus, T.,

Rush-hour beim Roten Planeten, Sterne und Weltraum, März/April 2004, 26-30

Jakosky, B.M. und Mellon, M.T.,

Water on Mars, Physics Today, 71-77, 4/2004

Mayor, M. und Queloz, D.,

A Jupiter-mass companion to a solar-type star, Nature, 378, 355-359, 1996

Canup, R.M.,

Origin of terrestrial planets and the Earth-Moon system, Physics Today, 4/2004, 56-65

Bounama, C., Bloh, W. von, und

Franck, S., Wo kann es Zwillinge der Erde geben?, Sterne und Weltraum, Januar 2004, 30-36

ren Biomolekülaufbau und jedes biologische Zellwachstum verhindert hätte. Nur unter dem Schutze durch das Meereswasser konnte sich nach allgemeiner Ansicht frühes biologisches Leben unter Wasser entwickeln.

**ERSTES LEBEN IM MEER.** Dieser Beginn der biologischen Sauerstoffproduktion war darauf angewiesen, dass sich zunächst einmal genügende Mengen Wasserdampf und Kohlensäure aus der Uratmosphäre auf die abkaltende, postmagmatische Erde abregneten, um am Erdboden einen frühen Erdozean zu schaffen. In diesem konnte sich sodann, durch frühe biologische Lebenskeime angestoßen, das Meeresplankton als früheste Form von Zellkulturen entwickeln. Letzteres wiederum betrieb über die nachfolgenden Jahrtausende Photosynthese und sorgte so dafür, dass Sauerstoff in die Atmosphäre austrat.

In größeren Höhen von über 20 Kilometer konnte dieser Sauerstoff schließlich unter der Ultravioletteinwirkung der Sonne Ozonmoleküle bilden. Diese konnten – bei genügender Dichte – durch ihre Absorptionswirkung einen biophilen Schutzschirm gegen die solare Ultraviolettstrahlung bilden. Erst unter dieser Schutzwirkung konnte sich laut bisher gängiger Vorstellung dann das Leben oberhalb des Erdbodens überhaupt zu entwickeln beginnen.

#### DIE STRALUNG DER T-TAURI-SONNE.

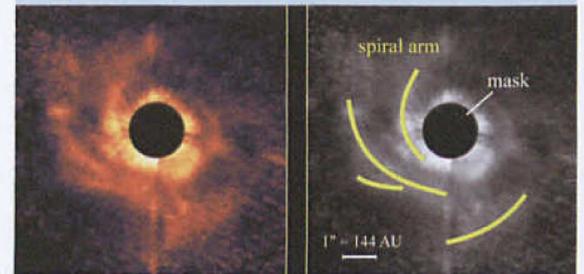
In neuerer Zeit wird dieser Vorstellung allerdings aus den Reihen der Astrobiologen häufiger und häufiger widersprochen. Das hängt damit zusammen, dass man in den letzten Jahren aufschlussreiche neue Erkenntnisse gesammelt hat. Diese Erkenntnisse zeigen, dass die Sonne in ihrer Frühzeit, also während der Entwicklungsphase als so genannter T-Tauri-Stern, ein völlig anderes elektromagnetisches Strahlungsfeld als heute emittiert haben soll. An vielen sonnenähnlichen Sternen in dieser frühen T-Tauri-Phase lässt sich durch Beobachtung feststellen, dass diese Sterne gerade im biophoben ultravioletten, sozusagen »biotoxischen« Spektralbereich des elektromagnetischen Wellenspektrums sehr viel stärker als unsere heutige Sonne strahlten. Da der Entwicklungsweg unserer Sonne aber

mit Gewissheit auch über genau eine solche T-Tauri-Phase hinweggegangen sein muss, so muss eben unsere Sonne in der Frühzeit ihrer Entwicklung im Ultravioletten viel stärker gestrahlt und in dieser Phase wahrlich ein lebensfeindliches Zentralgestirn dargestellt haben.

**WARUM NUR DIE ERDE?** All die schönen Gründe, die die Astrophysik als These dafür bringt, warum es zur Bildung eines Planeten wie der Erde kommen konnte, erklären dennoch leider nicht, warum denn nicht auch die anderen Planeten des Sonnensystems, zumindest die erdähnlichen wie Merkur, Venus und Mars, lebenstragende Objekte darstellen. Auch bei ihnen muss es zur Planetenbildung gekommen sein durch Ausfällung von magmatisch heißer Gesteinsmaterie aus dem Material der Akkretionsscheibe. Warum aber hat sich hier keine Entwicklung bis hin zu einem belebten Planeten vollzogen? Die Antwort, die man hier heute gibt, lautet: Merkur und Venus sind zu nah an der Sonne, und die Oberflächentemperaturen dieser Planeten sind zu hoch, Mars dagegen ist zu weit von der Sonne entfernt, so dass seine Oberflächentemperatur zu niedrig zum Lebensunterhalt ist. Diese sehr vereinfachende Antwort ist jedoch nicht ganz richtig, denn zumindest die Venus und der Mars könnten im Prinzip nach gewissen Grundkriterien für biologisches Leben durchaus unter gewissen, allerdings leicht veränderten Gegebenheiten zu den lebenstragenden Planeten gehören, oder zumindest gehört haben.

Was das heißt, lässt sich besser mit dem Konzept der »habitablen Zone« verstehen. Als solche Zone bezeichnet man diejenige Region um die Sonne herum, in der ein bestimmter Modellplanet, wie etwa die Erde, die Existenz von flüssigem Wasser an seiner Oberfläche zulässt, das für biologisches Leben essentiell ist. Dieser »Modellplanet Erde« besteht aus einer ihm zugehörigen Lithosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre. Zwischen diesen Sphären gibt es kompliziert angelegte chemische und physikalische Austauschprozesse, die in hoch nichtlinearer Weise in Verbindung mit der Sonneneinstrahlung letztlich das Klima des Planeten bestimmen. Es kann bekanntlich zu so genannten Treibhauseffekten kommen, wenn die Atmosphäre des Planeten die zum Boden durchgelassene Strahlung nach thermalisierter Abstrahlung vom Boden teilweise wieder reabsorbiert und in atmosphärische Wärme umsetzt. Es kann im Gegenteil auch zu Eishauseffekten kommen, wenn sich bei niedrigen Oberflächentemperaturen die Oberfläche mit Eis und Schnee überdeckt, wodurch mehr eingestrahlte Sonnenenergie direkt wieder in den Weltraum reflektiert und weniger in Wärme verwandelt wird. Die innere und äußere Grenze der habitablen Zone für den Modellplaneten Erde liegen nun zwischen dem inneren Rand, wo der eskalierende Treibhauseffekt die Temperaturen über die des flüssigen Wassers hinauf nach oben treibt, und dem äußeren Rand, wo der eskalierende Eishauseffekt die Temperaturen unter den Gefrierpunkt des Wassers drückt.

**MODELLPLANET ERDE.** Die Grenzen, unter denen im heutigen Sonnensystem Leben möglich ist, sind ziemlich eng gesteckt. Noch enger gesteckt werden sie in der Zukunft des Sonnensystems sein, wenn die solare Emission, wie zu erwarten steht, zugenommen haben wird. Deutlich weiter gesteckt dagegen waren diese Grenzen in der Frühzeit des Sonnensystems, als die Sonne eine noch um etwa 30 Prozent geringere Abstrahlung gehabt hat als heute. Noch vor 500 Millionen Jahren hätte die habitable Zone des Erdplaneten die Marsbahn noch voll mit eingeschlossen, wie die Geophysiker Bounama, Bloh und Franck vom Potsdamer Institut für Klimaforschung ausgerechnet haben. Auch der Mars hätte also ursprünglich Leben entwickeln können, wenn er klimatologisch von ähnlicher Gestalt wie die Erde gewesen wäre. Heute allerdings ist das nicht mehr gut feststellbar, denn der Mars hat heute keine Hydrosphäre mehr wie die Erde, das heißt, die Ozeane fehlen ihm völlig, und die Atmosphäre ist nur sehr dünn. Wasser gibt es heute dort nur in gasförmiger oder eisförmiger Phase. Ob er vielleicht in früherer Zeit jedoch einmal flüssiges Wasser auf seiner Oberfläche zuließ, das vielleicht heute nur aufgrund eines eskalierten Eishauseffektes zu Eis und Schnee ausgefroren wurde, ist den Forschern zur Zeit noch nicht klar, wird aber immer wahrscheinlicher. Dies Rätsel soll nun im Verlaufe der verschiedenen derzeit laufenden Marsmissionen der ESA und der NASA gelöst werden. ■■



**AB Aurigae, in etwa 470 Lichtjahren Entfernung:** Die Aufnahme wurde mit dem 8.2-m-Infrarot-Teleskop SUBARU auf dem Mauna Kea in Hawai gewonnen. Die auf der Abbildung in Erscheinung tretende, im Infraroten sichtbare Materie-scheibe um den Zentralstern konnte erst durch künstliche Abdeckung der zentralen Emissionsquelle mittels einer Koronagraphenmaske dargestellt werden. Die genauere Analyse dieses Fotos zeigt drei separat ausgebildete Spiralarme, die entweder von einem nahen Begleitstern oder von einer zentralen balkenartigen Störung der Massenverteilung hervorgerufen werden. In diesen durch die Scheibe differenziell hindurchwandernden Verdichtungsstrukturen erwartet man unter Astrophysikern die initiale Agglomeration von planetesimalen Massenansammlungen, also so etwas wie die Saat der Planeten.

**PROF. HANS J. FAHR** ist am Institut für Astrophysik und Extraterrestrische Forschung der Universität Bonn tätig. Das Sonnensystem gehört zu seinen Forschungsschwerpunkten. 2003 erhielt Professor Fahr für sein internationales Wirken das Bundesverdienstkreuz erster Klasse.



Nach zehn Jahren Reisezeit wird der Rosetta-Satellit im Jahr 2014 sein Ziel erreicht haben und in die Umlaufbahn um den Kometen 67P/Tschurjumov-Gerasimenko einschwenken. Das ist die große Stunde für »Philae«. Mit einer ausgeklügelten Technik wird das Hightech-Minilabor auf dem Kometen landen und Proben entnehmen.

Von M. Hilchenbach und H. Rosenbauer



So wird es aussehen, wenn Rosetta sein Ziel erreicht: links im Bild der Satellit, in der Mitte der Lander »Philae« im Anflug auf den Kometen 67P (Grafik: ESA).

Der Satellit »Rosetta« startete im März 2004 mit einer Ariane-5-Rakete von Kourou in Französisch-Guayana aus ins All. Zehn Jahre lang wird die Sonde durch den Weltraum reisen, dabei zahlreiche Male die Erde passieren und einmal sogar auch den Mars, bis sie im Jahre 2014 in rund 600 Millionen Kilometern Entfernung von der Sonne endlich den Kometen 67P/Tschurjumov-Gerasimenko erreicht. Dieser Komet, der zur Jupiter-Kometenfamilie gehört, wurde im Jahre 1969 von den russischen Wissenschaftlern Tschurjumov und Gerasimenko entdeckt und umläuft die Sonne auf einer elliptischen Bahn zwischen den Bahnen des Jupiters und der Erde.

Erstmals in der Geschichte der Raumfahrt wird ein Satellit in eine Umlaufbahn um einen Schweifstern gelenkt. Kurz danach, so ist es geplant, setzt Rosetta das kleine Landegerät »Philae« auf dem Kometenkern ab. Die Forscher erhoffen sich von seinem Einsatz Aufschluss über die Entstehung unseres Sonnensystems. Denn bei den eisigen Temperaturen des Welt-raums konnte sich die ursprüngliche Materie bis heute unverfälscht erhalten.

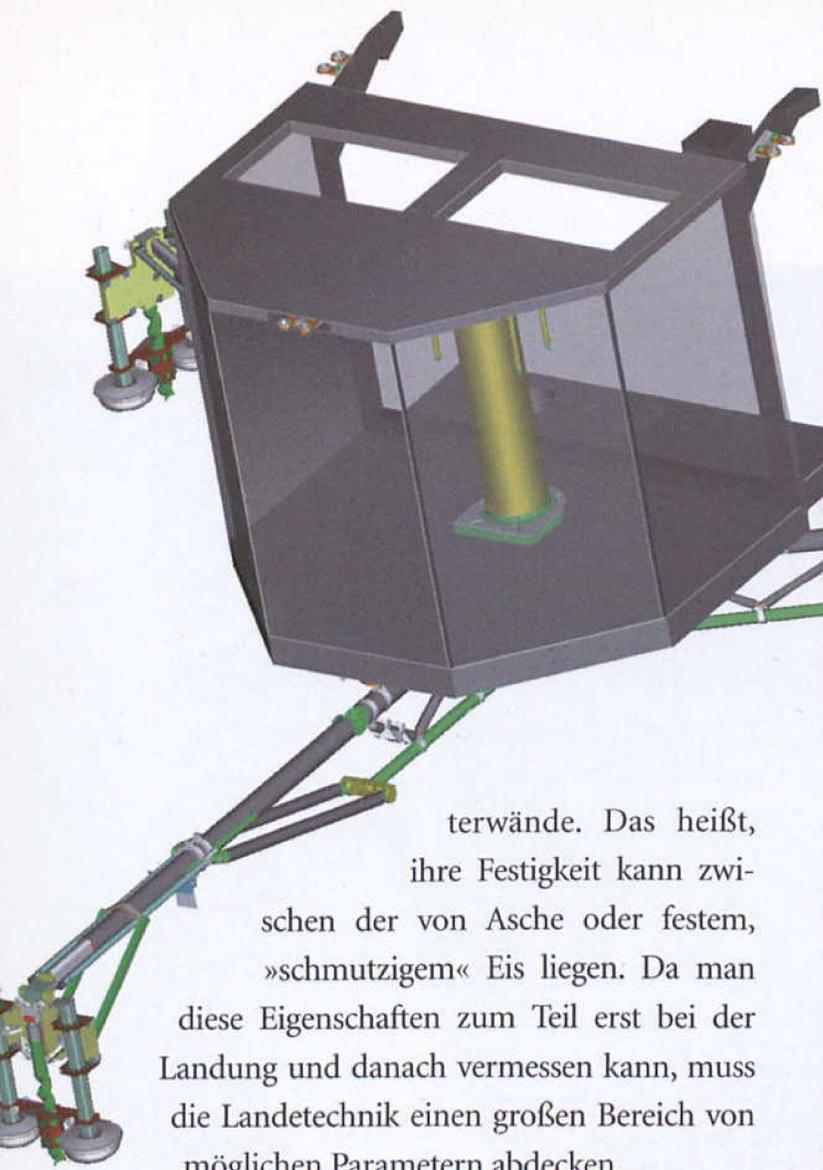
**LANDUNGSVORBEREITUNGEN.** Zunächst beobachten und vermessen die Instrumente an Bord des Satelliten den Kern des Kometen. Die Kometenkoma ist in diesem großen Sonnenabstand noch nicht ausgeprägt. Für Philae, das etwa 90 Zentimeter große, an den Instituten der Max-Planck-Gesellschaft und der Deutschen Luft- und Raumfahrt-Agentur entwickelte und gebaute Landegerät, ist das die erste wichtige Phase der Landung: Es muss ein geeigneter Landeplatz auf dem Kometen gesucht und charakterisiert werden. Beobachtungen von der Erde aus lassen nur auf einen Kometenkern mit einem Durchmesser von ungefähr vier bis fünf Kilometer schließen.

Drei Monate nach dem Einschwenken in die Umlaufbahn wird das Landegebiet auf dem Kometen aus hochauflösenden Kamerabildern der Kometenkernes ausgewählt. Im November 2014 wird, nach einer vorprogrammierten Manöversequenz und in nur einem Kilometer Abstand vom Kometen, Philae vom Satelliten Rosetta abgestoßen und fällt im freien Fall auf den Kometen. Die Landung auf dem Kometen ist ein recht sanfter Vorgang. Die Geschwindigkeit von Philae bei der Landung ist vergleichbar mit der Geschwindigkeit eines Fußgängers, ungefähr vier bis fünf Stundenkilometer. Was aber ist das Besondere an einer solchen Landung? Der 100 Kilogramm schwere Lander ist auf der Kometenoberfläche lediglich einer Gravitationskraft von weniger als einem Zehntel Newton ausgesetzt, es hält ihn fast keine Kraft auf der Oberfläche. Die Landung auf einem Kometen ist ein schiefer Stoß zweier Körper, bei dem Impuls und Drehimpuls ausgetauscht werden. Eine solche Landung kann nur erfolgreich sein, wenn dieser Stoß inelastisch ausgeführt wird und am Ende des Landevorganges Philae fest auf der Kometenoberfläche steht.

**UNBEKANNTE OBERFLÄCHENSTRUKTUR.** Da uns die Kometenoberfläche unbekannt ist, stellt die sichere Landung eine große technische Herausforderung dar. Möglicherweise ist die Oberfläche sehr hart oder brüchig, vielleicht gibt es Ebenen mit Hügeln oder steile Kra-

Mit Mechanik zu den Anfängen des Sonnensystems ✓

# Mission »Philae«



terwände. Das heißt, ihre Festigkeit kann zwischen der von Asche oder festem, »schmutzigem« Eis liegen. Da man diese Eigenschaften zum Teil erst bei der Landung und danach vermessen kann, muss die Landetechnik einen großen Bereich von möglichen Parametern abdecken.

**AUTONOME STEUERUNG.** Gesteuert wird der Lander von einem Rechner, der während der Landung völlig autonom arbeiten muss. Wegen der großen Entfernung zwischen Erde und Komet benötigen Signale und Kommandos bis zu 20 Minuten in jede Richtung. Es ist also kein Eingriff oder gar Fernsteuerung von der Erde aus möglich, sobald die Landessequenz einmal eingeleitet und Philae vom Satelliten abgestoßen wurde. Philae kann während des Abstiegs zum Kometen nur kleine Schankung- oder Nutationsbewegungen von wenigen Grad ausführen. Mithilfe des 10.000 Umdrehungen pro Minute rotierenden Kreisels im Landekörper bleiben das Landegerät und die Landebeine stets zum Kometen hin ausgerichtet. Vor und während des Abstoßes vom Satelliten sind die Beine des Landegestells hochgeklappt. Schon eine Minute nach dem Abstoß werden die drei Landebeine entriegelt und, über Federkräfte angetrieben, ausgeklappt. Gleichzeitig wird die Dämpfungseinheit herausgezogen und mittels elektrischer Motoren bis zu 20 Zentimeter ausgefahren. Nach Aktivierung der Ankerharpunen ist Philae nun bereit für den ersten Kontakt mit der Kometenoberfläche.

**DAS LANDESZENARIO.** Mit einer Geschwindigkeit von über einem Meter pro Sekunde fällt Philae auf den Kometen, viel-

Mit Widerhaken verankert sich »Philae« in der Oberfläche des Kometen, der wegen seiner geringen Masse kaum Anziehungskraft aufweist.

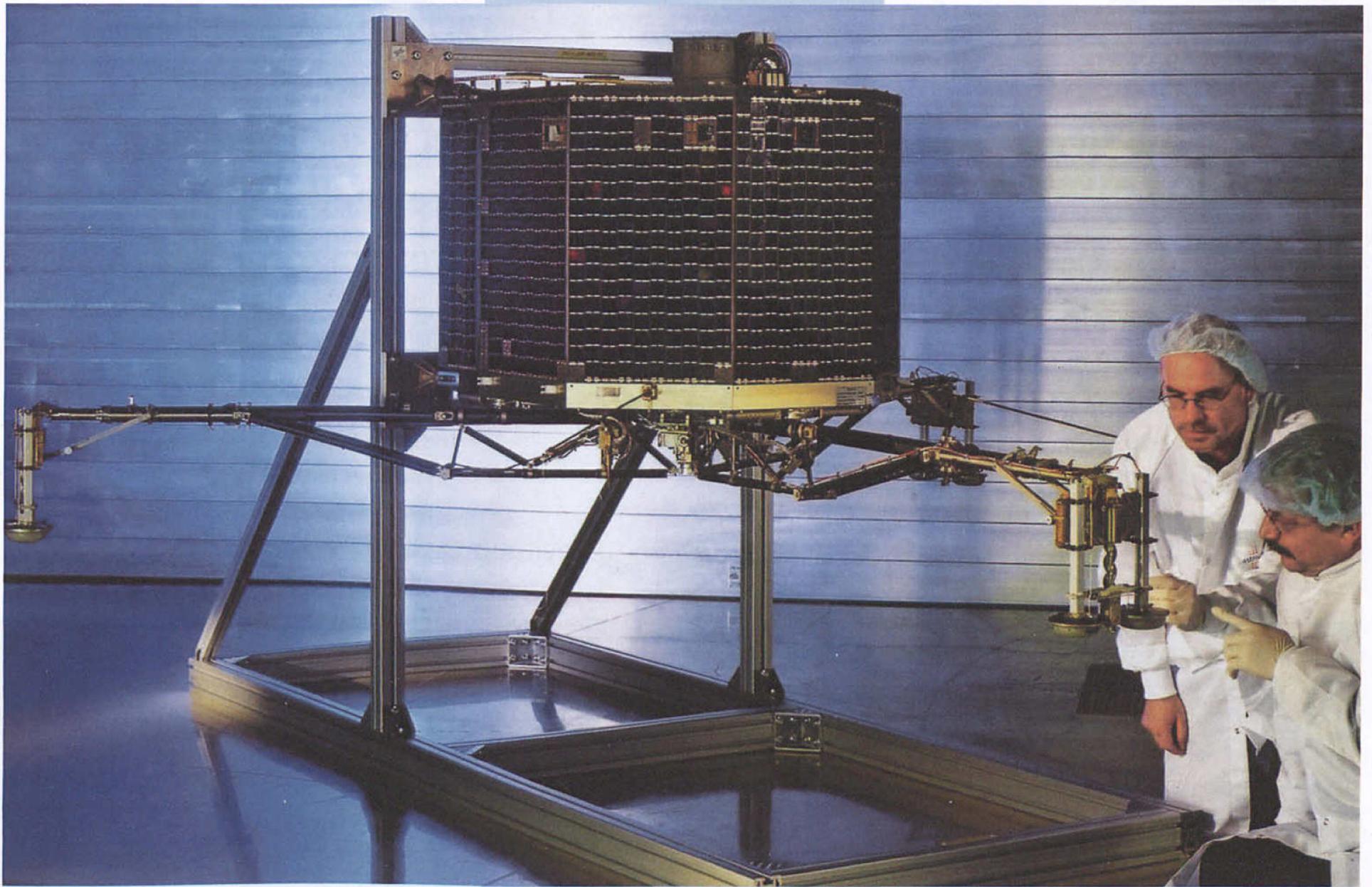


An seinem Einsatzort wird »Philae« Gesteinsproben sammeln und analysieren. Die größte Herausforderung des Minilabors ist seine Landung auf einer Kometenoberfläche, über deren Beschaffenheit man kaum etwas weiß.

leicht auf eine Böschung unterhalb eines Hügels. Ein Lande Bein berührt die Kometenoberfläche, mit einem schiefen Stoß setzt Philae auf. Die Beschleunigungsmesser registrieren den Stoß und die Ankerharpunen werden gezündet. Diese enthalten einen Explosivstoff, der sie innerhalb von wenigen Millisekunden beschleunigt und im Kometen verankert.

Der Anker ist mit Philae über das ungespannte Harpunenseil verbunden, das mithilfe eines elektrischen Motors aufgewickelt wird. Das Rückspulen kann bis zu acht Sekunden dauern. Noch hat Philae nahezu seine gesamte kinetische Energie, durch den Rückstoß des Ankers wurde das Landegerät nur etwas abgebremst. Im Moment der Landung schaltet sich auch das Kaltgassystem ein. Aus einem Druckgastank strömt Stickstoff durch eine Lavalldüse – eine Kraft von über 10 Newton drückt Philae nach unten. Verglichen mit den einigen hundert Newton, die der Landekörper beim Aufsetzen auf das Landegestell ausübt, reicht diese Kraft nicht aus, um einen Hochsprung von Philae zu verhindern.

**AUSGEKLÜGELTE LANDETECHNIK.** Eine der wichtigsten Landetechniken von Philae ist die geschwindigkeitsabhängige Dämpfungseinheit. Sie speichert Energie und verleiht den Landebeinen eine bestimmte Elastizität, ähnlich der einer Feder. Zusammen mit den Landebeinen bildet die Dämpfungseinheit ein optimales Schwingungssystem – vergleichbar etwa mit dem Stoßdämpfer bei einem Auto. Allerdings sind da Feder und Dämpfer parallel, während sie bei Philae hintereinander angeordnet sind. Die Dämpfungseinheit besteht aus einer Spindel und einem elektrischen Generator mit angeschlossenem Widerstand. Dieses System erzeugt eine geschwindigkeitsabhängige Dämpfungskraft. Die in den Landebeinen gespeicherte Energie ist eine Funktion der Kraft. Am Ende der Landung und bei kleiner Geschwindigkeit drückt die Dämpfungseinheit nur noch mit einer kleinen Kraft auf die Landebeine, so dass lediglich wenig Energie gespeichert wird. Für dieses System müssen Dämpfung und Elastizität der Landebeine aufeinander abgestimmt sein.



**MISSION COMPLETE.** Philae berührt mit einem Bein die Kometenoberfläche, der Anker wurde gefeuert und das Kaltgassystem eingeschaltet. Wenn der Boden nachgiebig ist, wird das Bein tiefer in den Boden gedrückt und die Reaktionskraft durch die Festigkeit des Bodens begrenzt.

Die Eisschrauben in den Beinen drehen sich in den Grund und geben Philae Sicherheit. Falls sich die obere Schicht jedoch als unnachgiebig erweisen sollte, wird das Bein wieder abheben, während die anderen beiden Beine sich weiter zum Boden hinbewegen. Philae macht jetzt eine kleine Drehung. Innerhalb weniger als einer Sekunde setzen die beiden anderen Beine am Boden auf – der Landekörper wird über die Dämpfungseinheit und den Druck auf das Landegestell abgebremst.

Die Rückstoßkraft des Kaltgassystems drückt Philae sanft auf die Kometenoberfläche. Nach einigen Sekunden ist auch das Ankerseil gespannt. Philae ist auf dem Kometen gelandet und fest verankert.

In jahrelanger Arbeit konstruierten Wissenschaftler mit »Philae« ein Miniforschungslabor, das vor Ort Analysen durchführen kann. Die Landebeine mussten speziell für diese Aufgabe entwickelt werden.

**DR. MARTIN HILCHENBACH,  
DR. HELMUT ROSENBAUER**

sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau

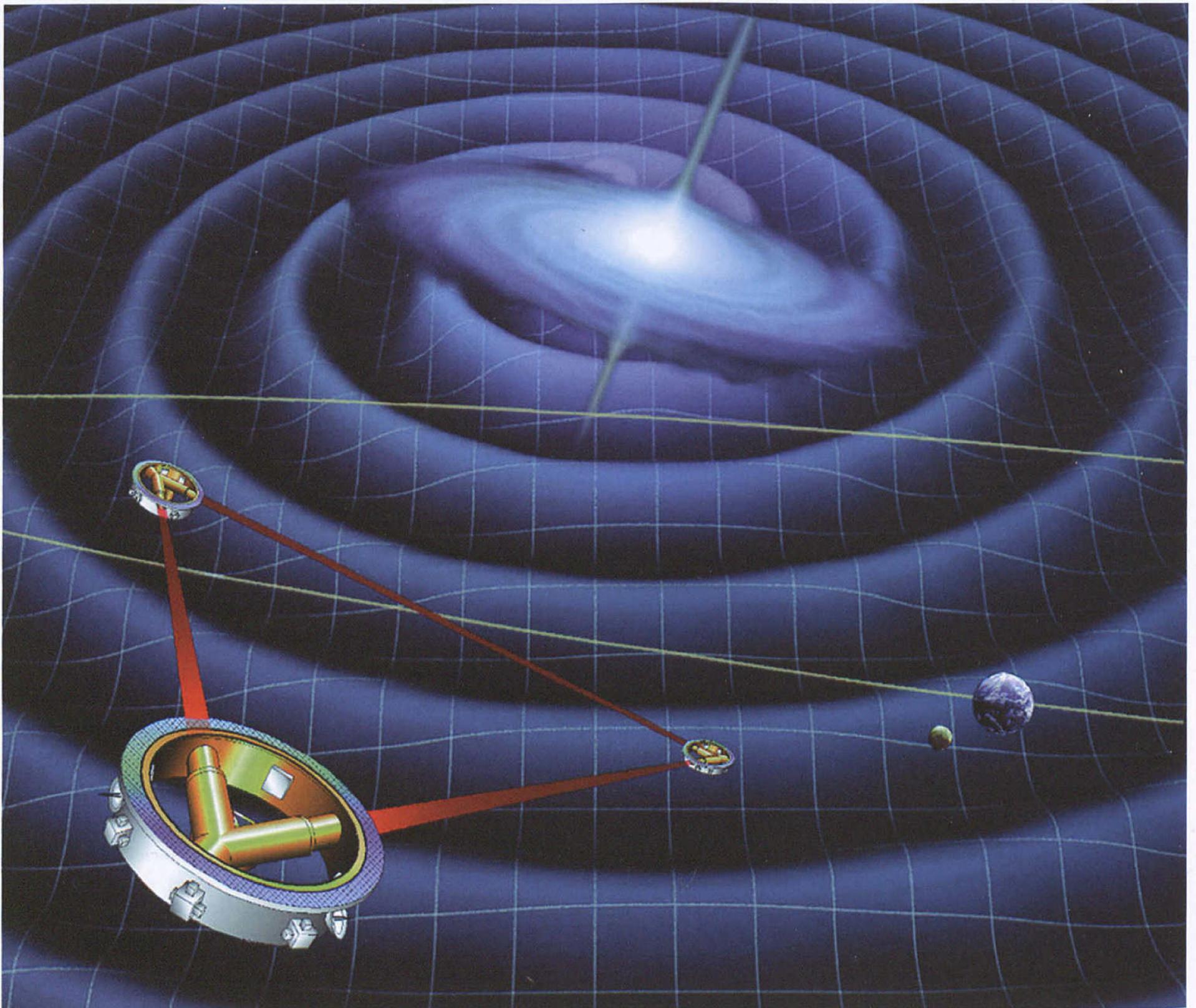
**HIGHTECH-MINILABOR.** Schon während des freien Falls auf den Kometen beginnt Philae mit seinem wissenschaftlichen Messprogramm. Es werden Bilder aufgenommen, Magnetfeld und Plasmadaten gespeichert und die Beschleunigungen beim Aufsetzen und Abbremsen der Harpunen registriert. In der folgenden Woche wird eine Temperaturmesssonde in die Kometenoberfläche gehämmert. Mit dem Bohrer werden Proben aus bis zu 20 Zentimeter Tiefe entnommen, mikroskopische Aufnahmen erstellt und die chemische Zusammensetzung der Proben analysiert.

Kometen sind Zeugen aus der Zeit der Entstehung unseres Sonnensystems. Die Forscher erhoffen sich, mit Philae, wichtige Erkenntnisse aus dieser Zeit zu erhalten. Philae ist der Beitrag eines internationalen Konsortiums für die ESA-Mission »Rosetta«. ■■■

Einstein gab uns das Bild eines Universums, dessen Struktur sich ständig verändert. Als zartes Zittern breitet sich die bei einer Sternexplosion oder beim Urknall verursachte Erschütterung im Raumgefüge aus. Ihre Beobachtung begründet ein neues Zeitalter der Astronomie. **Von Peter Aufmuth**

## Auf krummen Wegen zum Ursprung der Welt

Die Beobachtung von Gravitationswellen



**H** heute eine freudige Nachricht. H. A. Lorentz hat mir telegraphiert, daß die englischen Expeditionen die Lichtablenkung an der Sonne wirklich bewiesen haben.« Dies schreibt der 40-jährige Albert Einstein am 24. September 1919 an seine Mutter. Wenige Tage später zierte Einsteins Porträt die Titelseiten von Illustrierten, und der »Relativitätsrummel« (Einstein) begann, der ihn schließlich zum »Mann des Jahrhunderts« (so die amerikanische Wochenzeitschrift *Time*) machte. Albert Einstein (1879–1955) wurde ironischerweise mit einer Theorie weltberühmt, die damals angeblich nur drei Menschen verstanden und deren fundamentale Aussage bis heute nicht Allgemeingut geworden ist, der Allgemeinen Relativitätstheorie. Es handelt sich dabei eigentlich nur um eine Erklärung der Schwerkraftwirkungen, die allerdings eine radikal neue Ansicht von Raum und Zeit erfordert.

**GRAVITATION IST GEOMETRIE.** Von der Schwerkraft haben wir heute noch die Vorstellung, die der englische Physiker Isaac Newton (1643–1727) vor mehr als dreihundert Jahren entwarf. Er schloss aus der Beobachtung eines zu Boden fallenden Apfels, dass dafür eine Kraft verantwortlich sein müsse, die Gravitation. Sie stellt eine Anziehungskraft zwischen allen Körpern dar und hängt von deren Massen und ihrem Abstand ab. Er erkannte auch, dass diese Kraft im gesamten Universum wirkt und beispielsweise die Planeten auf ihrer Bahn um die Sonne hält.

Kleine Differenzen zwischen Newtons Voraussagen und den immer genaueren astronomischen Beobachtungen führten Einstein 1915 zu einer anderen Sicht der Dinge. Er ging von der Beobachtung aus, dass im freien Fall gar keine Kräfte auftreten und alle Massen unabhängig von ihrer Größe und Zusammensetzung an der gleichen Stelle des Raums mit der gleichen Beschleunigung zu Boden fallen (wenn man dafür sorgt, dass störende Effekte wie die Luftreibung ausgeschlossen werden). Er folgerte daraus, dass die Gravitation keine selbständige Naturkraft ist, sondern mit der Geometrie des Raums zusammenhängt. Während für Newton der Raum den starren Hintergrund aller physika-

Aus der Beobachtung des freien Falls folgerte Isaac Newton, dass dafür eine Kraft verantwortlich sein müsse: die Gravitation.

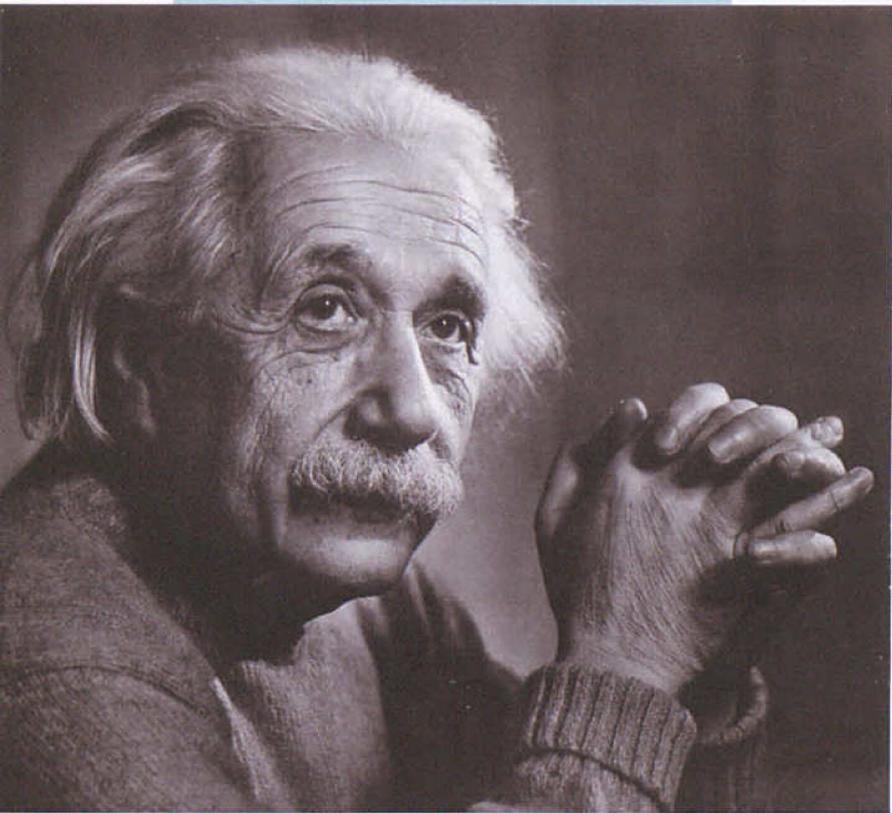
Grafik links: Materie fällt in ein Schwarzes Loch. Dabei wird Energie in Form von Gravitationswellen ausgestrahlt. Ihre Wirkung zeigt sich als Verzerrung des Raumzeit-Gefüges. Im Vordergrund der geplante Detektor im Weltall (LISA).

lichen Vorgänge bildete, nimmt er nach Einstein am Geschehen teil: Der Raum wird durch die in ihm enthaltenen Massen verformt. Das geschieht so ähnlich wie bei einem Trampolin, auf dessen Gummimatte eine Bowlingkugel liegt und so eine Delle erzeugt. Eine rollende Murmel zieht dann keine gerade Bahn über die Trampolinfläche, sondern läuft in die Delle hinein, als würde sie von der Bowlingkugel angezogen. Einsteins Theorie lässt sich in einem Satz ausdrücken: Die Materie bestimmt die Krümmung des Raums, und der Raum bestimmt die Bewegung der Materie.

**GEKRÜMMTES LICHT.** Auch das Licht ist gezwungen, der geometrischen Form des Raums zu folgen. Fotografiert man einen Himmelsausschnitt einmal bei Nacht und dann am Tage, so sieht man, dass die Sterne in der Nähe des Sonnenrandes eine andere Position eingenommen haben als auf der Nachtaufnahme. Diese Änderung ist auf den Einfluss der durch die Sonne verursachten Raumkrümmung zurückzuführen, die das Sternenlicht ablenkt. Genau diesen Effekt hatte 1919 die oben erwähnte englische Expedition unter Sir Arthur Stanley Eddington während einer totalen Sonnenfinsternis beobachtet. »Das Licht, das läuft natürlich krumm / zu Einsteins allergrößtem Ruhm!«, dichteten seine Freunde in Zürich. Die Größe der Lichtablenkung stimmte mit der von Einstein berechneten überein.

Einsteins Theorie hat bis heute alle experimentellen Tests mit Glanz bestanden und ist die Basis für unser derzeitiges Modell des Universums. Nur im Alltagsleben hat sich seine Vorstellung vom gekrümmten Raum noch nicht durchgesetzt. Das liegt daran, dass der Raum außerordentlich starr ist und nur durch





Ohne die von Albert Einstein 1915 formulierte Gravitationstheorie gäbe es heute kein Global Positioning System (GPS).

sehr große Massen merklich verformt wird. Die ganze Erde z. B. trägt nur ein Milliardstel zur ohnehin vorhandenen Krümmung bei. Bei der Satellitennavigation macht sich dieser Einfluss aber bemerkbar, da dort bereits so kleine Effekte eine Rolle spielen. Ohne die Formeln der Relativitätstheorie würde das »Global Positioning System« (GPS) nicht funktionieren.

**GRAVITATIONSWELLEN.** Da sich alle Sterne und Galaxien bewegen, verändert sich mit ihnen ständig auch die Struktur des Raums. Die von bewegten Massen erzeugten Änderungen in der Krümmung des Raums werden nach und nach die nähere und die weitere Umgebung beeinflussen, wie ein in einen Teich geworfener Stein nach kurzer Zeit die gesamte Wasseroberfläche in Schwingung versetzt. So entsteht eine Schwankung in der Geometrie des Raums, die sich mit Lichtgeschwindigkeit wellenförmig nach allen Seiten ausbreitet: eine Gravitationswelle.

Wie wirkt sich der Durchgang einer solchen Welle hier auf der Erde aus? Da eine Gravitationswelle die geometrische Struktur des Raums beeinflusst, verändert sie die Abstände zwischen den darin enthaltenen Objekten. Ähnlich wie eine Wasserwelle oder eine elektromagnetische Welle schwingt eine Gravitationswelle senkrecht zur Ausbrei-

tungsrichtung: in der einen Richtung (z. B. horizontal) wird der Abstand gedehnt und gleichzeitig senkrecht dazu (vertikal) entsprechend gestaucht. Ein ausgedehnter Gegenstand wird also periodisch verzerrt, eine Kugel z. B. in ein Ellipsoid verwandelt und wieder zurück in eine Kugel.

Wegen der oben angeführten Starrheit der Raumstruktur ist diese Verzerrung allerdings nur sehr winzig. Selbst im günstigsten Fall einer Sternexplosion in unserer Milchstraße, verändert die Gravitationswelle den Abstand zwischen Erde und Sonne (150 Millionen Kilometer) nur um den Durchmesser eines Wasserstoffatoms. Für kürzere Strecken ist die Änderung entsprechend kleiner: Eine einen Kilometer lange Messstrecke ändert sich nur um den Durchmesser eines Protons. Das verdeutlicht die Schwierigkeiten eines direkten Nachweises von Gravitationswellen.

**QUELLEN VON GRAVITATIONSWELLEN.** Es besteht daher keine Aussicht, im Labor erzeugte Gravitationswellen nachzuweisen; die beteiligten Massen und ihre Geschwindigkeiten sind viel zu klein. Als Quellen von Gravitationsstrahlung kommen nur die energiereichsten und heftigsten astrophysikalischen Ereignisse in Frage, bei denen sich die Struktur des Raums sehr schnell ändert. Eine kosmische Katastrophe wie der Kollaps eines ausgebrannten massiven Sterns zu einem Neutronenstern von nur 20 Kilometer Durchmesser, dem eine Supernovaexplosion folgt, geschieht in einigen tausendstel Sekunden. Dabei wird eine Energiemenge von  $10^{35}$  Kilowattstunden in Form einer Gravitationswelle abgestrahlt.

Bei einer typischen Supernova in der Nähe der Milchstraße, wie der Supernova 1987A in der 160.000 Lichtjahre entfernten Großen Magellan'schen Wolke, trifft dann auf der Erde ein Gravitationswellen»blitz« ein, dessen Strahlungsleistung hundert Mal größerer ist als die der Sonne am Erdboden. Dennoch bewirkt dieser Puls nur die oben erwähnte winzige Abstandsänderung.

Ähnlich hoch ist die Strahlungsleistung bei der Verschmelzung von Neutronensternen oder Schwarzen Löchern, die sich umkreisen und schließlich ineinander stürzen. Wir wissen heute, dass sich in den Zentren der meisten Galaxien superschwere Schwarze Löcher befinden, welche die Massen von mehreren Millionen Sonnen enthalten. Beim Zusammenstoß zweier solcher Galaxienkerne läuft eine derartige Erschütterung durch die Raumstruktur, dass sie sich überall im Universum bemerkbar macht. Auch die heftigen Veränderungen unseres Universums während des Urknalls und unmittelbar danach sind Quellen von Gravitationsstrahlung.

**GRAVITATIONSWELLENASTRONOMIE.** Wenn sich zwei Sterne umkreisen, strahlen sie Energie in Form von Gravitationswellen ab. Dieser Energieverlust führt dazu, dass die beiden Sterne näher zusammenrücken und dann schneller umeinander laufen (wegen der Erhaltung des Drehimpulses). Die beiden amerikanischen Astronomen Russell Hulse und Joseph Taylor entdeckten

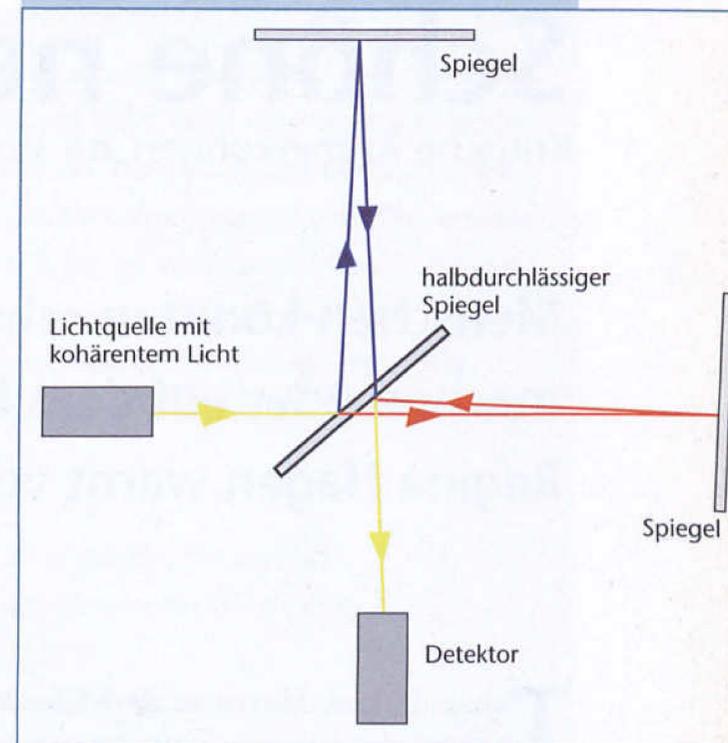
1974 ein PSR 1913+18 genanntes System, in dem sich zwei Neutronensterne umkreisen. Sie studierten dieses Binärsystem über viele Jahre hinweg (bis heute!) und stellten fest, dass sich die Umlaufzeit tatsächlich fortwährend verringert. Die Beobachtungen stimmen mit den Vorhersagen der Einstein'schen Theorie exakt überein. Dies gilt als indirekter Nachweis von Gravitationswellen und bestätigt ein weiteres Mal die Richtigkeit der Einstein'schen Auffassung von Gravitation. Hulse und Taylor erhielten dafür 1993 den Nobelpreis für Physik.

Die Gravitationswellenastronomie bietet entscheidende Vorteile gegenüber der klassischen Astronomie mit Licht und Radiowellen. Während der Lichtblitz bei einer Supernova nur die Oberfläche des Sterns abbildet, kommt die Gravitationsstrahlung aus dessen Innern. Sie liefert uns detaillierte Informationen über das Verhalten von Sternmaterie unter extremen Bedingungen. Im Gegensatz zu elektromagnetischen Wellen werden Gravitationswellen auch durch große Materieansammlungen nicht verändert oder absorbiert. Weite Teile des Universums werden von Dunkelwolken verdeckt und bleiben so der Beobachtung durch klassische astronomische Techniken verborgen. Gravitationswellen dagegen durchdringen solche Wolken ungehindert und werden uns daher Einblicke in bisher verschlossene Bereiche des Weltalls liefern. Das gesamte Universum ist transparent für Gravitationswellen, so dass uns auch Gravitationsstrahlung erreicht, die beim Urknall entstanden ist. Ihre Beobachtung wird uns Informationen über den Zustand der Welt unmittelbar nach ihrer Entstehung liefern.

**GRAVITATIONSWELLENDETEKTOREN.** Eigentlich handelt es sich beim Gravitationswellennachweis »nur« um eine Längenmessung, nämlich um die Längenänderung zweier vorgegebener Messstrecken, die senkrecht zueinander stehen. Dafür ist ein **Michelson-Interferometer** das geeignete Instrument. Ein halbdurchlässiger Spiegel teilt einen Lichtstrahl in zwei senkrecht zueinander verlaufende Teilstrahlen gleicher Intensität auf. Die beiden Teilstrahlen durchlaufen die Messstrecken, werden an den Enden reflektiert und wieder überlagert. Sind beide Strecken gleich lang, so schwingen die Lichtwellen im Gleichtakt und verstärken sich. Man stellt die Anlage aber so ein, dass die überlagerten Wellen im Gegentakt schwingen, also jeweils Wellenberg auf Wellental trifft. Die Wellen löschen sich dann aus, und der Ausgang des Interferometers bleibt dunkel. Verändert jetzt eine Gravitationswelle die Längen der beiden Messstrecken, so kommen die Teilstrahlen außer Takt, so dass sie sich nicht mehr vollständig auslöschen und am Ausgang ein schwaches Lichtsignal erscheint. Die Empfindlichkeit eines solchen Detektors hängt von der Länge der Messstrecken und von der umlaufenden Lichtleistung ab. Weltweit gibt es fünf große Laserinterferometer zum Gravitationswellennachweis: Zwei Anlagen mit 4 km langen Messstrecken in den USA (LIGO), eine Anlage mit 3 km Armlänge in Italien (Virgo), eine mit 600 m in Deutschland (GEO600) und eine mit 300 m in Japan (TAMA300).

**HOHEMPFINDLICHE MESSGERÄTE SIND NÖTIG.** Sind so viele ja auch kostspielige Anlagen überhaupt notwendig? Ja, denn die verschiedenen Projekte sind aufeinander angewiesen. Die Daten eines einzelnen Detektors haben für pulsformige Signale keine besondere Aussagekraft. Erst in Koinzidenz mit einem weit entfernten Detektor kann man sicher sein, keinen lokalen Störungen aufgesessen zu sein. Um auch Informationen über den Ort der Quelle zu erhalten, benötigt man eine dritte Anlage, so dass man aus den Ankunftszeiten der Welle die Richtung ermitteln kann. Schließlich ist ein vierter Detektor nötig, um Zeitstruktur und Schwingungsform der Welle besser bestimmen zu können. Die bestehenden Projekte haben deshalb eine enge Zusammenarbeit vereinbart: abgestimmte Beobachtungszeiten, Austausch der Messdaten, gemeinsame Auswertung und Veröffentlichung der Ergebnisse.

Erste Messungen haben bereits stattgefunden. Die geplante Empfindlichkeit wird aber erst in diesem oder im nächsten Jahr erreicht. Dann besteht die Aussicht, Einstein endlich doch einmal zu widerlegen. In der grundlegenden Arbeit über Gravitationswellen schrieb er 1916: »Der Effekt ist allerdings so klein, dass man Gravitationswellen wohl nie beobachten wird.« Darin wird er hoffentlich Unrecht behalten. ■■



Schematische Darstellung der Funktionsweise eines Michelson-Interferometers.

Mit diesem Messgerät können Gravitationswellen nachgewiesen werden.

**DR. PETER AUFMUTH** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Hannover, das den deutsch-britischen Gravitationswellendetektor GEO600 betreibt.

# Schöne neue Weltraumwelt

Kritische Anmerkungen zur Weltraumforschung und -nutzung ✓

**Menschen könnten schon bald im Weltraum Urlaub machen oder auf dem Mars nach Rohstoffen suchen. Autorin Regina Hagen warnt vor den Folgen des Weltraumhypes.**

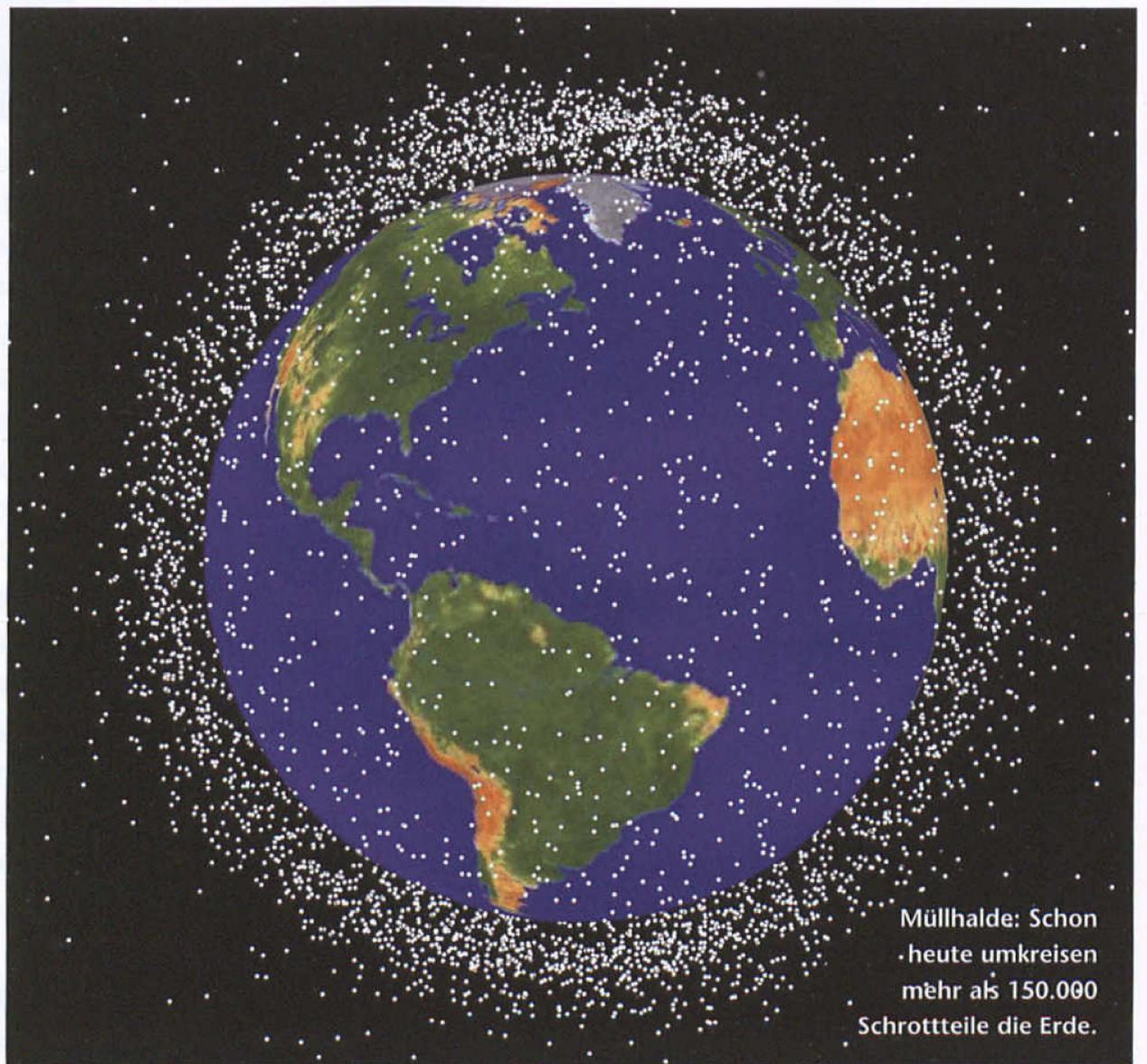
**T**ausende und Abertausende Milliarden Menschen könnten – und sollten – nach Meinung von John S. Lewis in wenigen Jahrhunderten das Weltall bevölkern. Nur so, sagt Lewis, kann sich das geistige Potenzial der Menschheit voll entfalten. Die technischen Voraussetzungen hält der Universitätsprofessor und Berater der US-amerikanischen Weltraumagentur NASA für gegeben durch:

- ▶ Strikt am Nutzen orientierten Rohstoffabbau auf sämtlichen Himmelskörpern.
- ▶ Modernste Überlebens- und Kommunikationstechnologien.
- ▶ Nukleare Fusionskraftwerke für Antrieb und Stromversorgung Raketen, Raumstationen, und Weltraumbergwerke.
- ▶ Terraforming, das heißt, die Beeinflussung der Umweltbedingungen im Weltall.
- ▶ Einsatz von Biotechnologie zur Züchtung weltraumtauglicher Menschenrassen ...

Der Besiedelung des Weltraums steht aus der Sicht von Lewis nichts im Wege – außer vielleicht der mangelnde Pioniergeist der zögerlichen Erdlinge.

## **AMBIVALENZ DER INTERESSENLAGEN.**

In Wirklichkeit tun wir gut daran, das empfindliche »Raumschiff Erde« sorgsam zu hegen. Wer Terraforming für machbar hält, sollte das entsprechende Wissen besser nutzen, um den drohenden Umweltkollaps der Erde zu verhindern. Nur durch die irdische Atmosphäre sind wir vor den lebensfeindlichen Umweltbedingungen des Kosmos – Schwerelosigkeit, Vakuum, Strahlung, Kometeneinschläge etc. – weitgehend geschützt.



Müllhalde: Schon heute umkreisen mehr als 150.000 Schrottteile die Erde.

Überhaupt lässt sich die Schönheit des Alls von der Erde oder dem erdnahen Orbit aus am bequemsten bestaunen. Und wenn wir in den Weltraum streben, muss seine Nutzung mit Bedacht erfolgen. Dies wird insbesondere auch an aktuellen Weltraumaktivitäten deutlich, von denen im Folgenden drei genannt seien.

**1. KERNENERGIE:** Zur Energieversorgung der Bordinstrumente hat die Saturnsonde Cassini/Huygens, eine Kooperation zwischen NASA und der Europäischen Weltraumagen-

tur ESA, mehr als 30 Kilogramm des Isotops Plutonium-238 an Bord. Damit werden maximal 700 Watt Strom erzeugt – schon ein normaler Haarföhn braucht mehr. Plutonium ist der gefährlichste Stoff, den die Menschheit kennt. Selbst mikroskopisch kleine Teilchen, die bei der Herstellung des natürlich nicht vorkommenden Materials beim Zusammenbau der Generatoren oder bei einem Startunfall freigesetzt werden können, reichen im Körper eines Menschen aus, um Krebs zu erzeugen.

Trotz weltweiter Proteste setzt die NASA weiterhin auf die Energie des Atoms. Der Jupiter Icy Moons Orbiter (JIMO) soll in etwa zehn Jahren auf die Reise gehen – und mit ihm ein Atomreaktor zum Betrieb des Ionenantriebs und der Instrumente an Bord. Kernkraftwerke auf dem Mars, nukleare Raketenantriebe, neuartige Plutoniumgeneratoren – das NASA-»Project Prometheus« spielt mit vielen Varianten des nuklearen Feuers. Inzwischen schließt auch die ESA den Einsatz nuklearer Weltraumtechniken für eigene Missionen nicht mehr aus, obgleich laut Statistik etwa jede siebte Weltraummission mit massiven Problemen endet. Ein einziger Unfall, der unbeabsichtigte Wiedereintritt eines plutoniumbestückten Navigationssatelliten der US Air Force, setzte 1964 mehr Plutonium-238 in die Erdatmosphäre frei als alle Atomwaffentests zusammen.

Auf absehbare Zeit sind wir schon mit den vorhandenen Altlasten überfordert. So umkreisen mehrere hundert Kilogramm Plutonium und eine Tonne Uran in stillgelegten Spionagesatelliten der USA und der Sowjetunion den Blauen Planeten auf unsicheren Umlaufbahnen. Der Absturz der Nuklearmaterialien auf die Erde ist langfristig garantiert, sofern die Satelliten nicht vorher eingesammelt und zurückgebracht werden.

**2. WELTRAUMSCHROTT:** Die Weiten des Weltraums scheinen unendlich, der Erdboden ist bereits heute voller Weltraumschrott. Über 150.000 »Schrottteile« von ausgedienten Raketenstufen und Satelliten bis hin zu verlorenen Schraubenschlüsseln und abgesprungenen Nieten oder Farbsplintern bedrohen bereits jetzt aktive Weltraumobjekte. Wiederholt wurden Weltraumstationen, Space Shuttles und selbst Satelliten in hektischen und komplizierten Manövern auf einen anderen Kurs gebracht, um nahenden Trümmerstücken auszuweichen. Regelmäßig befassen sich Wissenschaftler mit dem Problem, das durch geplante Tests für eine US-Raketenabwehr noch erheblich verschärft würde. Vorausschauende Experten verweisen darauf, dass der Mensch sich den Weg ins All durch eigenes Tun und Nachlässigkeit künftig selbst verbauen könnte.

**Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe** Naturwissenschaft, Technik und Sicherheit (IANUS) der Technischen Universität Darmstadt lud im März 1999 mit mehreren Nichtregierungsorganisationen (NROs) zur öffentlichen Tagung »Space Use and Ethics«, um ethische Kriterien für die Erforschung und Nutzung des Weltraums aufzustellen. Die Referate und Gespräche kreisten um den Einsatz von Kernenergie bei Weltraummissionen, Raketenabwehr und Weltraumbewaffnung, wissenschaftlichen Nutzen aus der bemannten Raumfahrt, Kontrolle des Weltraums und Völkerrecht sowie Weltraumforschung und -politik. Auf der Tagung wurden acht konkrete Beurteilungskriterien für Aktivitäten im All festgelegt, die der Wissenschaftler Jürgen Scheffran vorschlug:

- ▶ Die Gefahr einer folgenschweren Katastrophe muss ausgeschlossen sein.
- ▶ Militärische Nutzung, Waffenverbreitung und gewaltsame Konflikte sollen vermieden werden.
- ▶ Negative Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt sind zu minimieren.
- ▶ Die wissenschaftlich-technische Qualität, Funktionalität und Zuverlässigkeit der eingesetzten Technologie muss gewährleistet sein.
- ▶ Das Projekt sollte zur Lösung von Problemen und zur nachhaltigen und zeitgerechten Bedürfnisbefriedigung beitragen.
- ▶ Es ist die Alternative mit dem besten Nutzen-Kosten-Verhältnis zu wählen.
- ▶ Die soziale Verträglichkeit und die Förderung von Kooperation ist sicherzustellen.
- ▶ Das Projekt muss in einer öffentlichen Debatte gerechtfertigt werden, unter Einschluss der Betroffenen.

Die Tagung ist dokumentiert in: W. Bender, R. Hagen, M. Kalinowski, J. Scheffran (Hrsg.), Space Use and Ethics, agenda Verlag, 2001, 304 Seiten. [www.iwif.de/wf299-51.htm](http://www.iwif.de/wf299-51.htm).

**3. KRIEGSFÜHRUNG IM ALL:** Das US-Militär gibt deutlich mehr für Weltraumaktivitäten aus als die zivile Raumfahrtagentur der USA, und auch mehr als alle übrigen Staaten zusammen – einschließlich der zivilen Missionen. Ohne die Hilfe von Satelliten ist moderne Kriegsführung nicht denkbar. So erfordern Präzisionsschläge mit Cruise Missiles oder hochmodernen Bomben unter anderem das Zusammenspiel von Weltraumsystemen für Kommandogebung, Kontrolle, Kommunikation, Aufklärung, Beobachtung, Navigation und Wettervorhersage. Die Übersicht über das Geschehen im Krieg behalten die US-Kommandeure heute über den Feldherrenhügel im All.

Längst geht die Planung über die militärische Nutzung des Weltraums hinaus: Mehr als zwei Dutzend Systeme listet die US Air Force in ihrem Transformation Flight Plan vom November 2003 auf, die sie für die aktive Kriegsführung im All für nötig hält. Zum ersten Mal steht der Schritt von der Weltraummilitarisierung hin zu Weltraumbewaffnung an. Jedem potenziellen Gegner die Nutzung des

Weltraums unmöglich zu machen, feindliche Weltraumsysteme auszuschalten, dabei gleichzeitig die vollständige Kontrolle über den Weltraum (und die Erde) zu behalten ist seit etlichen Jahren offizielle US-Doktrin.

Dies hat fatale Folgen. Die Abhängigkeit der US-Militärs von Weltraumtechnologie bedingt eine hohe militärische Verwundbarkeit. Überdies sind gemäß dem amerikanischen Vorbild zunehmend mehr Länder bemüht, eigene militärische und doppelt verwendbare Systeme zu stationieren, um sich militärisch unabhängig zu machen. Hightech-Rüstung im All kann nur zu einem weiteren Wettstreit unter hoch entwickelten Ländern führen. Zusätzlich angeheizt wird die Rüstungsspirale durch US-Pläne zum Aufbau von Raketenabwehrsystemen. ■■

**REGINA HAGEN**, befasst sich seit 1997 kritisch mit Fragen der Weltraumnutzung. Koordinatorin des International Network of Engineers and Scientists Against Proliferation ([www.inesap.org](http://www.inesap.org)), Mitglied im Vorstand des Global Network Against Weapons and Nuclear Power in Space ([www.space4peace.org](http://www.space4peace.org)).

# »Nichts als schiere Neugier«

Ein Interview mit Ulrich Walter

**Kultur & Technik-**  
Redakteurin Andrea  
Bistrich sprach mit  
dem Astronauten  
Ulrich Walter. Über  
Urlaub im All, das  
Universum und warum  
die Menschheit den  
Mars rechtzeitig als  
Ersatz-Erde  
einrichten sollte.

**Die ganze Welt hat die touristischen Weltraumausflüge des Finanzmagnaten Dennis Tito und des Unternehmers Mark Shuttleworth mitverfolgt. Wird es in einigen Jahren touristische »Linienflüge« ins All geben?**

Vor allem muss der Flug ins All wesentlich billiger werden. Es gibt Untersuchungen in Amerika und Japan, die prognostizieren, dass der Massentourismus in dem Augenblick anfängt, in dem die Kosten für zwei Wochen Urlaub im Weltraum auf etwa 100.000 Euro absacken.

**Meinen Sie, dass genügend Menschen freiwillig Ausflüge ins All unternehmen wollen?**

Aber natürlich, das wird kommen. Viele Leute würden 100.000 Euro dafür ausgeben. Das wissen wir bereits. Die Frage ist nur noch: Wie machen wir das?

Wir müssen ein Gerät bauen, das den Zugang zum Weltraum ermöglicht und das mindestens fünfzig bis hundert Leute befördern kann. Solange es das nicht gibt, bleibt der Preis hoch.

**Sind Geräte, die 50 bis 100 Personen in den All-Urlaub bringen, überhaupt realistisch?**

Die sind sogar sehr realistisch. Aber wir brauchen auch ein Ziel, zu dem man hinfliegen kann, mit anderen Worten, ein Hotel. Ein Hotel im Weltraum zu bauen ist eigentlich Peanuts. Das entscheidende Problem im Augenblick ist der Zugang zum Weltraum, daran hängt derzeit alles.

**Was wird getan, um diese Hürde zu überwinden?**

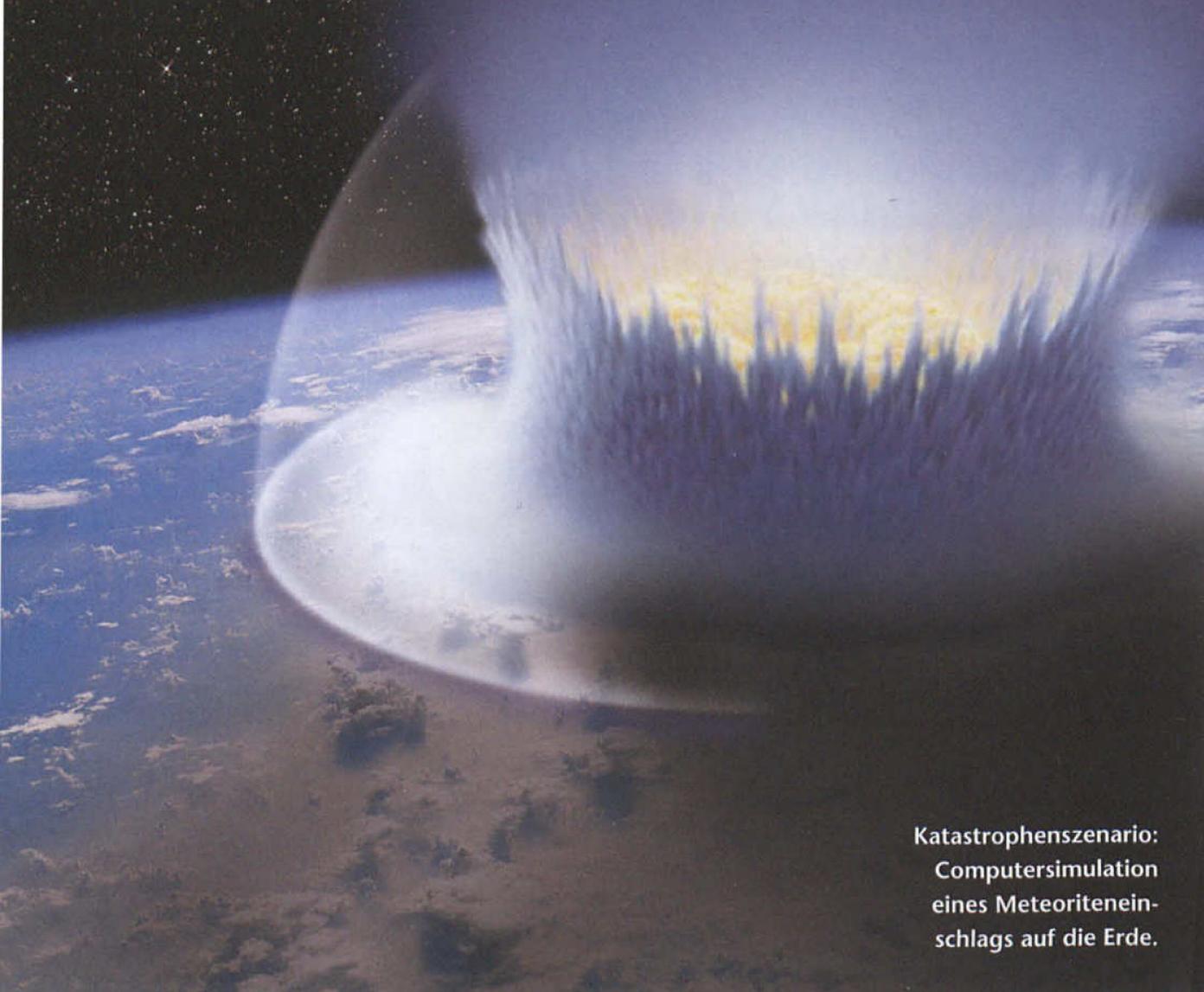
Massentourismus wäre nur über private Firmen möglich. Aber welches Privatunternehmen baut heute Weltraumraketen? Der Aufwand ist enorm hoch und würde mehrere Milliarden Euro umfassen.

Anreiz für solche privat finanzierten und entwickelten Raumschiffe ist in jüngster Zeit der so genannte »X-Prize«. Wer es als erster Privatunternehmer schafft, mit einem zivil gebauten Gerät innerhalb von zwei Wochen zwei Mal die Grenze zum Weltraum zu erreichen, erhält 10 Millionen Dollar.



»Wir müssen ein Gerät bauen, das den Zugang zum Weltraum ermöglicht und das mindestens fünfzig bis hundert Leute befördern kann.«

»Statistiken besagen, dass etwa alle 100.000 Jahre ein Meteorit auf der Erde einschlägt, der ganze Kontinente vernichtet. Alle 10 Millionen Jahre trifft ein Meteorit auf die Erde, der alles höhere Leben auslöscht.«



Katastrophenszenario:  
Computersimulation  
eines Meteoritenein-  
schlags auf die Erde.

**Wo würde man die Weltraumhotels, die Sie gerade erwähnten, am besten platzieren?**

Im nahen Erdorbit. Der Grund dafür ist einfach: Zum einen kostet es viel weniger, wenn man das Hotel in der Nähe der Erde baut; zum anderen kann man die Erde nur dann im Detail betrachten, wenn man nicht allzu weit davon entfernt ist.

**Was die Raumfahrt zu anderen Planeten betrifft, ist der Treibstoffverbrauch, mit dem die Anziehungskraft der Erde überwunden werden muss, bislang sehr hoch. In der Debatte um neue Antriebssysteme werden häufig Solar- oder Atomenergie genannt. Welche Rolle spielen diese Ihrer Meinung nach für die nähere Zukunft der Raumfahrt?**

Man muss unterscheiden zwischen Antrieb und Energie. Energie allein ist nutzlos für den

Antrieb. Was Sie für einen Antrieb brauchen, ist ein Massefluss. Das heißt, Sie müssen irgendetwas wegwerfen.

Man kann sich das etwa so vorstellen: Sie stehen in einem Boot auf dem Wasser. Und wie bewegen Sie sich nach vorne? Indem Sie nach hinten einen großen Stein wegwerfen. Und dieses Wegwerfen des Steins nach hinten schiebt Ihr Boot nach vorne. Genau das ist der Raketenantrieb. Die Masse ist es, die die Rakete nach vorne bringt. Energie wird benötigt, um diese Masse wegzuworfen.

**Müssen Raumschiffe deshalb so groß sein?**

Ja, denn sie bestehen meist zu 99 Prozent aus Masse, die dann weggeworfen wird und die man Treibstoff nennt. Aber der Treibstoff ist zugleich auch der Energielieferant. Sonnenkollektoren nützen insofern als Antrieb gar

nichts. Man braucht vielmehr ein Antriebsprinzip, das möglichst effektiv ist. Und das sind heutzutage so genannte Ionenantriebe.

Dabei wird Masse in ihre einzelnen Atome zerlegt – man nennt dies auch Ionisieren. Das heißt, man entzieht ihnen die Elektronen, um die verbleibenden Ionen dann in einem elektrischen Feld sehr hoch zu beschleunigen. Das ist die Masse, die nach hinten ausströmt und so das Raumschiff nach vorne antreibt. Das ist die hohe Masse, die nach hinten ausströmt. Zur Beschleunigung ist wiederum Energie nötig, und hier könnte man tatsächlich Sonnenkollektoren einsetzen. Allerdings ist die Energiebeschaffung kein großes Problem. Die Frage ist, wie muss die Technologie aussehen, mit der die Atome aufgelöst, ionisiert und beschleunigt werden können?

Der Ionenantrieb ist in dieser Hinsicht der derzeit effektivste Antrieb. Er hat aber den großen Nachteil, dass er nicht viel Masse beschleunigen kann und daher kaum Schubkraft hat. Aus diesem Grund wird man ihn nicht dazu einsetzen, um von der Erde wegzukommen. Ist man jedoch einmal im Welt- raum, reicht schon der kleinste Schub. Deswegen gilt es immer zu unterscheiden: Geht es darum, von der Erde wegzukommen – dazu werden chemische Antriebe benötigt, die eine sehr hohe Schubkraft besitzen – während im Weltraum selbst ionische Antriebe und auch Fusionsreaktoren zum Einsatz kommen.

**Vielfach wird behauptet, dass die Menschheit langfristig nur überleben wird, wenn wir neue Welten im All erschließen. Was könnte uns zum Auswandern veranlassen?**

Für die Weltraumerschließung gibt es mehrere Gründe. Den wohl interessantesten hat Mister Spock von der TV-Serie »Raumschiff Enterprise« genannt. Er sagte: »Es ist Neugier, nichts als schiere Neugier.« Ebenso könnte man fragen, warum steigen Bergsteiger auf den Mount Everest? Reinhold Messner hat einmal gesagt: »Der Berg steht da, deswegen besteigen wir ihn.«

In der Tat, der Weltraum ist da und man kann hinfahren, also tun wir das. Das ist ein wichtiger Naturantrieb. Allerdings kann das nicht der Grund dafür sein, warum Massen das machen. Denn im Gegensatz zum Mount

Everest kann der Weltraum durchaus Massen aufnehmen.

### **Braucht man dazu dennoch nicht einiges an Mut und Pioniergeist?**

Als die ersten Siedler von Europa nach Amerika gingen, waren es am Anfang nur wenige. Damals haben auch viele Leute gefragt: Warum macht ihr das? In Europa ist es doch schön. Am Anfang gab es ein paar Neugierige, vergleichbar den heutigen Astronauten. Irgendwann sind die Menschen dann scharenweise fortgezogen. Warum? Weil in Europa eine Dürre herrschte. Das heißt, es gab einen Druck, der dazu führte, dass die Menschen in Massen auswanderten – in ein »Gelobtes Land«, und das war Amerika.

Genauso könnte es in der Raumfahrt auch werden. Es wird in der Zukunft – davon bin ich überzeugt – einen Druck geben, der letztlich ganze Massen dazu veranlasst, in den Weltraum zu gehen. Möglichkeiten für einen solchen Druck gibt es mehrere.

### **Zum Beispiel?**

Wir wissen heute, dass Europa in 60.000 Jahren von einem Eispanzer überzogen sein wird. Das wird die nächste Eiszeit sein. Ich kann mir gut vorstellen, dass sich dann einige überlegen werden: Eiszeit oder Mars? Wenn man weiß, auf dem Mars lässt es sich genauso gut leben wie auf der Erde – und man kann zeigen, dass dies möglich ist – dann wüsste ich keinen Grund, warum man nicht zum Mars gehen sollte, sozusagen in das »gelobte Land«.

### **Ehrlich gesagt mache ich mir heute noch keine Gedanken über das, was in 60.000 Jahren sein wird.**

Das war damals genauso, und jeder hat gesagt: Warum sollte ich nach Amerika gehen? Das war auch richtig. Solange es keinen Druck gibt, braucht man sich darüber auch keine Gedanken zu machen. Sie haben vollkommen Recht. Das Einzige, was ich sage, ist: Ich kann mir vorstellen, dass es in Zukunft einen Druck wie beispielsweise die Eiszeit geben wird.

Aber es gibt noch weitere. Statistiken besagen, dass etwa alle 100.000 Jahre ein Meteorit auf der Erde einschlägt, der ganze Kontinente vernichtet. Während alle 10 Millionen Jahre



Das von der US-Firma Scaled Composites gebaute »Space Ship One« beim Jungfernflug im Juni dieses Jahres.

ein Meteorit auf die Erde trifft, der alles höhere Leben

auslöscht. Nun sind 10 Millionen Jahre natürlich eine sehr lange Zeit. Das große Problem dabei ist, dass wir nicht wissen, ob es tatsächlich erst in 10 Millionen Jahren sein wird oder nicht doch schon morgen.

### **Das kann man nicht durch Berechnungen vorhersagen?**

Es ist absolut unberechenbar. Aber ich kann Sie beruhigen: wenn die Wahrscheinlichkeit 1 in 1 Million Jahren ist, dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass es morgen ist, doch sehr gering. Und deswegen schlafe auch ich noch ganz gut.

Um solche Meteoriten zu bekämpfen, müssten wir zunächst eine Abwehrvorrichtung bauen. Aber ab einer bestimmten Größe lassen sie sich nicht mehr bekämpfen, und dann kommt automatisch der Punkt, an dem man darüber nachzudenken beginnt, wie sich die Menschheit retten könnte. Es wird Leute geben, die sagen, wir werden den Mars so umformen, dass wir dort leben können.

Diese Entwicklung, die eine ganz natürliche ist, geht über Hunderte von Jahren. Der Mensch hat immer nur reagiert. Die Zwänge auf der Erde haben ihn dazu bewogen. Das war bisher so, und das wird auch in Zukunft in der Raumfahrt so sein.

### **Sie haben die Umformung des Mars angesprochen: Wie kann man einen Planeten umformen?**

Der Mars hat früher große Ozeane gehabt,

zum Teil liegt das Wasser noch in tiefen Schichten unter der Erde. Weil er keine Atmosphäre mehr hat, ist der Rote Planet im Augenblick allerdings relativ kalt – irgendwo in dem Bereich zwischen minus 90 Grad Celsius und Null Grad Celsius.

Man kann sich jedoch vorstellen, dass man ihm eine neue Atmosphäre gibt. Diese Atmosphäre würde die Sonnenstrahlen zurückbehalten, also eine Art Treibhauseffekt produzieren, so dass der auf diese Weise aufgewärmte Mars das viele Wasser, das tief unter der Erdschicht lagert, wieder freigeben könnte. Damit gäbe es eine Atmosphäre und Wasser. Allerdings wäre diese Atmosphäre eine reine CO<sub>2</sub>-Atmosphäre, die mithilfe von Pflanzen erst noch in eine Sauerstoff-Atmosphäre umgewandelt werden müsste. Das dauert viele hundert Jahre. Aber wir haben die Zeit, denn noch droht uns kein Meteorit.

In etwa 500 bis 700 Jahren hätten wir dann einen Mars, der neben Wasser eine ganz normale Sauerstoff-Atmosphäre besitzt, und somit könnten wir dort genauso wie auf der Erde leben.

### **Ist es ethisch vertretbar, einen Planeten umzuwandeln? Stellen Sie sich vor, wie uns zumute wäre, wenn jemand zur Erde käme und sie umwandeln wollte?**

Der Unterschied besteht darin, dass Menschen auf der Erde sind. Es gibt also Lebewesen, die eine Daseinsberechtigung haben. Das ist beim Mars nicht der Fall.

### **Wissen wir das heute schon mit absoluter Sicherheit?**

Höheres Leben auf dem Mars ist mit Sicherheit auszuschließen. Es gibt keine grünen

Marsmännchen. Wohl könnte es sein, dass es vor vielen Milliarden Jahren primitivstes Leben gab, und dass dieses Leben heute in den riesigen Eisschichten eingefroren ist.

Sollte es dieses Leben gegeben haben, dann allerdings nur als Einzeller. Aus diesem Grund macht man die Missionen zum Mars nur unter äußerst sterilen Bedingungen – um nicht etwa Einzeller dort einzuschleppen. Denn man möchte zunächst einmal untersuchen, ob es überhaupt Leben auf dem Mars gegeben hat. Nachdem man den Mars ausgiebig erforscht und diese Frage geklärt hat, wüsste ich keine weiteren Bedenken, den Planeten nicht nach menschlichem Ermessen umzuformen.

Die einzige Frage, die in dieser Hinsicht zu klären wäre, ist, wem gehört dann der Mars? Wer hat welche Rechte?

#### **Halten Sie den Schritt ins All für evolutionär vorprogrammiert – als eine logische Weiterentwicklung der menschlichen Spezies?**

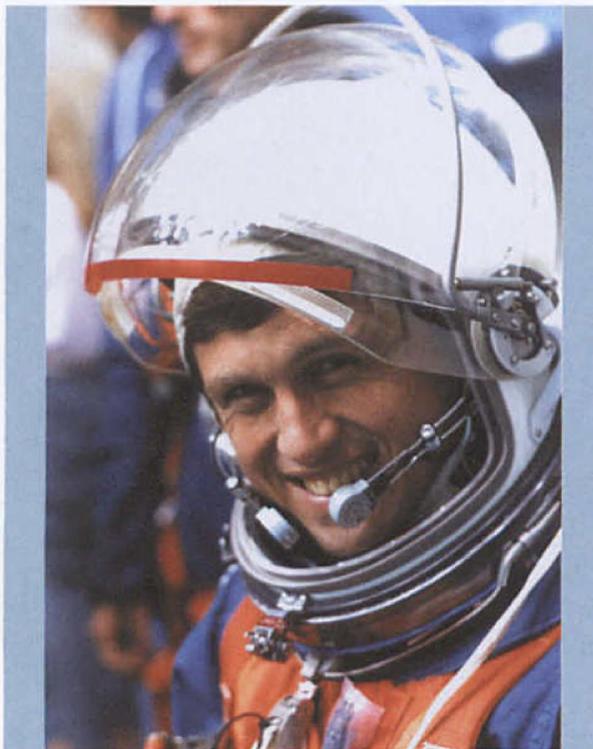
Nein, evolutionär vorprogrammiert ist das nicht. Ebenso glaube ich auch nicht, dass der Mensch vorprogrammiert war, als das Leben entstand. Vielmehr hat die evolutionäre Entwicklung zufälligerweise zum Menschen geführt.

Der Schritt des Menschen ins All vorzudringen, stellt eine Möglichkeit dar. Nur wenn der evolutionäre Druck groß genug ist, wird der Mensch diese Möglichkeit wahrnehmen.

#### **Wie lange wird das denn dauern?**

Die Zeitmaßstäbe sind in diesem Zusammenhang ein ganz wichtiger Punkt. Gewöhnlich sind wir Menschen auf einen Zeitraum von einer Generation beschränkt. In kosmologischen Zeitaltern gedacht, ist das gar nichts.

Die Menschheit, der *Homo Sapiens*, ist 700.000 Jahre alt. Wenn Sie bedenken, dass der Mensch sich in 700.000 Jahren von einem einfachen, primitiven Urwesen zu einem intelligenten Menschen entwickelt hat, dann können Sie sich vielleicht ausmalen, wie der Mensch in den nächsten 700.000 Jahren sein wird. Der Mensch wird dann ein völlig anderer sein als heute.



Dr. Ulrich Walter, Physiker und Wissenschaftsastronaut, flog 1993 als Nutzlastspezialist an Bord der D-2-Shuttle-Mission mit. Seit 2003 ist er Ordinarius des Lehrstuhls für Raumfahrttechnik an der TU München. Walter ist Autor zahlreicher Bücher und Publikationen über Raumfahrt und Raumfahrttechnik.

#### **Dennoch hat diese Entwicklung sehr, sehr lange gedauert.**

Aus unserer Sicht schon. Aber wenn man bedenkt, dass die Erde seit 4,5 Milliarden Jahren existiert – das sind viertausendfünfhundert Millionen Jahre –, dann ist diese Zeitspanne wiederum relativ kurz. Falls der Mensch sich in den nächsten 700.000 Jahren nicht selbst auslöscht, dann wird das, was sich dann Menschheit nennt, kein *Homo Sapiens* mehr sein, sondern eine ganz andere Art. Ich kann mir zum Beispiel gut vorstellen, dass der Mensch ein *Homo Spaciens* wird – also ein dem Weltraum adaptierter Mensch.

#### **Vieles im Kosmos scheint exakt auf das menschliche Dasein abgestimmt zu sein. Ist das alles nur Zufall oder göttlicher Plan?**

Unser heutiges Wissen schließt nicht aus, dass es einen Gott gibt. Was es lediglich ausschließt, ist die wortwörtliche Annahme der Welterschaffung in sieben Tagen – wie es in der Bibel steht und was nicht richtig sein

kann. Aber der Glaube an einen Gott, der etwas schuf, ist davon unbenommen. Das ist der Grund, warum zweifellos viele Naturwissenschaftler an einen Gott beziehungsweise an einen Schöpfer glauben.

#### **Entstand das Universum tatsächlich mit einem »Big-Bang«?**

Ob das Universum in einem »Big-Bang« entstanden ist, ist nicht ganz klar. Es gibt heute auch andere Modelle, die besagen, dass bereits vor dem Big-Bang etwas war.

#### **Welche Modelle sind das zum Beispiel?**

Es gibt die so genannte Stringtheorie. Vertreter dieser Theorie gehen davon aus, dass am Anfang des Universums alles auf kleinstem Raum zusammengedrängt war. Wenn das so war, dann kann man sich vorstellen, dass vor dem Big-Bang ein Universum existierte, das nach hinten verlängert auch unendlich war. Ich kann mir gut vorstellen, dass diese gegenwärtige Annahme der Stringtheoretiker der Wahrheit entspricht. Es ist allerdings mehr eine philosophische Fragestellung, ob der Big-Bang der Ursprung war oder nicht. Für uns Wissenschaftler war er der Ursprung, denn das, was danach kam, ist kausal losgelöst von dem, was davor war. Kausal losgelöst heißt: wir werden nie erfahren, was davor war. In diesem Sinne ist der Big-Bang die Entstehung von etwas wirklich Neuem.

Man kann aus Sicht der Stringtheoretiker also zusammenfassen: Das Universum war ewig in der Vergangenheit und wird ewig in der Zukunft sein. Diese Ansicht unterscheidet sich von den bisherigen Annahmen der Quantenphysik, die sagt: Unser Universum wird zwar unendlich in der Zukunft sein, aber es war endlich in der Vergangenheit, da es zu einem Zeitpunkt  $t=0$  in der Vergangenheit entstanden ist. Es existiert seit 13,7 Milliarden Jahren. Und das ist eine endliche Zahl.

#### **... die unter den Astronomen heute allgemein anerkannt ist?**

13,7 Milliarden Jahre ist das so genannte Standardmodell der Kosmologie, der gegenwärtige Konsens der Kosmologen – und eine relativ sichere Tatsache.

**Können Sie uns auch schon verraten, wie alles enden wird?**

Da gibt es seit etwa drei Jahren sehr genaue Erkenntnisse. Wir wissen, dass das Universum eben ist und damit in alle Unendlichkeit andauernd wird. Mehr noch, es beschleunigt sich sogar und wird sich in alle Ewigkeit ausbreiten. Und so wird es enden.

**Kommen wir zur obligatorischen Frage, Herr Professor Walter: Gibt es Leben im All?**

Wir wissen heute, dass der Weltraum unendlich groß ist. Allein aus der Tatsache, dass wir sind und der Weltraum unendlich groß ist, folgt, dass wir nicht die Einzigen sein können.

Wenn Sie mich aber fragen: Sind wir die Einzigen in der Milchstraße? Dann kann man mit großer Wahrscheinlichkeit zeigen, dass wir dies tatsächlich sind. Aber mit mehr als 100 Milliarden Sternen ist selbst die Milchstraße ziemlich groß. Bedenkt man, dass man in einem so riesigen Gebilde alleine ist, dann ist das schon ziemlich erstaunlich.

Innerhalb unserer Milchstraße können wir uns im Prinzip von einem Stern zum anderen fortbewegen. Wir könnten unsere Milchstraße kolonialisieren, wir könnten jeden Stern besetzen. Aber wir können nicht von einer Galaxis zur anderen hüpfen. Deswegen werden wir niemals – selbst wenn es in anderen Galaxien andere Zivilisationen geben mag –, mit diesen Zivilisationen in Kontakt kommen.

**Vielfach wird kritisiert, dass in der Debatte um extraterrestrisches Leben die meisten Forscher von erdähnlichem Leben ausgehen.**

**Könnte es sein, dass wir intelligente Allbewohner schlichtweg nicht erkennen, weil wir zu sehr von einem bestimmten Erscheinungsbild ausgehen – ähnlich wie Ameisen nicht erkennen, dass sie auf einer Autobahn krabbeln?**

Das ist ein oft vorgebrachter Einwand. Wir haben bisher von intelligenten Wesen gesprochen. Wenn man aber fragt, worauf intelligentes Leben beruht, gibt es nach Ansicht der Biologen praktisch nur zwei Möglichkeiten – entweder ist es Kohlenstoff-Leben oder es basiert auf Siliziumchemie. Unser Leben ist durch Reproduktion und Mutation aus dem

Nichts entstanden. Wir können zwar intelligente Chips herstellen, aber diese Chips können nicht selbst aus dem Nichts entstehen. Das ist ein wichtiger Unterschied. Leben, das aus sich selbst entsteht, kann – den Biologen zufolge – nur auf Kohlenstoffchemie aufgebaut sein, und das heißt: Fleisch, Proteine und Wasser.

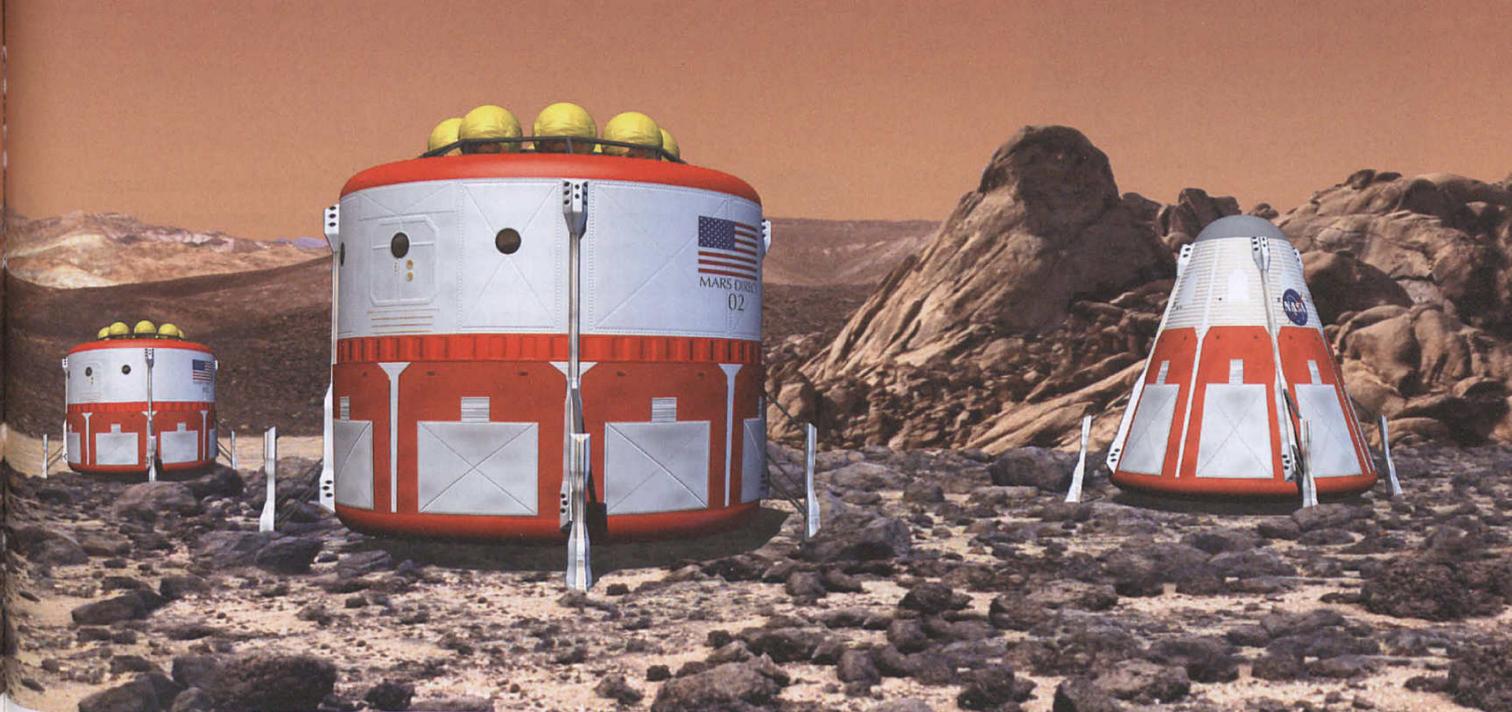
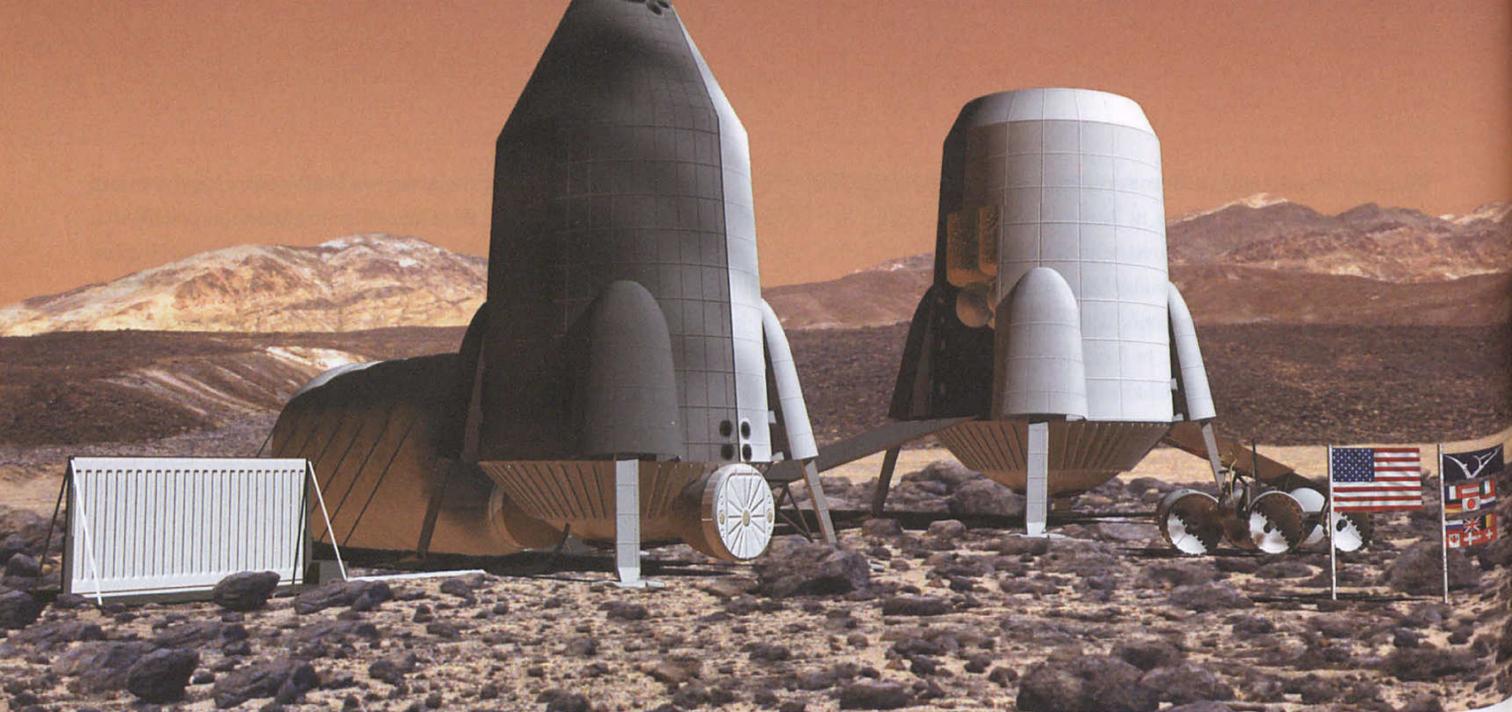
**Welche Arten von Intelligenzen kann man sich auf Basis von Kohlenstoffchemie vorstellen?**

Solche Lebewesen können im Prinzip minimal so groß sein wie eine Faust und nicht größer als ein Dinosaurier. Innerhalb dieser Spannbreite ist alles denkbar. ■■

Raketenantrieb: Eine Träger-Rakete transportiert die Raumfähre Columbia am 25. Juni 1992 huckepack ins Weltall. Ein Jahr später war Ulrich Walter mit an Bord.



**Wenn man zeigen kann, dass es sich auf dem Mars genauso gut leben lässt wie auf der Erde, dann wüsste ich keinen Grund, warum man nicht zum Mars gehen sollte. Sozusagen in das »Gelobte Land«.**



# Reisen zum Mars

Noch in diesem Jahrhundert sollen Menschen den Roten Planeten besuchen

Anfang des Jahres landete die NASA ihre beiden neuesten Forschungsroboter »Spirit« und »Opportunity« auf dem roten Planeten Mars. Inzwischen erkunden die beiden Golfkart-großen sechsrädrigen Rover auf der Suche nach Wasser die gegenüberliegende Seite dieser neuen faszinierenden Welt, die für die bemannte Raumfahrt langfristiges Ziel und Leitstern sein soll.

Von Jesco Freiherr von Puttkamer

Bis zum Jahr 2020 will der Mensch wieder auf dem Mond gewesen sein und dort eine Basis errichtet haben – zur wissenschaftlich-technischen Erprobung des bemannten Fluges zum Mars und seiner Exploration sowie zur weiterführenden Ausdehnung der Menschheit im Sonnensystem. Das ist die mit NASA-Hilfe vorbereitete Vision der US-Regierung.

Was wir derzeit erleben, ist der erste Schritt in diesem langfristigen Programm, das in der Marserschließung gipfeln wird: Die aufklärende Erforschung mit Robotern, die unter anderem der Identifizierung besonders interessanter späterer Landestellen dient. Der zweite Schritt ist die humanphysiologische Erforschung der menschlichen Eignung und Vorbereitung für den Langzeitaufenthalt im All. Welche Auswirkungen hat die Schwerelosigkeit auf uns über längere Zeiträume? Benötigen wir künstliche Schwerkraft? Und was



**DR. JESCO FREIHERR VON PUTTKAMER**, Raumfahrtwissenschaftler und Planungsmanager beim NASA Headquarter Office of Space Flight, Washington D.C., wurde 1962 nach dem Maschinenbaustudium von Wernher von Braun zur NASA nach Huntsville/Alabama als Aero-Space-Technologe gerufen. Mitarbeit und Entwicklung zahlreicher Programme: Saturn V, Apollo-Saturn-Projekt, Skylab, Apollo-Sojus-Gemeinschaftsprojekt ASTP, Space Shuttle und International Space Station (ISS); seit 1985 Honorarprofessor an der TH Aachen.

sind unsere psychologischen Bedürfnisse für solche Fernreisen im All? Hierbei spielt die Internationale Raumstation ISS eine wesentliche Rolle. Der dritte Schritt ist die Entwicklung der für den Menschenflug zum Mars notwendigen Technologien und Systeme, vor allem auf Gebieten wie Lebenserhaltung, Strahlenschutz, Antriebe, Produktsicherheit und Zuverlässigkeit.

**ZWISCHENSTATION MOND.** Für den Menschenflug zum Mond und Mars nimmt die ISS eine Schlüsselposition ein. Zunächst einmal kann man sagen, dass sie in Sachen Entwicklung und Betrieb als eine Art Frühmodell und Demonstration eines gemeinsamen internationalen bemannten Mond-/Marsprogramms der späteren Zukunft gilt. Aber mehr noch: Langfristig dient sie als orbitale Forschungsstätte zur Erarbeitung des

Abbildungen: NASA, J. v. Puttkamer



In Schutzanzügen und unterirdischen Domizilen werden die ersten menschlichen Bewohner des Mars leben müssen.

benötigten wissenschaftlichen und technischen Fundaments. In erweiterter Form sehe ich sie außerdem als einstigen Transportknotenpunkt und Umschlaghafen für Planetenmissionen. Auf ihrer Aufgabenliste obenan steht die Erforschung des Menschen und aller mit seiner Gesunderhaltung bei langen Weltraumaufenthalten verbundenen »Humanfaktoren«, die schwierigsten Hürden auf dem Weg zum Mars: die Auswirkungen der Schwerelosigkeit und die Ausarbeitung potenter Gegenmaßnahmen, die Entwicklung von Strahlungsschutz, die Wahrung von Stabilität und Produktivität kleiner, multikultureller Menschengruppen in langwährender Eingeschlossenheit und Isolation und die Entwicklung zuverlässiger regenerativer Lebenserhaltungssysteme für Missionen von mehrjähriger Dauer. Auch für die meisten anderen Systeme des Marsprojekts ist die ISS ein Prüffeld innovativer Hochtechnologien. Als neuer »Standort All« bildet sie also eine Art frühen Brückenkopf zum neuen Kontinent außerhalb der Erde – zum Mars.

Die Erforschung und Besiedlung des Roten Planeten ist ein großes Langfristziel, ein Jahrtausendprojekt, an dessen Globalität kein anderes Ziel der Menschheit auch nur entfernt heranreicht. Der Prozess ist in unserer Zeit in Gang gekommen, und wir erleben ihn täglich mit, aber begonnen hat der Aufbruch zur Nachbarwelt bereits vor langer Zeit: Schon seit den Tagen der ersten Ingenieurträume von Konstantin Ziolkowsky und Hermann Oberth und der ersten Raketenstarts von Robert Goddard, Wernher von Braun und Sergeij Korolow sind wir auf dem Weg. Im gegenwärtigen dritten Jahrtausend wird dieser Prozess die daran teilhabenden Erdenbürger über Jahrzehnte und Jahrhunderte hinweg quer durch alle Kultursparten beschäftigen – aufklärend, forschend, fußfassend, siedelnd und heimisch werdend.

**WELCHE GRÜNDE SPRECHEN FÜR DEN MARSFLUG?** Angesichts der inzwischen gesicherten Entdeckung gewaltiger Wassermassen auf dem Roten Planeten nicht nur vor Jahrmillionen, sondern auch heute, steht an vorrangiger Stelle natürlich die weiterführende Suche nach einstigem oder heutigem Leben: also nach Biooasen und Fossilien, nicht nur von Mikroorganismen, sondern auch höheren Lebensformen. Der Mensch selbst muss in der Arena des Geschehens sein, um sein Forschungsprogramm nach den aktuellen, soeben gemachten Entdeckungen ohne Zeitverzug adaptieren und ausrichten zu können. Ein zweiter Grund ist die Tatsache, dass die Wissenschaft der komparativen Planetologie aus dem Studium der Entwicklungsgeschichte des Mars, seiner Geographie, Geophysik und Klimatologie wichtige neue Erkenntnisse über unsere eigene Erde lernen kann. Und drittens ist danach die Frage, ob und wie Homo Sapiens auf dem Mars leben und eine neue Heimat finden kann, für die Zukunft des Menschengeschlechts von wahrscheinlich arterhaltender Bedeutung.

**GEHEIMNISVOLLER PLANET.** Der Mars ist eine Welt voll Wunder und Rätsel, geprägt von Prozessen, denen man bisher noch nirgendwo begegnet ist. Je mehr wir über den Mars erfahren, desto mysteriöser und erstaunlicher, aber auch schöner wird er: Er hat die höchsten Vulkane und das größte Canyon-System des Sonnensystems, gewaltige planetenweite Sand- und Wirbelstürme, unzählige trockene Flussbetten, weite Ozeanbecken und riesige dichtverästelte Stromtalnetze, wo einstmal Wasser in Sturzfluten strömte. Aber auch Polarkappen aus Eis und lockende Anzeichen unterirdischer Permafrostlager und nach neuesten Entdeckungen wahrscheinlich auch Reservoir flüssigen Wassers, das von Zeit zu Zeit hervorbricht und deutlich erkennbare Rinnsale hinterlässt, bevor es sehr schnell friert und verdunstet bzw. sublimiert. Ausschließen lässt es sich nicht, dass es dort auch heute adaptierte Lebensformen gibt.

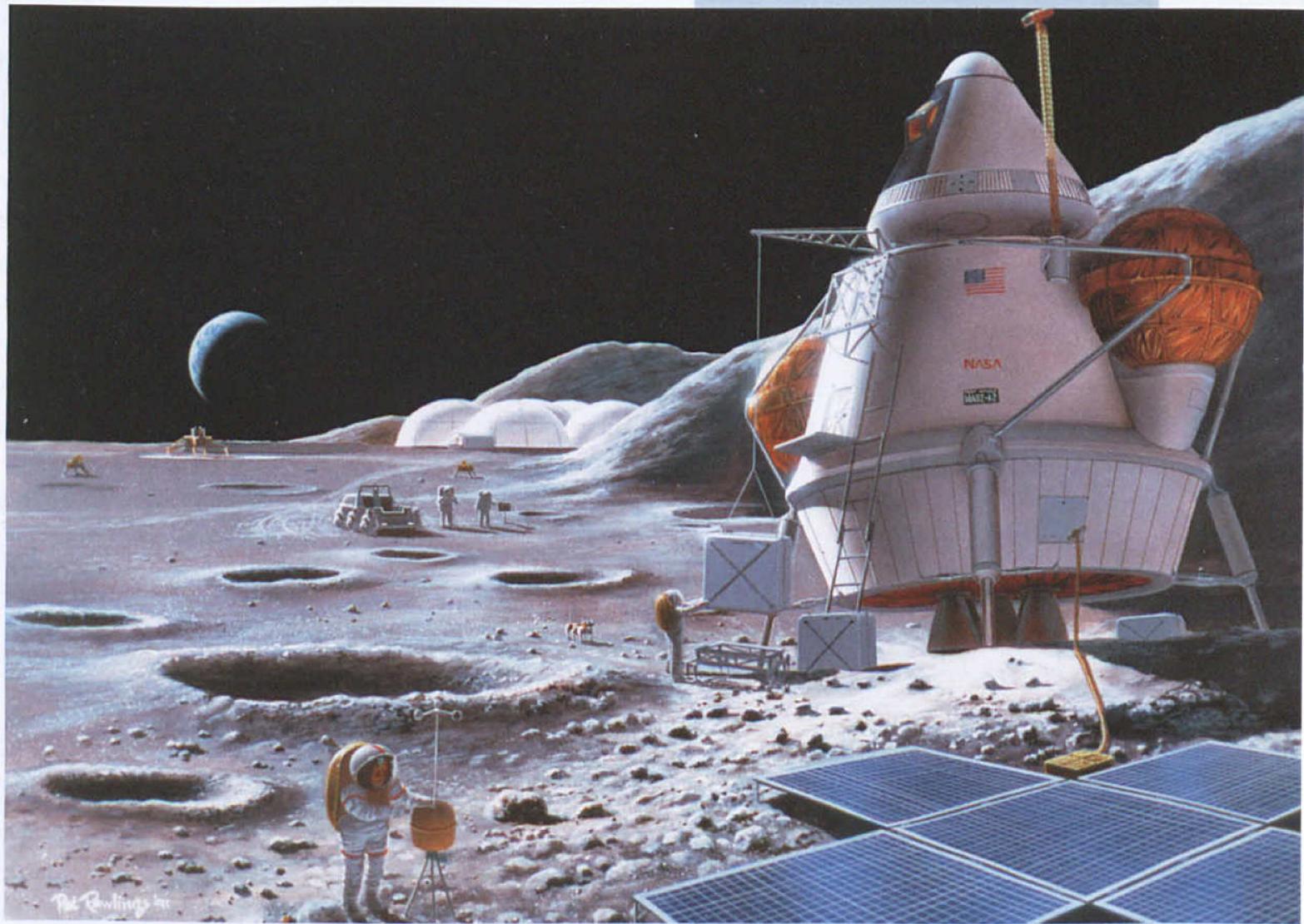
Wie konnte es geschehen, dass Erde und Mars derart unterschiedliche Entwicklungswege genommen haben? Wenn die Forschung herausbringt, was damals wirklich geschah, als sich das Klima auf dem Planeten so drastisch änderte, wann es passierte und warum, dann erhellt sich für

uns auch Vieles über die Geschichte und Zukunft unserer eigenen Umwelt und Klimata, auch wenn der Mars neuerdings mit zunehmenden Entdeckungen weniger und weniger erdähnlich zu sein scheint.

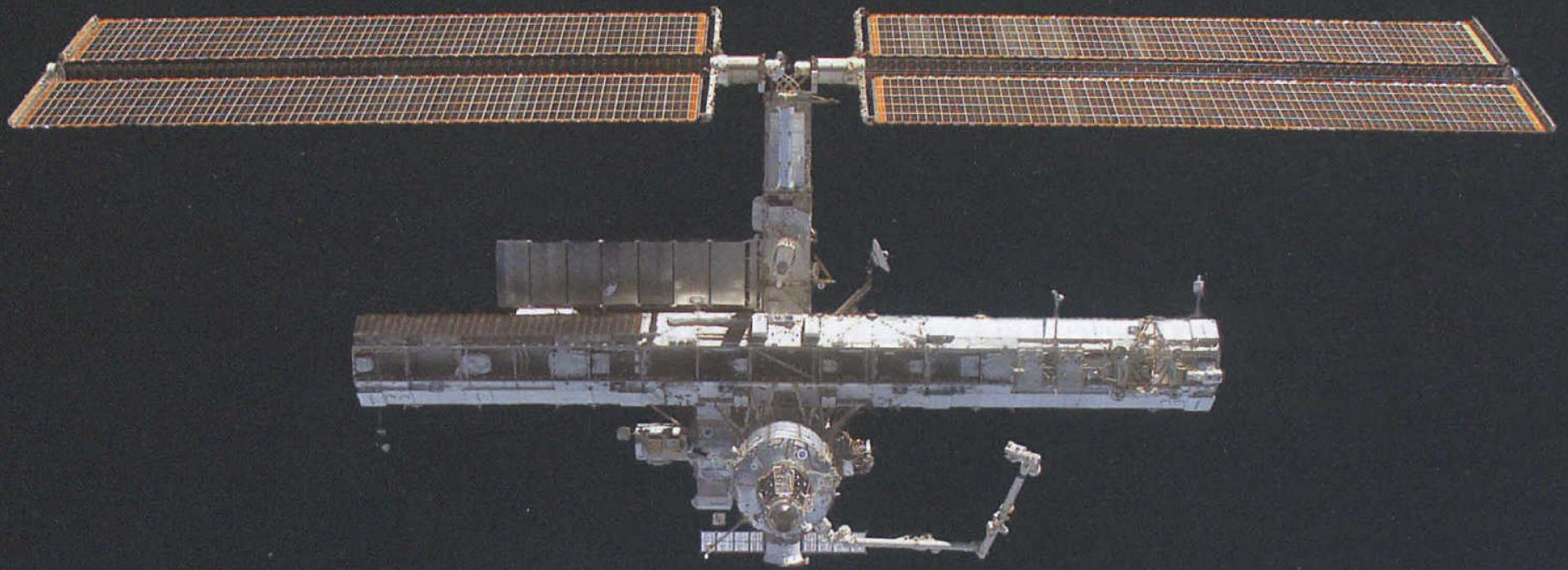
**WERDEN WIR MENSCHEN TATSÄCHLICH AUF DEM MARS LEBEN KÖNNEN?** Die Geschichte zeigt, dass Homo Sapiens sich hauptsächlich dadurch verbreitet hat, dass er es verstand, lokale Rohstoffe auszuwerten und zu nutzen. Für die ersten Marspioniere wird nach Sicherung ihres unmittelbaren Überlebens für längere Zeit die wichtigste Aufgabe darin bestehen, die Nabelschnur von der Erde in Form kostspieliger Nachschubtransporte auf ein Minimum zu reduzieren. Mars besitzt alle Rohstoffe, die zum Leben und zur Begründung eines neuen Ablegers der menschlichen Zivilisation nötig sind: Kohlenstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, die sich aus der Atmosphäre, dem Wassereis der Polarkappen und dem vermuteten Grundeis direkt gewinnen lassen. Auch an den meisten industriell interessanten Elementen wie Kupfer, Schwefel und Phosphor besitzt der Planet große Bestände. Örtliche Mineralschürfung, Rohstoffprozessierung, Veredlung und Produktion erfordern neue Technologieentwicklungen, die bereits heute untersucht werden.

**LEBEN IM SCHUTZANZUG.** Ein Leben »unter freiem Himmel«, wie wir es kennen, ist auf dem Mars freilich nicht möglich. Seine atmosphärischen Zustände sind dergestalt, dass der Mensch im Freien einen Schutzanzug braucht. Die Marsatmosphäre hat zwar keine Ozonschicht als Schutz gegen UV-Licht, ist jedoch dicht genug, um zum Beispiel Erntebestände auf der Oberfläche vor Sonneneruptionen zu schützen. Für sie genügen daher dünnwandige aufblasbare Treibhäuser mit Schutzkuppeln aus UV-beständigem Kunststoff, in denen der Treibhauseffekt Wärme erzeugt, die auf der Erde verpönt, auf dem kalten Mars jedoch hochwillkommen ist. Kleinere Kuppeln bis vielleicht 50 Meter Durchmesser dürften leicht genug sein, um von der Erde herangebracht zu werden, größere kann man später aus einheimischen Rohstoffen herstellen. Das heißt, der Mensch, der zunächst auf Schutzhabitate auf oder unter der Oberfläche angewiesen ist, kann dereinst im Freien unter Plastikdomen leben. Für die ferne Zukunft ist darüber hinaus eine radikale ökosynthetische Umwandlung der Marsumwelt zu mehr irdischen Verhältnissen vorstellbar. Solche Prozesse, unter dem Sammelbegriff »Terraforming« geführt, werden schon heute spekulativ angedacht.

**WARUM MARSERSCHLIESSUNG?** Die Frage nach ihrem Sinn und Zweck fällt in den größeren Bereich der Grundsatzfrage nach dem tieferen, transutilitären Sinn und Zweck der bemannten Raumfahrt. Das Grenzüberschreitungsphänomen der Erforschung und einstmaligen Besiedlung des Weltraums steht in dem Geist, der menschliche Forscher zu allen Zeiten vorangetrieben hat: der Drang, die Grenzen unseres Wissens und Verstehens auszuweiten, und damit den Bereich



Nur eine Zwischenstation auf dem Weg ins All: Der Mond.



der menschlichen Existenz, unseres Lebens und Wirkens – und diese Grenzen dann zu überschreiten. Von Anbeginn an, als der Mensch erstmals zu Bewusstsein kam, war dies der fundamentale Grund, warum er die Domänen Land, Wasser und Luft erforscht hat und heute wieder und wieder ins All vorstößt.

**WAS KOMMT NACH DEM MARS?** Da Raumexplorationsmandat der NASA sieht Menschen eines fernen Tages weiter ins Sonnensystem vordringen, zunächst zum sonnenumspannenden Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter, in dem gewaltige Mengen an wertvollen Rohstoffen, darunter auch Wassereisberge, vermutet werden, dann zu den noch weiter entfernten faszinierenden Monden von Jupiter und Saturn, von denen etwa Europa und Ganymed durch ihre Atmosphären, Eiskrusten und darunter vermuteten Wasservorkommen mit möglicher Biota die Planetenforscher elektrisiert haben, während Titan die einzige außerirdische Welt im Sonnensystem ist, die eine dichte Stickstoffatmosphäre wie die Erde hat. Auch diese Region erkunden robotische Pfadfinder und vorgeschobene Beobachter bereits heute, um Menschen den Weg zu bereiten.

**WANN WERDEN WIR LANDEN?** Nun, dass Menschen auf dem Mars landen werden, steht mit Sicherheit fest. Das Wann hängt von der noch zu erledigenden Arbeit ab, von technischen und wissenschaftlichen Fragen, die noch beantwortet werden müssen. Nach Fertigstellung der Raumstation ISS bis zum Jahr 2010 gilt es, die verbleibenden technischen und wissenschaftlichen Hürden zu überwinden und Geräte zu entwickeln, die auch über

»Was wir derzeit erleben, ist der erste Schritt in diesem langfristigen Programm, das in der Marserschließung gipfeln wird.«

#### Der lange Weg zum Mars

Fertigmontage der ISS bis Ende dieses Jahrzehnts • Bereitstellung eines neuen Großtransportsystems zur Anlieferung von Menschen und Frachtgut von der Erdoberfläche • bis 2008 robotische Missionen zum Mond zur Vorbereitung künftiger bemannter Explorationen • um 2015, spätestens 2020, bemannte Mondexpeditionen zur Förderung von Wissenschaft sowie Entwicklung und Erprobung neuer Explorationsansätze, -technologien und -systeme • robotische Missionen zum Mars zur Suche nach Nachweis von Leben, Ergründung der Geschichte des Sonnensystems und Vorbereitung künftiger bemannter Explorationen • nach erfolgreicher Mondexpedition: Menschenflüge zum Mars • robotische Explorationen ins Sonnensystem jenseits des Mars.

lange Zeit zuverlässig in Schwerelosigkeit funktionieren und die verhindern, dass der Mensch durch den Aufenthalt in der Schwerelosigkeit Schaden nimmt; aber auch Geräte, die Forschungsergebnisse liefern, die uns sagen, was eigentlich mit Menschen passiert, die 18 Monate oder noch länger – drei Jahre, vier Jahre – auf einer Marsreise unterwegs sind. Das ist eine lange Liste, die allmählich abgearbeitet werden muss und die natürlich Zeit braucht. Deswegen wird es auch mindestens 20 bis 25 Jahre dauern, bis man soweit ist,

dass man zur roten Welt fliegen kann. Diese Marsmission wird keine rein amerikanische sein, sondern ganz zweifellos eine internationale, an der zumindest die Nationen beteiligt sein werden, die bereits bei der ISS zusammenarbeiten. Andere werden dazukommen.

#### INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT.

Das neue Programm ist also kein Wettrennen, sondern eine gemeinsame Reise. Damit ist Kooperation im All als neue Triebfeder der Raumfahrt im dritten Jahrtausend an die Stelle des alten Konkurrenz-Motivs des politisch motivierten »Wettlaufs im All« der Vergangenheit gerückt. Historisch gesehen, ist diese Art eines gemeinsamen Forschungszugs in die Tiefen des Alls eine Antwort auf die besondere Herausforderung unseres globalen Zeitalters, und zwar in der ethisch einzig möglichen und angemessensten Weise: durch die Ausweitung und das Über-sich-selbst-Hinauswachsen des zusammenhängenden Systems Mensch-Erde-Kosmos. ■■

# Astronomie für die Sinne

Das Zeiss-Planetarium im Wandel von 80 Jahren

Weit zurückgelehnt in den bequemen Sesseln blicken die Besucher nach oben. Zu sphärischen Klängen erscheint jetzt der nächtliche Himmel, übersät mit unzähligen Sternen, die Milchstraße quert als lichtiges Band den Raum. Illusion der Unendlichkeit im Planetarium des Deutschen Museums. Die Reise ins Universum kann beginnen. **Von Gerhard Hartl**



Das weltweit erste Projektionsplanetarium im Deutschen Museum; kolorierte Planskizze, signiert, Stierhof 1926.



Zeiss Planetariumsprojektor Modell I von 1925. Aufnahme anlässlich der Wiedereröffnung 1956.

Das Projektionsplanetarium hat in den vergangenen 80 Jahren ganz wesentlich dazu beigetragen, astronomische Grundkenntnisse in der naturwissenschaftlichen Bildung zu verankern. Generationen von Schülern und Jugendlichen lernten in Planetarien das Aussehen des Fixsternhimmels, seine Aufteilung in Sternbilder, die Koordinatensysteme des Himmels, aber auch die dynamischen Vorgänge am Himmel wie den Wechsel von Tag und Nacht, Auf- und Untergang der Gestirne, die jahreszeitlich bedingte Veränderung des Sternenhimmels und die komplizierte Bewegung der Planeten vor dem Hintergrund der Fixsterne. In fast jeder Großstadt der Erde gibt es heute diese Bildungseinrichtungen, deren Erfolgsgeschichte 1925 begann.

**DER ANFANG.** Mit einiger Berechtigung lässt sich behaupten, dass das Herzstück aller Planetarien, der Planetariumsprojektor, ein Kind des Deutschen Museums und Oskar von Miller sein geistiger Vater ist: Der erste Planetariumsprojektor wurde vom Deutschen Museum 1913 in Auftrag gegeben und von der Firma Zeiss in Jena bis 1925 entwickelt und gebaut. Schon im ersten Ausstellungskonzept für den neu zu eröffnenden Sammlungsbau des Museums spielte die Vorstellung von einer neuartigen Einrichtung zur populären Vermittlung astronomischer Inhalte eine zentrale Rolle.

Von Miller spricht darüber im Verwaltungsbericht für 1911/12: »Ein Bildungsmittel, wie es bisher wohl noch in keinem Museum gezeigt wurde, dürfte dabei ein Planetarium nach dem ptolemäischen System sein, das im mittleren Aufbau des Museums untergebracht werden soll. Dieses Pla-

netarium besteht aus einer Riesenkugel von 8 m Durchmesser, in deren Mittelpunkt die Besucher sich befinden. In der inneren Kugelfläche sind die Fixsterne mit der Sonne, der Mond und die Planeten angebracht, und wenn diese Kugel sich dreht, so steigen über dem Horizont des Beschauers Sonne, Mond und Sterne gerade so hervor, wie wenn der Besucher auf der Kuppel des Museums stehend die Vorgänge am Himmelszelt in beliebig beschleunigtem Tempo beobachten könnte.«

Miller spricht hier noch von einer schwerfälligen Konstruktion mit einer begehbaren Blechkugel und von außen beleuchteten Sternenlöchern. Die ungleich elegantere Idee der Projektion von unzähligen Lichtpunkten in einem abgedunkelten, halbkugelförmigen Kuppelraum entstand im Februar 1914, technisch realisiert wurde sie erst im März 1919. Die astronomischen Themen der Zeit, die es zu vermitteln galt, orientierten sich an der Positionsastronomie und dementsprechend wurden die Darstellungsmöglichkeiten der ersten Gerätegeneration konzipiert. Das Planetarium half bei der Erklärung der Dinge, die man am Himmel sehen konnte.

**DIE GERÄTETECHNIK.** In den vergangenen 80 Jahren wurden die Planetariumsprojektoren technisch weiterentwickelt, um neuen Herausforderungen gerecht werden zu können. Hatte das Zeiss-Modell I nur eine Fixsternkugel zur Darstellung des Himmels auf der fest eingestellten geographischen Breite Münchens, so kam bereits 1926 beim Zeiss Modell II eine zweite Fixsternkugel hinzu. Die Geräte hatten nun die, bis Ende der 1980er Jahre übliche, typische Handtelform. Sie waren um eine Horizontalachse schwenkbar, so dass sich der Sternenhimmel jeder beliebigen geographischen Breite darstellen ließ. Die nächste wesentliche Neuerung erfolgte

durch die Computersteuerung sämtlicher Bedienfunktionen in den 1980er Jahren. Damit war es möglich, wesentlich komplexere Darstellungen zu zeigen als dies per Handsteuerung möglich war und die Inhalte präziser und in schnellerer Abfolge ablaufen zu lassen. Heute haben wir die jüngste Generation der Zeiss-Planetariumsprojektoren vor uns: Einen einzigen Starball ohne Planetengerüst, der alle Sternprojektoren trägt und für die Besucher weit weniger Sichtbeeinträchtigung auf die Kuppel mit sich bringt, als die großen Hanteln vergangener Jahrzehnte. Die getrennt aufgestellten Planetenprojektoren erlauben es, den Himmel so zu zeigen, wie er von jedem beliebigen Ort im Sonnensystem aus aussieht. Die neuen Fixsternprojektoren werden durch viele einzelne Lichtleiter gezielt an den Löchern der Fixsternmasken mit Licht gespeist. Damit lässt sich mehr Licht auf einen noch kleineren Durchmesser konzentrieren, wodurch der Himmel noch brillanter erscheint und die Sterne nun im wahrsten Sinn des Wortes funkeln.

**DIE VERMITTLUNGSPHILOSOPHIE.** Aber auch die Art der Präsentation im Planetarium hat sich geändert. Während man bis in die 1970er Jahre von Planetariumsvorträgen sprach, bietet man dem Besucher heute Planetariumsshows an. In diesen wird der Besucher nicht mehr mit trockenen Astronomievorträgen »geplagt«. Die Wissensvermittlung geschieht heute möglichst attraktiv mit eindrucksvollen Bildern, Filmen, Ganzkuppeldarstellungen und rechnergenerierten Simulationen, untermalt mit Ton aus aufwändigen Akustikanlagen. Nicht mehr »Erklären« ist heute die Hauptzielsetzung eines Planetariums, sondern »Erleben«.

Das astronomische Wissen hat in den vergangenen 80 Jahren eine dramatische Entwicklung genommen. Man fand die »Flucht der Galaxien«, interpretierte sie als Expansion des Raumes, schloss daraus, dass das Universum in einem Art Urknall entstanden sein muss, entdeckte die Spiralstruktur der Milchstraße und fand den Standort der Sonne in diesem riesigen Feuerrad, begann mit neuen Techniken auch in anderen, nicht sichtbaren Wellenlängenbereichen astronomische Beobachtungen, erschloss dadurch Vorgänge von den niedrigsten bis zu den höchsten Energien, fand fremdartige kosmische Objekte wie Neutronensterne, Quasare und Pulsare und schließlich sogar die geheimnisvollsten Gebilde des Universums, die Schwarzen Löcher. Riesige Teleskope erlauben heute den Blick in Sternentstehungsgebiete, wo gerade neue Sterne anfangen, ihr atomares Feuer zu zünden, zeigen beim Blick in die unendlichen Tiefen des Universums eine vielfältige Welt der Galaxien. Satelliten schließlich fliegen mit atemberaubender Präzision zu anderen Planeten, Monden oder Asteroiden und Kometenkernen und offenbaren fantastische Detailansichten dieser Himmelskörper unseres Sonnensystems.

Diese Themen erfordern ganz andere Darstellungen. Man muss flächige, ausgedehnte Strukturen wie Galaxien und Nebel in ihrer räumlichen und zeitlichen Veränderung zeigen. Aber auch die Position des modernen Betrachters ist eine andere. Der heutige Planetariumsbesucher bleibt nicht auf der Erde. Er fliegt virtuell durch das Sonnensystem, die Fixsternumgebung der Sonne oder sogar durch unsere Galaxie. Diese Inhalte lassen sich nicht mehr mit herkömmlichen Projektoren visualisieren, die ein festes Muster von Lichtpunkten an die Kuppel projizieren. Man muss heute Beamer oder Laserprojektionen heranziehen, um moderne astrophysikalische oder kosmologische Inhalte visualisieren zu können.

Die Planetariumsentwickler haben mit vollkommen neuer Technik auf diese Anforderungen reagiert. Moderne Planetarien haben heute technisch vieles mit 3D-Kinos gemeinsam. Und trotzdem ist der »alte« Planetariumsprojektor nicht entbehrlich. Bevor man sich nämlich den komplexen Themen der Astrophysik nähern kann, ist immer noch die Interpretation der eigenen Begegnung mit dem natürlichen Sternenhimmel erforderlich. Und dazu ist ein Projektor nötig, der den Besuchern die Faszination jenes Teiles der Natur vermitteln kann, den wir heute wegen der Licht- und Luftverschmutzung unserer zivilisatorischen Umwelt kaum mehr selbst erfahren können. Der Name Planetarium ist heute genau genommen unzutreffend. Er zeugt noch vom ursprünglichen Anliegen Oskar von Millers, die Planetenbewegung am Sternenhimmel zu veranschaulichen. Er steht aber wohl auch weiterhin für die Qualität und Faszination dieser modernen naturwissenschaftlichen Bildungseinrichtungen. ■■



Im Zentralteil des Orionnebels befindet sich ein Sternhaufen mit etwa 1.000 Einzelsternen.



Eine riesige, dunkle Säule aus Gas und Staub erhebt sich inmitten eines Sternentstehungsgebietes, in dem gerade neue Sterne aufleuchten: Der Nebel NGC 2264 im Sternbild Einhorn.

**GERHARD HARTL** leitet das Planetarium des Deutschen Museums.

Chile: Eldorado der Astronomen

## Sternschau in der Wüste ✓

Um den Sternen näher zu sein, müssen die Astronomen in die Wüste gehen. Fern der Zivilisation liegen die größten Sternwarten dieser Welt auf Berggipfeln mitten in der chilenischen Atacama-Wüste.

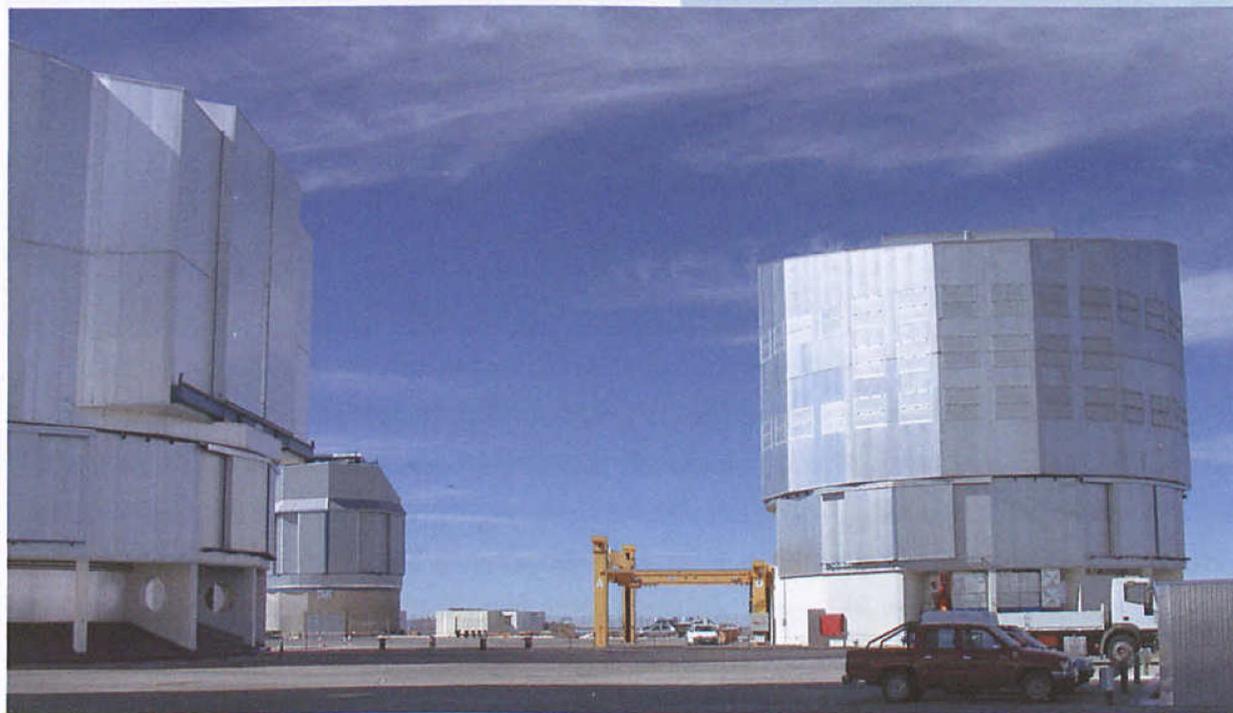
Von Ekehard Schmidt (Text und Fotos)



Das Very Large Telescope (VLT) auf dem Paranal – ein modernes Stonehenge.

Schon vor 40 Jahren entschied sich die »Europäische Organisation für astronomische Forschung in der südlichen Hemisphäre« (European Southern Observatory, ESO) dafür, ihre erste Sternwarte in Chile auf dem Berg La Silla zu errichten. Die Nachfolgesternwarte ging auf dem Berg Paranal in Betrieb. Mit ALMA, einem Radioteleskopprojekt bei San Pedro de Atacama, entsteht nun eine dritte Sternwarte.

**ELDORADO FÜR ASTRONOMEN.** Flott geht es von Antofagasta in Nordchile aus die ersten 50 Kilometer auf der berühmten Panamericana vorwärts. Danach endet die Straße in einer buckligen Piste. Salziges Meerwasser auf den Sandweg gesprüht, ergibt die landestypische



pische Straßenbefestigung für Wüstengebiete. Immerhin: Sie hielt sogar den über 23 Tonnen schweren Transporten der empfindlichen 8,2 m-Teleskopspiegel im Schritttempo stand. Zwei Tage dauerte der Transport eines Spiegels.

Die Sternwarte ist nicht autark, alle Versorgungsgüter werden angeliefert. Wir überholen Tankfahrzeuge, die Wasser bringen oder Diesel für die Aggregate zur Erzeugung der Elektrizität. So zieht sich die Straße wie eine unersetzliche Lebensader durch die Wüste.

Die Sternwartengebäude sind von weitem erkennbar. Im Tal beginnt wie aus dem Nichts eine Asphaltstraße und führt steil den Berg hoch. Im Eingangsbereich steht ein Dummy-Spiegel aus Beton, der gegossen wurde, um die technischen Einrichtungen mit entsprechenden Gewichtsbelastungen zu testen. Hier steht auch eine Aluminisierungsanlage, da die Ver-

Wie Wünschelruten in den Händen der Astronomen recken sich die Teleskope und Gebäude in den Himmel.

spiegelung nur eineinhalb Jahre hält: 13 g Aluminium für einen neuen Spiegelbelag. Das erinnert den Autor an das Jahr 1994, als er bei dem Spiegelhersteller Schott in Mainz auf einem 1:1-Holzmodell des Spiegels stand, während im Hintergrund der echte Spiegelguss abkühlte. Bei gut acht Metern Durchmesser und 53 qm ist locker Platz darauf für Spieler zweier Fußballmannschaften.

Um 30 m kappten die Bauarbeiter den Gipfel des Cerro Paranal und formten ein ovales Plateau. Hier in über 2600 m Höhe herrscht eine schöne Weitsicht, in Richtung Wüste. Der entgegengesetzte Blick, zum Meer, trifft auf eine Wolkendecke: An der Küste fließt der kalte Humboldtstrom und erzeugt eine wolkenreiche Inversionsschicht. Die darüber gelagerte Luft ist arm an Turbulenzen, klar und staubfrei. Bis in diese Schicht ragt der Gipfel des Paranal hinauf. An rund 330 Tagen im Jahr liegt der Paranal über den Wolken und bietet optimale Bedingungen für den Blick ins All.

**EIN GEISTESRIESE ENTSTEHT.** Ein Sternwartengebäude reicht 30 m hoch und steht mit dem Teleskop in keinem mechanischen Zusammenhang, um Erschütterungen zu vermeiden. Seine gewaltigen Dimensionen im Inneren erinnern an Kathedralen. Ständig rauscht die Klimaanlage, statt normaler Kolbenkompressoren sind Turbo-Anlagen im Einsatz, um den Spiegel des Teleskops ständig zu kühlen und auf Nachttemperatur zu halten. Die Luft fließt frei über den Spiegel hinweg. Die Teleskope sind azimuthal montiert, d.h. das Teleskop wird um zwei Achsen gedreht, um es einem Punkt am Himmel nachzuführen. Dadurch entfallen Gegengewichte wie bei Fernrohren mit traditioneller parallaktischer Montierung, und das Sternwartengebäude konnte etwas kleiner sein.

Der Primärspiegel ist nur 17 cm dick und hat einen Durchmesser von 8,2 m. Sein Material verträgt eine gewisse Verformung. 150 computergesteuerte Unterstützungspunkte, so genannte Aktuatoren an der Unterseite, halten ihn immer in einer optimalen Form. Diese »aktive Optik« ermöglicht eine leichte und preiswerte Bauweise im Vergleich zu traditionellen, sehr viel schwereren, aber kleineren Spiegeln.



Der Schlüssel zum ganz großen Erfolg des VLT liegt hier verborgen: Quasi im Keller befindet sich die Interferometrie-Anlage.

Eine Vielzahl von Forschungsprojekten nutzt jeweils nur eines der vier Teleskope. Doch »4 x 8 = 16 & mehr« ist machbar und bezieht sich auf das Zauberwort **Interferometrie**. Dies erklärt, warum 4 mal 8 gleich 16 ist. Auf dem Paranal wird durch das Bündeln der aufgefangenen Lichtstrahlen aller vier Teleskope in einem gemeinsamen Brennpunkt die Leistung eines 16-m-Spiegels, das sogenannte Very Large Telescope (VLT), erreicht. In die Berechnung geht jeder Spiegel mit seinem Radius ein: 4 Teleskope mal 4-m-Radius gleich wie ein 16-m-Spiegel. Ein monolithischer 16-m-Spiegel wäre aufgrund von Gewichtsproblemen technisch problematisch.

Ein zweiter Spiegel am oberen Ende des Teleskops, Sekundärspiegel genannt, besitzt einen Durchmesser von 1,1 m und reflektiert das Licht zu weiteren Spiegeln. Sie sind unterschiedlich einstellbar, wie der Umlenkspiegel, der das Licht entweder rechts oder links aus dem Teleskop heraus zu den Auswertungsinstrumenten im Nasmyth- oder Coudé-Foki leitet. Bevor das Licht in die Auswertinstrumente gelangt, analysiert ein Computer das Sternbild und verformt mit Hilfe kleiner Stoßgeräte im Hundertstelsekundentakt die Oberfläche des adaptiven Spiegels, bis die Luftunruhe ausgeglichen ist. Es entsteht eine ebene Welle und das Sternenlicht kann ungestört verarbeitet werden.

Im Jahr 2002 gelang es erstmals einen Stern mit den vier der – bis zu 130 m voneinander entfernt stehenden – Teleskopen gleichzeitig zu beobachten. Diese sogenannte optische **Interferometrie** verlangt absolute Genauigkeit beim Ausgleichen von Wegdifferenzen der Lichtstrahlen. Denn:

1. Durch die Teleskopabstände legt das Sternlicht in jedem Teleskop einen unterschiedlich langen Lichtweg zurück.
2. Da sich die Erde während der Beobachtungszeit dreht, verändern sich die Lichtlaufwege zusätzlich.
3. Da die Sterne oft genug nicht im Zenit stehen, muss das Licht im äußeren linken Teleskop im Vergleich zum rechten einen längeren Weg zurücklegen.

Damit die Lichtwellen nun zum selben Zeitpunkt ankommen, schickt man die Lichter auf eine optische Verzögerungsstrecke (Warteschleife). Hilfsspiegel gleichen die Wegdifferenzen aus und verlängern oder verkürzen die Lichtwege künstlich. Dazu müssen sie mit Geschwindigkeiten von bis zu 5 mm/s fahren und sich mit einer Genauigkeit von 50 Nanometer bewegen. Diese Anlage besteht aus 25 Hilfsspiegeln von je 20 cm Durchmesser. Sie sind auf Wagen montiert und unterirdisch auf 120 Meter langen Schienen fahrbar angebracht.

Was mit vier 8,2-m-Teleskopen schon gelang, soll zukünftig erst recht mit der kompletten Interferometer-Anlage gelingen, die zur Zeit im Ausbau ist. Aus dem derzeit 16-m-Spiegel wird dann ein 200-m-Spiegel, wenn die vier kleinen 1,8-m-Spiegel in Betrieb gegangen sein werden. Sie fahren auf Schienen mit 65 m Basislänge. Im Frühjahr 2004 wurde das erste Teleskop auf den Paranal transportiert.

**KOPERNIKANISCHE SPRÜNGE.** Was gibt es von Chile aus so Interessantes zu sehen, dass die Sternwarte mit hohem finanziellen Aufwand auf der Südhalbkugel gebaut wurde? Vor rund 50 Jahren standen nahezu alle großen Sternwarten in der nördlichen Hemisphäre, die andere Hälfte des Himmels war wenig erforscht. Das Zentrum unserer Milchstraße, die Galaxie, in der wir leben, ist nur von der Südhalbkugel aus beobachtbar. Da sich das astronomische Interesse mehr und mehr auf die Erforschung von Galaxien konzentrierte, mussten die südlichen Himmelsobjekte mit in die Forschung einbezogen werden. Diese Entscheidung der Europäer bewährte sich. Heutzutage können sie beispielsweise Schwarze Löcher in Galaxien und Quasaren von Chile aus erforschen, mit Instrumenten, die bei europäischen Standorten nie hätten leistungsgerecht eingesetzt werden können.

Neue extrasolare Planeten zu entdecken ist zu einem eigenen Forschungszweig geworden. Ihr Nachweis gelang bis jetzt nur indirekt, in Planung sind Vorhaben zur direkten Beobachtung.

Ein anderer Forschungszweig beschäftigt sich mit der Sternentstehung. Sterne entstehen im Inneren von Gas- und Staubnebeln, die aufgrund ihrer Dichte mit den klassischen Teleskopen nicht durchdrungen werden können. In den kalten Gas- und Staubwolken entstehen zunächst heiße Riesensterne, die nach relativ kurzer Zeit unter dem Druck der eigenen Schwerkraft kollabieren. Vorher aber heizen sie die Gas- und Staubwolke auf, die dadurch auseinander getrieben wird. In den Wolkenwirbeln entstehen im Lauf von Jahrtausenden neue, masseärmere Sterne mit höherer Lebenserwartung. Astronomen sind daher auf längerwellige Infrarot-Bereiche angewiesen, um entsprechende Wärmewellen zu registrieren. Voraussetzung dazu ist eine trockene Luft, wie sie in der Atacama herrscht.

**INTERESSANTES HIMMELSOBJEKT.** Viele der zusätzlichen Messinstrumente arbeiten in diesem Wellenlängenbereich wie beispielsweise CONICA (Coudé-Nah-Infrarot-Kamera), eine 500 kg schwere Kamera. Ihr empfindlicher Detektor besitzt eine adaptive Optik sowie die verwandte hochauflösende Speckle-Interferometrie. Die CONICA ist ein Gemeinschaftsprojekt des Max-Planck-Instituts für Extraterrestrische Physik (Garching), der ESO sowie des Max-Planck-Instituts für Astronomie (Heidelberg). Erstes Zielobjekt der Kamera war am 29.11.2001 der offene Sternhaufen NGC 3603, in dem zahllose neu entstandene Sterne beobachtet wurden. CONICA ist jetzt die weltweit leistungsfähigste Infrarotkamera und übertrifft selbst das Hubble-Space-Teleskop (HST). Als interessantes Himmelsobjekt am südlichen Sternenhimmel gilt derzeit der Stern Eta Carinae. Ein Riesenstern, der Kandidat für eine Supernova ist. Er würde so hell wie die Venus aufleuchten. Seine Leuchtkraft ist schon jetzt fünf Millionen Mal stärker als die unserer Sonne.

**KEINE ZEIT FÜR IDYLLE.** Wie empfindet der Astronom die neue Sternwarte, fragte ich den Astronomen Ralf Napiwotzki, der als Beobachter häufiger auf dem Paranal ist. Seine Antwort kommt nachdenklich überlegend, dass die neue Sternwarte selbstverständlich alles bietet, was dazu gehört, wie Hotelanlage, gute Arbeitsmöglichkeiten, beste technische Ausstattung.

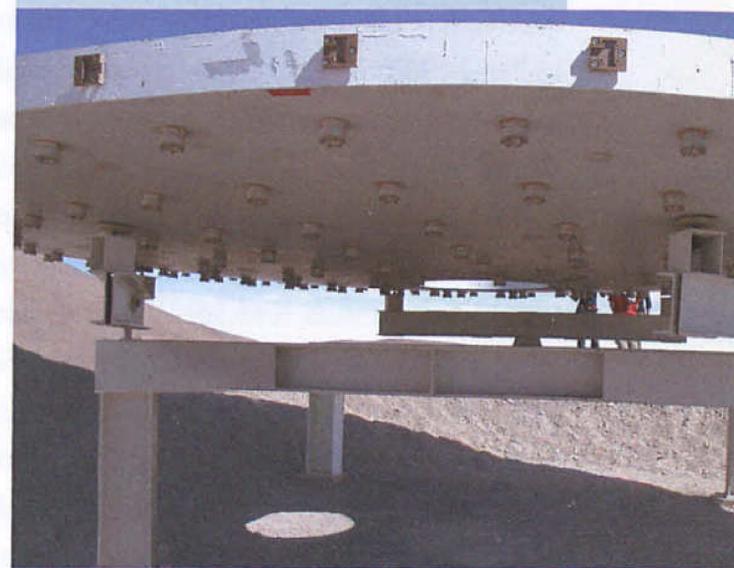
Ein Vorteil des Projektes ist, so erklärt Ralf Napiwotzki, dass er seine zu untersuchenden Himmelsobjekte auch während nur mäßiger Beobachtungsbedingungen wie Mondschein oder schlechter Sicht durchführen kann.

**LA SILLA – WO PARANAL ERFUNDEN WURDE.** Paranal »steht auf den Schultern von Riesen«, d.h. an der Spitze einer Entwicklungslinie anderer berühmter historischer Sternwarten und selbstverständlich seines Vorgängers La Silla, rund 500 km südlich gelegen. Der Berg La Silla, übersetzt der Sattel, trägt viele verschieden große Sternwartenkuppeln und lässt von weitem die Bergspitze wie mit silbrigen Pilzen überzogen aussehen. Individualität scheint hier Triumphe zu feiern.

Durch den Zusammenbruch der Forschung während des Zweiten Weltkrieges suchten Astronomen seit 1945 neue Anfänge. Vorbildfunktion hatte CERN in Genf, eine neuartige Großforschungseinrichtung getragen von vielen Ländern. 1953 bildete sich ein internationales Komitee



Zum Vergleich: Das hundertjährige Ein-Meter-Spiegelteleskop der Manuel-Foster-Sternwarte in Santiago geleitet von Nikolaus Vogt.



Riesige Ausmaße haben die Primärspiegel und sind dennoch beweglich und ansteuerbar.

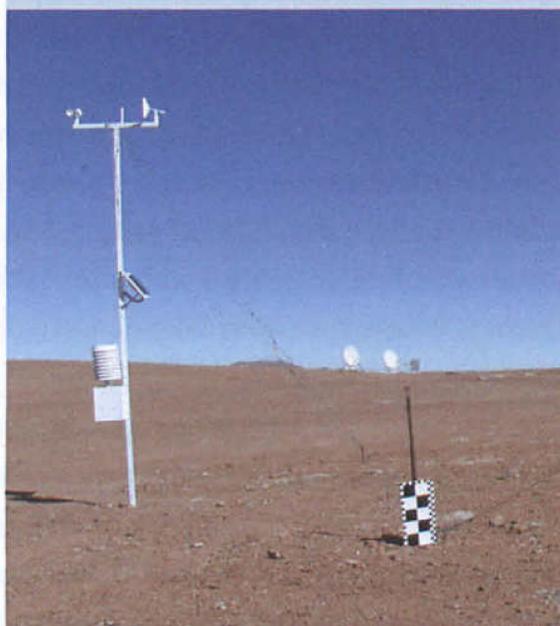


und letztendlich unterzeichneten fünf Staaten in Paris, 1962, die ESO-Konvention. Starthilfe gab die »Ford-Foundation« mit einer Million Dollar.

Die Suche nach einem geeigneten Standort für eine europäische Großsternwarte ist eine Geschichte für sich und zog sich über viele Jahre hin. Otto Heckmann schreibt in seinen persönlichen Erinnerungen, dass er letztlich auch nach Chile an die nordamerikanische Sternwarte Cerro Tololo (CTIO – Cerro Tololo Interamerican Observatory) kam, wo man der ESO einen Berggipfel neben ihrem Observatorium anbot. Doch die Entscheidung fiel damals für La Silla, rund 100 km Luftlinie nördlich von Tololo, 500 m Luftlinie von Paranal entfernt.

1970 begannen die Vorbereitungen für das große 3,6-m-Spiegelteleskop. Nach nur sechs Jahren gelang erfolgreich das »First Light«. Entstanden war ein Teleskop mit klassischer Hufeisenmontierung. Insgesamt wiegt es 250 Tonnen, von denen 200 zur beweglichen Masse gehören. Seine Höhe beträgt rund 20 m, das Teleskopgebäude ist 43 m hoch und 30

**Extremen Klimabedingungen sind sowohl Radioteleskope als auch die Forscher ausgesetzt.**



**Langjährige Messreihen liefern Parameter für die Inbetriebnahme und Kalibrierung der Instrumente.**

m im Durchmesser. Es arbeitet im infraroten Lichtbereich. Dank optischer Fasern können 28 Sterne zur gleichen Zeit beobachtet werden – wovon eine Zeitersparnis. Dieses Teleskop steht wie aufgebockt auf einem »Podest« von 20 m Höhe, dessen Zwischenraum von den Astronomen mit dem Spitznamen Kirche belegt wurde.

Im Angesicht des fertigen Teleskops kommentierte 1976 der Wissenschaftsjournalist Reiner Korbmann: »Mit der Fertigstellung der europäischen Südsternwarte scheint sich die Zeit der großen optischen Observatorien auf der Erde dem Ende zuzuneigen, sowohl in der nördlichen als auch in der südlichen Hemisphäre. Den erdgebundenen Sternwarten haftet das Manko an, dass sie die störende Luft-hülle unseres Planeten durchdringen müssen.

Die USA planen bereits ein großes Teleskop in der Erdumlaufbahn, das mit dem Raumtransporter »Space Shuttle« gestartet werden soll. Zur gleichen Zeit, als auf La Silla die letzten Schrauben des europäischen 3,6-m-Teleskops der ESO festgedreht wurden, fällte der wissenschaftliche Rat der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA in Paris die Entscheidung, dass Europa sich an diesem Projekt der USA beteiligen will. Der Beobachtung des Weltraums aus dem Weltraum gehört die Zukunft der Astronomie.«

Hier irrte sich der Kommentator. Neue Technologien ermöglichten eine neue Generation von erdgebundenen Teleskopen der 8 bis 10-m-Klasse, die das Space Telescope übertreffen. Der Spiegel erlebt eine Renaissance. Vor rund 30 Jahren waren diese Fortschritte nicht voraussehbar. Zum »Versuchskaninchen« wurde das NTT, das 3,5-m-New-Technology-Telescope. Ursprünglich sollte auch das VLT auf La Silla aufgestellt werden. Doch dann entschied sich die ESO für den besseren Standort auf dem Cerro Paranal.

**OHNE HÖHENANGST.** In 5000 m Höhe liegt das Gebiet des Altiplano. Überragt von Vulkanbergen, zu deren Füßen die Salzlagunen liegen, die nachts zufrieren und tagsüber wieder auftauen. Einzigartig ist der riesige See von Ujuni, dessen mächtige Salzschiicht sogar noch Lastkraftwagen und Touristenbusse trägt, die weiterfahren, an der berühmten grü-

nen Lagune vorbei, die bolivianische Grenze passieren und das chilenische San Pedro de Atacama erreichen. Dort ist der Ausgangspunkt für den Besuch der dritten ESO-Sternwarte: ALMA, am 5600 m hohen Berg Chajnantor. Der Besucher ist unmittelbar eingebunden in diese großartige Landschaft und kann sich ihr nicht entziehen.

#### **SAUERSTOFF GEGEN HÖHENKRANKHEIT.**

Im Konvoi fahren wir ab. Uns leitet der Bauingenieur Giuseppe Medves von der ESO, der an diesem Tag seine Apparate auf dem Baugelände von ALMA überprüfen will. Für jeden ist eine Sauerstoffflasche dabei. Falls die Höhenkrankheit auftritt, hilft ein mitfahrender Sanitäter, der von der ESO jedem Besucherkonvoi vorgeschrieben ist. Dass die Luft in dieser Höhe noch dünner ist als auf dem höchsten europäischen Gipfel Mont Blanc, 4807 m, merken wir beim Gang über die Baustelle von ALMA (Atacama Large Millimeter Array), dem Radioobservatorium in spe.

In der Höhe ist die Luftschicht noch trocken und die Radio-Submillimeterwellen werden besser durchgelassen als in der Tiefebene, wo der viele Wasserdampf in der Atmosphäre die Wellen absorbiert. Erfahrungen sammelten die Radioastronomen in La Silla, wo das SEST (Swedish-ESO-Submillimetre-Telescope) genannte Submillimeter-Radioteleskop mit 15 m Durchmesser steht.

ALMA besteht aus einem ganzen Feld von insgesamt 64 Spiegeln mit je 12 m Durchmesser. Jeder Spiegel für sich kann individuell verstellt und an einen anderen Standpunkt transportiert werden. Zu diesem Zweck hebt ein Kran das Teleskop an und setzt es am gewünschten Standort in vorbereitete Bodenhalterungen ein. Der Durchmesser des Feldes kann zwischen 150 m und 16 km variieren. Das ist ein weiterer Vorzug dieses Geländes, dass in 5000 m Höhe wirklich so viel ebene Fläche vorhanden ist. Durch Interferometrie sind die Teleskope zusammengeschaltet, je weiter sie auseinander stehen umso höher ist die Auflösung.

Zur Zeit unseres Besuches im September 2003 ragen auf dem Gelände kleine Markierungsstangen mit beschrifteten Fahnen heraus, die die möglichen Standpunkte der Tele-



Dieser Typ Radioteleskop von ALMA ist vollbeweglich und transportierbar.

**DR. ECKEHARD SCHMIDT** ist promovierter Ingenieur, Diplom-informatiker und heute als Autor tätig. Seit 1990 organisiert er Reisen zu Kultur und Wissenschaft (siehe auch Anzeige im Kaleidoskop).

skope und die Fahrwege markieren. In Containern befinden sich die meteorologischen Messinstrumente, die schon seit Jahren hier oben stehen, um Langzeitaussagen über die Luftverhältnisse zu erhalten. Ein Radioteleskop, von Japan betrieben, sowie ein Prototyp des Radioteleskops (APEX) vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn, stehen hier oben bereits zu Testzwecken. Im Jahr 2011 soll ALMA fertig sein.

Das Kontrollzentrum von ALMA, Operations Support Facility (OSF) entsteht in »nur« 2900 m Höhe, so hoch wie die Bergsternwarte Pic du Midi de Bigorre in den französischen Pyrenäen. Auf unserem Weg zum OSF begründen und planieren Bauarbeiter den Weg. Am Rand der noch steinigen Piste stehen Kakteen mit auffälligen Bändchen markiert. Es handelt sich um *Echiaopsi Atacamenus*, eine schützenswerte endemische Art, die nicht zerstört werden darf. Die ESO engagierte einen Biologen/Archäologen, um die Auflagen der chilenischen Behörden nach schonendem und ökologischem Umgang mit der Natur zu erfüllen. Am Hang gibt es Spuren frühmenschlicher Siedlungen.

Am geplanten OSF angekommen werden gerade erst der Erdboden planiert und die ersten Betonpfosten in den Boden gerammt. Hier sollen einmal die Teleskope montiert und auf direktem Weg in die Hochebene transportiert werden.

Dieses Radioobservatorium soll vor allem helfen, die Entstehung entferntester Galaxien- und Sternentwicklung zu erforschen und damit noch unbekannte Vorgänge in den frühesten kosmischen Zeiten erhellen. Die fernsten Galaxien strahlen aufgrund der Rotverschiebung im Millimeterbereich wärmer, so dass ALMA hier weiter in die Jungzeit des Kosmos zurückblicken kann als optische Teleskope. Aufgrund des großen Auflösungsvermögens hoffen die Radioastronomen, direkt in die Quasare hineinschauen zu können und sogar die Gasbewegung um das Schwarze Loch zu messen. ALMA dient auch dem Studium der Emissionsstrahlung organischer Moleküle im interstellaren Raum sowie der chemischen Entwicklung des Kosmos. ■■■



Oben: Das Titelpuffer der »Harmonia Macrocosmica« zeigt Urania – die Muse der Astronomie – mit einer Armillarsphäre in der Hand, umgeben von berühmten Astronomen. Nicolaus Copernicus, der Schöpfer des heliozentrischen Weltbildes, ist rechts von Uranias Hand dargestellt.

Rechts: Der Sternenhimmel mit den von dem niederländischen Theologen Petrus Plancius eingeführten christlichen Sternbildern.

**DR. HELMUT HILZ** leitet die Bibliothek des Deutschen Museums.

Andreas Cellarius: Ein Meisterwerk unter den Himmelsatlanten

## »Harmonia Macrocosmica«

Die Abbildungen kaum eines anderen astronomischen Werkes sind so bekannt wie die aus Andreas Cellarius' Himmelsatlas, der »Harmonia Macrocosmica«. In den vergangenen Jahrzehnten sind sie für Bücher, Poster oder Puzzles häufig reproduziert worden. Doch nur wenige wissen, dass diese so populären Abbildungen aus einem der farbenprächtigsten astronomischen Werke der Barockzeit stammen. **Von Helmut Hilz**

Die Bibliothek des Deutschen Museums besitzt die zweite, 1708 in Amsterdam gedruckte Ausgabe von Cellarius' Himmelsatlas; die Erstausgabe war bereits 1660 erschienen. Das Werk steht in einer langen, bis in die Antike zurückreichenden Tradition von Sterndarstellungen.

Der Autor, der Astronom und Mathematiker Andreas Cellarius (ca. 1596-1665), stammte aus der Gegend von Worms; seit 1625 lebte und arbeitete er als Lehrer in den Niederlanden. Die Herstellung von Globen und präzisen Karten hatte in den Niederlanden, zu dieser Zeit eine der führenden Handels- und Seefahrernationen, bereits eine lange Tradition. Der bekannte Drucker Johannes Janssonius (1588-1664) druckte 1660 Cellarius' Himmelsatlas als Supplement seines »Atlas Novus«. Der bereits von dem berühmten Kartographen Gerhard Mercator (1512-1594) geplante, umfassende Erd- und Himmelsatlas kam damit zu seinem Abschluss. Cellarius selbst hatte die Arbeit an seinem Himmelsatlas schon vor 1647 begonnen. Während die erste Ausgabe einen umfangreichen Textteil enthält, fehlt dieser in der zweiten Ausgabe. Diese beschränkt sich auf 29 aufwändig kolorierte Kupferstiche. Drucker der zweiten Ausgabe waren der vor allem für seine Globen berühmte Gerard Valk (1652-1726) und Petrus Schenk (1661-1711).

Den Weltbildern von Ptolemäus, Copernicus und Brahe sind in der »Harmonia Macrocosmica« insgesamt 21 Kupferstiche gewidmet. Dem Betrachter wird auf diese Weise die Entwicklung des astronomischen Weltbildes eindrucksvoll vorgestellt. Besonders reizvoll sind die acht Kupferstiche mit den Darstellungen des nördlichen und südlichen Sternhimmels. Sechs davon zeigen die antiken, zwei weitere die von dem niederländischen Theologen Petrus Plancius (1552-

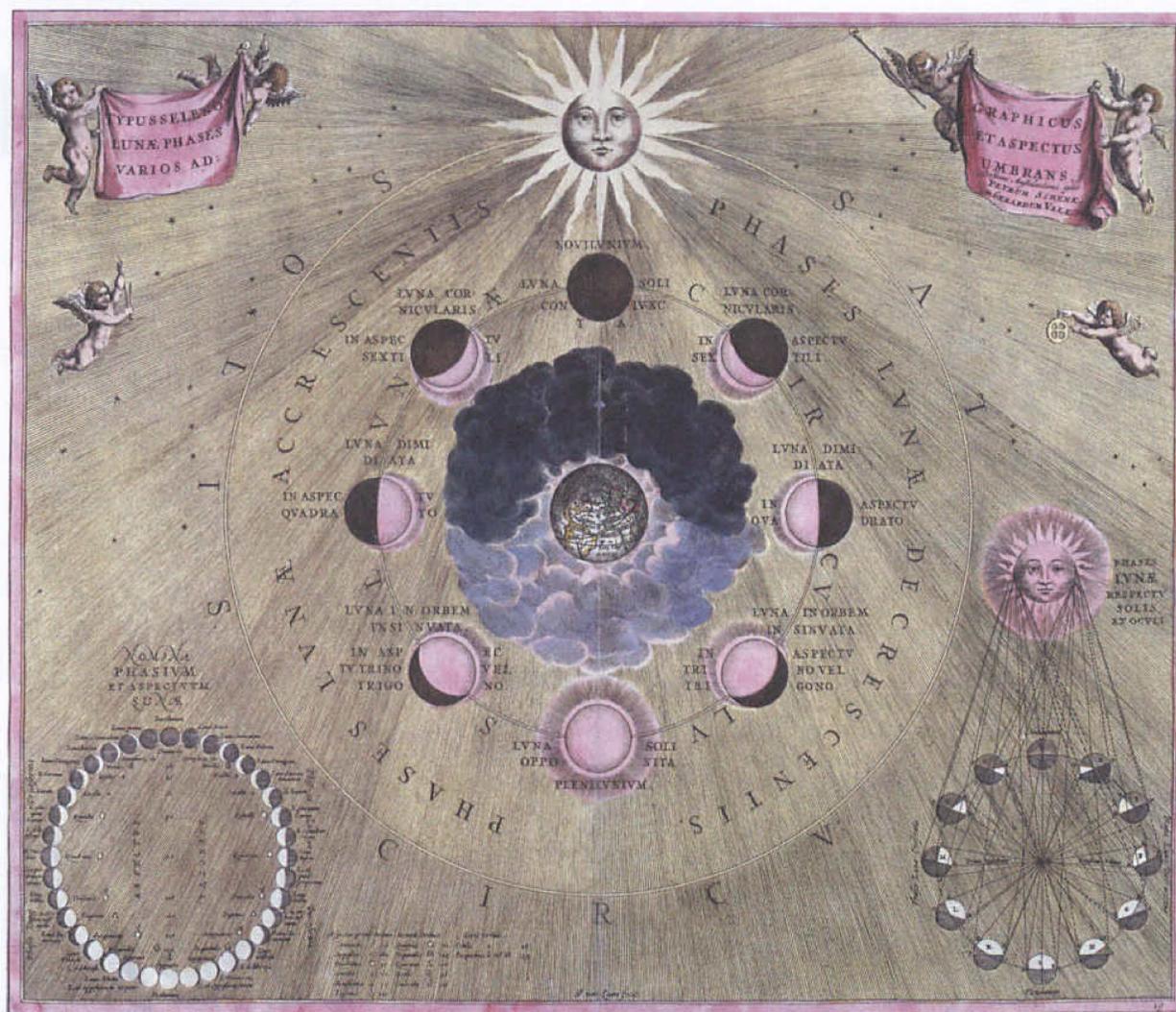


Abbildungen: Deutsches Museum

1622) eingeführten, heute weitgehend in Vergessenheit geratenen christlichen Sternbilder.

Die »Harmonia Macrocosmica« blieb jedoch Andreas Cellarius' einziges astronomisches Werk. Daneben veröffentlichte er 1645 die ebenfalls in der Museumsbibliothek vorhandene »Architectura Militaris«, ein Werk zum Festungsbau, sowie 1652 mit »Regni Poloniae« eine Landeskunde Polens.

Der Mond in seiner Umlaufbahn um die Erde. Cellarius versucht auf diese Weise die verschiedenen Erscheinungsformen des Mondes zu erklären.



## Aktuelle Buchkritik

# Die Geschichte des Linde-Konzerns

Wenn Geschichte die Diskussion der Gegenwart mit der Vergangenheit über die Zukunft ist (dies sagt der schwedische Technikhistoriker Svante Lindqvist), dann kann Unternehmensgeschichte zur Unternehmensberatung werden. Diesen Ansatz verfolgt Hans-Liudger Dienel, Leiter des Zentrums Technik und Gesellschaft der TU Berlin, wenn er die 125-jährige Firmengeschichte der Linde AG als die Entwicklung vom Ingenieurbüro zum Technologiekonzern im Kontext von Wirtschaft, Politik und Gesellschaft beschreibt.

Mit der 1879 von Carl Linde (1841-1934) in Wiesbaden gegründeten »Gesellschaft für Linde's Eismaschinen« wurden zunächst neuartige Kältemaschinen vermarktet. Lindes erste Kunden waren Bierbrauer, die froh waren, ihre Gär- und Lagerkeller nicht mehr mit Natur-Eis kühlen zu müssen. Als zweites Arbeitsgebiet erschloss sich das Unterneh-

men die Gasverflüssigung und -zerlegung (vgl. K&T Heft 3/2003, S. 44-47). Dieses Geschäftsfeld überflügelte vom Umsatz her bereits in den 1920er Jahren die Kältetechnik. Dienel beschreibt umfassend den »vorsichtig taktierenden Umgang« der Unternehmensleitung mit den politischen und wirtschaftlichen Herausforderungen in der Zeit des Nationalsozialismus. Die Zeit des Wiederaufbaus nach 1945 war gekennzeichnet durch Diversifizierung der Geschäftsfelder. Doch auch das Gebiet tiefer Temperaturen wurde weiter gepflegt: Nicht nur die Einlagerung europäischer »Butterberge« in den 1970er Jahren brachte Aufträge, sondern auch ein frühzeitiges Engagement der Linde AG in zukunftssträchtigen Feldern wie der Kernenergie, Wasserstoff-Technologie oder Helium-Kühlung für Supraleiter.

Wenn auch die diversen internen Unternehmensreorganisationen in Dienels Buch

streckenweise sehr ausführlich dargelegt werden, eröffnet diese Unternehmensgeschichte spannende Einblicke in die gesellschaftlichen und politischen Randbedingungen, in die Wechselbeziehungen von Wissenschaft, Technik und Wirtschaft. Die für Linde typische Nähe zu Wissenschaft und Forschung wird anhand zahlreicher Anwendungen anschaulich erläutert. Aber ausgerechnet die beiden Schlüsseltechnologien der Frühzeit des Unternehmens (Kältemaschinen und Luftverflüssigung) werden nur sehr knapp dargestellt. Hier wird der interessierte Leser auf die im Anhang genannte Literatur verwiesen.

**MARC-DENIS WEITZE**

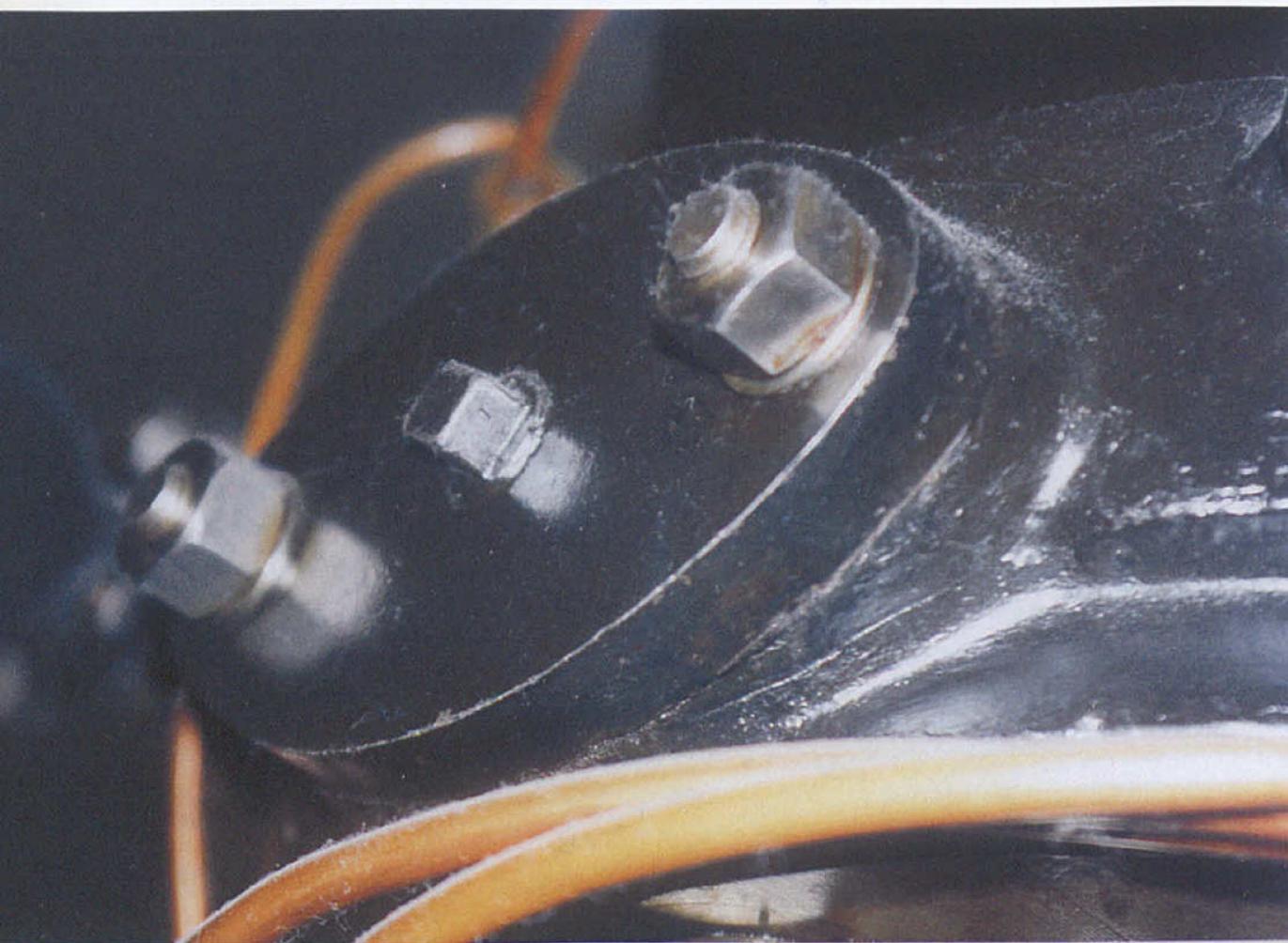
### Hans-Liudger Dienel:

Die Linde AG. Geschichte eines Technologiekonzerns 1879-2004, Verlag C.H.Beck, München, 2004, 512 S. mit 28 Abb. im Text und 24 teils farbigen Abb. auf 16 Tafeln Leinen, EUR 34,90, ISBN 3-406-51484-7

# Das Geheimnis der Zwillingsmotoren

Rudolf Diesel entwickelte im Auftrag des Unternehmens Krupp und der Maschinenfabrik Augsburg den ersten serienreifen Dieselmotor. Ein Exemplar steht im Deutschen Museum.

Von Horst W. Köhler



ten Motor, und nur einer der beiden ist erhalten. Waren die beiden »Zwillingsmotoren« wirklich bis ins letzte Detail baugleich?

Die Geschichte der beiden im Werk Augsburg gebauten Einzylinder-Motoren 25/40, die intern durch die Buchstaben A und B voneinander unterschieden wurden, ist eng verbunden mit der Maschinenfabrik Augsburg (MA) sowie mit dem Essener Unternehmen Friedrich Krupp. Nach dem für Rudolf Diesel äußerst wichtigen Vertrag mit der MA vom 21. Februar 1893, in dem sich MA verpflichtete, innerhalb von sechs Monaten einen Versuchsmotor zu bauen und ihn dann anschließend zu erproben, trat Diesel in einem weiteren Vertrag vom 10. April 1893 mit Krupp sämtliche übrigen Rechte an Krupp ab. Krupp seinerseits verpflichtete sich, wenn auch ohne konkrete Zeitvorgabe, ebenfalls einen Versuchsmotor zu bauen. Als weitere Gegenleistung erhielt Rudolf Diesel von Krupp ein jährliches Honorar von 30.000 Mark und damit war es für Diesel, der bis dahin in der Eisfabrik seines früheren Hochschulprofessors Carl von Linde tätig war, möglich, sich selbstständig zu machen.

**KRUPP UND MA** einigten sich noch im gleichen Monat, die Verwertung des Diesel'schen Hauptpatentes (DRP 67 207) gemeinschaftlich zu betreiben, also auch die Versuchsarbeiten in einem »gemeinsamen Laboratorium auf gemeinsame Kosten« durchzuführen.

Es entstanden zunächst die beiden Einzylinder-Versuchsmotoren 15/40 (betrieben von Juli 1893 bis November 1894, wobei mehrere Umbauten stattfanden) und 22/40 (betrieben zwischen April 1895 und August 1896, unter anderem mit einem 111-Stunden-Langzeitlauf im November 1895). Der Testmotor 22/40 ist noch heute als Original im MAN-Museum in Augsburg als der weltweit älteste noch existierende Dieselmotor zu sehen. Seine wesentlichen Bestandteile wie

**A**m 17. Februar 1897, einem ungewöhnlich milden Mittwoch mitten in der Augsburger Faschingsaison, wurde in der Maschinenfabrik Augsburg – heute MAN B&W Diesel – vor den Augen des Erfinders Rudolf Diesel zum ersten Mal ein Dieselmotor geprüft und abgenommen. Offiziell soll sich dieser historische Originalmotor im Deutschen Museum in München befinden, wie es auch schon Rudolf Diesel in seinem Buch »Die Entstehung des Dieselmotors« behauptete. Aber stimmt dies auch wirklich? Denn es gab ja noch einen identischen zwei-

Detailaufnahme des Flansches am unteren Zylindermantel: er verdeckt die ursprüngliche Spülluft-Austrittsöffnung des Motors A, die beim Motor B nicht mehr benötigt wurde.

**25/40:** Die Zahlen stehen für die Bohrung: 25 Zentimeter und den Kolbenhub: 40 Zentimeter.

Grundgestell und Platte sowie Kurbelwelle und Gestänge stammen noch vom ersten Versuchsmotor aus dem Jahre 1893.

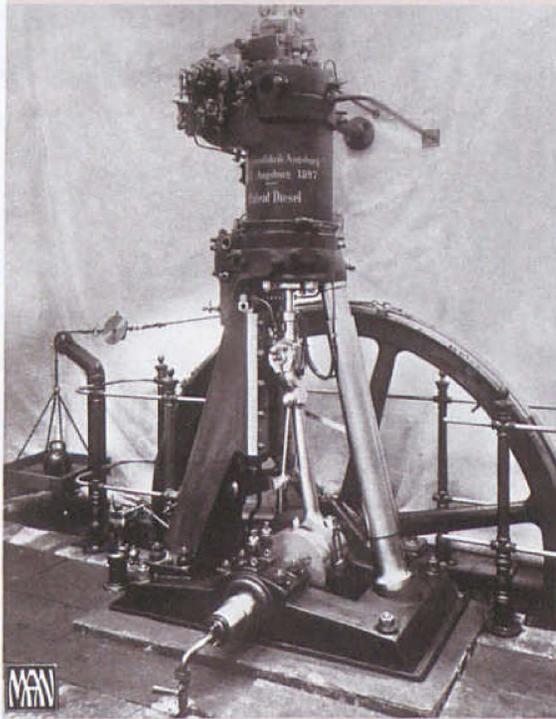
Neue Motoren 25/40 und erster »Auflade«-Versuch: In einem gemeinsamen Strategiegespräch am 20. Februar 1896 einigten sich die Unternehmen MA und Krupp mit Rudolf Diesel über den Bau eines neuen Motors 25/40 mit einer Leistung von etwas 20 PS. Die Zeichnungen dafür machte der eigens dafür eingestellte junge Techniker Immanuel Lauster (1873–1948) unter Aufsicht von Rudolf Diesel. Lauster, Sohn eines schwäbischen Schusters, machte später eine beachtliche Karriere und wurde 1932 Vorstandsvorsitzender der MAN.

Als Lauster im März 1896 mit den Konstruktionszeichnungen des Motors 25/40 schon fast fertig war, erinnerte sich Diesel an eine Prinzipskizze des Krupp-Oberingenieurs Ebbs aus dem Gruson-Werk Buckau/Magdeburg, die dieser während eines gemeinsamen Arbeitssessens auf ein Notizblatt gezeichnet hatte: sie zeigte die Möglichkeit der Aufladung der Verbrennungsluft durch die Kolbenunterseite eines Zweitakt-Motors.

Nachträglich wurde beschlossen, diese Technik erstmals beim 25/40-Viertaktmotor zu realisieren. Deswegen musste natürlich umkonstruiert werden und die Fertigstellung der Zeichnungen, auf die Krupp ohnehin schon dringend wartete, verzögerte sich um gut sechs weitere Wochen. Erst Ende April 1896 gingen sie zur Herstellung der Motor-komponenten in die Augsburger Fabrik. Man kam überein, gleichzeitig zwei völlig gleiche Motoren A und B, jeweils mit einer so genannten Ladepumpe, zu fertigen.

Wegen größerer Guss-Probleme beim Bau der Teile für den Motor A und einigen Betriebsproblemen zu Beginn der Erprobung wurden dann aber doch beide Motoren zeitversetzt gebaut: Im Februar 1897 konnten endlich die vertragsgemäß zugesagten Zeichnungen an Krupp abgeliefert werden. Motor A war im Oktober 1896 fertig montiert und startbereit, während Motor B erst Mitte des darauffolgenden Jahres verfügbar war.

Doch der erste Testlauf von Motor A am 12. Januar 1897 auf dem Augsburger Prüfstand war für Rudolf Diesel eine herbe Ent-



Nur wenig retuschiertes Foto des Motors 25/40 A auf dem »Probierstand« der Maschinenfabrik Augsburg. Auf dem Schwungrad liegt eine Bremse zur Leistungsermittlung auf. Der Ladeluft-Zwischenbehälter zwischen Zylinderkopf und Austritt aus der Zylinderbuchse ist hier bereits entfernt, die untere nicht mehr benötigte Öffnung durch einen Flansch verschlossen. Der Austritt der Abgase erfolgt in Richtung Schwungrad.

#### Literatur

Köhler, Horst W., Startschuss für den Siegeszug des Dieselmotors, Diesel intern, MAN B&W Diesel Augsburg, Winter 1996/97

Köhler, Horst W., Centenary of the first diesel engine acceptance test, Shipping World & Shipbuilder, Vol. 198, No. 4131, März 1997

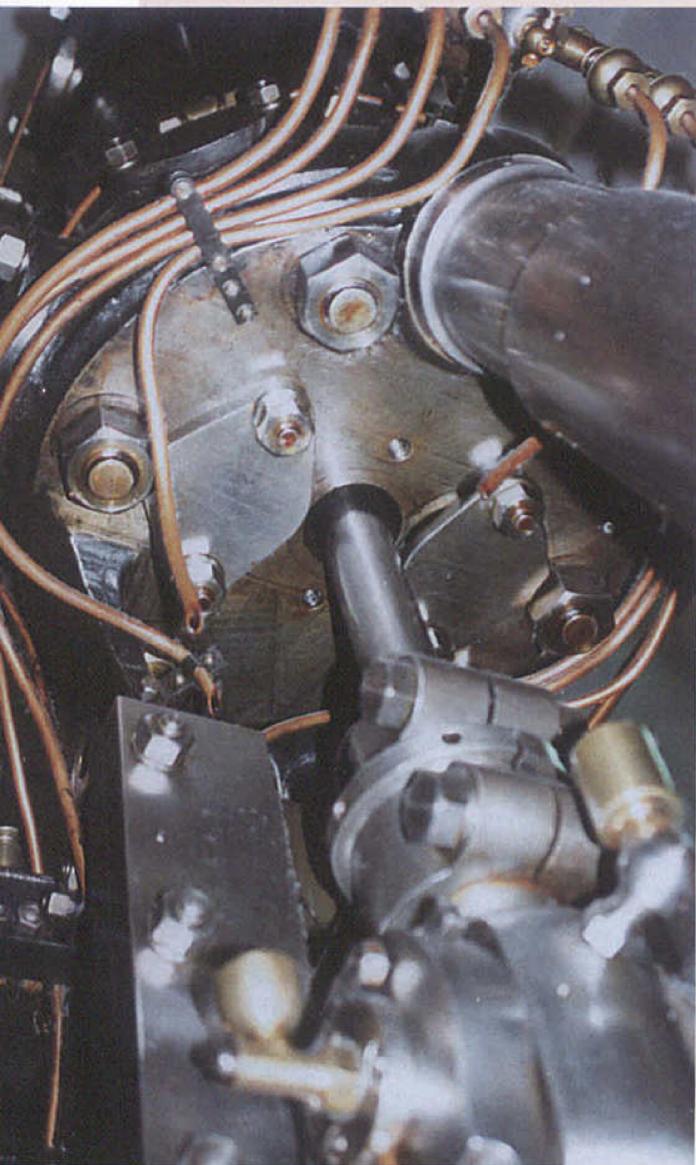
Diesel, Rudolf, Die Entstehung des Dieselmotors. Springer-Verlag 1913, unveränderter Nachdruck durch den Steiger-Verlag, 1984

täuschung. Das Ladepumpensystem, von dem er sich so viel erhofft hatte und das in der Tat erst sehr viel später, nach über dreieinhalb Jahrzehnten, zum Stand der Technik werden sollte, brachte nicht die erhoffte Steigerung des Wirkungsgrades und damit eine Senkung des Kraftstoffverbrauches. Der Gesamtwirkungsgrad betrug bei Volllast nur 15,7 Prozent, entsprechend hoch war mit 538,6 g/kWh (396 g/PS<sub>h</sub>) der Kraftstoffverbrauch.

Als der Motor knapp zwei Wochen später bei einem Vergleichstest mit ausgeschalteter Ladepumpe, also ohne Vorverdichtung, im gleichen Lastpunkt erneut betrieben wurde, konnte ein um mehr als fünfzig Prozent besserer Wirkungsgrad erreicht werden. Augenblicklich zog Diesel die Konsequenzen und verwendete das Ladepumpen-Konzept nie mehr wieder, und zwar auch nicht beim Motor B.

Vielleicht hätte der Erfinder ja anders entschieden, wenn sein Hauptaugenmerk nicht nur auf der Erhöhung des Wirkungsgrades gelegen und er die durchaus beträchtliche Anhebung der Leistung bemerkt hätte. Tatsächlich hatte zwar der Motor A mit seiner als Spülluftpumpe arbeitenden Kolbenunterseite wegen der unglücklichen Dimensionierung des Aufladesystems einen schlechteren Wirkungsgrad – sowohl der schädliche Raum der Ladepumpe selbst als auch die Ventilquerschnitte und der Zwischenbehälter waren zu klein, sodass die Pumpenleistung unnötig groß wurde –, doch die effektive Leistung stieg um mindestens 35 Prozent an. Diesel aber, dem es einzig um die Steigerung des Wirkungsgrades ging, zog aus seinen Versuchsergebnissen den Schluss, dass die »Vorkompression ungemein schädlich« sei.

Nach dem offiziellen Probelauf und der Abnahme von Motor A am 17. Februar 1897 und der anschließenden Vorführung vor den verschiedensten Interessenten setzte rasch die gezielte Vermarktung des Dieselmotors ein. Die ersten ausgelieferten Serienmotoren erhielten andere Bohrungen und Hübe als die beiden Prototypmotoren 25/40 A und B, für die man bis heute etwas ungewöhnliche Begriffe wie »betriebsfähiger«, »gangbarer«, »marktfähiger«, »betriebsreifer« oder »betriebssicherer« Motor verwendete.



Blick von unten auf die mit einem Deckel verschlossene Zylinderbuchse mit Durchführung der Kolbenstange. Die beiden ovalen Flansche verschließen die beim Motor 25/40 B nicht verwendeten Öffnungen für die Ventile.

### Danksagung

Der Autor dankt dem Deutschen Museum München für dessen Mitwirkung bei der endgültigen Klärung der aufgeworfenen Frage und für die Überlassung der eigens dafür angefertigten Fotos sowie dem MAN-Archiv in Augsburg für die Möglichkeit der Einsicht in historische Unterlagen.

**GASVERSUCHE.** Der Motor 25/40 B ging nach seiner Fertigstellung, also im Juni 1897, sofort zu Krupp-Gruson und diente dort vorübergehend als Prototypmotor. Bereits Anfang Oktober des gleichen Jahres kam er wieder nach Augsburg zurück, wurde aber bis März 1898 nicht mehr gestartet. Bis dahin diente Motor A als alleiniger Versuchsträger für den Betrieb sowohl mit flüssigen als auch mit gasförmigen Kraftstoffen (Spiritus, Solaröl, Paraffinöl, Rotöl, amerikanisches Gasöl; Leuchtgas). Im März 1898 fasste MA den Beschluss, beide Motoren (vor allem den schon etwas verschlissenen Motor A, der deshalb auf 252,3 Millimeter aufgebohrt werden musste und einen dafür passenden neuen Gusskolben erhielt, gründlich zu überholen und zu reparieren. Nach der dadurch bedingten monatelangen Zwangspause wurde Motor A nur noch für Gasbetrieb und der noch besser erhaltene Motor B primär für Betrieb mit flüssigen Kraftstoffen eingesetzt. Zur großen Enttäuschung Diesels beendete MA-Generaldirektor Heinrich Buz im Sommer 1899 die Gasversuche. Im Dezember 1899 konnte Rudolf Diesel mit dem Motor A noch einige der von ihm schon 1893 geplanten Versuche mit Verbrennung von Kohlepulver fahren, doch dann wurden Anfang 1900 beide Prototypmotoren endgültig stillgelegt und der Augsburger Probestand bis auf den Güldner'schen Zweitaktmotor aufgelöst. Da diese Zweitakt-Motorversuche letztlich keine befriedigenden Ergebnisse brachten wurden sie ein Jahr später ebenfalls beendet.

**DER MOTOR 25/40 IM DEUTSCHEN MUSEUM:** Im Januar 1904 bat das Deutsche Museum in einem von Oskar von Miller und Carl von Linde unterzeichneten Brief an Heinrich Buz um die Überlassung des »Originalmotors« 25/40, also des Motors A. Deswegen war wohl auch Rudolf Diesel der Meinung, dass das Deutsche Museum den Motor vom 17. Februar 1897 erhalten hat. Doch dieser dürfte wohl zu diesem Zeitpunkt wegen seines sehr schlechten Zustandes bereits verschrottet gewesen sein. In der noch erhaltenen handschriftlich ausgeführten MAN-Versandliste vom 15. April 1905 wird jedenfalls der komplette Motor B mit einem Gewicht von 4.421 Kilogramm aufgeführt. Trotzdem bestand jahrzehntelang die Meinung, dass der Originalmotor vom 17. Februar 1897 in München sei, obwohl ein interner MAN B&W-Bericht bereits darauf hinwies, dass der im Deutschen Museum aufgestellte Motor 25/40 nicht der Motor A, sondern der Motor B aus Magdeburg/Buckau sein muss.

Wenn in München also der Motor B steht – und darauf weist bei einem Vergleich der historischen Fotos schon die fehlende Beschriftung am Zylinder hin –, der obigen Ausführungen zufolge niemals mit der Kolbenunterseite als Ladepumpe betrieben wurde, dürfen im unteren Deckel der Laufbuchse auch keine Ventile eingebaut sein. Außerdem darf der Spülluft-Austrittsflansch, an dem beim Motor A noch der »Luftpumpenzylinder« angeschlossen war, keine Kratz- und sonstige Verarbeitungsspuren aufweisen. Denn dies würde dafür sprechen, dass dort früher das Verbindungsrohr zwischen Einlassventil und Druckventil befestigt gewesen war.

Das Ergebnis ist eindeutig: Firmenlogo und andere Beschriftungen sind am Motor (im Gegensatz zum Vorführmotor A vom 17. Februar 1897) nicht vorhanden. Eine – für den A-Motor sprechende – Beschriftung hätte zwar zu einem späteren Zeitpunkt durch Überstreichen oder Abschleifen beseitigt werden können, doch dafür sind nicht die geringsten Spuren auf dem Zylindermantel zu erkennen. Der Bereich um den Spülluft-Austrittsflansch weist keine Spuren auf, die darauf hindeuten würden, dass der ausgestellte Motor jemals mit Ladeluftpumpe betrieben wurde. Die Saug- und Druckventile der Ladepumpe sind nicht eingebaut; vielmehr sind die Öffnungen durch entsprechende Flansche verschlossen. Damit steht fest, dass der im Deutschen Museum in München ausgestellte Motor nicht der Originalmotor 25/40 A von Februar 1897 sein kann, sondern der etwas später gefertigte Motor B, der erheblich weniger Laufstunden absolvierte als Motor A. Die beiden »Zwillingsmotoren« waren bis auf eine Ausnahme baugleich: Beim Motor A wurde die ursprünglich für beide Motoren geplante Aufladung der Verbrennungsluft durch die Kolbenunterseite getestet, wegen des negativen Effektes auf den Motorwirkungsgrad durch Rudolf Diesel aber noch vor der offiziellen Motorabnahme wieder verlassen und bei Motor B gar nicht erst versucht. Die vorhandenen Öffnungen im Laufbuchendeckel und am Motorzylinder wurden durch Flansche verschlossen. ■■

## LESERBRIEFE

Kultur & Technik Heft 3/2004

### „Mehr Muskeln, mehr Leistung“

Der Aufsatz von Professor Schänzer setzt das Phänomen Doping seit dem sog. klassischen Altertum (Olympia, antikes Rom) an, aber das Bestreben, die eigene körperliche Leistungsfähigkeit durch gezielte Einnahme von Anabolika zu steigern, dürfte wesentlich älter sein: Wenn man einmal davon absieht, dass letztlich auch der bei allen Völkern seit eh und je verbreitete Genuss alkoholischer Getränke mindestens kurzfristig leistungssteigernd wirkt, so ist wahrscheinlich das zur längerfristigen Leistungssteigerung (d. h. Muskelaufbau) bei typischen alpinen Beschäftigungen (Bergführer, Träger) ehemals verbreitete Arsenik-Essen deutlich älter als 2.500 Jahre: Die als »Ötzi« bekannte Gletschermumie aus der frühen Bronzezeit gehörte vermutlich zu einem Arsenik-Esser, wie die chemische Untersuchung seiner Haare beweist. Für einen berufsmäßigen, bewaffneten Karawanenbegleiter, als der sich Ötzi damit verrät (und es gibt noch andere Gründe für diese Annahme), sollte die Möglichkeit der Leistungssteigerung mit Arsenik schon vor 4–5.000 Jahren zum Berufswissen gehört haben, so wie heutzutage die Anwendung von EPO.

*Dr. Helmut Mutzbauer  
Bad Dürkheim*

### Gedenktage technischer Kultur

Seit Jahren schon lese ich Ihre Zeitschrift mit viel Interesse und freue mich jedes Mal auf ihr Erscheinen. Ich möchte gerne folgende Anregung geben: Sie erwähnen häufig Patentschriften. Ich begrüße dies sehr, denn in der Frühzeit der Industrialisierung waren Patentschriften das entscheidende Medium der Kommunikation der Fachwelt. Könnten Sie dabei nicht auch jeweils die Nr. der Patentschrift erwähnen? Ein Super-Service wäre natürlich, wenn man bei Ihnen die Patentschriften dann auch bestellen könnte. Im Deutschen Museum liegt ja sicher jeweils ein gut reproduzierbares Original vor. Die Beschaffung alter Patentschriften über die Patentämter – insbesondere im Ausland – funktioniert entweder überhaupt nicht oder man bekommt völlig unansehnliche Kopien. Ich würde mich sehr freuen, wenn Sie diese Anregung aufgreifen würden.

*Prof. Dr. U. Dreiss  
Stuttgart*

Anm. d. Red.:

*Das Deutsche Museum kann einen solchen Service nur in Ausnahmefällen bieten – leider wäre es zu aufwendig und zu kostenintensiv jeder Anfrage nachzugehen.*

Die Redaktion behält sich die Veröffentlichung und Kürzung von Leserbriefen vor.

# Märchen im Museum

**Justus und  
das Labyrinth  
der Elemente**

**Die nagelneue  
Dampfwerkstatt**

**Annalina  
auf dem Mond**

**Die Turmuhr  
von  
Kloster Für-  
stenfeld**

**Experimente  
mit Galileo Galilei**

**Der Bergmeister**

**Die verlorenen Töne**

An den Wochenenden  
4./5., 11./12. und 18./19. Dezember  
jeweils um 14, 15 und 16 Uhr

Keine Platzreservierung nötig.  
Künstlerische Leitung: Gabriele Rebling  
Nähere Informationen unter  
[www.deutsches-museum.de](http://www.deutsches-museum.de) oder Tel. 089/2179-462.

Deutsches Museum



Günter B. Voglsamer und das Deutsche Museum

## Von Bildern, Dioramen und Panoramen

Im Juni 2004 verstarb Professor Günter B. Voglsamer. In den vergangenen 50 Jahren hat der Künstler eine Vielzahl von Gemälden für das Deutsche Museum gestaltet.

Ein Nachruf von Eva A. Mayring

Mein Gang durch das Deutsche Museum führt heute vorbei an mächtigen Maschinen und hoch spezialisierten Instrumenten, vorbei an den kunstvollen Modellen der Schifffahrts-Abteilung, führt direkt in das Innere der Frachter und Dampfer: Im Steuerhaus der TS Adolf Woermann öffnet sich die breite Ansicht einer bewegten Fahrt in den Hamburger Hafen, ein letzter Blick vom Promenadendeck der Windhuk geht hinaus auf die Weite des Meeres, Helgoland verschwindet am Horizont – und vom Geschrei der Möwen bedrängt, fühlt man plötzlich den Boden schwanken, sucht rettenden Halt an der Reling – und doch ist es ein Gang durch das Deutsche Museum und wir stehen staunend vor einem Panoramagemälde von Günter B. Voglsamer.

**MEHR ALS 70 GEMÄLDE**, großformatige und kolorierte Kohlezeichnungen, illusionistische Wandgemälde und Dioramengemälde sind heute erhalten, die Voglsamer für und im Auftrag des Deutschen Museums geschaffen hat. Entstanden sind sie in den Jahren von 1950 bis 1998. Am 22. Juni 2004 ist Günter B. Voglsamer verstorben. Wir vermissen ihn, einen langjährigen Freund, großen Gestalter und Künstler, und blicken zurück auf eine fast fünfzigjährige, intensive Zusammenarbeit.

Der erste Kontakt zum Deutschen Museum erfolgte über seinen Lehrer, den Münchner Akademieprofessor Hermann Kaspar. Nach einer

Lehre und Gesellentätigkeit als Chemigraph hatte Voglsamer 1942 im Alter von 24 Jahren das Studium der Malerei und Grafik an der Akademie der Bildenden Künste in München begonnen. Als Meisterschüler von Kaspar wirkte er nach Kriegsende bei der Wiederherstellung des

kriegszerstörten Figurenfrieses »Die Welt der Natur und des Geistes« im Kongresssaal des Deutschen Museums mit.

Nach Ende des Studiums war Voglsamer seit 1950 als freischaffender Künstler tätig. Noch in demselben Jahr schuf er die ersten Gemälde für die nach Kriegsende wieder eröffnete Abteilung Bergbau. Bald avancierte Voglsamer zum meistbeschäftigten Künstler des Deutschen Museums. In engem Kontakt mit Verwaltungsdirektor Karl Bäßler, der für den Wiederaufbau des Museums zuständig war, entstand eine Reihe von imposanten Bildern: Innenansichten von Montagehallen, von Stahlwerken und Gießereien, Bergwerksanlagen und -betrieben, Darstellungen von technischen und industriellen Produktions- und Fertigungsverfahren, von monumentalen Transformatoren und Turbinen.

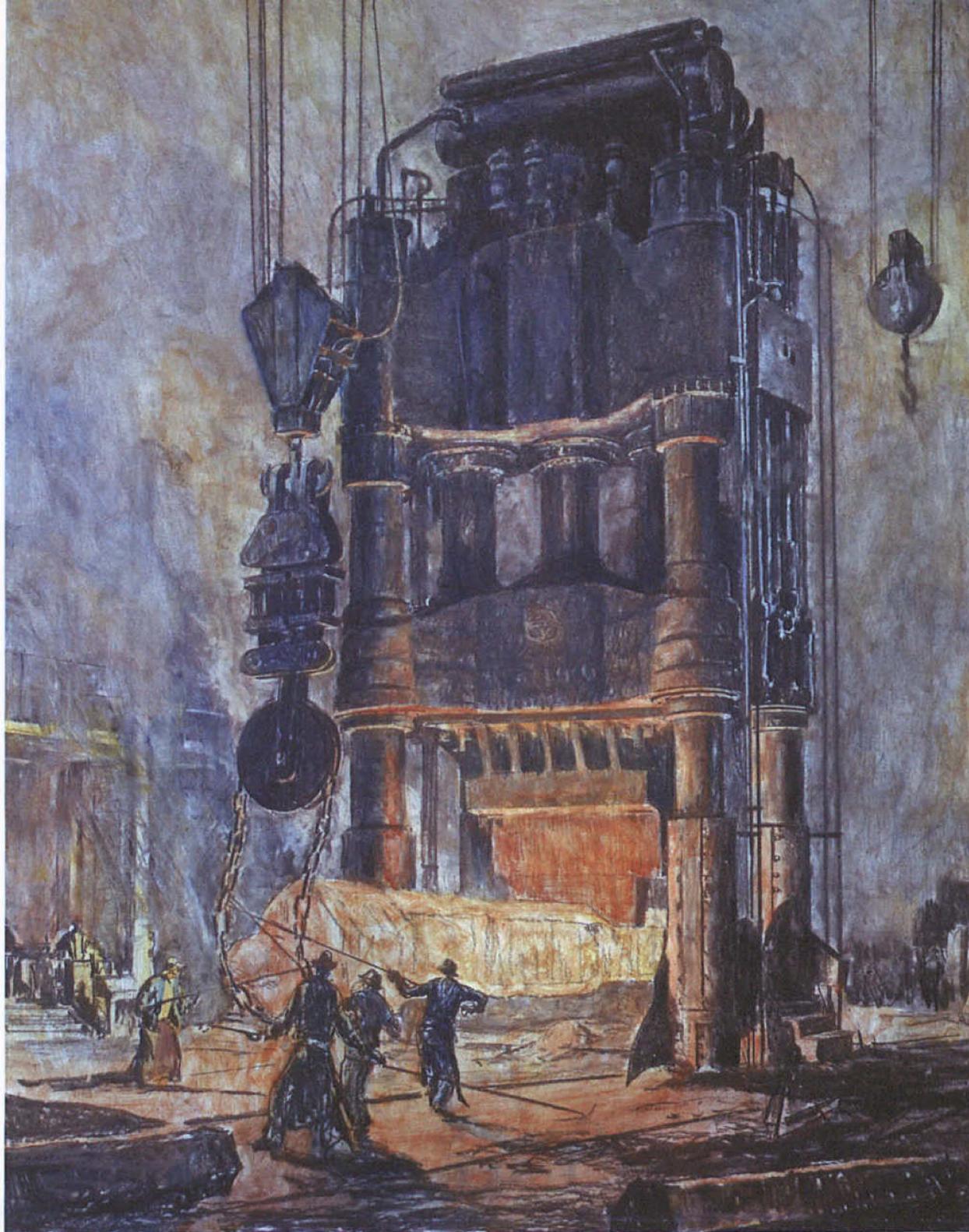
Voglsamers Arbeiten stehen in einer langen Tradition, die bis in die Gründungsjahre des Museums zurückreicht. Von Beginn an hatte das Museum verschiedene Künstler beauftragt, zum Teil riesige Technik- und Industriegemälde zu schaffen, die in den einzelnen Abteilungen



Voglsamer am Diorama »Müngstener Brücke«, 1997

Großes Bild:  
Schmiedepresse,  
kolorierte Kohle-  
zeichnung, 1954

Kleines Bild: Der Weg  
des Stroms vom Erzeuger  
zum Verbraucher,  
Diorama, 1953



neben den Maschinen, Apparaten und Versuchsanordnungen ausgestellt waren. Gezielt wurden diese künstlerischen Ausdrucksformen zur musealen Inszenierung eingesetzt und suggerierten ein idealisiertes Bild der Technik und Industrie.

Den Dioramen, die seit 1925 ein wichtiges Instrument der Ausstellungsgestaltung des Deutschen Museums sind, verlieh Voglsamer mit großer technischer Meisterschaft und künstlerischem Einfühlungsvermögen ihr spezifisches Gesicht. Nach dem Vorbild von Landschaftsmodellen naturkundlicher Museen und volkstümlicher Krippen entwickelte das Deutsche Museum dieses Stilmittel der Ausstellungspräsentation weiter und perfektionierte es. Die perspektivische Darstellung vermittelt einen besonders lebendigen räumlichen Eindruck. Die Aufbauten im Vordergrund schufen die Bildhauer- und Modellbauwerkstätten des Museums, die Hintergründe wurden von Voglsamer gemalt und schließen unmittelbar an den plastischen Teil im Vordergrund an. Kennzeichnend für Voglsamer ist die von ihm geforderte »wandernde« Perspektive: »Die Perspektive muß von jedem Standpunkt aus stimmen, für den Blick



des Erwachsenen wie eines Kindes, für den Einblick von vorn wie von rechts oder links. Erst dann ist die Einheit von Modell und Malerei gelungen.« (»Es muß ein Rhythmus entstehen, ein Klang.« Gespräch mit Günter B. Voglsamer, Künstler im Auftrag des Deutschen Museums. M. Benz-Zauner, A. Lucas, in: K & T 2/1995, S. 39)

Besondere Beachtung verdient seine Deckenmalerei der international renommierten Rekonstruktion der Altamira-Höhle des Deutschen Museums, die er nach dem Vorbild der steinzeitlichen Originalzeichnungen transponiert hatte. Mit alten Maltechniken und den gleichen Farben wie in Altamira führte Voglsamer die De-

ckenmalereien für die Münchner Rekonstruktion (1962) sowie für die zweite Kopie im Archäologischen Museum in Madrid (1964) aus.

Die meisten Gemälde und Hintergrundmalereien im Deutschen Museum entstanden in den 1950er und 1960er Jahren. 1967 wurde Voglsamer als Professor für freie Grafik und Malerei an die Akademie für Bildende Künste in Nürnberg berufen, 1969 übernahm er den Lehrstuhl für Wandmalerei. Von 1975 bis zu seiner Emeritierung 1984 war er Präsident der Nürnberger Kunstakademie. Aber auch in der jüngsten Zeit blieb Voglsamer für das Deutsche Museum tätig, wie z.B. für das Diorama »Bemannte Drachenaufstiege« in der Abteilung Luftfahrt (1995/96) und für das Diorama zur »Müngstener Brücke« in der 1998 neu eröffneten Abteilung Brückenbau und Wasserbau.

Über seine Tätigkeit im Museum hinaus und neben seinem hohen Engagement als akademischer Lehrer war Voglsamer Gründungsmitglied und Präsident (1962-76) der Freien Münchner und Deutschen Künstlergesellschaft und Mitbegründer des Herbstsalons im Münchner Haus der Kunst. Mit großem Erfolg beteiligte er sich an verschiedenen Wettbewerben. Hier entstan-

den eine Reihe zentraler Werke im öffentlichen Raum, wie die künstlerische Ausgestaltung des Foyers der Nürnberger Meistersingerhalle (1963) und des Foyers des Bayerischen Staatstheaters am Gärtnerplatz in München (1953). Erhalten sind im Münchner Künstlerhaus ein allegorisches Deckengemälde an prominenter Stelle über der großen Freitreppe zum Festsaal (1961), Glasfenster in der Eingangshalle des Münchner Hauptbahnhofs sowie weitere öffentliche Wandreliefs, Entwürfe für Mosaiken und Gobelins.

Für sein künstlerisches Oeuvre und gestalterisches Schaffen wurde er mit dem Bayerischen Verdienstorden, dem Bundesverdienstkreuz 1. Klasse und dem Zivilkreuz Alfonso X. el Sabio ausgezeichnet. Das Deutsche Museum ehrte ihn mit der Oskar-von-Miller-Plakette in Bronze. Im September 2003 hatte er den Seerosenpreis in München erhalten. Bis heute stehen die Besucher des Deutschen Museums unter der starken Wirkung seiner Bilder. Sie vermitteln uns mit präzisiertem Blick einen lebendigen Eindruck der komplexen technischen und wissenschaftlichen Themen, des industriellen Alltags und der angewandten Technik. ■■■

+++ **science + fiction. Zwischen Na**

## PAUL-BUNGE-PREIS FÜR JOBST BROELMANN

Dr. Jobst Broelmann, Leiter der Abteilung Schifffahrt des Deutschen Museums, hat den von der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) und der Deutschen Bunsen-Gesellschaft für Physikalische Chemie (DBG) gemeinsam verliehenen Paul-Bunge-Preis der Hans-R.-Jenemann-Stiftung für das Jahr 2004 erhalten.

Der mit 7.500 Euro ausgestattete Preis ist die höchstdotierte Ehrung auf dem Gebiet der Wissenschafts- und Technikgeschichte. Er wird jährlich für international herausragende Arbeiten aus dem gesamten Spektrum der Geschichte wissenschaftlicher Instrumente verliehen. Dr. Broelmann erhielt den Preis für sein 2002 in der Reihe »Abhandlungen und Berichte des Deutschen Museums« erschienenes Buch *Intuition und Wissenschaft in der Kreiseltechnik 1750 bis 1930*. Vorarbeiten zu diesem Buch sind in Kultur & Technik in zwei Artikeln (Jg. 15, 1991, Heft 1 und Jg. 21, 1997, Heft 4) erschienen. In der Würdigung des Preisträgers heißt es zu diesem Buch, das zuvor bereits mit den Publikationspreis des Deutschen Museums für das Jahr 2002 ausgezeichnet worden ist:

»Die Frage nach den spezifischen Wissensformen der Technik ist von zentraler Bedeutung für ein vertieftes Verständnis unserer aktuellen, von Wissenschaft und Technik geprägten Kultur. Allzu häufig wird Technik als reine Materialisierung wissenschaftliches Wissen, als angewandte Wissenschaft und damit als eine bloße Ausprägungsform der Naturwissenschaften verstanden. Darüber wird aus dem Blick verloren, welche Bedeutung die Intuition und das implizite, das personengebundene Wissen für die Entwicklung von technischen Innovationen spielt.

Jenes implizite nichtformalisierte Wissen tritt bei der Untersuchung von Instrumenten und technischen Artefakten konkret zutage. Die historische Analyse wissenschaftlicher Instrumente und technischer Objekte wird damit zu einem methodischen Schlüssel, um den spezifischen Wissensformen der Technik auf die Spur zu kommen. Wo lässt sich diese Methode besser anwenden als in den Technikmuseen im Allge-

meinen, wo besser als im Deutschen Museum in München im Speziellen, das in seiner Doppelfunktion als kultureller Speicher des wissenschaftlich-technischen Erbes unserer Gesellschaft und als Plattform für den Dialog zwischen Wissenschaft bzw. Technik und Öffentlichkeit vielleicht nie wichtiger war, als es für uns heute im Zeitalter des Public Understanding of Science ist?

*Intuition und Wissenschaft in der Kreiseltechnik 1750 bis 1930* erzählt die Geschichte des Kreiselkompasses im Spannungsfeld von hochanspruchsvoller mathematischer Theorie und handwerklich-kreativer Praxis. Dieses Spannungsfeld präsentiert sich als eine

Geschichte des Wettbewerbs verschiedener Wissens- und Handlungsformen in Naturwissenschaft und Technik. In dieser Geschichte kommen Forscher wie Arnold Sommerfeld und Albert Einstein vor, Ingenieure und Unternehmer wie Werner Siemens und William Thomson, schließlich Handwerker, Erfinder und Künstler wie Hermann Anschütz-Kaempfe, die in ihren jeweiligen Ideen zur Lösung des Problems der Konstruktion von Kreiselkompassen die Vielfalt möglicher Zugänge zur Technik verkörpern.

Selten - wenn überhaupt jemals - ist die Bedeutung der Intuition, der spielerischen Kreativität und des impliziten Wissens prägnanter herausgearbeitet worden als von Dr. Broelmann. Er lässt auf überaus eindrucksvolle und eingängige Weise plastisch werden, was üblicherweise abstrakt und blutleer als »tacit knowledge« ver-

Anzeige

**Der lustig-bunte Spielspaß!**  
vom Erfinder der fischertechnik

**TIP**®

*Herbert Fischer*

**Ihr Kind ist kreativ. Achten Sie darauf, dass es so bleibt.**

**Überall wo's Spielwaren gibt!**  
[www.fischertip.com](http://www.fischertip.com)

handelt wird. Diese Konkretisierung technischer Wissensformen gelingt ihm, indem er die spannende und spannungsreiche Geschichte der Kreiseltechnik entlang von Objekten aus der Sammlung des Deutschen Museums erzählt. Sein Buch wird auf diese Weise nicht nur zu einem zentralen Beitrag zum Verständnis des Charakters von Innovationen in der modernen Wissensgesellschaft. Es ist auch ein Lehrstück, wie die »Meisterwerke« des Deutschen Museums ihrerseits zur Grundlage für eine herausragende Forschungsarbeit über wissenschaftliche Instrumente im Sinne der Hans-R.-Jenemann-Stiftung in der Gesellschaft Deutscher Chemiker werden können. Für

das Jahr 2004 ist der Paul-Bunge-Preis an einen weiteren Wissenschaftler verliehen worden, an Dr. Carsten Reinhardt. Er ist neben seiner Tätigkeit an der Universität Regensburg zugleich Mitglied der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft am Deutschen Museum eingerichteten Forschergruppe »Wechselbeziehungen zwischen Naturwissenschaft und Technik. Formen der Wahrneh-

mung und Wirkung im 20. Jahrhundert«. Der Bunge-Preis 2004 unterstreicht die Exzellenz der Forschungsarbeit der beiden Preisträger und dokumentiert zugleich die Bedeutung des Deutschen Museums als international herausragender Standort der Erforschung unserer wissenschaftlich-technischen Kultur.

Helmuth Trischler

Anzeige

## EINBRUCH IM MUSEUM

### Drei Oldtimer geklaut! Polizei startet Großfahndung

Keine Angst, diese Schlagzeile des »Bayerischen Amtsblatts« bezieht sich auf keine reale Straftat im Deutschen Museum – gesucht werden die berühmt-berüchtigten Panzerknacker aus Entenhausen.

»Eiertanz im Alpenland« nennt sich Band 1 einer neuen Reihe »Abenteuer aus Onkel Dagoberts Schatztruhe«, erschienen im Ehapa Verlag. Wie es sich gehört, beginnt die Geschichte um Dagobert, Donald und die drei kleinen Neffen Tick, Trick und Track auf dem Oktoberfest. Dort legt sich Onkel Dagobert mit einem Wirt an und erfährt von diesem, dass ein Münchner Erfinder namens Vergesselhuber eine Maschine konstruiert hat, die aus Bananenschalen Eier machen kann. Kaum gehört, hat Dagobert dem völlig überrumpelten Erfinder die Maschine, genannt »Eiserne Henne«, auch schon abgekauft. Weil er aber zu geizig ist, einen Tresor zu mieten, bringt er die Maschine im Deutschen Museum unter – und die Verwicklungen können beginnen.

Berlin, Magnus-Haus, 5.-9. Juni 2005

## Physik populär Was können Ausstellungen bewirken?

349. Wilhelm und Else Heraeus-Seminar in Zusammenarbeit mit dem Kerschensteiner Kolleg des Deutschen Museum und dem Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte (Berlin)

2005 findet das »Weltjahr der Physik« statt. In München und insbesondere in Berlin werden wichtige Ausstellungen zu Albert Einsteins Leistungen, Leben und Mythos das allgemeine Publikum – hoffentlich – faszinieren. Die geplante Tagung will Museumsleute und andere Wissenschaftskommunikatoren mit Fachphysikern, die an der breiteren Vermittlung ihres Wissens interessiert sind, in einen Austausch bringen. Diskutiert und in Workshops erarbeitet werden soll auch die Frage, welche unterschiedlichen Arten von Ausstellungen es gibt (auch in Forschungsinstituten) und wie andere Formen der Vermittlung dazu stehen.

*Für Unterkunft (es können preiswerte Übernachtungsmöglichkeiten in Berlin für 35 Euro pro Nacht im EZ vermittelt werden) und Verpflegung kann den Teilnehmern aus Mitteln der WE-Heraeus-Stiftung ein Zuschuss in Höhe von bis zu 200 Euro gewährt werden.*

*Informationen 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*

**Deutsches Museum**  
*Kerschensteiner Kolleg*

## ICH BIN EIN WISSENSCHAFTLER!

Ja, bin ich. Aber das war nicht immer so. Physik und so gerade mal ausreichend. Mathematik: der blanke Horror. Warum ist Mathematik schwer? Warum kriegt ein Großteil der Schüler von den Naturwissenschaften kaum etwas mit? Versagt die Schule? Oder kommt es auf Wissen nur sehr relativ an? Vielleicht soll es gerade mal zum Vergleich taugen: die Hellen ins Töpfchen und die anderen sind halt praktisch begabt. So leistet die Schule dann doch das ihre, aus einer quirligen Kinderschar eine wohlsortierte und nach (Un)wissensstand differenzierte Mannschaft zu stellen, die mit Neugier und Freude am Lernen wirklich nichts mehr am Hut hat.

Es gab nämlich mal eine Zeit im Leben, da war die Neugier Programm und das Interesse an der Welt der Leitfaden durch einen riesigen Dschungel phänomenaler Erscheinungen und rätselhafter Wesen. Da waren alle Wissenschaftler: hellwach, kritisch, stur und unvoreingenommen – wie Kinder so sind, aber – das gibt sich. Man lernt Gehorsam, sei doch vernünftig, und aus den kleinen Wissenschaftlern werden über kurz oder lang abgebrühte Durchblicker, die zu allem die passende Einstellung haben. Dagegen wendet sich das hier vorgestellte Buch. Weil es auf die Neugier setzt, das Spiel, chaotische Grundstrukturen und den Zauber schillernder Eigenproduktionen. Weil es Mut machen will, ein paar Dinge, die eh rumliegen, in die Hand zu nehmen, und was Neues draus zu machen, dabei genau hinzuschauen, so den Gesetzen von Schwerkraft, Glühbirnen und der Akustik von Keksdosen auf den Grund zu gehen und darüber fast schon das Vorabendprogramm zu vergessen.

»Ich bin ein Wissenschaftler« – das war und ist das Motto im Kinderreich und das gibt es jetzt in Buchform. Zum Zuhause-Weiterforschen. Für die Kinder, die im Kinderreich den Anfang gemacht haben und für die Eltern, die sie dabei begleiten. Oder umgekehrt: für die Eltern, die im Kinderreich einen Neuanfang wagen und die Kinder, die sie



dabei begleiten. So wird mancher (wieder) Wissenschaftler – ich spreche aus eigener Erfahrung.

Viele Bilder und die ergänzenden Texte zur kreativen Weiterentwicklung von Gabentisch und Schoko-Lebkuchen für 15,95 Euro, satisfaction guaranteed: Ich bin ein Wissenschaftler!

Christof Gießler



Das Buch zum »Kinderreich«, reich bebildert und verständlich geschrieben.

## NEU ERSCHIENEN

Soeben ist ein neuer Band der Reihe »Abhandlungen und Berichte« erschienen:

Thomas Wieland: »Wir beherrschen den pflanzlichen Organismus besser, ...«

Wissenschaftliche Pflanzenzüchtung in Deutschland 1889-1945.

Abhandlungen und Berichte, N.F., Bd. 20, 2004, 271 Seiten, Euro 24,80.

Zum Inhalt: Im späten 19. Jahrhundert lag das Züchten von Getreide und Hackfrüchten beinahe ausnahmslos in den Händen von experimentierfreudigen Landwirten. Die rasch steigende Zahl neuer Zuchtsorten, die sie hervorbrachten, weckte jedoch bald das Interesse der Agrarwissenschaftler an der Pflanzenzüchtung. Gestützt auf die sich zur Jahrhundertwende herausbildende Genetik, übernahmen die Pflanzenzüchter von ihren Kollegen in der Landwirtschaft bis zum Zweiten Weltkrieg den Führungsanspruch bei der Schaffung züchterischen Wissens und neuer Sorten. Die systematische Verknüpfung wissenschaftlicher und politischer Ziele erschloss ihnen dabei nicht nur die notwendigen Ressourcen, sondern macht ihre Disziplin auch zu einem aufschlussreichen Beispiel für die Selbstmobilisierung einer Wissenschaft im Nationalsozialismus.

Ausgehend von der Frage nach dem Verhältnis von Naturwissenschaft und Technik untersucht das Buch die vielfältigen Strategien der deutschen Züchtungswissenschaftler, die Pflanzenzüchtung als "angewandte Wissenschaft" im landwirtschaftlichen Forschungssystem zu etablieren. Es stützt sich dabei auf eine breite Basis von Quellen, die zu einem großen Teil erstmals historisch ausgewertet wurden. Ziel ist nicht nur die Entwicklung der wissenschaftlichen Pflanzenzüchtung in Deutschland vom späten 19. bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts verständlich zu machen. Vielmehr will das Buch auch einen Beitrag zu einem besseren Verständnis jener (technik)wissenschaftlicher Disziplinen beitragen, die in dem diffusen Überschneidungsraum von Naturwissenschaft und Technik angesiedelt sind.

Andrea Lucas

Das Buch ist über den Museumshop des Deutschen Museums, Tel. 089-213 838 92, [www.deutsches-museum-shop.com](http://www.deutsches-museum-shop.com), zu beziehen.

04 bis 31. Januar 2005, Sonderausstellung in der Flugwerft Schleißheim +++

+++ **Die Gebrüder Wright und der Beginn des Motorflugs** bis 14. November 2004 in der alten Luftfahrthalle, 1. OG +++

bis 31. Oktober +++

## IN DIE TIEFE GEHEN

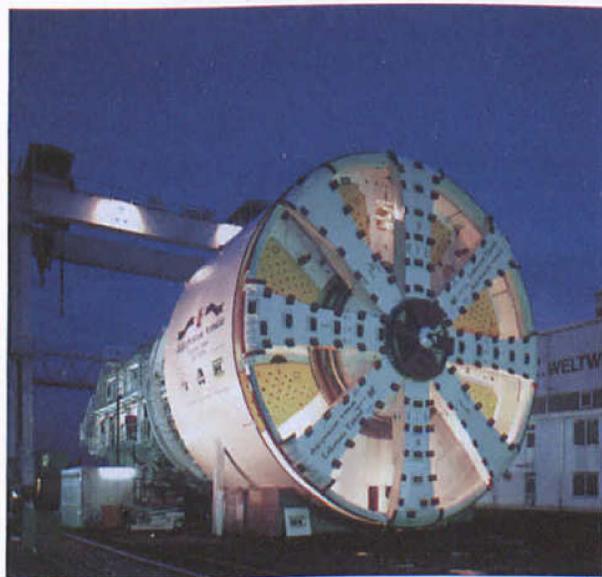
Erkundung und Nutzung des Untergrundes

Sonderausstellung im Verkehrszentrum  
des Deutschen Museums

25. August 2004 bis 10. Januar 2005

Schon immer waren die Menschen fasziniert von der Frage, wie es im Inneren der Erde aussieht. Bereits in der Steinzeit wurde der Untergrund für kultische Zwecke und zur oberflächennahen Rohstoffgewinnung genutzt. Aber erst die rasanten Fortschritte in Naturwissenschaft und Technik machten es möglich, weiter »in die Tiefe« vorzudringen und den Untergrund nachhaltig zu nutzen: Bahnhöfe, die im Untergrund verschwinden, unterirdische Transportsysteme oder Speichermöglichkeiten für Treibhausgas. Die Ausstellung »In die Tiefe gehen« – konzipiert und realisiert vom Koordinierungsbüro GEOTECHNOLOGIEN in Potsdam – vermittelt auf 350 Quadratmetern faszinierende Eindrücke von der Arbeit der Geowissenschaftler und Ingenieure in der Tiefe und stellt den Untergrund als wichtigen Verkehrs- und Wirtschaftsraum vor.

Die Ausstellung begleitet das Forschungsprogramm GEOTECHNOLOGIEN, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wird.



Riesig: Tunnelbohrmaschine

Anzeige

## Deutsches Museum Kerschensteiner Kolleg



Ein Wochenende lang  
„Frauen führen Frauen“

Fr/Sa/So 19./20./21. November 2004

## Flachs, Wolle, Erdöl

### Die Entwicklung der Textiltechnik

Textilarbeit von der Steinzeit bis heute, vom Gewichtwebstuhl und der Handspindel zum Spinnrad und zur vollmechanisch betriebenen Jacquardmaschine, von ackerbauenden Webern zu den Fabrikarbeitern in der kapitalistischen Textilindustrie – es erwartet Sie eine sowohl technische als auch sozialgeschichtliche Betrachtung der Entwicklung der Textiltechniken 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.

*Zwei Übernachtungen mit Frühstück inkl. Führungshonorare und Museumseintritt  
95 Euro (EZ) und 85 Euro (DZ) + 7% MwSt.*

*Anmeldung (bis spätestens 20. Oktober) erforderlich!*

*Sie übernachten im Kerschensteiner Kolleg direkt im Deutschen Museum.*

*Die Zimmer (Etagenduschen und -WCs) sind modern ausgestattet und ruhig 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*

Vorankündigung:

**Licht, Raum und Zeit**

Albert Einstein und die Physik und Astronomie

des 20. Jahrhunderts

Fr/Sa/So 3.-5. Juni 2005

## Deutsches Museum Kerschensteiner Kolleg

### NATURWISSENSCHAFT UND TECHNIK

#### Wege in die moderne Wissensgesellschaft

Seit dem Jahr 2000 ruft das Bundesministerium für Bildung und Forschung gemeinsam mit der Initiative »Wissenschaft im Dialog« Wissenschaftsjahre aus. Solche Jahre haben zum Ziel, Forschung transparent zu machen und den Dialog zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit zu fördern.

In diesem Jahr findet das »Jahr der Technik« statt, und das Deutsche Museum ist mit einer Vielzahl von Veranstaltungen eingebunden – zuvorderst und primär mit der Sonderausstellung zur Medizintechnik »Leben mit Ersatzteilen«. Sie machte am 7./8. Mai den Auftakt des dichten Programms in München. Auch die offizielle Abschlussveranstaltung des Jahres der Technik findet im Deutschen Museum statt. Auf ihr präsentiert das 1997 am Deutschen Museum eingerichtete »Münchner Zentrum für Wissenschafts- und Technikgeschichte« (MZWTG) Schwerpunkte seiner Forschungstätigkeit einer breiten Öffentlichkeit – nicht zuletzt den Lesern von *Kultur & Technik*. Im Ehrensaal des Deutschen Museums wird am Freitag, den 3. Dezember 2004, das Kolloquium »Naturwissenschaft und Technik – Wege in die moderne Wissensgesellschaft« folgendes Programm bieten:

**9:15** Begrüßung durch Prof. Dr. Juliane Wilmanns (Geschäftsführender Vorstand des MZWTG) und Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang A. Herrmann (Präsident der TU München). **Grußworte:** Prof. Dr. Bernd Huber, Rektor der Ludwig-Maximilians-Universität München (angefragt); Prof. Dr. Hans Georg Löbl, Präsident der Universität der Bundeswehr, München; Prof. Dr. Wolfgang Heckl, Generaldirektor des Deutschen Museums  
**anschließend: Vorträge mit Diskussion**  
**10:00** Innovationskultur in Deutschland, Prof. Dr. Ulrich Wengenroth

**11:15** Innovationspfade der deutschen Chemie im 20. Jahrhundert, Priv.-Doz. Dr. Stephan Lindner  
**12:00** Wissenschaftstheater – eine Form des public understanding of science auch für Deutschland?, Prof. Dr. Ivo Schneider  
**13:45** Räume des Wissens in der modernen Wissensgesellschaft, Prof. Dr. Helmuth Trischler

**14:30** Medizintechnik und Ethik, Prof. Dr. Juliane Wilmanns  
**15:45** Der Himmel als Labor: Astronomie vom 19. zum 21. Jahrhunderts, Prof. Dr. Jürgen Teichmann  
**16:30** Frauenstudium für Männerberufe? Geschlechterverhältnis in der Geschichte der Ingenieurausbildung, Prof. Dr. Karin Zachmann

Anzeige

26. März bis 2. April 2006

## Totale Sonnenfinsternis in der Türkei am 29.3.2006

Fortbildungsseminar des Kerschensteiner Kollegs  
(für astronomische Laien - in Zusammenarbeit mit dem Reisebüro Via Cultus)  
Reiseziel: Antalya – Manavgat

Die nächste leicht erreichbare totale Sonnenfinsternis – nach dem großartigen Erlebnis 1999 – findet am 29.3.2006 statt. Der Kernschatten überquert auch die Türkei. In der Seminarwoche finden Vorträge unserer Fachleute zu Geschichte, Grundlagen und Beobachtungsmöglichkeiten statt, Exkursionen zum türkischen Forschungszentrum für Astronomie, zur Kulturgeschichte und Natur der Umgebung und natürlich die Beobachtung der Sonnenfinsternis selbst (die Wahrscheinlichkeit für einen sonnigen Tag ist ca. 60 %).

*Kosten: ca. 540 Euro/Person im DZ, EZ-Zuschlag ca. 100 Euro*

*Leistungen: Charterflug Antalya, Transfers und Rundfahrten im Reisebus, 7 x HP in einem Hotel der Mittelklasse (Du/WC oder Bad/WC), sämtliche Eintrittsgelder, Führungen und Vorträge*

*Mindestteilnehmerzahl: 25, maximale Teilnehmerzahl: 40*

*Der Reisevertrag kommt ausschließlich mit dem Reisebüro Via Cultus GmbH, Märchenstr. 13, 76297 Stutensee, zustande.*

*Vorläufige Anmeldung (empfohlen, da schnelle Ausbuchung erwartet wird) unter: Christine Füssl-Gutmann*

*Fax: 089-2179-273, Tel: 089-2179-243, e-mail: c.fuessl@deutsches-museum.de  
Deutsches Museum, Museumsinsel 1, 80538 München*

Deutsches Museum  
Kerschensteiner Kolleg

# Historische Galerie

Gedenktage technischer Kultur: Oktober – Dezember 2004

Sigfrid und Manfred von Weiher

**1.10.1879** Durch den Zusammenbau einer Lokomobile (Dampfwagen) mit einer Dreschmaschine gelingt es der Mannheimer Traktoren-Fabrik Heinrich Lanz, den **ersten landwirtschaftlich nutzbaren Maschinensatz** erfolgreich in Betrieb zu nehmen.

**7.10.1929** In Jockgrim, Pfalz, stirbt der Ingenieur E. H. Wilhelm **Ludowici**. 1881 erfand er den bis heute gebräuchlichen **Doppelfalz-Ziegel**.

**9.10.1829** Amerikas erste **Dampfeisenbahn**, ein Schienenstrang zum Abtransport von Kohlen im Bergbaurevier des Lackawannatales, wird mit einer in England gebauten Lokomotive eröffnet.

**10.10.1554** Die **erste deutsche Straßenbau-Vorschrift** wird in der Jülich-Bergischen Polizei-Ordnung erlassen.

**18.10.1854** In Gremma, Schweden, wird Salomon August **Andrée** geboren, der am 11. Juli 1897 mit Fraenkel und Strindberg in einem Wasserstoff-Ballon zu einer waghalsigen **Nordpol-Expedition** aufbricht. Erst 1930 werden die Leichen der Forscher östlich von Spitzbergen geborgen. Die Entwicklung ihrer belichteten Filme belegt, dass sie mit dem Ballon ihr Ziel früh verfehlten, notlandeten und nach Verzehr von Eisbären-Fleisch vermutlich an Trichinose starben.

**21.10.1879** Thomas A. **Edison** entdeckt die Zweckmäßigkeit verkohlter Baumwolle bei der Produktion langlebiger **Glühfäden für elektrische Lampen**.

**22.10.1879** Werner **Siemens** nimmt ein deutsches Reichspatent auf seinen »elektrischen Hammer«, den er zunächst als Solenoid-Bohrmaschine für die abgasfreie Arbeit unter Tage konstruiert. Dieser wird zum Prototyp der **elektrischen Gesteinsbohrmaschine**.

**24.10.1804** In Wittenberg wird Wilhelm Eduard **Weber** geboren. Bereits mit 24 Jahren Professor zu Halle, wird er vom Mathematiker Carl Friedrich Gauß nach Göttingen berufen, wo beide den Erdmagnetismus erforschen und 1833 den **ersten elektrischen Telegraphen** konstruieren, der fortan das Physikalische Institut mit der Sternwarte verbindet.

**27.10.1929** In Braunschweig stirbt der Automobil-Industrielle Heinrich **Büssing**, der sich beim Bau leistungsstarker Kraft-Omnibusse und schwerer LKW besondere Verdienste erwarb.

**1.11.1879** In Lynow, Brandenburg, wird Oskar **Barnack** geboren. 1914 stellt er die **erste Kleinbild-Camera** vor, die 1924 unter dem Namen »Leica« (Leitz-Camera) zum Welterfolg wird.

**8.11.1954** Die Spielzeiteröffnung der New Yorker Metropolitan Opera wird erstmals vom US-amerikanischen Fernsehen in **30 Kinos live** übertragen.

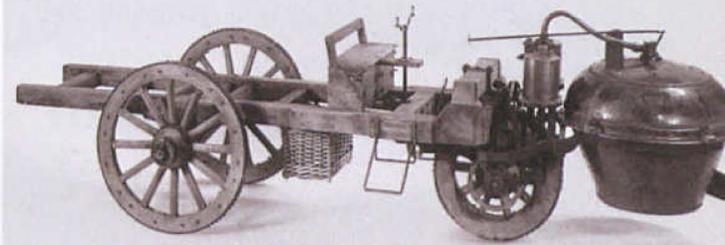
**9.11.1654** In Redwitz, Böhmen, wird Christoph **Weigel** geboren, der später als Kupferstecher in Nürnberg wirkt. 1698 erscheint sein für die Technik- und Handwerksgeschichte bedeutsames »**Ständebuch**«, in dem er auf 212 aussagekräftigen Stichen alle Berufe und damals üblichen Handwerke mit ihren typischen Werkzeugen darstellt. Die erläuternden Texte stammen von dem als Kanzelredner berühmten Abraham a Santa Clara.

**9.11.1854** Ein Kuriosum der deutschen Eisenbahngeschichte wird beendet, als die Badische Staatsbahn ihre Schienenwege **von Breitspur auf Normalspur** (1435 mm) umstellt.

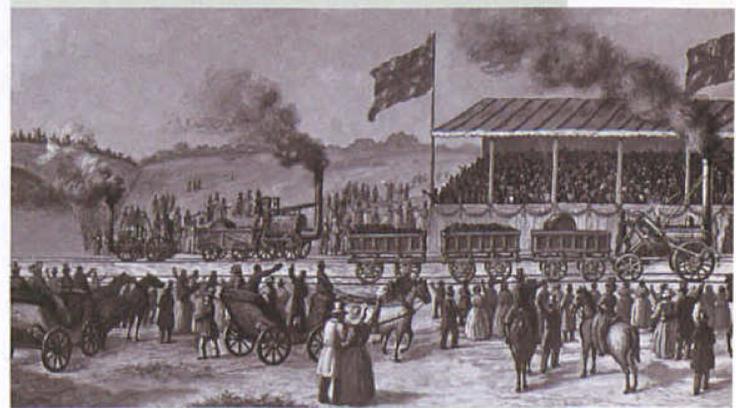
**11.11.1729** In Hamburg wird Johann Albert Heinrich **Reimarus** geboren, der als Arzt und Physiker 1769 auf der Hamburger Jacobikirche **Deutschlands ersten Blitzableiter** errichten lässt.

**12.11.1804** In Prag wird Julius Wilhelm Gintl geboren, der ab 1849 als Direktor des »**Österreichischen Staatstelegraphen**« die elektrische **Telegrafie in Österreich** einführt.

**14.11.1854** Während des Krimkrieges wird die anglo-französische Flotte im Schwarzen Meer von einem schweren Orkan entscheidend geschwächt, ein alliiertes Feldlager sogar völlig zerstört. Der Nachweis des französischen Wissenschaftlers **Leverrier**, dass dieses Orkantief meteorolo-



**2.10.1804** In Paris stirbt der Ingenieur Nicolas Joseph **Cugnot**, dem ab 1763 erste praktische Versuche mit Dampf-Lastwagen gelingen. Sein 1771 konstruiertes Fahrzeug, ein dampfgetriebener Geschützschiefer, steht seit 1800 in einem Pariser Museum und gilt als ältestes Automobil der Welt.



**8.10.1829** Auf den Gleisen der späteren Liverpool-Manchester-Bahn bei Rainhill, England, findet ein **Wettkampf verschiedener Lokomotiv-Systeme** statt. Mit einer Spitzengeschwindigkeit von 52 km/h gewinnt Stephenson's Röhrenkessel-Lokomotive »**Rocket**«, mit der in den Folgejahren der Eisenbahn-Personenverkehr seinen Siegeszug beginnt.



**15.11.1954** Erstmals führt eine regelmäßige Luftverkehrsverbindung über den Nordpol: Die Strecke Kopenhagen-Los Angeles wird auf der kurzen Polarroute mit Propeller-Maschinen in 27 Flugstunden bewältigt.

gisch hätte vorausberechnet und von den Streitkräften die Katastrophe noch rechtzeitig hätte verhindert werden können, führt wenig später zur Gründung des Internationalen telegraphischen Wetterdienstes – einer globalen **Vernetzung lokaler Wetterbeobachtungen**.

**17.11.1929** Todestag von Hermann **Hollerith**, der als Statistiker in New York 1880 die **Lochkarte** erfand und damit die großtechnische Auswertung umfangreicher Datenmengen möglich machte.

**22.11.1829** In Berlin stirbt Gottlob Johann Christian **Kundt**, der Erzieher der später berühmt gewordenen Brüder Wilhelm und Alexander von Humboldt. Im »Manufaktur- und Kommerzkollegium« propagiert er ab 1784 den systematischen technisch-naturwissenschaftlichen **Austausch mit dem Ausland**.

**29.11.1804** In Rosenskjöld, Schweden, wird Peter Samuel **Munk** geboren. Bei physikalischen Versuchen beobachtet er 1838, dass ein mit Metallspänen gefülltes Glasrohr im elektromagnetischen Feld seinen elektrischen Widerstand deutlich verändert. Dieser »**Fritter-Effekt**« ist wichtig für die Entwicklung der drahtlosen Telegrafie und der Hochfrequenztechnik.

**2.12.1804** In Paris wird der Ingenieur Philipp **Lebon** ermordet aufgefunden. 1797 setzt er **Holzgas für Beleuchtungszwecke** ein und versucht, dieses leicht verfügbare Gas ebenso zur Gewinnung mechanischer Kraft einzusetzen. In Versailles errichtet er 1803 eine Holzessig-Destillation, die auch Teer und Holzkohle nutzbar macht.

**7.12.1804** In St. Petersburg stirbt der Physiko-Chemiker Johann Tobias **Lowitz**, der u. a. das **Entfärbungsvermögen der Holzkohle** entdeckte. 1793 gelang ihm beim Mischen von kristallisiertem Chlorcalcium mit trockenem Schnee die Erzeugung einer Temperatur von minus 50° Celsius.

**9.12.1879** Die Brüder M. D. und Th. A. **Conolly** aus Philadelphia nehmen das erste deutsche Patent auf eine **Selbstwähl-Einrichtung für Fernsprecher**. Doch erst auf Grundlage der Stowger-Patente gelingt nach 1900 in Deutschland allmählich die Einführung der automatischen Telefonvermittlung.

**11.12.1929** In Brüssel stirbt der Industrielle Robert **Waldschmidt**. Seit 1877 erscheinen die von ihm hergestellten und vertriebenen »Biblorhapt-Ordner« als erstes, weit verbreitetes **Büro-Ordner-System** auf dem europäischen Markt: fünf Stahlnadeln nehmen das entsprechend gelochte Papiergut auf, das dann durch eine Metallschiene zusammengehalten wird.

**13.12.1854** In Oppeln, Schlesien, wird Theophil Josef Rudolf **Knietsch** geboren, der sich als Sohn eines Schmiedemeisters zum erfolgreichen technischen Chemiker bildet. 1882 konstruiert er die erste Chlorpumpe, die durch Einsatz eines Flüssigkeitskolbens die schädlichen Chlorgaswirkungen auf die Mechanik minimiert. Später gibt er ein Verfahren zur großtechnisch preiswerten **Herstellung konzentrierter Schwefelsäure** an. Seine Darstellung eines besonders billigen künstlichen Indigos kommt in der chemischen Industrie nach wie vor zur Anwendung.

**14.12.1829** Joseph Nicéphore **Niépce** und Louis Jacques Mandé **Daguerre** schließen einen zehnjährigen Erfindervertrag zur Vervollkommnung und wirksamen Vermarktung ihres Verfahrens zur **Herstellung photographischer Lichtbilder**. Die frühe Fotografie wird binnen weniger Jahre als revolutionärer Fortschritt erkannt.

**22.12.1804** In Frankfurt-Main stirbt Johann Andreas Benjamin **Nothnagel**. 1774 unterrichtete er den jungen J. W. Goethe in der Ölmalerei und war einer der ersten in Deutschland, die sich mit der großtechnischen **Fabrikation von Papiertapeten** befassen.

**28.12.1879** In Schottland ereignet sich die **größte Brückenkatastrophe des 19. Jahrhunderts**. 200 Reisende ertrinken in den eisigen Fluten.

**28.12.1904** In Aachen stirbt der deutsche Wasser-Baumeister Otto **Intze**. Er gilt als **Lehrmeister des Talsperrenbaues**: allein in Nordrhein-Westfalen zeugen 16 in der Zeit nach 1890 von ihm konzipierte Talsperren mit bis zu 58m hohen Staumauern von seinem Wirken.

**29.12.1929** In Cannstatt bei Stuttgart stirbt Wilhelm **Maybach**, einer der Pioniere des deutschen Automobilbaus. Er entwickelte die sich vom Bild der Pferdekutsche emanzipierende, charakteristische Form des Autos, erfand die Kulissenschaltung, den Bienenkorb-Kühler und viele andere **bis heute gültige Eigenschaften modernen Kraftfahrzeugbaus**. Auch beim Bau großer Luftschiff-Motoren für die Zeppeline tat er sich hervor.

# Veranstaltungen & Ausstellungen OKTOBER BIS DEZEMBER 2004

## KONZERTE IM DEUTSCHEN MUSEUM

**Mittwoch, 13. Oktober 2004, 20 Uhr – Abendkonzert**

Einsaitig? Musik für Tromba marina  
Ensemble Arcimboldo Basel mit zwei Trombae marinae, SängerInnen,  
Streichern und Continuo unter Leitung von Thilo Hirsch.  
Karten bei Le Nuove Musiche (Tel. 36 79 28, Mail [musiche@t-online.de](mailto:musiche@t-online.de))

**Mittwoch, 20. Oktober 2004, 18 Uhr – der dritte mittwoch**

Alte Musik aus dem Richard-Strauss-Konservatorium München  
»... für Clavier ...«. Musik für Tasteninstrumente aus dem 17. und 18. Jahrhundert  
Cembaloklasse Michael Eberth

**Samstag, 30. Oktober 2004, 14.30 Uhr – Orgelkonzert**

Alexander Hermann, München  
Werke von Muffat, Ligeti, Kurt Anton Hueber u. a. und Improvisationen

**Mittwoch, 17. November 2004, 18 Uhr – der dritte mittwoch**

Alte Musik aus dem Richard-Strauss-Konservatorium München  
»Il flauto dolce«. Blockflötenmusik des Barock  
Blockflötenklasse Doris Döbereiner

**Samstag, 20. November 2004, 14.30 Uhr – Orgelkonzert**

Franz Raml, Ochsenhausen  
Werke von Valente, Scheidt, Cabezón, Knecht und J. S. Bach

**Sonntag, 5. Dezember 2004, 11.15 Uhr – Matinee**

Edith Salmen, Schlagwerk solo

**Mittwoch, 15. Dezember 2004, 18 Uhr – der dritte mittwoch**

BACH. Werke für Orgel und Cembalo  
Orgelklasse Brett Leighton, Universität Linz, und  
Cembaloklasse Michael Eberth, Richard-Strauss-Konservatorium München

**Samstag, 18. Dezember 2004, 14.30 Uhr – Orgelkonzert**

Prof. Klemens Schnorr, Freiburg

Weitere Informationen unter <http://www.deutsches-museum.de>  
sowie Tel. 2179-445 und Mail [s.berdux@deutsches-museum.de](mailto:s.berdux@deutsches-museum.de).

## MONTAGSSEMINAR

des Münchner Zentrums für Wissenschafts- und Technikgeschichte  
im Wintersemester 2004/05

Seminarraum der Institute, montags, 16.30 Uhr

08. 11. 04 **Christian Sichau**, »Ein experimenteller Präzisions-Rekord -  
Die Zusammenarbeit von Georg Joos mit der Firma Carl Zeiss bei der  
Messung des Ätherdriftes 1930«
18. 10. 04 **Cornelia Kemp**, »Ernst Kohlrausch und die Physik des Turnens«
22. 11. 04 **Cheryce Kramer**, »Dialektische Gebilde in der Deutschen  
Anstalts-Psychiatrie des 19. Jahrhunderts«
06. 12. 04 **Peter Heering**, »Die Schwierigkeit, Wärme zu wiegen: Experimente  
mit dem Nachbau des Eiskalorimeters von Lavoisier und Laplace«
17. 01. 05 **Elisabeth Vaupel**, »Vom Gift zum Heilmittel: Geschichte der  
Mutterkornalkaloide.«
31. 01. 05 **Thomas Wieland**, »Früher Fehlstart und späte Ankunft. Die  
Entwicklung der Biotechnologie in der Bundesrepublik Deutschland.«

Im Rahmen der Aktionswoche des Kinderreiches »Ran an den Klang«,  
finden in der Woche vom 30.10. bis 7.11.2004 folgende Angebote und  
Veranstaltungen statt:

## SONDERAUSSTELLUNG:

Das mobile Musikmuseum, eine »Mitmach-Ausstellung« von Michael Bradke zum  
Thema »Klänge«, im Kinderreich. Eintritt kostenfrei, Eröffnungsveranstaltung am  
30.10. um 10.00 Uhr im Kinderreich, Dauer der Ausstellung: bis 07.11.04

## WORKSHOPS:

Für Kinder von 5 bis 12 Jahren finden vom 31.10. bis 06.11. altersdifferenzierte  
Workshops zum Thema »Instrumentenbau« statt. Treffpunkt für alle Workshops im  
Kinderreich. Unkostenbeitrag : jeweils 3 Euro plus Museumseintrittspreis,  
Anmeldung: 089/2179-411

## VERANSTALTUNGEN:

### Die Bremer Stadtmusikanten

Am 31.10. um 11.00 Uhr und am 6.11. um 15.00 Uhr im Ehrensaal. In einer  
musikalischen Inszenierung zeigen Esel, Hund, Katze und Hahn, was man alles  
erreichen kann, wenn man Mut, Phantasie und vor allem gute Freunde hat.  
Eintrittspreis: 2 Euro, vorherige Anmeldung mit sofortiger Bezahlung im Kinder-  
reich oder vor Ort

### Die chinesische Nachtigall

Am 06.11. und am 07.11. jeweils um 11.00 Uhr in der Musiksammlung  
Dieses »Erzähltheater mit Musik« macht die Welt der Akustik auf phantasievolle  
Weise greifbar.  
Anmeldung unter 089/2179-411, Eintritt: normaler Eintrittspreis.

### Lieder für Kinder von 4 bis 14

Am 30.10. und am 31.10. jeweils um 15.00 Uhr im Ehrensaal  
In humorvoller Weise werden Werke der klassischen Musikgeschichte, z. B. von  
Franz Schubert, Johannes Brahms und Joseph Haydn den Kindern nahegebracht.  
Eintrittspreis: 2 Euro, vorherige Anmeldung mit sof. Bezahlung im Kinderreich  
oder vor Ort

### Mundmusik

Am 05.11. um 15.00 Uhr im Ehrensaal  
In dieser »Mitmach-Veranstaltung« geht es um viel Spaß bei ungewöhnlicher  
Mund- und Stimmakrobatik

## WEITERE ANGEBOTE

### Kinderführungen in der Musiksammlung

Für Kinder von 5 bis 7 Jahren: am 03.11. um 11.00 Uhr  
Für Kinder von 8 bis 10 Jahren: am 05.11. um 14.00 Uhr

### Mit Orff-Instrumenten experimentieren

Für Kinder von 5 bis 7 Jahren: am 02.11. um 12.00 Uhr  
Für Kinder von 8 bis 10 Jahren: am 06.11. um 14.00 Uhr

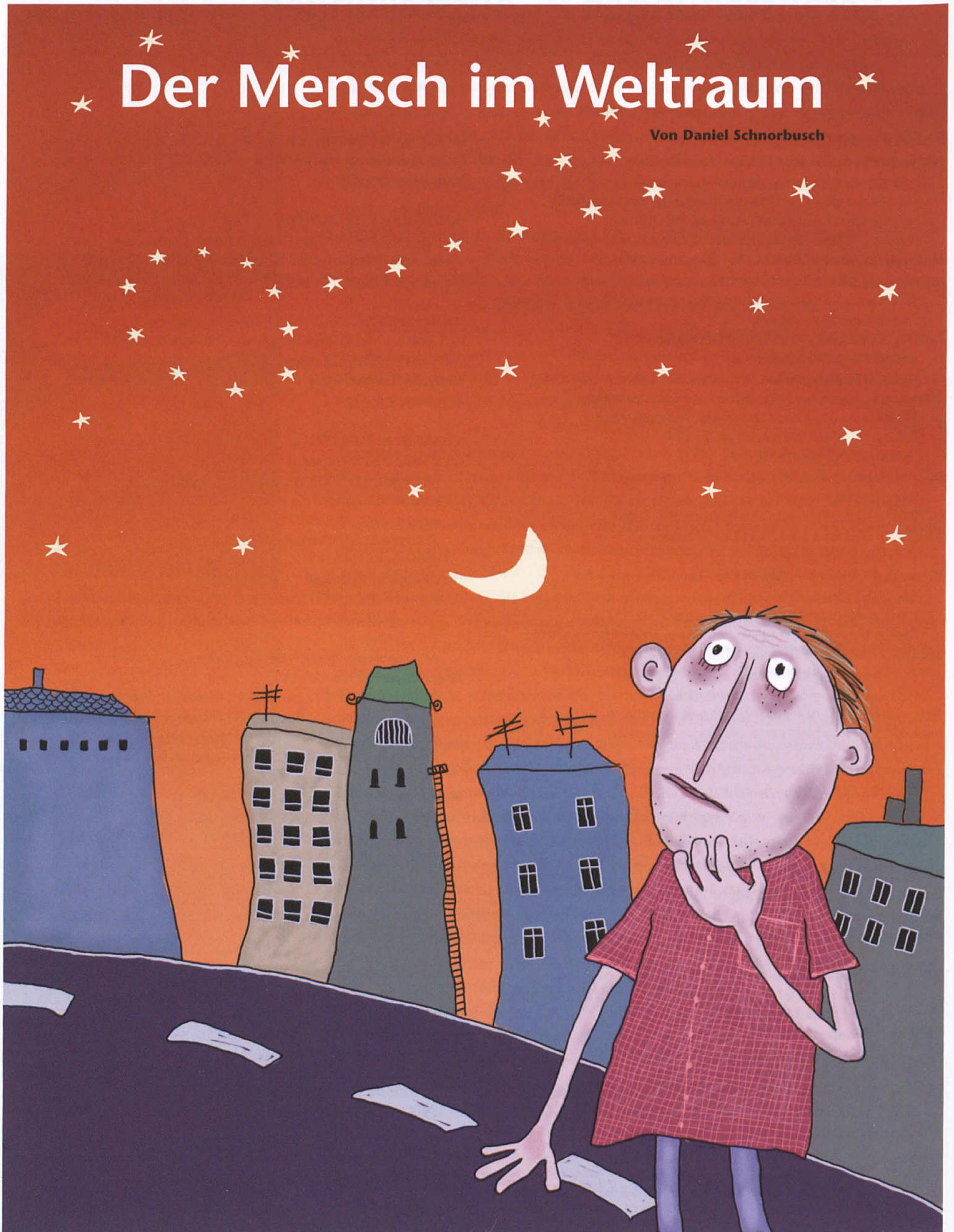
### Das Innenleben der Orgel erkunden

Für Kinder von 9 bis 12 Jahren: am 04.11. und am 05.11. jeweils um 12.00 Uhr

Anmeldung unter 089/2179-411, Eintritt: normaler Eintrittspreis,  
Treffpunkt Eingangshalle

## Der Mensch im Weltraum

Von Daniel Schnorbusch



Eigentlich glaube ich nicht an Astrologie. Astrologie, das ist etwas für verhuschte Ökotanten in selbst gebatikten Gewändern, die grünen Tee trinken, auf Dinkelkissen schlafen, ständig von positiven oder negativen Energien reden und die zugleich nicht die geringste Vorstellung davon haben, wie es denn kommt, dass man einen Schalter an der Wand drückt und daraufhin das Licht an der Zimmerdecke leuchtet.

Aber in dem Horoskop von Fräulein Schröders Lieblingsfrauenzeitschrift stand letzte Woche, die Dinge würden sich für mich insgesamt irgendwie sehr günstig entwickeln, mein Chef habe großes Vertrauen zu mir, ich würde unverhofft eine Reise machen und ziemlich sicher auf einen Menschen treffen, der seinen hohen Wert für mich unter schwierigen Umständen unter Beweis stellen werde.

Ehrlich gesagt, ich überlegte schon eine Sekunde oder auch zwei, wohin mich das Schicksal wohl führen würde, ob nach Bali oder Kuba, nach Teneriffa oder vielleicht Malibu. Ich träumte, mein Chef würde mir diskret einen Umschlag in die Hand drücken, würde mir jovial auf die Schulter klopfen und würde sagen: »Hier mein Lieber, damit Sie mal etwas ausspannen können. Sie arbeiten einfach zu viel.« Und in dem Umschlag: Tickets, Hotelbuchung und die Spesen für zwei Wochen in Saus und Braus. Ich bin an diesem Tag ziemlich beschwingt ins Büro gefahren, in der tollkühnen Gewissheit, dass auch mein Chef sein Horoskop gelesen haben würde. Und dieses musste ja – wenn denn alles seine kosmische Ordnung hatte – so einen Satz enthalten haben wie: »Geben ist besser denn nehmen.« Und wirklich, als ich eintraf, flötete die Sekretärin, ich möge gleich zum Chef kommen. Seltsamerweise standen da aber auch schon drei meiner faulen Kollegen herum. Der Boss saß wippend in seinem Ledersessel, blickte, als ich eintrat, demonstrativ auf seine Uhr, maulte »auch schon da?«, und zog intensiv an seiner Davidoff. Die Glut der Zigarre leuchtete, ihr Rauch hüllte ihn fast vollständig ein. Dann raunzte es aus dem Nebel heraus

»Ich brauche mal eben jemand, der den Job in Eching übernimmt.« Daraufhin stieß die Zigarre unversehens aus dem undurchdringlichen Dunst heraus, kreiste wie eine orientierungslose Kompassnadel ein paar Mal in der Luft herum und entschied sich schließlich dafür, mich für ihren Nordpol zu halten. Die Stimme meines Chefs hörte ich währenddessen sagen: »Sie da, Sie machen das. Tut Ihnen

## Das ewige Schweigen dieser unendlichen Räume erschreckt mich.

Blaise Pascal

mal ganz gut, an die Front zu kommen. He, he.« Ich werde jetzt kein weiteres Wort über die feixenden Gesichter meiner lieben Kollegen verlieren und ich werde auch nicht weiter darauf eingehen, wie ich mir von der mitleidig lächelnden Sekretärin Neuneurofünfzig für die S-Bahn-Streifenkarte aus der Handkasse habe auszahlen lassen und wie Eching so rein urlaubstechnisch rüberkommt. Ich will auch gar nicht im Detail darüber berichten, wie ich bis in die tiefe Nacht in einem kargen, neonbelichteten Büroraum gesessen habe und das dortige Softwareproblem aus weiß der Himmel für Gründen nicht gelöst bekam.

Dass ich am Ende die letzte S-Bahn verpasste und dass ich allein für die Kosten der Taxifahrt nach Hause locker mit Fräulein Schröder eine Woche nach Antalya hätte fliegen können, das wäre im Grunde auch keine weitere Erwähnung wert. Aber es war drei Uhr, als ich vor meiner Wohnung stand, meine Taschen nach meinem Schlüssel durchsuchte und ihn nicht fand. Es war drei Uhr drei, als mir klar wurde, dass mein Schlüssel in Eching in einem kargen und nun dunklen Büroraum lag, es war drei Uhr vier als mir einfiel, dass Fräulein Schröder auf ein Feng-Shui-Seminar nach Benediktbeuern gefahren war und mir nicht öffnen konnte, und es war vier Uhr sieben, als der Kombi vom Schlüsselnotdienst vor dem Haus hielt. Fünf Minuten später stand ich im Flur meiner Wohnung und wusste nun, dass, wer das Berufsziel Einbrecher

hat, nur zwei Wochen für einen Schlüsseldienst arbeiten muss. Das reicht völlig. Und man lernt da nicht nur das Türen-Aufknacken, Anleitung zur Straßenräuberei steht gleich mit auf dem Plan. Dieser Mensch, der in kaum mehr als drei Minuten meine zwei Sicherheitsschlösser aufgebohrt hatte, als wären sie Butter, verlangte für seine Dienste eiskalt zweihundertsiebenundfünfzig Euro

plus Mehrwertsteuer. Ich will gar nicht wissen, was in dessen Horoskop gestanden hat. Wahrscheinlich, dass er bald eine schöne Reise machen wird, wenn er jede Nacht zwei, drei schlüssellose Deppen abzockt ... Am nächsten

Abend kam Fräulein Schröder von ihrem Seminar wieder. Sie sagte: »Weißt du, dass wir dringend unsere Möbel umstellen müssen. Das Ch'i kann bei uns nicht richtig fließen.«

»Das Was fließt nicht richtig?« »Mein Gott, das Ch'iiiiii«, wiederholte sie, »das ist so eine ganz besondere chinesische Energie.« »Aha«, sagte ich. »Und wie, denkst du«, fragte ich beunruhigt weiter, »müssen wir jetzt unsere Möbel stellen?« »Völlig anders eben«, erläuterte sie. »Alles muss nämlich mit der göttlichen Himmelskonstellation übereinstimmen. Deine Bücherregale sind zum Beispiel viel zu hoch. Die müssten kleiner sein und sollten in der Küche neben dem Herd stehen. Dein Arbeitszimmer sollte das Schlafzimmer werden und die Abstellkammer wäre ein guter Platz für Deinen Schreibtisch.« Als ich aus meiner Ohnmacht wieder erwachte und in das Gesicht von Fräulein Schröder blickte, die mir hektisch Luft zufächerte, wusste ich eines ganz genau: Es gibt sie, die großen, dunklen Mächte in diesen unendlichen Räumen, es gibt sie wirklich. Sie schweigen nicht mehr. Sie haben es sich in den Köpfen meiner Mitmenschen bequem gemacht und sie sprechen durch sie. Und sie sind meine Feinde. ■■■

**DR. DANIEL SCHNORBUSCH** ist freier

Autor und Dozent für Theoretische Linguistik an der Ludwig-Maximilians-Universität in München.



Professor Wolfgang M. Heckl ist der designierte Generaldirektor des Deutschen Museums.

## MUSEUMS-VISIONEN

Mit dem Jahr 2005 bekommt das Deutsche Museum eine neue Leitung: Professor Wolfgang M. Heckl, Professor für Oberflächentopografie an der Ludwig-Maximilians-Universität ist der künftige Generaldirektor. Anlass genug für Kultur & Technik, sich wieder einmal dem Museum selbst zu widmen. Wo sieht Professor Heckl die Zukunft des Museums, welche Bereiche liegen ihm besonders am Herzen? Wir stellen Ihnen den neuen Chef vor. Die Finanzierbarkeit von Museumsaktivitäten wird auch für Wolfgang Heckl

eine wichtige Herausforderung sein. Kultur & Technik hat sich umgehört, welche – auch unkonventionellen Methoden – Museen entwickeln, um die notwendigen Gelder zu beschaffen. Wir berichten von Agenturen, die sich auf die Entwicklung neuer Konzepte für Museen spezialisiert haben und werfen einen Blick in den Untergrund des Deutschen Museums. Hier wird zur Zeit das marode Kanalsystem renoviert. Betroffen

sind davon auch die Depots, die ihre Schätze auslagern werden müssen.

Dies und viel mehr lesen Sie in der nächsten Ausgabe. Bis dahin wünschen wir Ihnen eine schöne Zeit!

Ihr Redaktionsteam



Säuberlich aufgereiht und beschriftet warten die Apothekerfläschchen im Depot auf ihren großen Auftritt.

## 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:**  
Gerhard Hartl

**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 Hiltz, 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. Zurzeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 20, Anzeigenschluss: 6 Wochen vor Erscheinen.  
**Repro:** Rehmsbrand, 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

