

GEO WISSEN

DIE WELT VERSTEHEN

www.geo.de

GEO WISSEN Nr. 33 Das Universum



URKNALL • STERNE • LEBEN

Die Geheimnisse des UNIVERSUMS

PANORAMA-KARTEN

Das Weltall
zum Aufklappen!

GEWINNSPIEL

Die Preise: Eine Reise nach
Chile und 16 Teleskope

ASTRONOMIE

Das moderne
Bild vom Kosmos

PLANETARIEN

Staunen im
Sternentheater

RAUMFAHRT

Aufbruch zu
fernen Welten

SCHÖPFUNG

Die Physiker
entdecken Gott

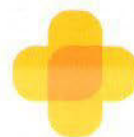
„Die schlechte Nachricht ist, dass immer noch zu viele Menschen an Darmkrebs sterben. Die gute: Sie können etwas dagegen tun! Gehen sie zur Darmkrebsvorsorge!“

Eva Herman

Darmkrebsfrüherkennung rettet Leben. Machen Sie mit!

Eva Herman hat auch mitgemacht! Die Felix Burda Stiftung ruft gemeinsam mit ihren Netzwerkpartnern den Darmkrebsmonat März aus. Möchten Sie mehr über Darmkrebsvorsorge wissen? Besuchen Sie uns im Internet unter www.darmkrebsmonat.de oder www.darmkrebs.de. Außerdem für Sie im Buchhandel erhältlich: „Gesundheit aus dem Darm“, erschienen im ZS Zabert Sandmann Verlag.

darmkrebsmonat märz 2004



gesund durch früherkennung
darmkrebs prävention



Liebe Leserin, lieber Leser,

Sie und ich rotieren – ohne dass uns schwindelig wird – mit rund 900 Kilometern pro Stunde um die Erdachse, unser Planet kreist mit mehr als 100 000 km/h um die Sonne, unser Sonnensystem mit 800 000 km/h um das Zentrum der Milchstraße. Wundersames Weltall.

Astrophysiker sind heute sicher, dass nur vier Prozent des Universums aus einer Stofflichkeit bestehen, wie wir sie kennen, also etwa Sternen, Bäumen und Menschen – alles übrige hingegen aus nicht sichtbarer Materie und Energie (Seite 50). Und sie gehen davon aus, dass ein unvorstellbar heißer Urknall vor fast 14 Milliarden Jahren Zeit und



Von Bord eines Space Shuttle aus wirkt die Erde zugleich entrückt und verletzlich

Raum erst erschaffen hat; dass aber schon bald darauf jene Eisenmoleküle entstanden sind, die heute in unseren roten Blutkörperchen lebenswichtigen Sauerstoff binden. Wundersames Weltall.

Den meisten Menschen erscheint der Kosmos seit jeher so überwältigend wie rätselhaft. Seit einiger Zeit allerdings vermelden Wissenschaftler entscheidende Durchbrüche. Etwa dank neuer Instrumente, die selbst noch feinste Nuancen im Rauschen des Urknalls auffangen. Kosmologie wird mehr und mehr zu einer präzisen Beobachtungs-Wissenschaft. Gleichwohl erscheint sie visionärer als jede politisch

motiviert Mission zum Mond oder zum Mars. Denn letztlich befassen sich die Forscher mit Ur-Fragen der Menschheit: Woher kommen wir? Wohin gehen wir?

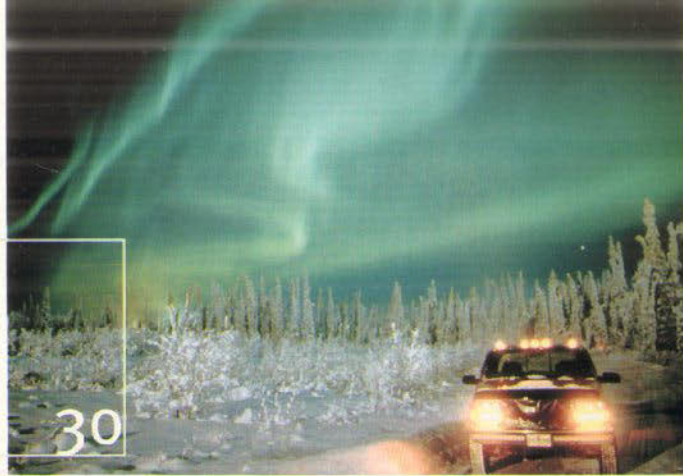
Wenn sie auch nicht im Weltall waren, so konnten sich manche Reporter für dieses Heft doch den Himmel auf die Erde holen. Torsten Engelhardt etwa hat sich im modernsten Planetarium Deutschlands, in Hamburg, die atemraubende Sternenshow angesehen – und zusammengetragen, was die anderen Großplanetarien hierzulande, in Österreich und der Schweiz zu bieten haben (Seite 112). Den Autor Tom Schimmeck hat die Redaktion buchstäblich in die Wüste geschickt, zur Sternen-Party nach New Mexico. Bei solchen Treffen fahren Hobby-Astronomen ihre Teleskope auf, fachsimpeln über Brennweiten, träumen von der Entdeckung eines Kometen – und lassen sich selbst in eiskalten Nächten nicht von stundenlanger Sternenbeobachtung abbringen (Seite 144).

Dass sich manch einer beim Blick in den Himmel fragt, ob das Universum nicht einem göttlichen Schöpfungsplan entsprungen sein muss, verwundert kaum. Eher schon, dass selbst nüchterne Naturwissenschaftler – wie der Report von Henning Engeln über religiöse Forscher zeigt (Seite 68) – ihre Profession mit dem Glauben an Gott durchaus vereinbaren können.

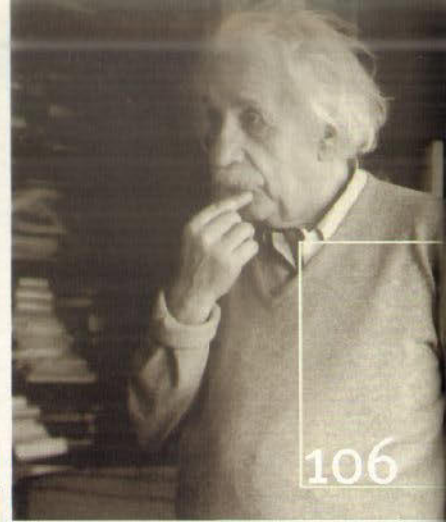
Herzlich Ihr

Claus Peter Simon
Claus Peter Simon

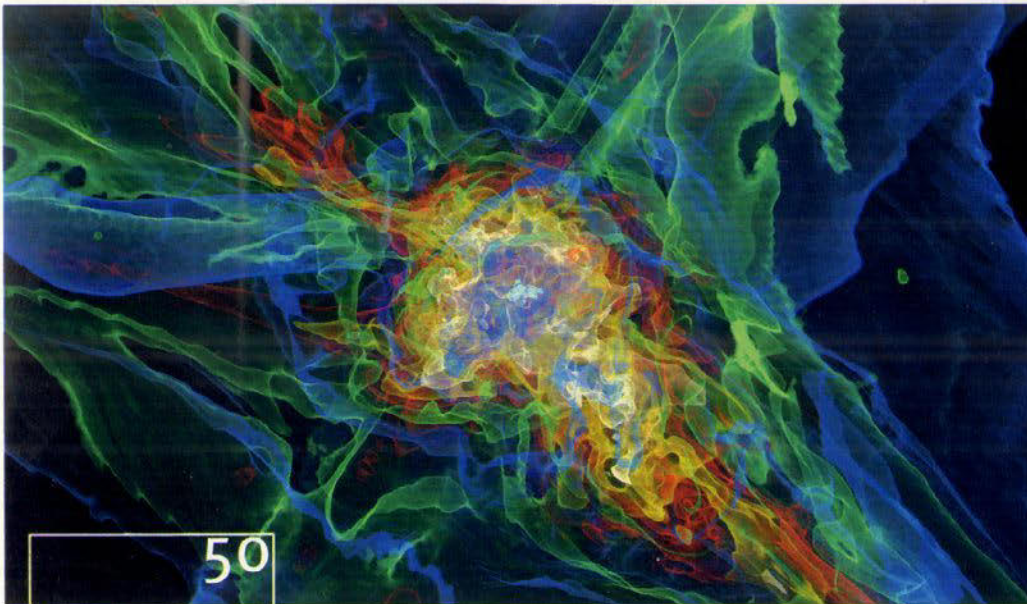
Ob Polarlichter, Gezeiten oder Asteroiden: Der **blaue Planet** ist den unterschiedlichsten **kosmischen Kräften** ausgesetzt. Manche von ihnen machen überhaupt erst Leben möglich, andere sind in der Lage, es auszulöschen



30

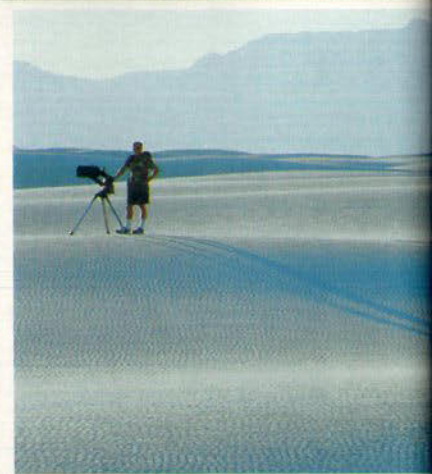


106



50

Astrophysiker ergründen immer genauer, was das **Universum** im Innersten **zusammenhält**. Neben Teleskopen sind dabei vor allem Computersimulationen wichtige Hilfsmittel



112

Im Liegesessel auf Zeitreise: Das neu eröffnete **Hamburger Planetarium** entführt seine Besucher auf einen atemberaubenden Ausflug vom Urknall bis in die Gegenwart

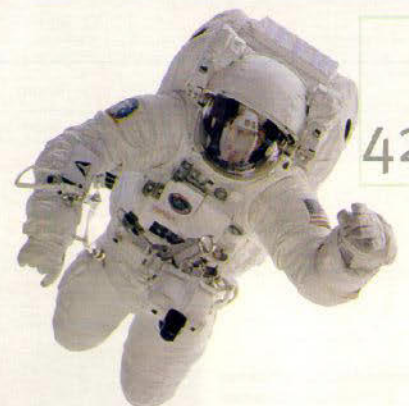


6

Leben **Außerirdische** in einem Paralleluniversum oder entgehen uns bloß ihre Signale? Die wichtigsten Gründe, weshalb wir ET noch nicht begegnet sind

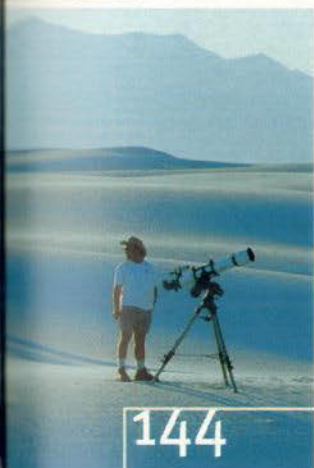


122



42

Selbst Albert Einstein ist an der **Weltformel** gescheitert. Seine Nachfolger versuchen bis heute, Relativitätstheorie und Quantenmechanik zu vereinigen. Als aussichtsreichster Ansatz gilt die Stringtheorie



144

Wenn sich **Hobby-Astronomen** zur Star-Party in der Wüste treffen, fahren sie schon am Tag ihre High-Tech-Teleskope auf – um sich nachts ganz ins Firmament zu vertiefen

Die farbenprächtigen **Fotos aus dem Weltall** sind nicht nur ein Genuss für das Auge – sie erzählen Geschichten vom Werden und Vergehen und zeigen uns die kosmische Vergangenheit

Das Überleben im luftleeren Raum hängt auch vom **Astronauten-Dress** ab. Frühe Modelle waren meist starr und unförmig. Für eine künftige Mars-Basis sollen Raumanzüge sogar modisch werden

EXPEDITION INS ALL 6

Eine Reise zum Anfang von Raum und Zeit

GEO-WISSEN-GESPRÄCH 24

»Je mehr wir vom Kosmos entdecken, desto weniger verstehen wir«

DIE MÄCHTE DES HIMMELS 30

Wie Sonne, Mond und Sterne das Leben auf der Erde beeinflussen

ANZÜGE FÜR ASTRONAUTEN 42

Gummihaut und High-Tech-Hülle

ASTRONOMIE 50

Das moderne Bild vom Kosmos

SCHÖPFUNG 68

Die Physiker entdecken Gott

PANORAMA-KARTEN 74

Das Universum zum Aufklappen

DIE ZUKUNFT DER RAUMFAHRT 84

Aufbruch in die Unsterblichkeit?

GEO-WISSEN-UMFRAGE 92

Auf zum Mars? Bloß nicht!

VON BABYLON BIS ZUM URKNALL 94

Die Geschichte der Astronomie

JAGD NACH DER WELTFORMEL 106

Forscher wollen alle physikalischen Phänomene mit einem einzigen Naturgesetz erklären

PLANETARIEN 112

Staunen im Sternentheater

AUSSERIRDISCHE 122

Theorien zur (Nicht-)Existenz von Aliens

DER RITT AUF DER BOMBE 134

Ein Plan aus dem Kalten Krieg: mit dem Nuklear-Raumschiff zum Mars

STERNSÜCHTIGE UNTER SICH 144

Star-Party in der Wüste White Sands

GEWINNSPIEL 156

Preise: eine Chile-Reise und 16 Teleskope

PORTRÄTS

Ehepaar Heinlein jagt die Meteoriten 40

Jill Tarter lauscht mit großen »Ohren« 104

Janna Levin zwischen Kunst und Kosmos 132

Sergej Krasnikow sucht das Wurmloch 142

WISSEN KOMPAKT

Die neue Teleskop-Generation 158

Psychostress bei Langzeit-Missionen 160

Bestattung im Orbit 162

Die Militarisierung des Weltalls 163

Auf der Jagd nach der zweiten Erde 165

Das Schicksal der Sonne 166

Kunst im Kosmos 168

Weltraum-Fotos: die Technik dahinter 170

Multimedia, Sachbücher, Bildbände 172

Glossar 174

EDITORIAL 3

BILDNACHWEIS 176

IMPRESSUM 178

VORSCHAU 178

GEO.de

Ergänzende Inhalte zu Heftthemen finden Sie bei GEO.de

www.geo.de

Titelbild: Orion-Nebel (Robert Gendler)
Redaktionsschluss: 18. Februar 2004




74

DAS UNIVERSUM ZUM AUFKLEBEN

Drei Panorama-Karten zeigen die Größenverhältnisse im Kosmos, veranschaulichen die Urknall-Theorie und präsentieren die Planeten unseres Sonnensystems





Der Orion-Nebel mit seinen rot leuchtenden Sternentstehungsgebieten liegt im gleichen Spiralarm der Milchstraße wie unsere Sonne. Junge, erst vor rund 300 000 Jahren entstandene Sonnen bevölkern diese Regionen. Vor allem am Rand des Nebels formen sich auch Planeten, auf denen vielleicht neues Leben entstehen wird

REISE ZUM ANFANG

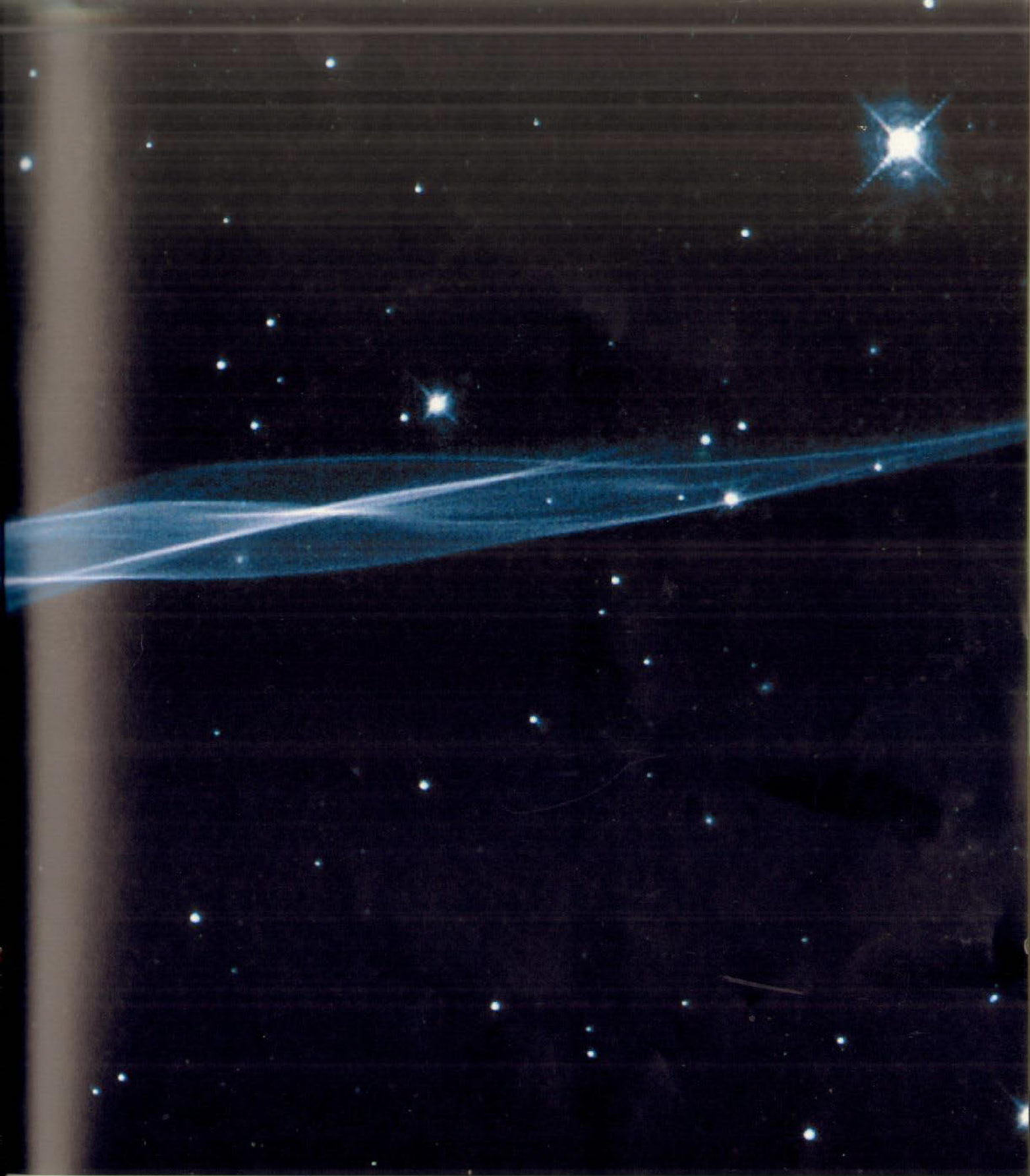
Astronomie ist kosmische Geschichtsforschung, der Blick in den Weltraum immer auch ein Blick in die Vergangenheit. Das Glimmen ferner Sterne und Galaxien enthält Botschaften, die mitunter Milliarden von Jahren unterwegs waren, bevor Teleskope sie auffingen. Nur wer diese Signale entschlüsselt, kann nachvollziehen, wie Materie, die Galaxien, unser Sonnensystem, die Erde und schließlich das Leben entstanden sind

VON RAUM UND ZEIT



Der kühl wirkende blaue Schleier ist eine Millionen Grad heiße Materie-Ansammlung im Sternbild Schwan, entstanden vor etwa 11 000 Jahren am Rande einer Explosionswolke wie der auf dem kleinen Foto. Die Sternenasche vermischt sich mit dem Wasserstoff und Helium des interstellaren Gases wieder zum Baustoff neuer Sonnen und Planeten





* In der Fachliteratur weichen die Entfernungsangaben der Himmelskörper voneinander ab, da die Bestimmungsmethoden lange Zeit ungenau waren.
GEO WISSEN berücksichtigt die derzeit zuverlässigsten Angaben, vor allem jene der astrophysikalischen Datenbank Simbad in Straßburg

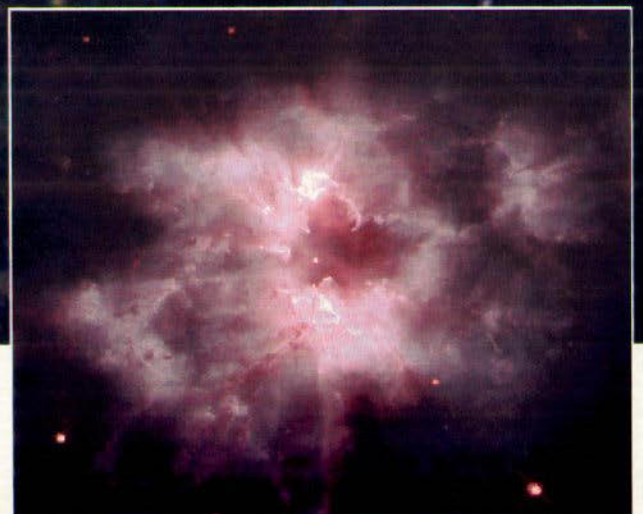
2500 Lichtjahre

KINDERGARTEN DER STERNE

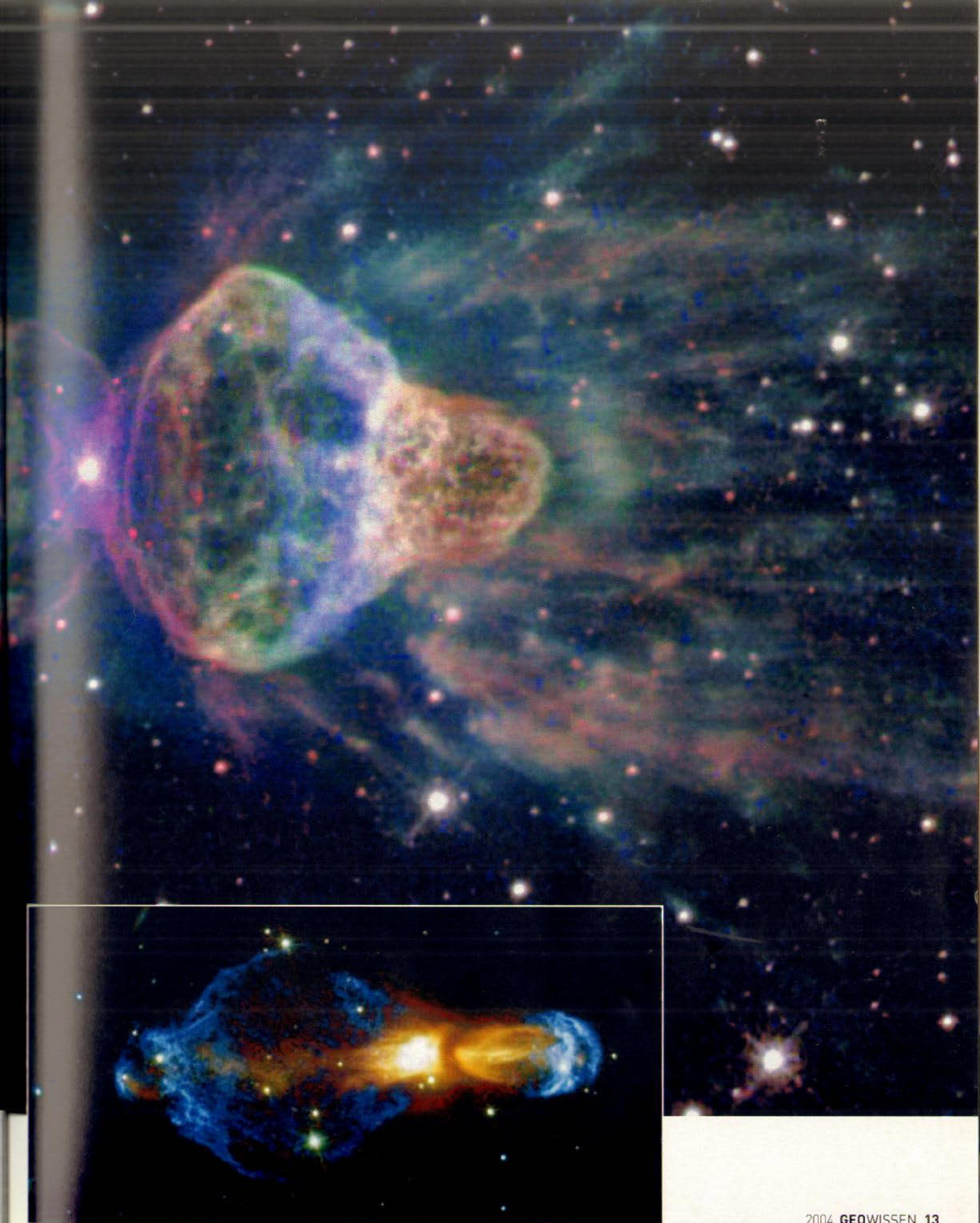


Im Krebs-Nebel hat die Strahlung unzähliger Jungsterne Wasserstoff zum Leuchten gebracht (rot). In einigen Regionen haben sich eisig kalte Dunkelwolken zusammengeballt. Sie enthalten derart viel Materie, dass dahinter befindliche Himmelskörper nicht zu sehen sind – bis auf den leuchtstarken Stern links oben, dessen Licht orangefarben durch die Wolken dringt





So wie der Stern in der Bildmitte wird in ferner Zukunft auch unsere Sonne enden: geschrumpft auf Erdengröße, als »Weißer Zwerg«. Ihre äußere Hülle stoßen solche Objekte als Billionen Kilometer lange Gasschleier ab – sie erscheinen mal spiegelsymmetrisch wie beim Ameisen-Nebel, mal kugelförmig oder unsymmetrisch (kleine Fotos)



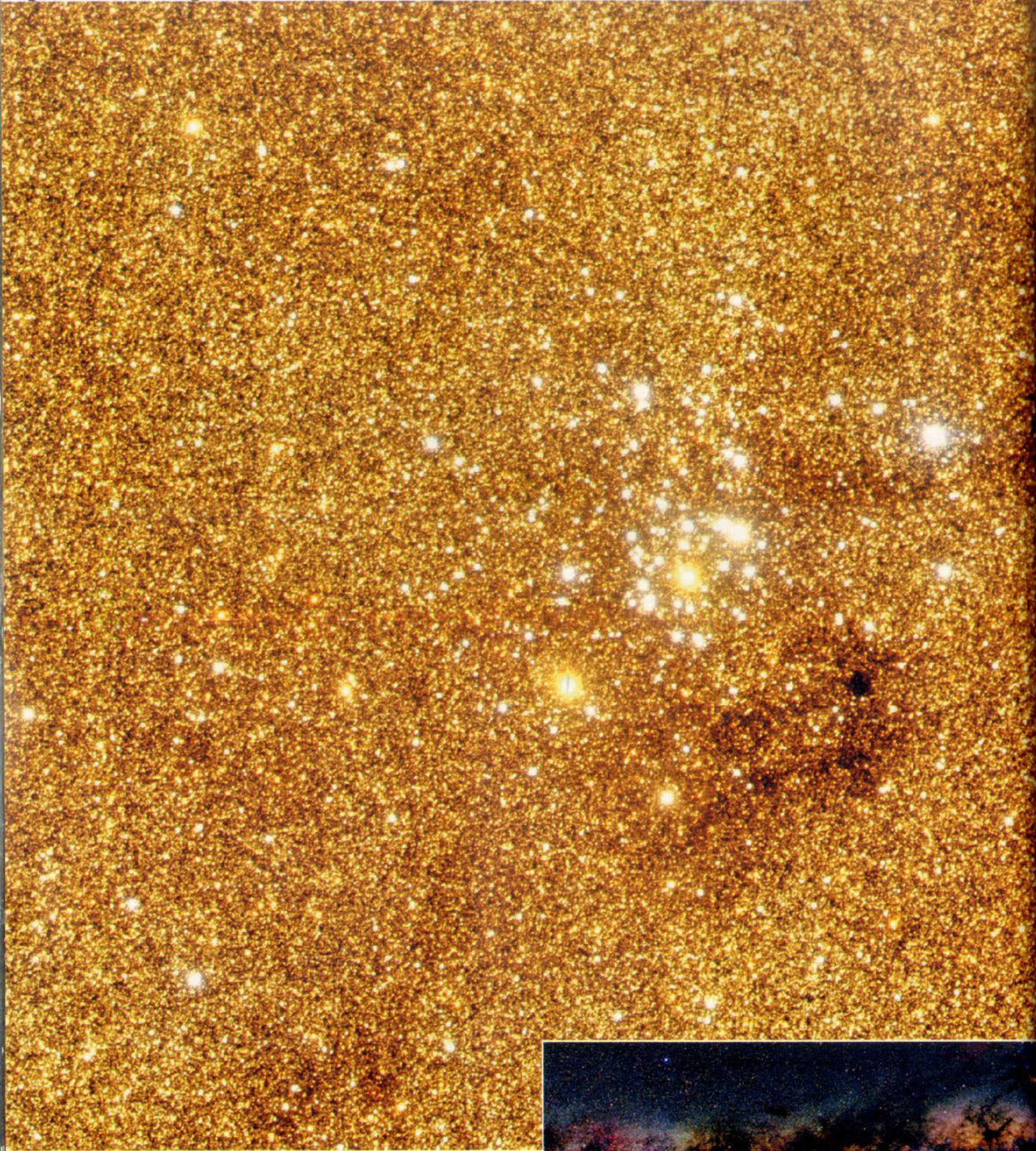


Der Adler-Nebel im Sternbild Schlange ist ein Gebiet mit hoher Sternengeburtsrate. Den Grundstoff für die neuen Himmelskörper liefern materiereiche Nebel. Die Aufnahme des Kitty-Peak-Teleskops in Arizona macht die Elemente Wasserstoff (grün), Sauerstoff (blau) und Schwefel (rot) sichtbar



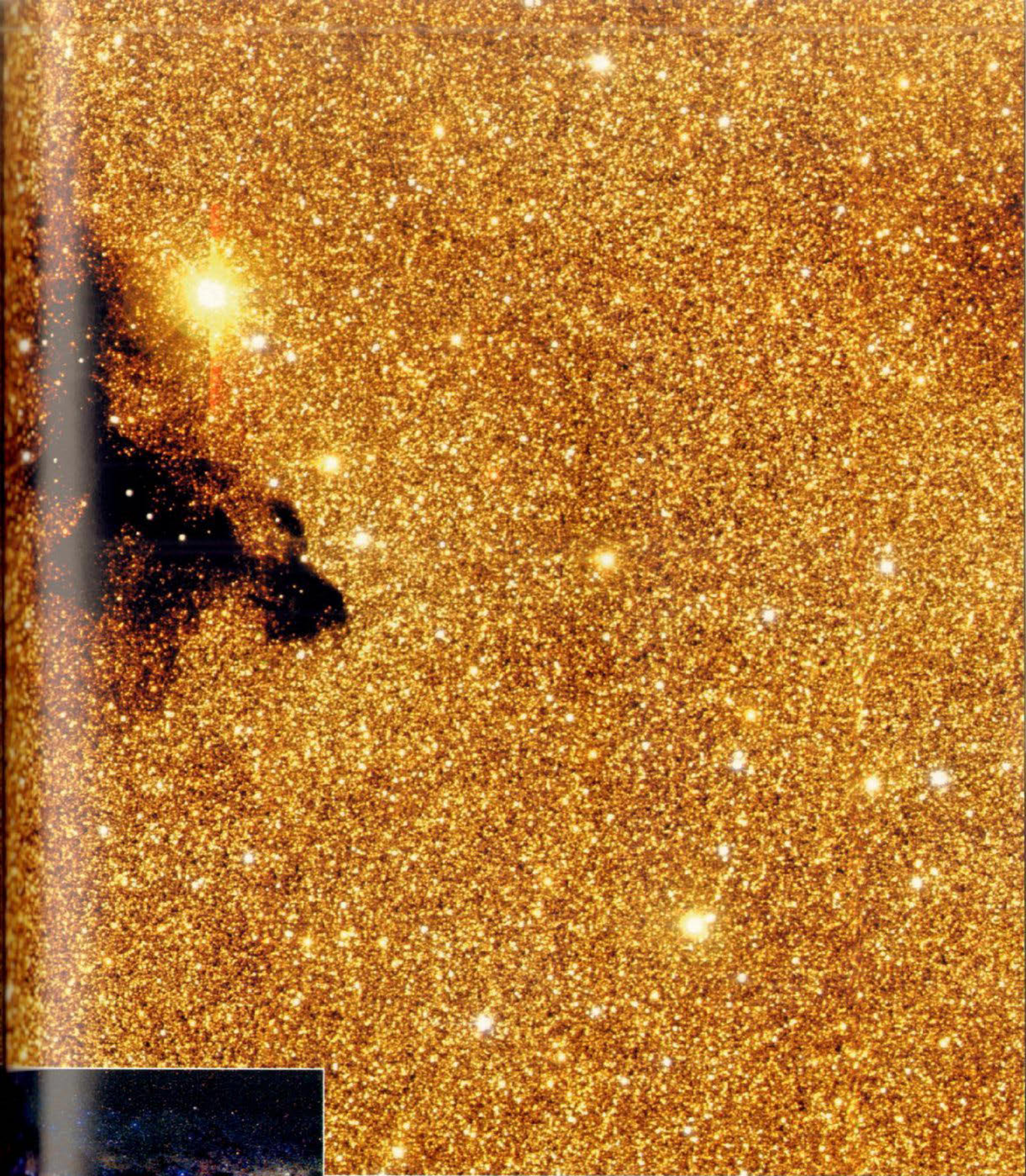
[28 000 Lichtjahre]

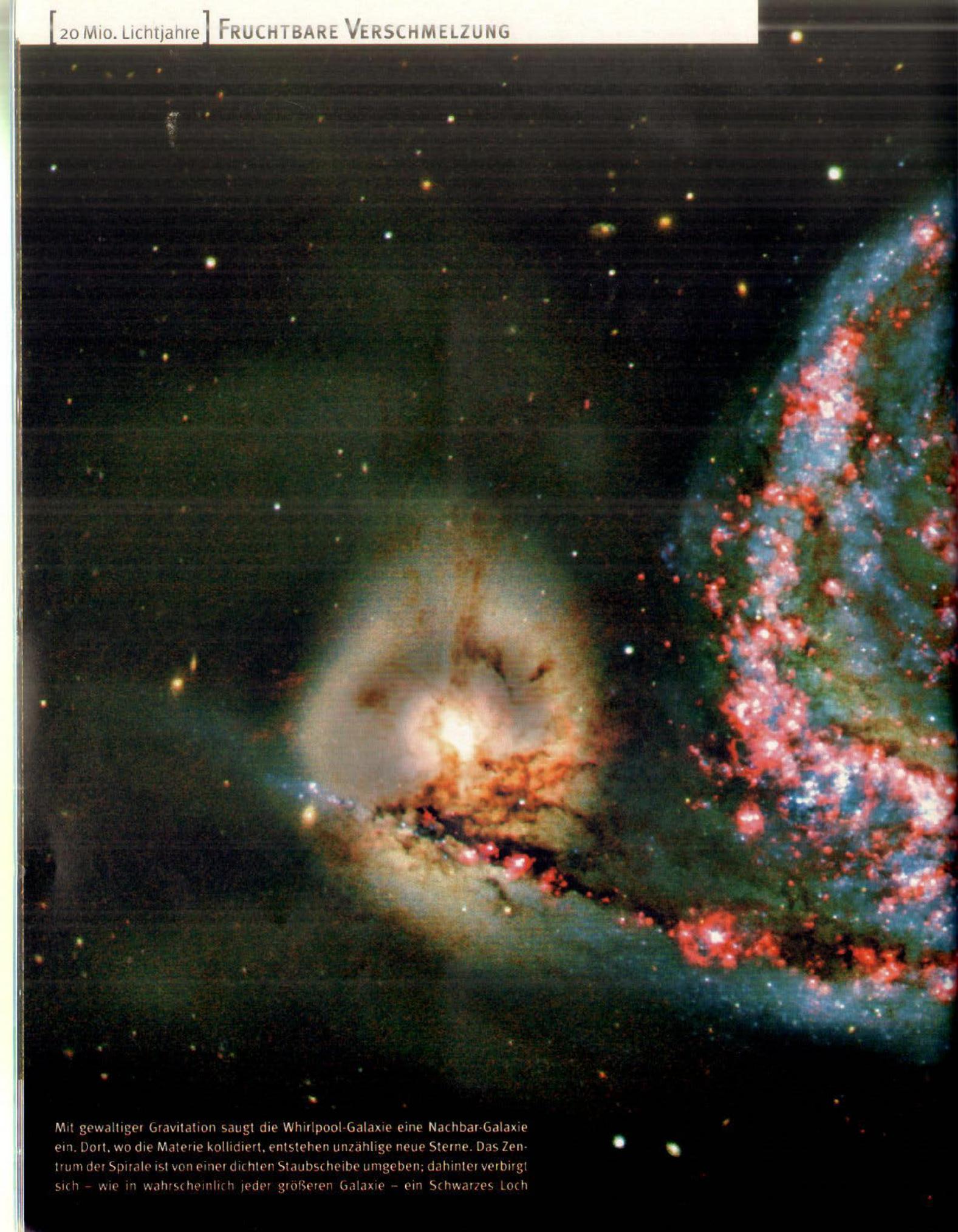
ALTERSHEIM IM HERZEN DER MILCHSTRASSE



Im Zentrum der Galaxis ballen sich Milliarden Sonnen zusammen. Vor den meist alten Himmelskörpern ist auf dem Foto des CFHT-Teleskops auf Hawaii eine ausgedehnte Dunkelwolke zu erkennen und ein Ensemble sehr heller, noch junger Sterne. In ganzer Breite betrachtet, sieht die Milchstraße wie eine Scheibe aus (kleines Foto)

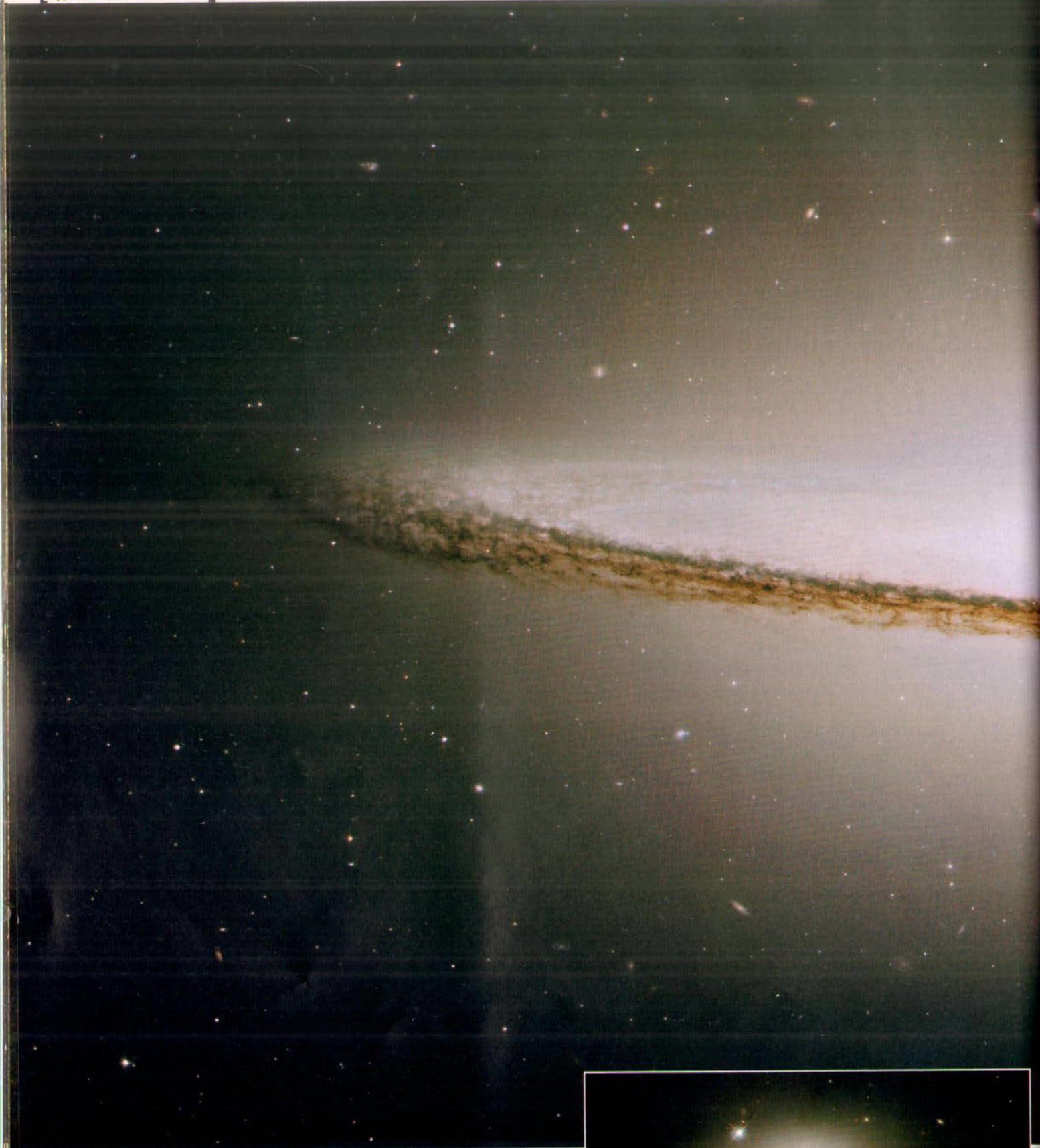






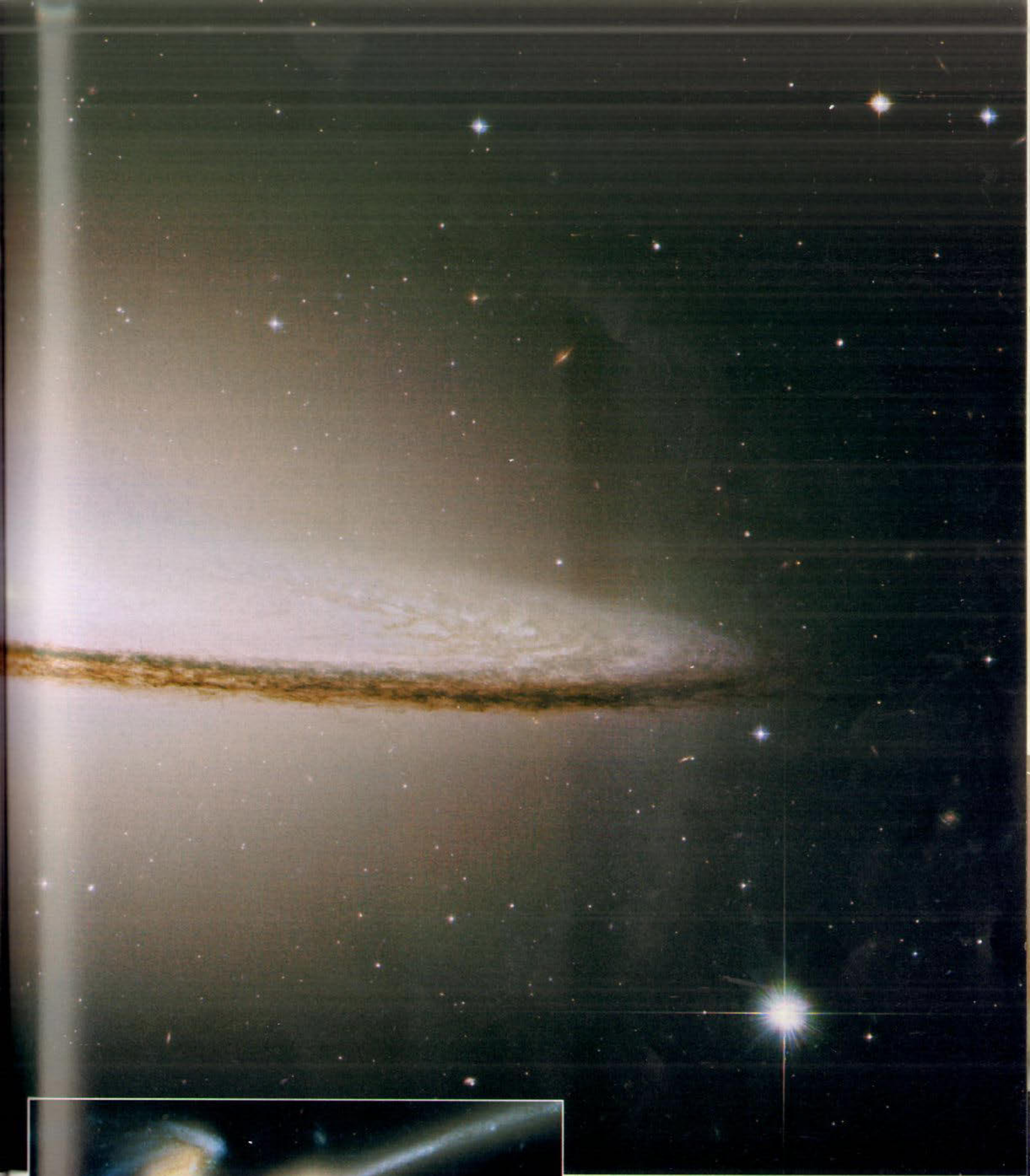
Mit gewaltiger Gravitation saugt die Whirlpool-Galaxie eine Nachbar-Galaxie ein. Dort, wo die Materie kollidiert, entstehen unzählige neue Sterne. Das Zentrum der Spirale ist von einer dichten Staubscheibe umgeben; dahinter verbirgt sich – wie in wahrscheinlich jeder größeren Galaxie – ein Schwarzes Loch





Schwerelos scheint die Sombrero-Galaxie durchs All zu schweben. Ihr kugelartiges Inneres wirkt transparent, ist aber eine Anhäufung von Milliarden sehr alter Sonnen. Der Ring hingegen besteht neben Sternen auch aus Gas und Staub. Nähert sich eine andere Galaxie, ist es mit der Ruhe vorbei: Der Ring gerät in Bewegung, oder es kommt zur Vereinigung (kleine Fotos)





13,4 Mrd. Lichtjahre

BOTSCHAFTER DES URKNALLS



Der bislang tiefste Blick ins All: Jene hellen Punkte, die auf dem etwa 50 Stunden lang belichteten Foto der Europäischen Südsternwarte in Chile wie Sterne aussehen, sind – bis auf wenige Ausnahmen – Galaxien. Viele von ihnen gehören zu den ältesten Objekten im Universum, bereits 280 Millionen Jahre nach dem Urknall entstanden





Die Wissenschaftler Wilhelm Vossenkuhl, Ernst Pöppel und Harald Lesch (v. l.) im Gespräch mit

WILHELM VOSSENKUHL (58)

ist Professor für Philosophie an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Zu seinen Schwerpunkten gehören die praktische Philosophie und angewandte Ethik

ERNST PÖPPEL (63)

ist Professor für Medizinpsychologie und geschäftsführender Vorstand des Humanwissenschaftlichen Zentrums an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Der Hirnforscher hat unter anderem das Buch „Grenzen des Bewusstseins. Wie kommen wir zur Zeit, und wie entsteht Wirklichkeit?“ verfasst

HARALD LESCH (43)

ist Professor für theoretische Astrophysik an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Im Bildungssender BR-alpha erklärt Lesch in seiner Astronomie-Reihe „Alpha Centauri“ Vorgänge im Universum

GEO: Von Albert Einstein ist der Ausspruch überliefert: „Das Unverständlichste an unserem Universum ist, dass wir es verstehen können.“ Man könnte auch den entgegengesetzten Eindruck gewinnen: Je weiter die Wissenschaft voranschreitet, je häufiger mysteriöse Dinge wie Dunkle Energie oder Dunkle Materie auftauchen, desto unbegreiflicher wird das Weltall. Wie sehen Sie das als Astrophysiker, Herr Professor Lesch?

HARALD LESCH: Einstein hat den Satz zu einem Zeitpunkt gesagt, als ein physikalischer Triumph den anderen jagte. Man konnte mit der Gleichung $E=mc^2$ plötzlich Masse in Energie überführen. Einsteins Feldgleichungen ergaben ein expandierendes Universum, und Edwin Hubbles Beobachtungen bestätigten das. Aus der Zeit heraus war Einsteins Aussage verständlich. Als magisch erschien weniger, wie die Welt ist, sondern dass sie ist – und warum etwa nicht Nichts ist. Aus heutiger Sicht haben Sie allerdings Recht: Je mehr wir vom Kosmos entdecken, desto weniger verstehen wir. Wir sehen nur diese leuchtenden Schiffe, die Galaxien und Sterne, haben aber wenig Ahnung von den Zusammenhängen. Kommt etwas Neues

ins Spiel, versteckt die Wissenschaft es in ihrer Hilflosigkeit hinter Begriffen wie Dunkle Energie.

ERNST PÖPPEL: Ich kann mit der Ausgangsfrage wenig anfangen. Sie zeugt von einem falschen Wissenschaftsverständnis. Für mich besteht Wissenschaft nicht daraus, Antworten zu geben, sondern Fragen zu stellen – zu entdecken, was es überhaupt wert ist, gefragt zu werden. Antworten werden dann vielleicht gefunden. Nehmen wir ein Beispiel aus der Kosmologie. Erst nachdem klar geworden ist, wie groß das Weltall ist, konnte die spannende Frage gestellt werden: Warum ist es nachts dunkel? Wegen der Abermilliarden Sterne müsste der Himmel doch selbst bei Nacht taghell sein.

WILHELM VOSSENKUHL: Die Menge an Wissen über den Kosmos hat zweifellos dramatisch zugenommen. Aber wie das Weltall selbst, so fliegt auch unser Wissen auseinander. Wir produzieren eine gewaltige Informationsflut über Detailprobleme. Forscher habilitieren sich heute über Fragen, die man vor 20 Jahren nicht einmal zu stellen gewagt hätte. Der Zusammenhang zwischen den Inseln des Wissens wird aber immer undurchschaubarer.

»Je mehr wir vom Kosmos entdecken, desto weniger verstehen wir«

FOTOS VON ENNO KAPITZA

Selbst Astrophysiker kapitulieren vor der Flut an Informationen. Das Universum ist noch viel rätselhafter als jemals angenommen, und für immer mehr Menschen verschwimmen die Grenzen zwischen Wissenschaft und Aberglauben

10-Mitarbeiterin Cornelia Stolze und GEO-Redakteur Claus Peter Simon

Welcher Physiker hat heute schon noch ein Bild von der Natur, vom Kosmos?

GEO: Ist das menschliche Gehirn womöglich nicht mehr in der Lage, die komplexen Einzelerkenntnisse zu einem großen Ganzen zusammenzufügen?

PÖPPEL: Die Frage, ob die Natur nicht begreifbar ist, weil sie prinzipiell nicht begreifbar ist oder weil unser Denkwerkzeug sie nicht begreifen kann, lässt sich nicht beantworten. Aber die Evolution, die unser Gehirn hervorgebracht hat, ist nicht in Gang gesetzt worden, damit wir über die Geheimnisse der Welt nachdenken oder gar den Ursprung des Kosmos erkennen, sondern damit wir überleben und uns reproduzieren. In dem Sinne ist Denken ein Luxusphänomen.

LESCH: Ich glaube dennoch, dass wir eine ganze Menge erkennen können. Dabei hilft uns zum Beispiel die Mathematik. In der Physik idealisiert sie die Dinge derart, dass sich der Kern einer Sache erfassen lässt. Die eisenharte Anwendung der Mathematik hat dazu geführt, dass wir Computer benutzen, Laserstrahlen erzeugen und zum Mond fliegen können. Die Atome um uns herum sind eben keine Individuen,

sondern alle gleich. Wenn man eine Rakete ins All schickt, sagen die Elektronen im Treibstoff nicht „Jetzt habe ich keine Lust auf ein höheres Energieniveau, ich warte mal bis morgen“. Wir sind darauf angewiesen, dass eine eiskalte Welt ohne Zweck und Gefühl existiert; ohne sie gäbe es uns nicht. Nur deshalb können wir viele physikalische Phänomene überhaupt begreifen. Insofern ist die Physik auch nicht in der Krise, nur weil sie die Dunkle Energie noch nicht richtig versteht.

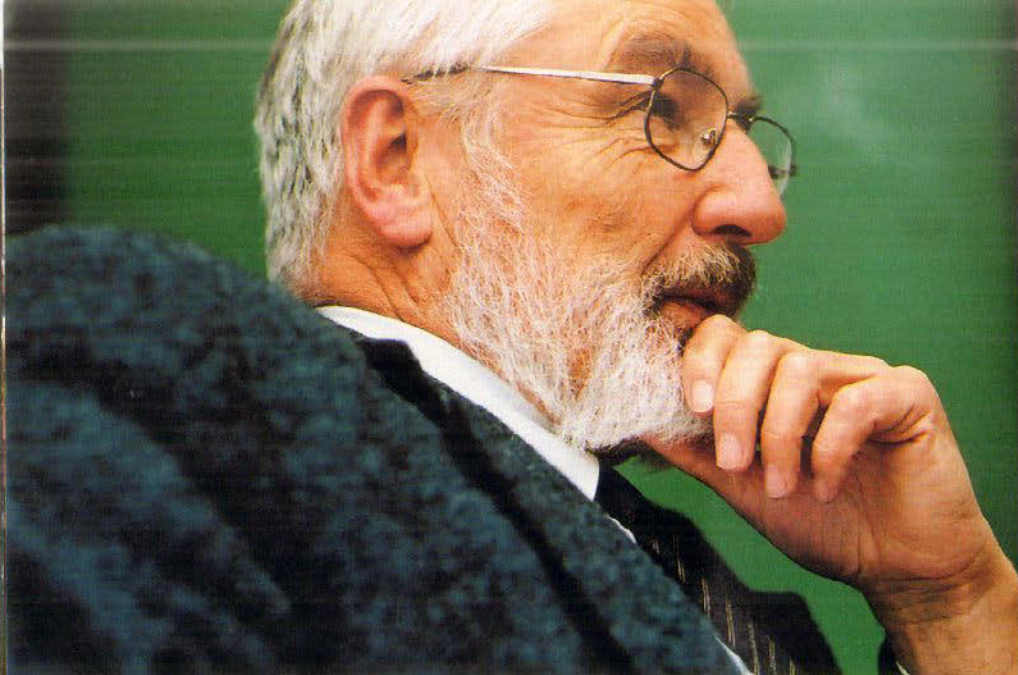
GEO: Inzwischen versuchen Astrophysiker sogar die erste Millisekunde nach dem Urknall zu erklären und stellen die Frage nach Gott. Haben Sie als Philosoph, Herr Professor Vossenkuhl, nicht die Befürchtung, dass die Kosmologie Ihnen die Deutungshoheit in Sachen Welterklärung abnimmt?

VOSENKUHL: Das ist längst passiert. Deutungshoheiten wechseln unentwegt. Die Philosophen haben viel von ihrer Kompetenz eingebüßt; sie können keine Mathematik mehr, keine Physik und keine Chemie; sie sind nicht mal mehr musikalisch und haben sogar die Frage nach Gott verloren. Aber manche dieser Kompeten-

zen kommen wieder zurück. Ein Physiker wie Harald Lesch kommt irgendwann an Punkte, wo das naturwissenschaftliche Instrumentarium nicht mehr ausreicht.

Wenn sich etwa die Frage stellt, was im konkreten Sinne Unendlichkeit ist. Oder was daraus folgt, dass in Millionen von Jahren mit ziemlicher Sicherheit wieder ein gewaltiger Meteorit auf der Erde einschlagen wird, der vielleicht alles Leben auslöscht. Der Philosoph kann dann mit dem Astrophysiker überlegen: Welchen Sinn hat Umweltschutz? Wäre es nicht besser, intensiv zu leben, ohne Rücksicht auf künftige Generationen? Die Philosophie sollte nicht immer mehr Wissen anhäufen, sondern verstehen helfen. Philosophen sollten wieder die Hebammenkunst pflegen, aus Menschen das Herauszuholen, was diese eigentlich wissen, von dem sie aber noch nicht wissen, dass sie es wissen.

LESCH: Wir reden uns oft die Köpfe heiß und lernen voneinander. Physik und Philosophie sind nicht weit voneinander entfernt. Physik ist nichts anderes als griechische Naturphilosophie mit viel mehr Geld. Die alte Frage von Parmenides „Kann etwas aus Nichts entstehen?“ ist die Frage nach dem Urknall. Und Demokrit hat ge-



Ernst Pöppel: Die Evolution hat das Gehirn nicht hervorgebracht, damit wir ...

sagt, dass es irgendwelche Teilchen geben muss, die unteilbar sind – das untersuchen heute Physiker.

GEO: Viele Nichtphysiker interessieren sich brennend für Fragen wie „Was ist außerhalb des Universums?“ oder „Was war vor dem Urknall?“. Was sagen Sie denen?

LESCH: Die Fragen interessieren mich auch. Aber es sind sinnlose Fragen, weil sich darauf prinzipiell keine Antworten finden lassen. Wie sollen wir mit wissenschaftlichen Methoden in Erfahrung bringen, was vor dem Urknall war, also vor dem Beginn von Zeit und Raum? Es ließe sich zum Beispiel behaupten, außerhalb des Universums

Fragen und Antworten nur im Rahmen eines Kontextes sinnvoll sind. Wer fragt „Was ist außerhalb des Universums?“, der nimmt an, dass es ein Außerhalb gibt. Ganz ähnlich in der Parapsychologie: Wer fragt „Wie funktioniert Telekinese?“, der definiert damit einen Kontext, in dem es Telekinese gibt. Aber das ist kein wissenschaftlicher Kontext. Daher sind solche Fragen Blödsinn.

GEO: Viele Menschen nehmen aber an, dass es Antworten auf fast jede Frage gibt. Hat der Rückzug der Religionen nicht ein gewaltiges Vakuum hinterlassen, das einerseits die Naturwissenschaften und vor

»Die Naturwissenschaften spielen eine entscheidende Rolle für die Verankerung des Menschen in der Welt«

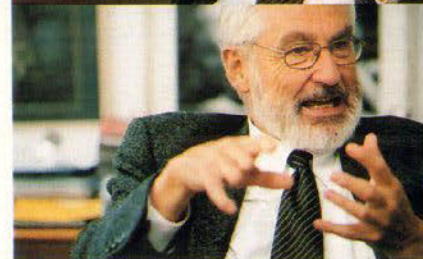
brüte ein großes Huhn Universen in Eiform aus. Das lässt sich genauso wenig beweisen oder widerlegen wie alle anderen „Antworten“ auf diese Frage. Das ist zwar unbefriedigend, aber sich an die Grenzen der Erkenntnis heranzutasten, das allein schon macht mir große Freude. Ich muss nur akzeptieren, dass ich bei manchen Fragen nicht mal in die Nähe einer Antwort kommen kann – das ist eine zutiefst menschliche Erfahrung.

PÖPPEL: Es müsste gegenüber der Öffentlichkeit deutlich gemacht werden, dass

allein die Kosmologie besetzen, andererseits aber die Parawissenschaften?

VOSSENKUHL: Vom Rückzug der Religionen lässt sich nicht sprechen, weil pro Tag etwa zwei neue entstehen, darunter natürlich viele Sekten. Weniger Zulauf haben die anstrengenden Religionen, die Buße und Umkehr predigen. Dieser Wandel geht einher mit der immer größeren Bereitschaft, parapsychologische Phänomene und Astrologie für bare Münze zu nehmen. Man fragt sich als Philosoph schon, wie es sein kann, dass mit der Zu-

nahme des Wissens auch die Bereitschaft zum Glauben an Unsinn zunimmt. Meine Antwort lautet: Wir haben es mit einer wachsenden Unbescheidenheit zu tun. Wir denken, wir wissen immer mehr und nehmen daher das Risiko in Kauf, auch an Unsinn zu glauben. Stattdessen sollten wir die alte Tugend der Bescheidenheit wieder entdecken. Skepsis ist das einzige Heilmittel bei diesem Schwachsinn. Wir brauchen so etwas wie eine neue Aufklärung!



... über die Geheimnisse der Welt oder den Ursprung des Kosmos nachdenken

LESCH: Die Unbescheidenheit wundert mich nicht, denn aus den Naturwissenschaften ist ein triumphales planetarisches Unternehmen geworden. Wir haben Dinge entdeckt und technisch umgesetzt, die unglaublich sind. Nach Grenzen wird nicht mehr gefragt. Das führt zu einer ungeheuren Erwartungshaltung, so als ob der Siegeszug bis in alle Ewigkeit fortgeschrieben werden könnte. Es geht ja längst nicht mehr darum, alles zu verstehen: Quantenmechanik und Relativitätstheorie sind, obwohl sie die Wirklichkeit abbilden,

weitgehend unverständlich. Warum sollten dann – so fragen sich viele Menschen – nicht auch Astrologie, Telekinese oder Telepathie möglich sein? Derartiger Hokus-pokus erscheint als logische Fortsetzung der Erfolgsgeschichte der Physik.

VOSSENKUHL: Ich glaube, es gibt für Laien tatsächlich keinen Unterschied in der Qualität von Quantenmechanik und Telekinese. Es ist Aufgabe der modernen Wissenschaften, dies aufzuklären,

PÖPPEL: Menschen neigen aufgrund ihrer Gehirnarchitektur zum Reduzieren von Komplexität. Da traditionelle Sinninstanzen auf wichtige Fragen keine Antworten mehr bieten, haben Kosmologie, Neurowissenschaft und Biowissenschaft einen Großteil der Deutungshoheit übernommen. Die Naturwissenschaften spielen plötzlich eine entscheidende Rolle für die Verankerung des Menschen in der Welt. Aber dann stellt der Mensch fest:

Auch dort erfahre ich nicht alles über mich und die Welt – und spätestens dann sucht er Zuflucht beim Paranormalen, unterscheidet es nicht mehr von Wissenschaft. Tatsächlich ist der Unterschied simpel: Wenn ich Zuflucht zum prinzipiell Nicht-erklärbaren nehme, bin ich außerhalb der Wissenschaften. Wenn ich aber zugebe, dass ich Dinge nicht oder noch nicht wissen kann, bewege ich mich im Bereich des eventuell Beantwortbaren. Dann bin ich auf der richtigen Seite. Unerträglich ist für mich, wenn jemand darauf verzichtet nachzudenken. Das ist die Zuflucht von Menschen, die sagen: Ich kann die Dinge nicht begreifen, aber es wird schon so sein.

LESCH: Wenn den Wissenschaften eine derartige Deutungsmacht zugebilligt wird, müssen Wissenschaftler darauf reagieren. Studenten wollen zu Recht wissen, mit wem sie es zu tun haben, welche Position ein Forscher angesichts seiner Erkenntnisse einnimmt. Wenn ich etwa an der Hochschule für Philosophie in München ein Seminar über die Stellung des Menschen im Kosmos gebe, muss ich mich als Wissenschaftler entscheiden, beispielsweise sagen „Die Welt ist eine Art Seifenblase aus einem Quantenseifenschaum“ oder „Es gibt einen Designer“. Ich oute mich als einer, der an einen Designer glaubt. Ich halte es für vernünftig, an Gott zu glauben. Wenn alle das tun würden, würde die Gesellschaft dem Irrationalen nicht so hinter-

herrennen. Anders als in den USA hält man sich hierzulande mit persönlichen Ansichten aber meist stark zurück. Das finde ich schlimm. Studenten sind froh, wenn sie merken, dass ihr Professor mit den gleichen Fragen kämpft wie sie. Der Hang zu den Parawissenschaften auch bei Gebildeten hat nicht zuletzt damit zu tun, dass einem vermeintliche Patentrezepte etwa für Lebenskrisen angeboten werden.

VOSSENKUHL: Mich wundert die Flucht ins Irrationale nicht. Menschen, die in der Wissenschaft etwas werden wollen, haben oft Sorge, ob ihnen das gelingt. Sie würden manchmal alles dafür geben, wenn sie etwas entdecken würden, was eigentlich unwahrscheinlich ist. Insofern hat Angst eine große Kraft, Menschen dazu zu bewegen, an Dinge zu glauben, an die sie nüchtern betrachtet nicht glauben würden. Ich weiß nicht, wer von Ihnen Lotto spielt ...

PÖPPEL: Jede Woche!

VOSSENKUHL: ... obwohl jeder weiß, wie klein die Chance auf einen Millionen-gewinn ist, gibt man dennoch Geld dafür aus. Diese Art von rationaler Irrationalität ist die Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Wahnsinn.

GEO: Ist es nicht gerade diese Suche nach Stimmigkeit, nach Erklärungen für das Unerklärliche, die sich in der Faszinationskraft der Kosmologie widerspiegelt?

PÖPPEL: Der Mensch muss sich permanent erklären. Wir können nicht im Belieben bleiben. Wir konstruieren ununterbrochen ein Szenario der Stimmigkeit und erfinden Ursachen. Die Makrowelt und die Mikrowelt sind uns aber beide nicht unmittelbar zugänglich. Daher war es beispielsweise zur Zeit von Galileo eine unglaubliche Leistung, etwas für stimmig zu

Wilhelm Vossenkuhl: Die Bereitschaft zur Flucht ins Irrationale nimmt zu





Wilhelm Vossenkuhl: Die Tugend der Bescheidenheit wieder entdecken

halten, was man nur durch ein Teleskop sehen konnte. Bis dahin hielten die Menschen für wahr, was sie direkt sehen oder hören konnten. Und dann kommt plötzlich ein italienischer Professor namens Galileo, der baut etwas, durch das ich schauen muss; und dann soll ich glauben, was ich dort sehe. Es war eine ungeheure Kraftanstrengung für das Abendland – und vor allem für die Kirche –, dies zu akzeptieren. Das ist ohnehin eines der Probleme von Wissenschaft: Warum soll ich ihr glauben und nicht irgend etwas anderes? Wir haben mittlerweile ein kosmologisches Weltbild, aber sicher sind wir nicht. Wir entwickeln

GEO: Mindestens ebenso erstaunlich dürfte es für den normalen Verstand sein, dass die Kosmologie uns letztlich nichts über das derzeitige Universum verrät, sondern nur über das vergangene. Und je tiefer wir ins All schauen, desto tiefer blicken wir in die Vergangenheit – einfach weil das Licht so lange unterwegs ist.

LESCH: Wie es derzeit im Universum aussieht, können wir tatsächlich nicht wissen. Aber keine Sorge, das Weltall ist eher in einem ruhigeren Zustand als früher. Alles breitet sich schön aus. Andromeda-Galaxie und Milchstraße fliegen zwar mit 100 Kilometern in der Sekunde

»Der Blick in den Kosmos zeigt die Relativität unseres Lebens, die Abhängigkeit und Verwundbarkeit«

gigantische Teleskope, aber auch die können nur einen Teil der Wirklichkeit erfassen.

LESCH: Ich bin nicht so skeptisch gegenüber der Aussagefähigkeit gesammelter Daten. Es war ja zum Beispiel bei der kosmischen Hintergrundstrahlung so, dass die Theorie klipp und klar vorausgesagt hat, dass es sie gibt und wo es sie gibt – und dann hat man sie in Übereinstimmung mit der Theorie gemessen. Dieses perfekte Zusammentreffen hat selbst die Theoretiker überrascht. In dem Fall lässt sich schon sagen, dass die Wissenschaft etwas verstanden hat.

aufeinander zu – aber es wird noch einige Milliarden Jahre dauern, bis es zu einem gewaltigen Crash kommt. Andererseits ist es absolut faszinierend, dass wir technische Möglichkeiten haben, dies herauszufinden und selbst Strahlungen aus der Krabbelstube des Universums beobachten können. Zu der Zeit sieht man schon die Keime einer Strukturbildung, die letztlich dazu geführt hat, dass sich auf mindestens einem Planeten Großhirnrinden Gedanken darüber machen, was die Welt im Innersten zusammenhält.

GEO: Wie hat das moderne Bild des Kosmos – Unendlichkeit, Ausdehnung, Urknall – Ihr Bild vom Menschen geprägt?

VOSSENKUHL: Der Kosmos mahnt zur Bescheidenheit. Er gibt uns nicht die Lizenz, ein unethisches Leben zu führen. Der Blick in den Kosmos zeigt die Relativität unseres Lebens, die Abhängigkeit und Verwundbarkeit.

PÖPPEL: Alles Denken über die Natur und den Menschen kann ich mir ohne kosmologischen Bezug nicht vorstellen. Wir sind Akteure in einem Prozess, aus dem ich als Mensch heraustreten und staunen kann: Wie das Universum geworden ist; dass es in uns eine Erbsubstanz und ein Gedächtnis gibt, die Informationen von früher für das Leben von morgen festhalten. Dieses Staunen macht uns neugierig und treibt uns zur Erkenntnis; und das Heureka-Gefühl, das sich dann

manchmal einstellt, ist wunderbar. Die Verbindung der Wissenschaften vom Hirn und vom Kosmos wird auch deutlich bei der Frage nach dem Ursprung: „Die Welt hat es immer gegeben“, nahm Aristoteles an. „Die Welt ist erschaffen worden“, steht in der Bibel. Und die modernen Naturwissenschaften sagen: „Die Welt ist entstanden.“ Das Bild der Entstehung gibt es erst seit 200 Jahren, denn man musste erst einmal die Frage entdecken, ob die Welt überhaupt etwas Entstandenes sein könnte.

LESCH: Für mich ist die Kosmologie ein Blick in den Spiegel. Da schaut eine Kohlenstoffeinheit – ein Mensch – in das Universum hinein und stellt fest: Je tiefer ich in den Spiegel schaue, desto klarer wird, woher wir kommen, wie eng unsere Verknüpfung mit dem Kosmos ist. Wie der Dichter Novalis gesagt hat: Wir sind Sternenstaub. Was das Menschenbild betrifft, so ist die Kosmologie eine sehr beruhigende Wissenschaft. Es hat etwas ungeheuer Liebenswertes, zu erfahren, was der Kosmos sich für eine Arbeit gemacht hat, an dieser Stelle Leben zu ermöglichen. Die Erde ist ein ganz besonderer Platz im Universum, und die Menschen sind ganz besondere Lebewesen, jeder ein Unikat. Man kann kosmologisch die Einmaligkeit jedes Menschen ableiten. Dieses Gefühl der Einzigartigkeit verstärkt sich, je länger ich mich mit dem Kosmos beschäftige. Wenn ich dann sehe, was Menschen alles auf

dem Planeten anstellen, etwa die Veränderung des Klimas, dann kann ich nur sagen: Finger weg. Zug fahren statt fliegen.

GEO: Hat die Menschheit, um ihr Überleben als Spezies zu sichern, die Pflicht, in den Weltraum aufzubrechen?

VOSENKUHL: Von einer Pflicht kann keine Rede sein, aber die Menschen suchen immer nach neuen Lebensräumen. Die



Harald Lesch: Ein Flug zum Mars wäre ein fantastisches Symbol...

Frage danach wird sich – so noch jemand da ist, der fragen kann – irgendwann von ganz alleine stellen, weil das Leben auf der Erde aufgrund der sich aufblähenden Sonne nicht mehr sehr angenehm sein wird.

PÖPPEL: Ins All aufzubrechen, um den Fortbestand der Spezies zu sichern, halte ich für Blödsinn. Warum ist Kolumbus in See gestochen? Es gehört einfach zur menschlichen Natur, unterwegs zu sein, die Welt auch von außen zu betrachten.

LESCH: Zum Mars zu fliegen wäre ein fantastisches Symbol. Nicht um dort besondere wissenschaftliche Leistungen

zu vollbringen. Aber es wäre ein wahrhaft globales Unternehmen, das selbst die USA nicht alleine leisten könnten. Was immer die Apollo-Missionen wissenschaftlich gebracht haben – es ist uns damals klar geworden, dass es einen Platz im Universum gibt, der das Zuhause aller Menschen ist. Bei Apollo 13 haben Menschen auf dem Tiananmen-Platz um die amerikanischen Astronauten gebangt, genauso wie in Moskau oder auf dem Petersplatz. Es gab für kurze Zeit das Gefühl, dass wir alle in einem Boot sitzen. Vom 20. Jahrhundert werden viele grausame Bilder bleiben, aber nur wenige positive Dinge, die wir unseren Kindern und Kindeskindern gern erzählen. Eines davon ist die Mondlandung. Eine Mars-Mission wäre ein ähnlicher Aufbruch.

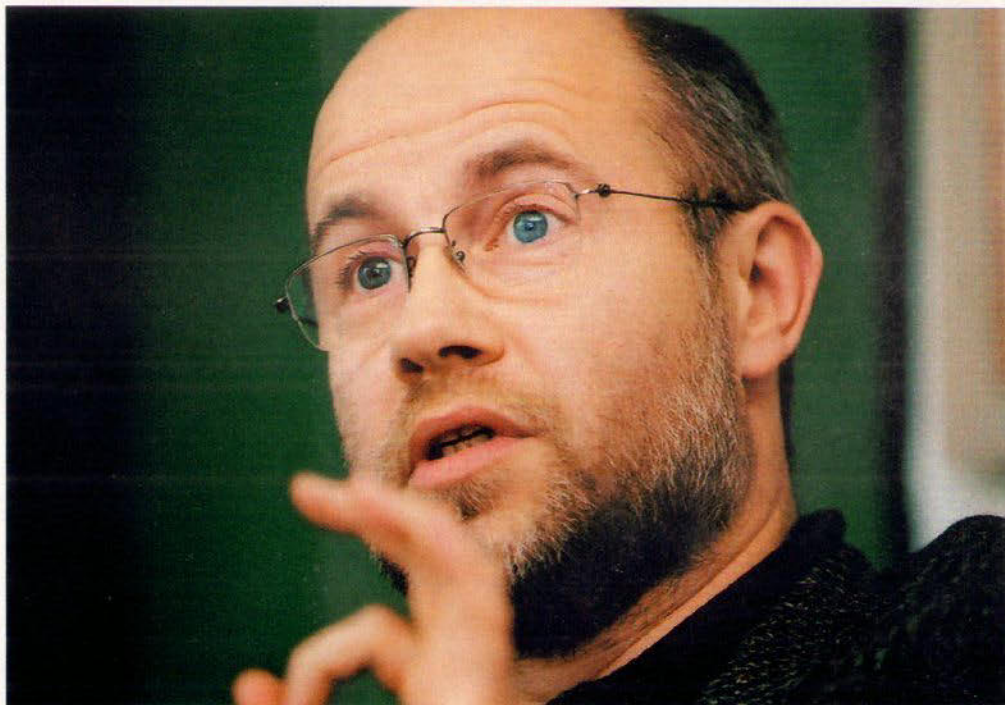
GEO: Wenn Sie 100 Jahre weiterdenken – werden wir dann womöglich ein vollständig anderes Bild vom Kosmos haben?

LESCH: Quantentheorie und Relativitätstheorie kann man nicht noch einmal erfinden. Der Kosmos wird in 100 Jahren nicht plötzlich ganz anders aussehen; die Sterne sind auch noch da. Wir werden aber

hoffentlich besser verstehen, wie die wichtigen Kräfte zusammenhängen, womöglich die beiden Theorien zu einer Weltformel vereinen. Wahrscheinlich können wir in 100 Jahren kaum noch tiefer ins All schauen. Wir werden uns dann mehr mit den komplexen Erscheinungen vor unserer Haustür beschäftigen, etwa mit der Entstehung von Sternen und Planeten, die sich in einer Entfernung von nur einigen hundert Lichtjahren beobachten lässt.

PÖPPEL: Wir zelebrieren unsere Art von Wissen als die einzig Mögliche. Aber ich kann mir durchaus eine Welt vorstellen, vielleicht schon in 20 Jahren, in der das Paradigma Wissenschaft überhaupt nicht mehr gültig ist. Es könnte ein völlig neues Wertesystem entstehen, etwa ein religiöses. Wir leben in einer sehr instabilen Welt. Wir haben nicht den Hauch einer Ahnung, was passieren wird – und ich kann mir eine Welt in 100 Jahren denken, aus deren Perspektive die Zeit heute und ihre darin gewonnenen Erkenntnisse nur eine Episode waren. Vielleicht interessiert niemanden mehr, was im Universum vor sich geht. Oder die Kosmologie wird zu einer verbotenen Wissenschaft. □

... für die Einheit der Menschheit – ähnlich der ersten Mondlandung



Sonnenwinde legen Stromnetze lahm, Gezeiten geben das Signal zur Fortpflanzung, Asteroiden verwüsten ganze Landstriche – die Erde und ihre Bewohner sind den unterschiedlichsten außerirdischen Einflüssen ausgesetzt. Manche ermöglichen erst das Leben, andere haben die Macht, es zu zerstören

Vom Himmel hoch, da kommt



Polarlichter, wie sie etwa über der Winterlandschaft Alaskas aufleuchten, sind eine so farbenprächtige wie harmlose Folge von Sonnenwinden. Gefährlich können deren energiereiche Partikel jedoch für Astronauten bei Weltraumspaziergängen werden – und sie erhöhen die Strahlenbelastung bei Flügen in den Polregionen



es her ...

VON ALEXANDRA RIGOS

Seit Jahrtausenden glauben Menschen daran, dass der Lauf der Gestirne ihr Schicksal bestimmt. Kaum eine Zeitung in Europa und Amerika kommt ohne das Tageshoroskop aus. Viele Inder und Chinesen riskieren es nicht, eine Geschäftsreise oder die Hochzeit ihrer Kinder zu planen, ohne einen Astrologen zurate zu ziehen. Und selbst ein aufgeklärter Staatsmann wie Frankreichs Ex-Präsident François Mitterrand soll vor wichtigen Entscheidungen seine Sterndeuterin befragt haben.

Der hartnäckige Glaube an die Macht der Himmelskörper ist umso erstaunlicher, als die Wissenschaft bislang nicht den geringsten Hinweis darauf finden konnte, dass die Konstellation der Gestirne Einfluss auf das Leben des Menschen hat. Doch zumindest in einem Punkt liegen die Horoskop-Gläubigen richtig: Die Erde ist den verschiedensten Kräften des Kosmos ausgesetzt. Manche prägen das tägliche Leben auf unserem Planeten, anderen verdankt die Erde manch unerwartete Wendung ihres Schicksals – wenn auch ganz anders, als es sich Astrologen vorstellen.

So offensichtlich, dass wir ihn kaum noch als außerirdisch wahrnehmen, ist der Einfluss der Sonne: Ohne ihr Licht und die Wärmestrahlung gäbe es kein Leben auf der Erde; ohne ihre Schwerkraft trudelte unser Planet als toter Gesteinsbrocken durchs All. Andere Facetten der Sonnenmacht sind unseren Sinnen unzugänglich. So prasselt ständig ein Schauer verschiedenster Teilchen auf die Erde: geisterhafte, fast masselose Neutrinos, die unseren Körper in jedem Moment milliardenfach durchdringen, ohne Spuren zu hinterlassen; schwerere Teilchen des Sonnenwinds und extrem energiereiche Protonen, die mitunter die Bewegungsenergie eines Tennisballs haben.

Bis vor wenigen Jahrzehnten machte sich jene der Sonnenkorona entspringende, elektrisch geladene Armada von Teilchen praktisch nur als Polarlicht bemerkbar. Abgelenkt durch das Magnetfeld der Erde, sickern vor allem Protonen und Elektronen an den Polen ein – dort, wo der magnetische

Schirm durchlässig ist. In der Erdatmosphäre stoßen sie mit Gasmolekülen zusammen, die dadurch einen Energieschub erhalten, den sie in Form von Licht abstrahlen; Sauerstoff leuchtet manchmal rot, manchmal grün, Stickoxide blauviolett. Nacht für Nacht flackern deshalb farbige Schleier rings um die magnetischen Pole – ein ebenso schönes wie harmloses Spektakel.

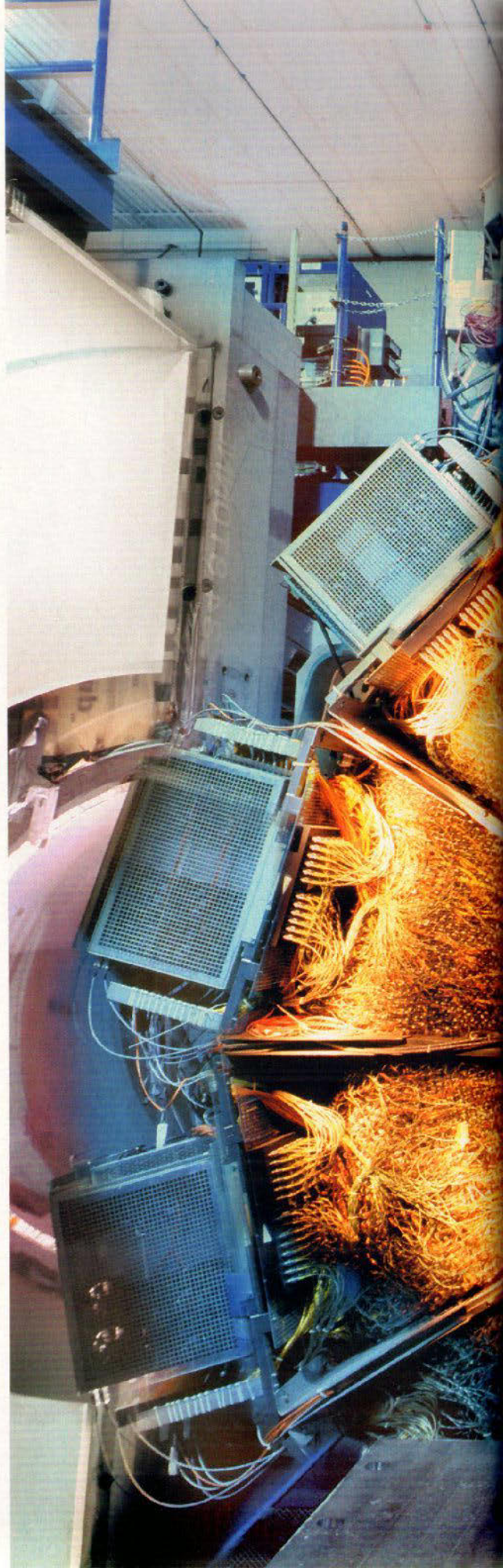
Im Zeitalter von Raumfahrt und Computern kann der Sonnenwind moderne Gesellschaften jedoch empfindlich treffen, vor allem wenn gewaltige Eruptionen ihn zum Sturm anschwellen lassen. Solche Ausbrüche wühlen die äußeren Gasschichten der Sonne auf und schleudern Teilchenwolken ins All, die bisweilen mit fast 2000 Kilometern pro Sekunde auf die Erde zurasen. Dann tanzen selbst über Deutschland Polarlichter, manchmal sogar über dem Mittelmeer, und der Hagel elektrisch geladener Partikel kann Satelliten, Kommunikationsnetze und Kraftwerke lahm legen.

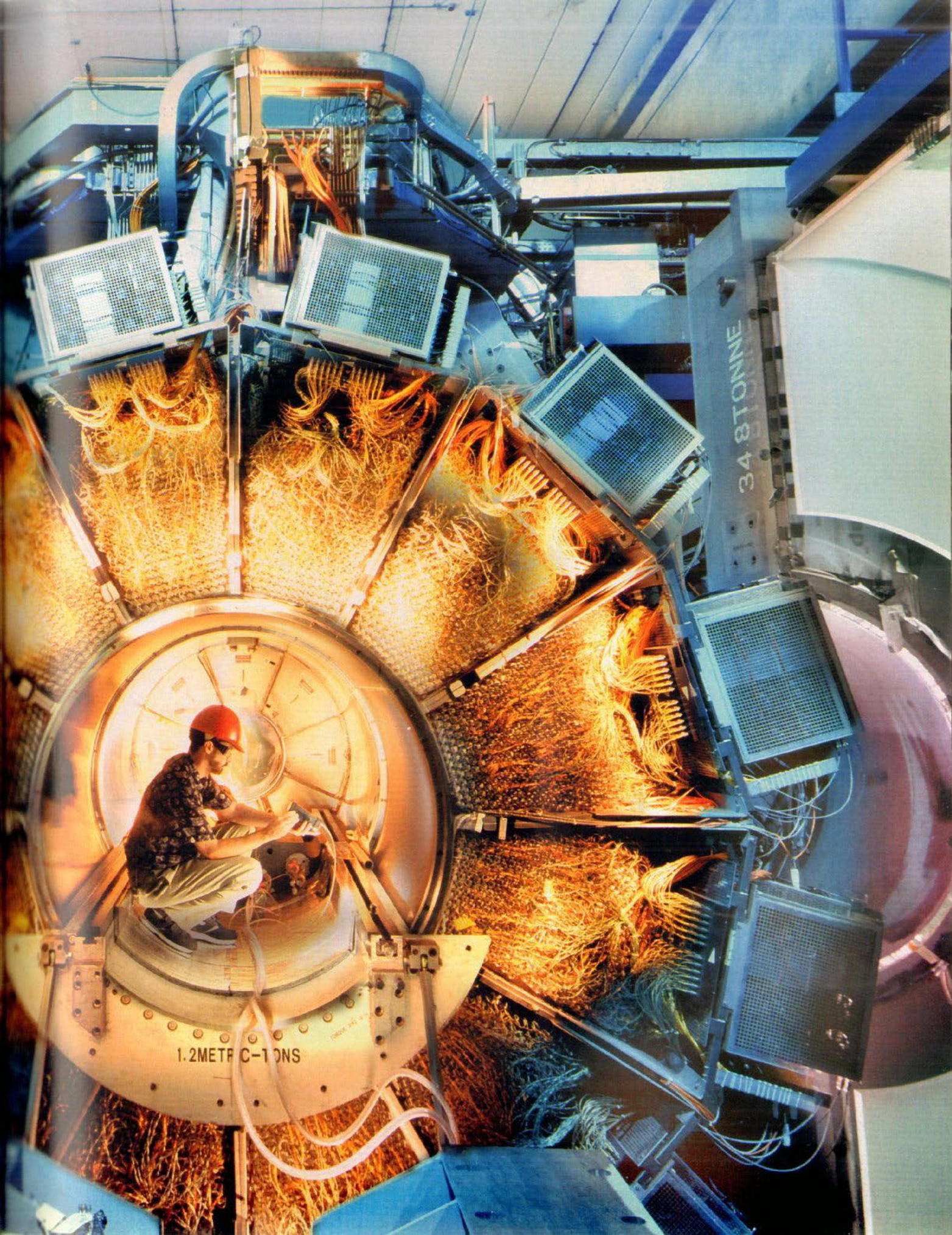
So büßte der US-Telekommunikationskonzern AT&T 1997 seinen Fernsehsatelliten „Telstar 401“ ein – angeblich während der Übertragung einer Episode von „Raumschiff Enterprise“. Der Satellit hatte sich elektrostatisch derart aufgeladen, dass die Bordsysteme versagten. Außerdem verwirbeln die Teilchenströme die oberen Schichten der Atmosphäre, an der sich Radiowellen fortpflanzen. Dadurch fallen bisweilen Funksignale aus, und Navigationsgeräte weisen in die Irre.

Für Astronauten kann ein Weltraumspaziergang bei starkem Sonnenwind sogar tödlich enden. Auch die Gesundheit von Flugzeuginsassen ist gefährdet: Bei einem Teilchensturm wie im Herbst 2003 kann auf Langstrecken in hohen Breiten eine Strahlenbelastung auftreten, die dem 100fachen einer Röntgenaufnahme der Brust entspricht. Inzwischen empfehlen Luftfahrtbehörden bei turbulentem Weltraumwetter auf geringere Flughöhen auszuweichen.

Manche Auswirkungen sind sogar am Erdboden spürbar. Sonnenstürme lassen das Magnetfeld der Erde regelrecht erzittern und induzieren dadurch in langen Metall-Leitungen wie Pipelines, Telefon- und Stromkabeln mitunter Geisterströme. Rohre rosten durch die Stromschwankungen schneller, Telefongespräche haben plötzlich Aussetzer, und manchmal müssen gar ganze Kraftwerke abgeschaltet werden. So saßen 1989 Millionen Kanadier in der Provinz Quebec neun Stunden lang im Dunkeln, nachdem infolge von Sonnenstürmen ein Transformator durchgebrannt und das Stromnetz zusammengebrochen war. Mehr als eine Milliarde

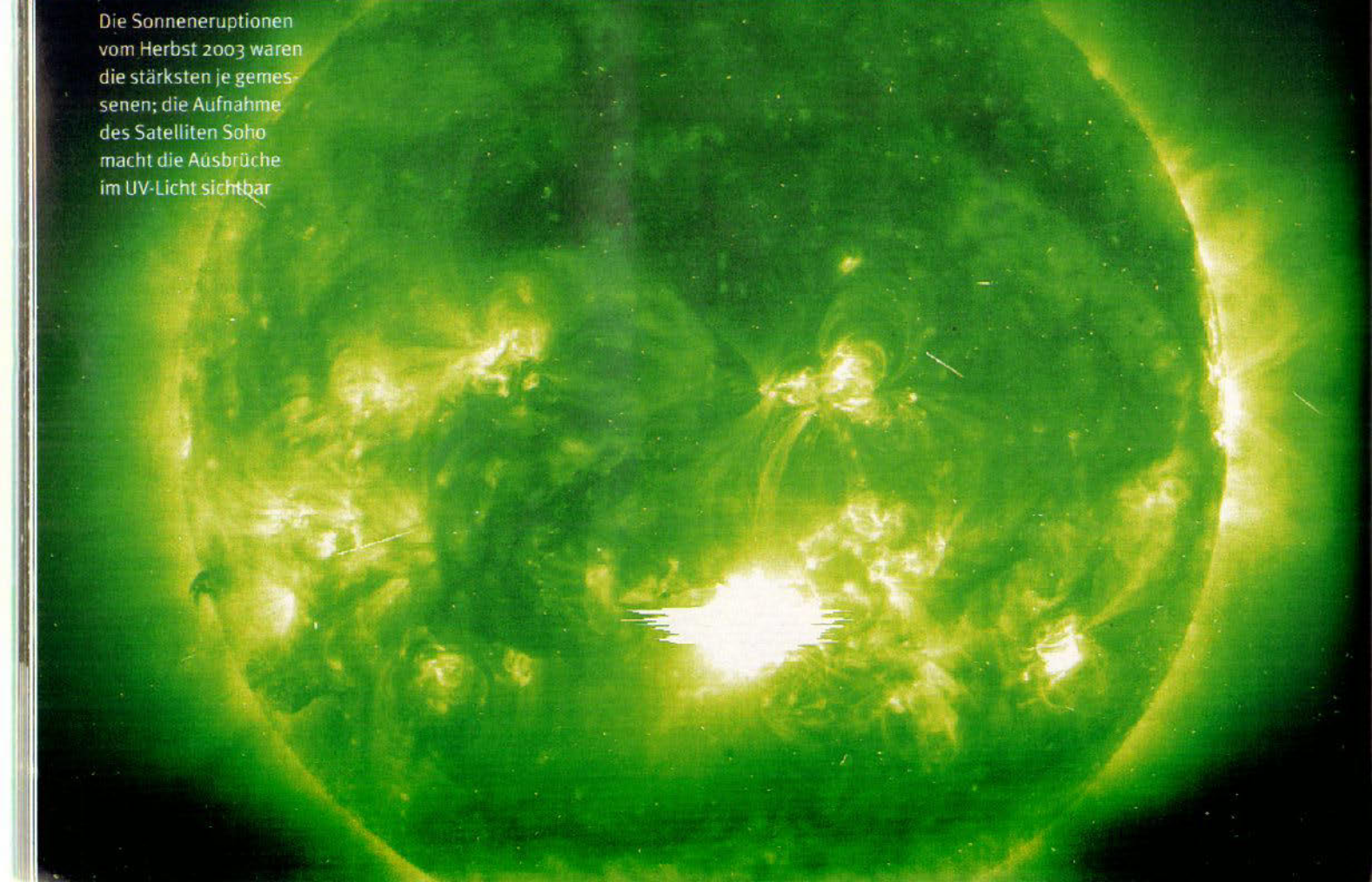
In den Detektoren von Teilchenbeschleunigern lassen sich Neutrinos künstlich erzeugen – jene subatomaren, fast masselosen Partikel aus dem All, die in jeder Sekunde milliardenfach die Erde und selbst den menschlichen Körper durchdringen, ohne Spuren zu hinterlassen





A large, reddish-orange full moon dominates the upper left portion of the frame. The sky is a deep, dark blue. In the foreground, a dead, gnarled tree with bare branches stands on a rocky, desert-like terrain. The ground is covered with small, light-colored rocks and sparse, dry vegetation.

Der Mond über der
wüstenartigen Land-
schaft Westaustraliens.
Der Erdtrabant ver-
ursacht nicht nur die
Gezeiten, sondern
stabilisiert auch das
Klima, und ohne
ihn würde sich die Erde
viel schneller drehen,
ein Tag nur sechs
Stunden haben

A close-up, high-contrast image of the Sun's surface, captured in ultraviolet light. The image shows a complex pattern of bright, glowing green and yellow solar flares and coronal mass ejections against a dark background. The Sun's disk is partially visible on the right side, showing a bright, glowing edge.

Die Sonneneruptionen
vom Herbst 2003 waren
die stärksten je gemes-
senen; die Aufnahme
des Satelliten Soho
macht die Ausbrüche
im UV-Licht sichtbar

Dollar Schaden verursachte der Streich aus dem Weltraum.

Derzeit erlebt die Sonne eine besonders unruhige Ära: Die Eruptionen vom Oktober 2003 waren die stärksten, die je gemessen wurden. Was sie auslöste, ist noch ungeklärt. Fest steht nur, dass die Phänomene etwas mit Umwälzungen des solaren Magnetfelds zu tun haben – und dass sie gehäuft auftreten, wenn große dunkle Flecken die Sonne sprenkeln.

Schon die alten Chinesen kannten angeblich die Schatten auf dem gleißenden Gasball; Galileo Galilei und andere Astronomen des 17. Jahrhunderts beobachteten die Flecken bereits systematisch. Heute wissen Forscher, dass es sich um kältere Zonen in der Sonnenatmosphäre handelt, die dunkel wirken, weil sie weniger intensive Strahlung ausstrahlen. Insgesamt jedoch zeigt sich die Sonne in fleckenreichen Zeiten heißer.

Etwa alle elf Jahre erreicht die Zahl der Flecken ein Maximum, das aber unterschiedlich stark ausfällt: Zwischen 1645 und 1715 war das Bild der Sonne fast makellos, wogegen im Laufe des 20. Jahrhunderts die Fleckenzahl deutlich zugenommen hat. Der Fleckenmangel fällt historisch in die Epoche der „Kleinen Eiszeit“, die zwischen 1550 und 1850 in Europa für Missernten, wachsende Alpengletscher und Eiswinter sorgte, in denen Wolfsrudel vor den Stadtmauern heulten.

Der Astronom Friedrich Wilhelm Herschel formulierte bereits Anfang des 19. Jahrhunderts einen Zusammenhang zwischen den Sonnenflecken, der Intensität der Strahlung und dem Klima auf der Erde. Die unstete Sonnenaktivität sehen manche Forscher auch heute noch als Hauptursache für Klimaveränderungen an – eine heikle These, da sie als Ausflucht dienen kann, nichts gegen den vom Menschen gemachten Treibhauseffekt zu unternehmen.

Der Internationale Klimarat IPCC schätzt den Einfluss der Sonne auf die Klimaveränderung allenfalls auf ein Fünftel. Schließlich gibt die Sonne selbst in ihren heißen Phasen nur etwa 0,1 Prozent mehr Energie in den Weltraum ab als sonst. Geoforscher gehen jedoch davon aus, dass ein Strahlungsanstieg von einem Prozent nötig wäre, um die Erde um ein bis zwei Grad aufzuheizen. Nach Ansicht mancher Wissenschaftler heizt jedoch nicht nur die stärkere Sonnenaktivität das Weltklima an. Eine wichtige Rolle spielen auch die kosmische Strahlung, die zum Beispiel von explodierenden Sternen erzeugt wird und aus allen Richtungen in das Sonnensystem eindringt.

Bei großer Sonnenaktivität machen sich die besonders energiereichen Anteile der kosmischen Strahlung jedoch rar – der solare Wind bremsst sie schon in den Außenbezirken des Sonnensystems

ab. Ohnehin reist die Sonne mitsamt ihrer Trabanten gegenwärtig durch eine Region der Milchstraße, in der die kosmische Strahlung eher schwach ist. Nach Berechnungen deutscher und israelischer Forscher fallen diese Perioden stets mit Warmphasen auf der Erde zusammen.

Was vielleicht daran liegt, dass die weit gereisten Atomkerne in den unteren Schichten der Erdatmosphäre Kondensationskeime erzeugen, an denen sich Wassertropfchen bilden, die zu Wolken werden. Ist die kosmische Strahlung schwach, bilden sich vergleichsweise wenig Wolken. Deshalb erreicht mehr Sonnenstrahlung die Erde, und das Klima erwärmt sich. Die meisten Forscher halten diese Theorie aber für Spekulation.

Unbestritten ist jedoch, dass die kosmische Strahlung auf der Erde Schaden anrichten kann: Die Geschosse lassen bei Zusammenstößen in der Atmosphäre einen Schauer von Teilchen zu Boden regnen. Trifft solch ein Partikel zufällig den Speicherchip eines Computers, können Informationen verloren gehen oder gelöscht werden. Landet es in einer Hochleistungsdiode, wie sie in modernen Triebwagen eingesetzt werden, bleibt auch schon mal ein ICE stehen.

Neben der Sonne prägt auch der Mond das irdische Klima – freilich nicht durch wärmende Strahlung, sondern durch die stabilisierende Wirkung seiner Schwerkraft. Gäbe es den Trabanten nicht, würde die Erdachse alle paar Millionen Jahre hin- und herkippen, wie Computersimulationen zeigen. Läge die Erde aber auf der Seite, bestrahlte die Sonne monatelang nur die ihr zugewandte Hälfte, während die Rückseite in dauernder Kälte erstarrte. Obendrein würde sich eine mondlose Erde viel schneller drehen, ein Tag nur sechs Stunden dauern, und pausenlos fegten heftige Winde über die Oberfläche.

Vermutlich war also jene Katastrophe vor etwa 4,4 Milliarden Jahren, als ein marsgroßer Planetoid die Erde streifte, für das Schicksal unseres Planeten entscheidend. Bei dem Zusammenprall lösten sich ungeheure Gesteinsmassen. Diese und die Trümmer des geborstenen Planetoiden waren der Rohstoff, aus dem der Mond entstand.

Mehr als eine Milliarde Jahre später begann das Leben auf der Erde zu keimen, begünstigt vermut-



Detailaufnahme einer Eruption: Die frei gewordenen, elektrisch geladenen Teilchen dringen wenige Tage später in den Polregionen der Erde in die Atmosphäre ein und stoßen mit Molekülen in der Luft zusammen. Diese werden durch den Energieschub zum Leuchten angeregt

In einem japanischen Bergwerk inspizieren Techniker in 1000 Meter Tiefe Lichtdetektoren. Mit dem »Super-Kamiokande« ist es gelungen, Neutrinos nachzuweisen: Wenn ein solches Geister-Teilchen in dem Wassertank mit einem anderen Teilchen zusammenstößt, entsteht ein winziger Lichtblitz, den die mehr als 11 000 Detektoren auffangen sollen

lich durch die Planetenkarambolage: Ohne den Mond wäre das Klima instabil, und die Gezeiten auf der Erde fielen um zwei Drittel schwächer aus, denn die Anziehung der Sonne bewirkt nur etwa ein Drittel des Tidenhubs. Ebbe und Flut aber sorgen für eine Durchmischung der Ozeane mit Nährstoffen und Mineralien. Das tägliche Auf und Ab war eine wichtige Voraussetzung, dass sich der Reichtum an Lebensformen im Meer entwickeln konnte.

Doch nicht nur die Meere sind Ebbe und Flut ausgesetzt – auch der vermeintlich feste Boden unter unseren Füßen hebt und senkt sich im Rhythmus der Gezeiten unmerklich um bis zu einem halben Meter; mit aufwendigen Messvorrichtungen ist das nachgewiesen worden. So lässt die Kraft des Mondes die Erde gleichsam pulsieren, und daher verwundert es nicht, dass die Menschen dem Mond seit jeher die erstaunlichsten Wirkungen zugeschrieben haben. Ob für die Aussaat des Gemüses oder für Geldgeschäfte – die Volksweisheit kennt immer einen laut Mondkalender günstigen Termin. Bei Vollmond häufen sich, heißt es, Geburten und Selbstmorde, Verbrechen und Verkehrsunfälle. Besteht der Mensch nicht zum größten Teil aus Wasser, argumentieren die Mondgläubigen? Ist er deshalb nicht auch den Gezeiten ausgeliefert? Und entspricht nicht die Länge eines Mondumlaufs ziemlich genau dem durchschnittlichen Monatszyklus der Frau?

Gleichwohl konnte die Wissenschaft bislang nur spärliche Belege für eine Wirkung des Mondes als biologischer Taktgeber finden. Hunderte von Studien widmen sich allein dem scheinbar offensichtlichen Zusammenhang zwischen Mondzyklus und weiblicher Menstruation – ergebnislos: Zu groß sind die individuellen Unterschiede von Frau zu Frau, und selbst bei Naturvölkern richtet sich die Regelblutung keineswegs nach den Mondphasen. Auch der angebliche Hochbetrieb auf Entbindungsstationen und Polizeirevieren bei Vollmond hielt bislang keiner statistischen Überprüfung stand.

Immerhin fanden Forscher einige exotische Beispiele für den sonderbaren Einfluss des Mondes auf die Natur: Wattmücken beispielsweise schlüpfen und schwärmen ausschließlich bei Voll- und Neumond, wenn sich das Wasser weit zurückzieht. Laborexperimente zeigen, dass ihnen das Mondlicht als Signal dient. Ähnlich verhält sich der Grunion, ein 15 Zentimeter kleiner Fisch, der an Kaliforniens Stränden laicht. Bei Springflut lassen sich die Grunions an Land spülen, um im Sand ihre Eier einzugraben. Bis zum nächsten Voll- oder Neumond liegen die Laichplätze trocken. Erst wenn das Wasser wieder aufläuft, schlüpfen die Jungfische und lassen sich von der Flut ins Meer tragen.

Eine besonders kuriose Mondmeldung fand sich 1998 in der Fachzeitschrift »Nature«: Eine internationale Forschergruppe entdeckte, dass Baumstämme im Rhythmus von Ebbe und Flut an- und abschwellen – unabhängig von Temperatur oder Umgebungsfeuchtigkeit. Vermutlich, so die Wissenschaftler, treibe die Gezeitenkraft Wasser aus dem Inneren der Zellen in die Zellwände. Träfe diese Erklärung zu, wäre tatsächlich der erste Nachweis für das Wirken von Mini-Gezeiten in lebenden Organismen erbracht.

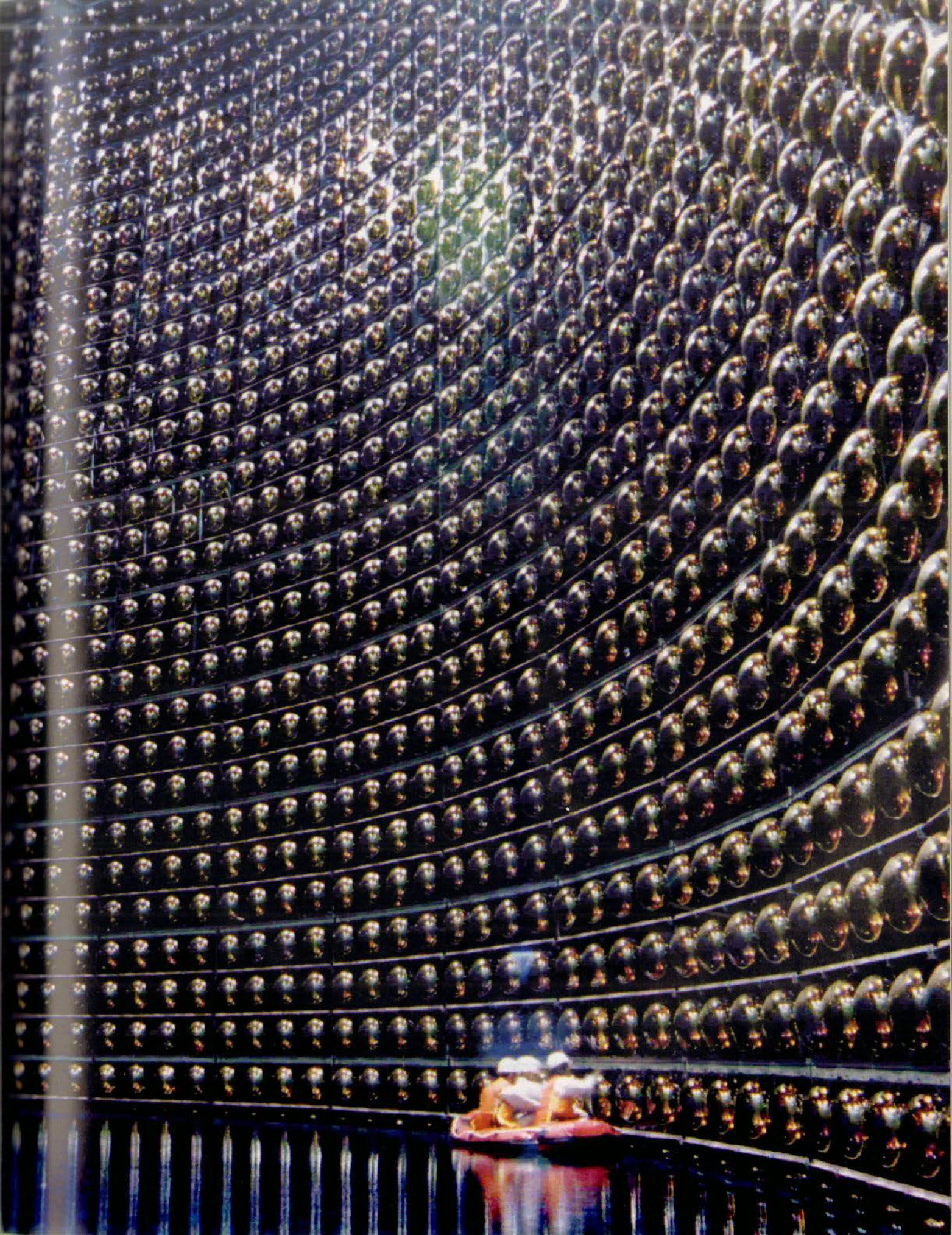
Gemessen an der enormen Macht, die Volksmund und Mythen dem Mond zugestehen, erscheint sein realer Einfluss auf den Einzelnen eher gering. Für Spektakel, Katastrophen und dramatische Wendungen des Erdgeschicks stehen andere Gestirne – vor allem Kometen und Asteroiden.

Beide Arten von Himmelskörpern geraten von ihren normalen Umlaufbahnen mitunter auf Abwege, einige auch auf Kollisionskurs mit der Erde. Der Chemie-Nobelpreisträger Svante Arrhenius versuchte im Jahr 1903, das vergleichsweise plötzliche Auftreten des Lebens auf der Erde mit Kometen und Meteoriten zu erklären, die Lebenskeime auf die Erde getragen hätten. Heutige Verfechter dieser Panspermie-Hypothese wie der Astrobiologe Chandra Wickramasinghe glauben sogar, neue Krankheiten wie die Lungenseuche Sars kämen aus dem All.

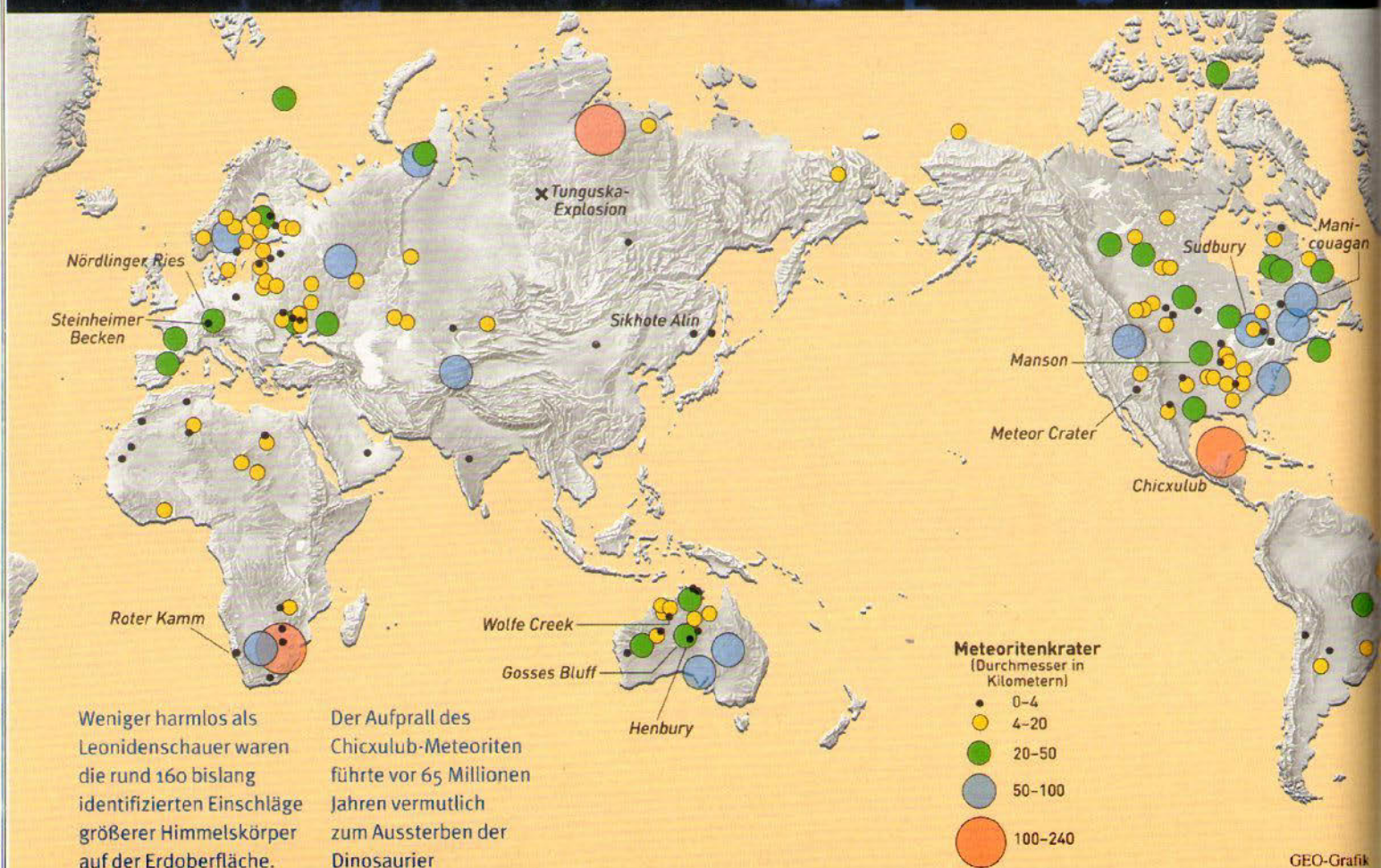
Letzteres mag eine aberwitzige Idee sein; immerhin aber entdecken Forscher gelegentlich organische Moleküle in Meteoriten. Nach wie vor Gegenstand wissenschaftlicher Kontroverse sind die eigentümlichen Spuren auf dem Marsmeteoriten ALH 84001, die einige Experten für versteinerte Bakterienreste halten.

Im Jahr 2001 konnten deutsche Wissenschaftler beweisen, dass Bakterien robust genug sind, eine Reise durch den Weltraum zu überstehen: Sie brachten Sporen des Allerweltskeims *Bacillus subtilis* an Bord eines russischen Forschungssatelliten und setzten sie dort zwei Wochen lang der kosmischen Strahlung aus. Ergebnis: Sporen, die man mit etwas Staub oder Lehm vermischt hatte, trotzten den lebensfeindlichen Bedingungen, während ungeschützte Kulturen fast in jedem Fall abstarben. Andere Experimente zeigten, dass die eingekapselten Bazillen selbst die Kräfte und Temperaturen beim Aufprall auf einen Planeten überstehen könnten. Beweise für eine Befruchtung aus dem All gibt es freilich nicht.

Einig sind sich Experten allerdings, dass Kometen und Asteroiden Tod und Zerstörung über die Erde bringen können. Zwar sind die meisten Objekte harmlos und verglühen bereits beim Eintritt in die Atmosphäre als Sternschnuppen. Andere



Am 18. November 2001 rasten in Japan innerhalb von zweieinhalb Minuten 70 Meteore durch das Bildfeld einer Kamera. Solche Leonidenschauer entstehen, wenn die Erde den Staubbereich des Kometen Temple-Tuttle durchfliegt und abgelöste Materieteilchen als Sternschnuppen verglühen



können jedoch das Schicksal des Planeten in eine neue Richtung lenken. So etwa der Gesteinsbrocken von schätzungsweise zehn bis fünfzehn Kilometer Durchmesser, der vor 65 Millionen Jahren bei der heutigen mexikanischen Halbinsel Yucatan eingeschlagen sein muss. Nicht nur die Dinosaurier gingen in der Folgezeit zugrunde; bis 80 Prozent aller Tier- und Pflanzenarten verschwanden.

Heute berechnen Astronomen, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein solches Trumm die Erde erneut treffen könnte und welche Folgen ein Zusammenstoß hätte. Eine kosmische Bombe dieses Ausmaßes trifft die Erde demnach statistisch alle 100 Millionen Jahre, ein 50 Meter großer Brocken schon alle 100 bis 400 Jahre.

Selbst Letzterer könnte eine Großstadt zerstören und Abertausende Menschen töten. Das jedenfalls lässt das Beispiel des Himmelskörpers befürchten, der im Jahr 1908 über der sibirischen Tunguska explodierte und im Umkreis von 65 Kilometern die Bäume abknickte. Wahrscheinlich handelte es sich um einen 50 bis 100 Meter großen Asteroiden, der relativ lose aus Geröll zusammengebacken war und deshalb nicht einmal einen Krater hinterließ.

Der Einschlag eines Asteroiden von mehr als einem Kilometer Durchmesser würde den gesamten Planeten im Mitleidenschaft ziehen: Ginge er an Land nieder, würde er so viel Staub aufwirbeln, dass sich der Himmel monatelang verdunkelte. Erde und Ozeane dürften sich um mehrere Grad Celsius abkühlen; obendrein strapazierten Brände und saurer Regen die Natur. Stürzte der Himmelskörper hingegen ins Meer, würden sich mehr als hundert Meter hohe Flutwellen auftürmen und über die Küstenregionen hinwegrasen.

Eines der fünf großen Massensterben auf der Erde, das vor etwa 440 Millionen Jahren das Zeitalter des Ordovizium beendete, lasten einige Forscher einem Himmelskörper an, der nicht auf die Erde gestürzt, sondern im All explodiert ist und tödliche Strahlung in Richtung Erde feuerte. Solche Gammastrahlen-Ausbrüche entstehen bei der Geburt Schwarzer Löcher und gelten als die stärksten Explosionen im Weltall: selbst ein neun Milliarden Lichtjahre entfernter Ausbruch wäre mit einem gewöhnlichen Feldstecher noch als Lichtblitz zu erkennen.

Entdeckt wurde das Phänomen erst 1967 von einem Satelliten, der heimliche sowjetische Nukleartests im Weltraum aufspüren sollte. Inzwischen verzeichnen Forscher täglich zwei bis drei Gam-

mastrahlen-Ausbrüche, alle in weit entfernten Galaxien. Im Umkreis von einigen tausend Lichtjahren könnten sie allerdings der Erde gefährlich werden, entweder direkt durch die Strahlung oder indem deren Energie die Zusammensetzung der Atmosphäre verändert; dann entstünden große Mengen Stickstoffdioxid, die das Sonnenlicht abschirmen und die Ozonschicht zerstören. Das könnte auch damals die Ursache des Artensterbens gewesen sein, denn nahe der Wasseroberfläche lebende Organismen waren davon stärker betroffen als die in den Tiefen der Ozeane.

Nach Schätzungen von Forschern könnte es etwa alle fünf Millionen Jahre zu einem Gammastrahlen-Ausbruch kommen, der Auswirkungen auf der Erde hat. Übrigens ohne Vorwarnung, denn wenn ein solcher Lichtblitz registriert wird, ist er auch schon da.

Das ist bei Kometen und Asteroiden meist anders. Um Klarheit über diese Bedrohung aus dem All zu gewinnen, legte die US-Weltraumbehörde Nasa 1995 ein Programm auf, alle Asteroiden zu erfassen, deren Bahn den Lauf der Erde zu kreuzen droht. Etwa 700 große NEOs („near earth objects“) sind bereits registriert, 46 davon könnten der Erde unangenehm nahe kommen. Beispielsweise der Asteroid 1997 XR₂: Der 230 Meter große Himmelskörper wird die Erde im Jahr 2101 mit einer Wahrscheinlichkeit von eins zu 100 000 rammen.

Für den Fall, dass sich eines Tages tatsächlich ein Hollywood-Szenario à la „Deep Impact“ oder „Armageddon“ anbahnt, schmieden die NEO-Fahnder bereits Rettungspläne: Die Lösung im Film, den heranrauschenden Asteroiden mit einer Atombombe zu sprengen, überzeugt nicht, weil dann statt eines Brockens zahlreiche Trümmer auf die Erde prasseln könnten. Raffinierter mutet der Einfall an, das Trumm auf eine andere Bahn zu bugsieren, entweder mittels Laserstrahlen oder weltraumgestützter Parabolspiegel, die das Licht der Sonne auf den Asteroiden fokussieren. Der Fantasie scheinen keine Grenzen gesetzt – wie stets, wenn Menschen zum Sternenhimmel aufschauen. □

Der Marsmeteorit ALH84001 bot Anlass zu Spekulationen um Lebensspuren im Gestein, richtete 1984 beim Absturz über der Antarktis aber keinen Schaden an.



Das 30-Meter-Trumm, das vor rund 50 000 Jahren in Arizona niederging, hinterließ hingegen eine Senke von 1200 Metern Durchmesser – den Meteor Crater



Die Berliner Wissenschaftsjournalistin **Alexandra Rigos**, 36, schreibt regelmäßig für GEO, zuletzt über Lernforschung (GEO WISSEN Nr. 31) und den Jangtse-Staudamm in China (GEO 6/2003).

VON TITUS ARNU

Am 7. April 1990 traf im niederländischen Ort Glanerbrug ein 670 Gramm schwerer Meteorit auf ein Haus. Er krachte durch das Dach und plumpste mitten in die Küche. Zur gleichen Zeit hielt Dieter Heinlein an der Sternwarte im oberfränkischen Hof einen Vortrag über Meteoriten. Unter seinen Zuhörern war die Erzieherin Gabriele Marxer, die sich seit ihrer Kindheit für den Weltraum interessiert. Der Auftritt des Augsburger Meteoriten-Experten wirkte ähnlich auf sie wie der Himmelskörper auf das Dach des niederländischen Hauses – durchschlagend. Die beiden verliebten sich ineinander und heirateten bald darauf. Ihre Hochzeit stand unter dem Motto „Ein Stern fiel vom Himmel“.

Gabriele und Dieter Heinlein verbindet eine Liebhaberei, wenn auch eine mit wissenschaftlichem Anspruch: Sie jagen Meteoriten. Andere mögen von einer Luxuslimousine träumen, einem Ferienhaus in Italien oder einem Lottogewinn. Für die Heinleins aber gibt es nichts Schöneres, als einen Brocken aus dem All zu finden, der von einer Kruste geschmolzenen Gesteins überzogen ist. „Eine Sternschnuppe in der Hand zu halten ist ein wahnsinnig faszinierendes Gefühl, der Inbegriff des Glücks“, sagt Gabriele Heinlein. Ihr Mann mag das Meteoritensammeln, weil es, wie er formuliert, „so schön überschaubar ist“.

Von Heinleins Sammelobjekten gibt es nur drei Typen: Steinmeteoriten, Eisenmeteoriten und Steineisenmeteoriten. Sie sind genau bestimmbar, sie sind selten, im „Catalogue of Meteorites“ dokumentiert, und man kann sie in eine Vitrine legen und beleuchten, sodass die metallischen Strukturen schön glitzern.

Hauptberuflich arbeiten die Heinleins für Planetarien, fotografieren etwa mit Spezialkameras den Nachthim-

DIE METEORITENJÄGER

AUF DER SPUR

Dieter und Gabriele Heinlein verbindet eine ganz spezielle Leidenschaft: Sie spüren jenen Brocken nach, die aus den Weiten des Alls auf die Erde stürzen



Das Ehepaar Heinlein entwickelt 360-Grad-Projektionen für Planetarien

DER STEINE

mel, aber auch Kirchen und Schlösser von innen und entwickeln daraus 360-Grad-Projektionen für die Kuppeln. Ihre Urlaube verbringen sie dort, wo die Suche nach Meteoriten besonders vielversprechend erscheint, in der Nähe von großen Einschlagkratern, mehrfach etwa im australischen Outback oder in Arizona.

Wer bei den Heinleins zum Kaffee eingeladen ist, bekommt kleine Meteoriten aus Marzipan serviert, die Gabriele Heinlein selbst anfertigt. Das Geschirr steht auf Plastik-Deckchen, die das Sonnensystem zeigen. Die sechs Jahre alten Zwillinge Otto und Anna hocken auf einem 105 Kilo schweren Meteoriten und spielen „Der kleine Prinz“. Im Keller ihres Hauses in Augsburg finden sich alte Globen, Mondkarten, Abgüsse von Meteoriten und ätzende Chemikalien, mit denen sich die Feinstrukturen der Himmelssteine freilegen lassen.

Dieter und Gabriele Heinlein, 47 und 45 Jahre alt, berichten gern vom vielleicht glücklichsten Ereignis ihres Lebens. Dieter Heinlein, der einen hellblauen Pullover mit der Aufschrift „Arbeitskreis Planeten Beobachter“ trägt, wiegt einen bräunlich-schwarzen Klumpen in Händen. Was er da ehrfurchtsvoll berührt, ist ein maßstabsgetreuer Abguss des „Neuschwanstein-Meteoriten“. Das Original ging am Abend des 6. April 2002 mit lautem Donnergeroll über Oberbayern nieder, praktisch vor der Haustür der Heinleins. Die Feuerkugel erleuchtete den Nachthimmel, bevor der Brocken zerplatzte. Miterlebt hat Heinlein das Ereignis nicht, weil er an jenem Abend als Vorführer im Planetarium arbeitete.

Der Neuschwanstein-Meteorit – so benannt, weil er sechs Kilometer vom berühmten Königsschloss aufschlug –, war trotzdem ein Glücksfall für die Heinleins. Sie betreuen seit Anfang der

1980er Jahre das „DLR-Feuerkugelnetz“, ein Überwachungs-System des „Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt“ aus 25 Kameras in mehreren europäischen Ländern. Die auf einem Gestell montierten Geräte fotografieren in Dauerbelichtung einen unter ihnen positionierten Parabolspiegel, in dem sich der Nachthimmel abzeichnet.

Falls die Spur einer Feuerkugel auf den Filmen zu sehen ist, lässt sich daraus deren Flugbahn errechnen. Beim Neuschwanstein-Exemplar gelang dies so exakt, dass sich das Zielgebiet auf ein Areal von einem Kilometer Breite und mehreren Kilometern Länge eingrenzen ließ.

Ein Berliner Hobby-Astronom entdeckte ein erstes Bruchstück gut drei Monate später im berechneten Gebiet, in der Nähe der Altenberg-Alm. Ein zweiter Brocken fand sich im Mai 2003. Das größte Stück vermutet Heinlein an der Südflanke des Hohen Straußberges. Wann immer er Zeit hat, sucht er danach.

Wer in Deutschland einen Meteoriten findet, dem gehört der Stein nur zur Hälfte, der andere Teil dem Grundstückseigentümer. Im Falle des Neuschwanstein-Meteoriten kaufte der Freistaat Bayern dem Finder seinen Anteil ab.

Vor allem im Internet, warnt Dieter Heinlein, gebe es auch einen unseriösen Handel mit Meteoriten. Der angebliche „Neptun-Meteorit“ entpuppte sich mitunter als gewöhnlicher Bachkiesel, der keine typischen Merkmale aufweise: eine Schmelzkruste, hohe Dichte und manchmal Roststellen. Heinlein, der auch Gutachten über Meteoritenfunde schreibt, verkauft ab und an selbst ein Stück an Museen

oder Planetarien. Geschäftemacherei aber liegt ihm fern – er sieht die Meteoriten als Geschenke des Himmels. Ein Krater ist für ihn keine Goldgrube.

Dass der erste Brocken des Neuschwanstein-Meteoriten nun als Fundstück im Nördlinger Rieskrater-Museum ausgestellt ist, macht Dieter Heinlein stolz. Denn oft genug werden Meteoriten von den Findern in kleine Stücke zersägt, um sie gewinnbringend zu verkaufen – oft für mehrere hundert Euro pro Gramm. Vom Peekskill-Meteoriten, der am 9. Oktober 1992 in

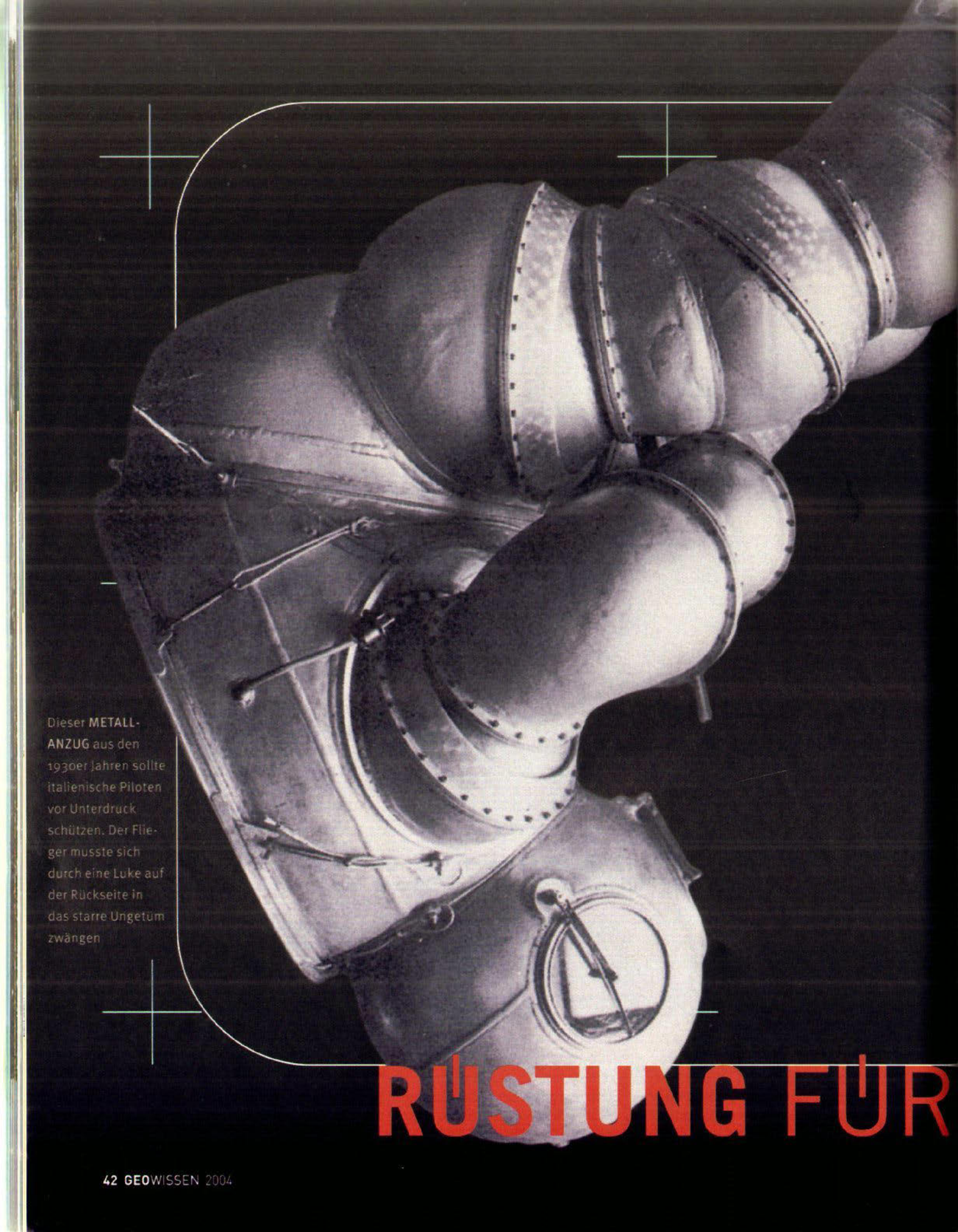
den USA die Kofferraumhaube eines roten Chevy „Malibu“ durchschlug und im Asphalt stecken blieb, sind nur noch Krümel übrig. „Das war eine supertolle Sache, wie der das Auto zerschmettert

hat“, sagt Gabriele Heinlein, „aber dass der Meteorit komplett zerstört wurde, bricht mir das Herz.“

So etwas würden die Heinleins nie tun. Meteoriten haben für sie zwar keine mythische Bedeutung, aber einen hohen wissenschaftlichen und persönlichen Wert. Im Flur liegt zum Beispiel Gibeon auf einem bunten Ruhekissen. Gibeon ist eines der Prachtexemplare der auf 800 Fundstücke angewachsenen Sammlung – ein 64 Kilo schwerer, metallisch glänzender Meteorit aus Namibia, den Dieter Heinlein seiner Frau zu einem Hochzeitstag geschenkt hat, statt Blumen.

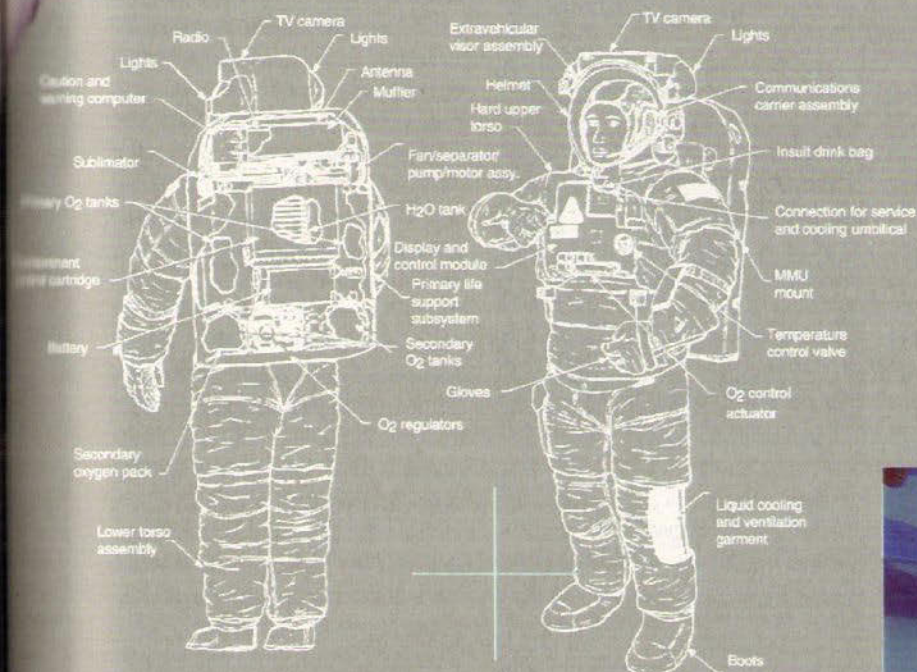
Die romantischsten Exemplare der Sammlung sind zweifellos ein paar unscheinbare Brösel, die Dieter Heinlein seiner Frau zum zehnten Hochzeitstag verehrt hat. Sie stammen von jenem Meteoriten, der das Haus im niederländischen Glanerbrug an dem Tage traf, an dem sich Dieter und Gabriele Heinlein erstmals begegneten. □

»Eine Sternschnuppe ist der Inbegriff des Glücks«



Dieser METALL-
ANZUG aus den
1930er Jahren sollte
italienische Piloten
vor Unterdruck
schützen. Der Flie-
ger musste sich
durch eine Luke auf
der Rückseite in
das starre Ungetüm
zwängen

RÜSTUNG FÜR



Mittlerweile sind Hartschalen-Anzüge wieder in Mode: Der erstaunlich bewegliche Nasa-Entwurf Ames AX-5, hier 1987 beim Test im Wasserbecken, kommt ohne Stoffteile aus. Auch dieser »HARD-SUIT« wird von rückwärts bestiegen

Ein Astronauten-Dress muss nicht hübsch sein, sondern zweckmäßig, hängt doch nicht zuletzt von seinem Funktionieren das Überleben im All ab. Frühe Modelle ließen den Menschen wie eine Mumie erscheinen, andere sehen aus wie Taucheranzüge. Auf dem Mars wird es womöglich modisch zugehen: Hautenge High-Tech-Garderobe soll die künftigen Besucher umhüllen



RAUMREISENDE

Der erste Mensch, der sich in einem Raumanzug den lebensfeindlichen Bedingungen der Stratosphäre aussetzte, endete im Irrenhaus. Schon lange war Mark Edward Ridge davon besessen, in einem offenen Ballon auf 27 Kilometer Höhe aufzusteigen – um, wie er versicherte, dem Fortschritt der Wissenschaft zu dienen. Der junge Mann aus Massachusetts hatte mehrmals erfolglos das US-Mi-

herstellers, bekleidet mit einer druckdichten Montur. Langsam wurde die Luft aus dem Stahlverlies gepumpt, bis der Druck so niedrig war wie 15 Kilometer über dem Erdboden. Ridge trug keinen Schaden davon, auch nicht, als er zwei Wochen später simulierte 27 Kilometer Höhe erreichte.

Diese beiden Selbstversuche blieben die einzigen derartigen Erfolgserlebnisse des Möchtegern-Höhenfliegers; seine Geisteskräfte rieb er in einem endlosen Papierkrieg um den erhofften Ballonflug auf. Noch aus der Heilanstalt unternahm Ridge kurz nach dem Zweiten Weltkrieg einen letzten Vorstoß: In einem Telefonat mit der Zeitung „Boston Globe“ bot er an, sich mit einer erbeuteten deutschen V2-Rakete in den Himmel schießen zu lassen.

So skurril die Umstände der Druckkammer-Experimente auch anmuten – sie waren der Auftakt zur Entwicklung von Raumanzügen. Ridge bewies erstmals, dass ein Mensch, der die richtige Schutzkleidung trägt, in den äußeren Bereichen der Atmosphäre existieren kann – und damit auch im All.

Die Astronauten, die heute in etwa 400 Kilometer Höhe die Internationale Raumstation ISS zusammenbauen, vertrauen ihr Leben noch immer demselben Prinzip an – einer dünnen, mit Gas gefüllten Hülle, die das Arbeiten in einer Umgebung ohne

Sauerstoff, lebensnotwendigen Atmosphärendruck und gleichmäßige Wärme ermöglicht.

Schon zehn Kilometer über dem Erdboden ist die Luft derart dünn, dass ein Pilot ohne Sauerstoffmaske in zwei Minuten das Bewusstsein verlieren würde. Weitere fünf Kilometer höher beträgt die Temperatur minus 55 Grad, der atmosphärische Druck von außen ist so niedrig, dass kaum noch Sauerstoff in die Lungen gelangt; Flüssigkeiten und Gase im menschlichen Körper dehnen sich nun so weit aus, dass die Trommelfelle platzen, Bauch und Gliedmaßen fast bis zum Zerreißen anschwellen. In einer Höhe von 19 Kilometern entspricht der Siedepunkt des Blutes der durchschnittlichen Körpertemperatur: Ohne Druckanzug wären Menschen innerhalb von Sekunden tot.

Piloten hatten die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen schon früh erkannt. Etwa der Amerikaner Wiley Post: Wenige Monate nach dem Vakuumkammer-Versuch von Ridge schraubte der Berufsflyer seine „Winnie Mae“ auf 15 Kilometer Höhe. Dafür hatte er sich einen passenden Fliegeranzug von der Goodrich Company, einem Reifenhersteller, schneiden lassen.

Die nötige Druckluft lieferte der Kompressor des Flugzeugmotors. Um sich warm zu halten, hatte Post die Luftzuleitung um die heißen Abgasrohre des Motors gewickelt. In seinem eimer-



Der einäugige US-Flugpionier Wiley Post erkundete Mitte der 1930er Jahre in einem Volldruckanzug die STRATOSPHERE; das erste Modell dieser Reihe war noch bei einem Test geplatzt.

litär um Unterstützung ersucht. Schließlich, am 16. November 1933, erhielt er doch noch die Chance seines Lebens – in England, auf Einladung von John Scott Haldane, Professor an der Universität Oxford.

Unter Aufsicht des Atmungs-experten kletterte Ridge in der Nähe von London in die Vakuumkammer eines Taucheranzugs-



Im Zweiten Weltkrieg entwickelte auch die deutsche Luftwaffe **DRUCKANZÜGE**. Das Modell der Lübecker Drägerwerke verwandelte den Träger in eine bizarre Mumie



Ein **DEUTSCHER PROTOTYP** aus Metall von 1942 (links) war zu schwer. Dem **US-ANZUG** aus der gleichen Zeit (rechts) fehlte, sobald er unter Druck gesetzt wurde, die nötige Flexibilität



ähnlichen Helm war nur vorn ein Bullauge ausgespart – gerade groß genug für den Einäugigen.

Post hatte bemerkt, dass die „Winnie Mae“ in großer Höhe auf weniger Luftwiderstand traf und somit schneller flog. Dieser Vorteil der Stratosphäre blieb auch den Militärs nicht verborgen. Kurz vor dem Zweiten Weltkrieg lieferten sich Engländer, Deutsche, Russen und Italiener einen Wettstreit um Höhenrekorde – und um die beste Technik für Druckanzüge.

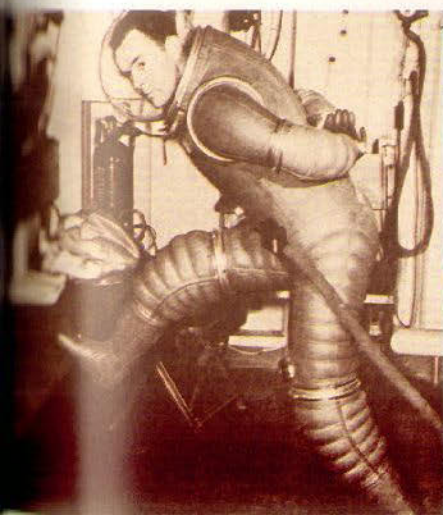
Die Lübecker Drägerwerke etwa experimentierten mit einem Anzug aus Gummi und Seide. Unter Druck gesetzt, erwies er sich jedoch als ebenso unbrauchbar wie ein späteres, an mittelalterliche Rüstungen erinnerndes Modell.

Die frühen Raumanzüge litten an einem lange Zeit unlösbaren Problem: Der lebenswichtige Druck verwandelte sie in starre Ballons, in denen jede Bewegung enorme Anstrengungen kostete. Ausgeatmete Luft und verdunstender Schweiß des Piloten sorgten dafür, dass das Visier beschlug und das Klima in der luftdichten Gummihülle rasch unerträglich wurde.

Die entscheidende Verbesserungsidee kam dem Goodrich-Ingenieur Russell Colley. Im Frühjahr 1943 fiel ihm bei der Gartenarbeit eine wendige Raupe an einer Tomatenstaude auf, die sich dank der wulstartigen



Der Litton Mark I, in den 1950er Jahren zunächst für die Arbeit in VAKUUMKAMMERN entwickelt, interessierte auch die US-Luftwaffe. Mit seinem Aluminiumtorso war er der Vorläufer moderner »Hard-Suits«



Einen Durchbruch brachte 1943 der so genannte **TOMATO-WORM-SUIT**: An Raupen erinnernde Arm- und Beinpartien ließen dem Piloten mehr Bewegungsspielraum – für die Bedienung eines Flugzeugs jedoch nicht genug

Der Wettlauf zum Mond beflügelte die Fantasie der Ingenieure: Diese mit einem Dreibein stabilisierte **LUNARE LAUFTONNE** enthielt eine Sitzplattform zum Ausruhen



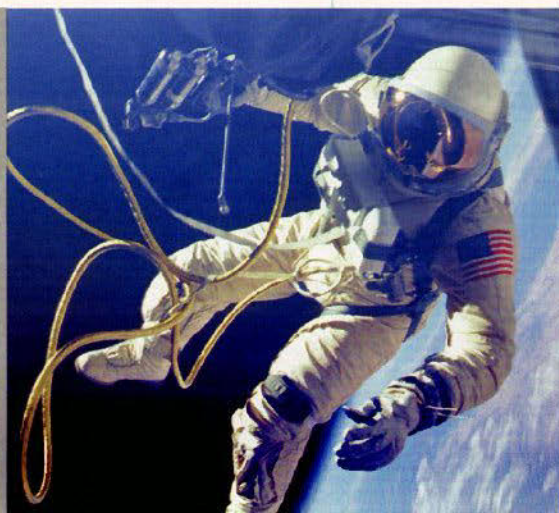
Der Mercury-Astronaut **JOHN GLENN** umkreiste 1962 als erster Mensch dreimal die Erde. Die luftgekühlte Kluft war nur für Notfälle vorgesehen und sollte sich erst bei einem Druckverlust in der Kapsel aufblähen



Piloten des Raketenfliegers X-15 erreichten in den 1960er Jahren in weltraumtauglichen Anzügen Rekordhöhen von bis zu 108 Kilometern – unter ihnen **NEIL ARMSTRONG**



Der Gemini-Astronaut **EDWARD WHITE** schwebte 1965 als erster Amerikaner im Weltall. Sein Anzug, eine Weiterentwicklung des X-15-Modells, wurde über einen Schlauch mit Sauerstoff versorgt



Körpersegmente scheinbar mühelos krümmen und fortbewegen konnte. Colley konstruierte daraufhin einen Anzug mit Arm- und Beinpartien nach Raupenvorbild. Selbst unter Druck bewahrte der „Tomato-Worm-Suit“ eine bislang ungekannte Flexibilität. Und in den 1950er Jahren erfand der in den USA arbeitende deutsche Wissenschaftler Hans Mauch die luftgekühlte Unterwäsche.

Solche Innovationen kamen in den 1960er Jahren zunächst jenen Militärpiloten zugute, die im Raketenflieger X-15 an die Grenze zum All vorstießen. Doch nicht nur in den USA machten die Konstrukteure Fortschritte. Im April 1961 startete der russische Kosmonaut Jurij Gagarin zum ersten bemannten Raumflug. Seinen Anzug vom Typ SK-1, der ihn vor einem plötzlichen Druckverlust in der „Wostok-1“-Kapsel schützen sollte, hatten Wissenschaftler in weniger als einem halben Jahr aus Kleidung der Marineflieger entwickelt.

Mit diesem historischen Ereignis begann das Wettrennen zwischen Russen und Amerikanern um die Eroberung des Alls. Im Februar 1962 umrundete der US-Astronaut John Glenn in einer „Mercury“-Kapsel als erster Mensch dreimal die Erde. Im März 1965 schwebte der Russe Alexej Leonow als erster Mensch im Orbit – wenn auch nur für eine knappe Vier-

telstunde. Drei Monate später trieb, nur über eine Art Nabelschnur mit „Gemini-4“ verbunden, der US-Astronaut Edward White durchs All. Für jedes Weltraum-Programm wurden immer wieder neue Anzüge entworfen und verworfen, getestet und verbessert.

Einen vorläufigen Höhepunkt erreichte die Entwicklung am 20. Juli 1969. Eingehüllt in 400 000 Dollar teure Maßanfertigungen, betraten Neil Armstrong und Edwin Aldrin den Mond. Verborgен unter dem weißen Schutzoverall, waren akkordeonähnliche Segmente in die Arm- und Beinpartien des Druckanzugs eingearbeitet. Diese Abwandlung des Raupenprinzips ermöglichte es Armstrong und Aldrin, mit vorsichtigen Schritten die Leiter der Landefähre hinabzuklettern.

Die von der International Latex Corporation gefertigten Anzüge waren textile High-Tech-Festungen. Der Overall vereinte in 16 Lagen die neuesten Errungenschaften der Materialforschung. So sollten etwa teflonbeschichtetes Glasfasergewebe und aluminisierte Kapton-Folie gefährliche Strahlung und bis zu einen halben Millimeter dicke Mikrometeoriten abwehren. Die Astronautenfüße steckten in Überschuhen aus 33 Lagen Isoliermaterial.

In die Unterwäsche der Mondwanderer waren Schläuche aus Kunststoff eingnäht, durch die

ständig Kühlwasser zirkulierte. Der Lebenserhaltungsrucksack, „Portable Life Support System“ genannt, kontrollierte vier Stunden lang den Druck sowie die Temperatur im Anzug und lieferte den Sauerstoff zum Atmen. Eine Aufbereitungsanlage filterte Kohlendioxid, Feuchtigkeit und Körpergerüche aus der zurückströmenden Luft.

Kein menschliches Bedürfnis sollte die „Apollo“-Crews bei



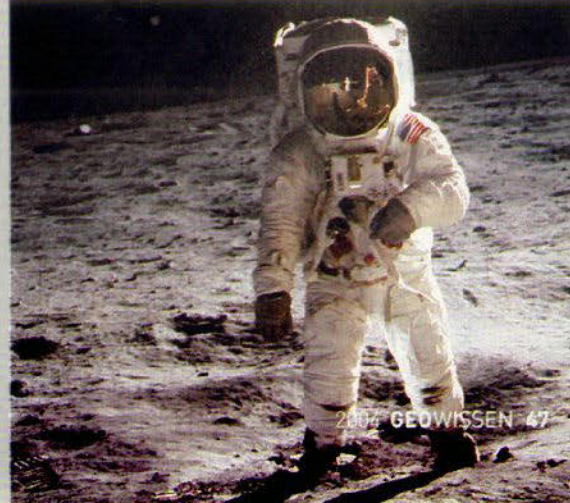
Mit diesem Stiefel der Apollo-17-Mission betrat HARRISON SCHMITT als zwölfter und bislang letzter Astronaut den Mond; der Schuh musste vor allem vor Hitze und Kälte schützen

ihren immer längeren Ausflügen im All ablenken. Astronauten konnten bald – ohne ihre Hände zu benutzen – an einem am Halsring befestigten Energieriegel knabbern und per Saugvorrichtung synthetischen Orangensaft trinken. Den Urin sammelte ein um die Taille geschnallter Beutel, für größere Zwischenfälle war ein „Fecal Containment System“ vorgesehen, letztlich nichts anderes als



Auch die Russen verbesserten ihre Raumkleidung: Im Rettungsanzug SK-1 (ganz links) flog JURIJ GAGARIN 1961 als erster Mensch ins All. Der Mondanzug Kreschet (links) kam dagegen nie zum Einsatz

Für die Mondlandung ließ die Nasa die bis dahin komplexeste Kleidung der Welt schneiden: Zahlreiche Lagen High-Tech-Stoffe schirmten EDWIN ALDRIN vor harschen Temperaturen und Strahlung ab



eine Windel mit Loch an der Vorderseite.

Nach massiven Budgetkürzungen musste die Nasa bald auch an der Astronauten-Kleidung sparen. Waren die früheren Kreationen noch maßgeschneidert, kommen die Anzüge für die Besatzungen der Space Shuttles



Nasa-Designstudie eines Helms: Das

VISIER muss nicht nur die Augen vor Strahlung schützen, sondern auch winzige Meteoriten abhalten

erstmals von der Stange. Die Garderobe besteht aus einem Fiberglas-Torso, der sich mit verschieden langen Arm- und Beinelementen den Körpermaßen individuell anpassen lässt. Nach dem Einsatz wird der Modulanzug zerlegt und gereinigt, sodass er bis zu acht Jahre lang verwendet werden kann. Einzig die 20000 Dollar teuren Handschuhe sind Maßarbeit – sie sollen die

Finger, die im Druckanzug ohnehin schnell ermüden, nicht unnötig behindern.

Der Overall der Shuttle-Astronauten ist für die besonderen Bedingungen im Orbit konstruiert. Das Spezialgewebe schützt vor Außentemperaturen von minus 130 Grad Celsius bei Dunkelheit und plus 150 Grad bei Sonnenlicht; das goldbeschichtete Visier bewahrt das Gesicht vor der intensiven UV-Strahlung.

Das weiter entwickelte Lebenserhaltungssystem ermöglicht bis zu acht Stunden lange Aufenthalte im Weltraum. Und natürlich sind moderne Astronauten elektronisch vernetzt. Über ein Headset stehen sie in Kontakt mit Raumfähre und Bodenstation, die laufend die Messwerte wichtiger Körperfunktionen überwachen. Eine am Helm befestigte Mini-Kamera überträgt jeden Handgriff der Raumfahrer. Insgesamt wiegt die Ausrüstung, im Nasa-Jargon „Extravehicular Mobility Unit“, fast 120 Kilogramm – dank der Schwerelosigkeit im Orbit kein Problem.

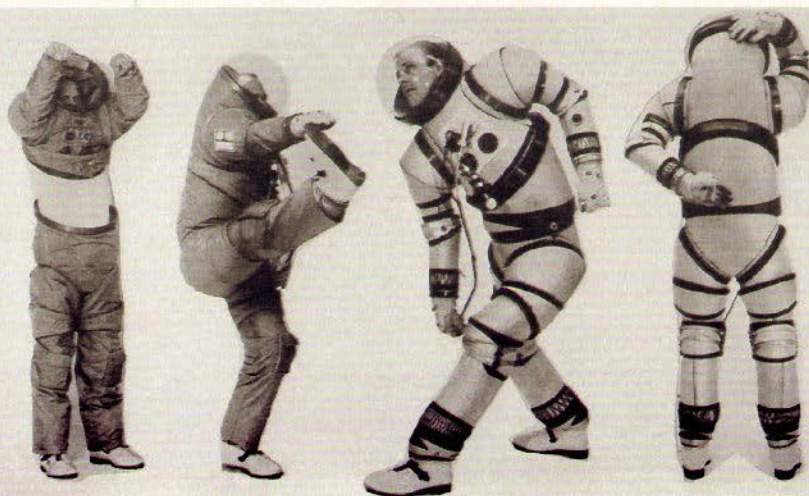
Für einen Flug zum Mars wäre der vor mehr als einem Vierteljahrhundert konzipierte Shuttle-Dress dennoch ungeeignet. Eine der größten Herausforderungen ist der feine, von Stürmen aufgewirbelte Staub, der den Gelenken der Anzüge und ihrer Elektronik zusetzt.

Außerdem müsste die Schutzhülle extrem leicht sein: Unter der Ausrüstung, die ihre Shuttle-

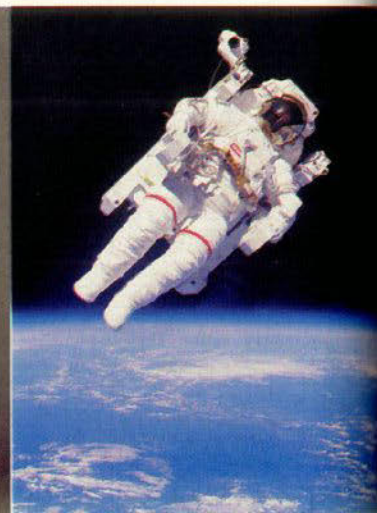
Kollegen in der Schwerelosigkeit der Erdumlaufbahn tragen, würden Mars-Besucher zusammenbrechen – an ihnen zerrt immerhin etwa ein Drittel der irdischen Anziehungskraft. Der Anzug darf auch nicht so verschwenderisch mit Sauerstoff umgehen wie die heutige Raumkleidung, die durch Nähte und Gelenke etwa sechs Liter pro Stunde verliert. Sauerstoff-Nachschub von der Erde wird es während der jahrelangen Mars-Mission schließlich nicht geben.

Vor allem aber muss die Kleidung sehr robust sein: um die Marswanderer vor spitzen Steinen zu schützen und um einen höheren Innendruck zu ermöglichen. Da herkömmliche Stoffanzüge bei hohem Druck stark versteifen und damit die Bewegungen erschweren, werden sie gewöhnlich mit geringem Druck benutzt. Um aber darin arbeiten zu können, müssen etwa die Shuttle-Astronauten 24 Stunden vor jedem Einsatz damit beginnen, reinen Sauerstoff zu atmen. Das wäre für einen längeren, mit häufigen Exkursionen verbundenen Einsatz auf dem Mars zu umständlich.

Dort könnten daher die frühen, von Ritterrüstungen inspirierten Raumanzüge eine Renaissance erleben. Der „H-Suit“, ein moderner Nasa-Prototyp, ist mit Brustpanzer und scharnierartigen Schulter- und Hüftkonstruktionen bestückt. Über eine Einstiegs Luke an der Rückseite



Ausgefeilte Gelenkstrukturen verliehen diesem US-Anzug von 1969 (links der äußere Overall) exzellente BEWEGLICHKEIT. Die Space-Shuttle-Anzüge (rechts, mit Manöviereinheit) sind sogar wiederverwendbar

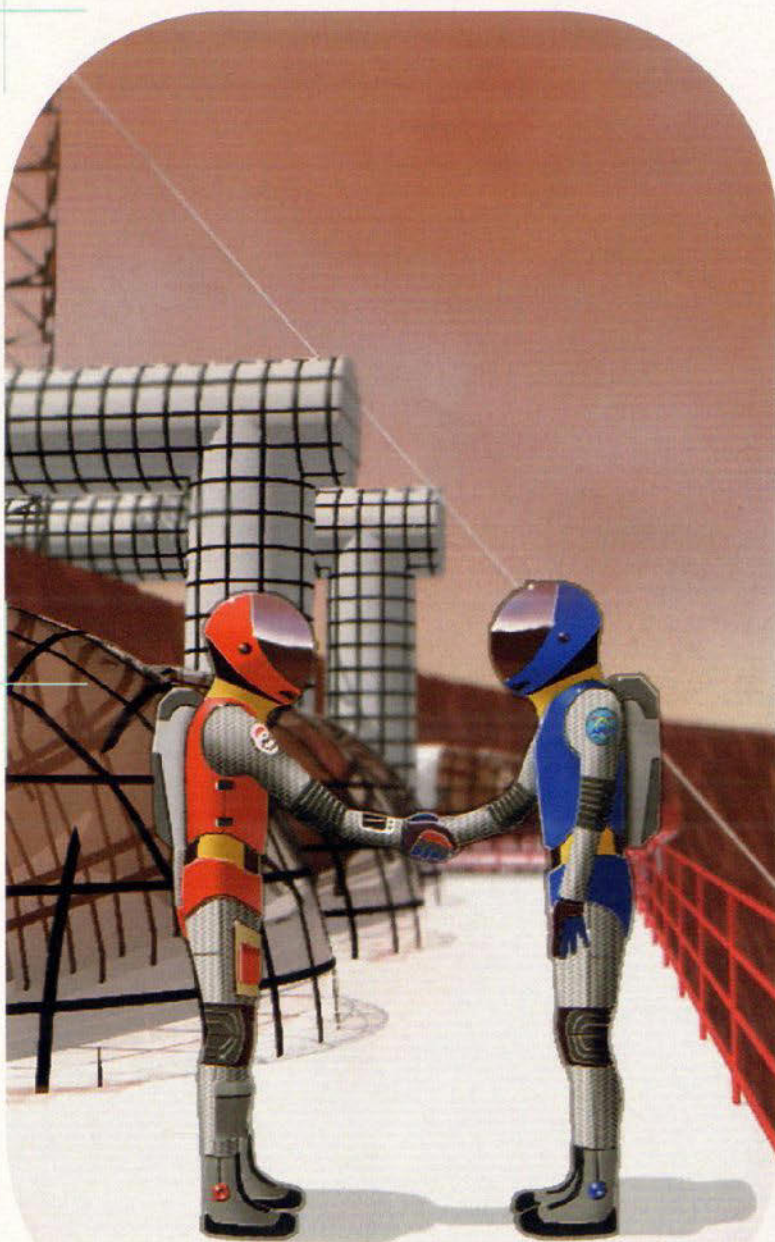


gelangt der Astronaut in den Anzug; drehbare Metallgelenke verleihen ihm große Beweglichkeit.

Manche Experten favorisieren dagegen eine Lösung, die sich vom althergebrachten Konzept des Druckaufbaus verabschiedet: Sie wollen die Mars-Menschen, um deren Beweglichkeit zu verbessern, in hautenge Catsuits zwängen. Ein Konzept für einen so genannten mechanischen Gegendruckanzug haben Forscher vom Massachusetts Institute of Technology vorgelegt. Bei ihrem „Bio-Suit“ ist nur noch der Helm mit Sauerstoff gefüllt; am restlichen Körper übt der Anzug, gesteuert von Prozessoren, den lebenserhaltenden Druck aus. Für die nötige Spannung könnten künstliche Muskeln aus Gel sorgen, die sich unter Strom zusammenziehen und wieder ausdehnen.

Selbst bei diesem Modell werden die Handschuhe die Feinfähigkeit der Hände noch immer einschränken. Auch deswegen entwickelt die Nasa bereits mechanische Robonauten für gefährliche Erkundungen und komplizierte Reparaturarbeiten. Deren Fingerfertigkeit, so das Ziel, soll die des Menschen schon bald übertreffen – und ihn damit auch im All ein Stück weit ersetzbar machen. □

Der Hamburger Autor **Martin Paetsch**, 33, sammelte schon in der Schulzeit bei Sonnenfleckenzählungen und Kometenbeobachtungen erste astronomische Erfahrungen. Bei der Recherche faszinierte ihn, welch komplexe Technik sich unter der weißen Schutzhülle der heutigen Astronauten verbirgt.

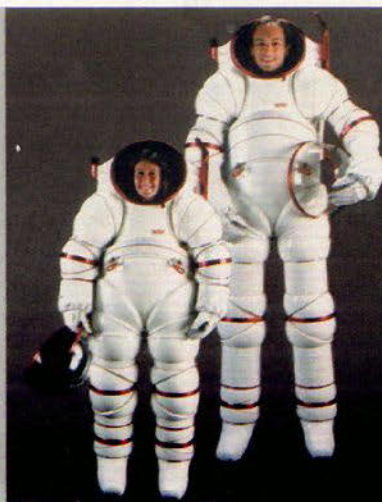


Für Mars-Kolonisten schwebt US-Forschern ein hautenger, sehr beweglicher »BIO-SUIT« vor, der mit künstlichen Muskeln für den nötigen Druck sorgen soll

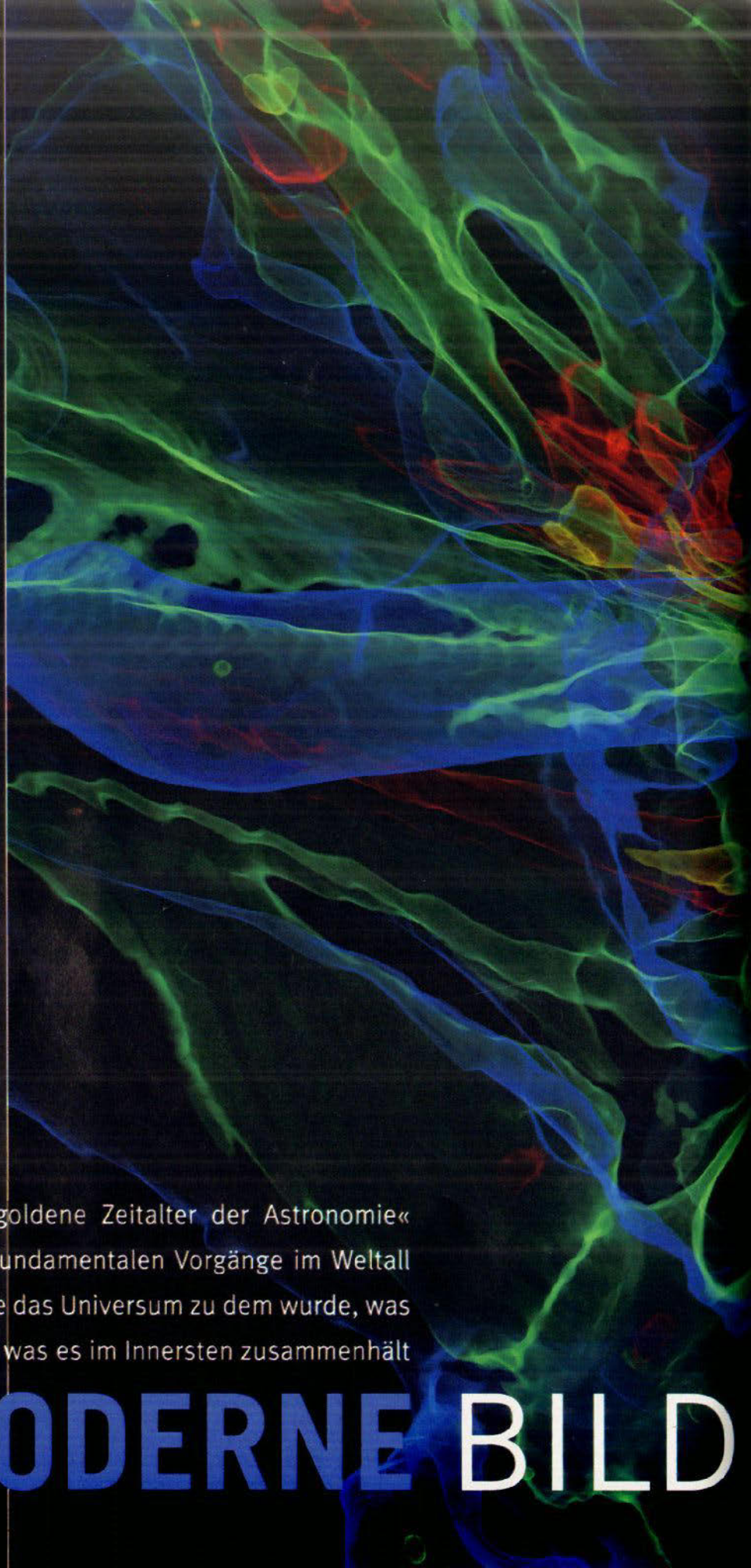
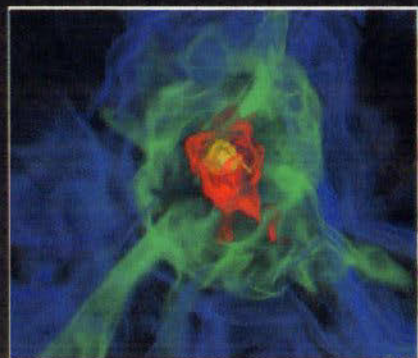
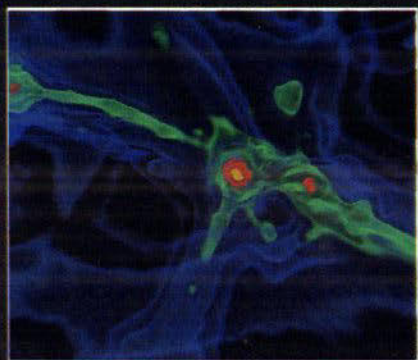
Der »H-Suit« von 1988 mit Rückeneinstieg wird für einen Marsesatz getestet. Der HYBRIDANZUG aus harten und weichen Materialien hält auch hohen Gasdruck aus – das zeitraubende Voratmen von reinem Sauerstoff entfällt



Der unförmige, komplett aus METALL gefertigte Ames AX-5 ist speziell für gefährliche Arbeiten im Orbit entwickelt. Bei dem »Bio-Suit« für den Mars ist nur noch der Helm mit Sauerstoff gefüllt

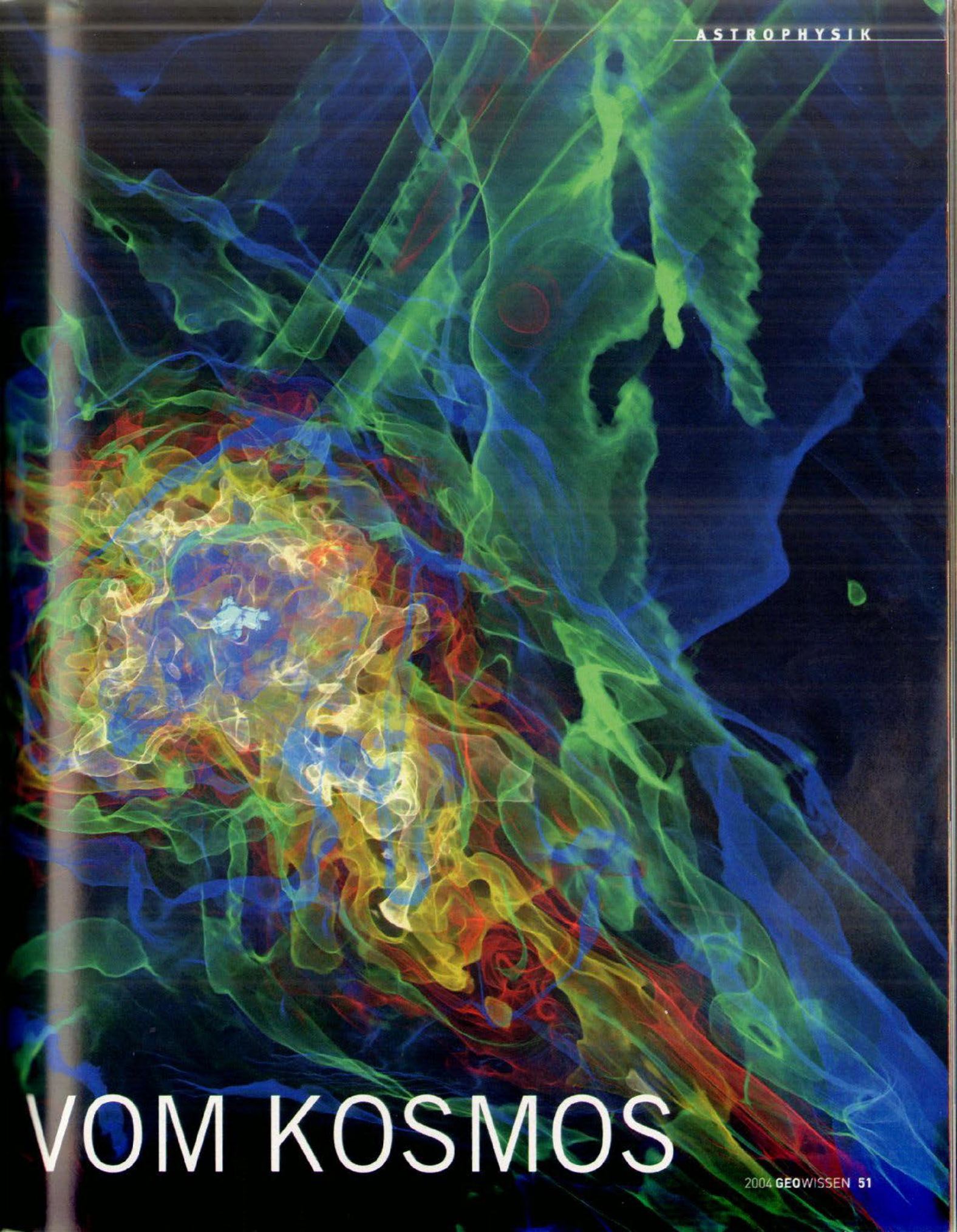


Simulation der ersten Sterne im frühen Universum: Auf den Computer-Bildern des US-Astrophysikers Tom Abel ballen sich die Elemente Wasserstoff und Helium zu Protosternen zusammen – bis schließlich das nukleare Feuer zündet (großes Bild)



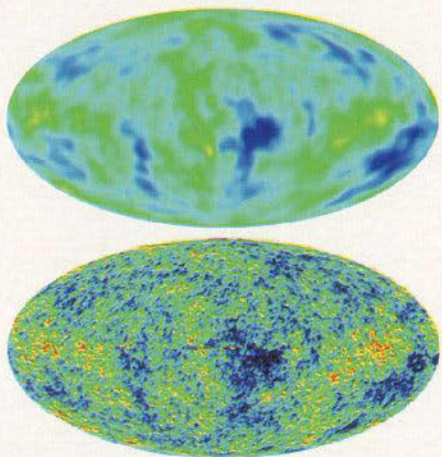
Wissenschaftler haben das »goldene Zeitalter der Astronomie« ausgerufen. Sie glauben, die fundamentalen Vorgänge im Weltall immer besser zu verstehen: Wie das Universum zu dem wurde, was es ist, wie es enden wird – und was es im Innersten zusammenhält

DAS MODERNE BILD



VOM KOSMOS

Der weitestmögliche Blick ins All: Die Aufnahme des Cobe-Satelliten (oben) von 1992 und die detailreichere des WMAP-Satelliten von 2003 zeigen die Dichteverteilung des Urgases, das nur 380 000 Jahre nach dem »Big Bang« entstanden ist. Gebiete höherer Gasdichte sind Regionen, in denen sich Strukturen wie Sterne und Galaxien gebildet haben



Der Galaxienhaufen Abell 1689 wirkt auf das Universum dahinter wie eine Linse. Dieser so genannte Gravitationslinseneffekt ist allein mit der Masse sichtbarer Materie nicht zu erklären. Astrophysiker glauben, dass er vor allem durch die Wirkung »Dunkler Materie« zustande kommt

me und das Gras. Am vierten Tag verwandelt sich das Schwarze Loch urplötzlich in ein Weißes Loch, eine Art Staubsauger im Rückwärtsgang; es katapultiert tonnenweise Gas und Staub in den leeren Raum – daraus entstehen Sonne, Mond und Sterne.

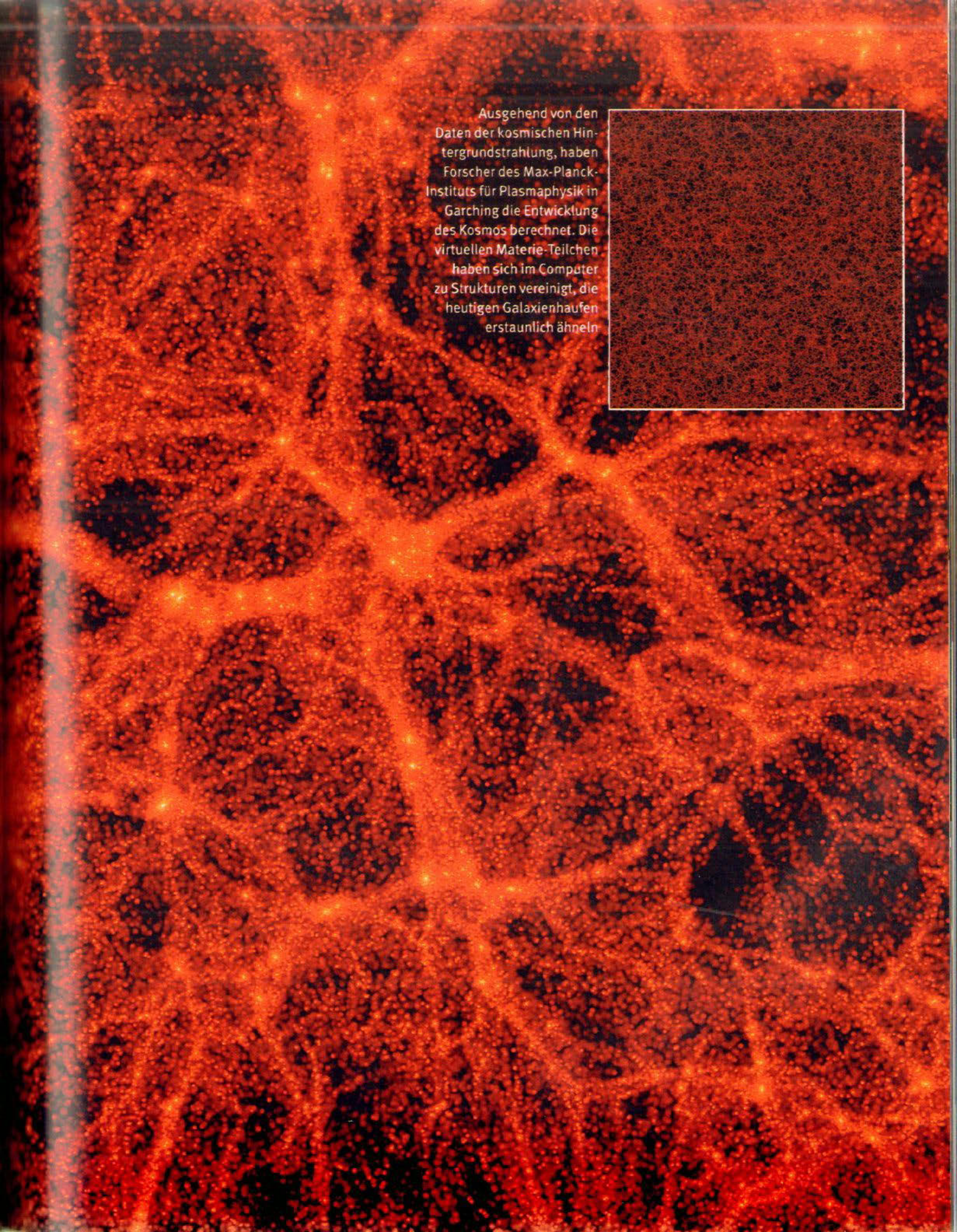
Und der Urknall? »Im Herzen der Urknall-Theorie schlägt der Atheismus«, erwidert er. Denn der Urknall erzeuge ein Universum ohne Zentrum; die Erde sei darin nur eine Fußnote. Für Humphreys steht die Milchstraße im Mittelpunkt des Kosmos: »Die Erde ist demnach nah am Zentrum und herausgehoben – das spricht für einen Schöpfer.« Seine Berechnungen hat der Physiker im *Creatio ex Nihilo Technical Journal* veröffentlicht, dem Fachblatt zur »Schöpfung aus dem Nichts«. Leider werde es in einigen hundert Jahren mit der Welt zu Ende gehen, glaubt Humphreys. Und das Ende werde schrecklich sein, das stehe schließlich im 2. Petrus-Brief, Kapitel 3, Vers 10.

*

Die vermeintlichen Atheisten versammelten sich Ende September 2003 in Sorrento, einem kleinen Städtchen am Golf von Neapel. »Thinking, Observing and Mining the Universe« lautete das Motto ihrer Tagung. 130 Astrophysiker und Kosmologen feierten das Gegenmodell zur Genesis der Kreationisten. Die Stimmung war ausgelassen. Der Galaxien-Experte George Djorgovsky vom California Institute of Technology schwärmte gar vom »goldenen Zeitalter der Astronomie«. Nie zuvor war sich die Forscherzunft ihrer Sache so sicher.

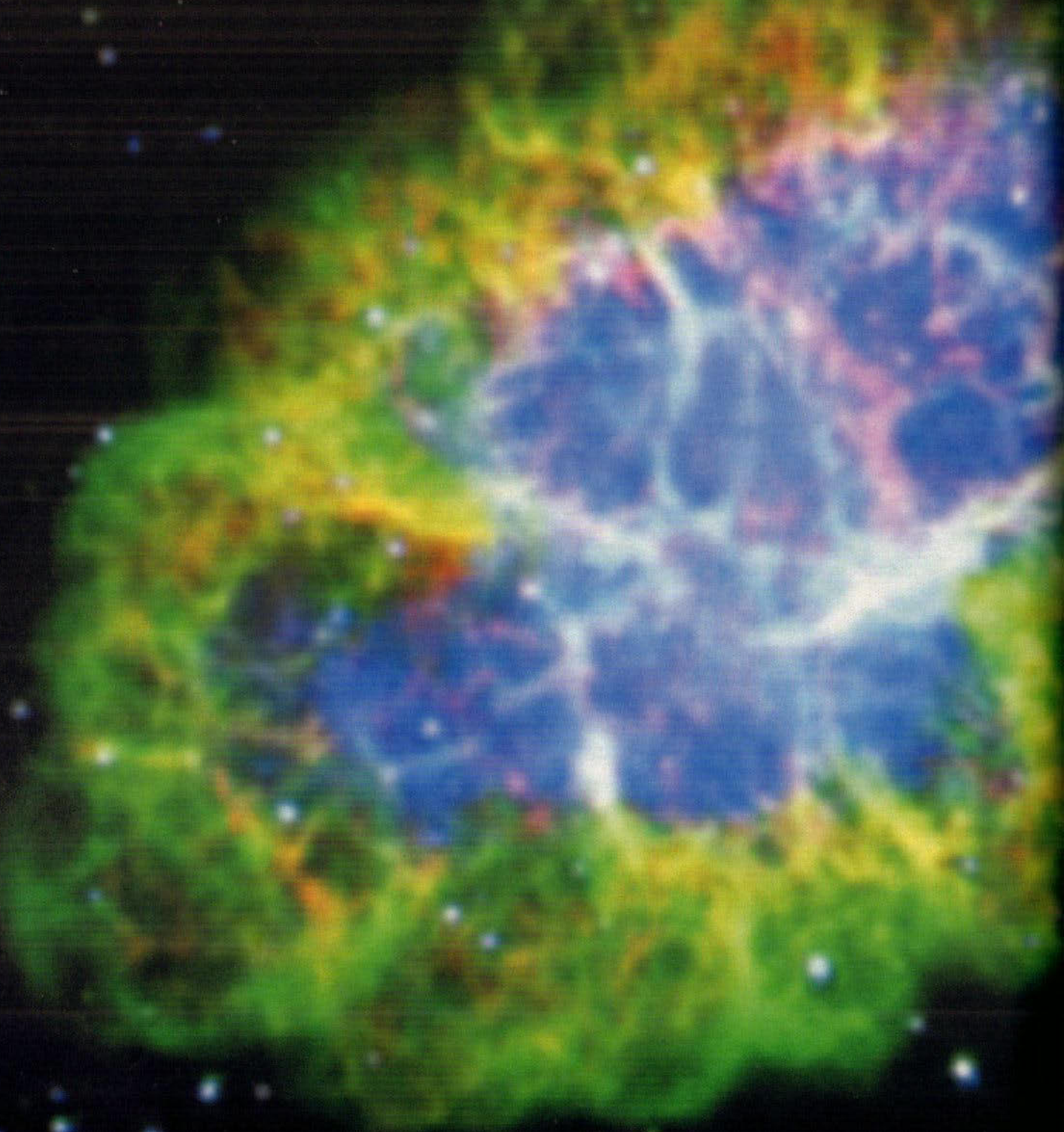
Das Drehbuch ihrer »Schöpfungsgeschichte« sieht so aus:

- Am Anfang war der Urknall. Raum, Energie und Materie des Universums waren auf einen un-

The background of the entire page is a detailed map of the Cosmic Microwave Background (CMB) fluctuations, showing a complex pattern of orange, red, and black speckles and filaments. In the upper right, there is a rectangular inset box containing a smoother, less detailed version of the same CMB map.

Ausgehend von den
Daten der kosmischen Hin-
tergrundstrahlung, haben
Forscher des Max-Planck-
Instituts für Plasmaphysik in
Garching die Entwicklung
des Kosmos berechnet. Die
virtuellen Materie-Teilchen
haben sich im Computer
zu Strukturen vereinigt, die
heutigen Galaxienhaufen
erstaunlich ähneln

Der Krebs-Nebel ist die Explosionswolke
einer gewaltigen Supernova, die im Jahr 1054
erstmals sichtbar wurde – und für Hunderte
von Jahren selbst am Tage mit dem bloßen
Auge betrachtet werden konnte



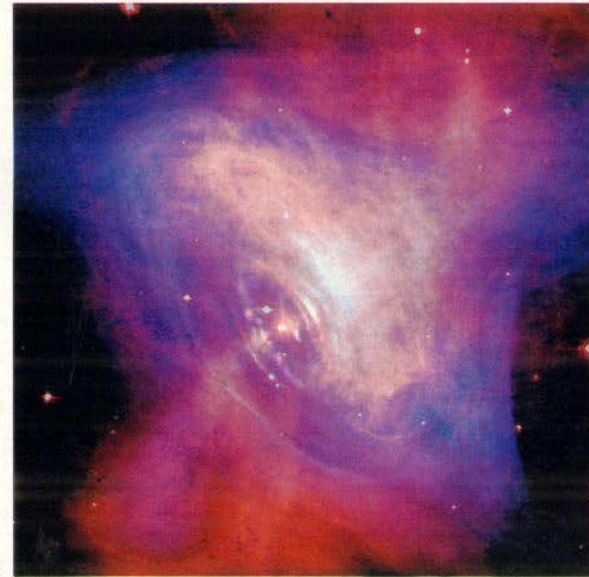
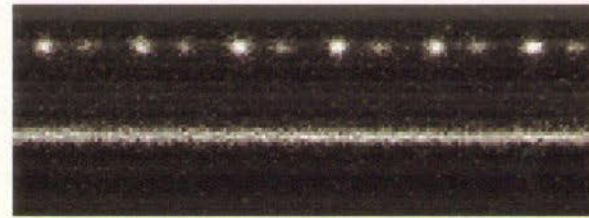
endlich kleinen und heißen Punkt konzentriert.

- In den ersten Bruchteilen einer Sekunde dehnte sich der Raum schlagartig exponentiell aus, wie ein Luftballon an der Heliumflasche.
- Nach ein paar Minuten entstanden die ersten Atomkerne, nach 200 Millionen Jahren die ersten Sterne, nach 9,1 Milliarden Jahren unsere Sonne.
- Nach 13,7 Milliarden Jahren trat der Mensch auf den Plan. Seine Knochen, Haut und Organe bestehen aus Atomen, die von den ersten Sternengenerationen ausgebrütet wurden.
- Heute besteht das Universum zu 73 Prozent aus „Dunkler Energie“ und zu 22 Prozent aus „Dunkler Materie“, die beide nicht direkt sichtbar sind.
- Das Universum dehnt sich immer schneller aus, und es ist flach.

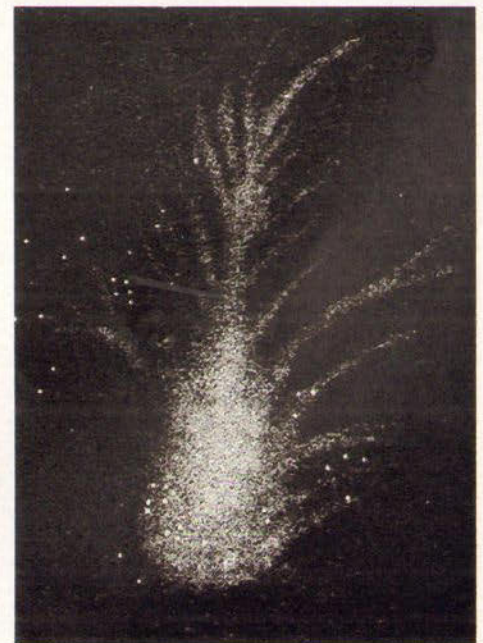
Zugegeben, das Weltbild der modernen Kosmologie klingt – wie das der Kreationisten – ziemlich verwegen. Tatsächlich ähnelte die Lehre vom Universum bis vor einigen Jahrzehnten einer Quasireligion, wurde von Forschergurus, deren Dogmen und Glaubensbekenntnissen geprägt. Heute jedoch ist die Kosmologie mehr als je zuvor eine empirische Wissenschaft mit solidem theoretischen und experimentellen Fundament: Teleskope im Himmel und auf Erden fotografieren das All, empfangen Röntgenstrahlen, Infrarotlicht und Radiowellen. Daraus setzen die Kosmologen ein Weltbild zusammen, das in sich erstaunlich schlüssig ist.

Wichtige offene Fragen gibt es dennoch:

- Woraus bestehen Dunkle Materie und Dunkle Energie?
- Was geschah in der ersten Millisekunde nach dem Urknall?
- Woher kommen die Naturgesetze?
- Wie wird alles enden?



Ein Kameraschwenk (ganz oben) macht das Flackern eines Pulsars im Krebs-Nebel sichtbar, darunter die durchgängige Leuchtspur eines »normalen« Sterns. Die farbige Aufnahme lässt die rasende Rotation des Pulsars erahnen. Der Name des Nebels geht zurück auf eine Zeichnung von William Parsons aus dem Jahre 1844, die an einen Krebs erinnert



Einige der großen „Historiker des Kosmos“ forschen im englischen Cambridge; sie haben das derzeit gültige Weltbild maßgeblich mitentworfen, und sie versuchen fieberhaft, die Lücken zu füllen. Am Institut für Astronomie in der Madingley Road ist der Flur mit Bildern von Galaxien und fernen Welten tapeziert, befestigt mit Klettband, so als wolle man sie schnell austauschen, sobald eine Theorie sich als überholt erweist. Die meisten Fotos hängen schon seit langem.

Den entscheidenden Paradigmenwechsel hat das Institut bereits in den 1960er Jahren vollzogen. Bis dahin war Cambridge eine Hochburg der Urknall-Gegner. Eine Bronzefigur im Garten des Instituts erinnert an den vehementesten Streiter wider den Urknall, den Institutsgründer Fred Hoyle.

„Hoyle war ein Typ, der seine Meinung nie änderte“, sagt Martin Rees, der in den 1960er Jahren bei Hoyle studierte. Heute gehört der schmächtige Mann mit den buschig-weißen Augenbrauen zu den renommiertesten Astrophysikern weltweit, geadelt von der englischen Queen zum *Astronomer Royal*. An den Streit zwischen Big-Bang- und Steady-State-Anhängern kann sich Rees noch gut erinnern: „Das war eine lautstarke Debatte.“

Bekannt war damals bereits, dass sich das Universum ausdehnt. Das legte zwar einen Urknall nahe, aber auch die Steady-State-Theoretiker konnten den Befund aus den 1920er Jahren in ihr Weltbild einpassen.

Der Ausdehnung des Alls auf die Spur gekommen war der Astronom Edwin Hubble (1889–1953), als er mit dem Teleskop

immer scheint alles vom eigenen Standpunkt aus wegzustreben; ein Zentrum gibt es nicht. Die Distanz zu weit entfernten Galaxien nimmt demnach nicht deshalb zu, weil diese *durch* den Raum von uns wegfliegen, sondern weil sich der Raum *selbst* ausdehnt. Nicht nur den Filmmacher Woody Allen hat das verwundert: „Wenn sich das Universum ausdehnt, warum finde ich dann nie einen Parkplatz?“, soll er spöttisch gefragt haben.

Tatsächlich sind sich die Experten bis heute uneins, ob sich nicht auch der Raum innerhalb von Galaxien oder gar der zwischen den Planeten unseres Sonnensystems ausdehnt. Wenn, so wäre der Effekt minimal, da die Gravitation der Himmelskörper der Ausdehnung entgegenwirkt. Selbst die Andromeda-Galaxie ist durch Gravitation an die Milchstraße gebunden. Zwischen der Milchstraße und dem nächstgelegenen Galaxienhaufen – dem Virgocluster – dominiert hingegen schon die Ausdehnung.

Durch einen Zufallsfund gewann die Big-Bang-Theorie in den 1960er Jahren Oberhand. Die Astrophysiker Arno Penzias und Robert Wilson, beide Angestellte der Bell Laboratories in New Jersey, wollten eigentlich mit einer Antenne zur Satellitenkommunikation Radiowellen aus der Milchstraße untersuchen. Als sie deren Signale auswerteten, wunderten sie sich über ein gleichmäßiges Rauschen im Frequenzbereich der Mikrowellen. Selbst ein Taubenpaar auf der sechs Meter großen Antenne wurde als Störquelle verdächtigt. Bis sie schließlich erkannten: Ein mysteriöses „Hintergrundrauschen“ erfüllt das gesamte All.

Penzias und Wilson veröffentlichten das Ergebnis im angesehenen „*Astrophysical Journal*“. Was dies bedeutete, wurde ih-

Kosmologen stellen sich das Weltall als eine Art Hefekuchen vor, der mit 100 Milliarden Rosinen gespickt ist

Der Physiker kämpfte bis an sein Lebensende gegen die Urknall-Theorie. Aufgekommen war diese bereits in den 1920er Jahren; der belgische Priester und Mathematiker Georges Lemaitre (1894–1966) bezeichnete den von ihm vermuteten dichten Ausgangszustand des Universums als „Uratom“. Der russisch-amerikanische Physiker George Gamow sprach später von „ylem“ (Urstoff). Doch der von Fred Hoyle eigentlich als Schimpfwort gebrauchte Begriff „Big Bang“ setzte sich durch. Längst auf verlorenem Posten, veröffentlichte Hoyle noch im Jahr 2000 mit zwei Koautoren ein Lehrbuch für Kosmologie, das ein ewiges Universum im Gleichgewicht (*Steady State*) beschwört. Kosmologen irren oft, heißt es nicht ganz zu Unrecht, haben aber nie Zweifel.

auf dem Mount Wilson in Kalifornien das Leuchten von Galaxien studierte. Dabei stellte er überrascht fest, dass das Licht in den rötlichen Bereich des Spektrums verschoben war – ähnlich wie die Sirene eines Krankenwagens nach dem Vorbeifahren durch die Dehnung der Töne tiefer klingt, so schien auch die Wellenlänge des Sternenlichts gedehnt. Die für ihn einzig mögliche Erklärung: Die Galaxien entfernen sich von der Erde. Martin Rees hält dies für „die vermutlich wichtigste Feststellung über unser Universum“.

Seither stellen sich Kosmologen das Weltall als eine Art Hefekuchen vor, der mit 100 Milliarden Rosinen gespickt ist. Dehnt sich der Kuchen aus, entfernen sich alle Rosinen voneinander – egal von welcher Rosine aus man die übrigen betrachtet,

nen, so gab Wilson zu, aber erst durch einen Bericht in der „New York Times“ klar.

Demnach treffen aus allen Himmelsrichtungen elektromagnetische Strahlen mit einer Wellenlänge im Millimeter- und Zentimeterbereich auf die Erdoberfläche. Selbst mit einer normalen Zimmerantenne lässt sich deren Signal empfangen; ein Prozent der Schneebilder zwischen den Programmplätzen wird von dem Ur-Rauschen verursacht. Im Jahr 1978 bekamen Wilson und Penzias für die Entdeckung des Urknall-Echos den Nobelpreis.

Die Kosmologen werten dieses „Nachglühen der Schöpfung“, wie Martin Rees es nennt, als das wichtigste Indiz für den Urknall. Vor allem die Gleichförmigkeit der Mikrowellen entzückt die Wissenschaftler. Ob der Himmel über dem Nordpol oder in der südlichen Hemisphäre abgesehen wird, ob am Tage oder in tiefer Nacht – immer und überall hat die Strahlung die gleiche Temperatur. Demnach müssen alle Bereiche des Weltalls zu einem früheren Zeitpunkt in Kontakt gewesen sein: beim Urknall.

Dieser Zeitpunkt gilt Physikern als der Beginn von Raum und Zeit. Jegliche Spekulation, ob es etwas davor gegeben hat, entzieht sich der wissenschaftlichen Erforschung.

In der ersten Millisekunde nach dem Urknall war die Materie dichter als Atomkerne; Protonen und Neutronen lagen noch in ihren Bestandteilen, den Quarks, vor. In den ersten Jahren bestand das Universum aus heißem, dichtem Gas, das undurchsichtig war, weil die Lichtteilchen mit energiereichen Elementarteilchen kollidierten. Erst nach 380 000 Jahren hatte sich der Sturm gelegt. Der Feuerball kühlte auf eine Temperatur wie heute an der Sonnenoberfläche

ab. Die Elementarteilchen vereinigten sich erstmals zu neutralen Atomen. Licht und andere elektromagnetische Strahlung konnten sich fortan ausbreiten.

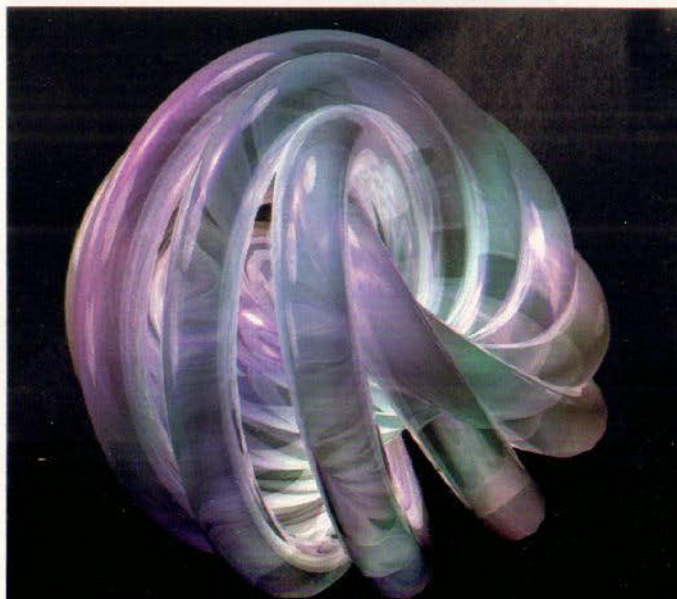
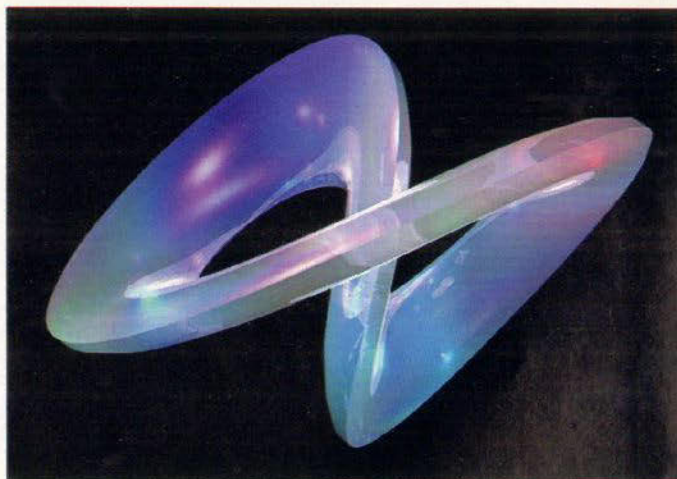
Schließlich bildeten sich Materiewolken, aus denen die ersten Sterne geboren wurden, zusammengehalten von der Gravitationskraft. Die Zusammensetzung der Sterne ist ein weiteres Indiz für einen Urknall: Sie bestehen aus 75 Prozent Wasserstoff, 23 bis 24 Prozent Helium, ein wenig Sauerstoff, Silizium und einigen seltenen Elementen.

Ausgerechnet der Urknall-Gegner Hoyle und sein Mitarbeiter Roger Tayler fanden heraus, dass derart viel Helium nur durch eine Kernverschmelzung in Supersternen, bei Milliarden Grad Celsius, entstanden sein konnte. Doch es blieb unklar, wie sich solche Riesensterne zusammenballen konnten; aufgrund ihrer Größe hätten sie schon nach wenigen Minuten ihrer Existenz wieder explodieren müssen. Für die Mehrheit der Kosmologen gab es daher nur eine Erklärung: Das Helium stammt aus einem einzigen Mega-Stern, eben dem Urknall. Es bildete sich in den ersten Sekunden und Minuten in der Ursuppe.

Damit ist die Theorie vom Anfang des Universums gut belegt. Sie wurde im vergangenen Vierteljahrhundert immer wieder herausgefordert, aber es tauchten keine Befunde auf, die einen Big Bang widerlegt hätten. James Peebles, früher an der Universität Princeton und eine Koryphäe der Astrophysik, verteilte 2002 in der Zeitschrift „Scientific American“ Noten für kosmologische Thesen. Für den Urknall vergab Peebles die Höchstnote: Eins plus. „Ich habe zu 99 Prozent Vertrauen in die Theorie“, sagt auch Martin Rees, „und es erstreckt sich bis zur ersten Sekunde – vielleicht sogar



Astrophysiker gehen aufgrund der Massenverteilung im Weltall davon aus, dass das dreidimensionale Universum – mathematisch betrachtet – nahezu flach ist. Was das bedeutet, erschließt sich am besten durch eine Analogie zu zweidimensionalen Flächen: Demnach wäre das Weltall eine Ebene. Enthielte es wesentlich mehr Masse, würde es sich hängen konvex formen wie eine Kugel; hätte es deutlich weniger Masse, würde es sich konkav formen wie ein Sattel. Manche Physiker stellen sich den Kosmos schleifenförmig vor oder mit ineinander verschlungenen, vieldimensionalen Schläuchen



1170 SEKUNDEN



bis zur ersten Millisekunde.“ Davor allerdings waren Temperaturen und Dichte zu hoch, um den Zustand mit den heute bekannten Naturgesetzen beschreiben zu können.

*

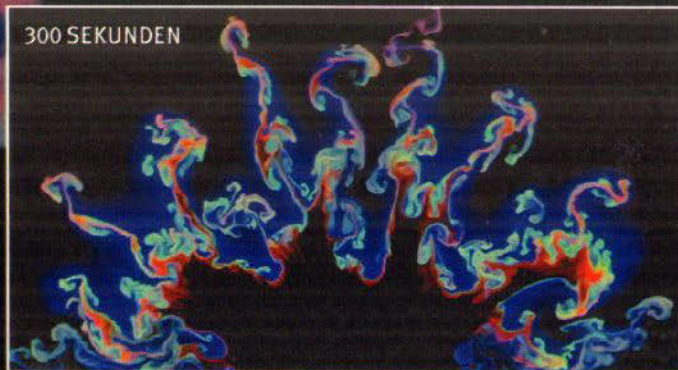
Die kosmische Hintergrundstrahlung hat neben dem Urknall noch ein weiteres Phänomen ins Licht der Erkenntnis getaucht: die heiß diskutierte Frage nach der Geometrie des Universums.

In den 1990er Jahren hatten Astrophysiker von der Antarktis aus Ballons in die äußeren Bereiche der Atmosphäre aufsteigen lassen und den Satelliten „Cobe“ (*Cosmic Background Explorer*) ins All geschickt. Damit wollten sie – ungestört von atmosphärischen Störungen – dem Echo des Urknalls lauschen.

Zum Erstaunen der Forscher registrierten die Messgeräte jedoch kaum erkennbare, aber regelmäßige Schwankungen der

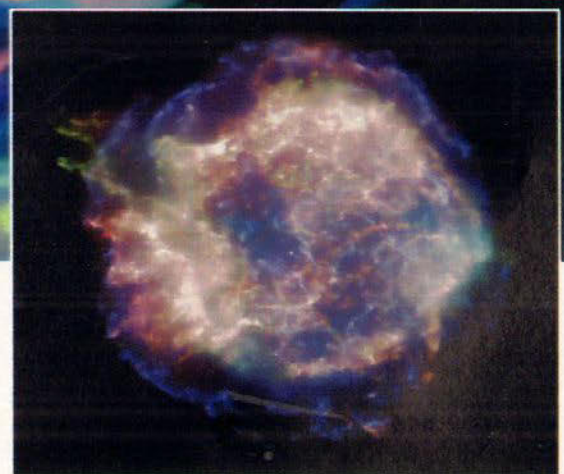
Mikrowellenstrahlung – so als würden sie leise Choräle aus einem stark verrauschten Sender herausfiltern.

Als Sensation galt weniger die Existenz dieser Urvibrationen, sondern deren Tonlage. Anhand der Wellenlänge, die 2003 vom Satelliten WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*) mit noch höherer Präzision bestätigt wurde, steht heute fest: Das Universum ist – mathematisch betrachtet – nahezu flach.



300 SEKUNDEN

Computersimulation einer Supernova am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching. Die Farben zeigen die Verteilung verschiedener Elemente von fünf Minuten bis etwa drei Stunden nach der Explosion. Das vom Weltraum-Teleskop Chandra aufgenommene Foto (ganz unten) der Supernova Cassiopeia A macht eine ganz ähnliche Elementverteilung sichtbar



Das bedeutet nicht, dass der Kosmos eine Art Tischplatte ist. Wenn Astronomen von flachen oder gekrümmten Universen sprechen, geht es nicht um Scheiben oder Kugeln, sondern um abstrakte dreidimensionale Räume, die das menschliche Vorstellungsvermögen überfordern.

Eine Analogie zu zweidimensionalen Flächen lässt erahnen, was gemeint ist: Eine solche Fläche ist gekrümmt, wenn sie einem Luftballon oder einem

Pferdesattel ähnelt, und flach, wenn sie einer Tischplatte entspricht. Gäbe es zweidimensionale Wesen, so könnten diese nicht unterscheiden, ob sie auf einem Luftballon oder einem Tisch leben. Ihnen fehlt die Vogelperspektive aus der dritten Dimension. Ähnlich geht es Menschen mit dem dreidimensionalen Raum; erst ein Wesen, das eine Dimension höher steht und von dort hinunterblickt, könnte flache und gekrümmte

Universen auf den ersten Blick unterscheiden.

Dennoch rechnen Mathematiker mit Räumen in beliebig vielen Dimensionen. „Flach“ heißt für sie, dass zwei Lichtstrahlen, die nebeneinander ins All ge-

schickt werden, bis in alle Ewigkeit parallel laufen und niemals wieder an den Ausgangspunkt zurückkehren – und dass die Winkelsumme in einem Dreieck immer 180 Grad ergibt. Wäre sie kleiner oder größer als 180 Grad, wäre der Raum negativ oder positiv gekrümmt, wie ein Sattel oder eine Kugel.

Im 19. Jahrhundert vermaß der Mathematiker Carl Friedrich Gauß die Winkel zwischen drei Gipfeln in Norddeutschland. In der Summe waren es 180 Grad. Da Entfernungen auf der Erde für einen derartigen Test aber zu klein sind, war es verfrüht, aus dem Ergebnis auf die Geometrie des Universums zu schließen.

*

Die Wissenschaftler betrachten den flachen Kosmos indes mit zwiespältigen Gefühlen. Einerseits ist er praktisch: Die Inflationstheorie, die davon ausgeht, dass sich der Raum im Urknall exponentiell ausgedehnt hat, sagt diese Geometrie voraus. Andererseits ist er lästig, denn das Universum muss eine bestimmte Masse haben, die den Raum mit ihrer Schwerkraft „flach“ zieht; die verhindert, dass er sich zu einem Sattel krümmt. Und dafür reicht selbst die gi-

gantische Masse aller Sterne, Planeten und Materiewolken bei weitem nicht aus.

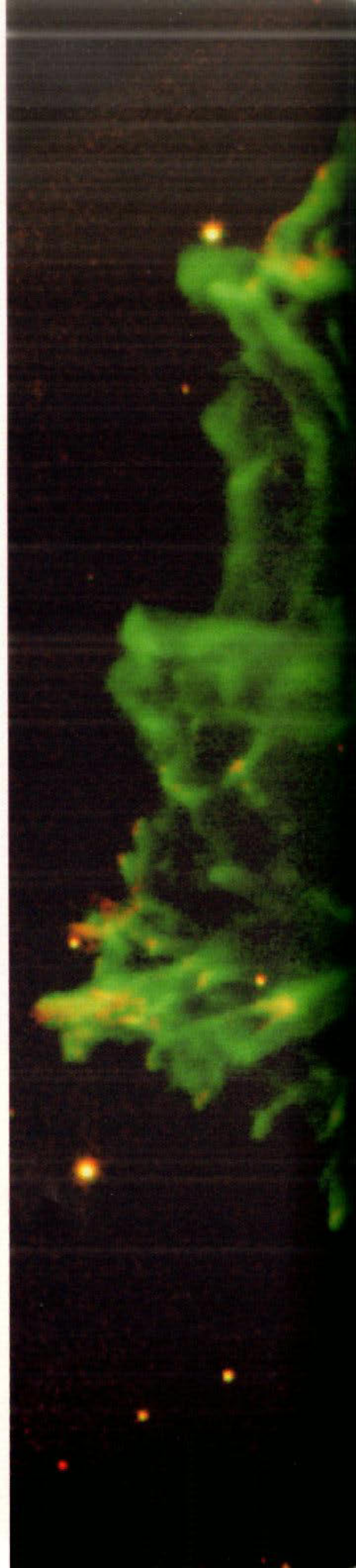
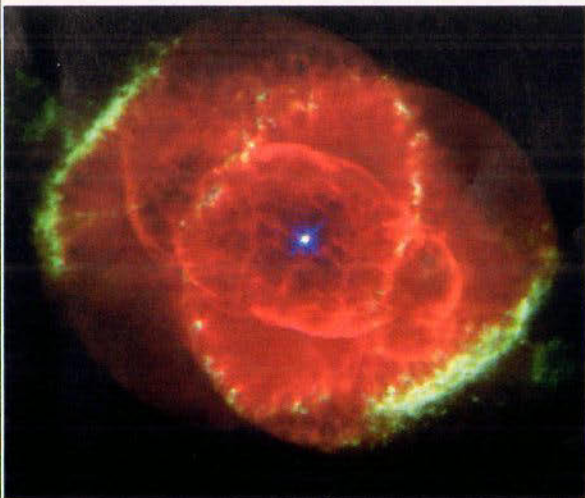
Ein flaches Universum benötigt nach den Berechnungen der Forscher eine Materiedichte von durchschnittlich fünf Wasserstoffatomen pro Kubikmeter Raum. Das sind, auf das Volumen der Erde verteilt, ein paar Sandkörner. Was nach wenig klingt, ist, auf das ganze All bezogen, sehr viel: Denn die gesamte bekannte Materie zusammen erbringt, gleichmäßig im All verteilt, nur etwa 0,2 Atome pro Kubikmeter – gerade vier Prozent der benötigten Materiedichte in einem flachen Universum.

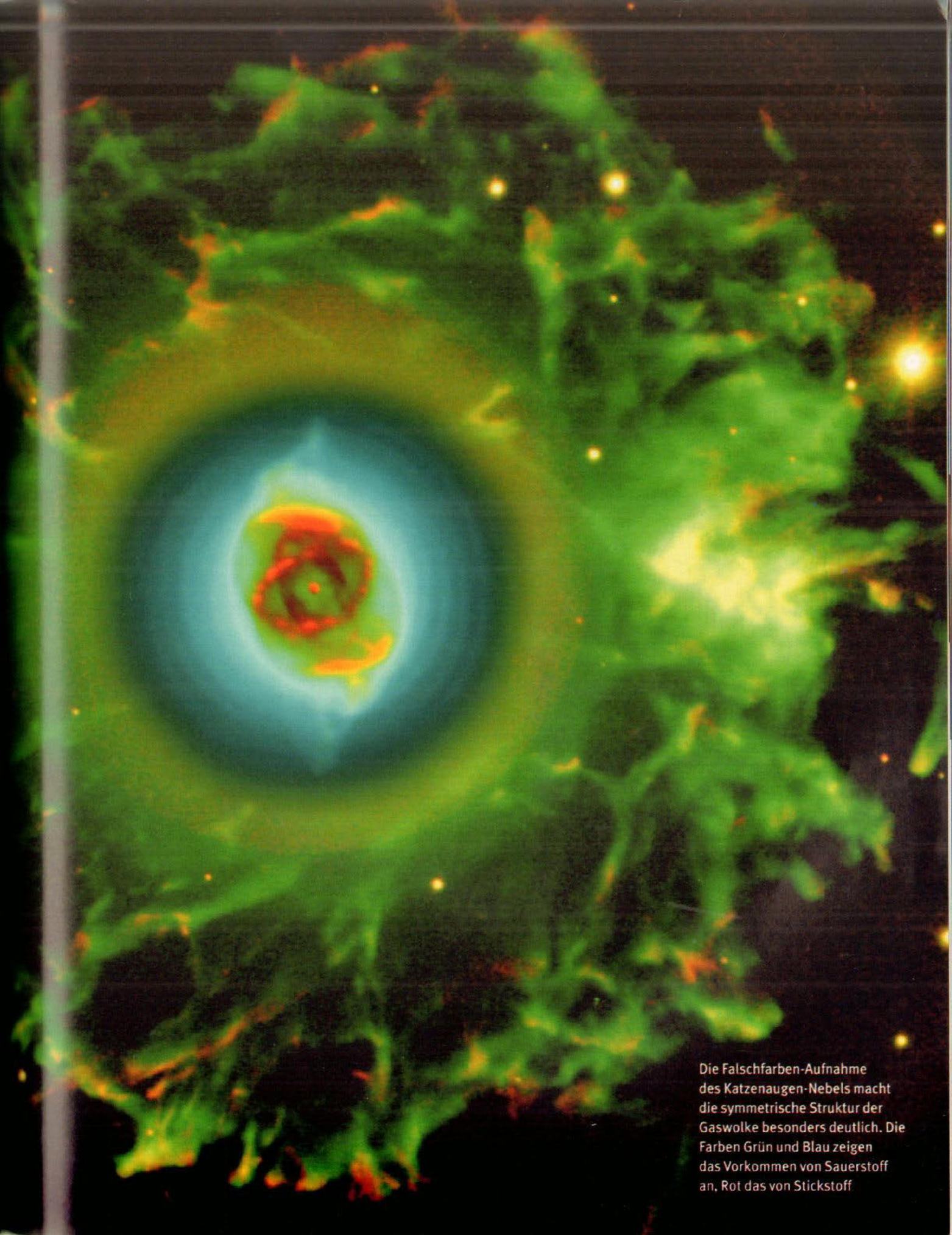
„Es ist schon etwas peinlich, dass der Großteil des Universums noch immer unbekannt ist“, sagt Martin Rees. Etwas Wichtiges fehlt also: Man sieht es nicht, man hört es nicht, es leuchtet nicht, schluckt kein Licht und hinterlässt bislang keine Spuren auf den vielen Teilchendetektoren in stillgelegten Bergwerken und Forschungssatelliten.

Dennoch sind sich die Kosmologen einig, dass es dieses Etwas geben muss – sie taufen es Dunkle Materie. Hinweise auf die geheimnisvolle Substanz entdeckte der Schweizer Astronom Fritz Zwicky schon in den 1930er Jahren. Nach seinen Berechnungen hatte die sichtbare Materie allein längst nicht genug Gravitationskraft, um der gewaltigen Fliehkraft der Sterne entgegenzuwirken – Galaxien hätten eigentlich auseinander fliegen müssen.

An Erklärungsversuchen für die Dunkle Materie mangelt es nicht. Teilchenphysiker verdächtigen gern neue, noch unbekannte Klassen von Elementarteilchen, wie die im Englischen *wimps* genannten, was gleichermaßen für „Feiglinge“ steht oder *weakly interacting massive particles* (schwach wechselwirkende massive Teilchen). Oder andere

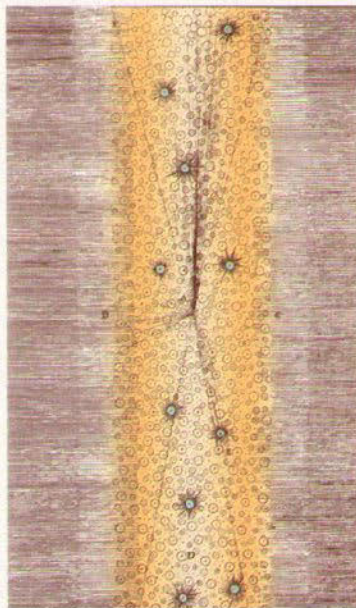
Der 3000 Lichtjahre entfernte Katzenaugen-Nebel gilt als eine der komplexesten Himmelserscheinungen. Forscher rätseln noch, ob er durch zwei dicht beieinander stehende Sterne oder ein starkes Magnetfeld entstanden ist





Die Falschfarben-Aufnahme des Katzenaugen-Nebels macht die symmetrische Struktur der Gaswolke besonders deutlich. Die Farben Grün und Blau zeigen das Vorkommen von Sauerstoff an, Rot das von Stickstoff

Thomas Wright of Durham stellte sich 1750 die Milchstraße bereits als flache Scheibe mit unzähligen Sternen vor. Das mehr als 200 Jahre später vom Satelliten Cobe aufgenommene Bild bestätigt seine Sicht



exotische Teilchen, wie Neutrinos oder Axione. Mithilfe von einem Dutzend Detektoren in Minen und Tunneln, davon allein vier im italienischen Gran-Sasso-Massiv, wollen Physiker der Dunklen Materie auf die Spur kommen.

Andere Forscher suchen erkaltete Riesenplaneten oder Schwarze Löcher, die wie Geisterfahrer durch die Randbezirke der Milchstraße driften und liebevoll *Machos* genannt werden (für *massive compact halo objects*). Jedes Mal, wenn ein Macho zwischen einem viele Lichtjahre entfernten Stern und der Erde vorüberzieht, fokussiert sein Schwerfeld für einige Tage oder Wochen das Sternlicht auf die Erde und lässt den Stern heller als gewöhnlich strahlen. Mehr als 20 solcher Leuchterscheinungen haben Astronomen in den vergangenen Jahren in der Milch-

ten Elementarteilchen besteht“, räumt Wambsganz ein. Von den Vorschlägen der Teilchenphysiker ist er allerdings nicht überzeugt: „Wenn gleich mehrere mögliche Teilchen postuliert werden, ist das so ähnlich, als wenn man fünf Ausreden parat hat, warum man verspätet ist; auch die Teilchenphysiker tappen noch im Dunkeln.“

*

Während Sternengucker und Teilchenforscher noch immer rätseln, woraus Dunkle Materie besteht, wird andernorts schon mit ihr gerechnet. Etwa am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching, wo Forscher die Schöpfungsgeschichte mithilfe von Supercomputern simulieren. Das „Grüß Gott“ des bayrischen Pförtners bekommt hier einen ganz neuen Beiklang.

„Anfangs glaubte kaum jemand an die Dunkle Materie“, er-

Forscher suchen Schwarze Löcher, die wie Geisterfahrer durch die Randbezirke der Milchstraße driften

straße beobachtet – viel zu wenige allerdings, um die Materiebilanz auszugleichen. Doch sie suchen weiter, mit einem Forschungsprogramm namens „Supermacho“.

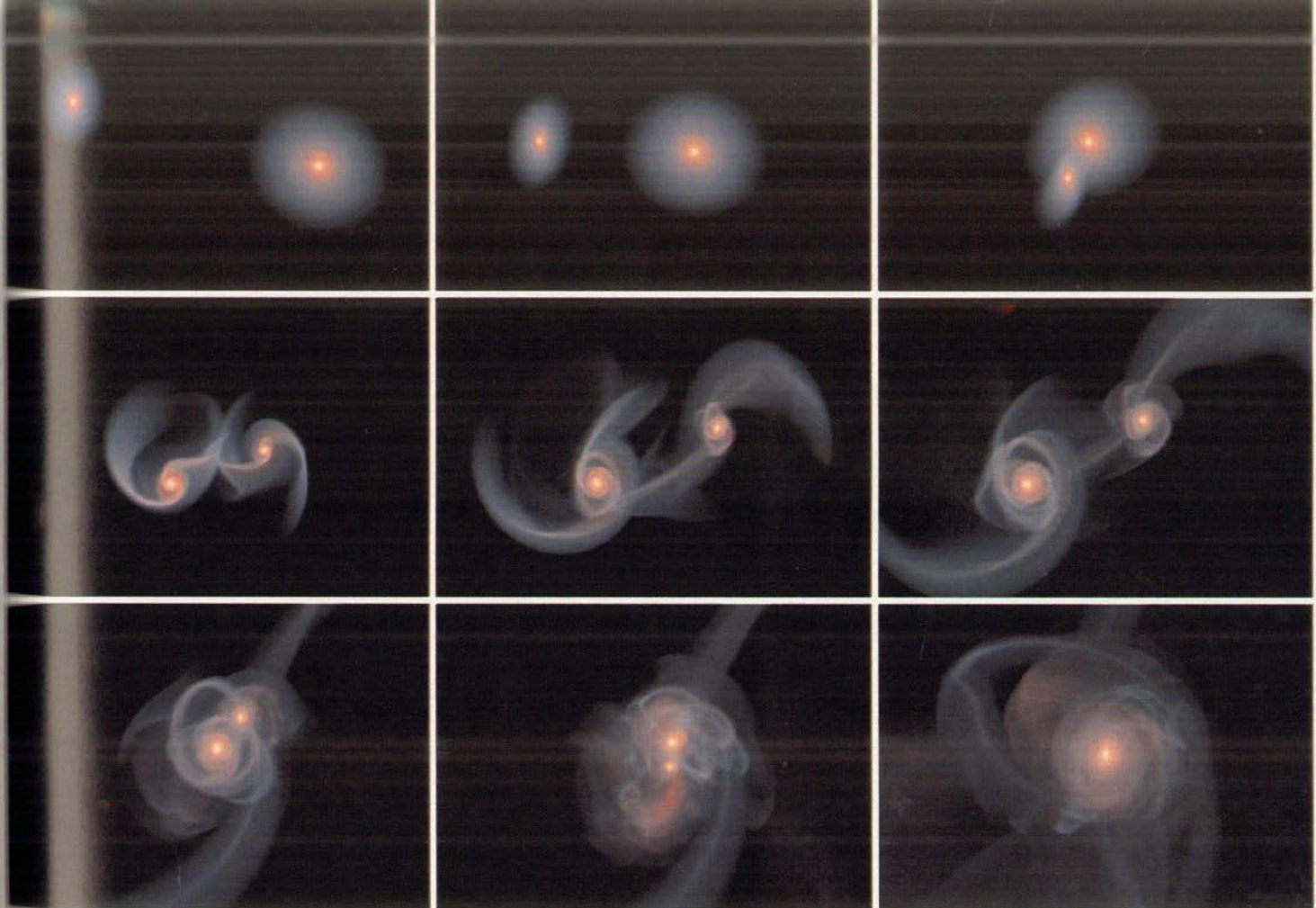
Der Astrophysiker Joachim Wambsganz von der Universität Potsdam will Machos in anderen Galaxien aufspüren und noch dazu so genannte Gravitationslinsen. Das sind supermassive Galaxienhaufen, deren Gravitation das Licht von tiefer im All befindlichen Himmelskörpern verzerrt; diese sehen dann mitunter bananenförmig aus, ähnlich wie eine Lichtquelle hinter einem Weinglas. Doch auch diese Suche war bislang nicht sonderlich ergiebig.

„Die Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Dunkle Materie aus noch ganz unbekann-

innert sich Institutschef Simon White, „heute gehört sie zum Lehrstoff des Anfangskurses Astronomie – und die Studenten schlucken es.“ Seine Frau Guinevere Kauffmann forscht ein paar Büros weiter an der Sternentstehung, Whites sechsjähriger Sohn kann bereits elliptische Galaxien von Spiralgalaxien unterscheiden.

Mit dem Kinn deutet der gebürtige Engländer in sein großzügig geschnittenes Büro: „Die Dunkle Materie ist überall.“ In einer Galaxie wie der Milchstraße gebe es bis zu 20-mal mehr dunkle als sichtbare Materie, meist in den Randbezirken. Auf der Erde sind es ein paar Teilchen pro Kubikmeter, schätzt White, in seinem Büro etwas mehr als 100.

Dunkle-Materie-Teilchen treffen zwar häufig auf normale



Atomkerne. Da sie jene Materie aber – meist ohne Spuren zu hinterlassen – durchdringen, können sie kaum nachgewiesen werden. Dennoch lässt sich mit ihnen rechnen, sagt White: „Es reicht, zu wissen, dass sie schwer sein müssen.“

White klappt seinen Laptop auf und lässt einen zweiminütigen Film ablaufen: 13 Milliarden Jahre kosmische Geschichte im Zeitraffer. Dafür mussten mehrere Doktoranden drei Jahre lang promovieren und ein Supercomputer des Max-Planck-Instituts drei Monate rechnen. Anfangs ist nur ein anarchisch verwobenes Batikmuster aus bläulich eingefärbten Fäden zu sehen: Dunkle Materie und in den Weiten des Raumes verstreute normale Atome. Nach und nach verstärken sich einige Fäden, andere ver-

schwinden. Die Knotenpunkte ziehen normale Materie an, die ersten Sterne tauchen auf, wenige hundert Millionen Jahre nach dem Zeitpunkt null.

Drei Sternengenerationen hat das Universum seitdem hervorgebracht. Die ersten Gestirne bestanden nur aus Wasserstoff und Helium, waren schwer wie tausend Sonnen und lebten nur kurz. Schon nach wenigen Millionen Jahren hatten sich ihre Atome unter dem Druck der Gravitation zu schwereren Elementen wie Sauerstoff, Silizium und Eisen vereinigt. In gewaltigen Explosionen bliesen die Sterne ihr Inneres ins All. Die Trümmer bildeten Keime für die zweite Sternengeneration. Alle fünf Stunden bildete sich damals ein neuer Himmelskörper, viele von ihnen sind bereits als Supernova

explodiert. Unsere Sonne gehört, ebenso wie die meisten Objekte am Nachthimmel, schon zur dritten Generation.

Der Baby-Boom im Weltall ist jedoch längst vorbei. Das fanden schottische und amerikanische Astronomen heraus, als sie 37 000 Galaxien aus der Datenbank des Sloan Digital Sky Survey (SDSS) untersuchten, einer Art galaktischen Volkszählung. Demnach geht schon seit sechs Milliarden Jahren die Geburtenrate neuer Sterne kontinuierlich zurück.

Das Ende ist abzusehen: In etwa fünf Milliarden Jahren wird die Andromeda-Galaxie mit der Milchstraße kollidieren, und Milliarden Sterne werden durchs All gewirbelt. Etwa zur gleichen Zeit wird die Sonne zu einem „Roten Riesen“ anschwellen und

Intergalaktischer Hochzeitstanz: In etwa fünf Milliarden Jahren werden – wie diese Simulation vorwegnimmt – Milchstraße (obere Reihe links) und Andromeda-Galaxie aufgrund ihrer gegenseitigen Anziehungskräfte kollidieren und verschmelzen

alles dann noch vorhandene Leben auf der Erde auslöschen. Die Sonne endet als schwach glimmernder „Weißer Zwerg“, nur wenig größer als die Erde und kaum heller als der Vollmond. Schließlich sterben die übrigen Sterne einen ähnlichen Tod, werden zu Neutronensternen oder zu Schwarzen Löchern. Das Universum endet als dunkler Sternfriedhof – eine auch für Simon White nicht gerade romantische Vorstellung. Der Forscher klappt den Laptop zu und sagt lako-

Eso in Garching. Wer ihn besucht, fühlt sich unweigerlich den Sternen näher. Das Gebäude ähnelt im Querschnitt dem Krebs-Nebel, den Fragmenten einer Sternenexplosion. Leibundgut trägt blaue Jeans, ein blau kariertes Hemd, hat ebenso blaue Augen und sieht ein wenig wie Stefan Effenberg aus, nur viel entspannter.

Der Physiker ist ein Experte für Entfernungsmessungen im Weltall. Seine länglichen Finger pflügen durch die Luft, er breitet die Arme aus: Das ist die Größe des sichtbaren Universums. Dann teilt Leibundgut die Strecke mit der Handkante in zwei Teile: „Bis dahin können wir Entfernungen messen.“

Das Prinzip der kosmischen Entfernungsmessungen ist simpel, denn die Forscher haben sogenannte Standardkerzen entdeckt, die sie als Orientierungspunkte nutzen: eine bestimmte Klasse von Sternen, 1,4-mal so massiv wie die Sonne, die am Ende ihres Lebens als Supernova

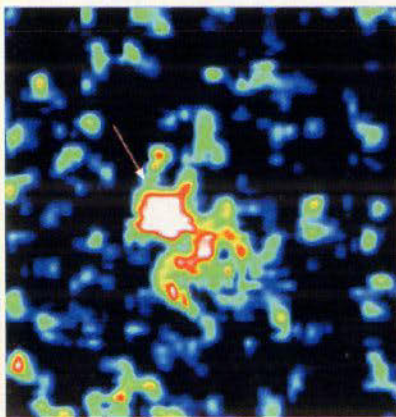
sich. Weit entfernte Supernovae leuchteten ein Viertel schwächer, als es ein bremsendes Universum erwarten ließ – sie waren also schon viel weiter weg als vermutet.

Das Ergebnis war eine Sensation für die Kosmologen. Sie waren ausgezogen, ein Universum zu finden, bei dem der Schwung des Urknalls langsam nachließ und die Expansion abbremsen. Tatsächlich fanden sie eines, das sich immer schneller ausdehnt. Leibundgut erinnert sich an eine Mail des Kollegen Robert Kirshner von der Universität Harvard, der eine wissenschaftliche Blamage fürchtete: „Im Herzen wissen wir, dass das nicht sein kann“, schrieb er an sein Team, „auch wenn der Kopf uns sagt, dass wir nur eine Beobachtung wiedergeben.“ Adam Riess antwortete: „Glaubt nicht eurem Herzen oder Verstand, sondern euren Augen. Schließlich sind wir Beobachter!“

Die Ergebnisse wurden veröffentlicht und von anderen Forschern bestätigt. Die renommierte Fachzeitschrift „Science“ kürte die Resultate zur Entdeckung des Jahres.

Nur, wie so oft, hat die Beantwortung einer Frage die Wissenschaftler wieder vor ein neues Problem gestellt. Denn irgendetwas musste die vom Urknall verursachte Ausdehnung beschleunigen und der Gravitation der Himmelskörper entgegenwirken. Aber was? Diese unbekannte Kraft nennen die Kosmologen Dunkle Energie.

Sie überraschte die Zunft wie ein guter, aber tot geglaubter Bekannter. Schon 1917 hatte Albert Einstein mit einer Antigravitationskraft geflirtet. In der Tradition von Isaac Newton ging er von einem statischen Universum aus. Seine Allgemeine Relativitätstheorie sagte jedoch ein Universum voraus, das sich



Mit dem Hubble-Teleskop gelang es 1997 erstmals, einen Gammastrahlen-Ausbruch auch optisch zu lokalisieren. Diese stärkste bekannte Stern-Explosion entsteht etwa bei der Geburt Schwarzer Löcher

Ein mit dem normalen Verstand kaum noch begreifbarer, fantastischer Kosmos ist entstanden

nisch: „Dann gibt es nichts mehr zu tun.“

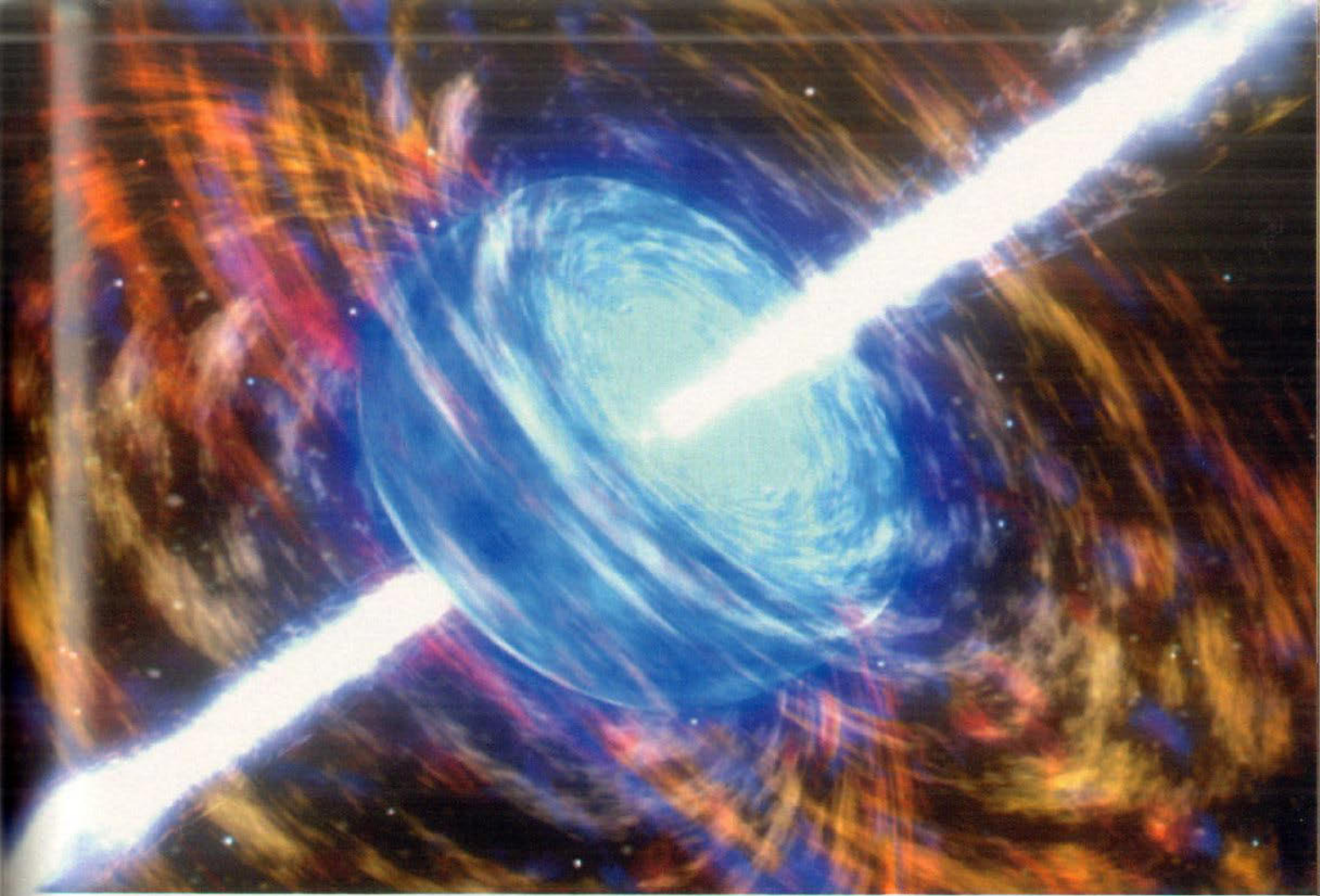
*

Bis 1997 waren die Aussichten für das All ganz andere: Der herrschenden Lehrmeinung zufolge verlangsamte sich die Expansion des Universums durch die Anziehungskraft von sichtbarer und Dunkler Materie. Schließlich fällt es in sich zusammen und endet im „Big Crunch“. Doch innerhalb von nur wenigen Jahren vollzog sich ein spektakulärer Paradigmenwechsel.

Bruno Leibundgut ist einer von denen, die diesen Umsturz mit angezettelt haben. Der Physiker arbeitet im Hauptquartier der Europäischen Südsternwarte

explodieren und mehrere Wochen lang heller als eine Milliarde Sonnen leuchten. Da ihre Größe und Leuchtkraft annähernd gleich sind, lässt sich anhand der auf Erden eintreffenden Helligkeit ausrechnen, wie weit der Stern entfernt ist. Wer aber die Entfernung unterschiedlich alter Sterne kennt und deren Fluchtgeschwindigkeit anhand der Rotverschiebung misst, kann herausfinden, ob sich das Weltall früher schneller oder langsamer ausgedehnt hat.

Als der Doktorand Adam Riess von der University of California in Berkeley 1998 die ersten Daten auswertete, wurde offenbar: Das Universum beschleunigt



Die computeranimierte Darstellung eines Gammastrahlen-Ausbruchs zeigt den Sternenkollaps und die zwei charakteristischen Materie-Jets, die bei ihrem kurzen Aufblitzen die harte Strahlung freisetzen

entweder zusammenzieht oder ausdehnt. Um dennoch ein statisches Universum zu ermöglichen, ergänzte Einstein seine Formel um eine Konstante, die er mit dem griechischen Buchstaben Lambda bezeichnete – die „Kosmologische Konstante“.

Nachdem Edwin Hubble jedoch in den 1920er Jahren die Expansion des Universums nachgewiesen hatte, machte Einstein, weil er Hubble glaubte, einen Rückzieher. Der Legende nach soll er die Kosmologische Konstante als „größte Eselei meines Lebens“ bezeichnet haben. Dieser Auffassung schlossen sich die Kosmologen viele Jahrzehnte lang an. Erst die Entdeckung der beschleunigten Expansion hat Einsteins alte Idee wiederbelebt

– denn sie lässt sich weder allein mit dem Schwung des Urknalls noch allein mit der Allgemeinen Relativitätstheorie erklären. „Wir müssen lernen, mit Lambda zu leben“, sagt der Harvard-Astronom Robert Kirshner.

Von einigen Forschern wird die Dunkle Energie als eine Art physikalisches Feld interpretiert, das den gesamten Kosmos erfüllt, ähnlich einem elektrischen oder magnetischen Feld. Sie taufen es „Quintessenz“ – in Anspielung auf Aristoteles, der neben Feuer, Wasser, Luft und Erde als fünftes Element einen alles durchdringenden Äther postuliert hatte.

*

Ein mit dem naturwissenschaftlich nicht geschulten Ver-

stand kaum noch begreifbarer, fantastischer Kosmos ist entstanden, voll Dunkler Materie, die örtlich gebunden als Gravitationskraft wirkt, damit Galaxien nicht auseinander fliegen – und einer Dunklen Energie, die flächendeckend als Antigravitationskraft wirkt, damit sich das Universum immer schneller ausdehnen kann.

Einige Fragen geben selbst Fachleuten bislang unlösbare Rätsel auf: Warum expandierte das All zwischendurch etwas gemütlicher und erlaubte es der Schwerkraft, Materie zu Himmelskörpern anzuhäufen, auf denen sich Atome zu lebendigen Wesen verbinden konnten, die über ihren eigenen Ursprung nachdenken? Warum haben Na-



Ein Stern erblüht: Zwischen
Mai 2002 (kleines Foto oben links)
und Dezember 2002 (großes Foto) ist
das 20 000 Lichtjahre entfernte
Objekt V 838 Monocerotis zum zeit-
weise leuchtstärksten Stern der Milch-
straße expandiert – 600 000-mal
heller als die Sonne



turkonstanten wie die Lichtgeschwindigkeit oder die Ladung eines Elektrons genau diese und keine anderen Werte?

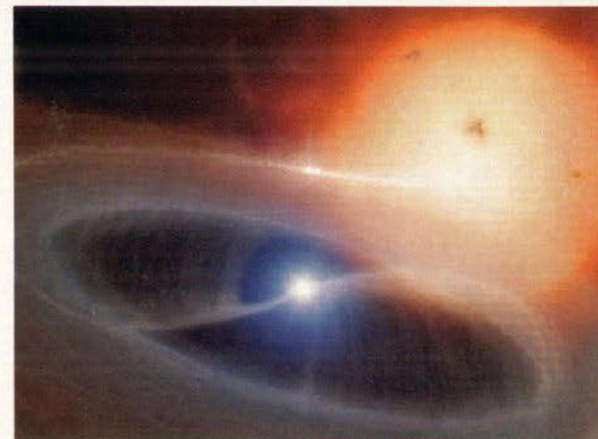
Teilchenphysiker und Stringtheoretiker hoffen auf eine Weltformel, aus der nicht nur die Antworten, sondern auch alle Naturgesetze zwanglos herauspurzeln. Sie glauben an eine vereinheitlichte Theorie, die die Quantenphysik mit der Gravitation versöhnt und die auch im heißen und dichten Urknall noch gültig ist (siehe auch Seite 106).

Die Anhänger des so genannten „anthropischen Prinzips“ argumentieren dagegen, dass das Universum ist, wie es ist, weil wir sonst nicht hier wären, um darüber nachzudenken.

Martin Rees vertritt eine noch radikalere Position: „Unser Universum ist womöglich eine winzige, aber fruchtbare Oase inmitten eines riesigen Multiversums.“ Der Urknall wäre demnach nur einer von vielen. Einige Universen seien mit zu viel Materie an den Start gegangen und wieder in sich zusammengestürzt, andere durch einen Überschuss an Dunkler Energie zerrissen worden. Und ein paar hätten vielleicht ebenso Leben hervorgebracht wie das unsere. „Man könnte das Multiversum mit einem großen Kleidergeschäft vergleichen“, spekuliert Rees. „Wenn die Auswahl an Kleidern groß genug ist, sind wir nicht überrascht, etwas Passendes zu finden.“

Nikolaus Kopernikus stürzte das geozentrische Weltbild und

setzte die Sonne in den Mittelpunkt der Welt. Giordano Bruno entthronte die Sonne und kämpfte für einen unendlichen Kosmos ohne Zentrum. Da erscheint es beinahe konsequent, nun auch die Einzigartigkeit des Universums anzuzweifeln. Alan



Die Illustration zeigt die Ursache für das Aufblühen von Monocerotis: Von einem großen Stern fließt Materie auf einen kleinen Stern über, wobei viel Strahlungsenergie freigesetzt wird

Guth, Physiker am Massachusetts Institute of Technology und Erfinder der Inflationstheorie, sinniert sogar darüber, ob sich ein Weltall im Labor herstellen ließe.

Vielleicht, so Guth, ist unser Urknall ja nur das Ergebnis eines Experiments in einem anderen Universum. □



Dr. Max Rauner, 33, ist freier Wissenschaftsjournalist, lebt in Schwerin und schreibt regelmäßig für die deutsche Ausgabe der „Technology Review“ und für die „Zeit“. Selbst ihm als promovierten Physiker (Fachgebiet Quantenoptik) ist es noch immer unheimlich, zu wissen, dass sein Körper aus Sternenstaub besteht.

In dem jungsteinzeitlichen
Bauwerk Stonehenge in
Südengland verbinden sich
Glaube und Sternenkunde –
die Kultstätte war zugleich
Himmels-Observatorium

Für Astrophysiker ist die Entstehung und Entwicklung des Universums
bekennen sich gerade in jüngster Zeit viele Forscher als

»Ich spüre etwas



naturwissenschaftlich erklärbar. Dennoch
religiös. Für sie passen Gott und moderne Kosmologie zusammen

GÖTTLICHES «

Vor rund 5000 Jahren, etwa zu jener Zeit, als in den Alpen die letzte Stunde des Gletschermannes Ötzi schlug, errichteten Steinzeitmenschen in Südengland ein seltsames Bauwerk. Sie häuften einen Erdwall von 110 Metern Durchmesser auf, positionierten darin Pfosten und Steine und türmten schließlich um 1600 v. Chr. jene gigantischen Steinquader auf, die der Stätte den Namen „Stonehenge“ verliehen. Die Anlage war ein kultischer Ort – und zugleich ein Himmels-Observatorium. Mittels der Pfosten und Steine ließen sich die Auf- oder Untergänge von Sonne und Mond anpeilen, die Tageslängen bestimmen und sogar Mondfinsternisse vorhersagen.

In Stonehenge haben sich der Glaube an das Übernatürliche und die Beobachtung der Gestirne unübersehbar miteinander verwoben. Der Blick in den Himmel hat den Betrachtern nicht nur funkelnde Sterne, sondern auch Götter und Geschehnisse offenbart – und den Priester-Astronomen Macht und Ansehen übertragen.

Wenn der Heidelberger Astronom Klaus Meisenheimer im Jahr 2003 das nächtliche Firmament betrachtet, findet er den Anblick zwar faszinierend, doch sieht er nichts Göttliches im All. „Die Schwärze des Himmels, das Gefühl, unendlich weit sehen zu können, ist eine außerordentlich schöne Erfahrung“, sagt er, „aber mehr auch nicht.“

»Wenn ich in den Sternenhimmel schaue, fühle ich mich geborgen und geführt von einem persönlichen Gott«

Eduard Thommes,
Astrophysiker an der Universität Heidelberg

Ganz anders erlebt sein ehemaliger Doktorand Eduard Thommes, der am Institut für Theoretische Physik der Universität Heidelberg forscht, den Blick in das glitzernde Gefunkel. Er bekennet: „Wenn ich abends hinausgehe und in den Sternenhimmel schaue,

dann spüre ich etwas Göttliches; ich fühle mich geborgen und geführt von einem persönlichen Gott.“

Obwohl die beiden Forscher von ihren gegenteiligen Auffassungen wussten, haben sie darüber nie miteinander geredet. Astrophysiker unterhalten sich eher über rationale Fragen, über Techniken der Beobachtung oder über die Plausibilität wissenschaftlicher Theorien. Fragen nach Gott zu stellen gilt offenbar als zu persönlich.

Ist Eduard Thommes mit seinem Glauben an einen kümmernden, liebenden Gott ein Relikt aus jener Zeit, in der Schöpfer und Gestirne gemeinsam gesehen wurden? Und vertritt sein Doktorvater die modernere, aufgeklärte und rationale Einstellung zum Glauben? Auf den ersten Blick mag dies so erscheinen, tatsächlich aber beziehen viele Astronomen auch das Unklärbare in ihre Sicht der Welt ein.

In früheren Jahrhunderten hatten selbst die bedeutendsten europäischen Naturwissenschaftler kein Problem damit, göttliches Wirken und die Gesetze der Natur als miteinander vereinbar zu empfinden: Kopernikus, Kepler, Galilei, Newton und selbst Einstein – sie alle waren gläubig.

Erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts hielten immer mehr Astrophysiker Gott für überflüssig. Mit der Entdeckung des Urknalls wurde die Entwicklung des Kosmos von seiner Geburt an verstehbar. Alles schien sich nach rein physikalischen Gesetzen zu vollziehen. Der Astronom und erklärte Atheist Carl Sagan stellte 1988 fest: „Für einen Schöpfer bleibt nichts zu tun.“

Doch seit einigen Jahren kommt es unter den Naturwissenschaftlern zu einer Renaissance des Religiösen. Im April 1992 verkündete ein amerikanisches Astrophysiker-Team, es habe Schwankungen in der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung entdeckt und damit die frühesten Strukturen des Universums, nur 380 000

Jahre nach dem Urknall. Auf einer Pressekonferenz ließ sich Teamchef George Smoot zu den Worten hinreißen: „Dies waren die ursprünglichen Samen, aus denen sich alle heutigen Strukturen entwickelt haben. Wenn man religiös ist, bedeutet das, Gott zu erblicken.“

Auch wenn Smoot betonte, die Entdeckung sei kein Beweis für die Existenz Gottes, griffen Kollegen und Medien die Metapher auf. „Sie haben den Heiligen Gral der Kosmologie entdeckt“, sagte der Astrophysiker Michael Turner über die Messergebnisse, und der Astronom Stephen Maran ergänzte: „Es klingt wie die Schöpfungsgeschichte.“ Das amerikanische Nachrichtenmagazin „Newsweek“ wollte daraufhin in der kosmischen Hintergrundstrahlung gar „Die Handschrift Gottes“ entdeckt haben – und titelte in einer späteren Ausgabe „Die Wissenschaft findet Gott“. Deren Botschaft: Immer mehr Forscher fänden im Kosmos Hinweise auf die wahre Natur Gottes. Der „Spiegel“ beschäftigte sich kurz darauf mit „Gottes Urknall“.

Naturwissenschaftler gehen schon seit einiger Zeit Hinweisen auf die Existenz eines übernatürlichen Wesens nach, etwa die Physiker Paul Davies („Der Plan Gottes“) und Frank Tipler („Die Physik der Unsterblichkeit“). Tipler ist sogar überzeugt, mit physikalischen Mitteln belegen zu können, dass es einen Gott, einen Himmel, eine Hölle und die Wiederauferstehung von den Toten gibt. Dabei degradiert er die Theologie – wenn sie nicht blanker Unsinn sein solle – kurzerhand zu einem Teilgebiet der Physik.

Eduard Thommes kann Tiplers These nichts abgewinnen: „Seine Interpretation ist sehr weit hergeholt. Tipler meint, er könne Gott mit der Physik beschreiben, doch das ist unmöglich. Das kann die Physik nicht leisten.“ Dem stimmt auch Arnold Benz vom Institut für Astronomie der ETH Zürich zu, der ebenfalls von der Existenz eines Schöpfers überzeugt ist. Benz hält zudem wenig von einem Gottesbegriff, der dort weiterhelfen



»Die Erforschung des Universums hat mir gezeigt, dass die Existenz von Materie ein Wunder ist, das sich nur übernatürlich erklären lässt«

Professor Allan Sandage, Kosmologe an den Carnegie-Observatorien, Kalifornien

soll, wo das physikalische Wissen an Grenzen stößt: „Gott ist kein Lückenbüsser.“

Wenn sich Gott aber weder physikalisch beweisen lässt noch als Erklärung dessen dienen soll, was die Naturwissenschaft nicht mehr zu begreifen vermag – wie begründen Astrophysiker dann ihren Glauben?

„Die Naturwissenschaft hat Methoden entwickelt, mit denen sie erfolgreich einen Teil der Wirklichkeit beschreiben kann – aber eben nur einen Teil“, erklärt Martin Federspiel, der am Planetarium der Stadt Freiburg das Wissen vom Weltall verständlich präsentiert. „Daher kommt die Naturwissenschaft auch nur zu bestimmten Antworten.“

Antworten auf Fragen, wie Geist und Materie zusammenhängen oder warum die Naturgesetze so sind und nicht anders, könnten, so Federspiel, die Naturwissenschaften nur gemeinsam mit der Philosophie und der Theologie suchen: „Da diese aber methodisch anders vorgehen, haben die Antworten auch eine andere Qualität.“

Die Theologie basiert auf den religiösen Erfahrungen des Einzelnen, auf Introspektion und Offenbarungen – alles zwar Formen der Erkenntnis, aber eben keine naturwissenschaftlichen. Die so gewonnenen Antworten können jedoch, glaubt Federspiel, jene aus den Naturwissenschaften ergänzen.

Dass viele Physiker solche Erkenntnisse nicht als unwissenschaftlich ab-

tun und einen festen Glauben entwickelt haben, findet meist eine plausible Erklärung. Bei Allan Sandage etwa waren es die Begegnungen des vernunftgeleiteten Forschers mit der Unendlichkeit und seine Fragen an der Grenze des physikalischen Wissens. „Als junger Mann war ich praktizierender Atheist“, sagte der amerikanische Kosmologe. Sandage beschäftigte sich ein halbes Jahrhundert mit dem Alter der Sterne und wurde zu einem Großen seiner Zunft. Im Alter von 72 Jahren legte er ein überraschendes Glaubensbekenntnis ab: „Die Erforschung des Universums hat mir gezeigt, dass die Existenz von Materie ein Wunder ist, das sich nur übernatürlich erklären lässt.“

Anders bei Eduard Thommes, der seine Religiosität schon in der Jugend entdeckt und gefestigt hatte. Heute sei er dankbar, sagt er, dass er sich das „Geschenk des Glaubens“ in der professionellen Beschäftigung mit den Naturwissenschaften habe bewahren können. Nicht die Wissenschaft hat ihn zum Glauben gebracht, vielmehr hat ihn der Glaube motiviert, die Erscheinungen hinter der physikalischen Welt zu erforschen.

Auch Arnold Benz hatte sich zum Glauben an Gott entschieden, bevor er als Astronom in die Tiefen des Weltalls spähte, ebenso wie John Polkinghorne, der wohl bekannteste Teilchenphysiker, der bekennender Christ ist. Der 1930 in England geborene Polkinghorne wuchs in einer anglikanisch geprägten Familie auf, studierte Physik an der University of Cambridge, wurde dort 1968 Professor und arbeitete an der Theorie der Elementarteilchen.

Sein schon im Kindesalter geprägter Glaube führte ihn 1979 zu einer klaren Entscheidung: „Nach 25 Jahren hatte ich das Gefühl, meinen Teil zur Wissenschaft beigetragen zu haben und dass es an der Zeit sei, etwas anderes zu tun“, erinnert sich Polkinghorne. Er verließ die Universität und wurde 1981 zum anglikanischen Pfarrer geweiht. In den Jahren darauf schrieb Polkinghorne zahlreiche Bücher, in denen er versuchte, den Kosmos als Schöpfung Gottes

URKNALL, KOSMISCHE BLASEN UND ENDLOSER KREISLAUF

Die großen Weltreligionen haben sich mit der modernen Physik vom Kosmos weitgehend arrangiert

CHRISTENTUM

Galilei ist seit 1992 von der katholischen Kirche vollständig rehabilitiert. Und Papst Pius XII. hatte die Big-Bang-Theorie schon 1951 als Grundlage eines möglichen Gottesbeweises angeführt: Der Urknall beschreibe den Beginn des Universums in der Zeit; ergo gebe es einen Schöpfer und Urheber des Universums. „Die Erkenntnis vom Urknall hat das Bild Gottes veredelt“, sagte der vatikanische Astronom und Jesuitenpater William Stoeger. Dem Gleichklang von moderner Kosmologie und christlichem Glauben kann auch der evangelische Theologe Wolfhard Pannenberg zustimmen. Für ihn gibt es in der Schöpfungslehre keine Meinungsunterschiede zwischen den Konfessionen. Zu einer Annäherung zwischen moderner Physik und Theologie komme es neben der Urknalltheorie auch in der Quantenmechanik. Bei der legt nach Auffassung vieler Physiker erst die Beobachtung den Zustand der Materie fest. „Die Welt wird in jedem Augenblick neu geschaffen“, sagt Pannenberg. Darin offenbare sich das Wirken Gottes. Für den Jesuiten und Physiker Stefan Bauberger, der an der Hochschule für Philosophie in München lehrt, ist die Welt auf ein denkendes, fühlendes, beobachtendes Wesen hin geschaffen. Selbst das Konzept eines Multiversums hält Bauberger für vereinbar mit der

christlichen Theologie. Für einen Schöpfer sei es womöglich das Einfachste, unendlich viele Universen zu schaffen; in einem davon werde dann auch intelligentes Leben entstehen.

JUDENTUM

Im jüdischen Glauben gibt es viele Interpretationen und keine höchste Instanz, die eine Lehrmeinung vorschreibt. Konsens bei den meisten religiösen Juden ist das biblische „Am Anfang schuf Gott...“. Der sich zum liberalen Judentum zählende westfälische Landesrabbiner Henry G. Brandt liest die Schöpfungsgeschichte allerdings allegorisch: „Es kann einen Urknall gegeben haben, und bestimmt wurde die Erde nicht in sieben Tagen erschaffen.“ Doch wenn er sich Fragen zum Ursprung der Schöpfung stellt, etwa „Was knallte?“, kommt er zu Antworten wie „Nichts knallte nicht“. Fest steht für Brandt nur, dass es einen Anfang der Schöpfung gegeben hat – und da komme der Gottesbegriff ins Spiel. Die Big-Bang-Theorie ist für ihn nur eine Hypothese.

ISLAM

„Die Urknalltheorie deckt sich harmonisch mit dem Koran“, sagt Nadeem Elyas, Vorsitzender des Zentralrats der Muslime in Deutschland. Urmaterie der Schöpfung sei nach dem Koran eine Wolke von unbekannter Beschaffenheit, die Elyas als das kurz nach dem Urknall entstandene heiße Gasgemisch interpretiert. Auch die unendliche Ausdehnung des Universums sei im Koran beschrieben: „Und

den Himmel haben Wir mit Kraft aufgebaut und Wir weiten ihn wahrlich noch aus.“ Erwähnt wird im Koran außerdem die Existenz vieler Himmel und Erden, was mit einer Multiversum-Theorie vereinbar wäre. Letztlich, sagt Elyas, sei der Urknall aber nur eine Theorie des Menschen. Die naturwissenschaftliche Beschreibung der Welt müsse mit der größeren Wahrheit des Korans in Einklang gebracht werden. So, wie es nur einen Gott gebe, gebe es bezüglich der Schöpfung auch nur eine Wahrheit – die Allah den Menschen mittels ihrer Wissenschaft teilweise offen lege.

HINDUISMUS

Unter dem Dach des Hinduismus können ganz unterschiedli-



Die Geburt Buddhas

che Weltansichten koexistieren. „Grundsätzlich ist alles nur eine Frage der richtigen Lesung“, erläutert Christoph Emmrich, Indologe an der Universität

Heidelberg. So können auch Aspekte der modernen Physik mit den Veden, frühen spirituellen Texten der Hindus, zusammengebracht werden: etwa die Vorstellung eines pulsierenden Universums, in dem es nicht nur einen Urknall und ein Ende gibt, sondern viele aufeinander folgende. Der ewige Kreislauf des Werdens und Vergehens beginne mit einer Art Blase, die im leeren, unendlichen Universum schwebt: dem Weltenei. Einer weiteren Interpretation zufolge gibt es unendlich viele kosmische Blasen, ähnlich einem Multiversum.

BUDDHISMUS

„Wenn es eine Religion gibt, die mit den Aussagen der modernen Wissenschaft konform gehen kann, dann ist es der Buddhismus“, sagte schon Albert Einstein. Spätestens seit seiner Relativitätstheorie und der Quantentheorie ist klar, dass die Eigenschaften der Materie abhängig vom Beobachter sind. Diese Subjektivität jeder Erkenntnis ist ein Dilemma, das Buddha schon vor 2500 Jahren beschrieb. Ein einziger Urknall, mit dem der Kosmos entsteht, ist mit dieser Vorstellung allerdings ebenso wenig in Einklang zu bringen wie die Idee eines Schöpfergottes. Plausibel erscheint da nur ein pulsierendes Universum: Auf einen Urknall würde der nächste folgen, ein endloser Kreislauf von Ausdehnung und Schrumpfung. Über allen Wandel erhaben ist nur das Nirwana, das sich aber jeder Beschreibung entzieht.

Anping Richter

zu erklären, ohne dabei wissenschaftliche Grundsätze über Bord zu werfen.

Jene Astronomen und Astrophysiker, die mit ihrem Glauben in die Naturwissenschaften aufgebrochen sind, erleben den Kosmos voller wunderbarer Hinweise auf das Wirken Gottes. „Das Weltall ist uns so unwahrscheinlich günstig gesinnt, dass es geplant zu sein scheint“, sagt etwa Andreas Tammann, Professor für Astronomie an der Universität Basel. „Wäre zum Beispiel die Materiedichte im Urknall nur um den zehn-hoch-vierzigsten Teil größer gewesen, wäre das Universum in kurzer Zeit wieder kollabiert.“ Mit dieser Erkenntnis kann Tammann in sein Weltbild problemlos einen Gott einbauen, der die Naturgesetze festgelegt und das Weltall „angeschoben“ hat.

Tatsächlich scheint vieles im Kosmos exakt auf das menschliche Dasein ausgerichtet zu sein – Physiker sprechen vom anthropischen Prinzip. Wären die Stärke der Gravitation, die Ladung eines Elektrons oder die Masse eines Protons nur geringfügig anders, gäbe es weder Atome noch funkelnde Sterne und erst recht kein Leben. „Die feine Abstimmung der Naturgesetze inspiriert zu der Annahme, das dies kein Zufall ist, sondern ein Zweck dahinter steht“, sagt John Polkinghorne. Nach seiner Auffassung könnte Gott allgegenwärtig in den Weltenlauf eingreifen, auf eine Weise jedoch, die sich physikalisch nicht nachweisen lässt. Gott beeinflusse etwa chaotische Prozesse, die unvorhersehbar in verschiedene Richtungen verlaufen könnten.

Die Vorstellung, ein Weltenereschaffer könne auch heute noch das Geschick des Planeten oder gar einzelner Menschen lenken, überfordert nicht nur Skeptiker. „Ob Gott in die Welt eingreift, ist eine schwierige Frage“, sagt auch Martin Federspiel. Dass Geschehnisse in der Welt zustande kommen, indem Gebete erhört werden oder Schutzengel tätig sind, hält er für schwer vorstellbar. Federspiel sieht eher ein mittelbares Wirken Gottes: „Sein Geist wirkt in den Menschen, wenn sie es zulassen, und die Menschen wirken in der Welt.“

Viele Wissenschaftler sind sich – ob gläubig oder nicht – gerade in jüngerer Zeit erneut der Grenzen der Naturwissenschaften bewusst geworden. So machen Forscher immer wieder die Erfahrung, dass die Lösung eines Problems eine Vielzahl neuer Fragen aufwirft und die Komplexität des Universums zunimmt.

Womöglich bedarf es nicht einmal eines starken Glaubens, um sich ein

das Fach „Science and Religion“. Bereits 1972 gründete der Milliardär und Philanthrop Sir John Templeton eine Stiftung, die jährlich ein Preisgeld von einer Million Dollar an Persönlichkeiten vergibt, die sich um die Verbindung zwischen Wissenschaft und Spiritualität verdient gemacht haben. John Polkinghorne war der Preisträger des Jahres 2002, der Physiker Paul Davies wurde 1995 ausgezeichnet.



»Das Weltall ist uns so unwahrscheinlich günstig gesinnt, dass es geplant zu sein scheint«

Andreas Tammann, Astronomie-Professor an der Universität Basel

Eingreifen Gottes zumindest vorstellen zu können. „Gott ist seit einiger Zeit jedenfalls kein Tabuthema mehr“, bestätigt Eduard Thommes. „Es kommt inzwischen häufiger vor, dass man unter Kollegen darüber redet.“

Das entspannte Verhältnis zwischen Astrophysik und Theologie ist allerdings in der Neuen Welt augenfälliger als in Europa. In den USA gehört Religiosität zum Alltag wie zur Politik. Rund 90 Prozent der US-Bürger glauben an Gott, 80 Prozent an die Auferstehung, und an vielen theologischen Fakultäten der Universitäten gibt es

In Deutschland dagegen bleiben die Kirchen häufig leer. Der Glaube spielt im öffentlichen Leben allenfalls eine Nebenrolle, und doch lässt er Forscher wie Arnold Benz nicht kalt: „Für mein astrophysikalisches Handwerk brauche ich die tiefere Einsicht durch den Glauben zwar nicht, wohl aber für meine Motivation und meine Faszination – schließlich bin ich ein Mensch.“ □

Dr. Henning Engeln, 49, selbst nüchterner Naturwissenschaftler, war verblüfft, wie problemlos Astrophysiker Denken und Glauben vereinen. Den religiösen Seiten des Menschen spürt der Hamburger Autor auch in seinem Buch „Wir Menschen – woher wir kommen, wer wir sind, wohin wir gehen“ (Eichborn 2004) nach.

UNSERE KOSMISCHEN

Der Größenvergleich zeigt: Die Erde ist einer der kleineren Himmelskörper im Sonnensystem. Wie Merkur, Mars und Venus gehört sie zu den inneren Planeten, mit einem Kern aus Eisen. Die äußeren Gas-Planeten Neptun, Uranus, Saturn und Jupiter kreisen als kalte Riesen um das Zentralgestirn

PLUTO

MERKSATZ FÜR DIE REIHENFOLGE DER PLANETEN:

Mein Vater Erklärt Mir Jeden Sonntag Unsere Neun Planeten
Merkur Venus Erde Mars Jupiter Saturn Uranus Neptun Pluto

NEPTUN

SATURN

JUPITER

Ein Stern, neun Planeten, mehr als 100 Monde sowie Millionen kleinerer Objekte – das Sonnensystem gleicht einem Himmelsballett verschiedenster Körper, zusammengehalten durch die Gravitation. Besonders auffällig die Bahn des Pluto: Anders als die der übrigen Planeten, ist sie stark geneigt und derart exzentrisch, dass der Kleinplanet zeitweise der Sonne näher kommt als Neptun. In drei Regionen wimmelt es von Asteroiden und Kometen: Im Asteroiden-Gürtel zwischen Mars und Jupiter, im Kuiper-Gürtel außerhalb der Pluto-Bahn und weiter draußen in der Oortschen Wolke. Eines aber haben alle Himmelskörper gemeinsam: Sie umlaufen die Sonne in der gleichen Richtung

URANUS



PLUTO

DURCHMESSER:
2300 km
MASSE*:
0,0025
Ø-TEMPERATUR:
-233° C
SONNENUMLAUFZEIT:
248 Jahre
SONNENENTFERNUNG**:
5906 Mio. km
MONDE:
1

MERKUR

DURCHMESSER:
4878 km
MASSE*:
0,055
TEMPERATUR:
-183° C bis +427° C
SONNENUMLAUFZEIT:
88 Tage
SONNENENTFERNUNG**:
58 Mio. km
MONDE:
-

MARS

DURCHMESSER:
6794 km
MASSE*:
0,107
TEMPERATUR:
-100° C bis +20° C
SONNENUMLAUFZEIT:
687 Tage
SONNENENTFERNUNG**:
228 Mio. km
MONDE:
2

VENUS

DURCHMESSER:
12 104 km
MASSE*:
0,815
Ø-TEMPERATUR:
457° C
SONNENUMLAUFZEIT:
225 Tage
SONNENENTFERNUNG**:
108 Mio. km
MONDE:
-

ERDE

DURCHMESSER:
12 756 km
MASSE:
1
TEMPERATUR:
-89° C bis +58° C
SONNENUMLAUFZEIT:
365,25 Tage
SONNENENTFERNUNG**:
149,6 Mio. km
MONDE:
1

NACHBARN

MITTELACHSE DER PLANETEN

NEPTUN

DURCHMESSER:

49 424 km

MASSE*:

17,2

0-TEMPERATUR:

- 200° C

SONNENUMLAUFZEIT:

165 Jahre

SONNENTFERNUNG**:

4498 Mio. km

MONDE:

11

SATURN

DURCHMESSER:

120 000 km

MASSE*:

95

0-TEMPERATUR:

- 139° C

SONNENUMLAUFZEIT:

29 Jahre

SONNENTFERNUNG**:

1427 Mio. km

MONDE:

26

JUPITER



SONNE

Die Sonne hat einen fast zehnfach größeren Durchmesser als der Jupiter, der größte der Planeten. Das Zentralgestirn enthält 99,86 Prozent aller Materie im Sonnensystem; in seinem Inneren ist es 16 Millionen Grad Celsius heiß

URANUS

DURCHMESSER:
51 118 km
MASSE*:
14,54
Ø-TEMPERATUR:
-197° C
SONNENUMLAUFZEIT:
85 Jahre
SONNENENTFERNUNG**:
2871 Mio. km
MONDE:
241

JUPITER

DURCHMESSER:
142 796 km
MASSE*:
317
Ø-TEMPERATUR:
-108° C
SONNENUMLAUFZEIT:
12 Jahre
SONNENENTFERNUNG**:
778 Mio. km
MONDE:
58

UNSER PLATZ

I M U N I V E R S U M

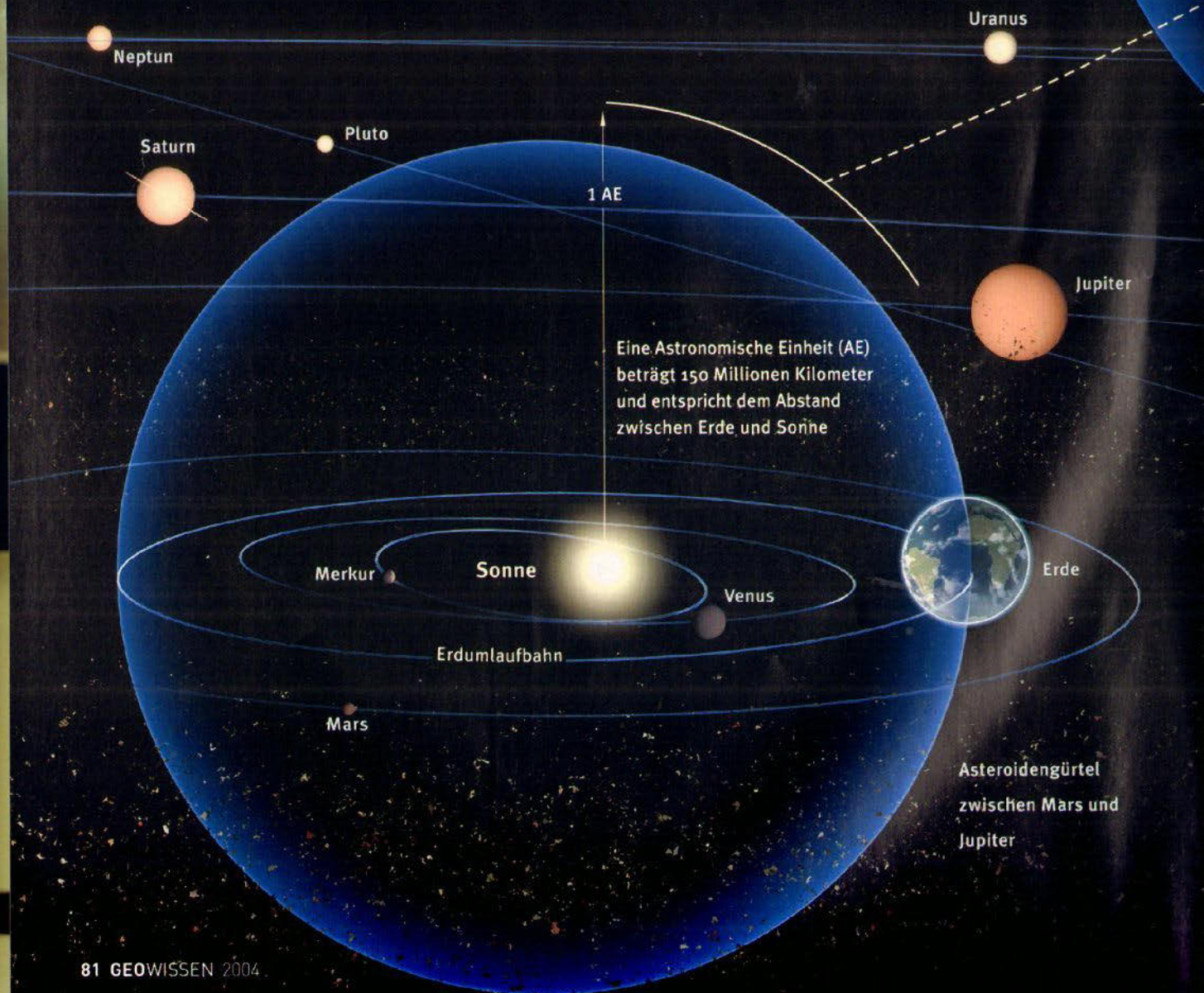
So gewaltig das Sonnensystem auf den ersten Blick erscheint – im Vergleich zum gesamten Weltall ist es winziger als ein Sandkorn in der Sahara. Die grafisch visualisierte Reise führt aus unserer solaren Nachbarschaft hinaus in die Milchstraße und die Weiten des Kosmos

DAS SONNENSYSTEM

Vor etwa 4,6 Milliarden Jahren formten sich die Sonne und die neun Planeten – aus Molekülkügelchen und den Überresten

von Supernovae-Explosionen. Schon die Dimension unseres Sonnensystems ist gewaltig: Das Licht vom Zentralgestirn ist

bis zum fernsten Planeten, dem Pluto, mehr als fünf Stunden lang unterwegs; das entspricht 5906 Millionen Kilometern



PLANCK-ÄRA: 10^{-43} Sek.

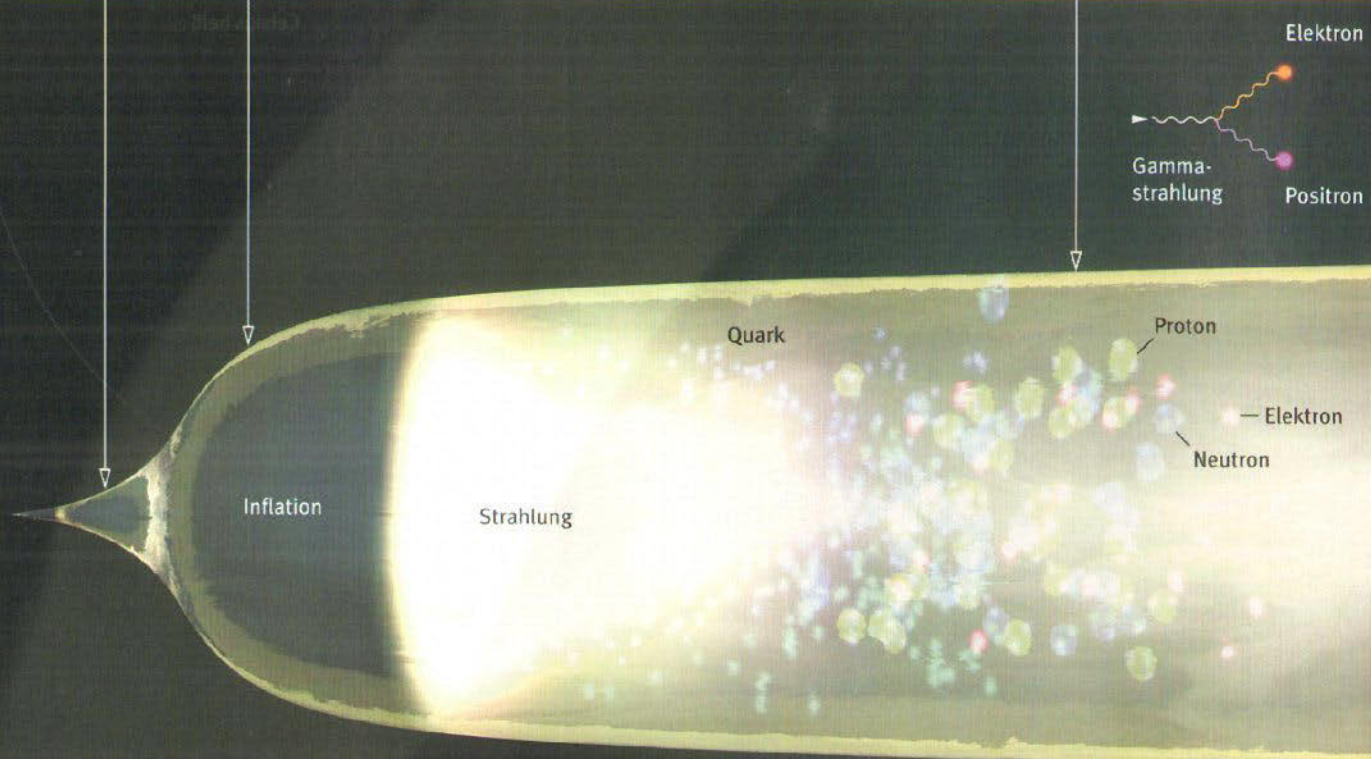
0,000 000 000 000 000
000 000 000 000 000 000
000 000 000 1 Sekunden
nach dem Urknall entstehen
Raum, Zeit und Materie

ÄRA DER VEREINHEITLICHUNG: 10^{-39} Sekunden

Nach 0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000
001 Sekunden dehnt sich der Kosmos explosionsartig aus.
Nach 0,000 000 000 01 Sekunden trennt sich die schwache
Kernkraft von der elektromagnetischen Kraft

QUARK-ÄRA: 10^{-5} Sek.

Nach 0,000 01 Sekunden
verschmelzen Quarks zu
Neutronen und Protonen,
aus Gammastrahlung
entstehen Elektronen-
Positronen-Paare



URKNALL-THEORIE

Es begann vor 13,7 Milliarden Jahren mit dem Big Bang, dem Anfang von Raum und Zeit. Daraus hat sich ein Universum entwickelt, das Sterne, Planeten und sogar Leben hervorgebracht hat. Mithilfe der modernen Physik lassen sich die unfasslichen Vorgänge zumindest ansatzweise begreifbar machen. Die Illustration zeigt das heutige Bild vom Weltall, benennt wichtige kosmologische Theorien sowie offene Forschungsfragen

OFFENE FRAGEN DER KOSMOLOGIE:
Was war vor dem Urknall?

ÄRA DER ATOMBILDUNG: 0,01 Sek. bis 1 Million Jahre

Von 0,01 Sekunden bis 3 Minuten nach dem Urknall vereinen sich Protonen und Neutronen zu Atomkernen

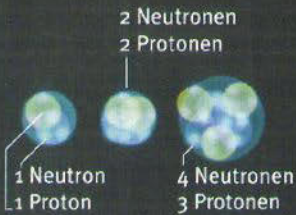
Nach 380 000 Jahren fangen Atomkerne Elektronen ein; es bilden sich erste Atome. Das Universum wird transparent, die kosmische Hintergrundstrahlung wird frei

DUNKLE ÄRA: 1 – 280 Mio. Jahre

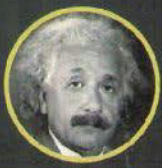
Nach 1 Million Jahre ist die Temperatur der Hintergrundstrahlung aufgrund der Expansion des Alls so weit gesunken, dass das Universum dunkel erscheint

ÄRA DER STRUKTURBILDUNG

Nach 280 Millionen Jahren bilden sich erste Galaxien. Masse-reiche Sterne explodieren als Supernovae, die schwerere Elemente für die nächste Sterngeneration hinterlassen



Supernova



Albert Einstein



Karl Schwarzschild



Georges Lemaître



George Gamow



Edwin Hubble

1915: RELATIVITÄTSTHEORIE

Einstein beschreibt, wie Materie und Energie die Raumzeit verkrümmen und wie dadurch Gravitation entsteht. Die Allgemeine Relativitätstheorie ist heute experimentell gut gesichert

1916: SCHWARZE LÖCHER

Aus der Allgemeinen Relativitätstheorie schließt **Schwarzschild** auf die Existenz Schwarzer Löcher. Er berechnet die Oberfläche dieser Körper, in denen Masse derart konzentriert ist, dass selbst Licht der Gravitation nicht entkommt

1927: URKNALL-THEORIE

Lemaître stellt die Theorie auf, das gesamte Universum gründe in der Explosion eines gigantischen Uratoms. **Gamow** entdeckt, wie Helium und Lithium aus ursprünglichem Wasserstoff entstanden sein könnten – und postuliert die kosmische Hintergrundstrahlung

1929: EXPANSION

Hubble studiert das Leuchten weit entfernter Galaxien und belegt mithilfe der Rotverschiebung, dass sich die Galaxien voneinander weg bewegen. Zuvor hatte Hubble nachgewiesen, dass das Weltall größer ist als die Milchstraße

ÄRA DER STRUKTURBILDUNG: 280 Millionen bis 10 Milliarden Jahre

Nach 1 Milliarde Jahre verschmelzen die ursprünglich scheibenförmigen Galaxien zum Teil zu elliptischen Galaxien, die noch heute existieren

Nach 2 bis 6 Milliarden Jahren entstehen die Milchstraße und viele weitere Galaxien

Nach 7 Milliarden Jahren beginnt die Dunkle Energie, die Expansion des Universums zu beschleunigen

Nach 9,1 Milliarden Jahren entstehen aus den Überresten von Supernovae die Sonne, die Erde und die übrigen Planeten des Sonnensystems



Fritz Zwicky



Vera Rubin



Fred Hoyle



Geoffrey Burbridge



Arno Penzias



Robert Wilson



Stephen Hawking

1933: DUNKLE MATERIE

Die Beobachtungen von **Zwicky** und später **Rubin** zeigen, dass Galaxien Gravitationskräften einer noch nicht näher bestimmbar Dunklen Materie ausgesetzt sein müssen, die viel massiver ist, als es die Galaxien selbst sind

1957: STERNENENTSTEHUNG

Hoyle und **Burbridge** zeigen, wie thermonukleare Reaktionen Wasserstoff und Helium zu schweren Elementen wie Kohlenstoff, Sauerstoff und Eisen umformen – den Grundstoffen für Planeten und das Leben

1965: HINTERGRUNDSTRAHLUNG

Penzias und **Wilson** entdecken eine gleichförmige Mikrowellenstrahlung, die sich über das gesamte Firmament erstreckt. Astrophysiker interpretieren die Strahlung als Nachglühen des Urknalls

1974: HAWKING-STRAHLUNG

Der englische Physiker **Hawking** postuliert, dass Schwarze Löcher nicht nur Materie in sich hineinsaugen, sondern durch Quanteneffekte auch eine Strahlung emittieren, was schließlich wieder zu ihrer Auflösung führt

HEUTIGES UNIVERSUM: 10 bis 13,7 Milliarden Jahre

Nach 10,7 Milliarden Jahren entstehen erste simple Lebensformen auf der Erde

Nach 13,7 Milliarden Jahren bevölkert der Homo sapiens die Erde und bricht in den Weltraum auf

DIE ZUKUNFT

Nach 19 Milliarden Jahren wird die Sonne zum Roten Riesen und zerstört alles Leben auf der Erde. Später kollidieren Milchstraße und der Andromeda-Nebel

Schließlich erlöschen nach und nach alle Sterne, ohne dass genügend neue entstehen. Das Universum dehnt sich weiter aus und wird dunkel

Mond



Erde

Sonne

Erde



Alan Guth



Saul Perlmutter



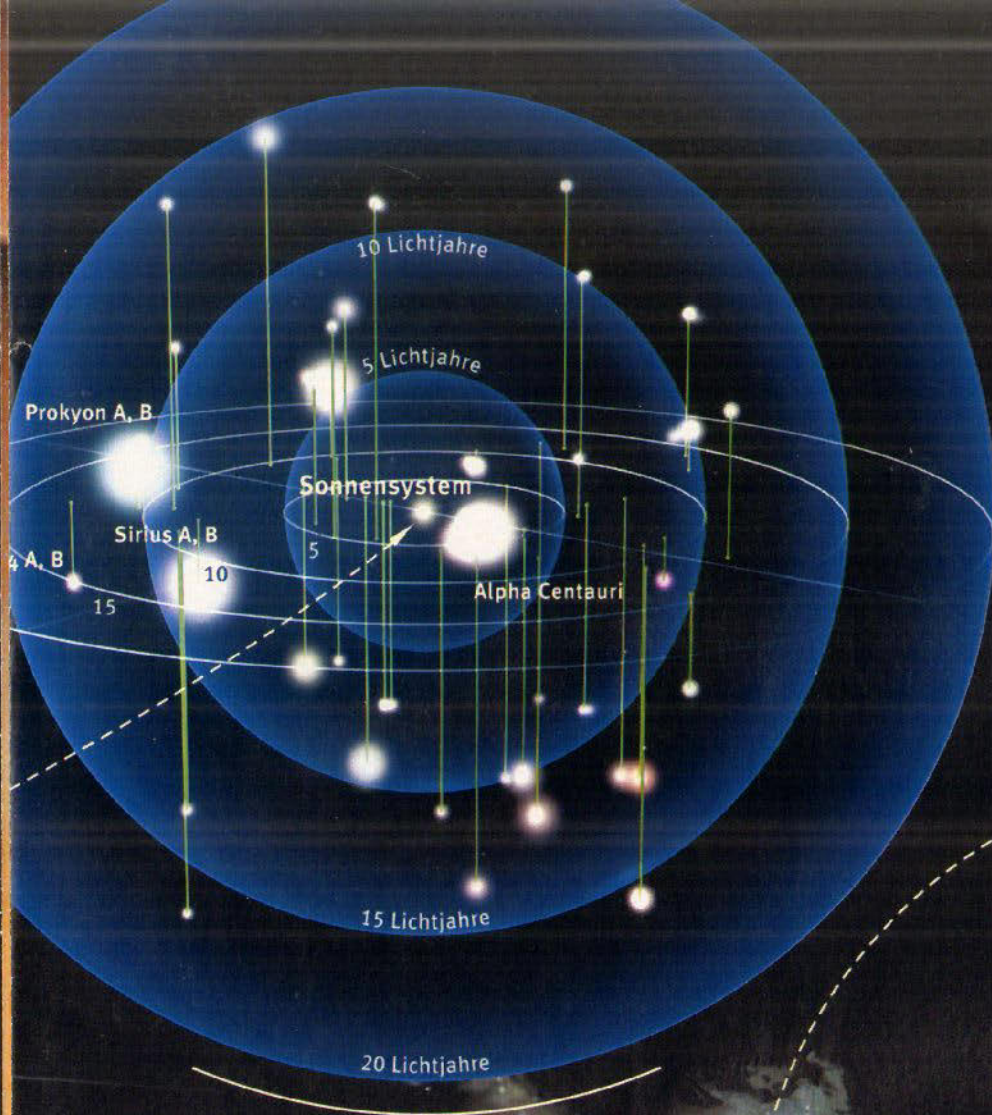
Brian Schmidt

1980: INFLATIONSTHEORIE

Guth vertritt als Erster die These, dass sich das Universum unter dem Einfluss einer mysteriösen Dunklen Energie unmittelbar nach dem Urknall explosionsartig aufblähte

1998: DUNKLE ENERGIE

Perlmutter und **Schmidts** Beobachtungen von Sternexplosionen zeigen, dass die Expansion des Universums zunimmt – angetrieben von einer Dunklen Energie, die so etwas ist wie die innere Spannung des Raumes

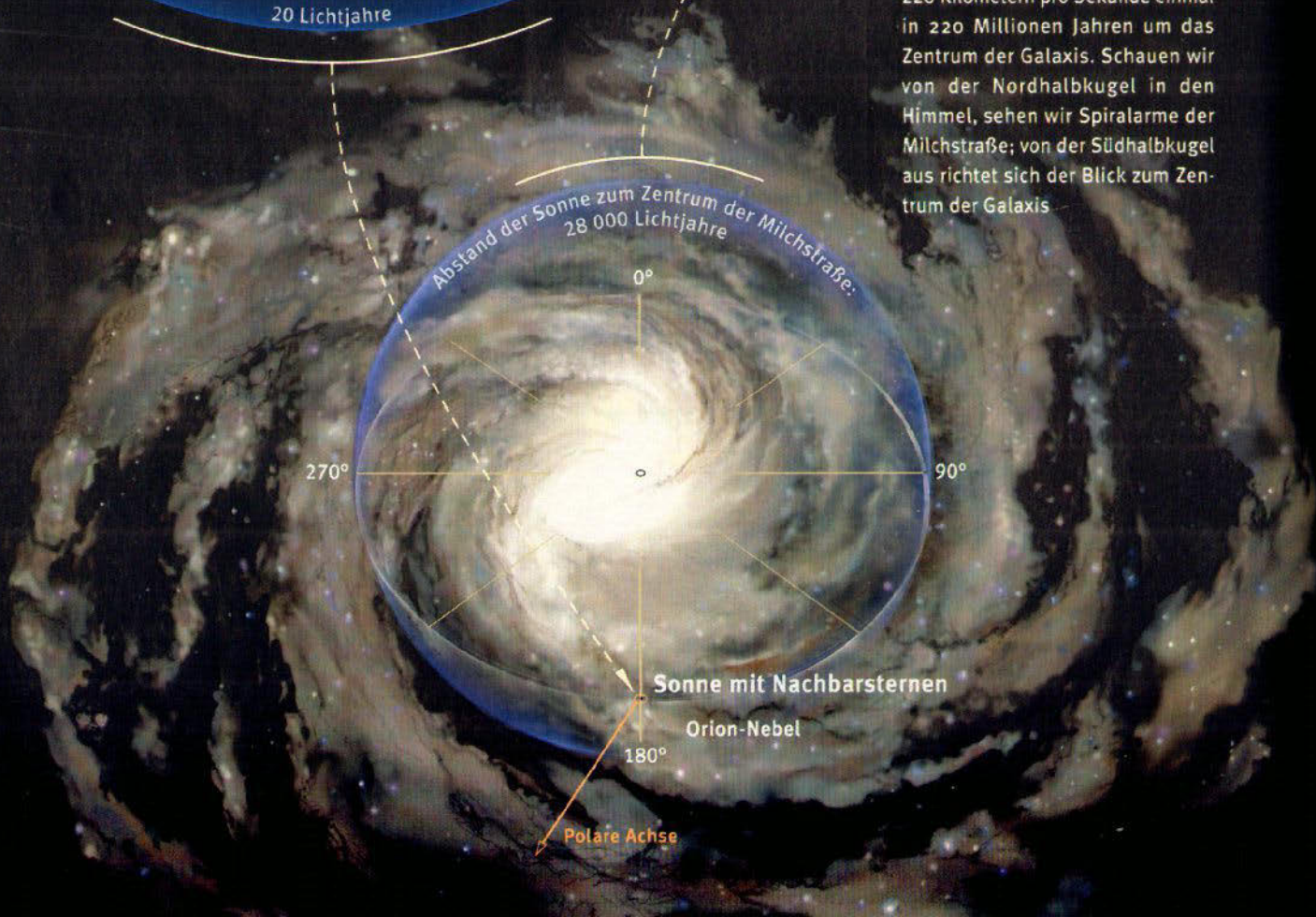


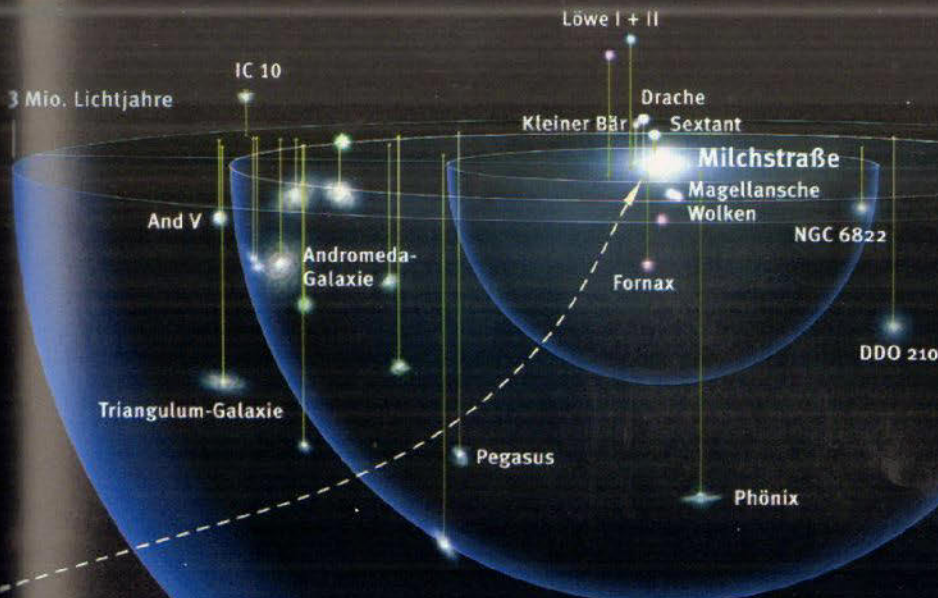
DIE NACHBARSTERNE

Sterne im Umkreis von 20 Lichtjahren (= 190 000 000 000 000 Kilometer) zählen zur solaren Nachbarschaft. Die Sonne ist in diesem Ensemble nur ein gewöhnlicher »gelber Zwerg« von durchschnittlicher Größe und Temperatur. Unser nächster Nachbar ist das Dreifachsternsystem Alpha Centauri in 4,3 Lichtjahren Entfernung. (Die grünen Striche markieren die Position der Sterne in Bezug zur Schnittebene)

DIE MILCHSTRASSE

Die Sonne ist einer von 100 Milliarden Sternen der Milchstraße, einer Spiralgalaxie. Unser im Orion-Arm gelegenes Sonnensystem rast mit 220 Kilometern pro Sekunde einmal in 220 Millionen Jahren um das Zentrum der Galaxis. Schauen wir von der Nordhalbkugel in den Himmel, sehen wir Spiralarme der Milchstraße; von der Südhalbkugel aus richtet sich der Blick zum Zentrum der Galaxis.





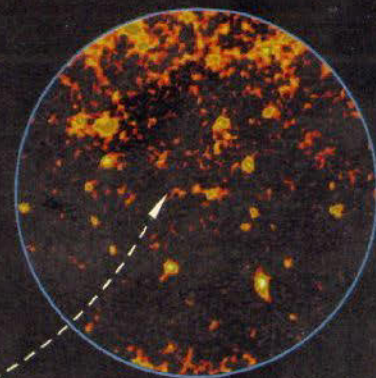
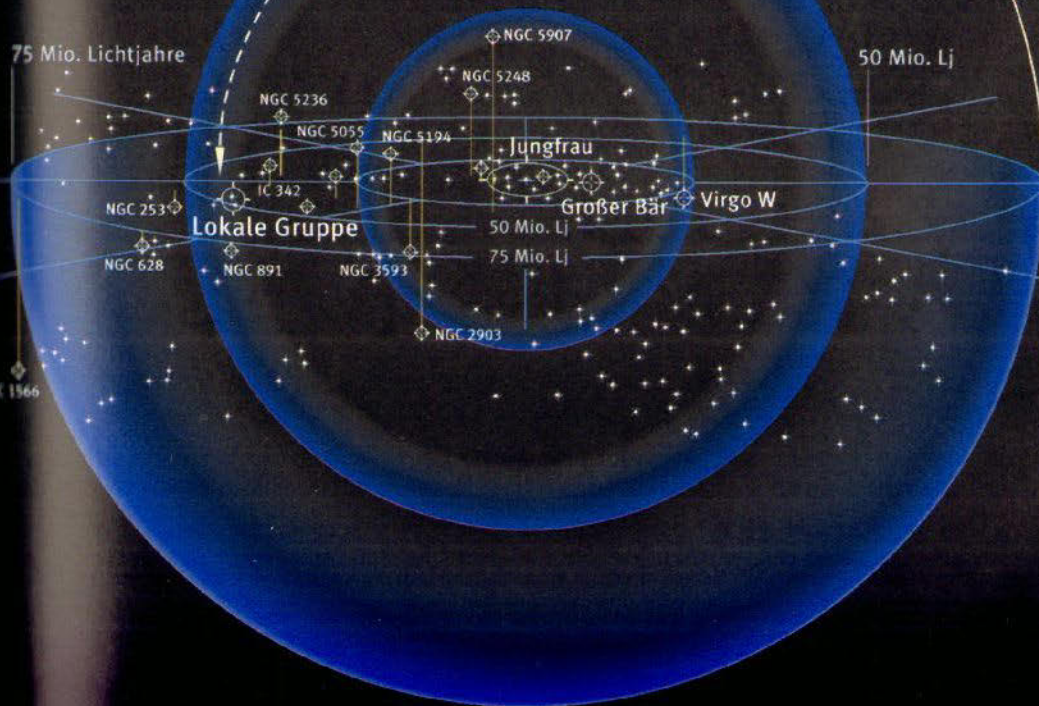
DIE »LOKALE GRUPPE«

Bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts glaubten Astronomen, die Milchstraße stelle das gesamte Universum dar. Heute wird sie samt ihrer 30 Nachbargalaxien, die von der Schwerkraft zusammengehalten werden, als lokale Gruppe bezeichnet, die sich über mehrere Millionen Lichtjahre erstreckt. Eine weitere bekannte Spiralgalaxie neben der Milchstraße ist der Andromeda-Nebel.

DAS SUPERCLUSTER


Selbst Galaxienhaufen treiben nicht beziehungslos durchs All. Durch Schwerkraft aneinander gebunden, bilden sie galaktische Superhaufen. Die Milchstraße befindet sich gemeinsam mit Sternbildern wie Jungfrau und Großer Bär in einem Verbund mit einem Durchmesser von 150 Millionen Lichtjahren.

◆ = Sternenhaufen



DAS UNIVERSUM

Unser Supercluster ist wiederum nur eines von vielen derartigen Gebilden im Universum, die durch große Leerräume voneinander getrennt sind. Mit modernster Technik lässt sich Licht aus bis zu 13,5 Milliarden Lichtjahren Entfernung auffangen – gleichsam aus der Kinderstube des Universums.



Nasa-Forscher haben einen fast 36.000 Kilometerlangen Fahrstuhl ersonnen. Damit sollen im späten 21. Jahrhundert Menschen und Material kostengünstig in den geostationären Orbit befördert werden, um von dort zu fernen Planeten zu starten

AUFBRUCH IN DIE UNSTERB

Langfristig wird die Spezies Mensch nur überleben, wenn unerschrockene Pioniere eines Tages neue Welten im All erschließen. Die dafür notwendige Technologie fehlt noch – vor allem für effizientere Raketenantriebe und um andere Himmelskörper bewohnbar zu machen

VON SIR MARTIN REES

Das erste Foto aus dem Weltraum, das unsere Erde als Kugel zeigte, wurde zu einer Ikone der 1960er Jahre. Der Publizist Jonathan Schell ergänzte dieses Bild aus seiner Sicht. „Mag auch der Blick aus dem All von unschätzbarem Wert sein, letztlich zählt doch nur die irdische Perspektive, der Ausblick auf unsere Kinder und Kindeskinde, die künftigen Generationen der Menschheit... Der Gedanke, dass dieser Lebensstrom einmal unterbrochen, dass diese Zukunft amputiert werden könnte, ist so schockierend, so wider-natürlich und steht in so krassem Widerspruch zu unserem Lebenstrieb, dass wir ihn kaum ertragen und sofort voll Abscheu und Ungläubigkeit fallen lassen.“

Sollte die Menschheit Vorkerkungen treffen, dass unter allen Umständen etwas von ihr überlebt? Wird es ihr gelingen, früh genug ein dauerhaftes Habitat irgendwo im Sonnensystem zu errichten?

Es wäre absurd zu behaupten, eine Auswanderung ins All könnte die Probleme der Überbevölkerung lösen. Mehr als ein winziger Bruchteil der Erdbewohner wird unseren Planeten niemals verlassen. Selbst den Überlebenden einer globalen Katastrophe, die unter primitiven Bedingungen auf einer verwüsteten Erde hausen müssten, würde diese Umgebung wirtlicher erscheinen als die jedes anderen Himmelskörpers. Doch die Zukunft der Menschheit bleibt bedroht, solange sie auf die Erde beschränkt bleibt. Sobald es jedoch auf dem Mond, dem Mars oder frei schwebend im All autarke menschliche Gemeinschaften gäbe, könnten selbst die schlimmsten globalen Katastrophen unsere Art nicht mehr vernichten.

Wer von uns im mittleren Alter ist, wird sich noch an die verschwommenen Fernsehbilder von Neil Armstrongs „kleinem Schritt“ erinnern. Das Vorhaben von US-Präsident John F. Kennedy, „vor dem Ende des Jahrzehnts einen Menschen auf den Mond zu schicken und sicher auf die Erde zurückzubringen“, katapultierte den Raumflug in den 1960er Jahren von den Cornflakes-Karton-Bildern in die Realität.

Das schien erst der Anfang zu sein. Wir träumten von einer permanenten Mondbasis und riesigen Weltraum-hotels, die um die Erde kreisen. Bemannte Expeditionen



LICHKEIT

High-Tech-Milliardäre werden womöglich die Ersten sein, die eine **Mondbasis** oder sogar eine Expedition zum **Mars** finanzieren

nen zum Mars schienen nur eine Frage der Zeit zu sein. Aus alldem ist bislang nichts geworden. Das Jahr 2001 hatte keine Ähnlichkeit mit dem, was Stanley Kubrick in seinem Film „2001 – Odyssee im Weltraum“ geschildert hatte, so wenig wie das Jahr 1984 glücklicherweise der Romanvision George Orwells ähnelte. Das Apollo-Mondlandeprogramm blieb eine flüchtige Episode, angetrieben vor allem von dem Drang, es den Sowjets zu zeigen.

Die vorläufig letzte Mondlandung fand 1972 statt. Von denen, die erheblich jünger als 35 Jahre sind, hat kaum einer eine Erinnerung an die bewegten Bilder von Menschen auf dem Erdtrabanten. Für sie ist das Apollo-Programm eine ferne historische Episode: Sie wissen, dass die Amerikaner Menschen zum Mond schickten, so wie sie wissen, dass die Ägypter Pyramiden bauten.

Der Film „Apollo 13“, ein Dokudrama von 1995 mit Tom Hanks in der Hauptrolle, das die Beinahe-Katastrophe bei der Umrundung des Mondes nachzeichnet, war für mich Anlass der Erinnerung an dieses Ereignis, das wir Jahre zuvor mit angehaltenem Atem verfolgt hatten. Jungen Zuschauern dagegen kamen die überholten technischen Geräte im Film und die traditionellen Werte fast so antiquiert vor wie ein „Western“.

Die praktischen Argumente für den bemannten Raumflug waren ohnehin nie sehr stark. Mit jedem Fortschritt der Robotik und der Miniaturisierung werden sie schwächer. Für die Raumforschung zu wissenschaftlichen Zwecken sind unbemannte Sonden letztlich besser geeignet und noch dazu billiger.

Kürzlich hat der amerikanische Präsident George W. Bush sein neues Programm bekannt gegeben. Menschen sollen wieder mal auf den Mond und

später auch auf den Mars. Die Europäer hatten schon zuvor ein mehrstufiges Programm namens „Aurora“ angedacht, das bis zum Jahr 2034 einen bemannten Mars-Flug vorsieht. Dies sind inspirierende Vorhaben, aber sie werden das Schicksal des Shuttle-Programms und der internationalen Weltraumstation ISS teilen und eine Kette von Verzögerungen und explodierenden Kosten mit sich bringen.

Für die Fertigstellung der ISS, die wissenschaftlich ein kapitaler Flop ist und mehr und mehr zu einer fliegenden Sardinenbüchse verkommt, gibt es nur einen Grund: Wenn man davon ausgeht, dass die Raumfahrt langfristig zur Routine wird, stellt dieses Programm immerhin sicher, dass die 40 Jahre Erfahrung der USA und UdSSR im bemannten Raumflug nicht vergeudet sind.

Zu neuem Schwung für die bemannte Raumfahrt wird es nur kommen, wenn sich die Technologie ändert – und, was vermutlich noch wichtiger ist, die Philosophie. Die heutigen Startverfahren sind technisch so extravagant, wie es die Luftfahrt wäre, wenn nach jedem Linienflug ein neuer Jet angeschafft werden müsste. Erschwinglich wird der Raumflug erst, wenn seine Technologie der von Überschallflugzeugen ähnelt. Touristische Ausflüge ins All, wie die des Finanzmagnaten Dennis Tito oder des Unternehmers Mark Shuttleworth, könnten dann zur Routine werden.

Anders als staatlich finanzierte, quasimilitärische Programme wie Apollo, könnten künftige Expeditionen ein ganz neues Gesicht bekommen: Langfristig werden sich Privatpersonen nicht auf die Rolle von Passagieren beschränken, die passiv die Erde umkreisen, sondern sich nach entfernteren Horizonten sehnen. Falls etwa High-Tech-Milliardäre wie Bill Gates oder

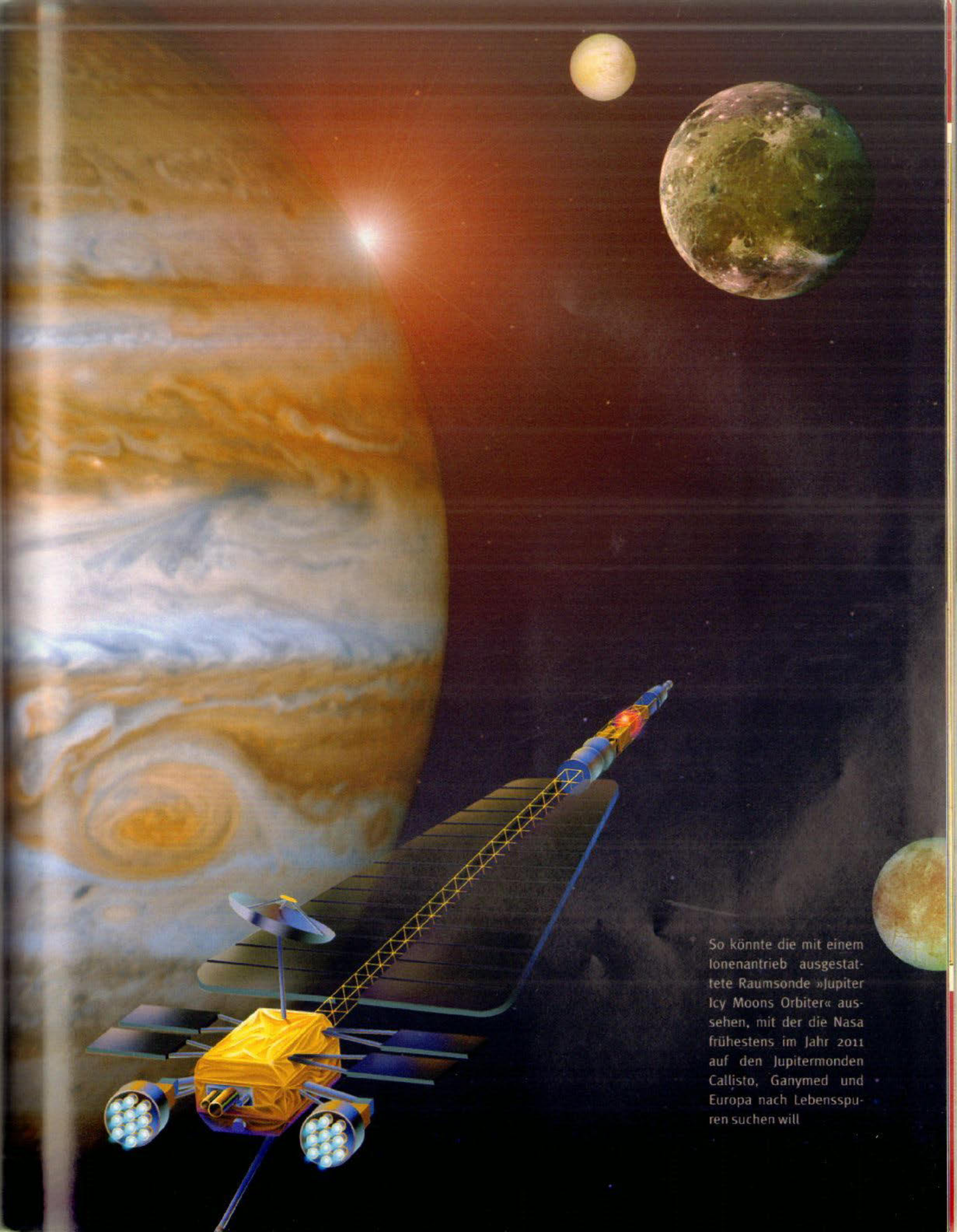
Larry Ellison nach Herausforderungen suchen, um die zweite Hälfte ihres Lebens nicht wie einen Abstieg erscheinen zu lassen, sponsern sie vielleicht die erste Mondbasis oder gar eine Expedition zum Mars.

Sollte die Erkundung des Roten Planeten tatsächlich in Gang kommen, könnte sie einer Idee des amerikanischen Ingenieurs Robert Zubrin folgen: Als Reaktion auf eine Kostenkalkulation der Nasa, in der von mehr als 100 Milliarden Dollar die Rede war, propagierte Zubrin eine kostengünstigere „Mars direkt“-Strategie. Sie kommt ohne internationale Raumstation und den Zusammenbau des Raumschiffs in der Erdumlaufbahn aus.

Zubrin wollte auch eines der größten Probleme früherer Planungen vermeiden: die Notwendigkeit, auf dem Hinflug den gesamten Treibstoff für den Rückweg mitnehmen zu müssen. Daher schlägt er vor, zunächst ein unbemanntes Raumschiff zum Mars zu schicken. Dies befördert eine chemische Fabrik, einen kleinen Atomreaktor und eine Rakete, mit deren Hilfe die Raumfahrer vom Mars später zur Erde zurückfliegen können.

Die Tanks der Rakete wären lediglich mit sechs Tonnen reinem Wasserstoff gefüllt. Der Atomreaktor erzeugte dann auf dem Mars Energie für die chemische Fabrik, die mithilfe des Wasserstoffs Kohlendioxid aus der Atmosphäre in Methan und Wasser umwandelt. Der Sauerstoff aus dem gewonnenen Wasser würde anschließend gespeichert und der Wasserstoff für die Herstellung von weiterem Methan genutzt; als Treibstoff für die Rakete stünden schließlich Methan und Sauerstoff zur Verfügung. Mit sechs Tonnen Wasserstoff ließen sich auf diese Weise 100 Tonnen Methan erzeugen – eine Menge, die ausreichen würde, um zurück zur Erde zu gelangen.

Zwei Jahre nach dem ersten Raumfahrzeug starten schließlich zwei weitere. Eines befördert die Mannschaft samt der Vorräte für den Mars-Aufenthalt, das andere die gleiche Fracht wie das erste Raumschiff. Da die bemannte Mission auf einer schnelleren



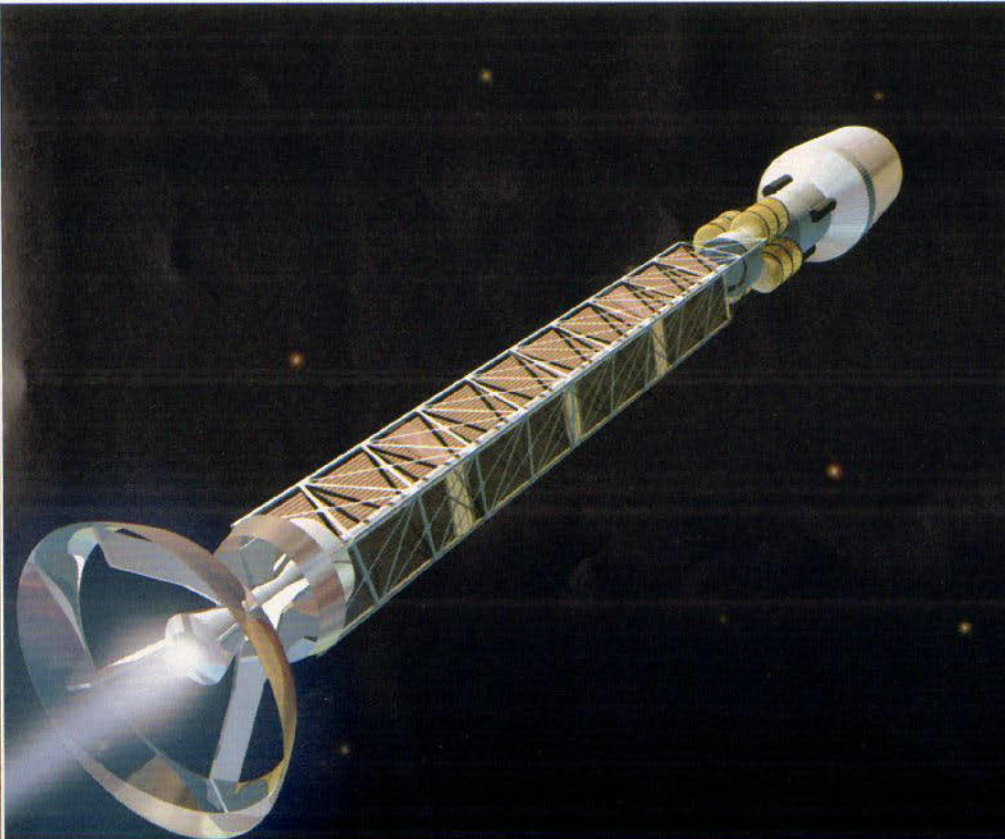
So könnte die mit einem Ionenantrieb ausgestattete Raumsonde »Jupiter Icy Moons Orbiter« aussehen, mit der die Nasa frühestens im Jahr 2011 auf den Jupitermonden Callisto, Ganymed und Europa nach Lebensspuren suchen will

Für eine ruhmreiche und historische Mission werden sich **Raumfahrer** finden, die auch extreme Risiken auf sich nehmen

Bahn unterwegs sein kann als jene mit der Fracht, braucht die Mannschaft erst zu starten, wenn die Gerätschaften sicher auf dem Weg sind, würde das Ziel aber dennoch früher erreichen. Sollte die Mannschaft aus irgendeinem Grunde weitab vom Landepunkt des ersten Frachters eintreffen, bliebe noch genug Zeit, den zweiten Frachter zur Landestelle umzuleiten. Nach Abschluss der Mission könnten alle zwei Jahre weitere Raumfahrzeuge folgen und so allmählich den Aufbau einer Infrastruktur auf dem Mars ermöglichen.

Würde sich jemand zu einer solchen Expedition bereit finden? Möglicherweise gibt es eine Parallele zur Erkundung unseres Planeten. Jene Forschungsreisenden, die im 15. und 16. Jahrhundert von Europa aus aufbrachen, hatten meist Monarchen als Geldgeber. Diese hofften auf exotische Waren oder die Eroberung neuer Territorien. Für einige der Forschungsreisenden ging es aber vor allem um die Herausforderung. Bemannte Expeditionen in die Tiefen des Alls könnten ebenfalls zu einer Aufgabe von Abenteurern werden.

Entwurf einer Raumsonde mit Antimaterie-Antrieb. Ein solches Gefährt würde Schub im Überfluss erzeugen: Wenn Antimaterie auf Materie trifft, entsteht eine Milliarde Mal so viel Energie wie bei der Verbrennung von Wasserstoff mit Sauerstoff



Doch letztlich würde sich kein Raumfahrer im gleichen Maße wie die großen Seefahrer ins Unbekannte hinauswagen. Diese hatten weit weniger Kenntnisse von dem, was auf sie zukam, und viele verloren dabei ihr Leben. Auch wären Raumfahrer nicht vom Kontakt mit anderen Menschen abgeschnitten. Botschaften zum Mars und zurück sind maximal 44 Minuten unterwegs, Nachrichten von Seereisenden brauchten dagegen oft Monate; und so mancher frühe Polarforscher hatte überhaupt keinen Kontakt zur Heimat.

Es scheint heute als Grundsatz zu gelten, dass alle Pioniere wohlbehalten zurückkehren sollen – sei der Einsatz bei der Erschließung neuer Welten auch noch so hoch. Doch für eine ruhmreiche und historische Mission würden es entschlossene Abenteurer womöglich in Kauf nehmen, dass es kein Zurück gibt – ähnlich wie die Europäer, die einst in die Neue Welt aufbrachen. Wenn die Erbauer einer Mars-Basis sich tatsächlich mit einem „One-Way-Ticket“ begnügten, würden die Flugkosten drastisch sinken.

Ein Hauptproblem für die Raumfahrt sind die ineffizienten Antriebe. Mehrere Tonnen chemischen Treibstoffs sind erforderlich, um nur eine Tonne Nutzlast so zu beschleunigen, dass sie die Anziehungskraft der Erde überwindet. Im Weltall lässt sich der Treibstoffverbrauch nur gering halten, wenn die Flugbahn mit großer Präzision berechnet wird. Ließe sich aus jedem Kilogramm Treibstoff deutlich mehr Schub gewinnen als heute, könnte man den Kurs jederzeit ändern, so wie beim Autofahren auf einer kurvenreichen Straße. Dann wären auch kaum Vorkenntnisse für Reisen ins All erforderlich. Das Ziel – der Mond, der Mars oder ein Asteroid – liegt klar vor unseren Augen. Man braucht nur darauf zuzusteuern und am Ende die Bremsdüsen zu betätigen.

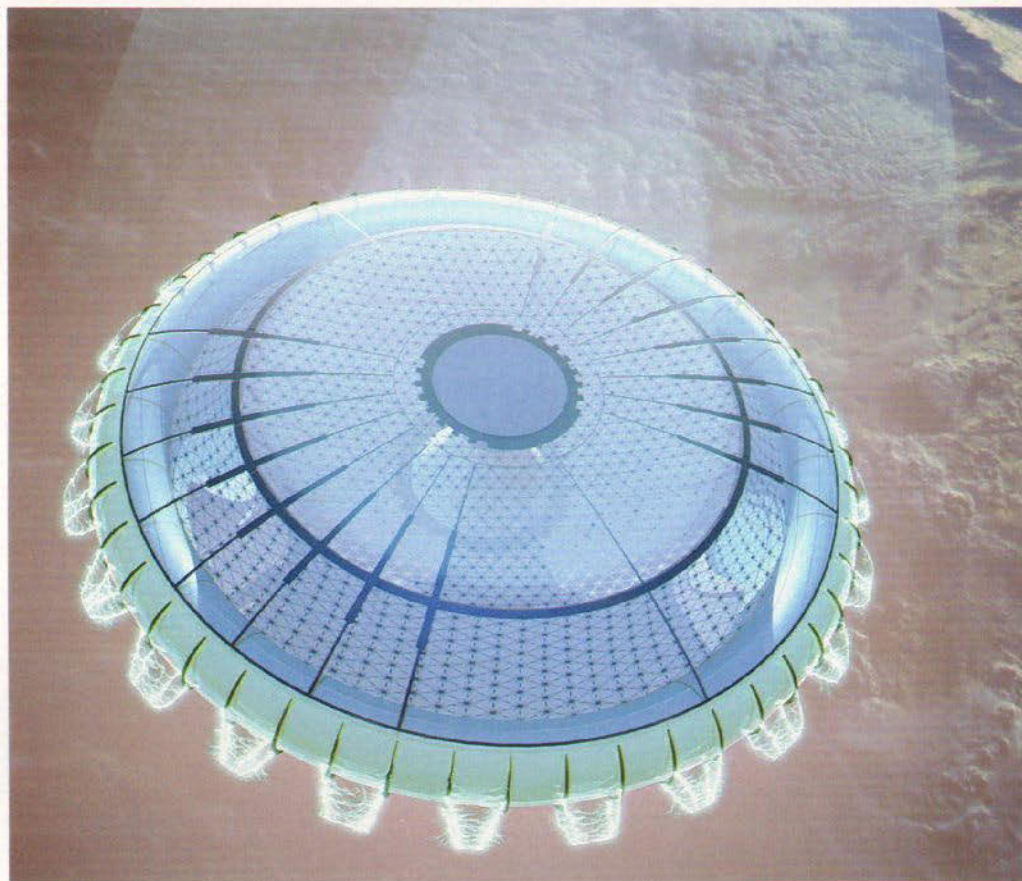
Welche neuen Antriebssysteme die größten Chancen haben, ist ungewiss. Für die nähere Zukunft liegen Sonnen- und Atomenergie nahe. Hilfreich wäre es, wenn der Antrieb die Erde gar nicht

verlassen müsste. Eine denkbare Lösung sind extrem leistungsstarke Laser, die das Raumschiff ins All katapultieren. Eine andere wäre ein Art Weltraumlift, ein aus Kohlenstofffaser bestehendes Kabel, das Zehntausende Kilometer ins All hinaufreicht und dort von einem geostationären Satelliten gehalten wird; Kohlenstoff-Nanoröhren haben bereits eine hinreichende Zugfestigkeit dafür. Mit einem solchen „Lift“ könnten Nutzlasten und Passagiere mittels einer Energiequelle am Boden das Schwerfeld der Erde verlassen. Für den Rest der Reise würde ein Antrieb mit geringem Schub ausreichen.

Ehe sich Menschen in die Tiefe des Alls hinauswagen, sollte jedoch das gesamte Sonnensystem kartiert und erkundet werden – von Flottillen winziger Roboter-Raumfahrzeuge. Und vor einer bemannten Mars-Expedition könnten nicht nur Vorräte, sondern auch Pflanzensamen zum Roten Planeten gebracht werden, dort heranwachsen und sich vermehren. Der Physiker Freeman Dyson denkt an gentechnisch hergestellte „Designerbäume“, auf denen eine lichtdurchlässige Membran wächst. Die würde – ähnlich wie ein Treibhaus – Schutz bieten vor den niedrigen Temperaturen und der dünnen Atmosphäre.

Denkbar wäre auch, die Oberfläche des Mars „erdformig“ umzugestalten und bewohnbar zu machen. Die Atmosphäre könnte durch die Erzeugung gewaltiger Mengen Treibhausgase erwärmt werden. Oder mittels riesiger, in einer Umlaufbahn platzierter Spiegel, die Sonnenlicht auf die Pole lenken. Oder indem ausgedehnte Flächen mit Ruß oder gemahlenem Basalt bedeckt werden, die das Sonnenlicht absorbieren. Ein solcher Prozess würde Jahrhunderte dauern, doch auf vereinzelt Stützpunkten wäre schon viel früher eine dauerhafte Ansiedlung des Menschen vorstellbar.

Aber wäre es hinnehmbar, den Mars in der gleichen Weise auszubeuten, wie es die weißen Siedler mit dem Westen der Vereinigten Staaten taten? Sollte der Mars nicht besser als natürliche



Vision eines quallenartigen Transporters: Der könnte in ferner Zukunft Lasten energiesparend in den Orbit befördern. Von einer Bodenstation ausgesandte Mikrowellen sollen unter dem Schirm ein Plasma erzeugen und das Fluggerät antreiben

Wüste erhalten bleiben? Die Antwort hängt vom Zustand des Planeten ab. Ist dort Leben vorhanden, das ganz anders ist als alle Lebensformen auf der Erde, würde sicher die Forderung erhoben, den Mars möglichst unangestastet zu lassen. Bei staatlichen oder internationalen Expeditionen wären solche Beschränkungen womöglich durchsetzbar. Privat finanzierte Abenteuer mit unternehmerischen Ambitionen würden aber wohl das Modell „Wilder Westen“ durchsetzen – ob es uns gefällt oder nicht.

Mond und Mars werden langfristig nicht die einzigen Ziele bleiben. Leben könnte sich auch auf Kometen und Asteroiden ausbreiten, sogar auf den zahlreichen kleinen Himmelskörpern in den kalten Außenbereichen des

Sonnensystems. Überlegenswert wäre auch eine frei im Raum schwebende künstliche Welt.

Diese Möglichkeit hatte schon in den 1970er Jahren Gerard O'Neill untersucht, ein Maschinenbauprofessor an der Universität Princeton. Er dachte an ein Raumfahrzeug in Gestalt eines riesigen Zylinders, das sich langsam um seine Achse dreht. Die Raumfahrer würden ihr Leben an der Innenseite der Wände verbringen – festgehalten durch die künstliche Schwerkraft, die durch die Rotation erzeugt wird. Die Zylinder sollten groß genug sein, um Zehntausende Menschen zu beherbergen und vielleicht sogar eine Atmosphäre samt Wolken und Regen.

Das von O'Neill entworfene Szenario mag irgendwann im Bereich des

Menschliches Erbgut, das in Mini-Raumfahrzeugen verbreitet wird, verwandelt das gesamte Universum in einen lebendigen Kosmos

technisch Machbaren liegen, doch mit einem einzigen Sabotageakt ließe sich ein solch empfindliches Gebilde leichter zerstören als Gemeinschaften auf der Erde.

Bessere Überlebenschancen böten eine Vielzahl kleinerer Habitate. In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts könnten bereits Hunderte Menschen auf Mondbasen leben, ähnlich den Unterkünften, die es schon in der Antarktis gibt; eine Hand voll Pioniere könnten den Mars oder kleine künstliche Inseln besiedeln, die das Sonnensystem durchqueren und auf Asteroiden oder Kometen landen. Egal was man davon halten mag – diese Entwicklungen erscheinen sowohl unter technischen wie sozialen Aspekten naheliegend.

Jahrhunderte später könnte bereits das gesamte Sonnensystem von Robotern und Fabrikatoren durchdrungen sein; die Maschinen bauen dann Rohstoffe von Asteroiden ab, um immer größere künstliche Strukturen zu erschaffen. Ob in den fernen Welten auch Menschen anzutreffen sind, ist kaum vorherzusagen. Wenn ja, würden es Gemeinschaften sein, die völlig unabhängig von der Erde wären.

Durch keinerlei irdische Gesetze gehemmt, werden einige die ganze Bandbreite genetischer Verfahren nutzen und sich in neue Arten aufspalten – denn die Nachteile, die sich aus der mangelnden genetischen Vielfalt in kleinen Gruppen ergeben, lassen sich durch künstliche Veränderungen des Genoms überwinden. Die unterschiedlichen Umweltbedingungen, die auf dem Mars, im Asteroidengürtel und in den noch kälteren Außenbereichen des Sonnensystems herrschen, könnten die biologische Vielfalt zusätzlich fördern.

Auch wenn die Weite des Kosmos keine Lösung des Rohstoff- und des

Überbevölkerungsproblems auf der Erde bietet, wird die „Auswanderung“ vom Heimatplaneten epochale Folgen haben: Ist die Schwelle zu sich selbst erhaltendem Leben im All überschritten, wäre damit auch die langfristige Zukunft gesichert – ungeachtet aller Risiken auf der Erde.

Die Wesen, die sich innerhalb weniger hundert Jahre in unserem Sonnensystem ausbreiten könnten, wären alle noch erkennbar humanoid. Doch sie würden ergänzt – und an den unwirtlichsten Orten zahlenmäßig vermutlich weit übertroffen – durch Roboter mit menschlicher Intelligenz.

Reisen über das Sonnensystem hinaus, durch den interstellaren Raum, wären hingegen endgültig eine posthumane Herausforderung. So ließen sich zum Beispiel genetisches Material oder auf anorganischen Trägermedien gespeicherte Blaupausen mit Miniatur-Raumfahrzeugen in den Kosmos entsenden. Diese könnten so programmiert sein, dass sie auf vielversprechenden Planeten landen und Kopien von sich herstellen, um eine Ausbreitung in der gesamten Galaxis in Gang zu setzen. Denkbar ist sogar, dass „verschlüsselte“ Informationen per Laser übertragen werden – als eine Art Raumfahrt mit Lichtgeschwindigkeit – und auf diese Weise die „Aussaat“ von lebenden Organismen an günstigen Orten in Gang gesetzt wird.

Dies wäre ein ebenso epochemachender Übergang der Evolution wie jener, der zu landlebenden Wesen auf der Erde geführt hat. Wir leben in einem Zeitalter, das nicht nur für unseren Planeten, sondern auch für den Kosmos insge-

samt von entscheidender Bedeutung sein könnte.

Ein abgedroschener Witz unter Astronomiedozenten geht so: Ein besorgter Hörer stellt die Frage: „Wie lange, sagten Sie, wird es dauern, bis die Sonne die Erde verschlingt?“ Auf die Antwort „Sechs Milliarden Jahre!“ reagiert der Fragesteller erleichtert: „Gott sei Dank, ich meinte, Sie hätten sechs Millionen gesagt.“

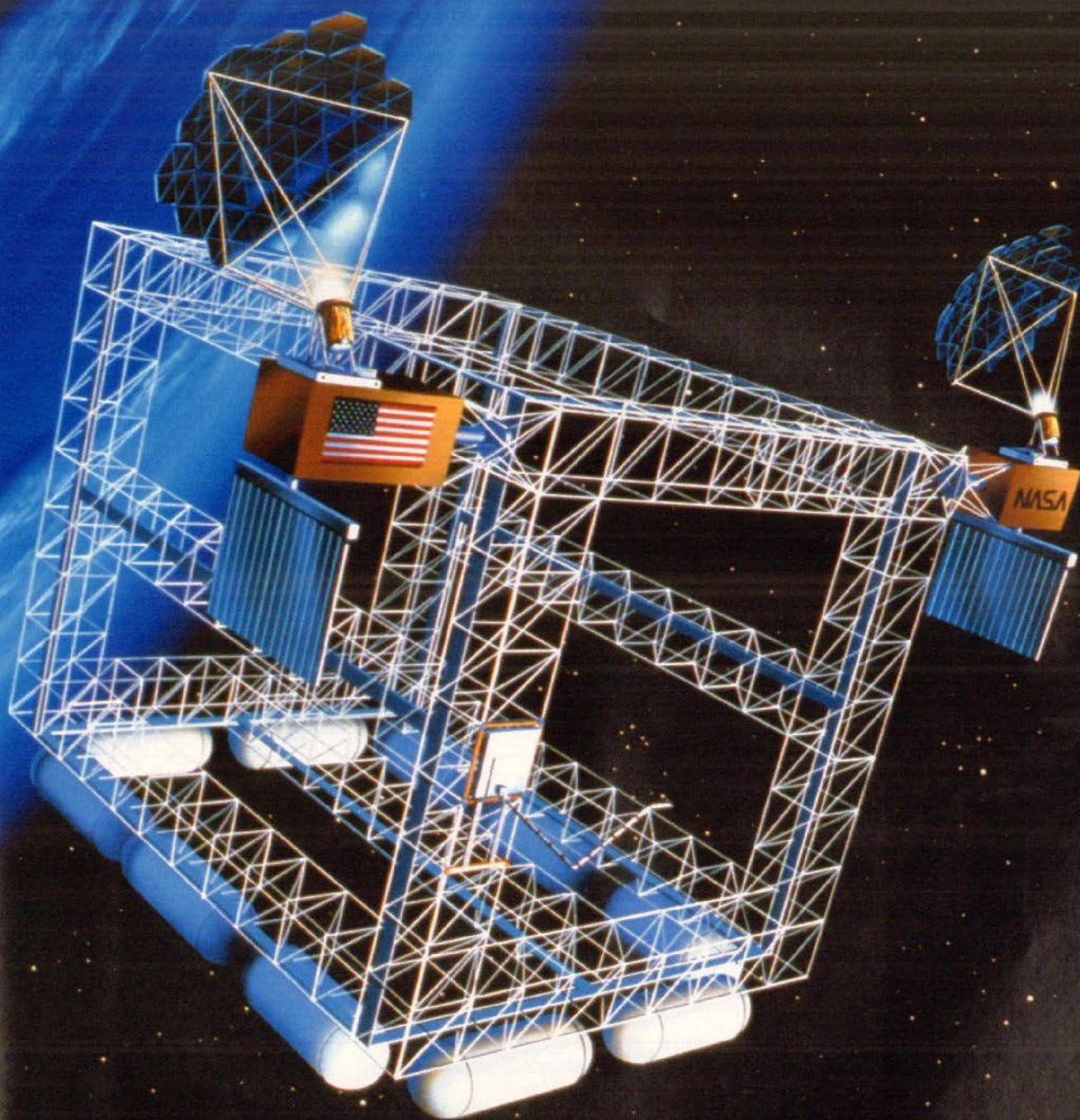
Was in weit entrückten Äonen geschieht, mag uns vollkommen unwesentlich für die praktischen Fragen des Lebens erscheinen. Ich denke jedoch, dass die Geschehnisse im Kosmos schon jetzt eine Bedeutung haben für die Art und Weise, wie wir über das Schicksal der Menschheit denken.

Darwin bemerkte, dass „keine heute lebende Art ihr Bild unverändert an eine ferne Zukunft weitergeben wird“. Es könnte geschehen, dass unsere Art sich auf dem Umweg über intelligente Modifikationen rascher verändert und ausbreitet als jede frühere durch die natürliche Auslese. Lange bevor die Sonne sich ausdehnt und das Antlitz der Erde blank leckt, könnte sich eine Vielfalt von Lebewesen samt ihren Werkzeugen weit über den Heimatplaneten hinaus ausgebreitet haben. Unsere Nachfahren werden womöglich einer nahezu unbegrenzten Zukunft entgegensehen, Wurmlöcher, zusätzliche Dimensionen und Quantencomputer Entwicklungen eröffnen, die unser gesamtes Universum in einen „lebendigen Kosmos“ verwandeln könnten.

Im Silur, vor über 300 Millionen Jahren, krochen die ersten Lebewesen vom Wasser auf das Land. Wären sie dort zugrunde gegangen, hätte sich die terrestrische Fauna möglicherweise nie entwickelt. Auch das posthumane Entwicklungspotenzial ist derart unermesslich, dass nicht einmal der größte Misanthrop es guthieße, wenn es durch menschliches Handeln zu nichts gemacht würde. □



Sir Martin Rees, 61. Professor für Astronomie an der Universität Cambridge, ist einer der letzten Universalgelehrten seines Fachgebiets. Der Beitrag ist ein leicht gekürzter und bearbeiteter Text aus Rees' Buch **UNSERE LETZTE STUNDE – Warum die moderne Naturwissenschaft das Überleben der Menschheit bedroht**, C. Bertelsmann Verlag, München 2003.



Bereits in den 1980er Jahren entwickelte die Nasa Ideen für gewaltige Montage-Plattformen im Erdorbit. Dort sollten Raumfahrzeuge und Teleskope zusammengebaut werden

AUF ZUM MARS?

Viele Deutsche glauben an außerirdisches Leben. Dennoch ist von einer Begeisterung für Ausflüge ins All wenig zu spüren. Sehr realitätsnah werden von den Befragten auch die Gefahren aus dem Weltraum eingeschätzt, etwa die UV-Strahlung der Sonne

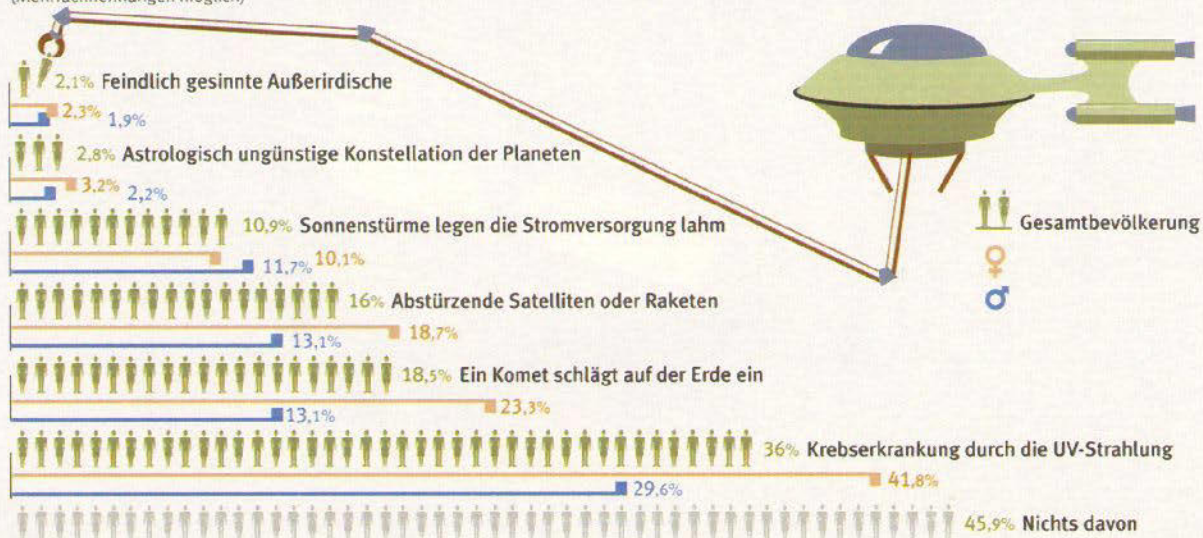
Würden Sie gern ins All fliegen und die Erde umrunden?



Gerade mal jeder neunte Deutsche würde gern ins All fliegen, unter ihnen deutlich mehr Männer als Frauen. Selbst die Enthusiasten nähmen dafür ungern Schulden in Kauf, und nur 15 Prozent gäben bis zu 50 000 Euro für einen Trip aus

Welche Gefahren, die aus dem Weltraum kommen könnten, machen Ihnen Angst?

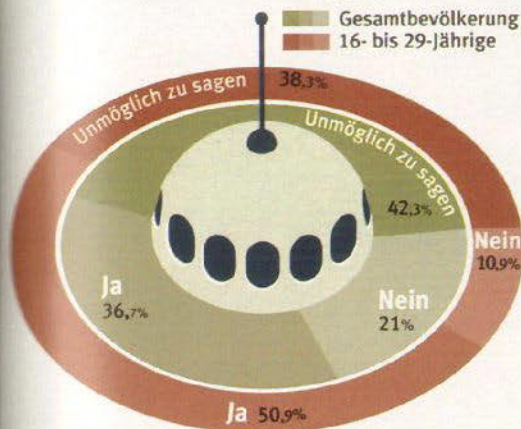
(Mehrfachnennungen möglich)



Jeder zweite Deutsche fühlt sich auf der Erde sicher vor Einflüssen aus dem Kosmos, vor allem Männer. Die übrigen Befragten haben vor allem Angst, dass die Strahlung der Sonne Krebs verursacht, obwohl es Schutzmöglichkeiten gibt, anders als etwa gegen Kometen. Vor Aliens fürchtet sich dagegen nur eine Minderheit, und auch angeblich ungünstige Planetenkonstellationen beunruhigen nur wenige Menschen

BLOSS NICHT!

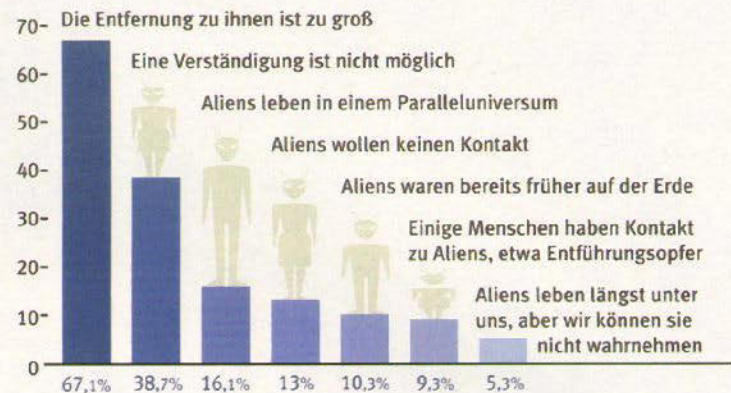
Gibt es andernorts intelligentes Leben?



Dass es außerirdische Wesen gibt, glauben besonders viele junge Deutsche, immerhin jeder Zweite im Alter von 16 bis 29 Jahren

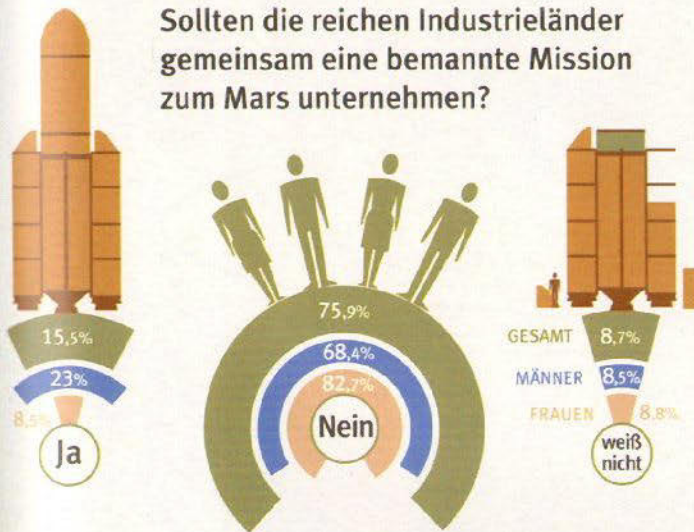
Warum haben wir keinen Kontakt zu diesen Lebewesen?

(Mehrfachnennungen möglich)



Jene, die an Aliens glauben, halten vor allem die Entfernungen im All für zu groß und eine Begegnung daher für unwahrscheinlich. Dass Außerirdische bereits auf der Erde sind, nehmen nur wenige Menschen an

Sollten die reichen Industrieländer gemeinsam eine bemannte Mission zum Mars unternehmen?



Wofür sollte das Geld besser eingesetzt werden?

(Mehrfachnennungen möglich)



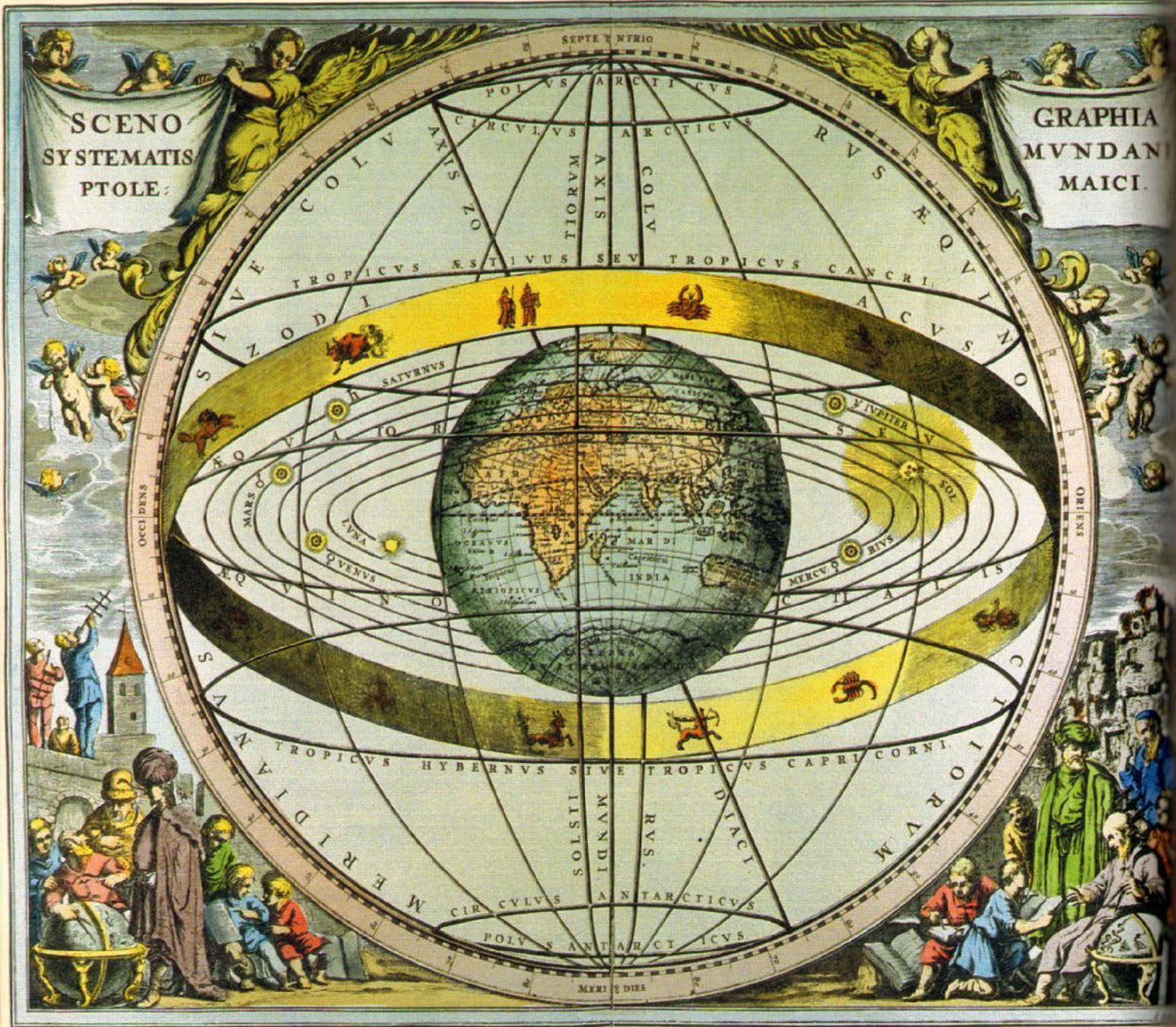
Über eine bemannte Mars-Mission wird immer mal wieder diskutiert, doch begeistern kann sich dafür nur eine Minderheit. Viel dringlicher erscheint den Befragten die Sicherung der Renten und das Bildungssystem

Wie ist das Universum entstanden?



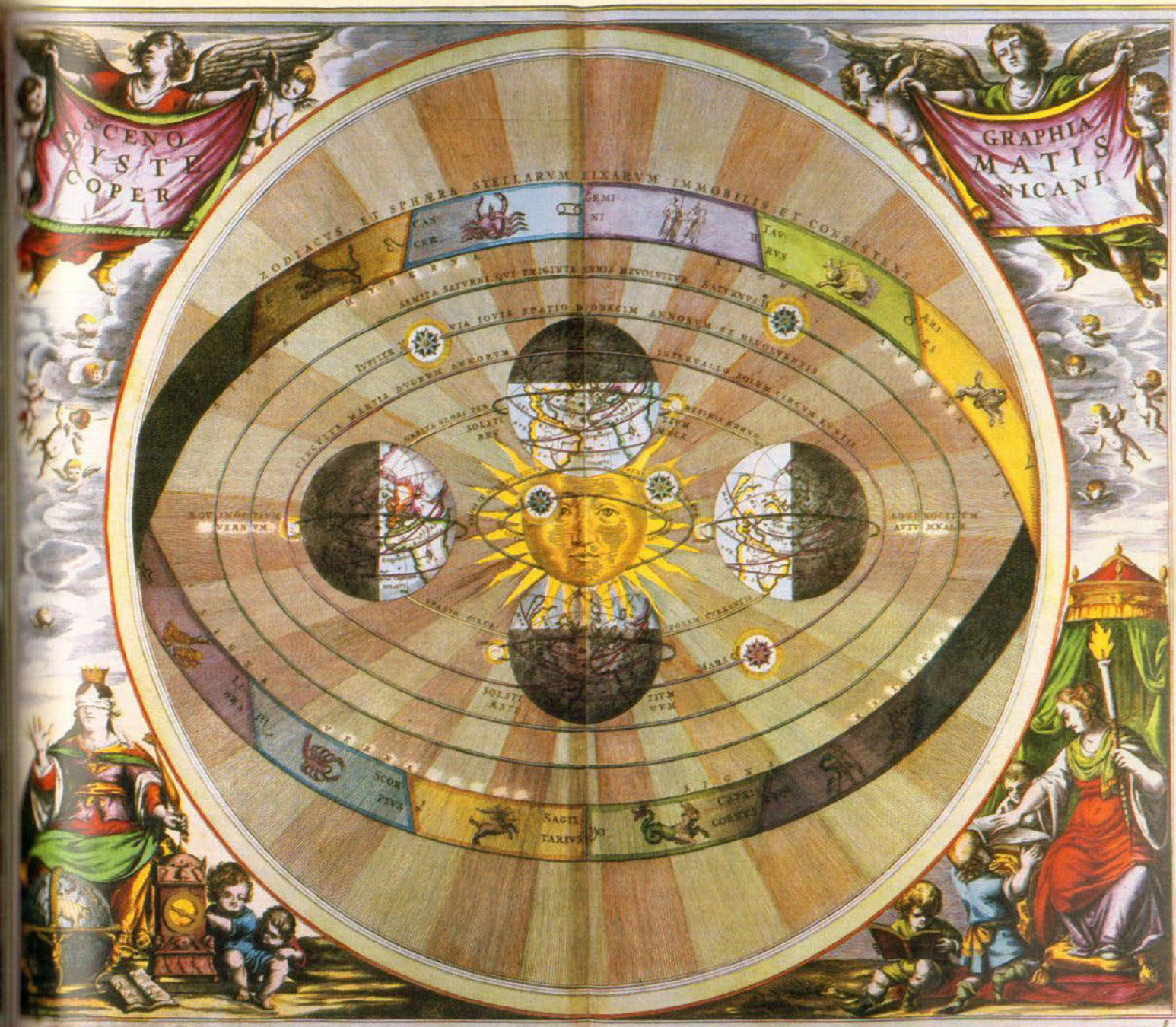
Nicht einmal jeder fünfte Deutsche traut dem heutigen wissenschaftlichen Weltbild, wonach der Urknall aus dem Nichts heraus entstanden ist – diese Auffassung scheint sich nur bei jungen Befragten durchzusetzen. Jeder vierte Deutsche hält das Universum auch für alles andere als einzigartig: Es sei nur eines von vielen

Das alte und das neue Bild des Universums zeigen die beiden Kupferstiche aus dem 17. Jahrhundert: links das ptolemäische Weltbild mit der Erde im Mittelpunkt, rechts das kopernikanische mit der Sonne als Zentralgestirn.



Nicht nur der Kosmos, auch unsere Anschauungen von ihm haben sich mit der Zeit ver

Wie wir lernten, über das



Indert. Doch manche Ideen der Antike erscheinen heute wieder verblüffend aktuell

Weltall nachzudenken

Klein ist das Universum. So klein, dass es sich von einem schrumpeligen Organ ermessen lässt, das kaum 1500 Gramm Masse aufweist. Denn das Weltall ist nicht, was uns bis in unergründliche Weiten umgibt. Es ist nur, was wir darüber zu begreifen imstande sind – mit dem Gehirn.

Klein waren auch die vielen Schritte bis zum heutigen Verständnis des Universums. Und doch gehören diese gedanklichen Etappen zum Größten, was der menschliche Geist je bewältigt hat. Das gilt schon für die Anfänge der Astronomie, als unsere Vorfahren zur Beobachtung auf das bloße Auge beschränkt waren – und doch weitreichende Schlüsse über Vorgänge am Himmel und auf der Erde zogen.

Manche dieser frühen „Erkenntnisse“ sind von der Wissenschaft zu Recht aussortiert worden – wie etwa die lange verbreitete Sterndeuterei. Obwohl sie aus damaliger Sicht alles andere als unplausibel erschien. Wenn Tag und Nacht, wenn selbst die Jahreszeiten offenbar vom Lauf der Gestirne abhingen – warum nicht auch des Menschen Schicksal, Glück und Unglück?

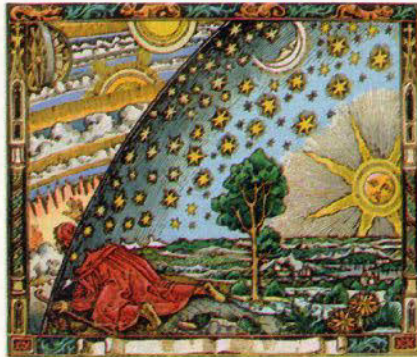
Aber die Geschichte der Astronomie lässt sich nicht pauschal als Evolution von einer fehlgeleiteten und mystischen zur wahren, wissenschaftlichen Welterklärung werten. Vielmehr stellt sich seit der Antike immer wieder neu die Frage nach Gewissheit in einer rätselhaften, wundersamen Welt.

Schon die frühesten Kulturen hatten ein Gespür für das Regelhafte und Verlässliche – ähnlich wie heute die Physiker den Gesetzen der Natur beizukommen versuchen. Doch sie waren mehr an einer auf den Menschen bezogenen als an einer „unpersönlichen“, physikalischen Theorie des Universums interessiert. Und sie besaßen noch einen ausgeprägten Sinn für das Unbegreifliche, das sich den Regeln entzog.

Diese Weltsicht zeigte sich in Mythengestalten und allegorischen Deutungen: Märchenhafte Akteure wie Gottvater Zeus sorgten für den geordneten Ablauf der Geschehnisse am

Himmel und auf der Erde. Am Anfang der Welt, so erzählt es ein alter griechischer Mythos, musste sich Zeus dem Inbegriff der regellosen Gewalt, den Titanen, entgegenstellen; diese versanken schließlich in der Unterwelt, dem Tartaros. Die Art des göttlichen Wirkens war dabei meist ein direktes Abbild irdischer Gesellschaftsnormen. Auf diese Weise sollten die Erzählungen den irdischen Regeln eine göttliche Legitimation und dem Unbegreiflichen eine übermenschliche Gestalt verleihen. Als rationale Welterklärung waren Mythen wohl nie gedacht.

Die griechischen Naturphilosophen hingegen waren überzeugt, dass es im Himmel wie auf der Erde so weitreichende Gesetze gab, dass sich ihnen



Wie sieht es wohl jenseits des sichtbaren Sternenhimmels aus? Über diese Frage konnten im 16. Jahrhundert selbst die Gelehrten nur spekulieren

selbst die für ihre Willkür bekannten Götter beugen mussten. Aus der Suche nach diesen Regeln erwuchs die Mathematik. Sie beherrscht bis heute die Modelle der Astronomen; ohne sie wären die beobachteten Vorgänge im Weltall nicht begreifbar.

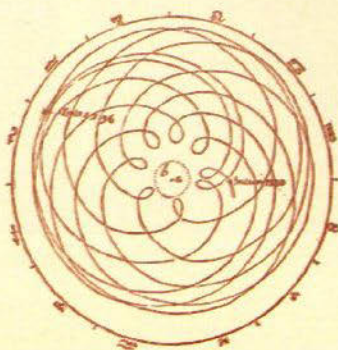
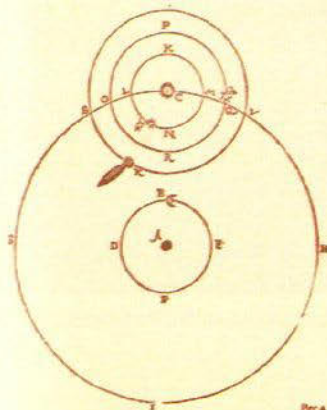
Und noch vor der Mathematik kam das Messen. Weil es vor 5000 bis 6000 Jahren, als in Babylon und Ägypten die Anfänge der Astronomie gelegt wurden, noch keine modernen Uhren gab, dienten die Gestirne als Zeitmesser: Sorgsam verfolgten die Weisen die Bahn von Sonne und Mond, die noch lange Zeit als „sichtbare Götter“ verehrt wurden. Anhand von Markierun-

gen an Bauten erkannten die Astronomen, dass nach einem bestimmten Zeitraum – einem Jahr – die Bahn wieder an der gleichen Stelle verlief. Die Unterteilungen des Jahresrhythmus gaben Aufschluss, wann es Zeit war, die Ernte einzubringen, oder wann der Nil die Felder überschwemmen und mit fruchtbaren Schwebstoffen düngen würde. Aufgrund der Bedeutung dieser Erkenntnisse erstellten die alten Kulturen immer genauere Berechnungen der Stern- und Mondbahnen. Schon vor 2400 Jahren waren die Babylonier in der Lage, die mittlere Dauer zwischen zwei gleichen Mondphasen auf die vierte Stelle hinter dem Komma genau zu ermitteln.

Aber mit den Erfolgen kamen auch Misserfolge. Zu Beginn der ägyptischen Astronomie war der Sirius auf dem Stern, der etwa an dem Tag aufging, wenn der Nil über die Ufer trat. Einige Jahrhunderte später hatte sich sein Erscheinen aber so verlagert, dass nur noch mit Hilfsrechnungen eine relativ genaue Bestimmung des ägyptischen Jahreszyklus möglich war. Ein präzises Modell der Planetenbewegungen entwickelten erst die Griechen.

Das gelang ihnen durch Ausarbeitung der Geometrie. Aufbauend auf den Erkenntnissen des Pythagoras (ca. 569–475 v. Chr.), kannte man die Gesetze der Winkel in geometrischen Figuren und beherrschte Abstands- und Ortsbestimmungen mit einfachen Winkelmessinstrumenten; selbst den Umfang der Erde, von deren Oberfläche den Griechen nur wenig bekannt war, konnten sie schon recht genau bestimmen. Eratosthenes berechnete ihn um 250 v. Chr. auf rund 46 000 Kilometer, was einer Abweichung von nur etwa 15 Prozent zum heutigen Wert gleichkommt.

Mit der Entwicklung der Geometrie veränderte sich auch der Blick der Menschen auf ihre Welt. Gerade weil geometrische Gesetze scheinbar ohne Ausnahme galten, hatte man nach Überzeugung der Philosophen nun gleichsam eine universale „Sprache“ entdeckt, mit der die Natur zu verstehen war, die sich ihrerseits durch „Ze-



Das aristotelische Weltbild in einer Illustration aus dem Jahre 1524: Die Erde ist von Sphären umgeben, in denen sich die Planeten bewegen. Dahinter vermutete man göttliche Bereiche mit dem Empireum, dem Sitz des Weltenbewegers. Um die am Himmel beobachtete

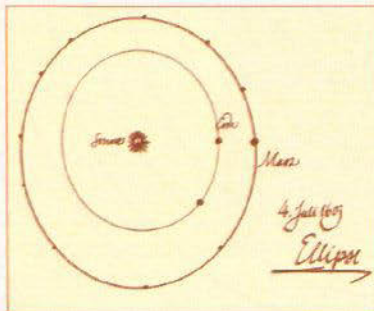
Schleifenbewegung der Planeten – wie unten rechts der Mars – zu erklären, ersann man komplizierte Systeme: Der dänische Astronom Tycho Brahe behauptete, die Erde werde von der Sonne und diese wiederum von den übrigen Planeten umrundet (unten links)

chen“ zu erkennen gab, wie etwa in Gestalt der Planetenbahnen.

Aus diversen Vorläufern entwickelte Aristoteles (384–322 v. Chr.) ein bedeutsames geozentrisches Weltmodell mit einer Mischung aus empirischer Beobachtung und gedanklicher Spekulation. Das Universum bestand demnach aus 56 hierarchisch angeordneten Sphären, die von einem „ersten Beweger“ in Gang gehalten wurden. In der zentralen Sphäre lag unser Planet, der aus vier Elementen – Feuer, Erde, Luft und Wasser – zusammengefügt und den Gesetzen von Verfall und Tod ausgesetzt war. Der Mond, die Sonne und die schon bekannten Planeten Merkur, Mars, Venus, Jupiter und Saturn bewegten sich in „idealen“, kreisrunden Bahnen um die Erde. Sie bestanden angeblich aus einem fünften Element, der so genannten „Quintessenz“, sie waren unvergänglich und vollkommen.

Der Höhepunkt der griechischen Astronomie wurde mit Claudius Ptolemäus (ca. 100–160 n. Chr.) erreicht. Ihm zufolge war die Erde – die von ihm keineswegs als Scheibe, sondern als Kugel konzipiert war – von lediglich acht Sphären umgeben: Auf den inneren umkreisten Sonne, Mond und Planeten das irdische Zentrum, auf der äußersten befanden sich Fixsterne, die ihre Lage für den irdischen Beobachter nicht oder kaum änderten.

Weil manche Planeten, wenn man ihren Lauf von der Erde aus verfolgt, scheinbar Schleifenbewegungen ausführen, musste Ptolemäus allerdings so genannte „Epizykel“ oder „Beikreise“ in sein Modell aufnehmen. Ein Epizykel ist eine Kreisbahn, deren Mittelpunkt sich auf einer anderen Kreisbahn bewegt; für einen äußeren



Zur Zeit Johannes Keplers revolutionär: Seine Skizze zeigt elliptische Bahnen von Erde und Mars. Keplers Vorgänger hatten auf Kreisbahnen bestanden: Die Ellipse (griech. *élleipsis* = Mangel) galt als unvollkommen

Beobachter scheint ein Punkt auf dem Beikreis eine torkelnde Bewegung zu vollführen. Tatsächlich wird, wie man heute weiß, der Anschein einer Schleifenbewegung dadurch erweckt, dass die Erde auf ihrer elliptischen Bahn um das Zentralgestirn sonnenferne Planeten zuweilen „überholt“ und von sonnennahen „eingeholt“ wird.

Alternative Erklärungen für den Lauf der Gestirne – einschließlich eines sonnenzentrierten Universums – waren schon den Griechen bekannt. Aber sie sträubten sich, Theorien zu vertreten, die der sinnlichen Wahrnehmung widersprachen. Für den Menschen steht die Erde still und dreht sich weder um sich selbst noch um andere Körper.

Das Erbe der mathematisch-geometrischen Astronomie lebte vor allem in der arabischen Wissenschaft weiter – Ptolemäus' astronomische Schriften waren im Orient unter dem Namen

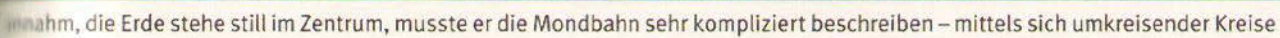
Almagest bekannt. Im Europa des Mittelalters war man derweil um eine Synthese aus christlichen Glaubenssätzen und empirischen Befunden bemüht – unter dem Primat einer theologischen Weltinterpretation, der so genannten „Spekulation“. Das Universum sei ein Spiegel (lat. *speculum*) der göttlichen Ordnung. Beliebte vor allem das Weltmodell des Aris-

toteles, galt bei ihm die Bewegung der Gestirne doch faktisch als Gottesbeweis: Weil der Philosoph angenommen hatte, der „natürliche“ Zustand aller Dinge sei die Ruhe, musste logischerweise der „erste Beweger“ alles in Gang gesetzt haben.

Auch der vielfach als Vater des modernen Weltbilds gefeierte Nikolaus Kopernikus (1473–1543) setzte die Sonne primär aus mystisch-spekulativen Überlegungen ins Zentrum des Alls. Selbst der Klerus war zu jener Zeit



Weil Ptolemäus in seinem hier dargestellten Modell



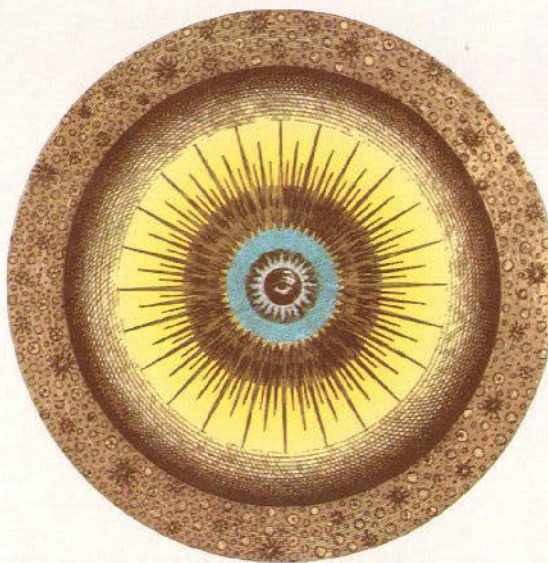
dem heliozentrischen Weltbild nicht abgeneigt – hatte doch der berühmte Scholastiker Thomas von Aquin (ca. 1225–1274) ein dazu passendes „theozentrisches“ Weltbild verfochten, das „alles im Lichte Gottes“ betrachtete. Daher wurde der als Domherr tätige Kopernikus in seinen Forschungen zunächst sogar von der Kirche unterstützt – vor allem, weil seine Theorie, die auch von einer Drehung der Erde ausging, die für den Zeitgeschmack unästhetischen Schleifenbewegungen einiger Planeten beseitigen konnte.

Zum Leidwesen seiner Förderer waren Kopernikus' Berechnungen zum Teil genauso aufwendig und kompliziert wie die von Ptolemäus entwickelten; und auch er konnte nicht gänzlich auf Beikreise verzichten, weil er auf Kreisbahnen bestand. Erst einige Jahrzehnte später gelang es Johannes Kepler (1571–1630), ein heliozentrisches System mit elliptischen Planetenbahnen zu entwickeln. Die neue Theorie fußte auf den noch ohne Teleskop gemachten Beobachtungen von Tycho Brahe (1546–1601). Die mathematische Einfachheit des Modells in Verbindung mit der Genauigkeit der Vorhersagen machte das Modell, das Kepler „*Harmonices mundi*“ (Weltharmonik) nannte, auch ästhetisch attraktiv.

Zum echten Durchbruch des Keplerschen Modells kam es indes erst durch Isaac Newton (1643–1727): Der englische Philosoph und Mathematiker beschränkte sich nicht auf die Beschreibung der Planetenbahnen, sondern hatte eine Erklärung gefunden, die zudem in ihrer Schlichtheit beispiellos war. Aus seinem Gravitationsgesetz folgte wie beiläufig, dass Planeten sich auf elliptischen Bahnen bewegen müssen – im Widerstreit zwischen Anziehungs- und Fliehkraft.

Durch Newton wuchs das Vertrauen in eine rationale, der Vernunft zugängliche Erklärung des Universums. Das Weltall erschien zur Zeit der Aufklä-

rung als gigantische, von einem himmlischen Ingenieur in Gang gesetzte Maschine. Aufgabe und Ehrendienst der Wissenschaftler war es, der göttlichen Vernunft – also den „Naturgesetzen“ – auf die Spur zu kommen. Zuweilen – im Gefolge der pantheistischen Weltsicht des Philosophen Baruch de Spinoza (1632–1677) – wurden sogar die scheinbar unumstößlichen Naturgesetze selbst als Gottheit erachtet. Andere Zeitgenossen begannen dagegen, am Göttlichen zu zweifeln: Als rein physikalisches Phänomen erschien ihnen der vorhersehbare und unabänderliche Lauf der Sterne.



Der englische Gelehrte Thomas Wright of Durham postulierte in seiner »neuen Hypothese des Universums« von 1750, Erde und Sonne seien Teil einer ringförmigen Sternenschicht – der Milchstraße. Im Zentrum des Universums siedelte er ein göttliches Wesen an

Tatsächlich stellten Wissenschaftler in der Folgezeit eine Vielzahl zutreffender Prognosen auf, die sich allein aus der naturwissenschaftlichen Theorie der „Himmelsmechanik“ ableiten ließen. So hatten etwa Unregelmäßigkeiten in der Bahn des Uranus die Astronomen John C. Leverrier und Urbain J. J. Adams auf einen weiteren Himmelskörper in dessen Kraftfeld schließen lassen; der entsprechende Planet, Neptun, wurde 1846 durch die Berliner Sternwarte nachgewie-

sen. Das Universum, so schien es, war durchschaubar.

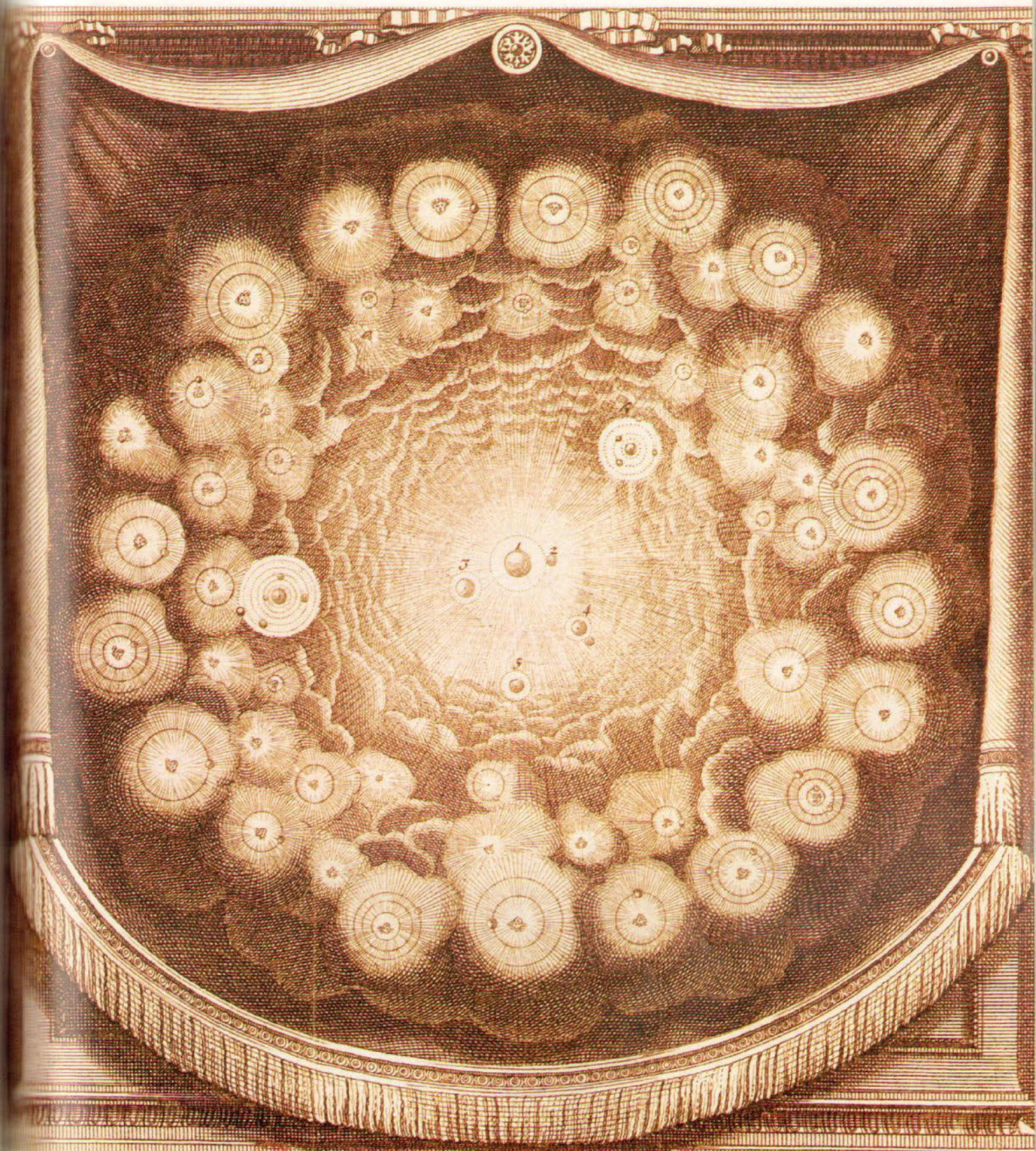
Schon kurz vor Newtons Erkenntnissen hatte die Astronomie neue Mittel der empirischen Untersuchung entwickelt. Galileo Galilei fand mit seinem Nachbau eines holländischen Fernrohrs 1610 eindeutige Hinweise, die gegen das Ptolemäische Modell sprachen. Wie etwa die Entdeckung der Jupitermonde, die ihren Planeten und nicht die Erde umkreisten.

Doch was heute als selbstverständlicher Beweis akzeptiert würde, war damals unerhört: Mit dem Blick durch das Teleskop sahen sich Menschen erstmals vor die Frage gestellt, ob weltliche Dinge existieren konnten, die nicht mit den natürlichen Sinnen, sondern lediglich mit Hilfsmitteln zu erkennen waren.

Als wenn das nicht genug der Verunsicherung bedeutet hätte: Galilei behauptete, dass sich die Erde bewegt – obwohl niemand etwas davon bemerkte. Fühlen, so Galilei, würde man die Bewegung der Erde nur, wenn der Planet seine Drehung beschleunigen oder abbremsten würde. Für seine These von der Erddrehung hatte Galilei allerdings keinen schlüssigen Beweis zu bieten – ebenso wenig für seine Überzeugung, die Sonne sei der Mittelpunkt des Planetensystems.

Mit modernen Instrumenten ist der Nachweis vergleichsweise einfach. Messergebnisse von Raumsonden zeigen, wie die sich drehende Erde um die Sonne läuft. Mittels Simulation auf dem Computer lassen sich astronomische Hypothesen präzise mit den beobachtbaren Fakten abgleichen und sogar Bedingungen berechnen, die weit vor unserer Zeit im Universum gegolten haben mögen.

Immer bessere Fernrohre blicken tiefer und tiefer ins All: Allein das Hubble-Weltraumteleskop ließ den sichtbaren Raum um 40 Milliarden Galaxien anwachsen. Dessen Namensgeber Edwin Hubble hatte rund 70



Darstellung eines Viele-Welten-Modells aus dem 17. Jahrhundert, wonach das All voller Sonnensysteme ist. Im Zentrum: unsere Sonne



Auf dem Kupferstich aus dem Jahre 1661 sind die Sternbilder des nördlichen Himmels verzeichnet. Für viele Menschen haben sie bis heute auch eine



schicksalhafte Bedeutung

Jahre zuvor mit dem Spiegelteleskop auf Mount Wilson und einer neuartigen Distanzmessung den jahrhundertelangen Disput beendet, ob das Universum größer sei als die Milchstraße; der Andromeda-Nebel wurde erstmals als eigene spiralförmige Galaxie erkannt, Millionen von Lichtjahren entfernt.

Per Spektralanalyse ließ sich erkennen, dass die Himmelskörper aus den gleichen Materialien bestehen wie die Erde. Nichts ist mehr übrig von der Vorstellung des Mittelalters, mit wachsender Entfernung von der Erde näherte man sich einem völlig andersartigen himmlischen Ort, zu dem die Seelen der Toten strebten. Im physikalischen Universum hat das Metaphysische keinen Platz, und in jedem Winkel des Weltalls, so die Überzeugung der Physiker, gelten die gleichen Gesetze wie auf der Erde.

Auf dem Weg zum heutigen Verständnis mussten sich die Forscher allerdings auch vom Newtonschen Weltbild verabschieden – nicht zuletzt wegen scheinbar abstruser Fragen, welche die Theorie des englischen Gelehrten nicht befriedigend beantworten konnte: Warum fallen uns die Sterne nicht auf den Kopf? Und warum ist der Nachthimmel dunkel?

Newton war bewusst, dass es etwas geben müsse, das den Einsturz des Weltalls verhindert. Seine Erklärung waren gleichförmig verteilte Sterne in einem Universum ohne Mittelpunkt, das sich unendlich in Raum und Zeit erstreckt. Doch ein solches Universum würde unendlich viele Sterne enthalten, und somit müsste Tag und Nacht jeder Punkt des Himmels strahlend hell erleuchtet sein.

Eine zufrieden stellende Antwort darauf gibt erst das derzeitige Bild vom Universum (siehe auch Seite 50): Seit dem Urknall treibt eine gigantische Expansionsbewegung des Universums die Sterne auseinander und steht dem Kollaps entgegen. Licht erreicht uns nur von einer endlichen Zahl von Sternen, die außerdem nur eine begrenzte Lebensdauer haben, sodass es nachts dunkel ist.

Einsteins Relativitätstheorie, eine der Säulen dieser modernen Kosmologie, ist allerdings im Grunde nur noch mathematisch verständlich und eine Zumutung für die Anschauung. Nichts in unserer alltäglichen Erfahrung spricht dafür, dass Uhren in der Gegenwart großer Massen langsamer gehen oder ein Raumfahrer nach seiner Rückkehr aus dem All weniger gealtert sein wird als seine Kollegen, die auf der Erde geblieben sind.

Und die Quantentheorie, eine zweite Säule der heutigen Kosmologie, widerspricht selbst dem klassischen Physikverständnis. Denn im Bereich der Atome sind die logischen Beziehungen von Ursache und Wirkung nur nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit gültig und machen eine Vorhersage aller Erscheinungen im Universum prinzipiell unmöglich.

Dass wir beide Theorien trotzdem für so wahr halten wie etwa die Newtonsche Gleichung „Kraft gleich Masse mal Beschleunigung“, fußt darauf, dass auch die modernen Theorien der Physiker auf den antiken Regeln mathematisch-logischer Erkenntnisse basieren, die anhand simpler Dreiecke gewonnen wurden, von einem Denker einst in den Sand gemalt.

Wir vertrauen also darauf, dass die aufgrund unserer Alltagserfahrung gewonnenen Regeln der Logik uns auch nicht bei der Beschreibung dessen im Stich lassen, was sich dieser Alltagserfahrung entzieht. Wir können uns von dieser Logik nicht lösen – so wenig wie wir uns außerhalb des Weltalls begeben können, um zu überprüfen, ob das Bild, das sich Wissenschaftler von ihm machen, der Realität entspricht.

Für das, was er über das Universum erfahren kann, ist der Mensch samt seinem einzigartigen Denkapparat noch immer das Maß aller Dinge – ganz so, wie es schon der antike Sophist Protagoras sah. □



GEO-Redakteur Dr. Jürgen Broschart, 46, findet es schade, dass ein Stadtmensch von heute kaum noch Sterne sehen kann. Um dem Himmel näher zu sein, fährt er regelmäßig in die österreichischen Berge. Unvergesslich ist für ihn der Anblick der Sterne, der sich ihm auf einer Südseereise bot.

IST DA DRAUSSEN

VON KARSTEN LEMM

Doch, es gibt kleine grüne Männchen. Eines sitzt im Büro von Jill Tarter, der führenden Forscherin in Sachen „Seti“, der Suche nach außerirdischer Intelligenz. Das Wesen grinst freundlich, ist etwa 50 Zentimeter groß, Kermit-grün, ein ausgesprochen ruhiger Zeitgenosse, leider aber nur aus Plüsch. „Kleine grüne Männchen – so einfach macht es sich die Natur nicht“, sagt Tarter. Sie mag nicht spekulieren, wie Außerirdische aussehen könnten; Seti-Forscher plagen sich ohnehin mit dem verbreiteten Missverständnis, ihre Arbeit habe etwas mit Ufos zu tun. Aber einen Scherz kann Tarter sich nicht verkneifen: „Große blaue Frauen wären doch auch ganz nett“, sagt sie und lächelt dazu. „Und wenn die Außerirdischen Glück haben, besitzen sie drei Arme. Einen Extra-Arm kann man schließlich immer brauchen.“

Tarter könnte jetzt zum Beispiel E-Mails schreiben, während sie einen chinesischen Nudelsalat isst und nebenbei telefoniert. Es sind hektische Tage für die Direktorin am Seti-Institut in Mountain View, Kalifornien, eine knappe Autostunde südlich von San Francisco. Denn die Suche nach Lebenszeichen im All steht vor einem neuen Aufbruch.

Bisher fliegen Tarter und ihre Kollegen zweimal im Jahr für drei Wochen nach Arecibo in Puerto Rico. Dort steht das größte Radioteleskop der Welt. Nacht für Nacht suchen die Forscher mit der 304-Meter-Schüssel den Sternenhimmel ab, in der Hoffnung, ein Signal aufzufangen, das nicht natürlichen Ursprungs ist. „Es könnte ein kosmischer Wählton sein oder so etwas wie die Encyclopaedia Galactica“, sagt Tarter. Da sie aber nur 40 Nächte pro Jahr suchen können, haben sich die Forscher auf die 1000 nächsten Nachbarn der Sonne konzentriert – angesichts von 100 Milliarden

Sie widmet sich einer der faszinierendsten Fragen der Menschheit und kann Millionen Dollar ausgeben. Hollywood fand ihre Biografie filmreif: Jill Tarter, die nach intelligentem Leben im All sucht



**Jill Tarter ist
Direktorin am Seti-Institut
in Kalifornien**

JEMAND?

Sternen allein in der Milchstraße eine mikroskopisch kleine Auswahl.

„Uns stehen fünf Prozent der Forschungszeit am größten Teleskop der Welt zur Verfügung“, sagt Tarter. „Das ist fantastisch. Aber es sind eben nur fünf Prozent.“ Deshalb baut das Seti-Institut gemeinsam mit der Universität Berkeley ein neues Radioteleskop in Nordkalifornien. „Unsere Suche wird sich enorm beschleunigen“, schwärmt Tarter. „Wir haben zehn Jahre gebraucht, um 1000 Sterne zu untersuchen. Im nächsten Jahrzehnt können wir eine Million Sterne untersuchen!“

Sie hat auf den ersten Blick wenig von einer Managerin: eine elegante, unauffällige Dame mit sanfter Stimme, freundlichem Blick und silbergrauen, kurz geschnittenen Haaren. Ihrem Mann, dem Astrophysiker Jack Welch, schneidert sie in der Freizeit Hemden. Tarters 35-jährige Tochter Shana hat vor kurzem ein chinesisches Baby adoptiert, und die stolze Großmutter präsentiert die Familienbilder auf dem Aktenschrank.

Besucher führt die 60-Jährige aber zunächst zu ihrem Computer, um mit beinahe kindlicher Begeisterung den Aufbau des neuen Teleskops zu erläutern: „Da, da und da – diese drei stehen schon“, sagt sie und fährt mit dem Zeigefinger über eine Computergrafik des „Allen Telescope Array“. Jedes Symbol steht für ein Teleskop von sechs Meter Durchmesser. Schaltet man aber Hunderte dieser Schlüsselchen per Computer zusammen, ergibt sich daraus vergleichsweise kostengünstig eine gigantische interstellare Horchanlage. Die über zwölf Millionen Dollar, die Microsoft-Mitgründer Paul Allen und sein Kollege Nathan Myhrvold gespendet haben, reichen erst einmal für die ersten Teleskope. „Bis 2007 haben wir dann hoffentlich 350“, sagt Tarter.

Sie ist einfach eine unverbesserliche Optimistin. In der Rezession Geldge-

ber für ein solches Projekt zu finden, sei „furchtbar schwierig“ gewesen. Aber Rückschläge halten sie nicht auf. „Das Seti-Programm hat schwere Zeiten hinter sich“, sagt Harvard-Professor Paul Horowitz, der Tarter seit über 20 Jahren kennt, „und Jill hat gekämpft wie kaum jemand sonst.“ Zum Beispiel 1993, als der US-Kongress der Nasa nach nur einem Jahr die Mittel für die Suche nach Außerirdischen strich. Tarter wechselte aus Protest von der staatlichen Weltraumagentur zum privaten, von ihr mitgegründeten Seti-Institut, das sich aus Spenden finanziert. Ihr Programm, aus der Asche der Nasa-Forschung auferstanden, nannte sie „Project Phoenix“.

Die Suche nach außerirdischem Leben ist eine Aufgabe für Menschen mit Engelsgeduld: Seit 1961, dem ersten Lauschangriff auf die Galaxis, konnten Seti-Forscher lediglich blinden Alarm vermelden. Häufig waren es Fernsehsender, Satellitenkommunikation, Mobilfunk und sogar Mikrowellenherde, die einen Störnebel aus Funkwellen erzeugten. Besserung erhofft Tarter sich von einer neuen Software, die die Zeichen irdischer Intelligenz ausblenden soll.

Und überhaupt, sagt Tarter, sei der Begriff „Seti“ missverständlich, weil er für die Suche nach extraterrestrischer Intelligenz stehe: „Tatsächlich suchen wir nach Zeichen von Technologie. Intelligente Delfine, die auf Wasserplaneten leben, könnten wir gar nicht finden.“ Anders als viele ihrer Kollegen mag Tarter nicht darauf wetten, dass intelligentes Leben noch anderswo im All existiert. „Ich denke, die Frage ist völlig offen“, sagt sie. „Aber wenn wir nie anfangen zu suchen, bleibt die Chance, etwas zu finden, gleich null.“

**»Große
blaue Frauen
wären doch auch
ganz nett«**

Als Kind war Tarters Glaube an E.T. stärker ausgeprägt, besonders wenn sie abends mit ihrem Vater am Strand spazieren ging. „Alles war dunkel“, erinnert sie sich, „und ich habe mir einfach vorgestellt, dass irgendwo da oben ein anderes Mädchen mit seinem Papa einen Strand entlanglief.“ Der Vater starb, als sie zwölf Jahre alt war. Tarter beschloss, Ingenieurin zu werden. Ihr Vater, der sich immer einen Jungen gewünscht hatte, sollte stolz auf sie sein. Sie war die einzige Frau unter 300 Studenten, boxte sich durch und begeis-

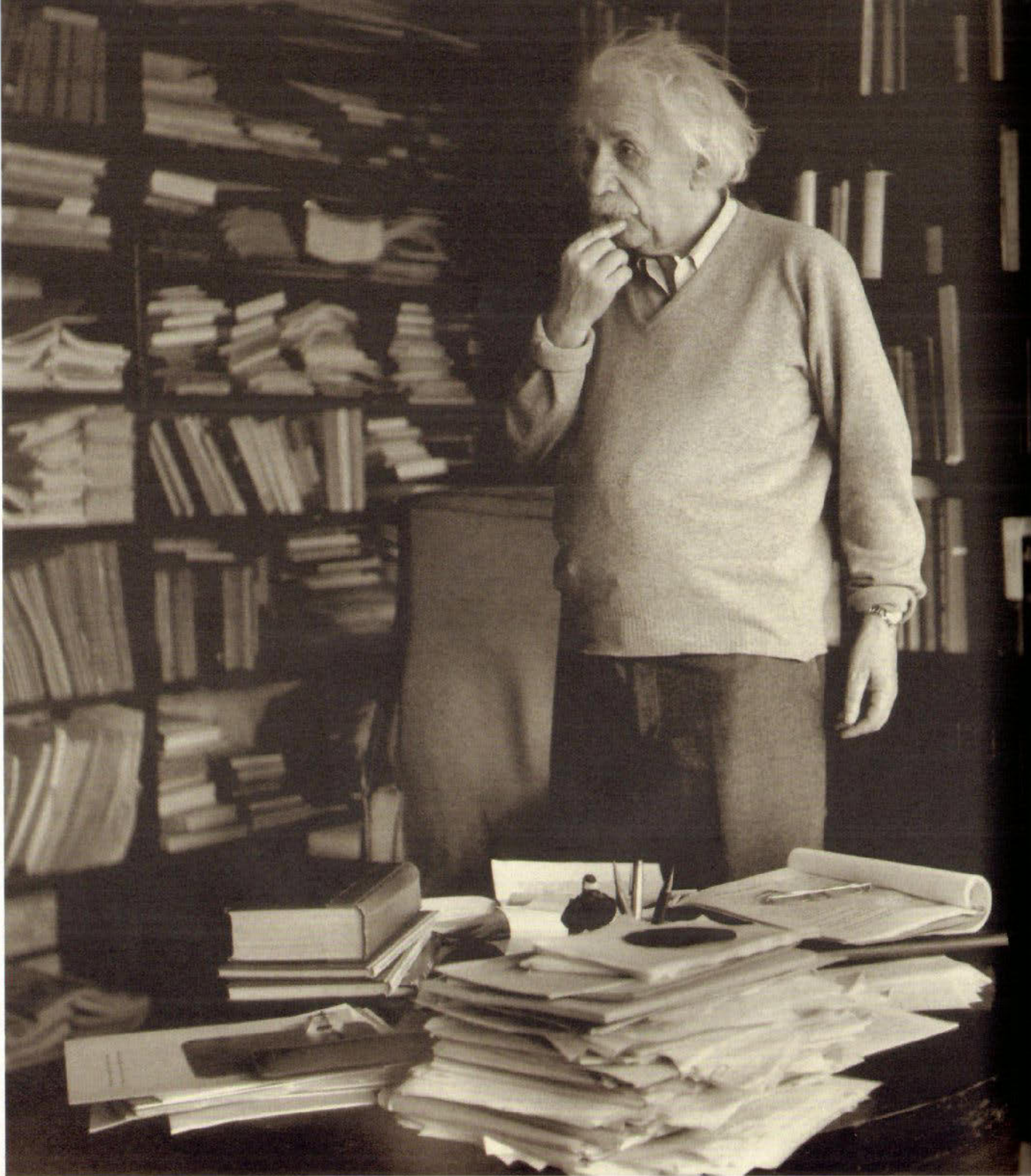
terte sich schließlich für Radioteleskope. Nach der Promotion in Astronomie machte sich Tarter 1975 in der Fachwelt einen Namen, als sie den Begriff „Brauner Zwerg“ prägte – für schwach leuch-

tende Sterne, die viel kleiner sind als unsere Sonne.

Es ist eine Biografie wie aus dem Drehbuch, und tatsächlich schaute 1997 Hollywood vorbei: Die Figur der jungen Astronomin Ellie Arroway in „Contact“ trägt unverkennbar Tarters Züge. Gespielt wurde Arroway von Jodie Foster, die sich beim Seti-Institut Rat holte. Der Star und die Sternenforscherin blieben in Kontakt: Foster hat vor kurzem die Einführung zu einer Lehrfilm-DVD gesprochen, die das Seti-Institut an Schulen verkaufen will, „damit sich die Schüler für mehr interessieren als nur für die Frage: Was gibt es heute Abend zu essen?“, erklärt Tarter.

Inzwischen hat sich auch ihre Tochter mit der Arbeit der Mutter angefreundet. Früher antwortete sie auf die Frage „Was macht denn deine Mama?“ meistens ziemlich gelangweilt: „Die sucht nach kleinen grünen Männchen.“ □

»Man muss die Welt nicht verstehen. Man muss sich nur in ihr zurechtfinden.«
Albert Einstein (1879–1955)
im Januar 1951 in seinem
Arbeitszimmer in Princeton,
New Jersey





Auf der Jagd nach der Weltformel

Forscher träumen seit jeher davon, sämtliche physikalischen Phänomene mit einem einzigen, fundamentalen Naturgesetz erklären zu können. Schon viele Denker sind daran gescheitert, selbst Einstein. Seit einigen Jahren gilt die Stringtheorie als vielversprechender Ansatz

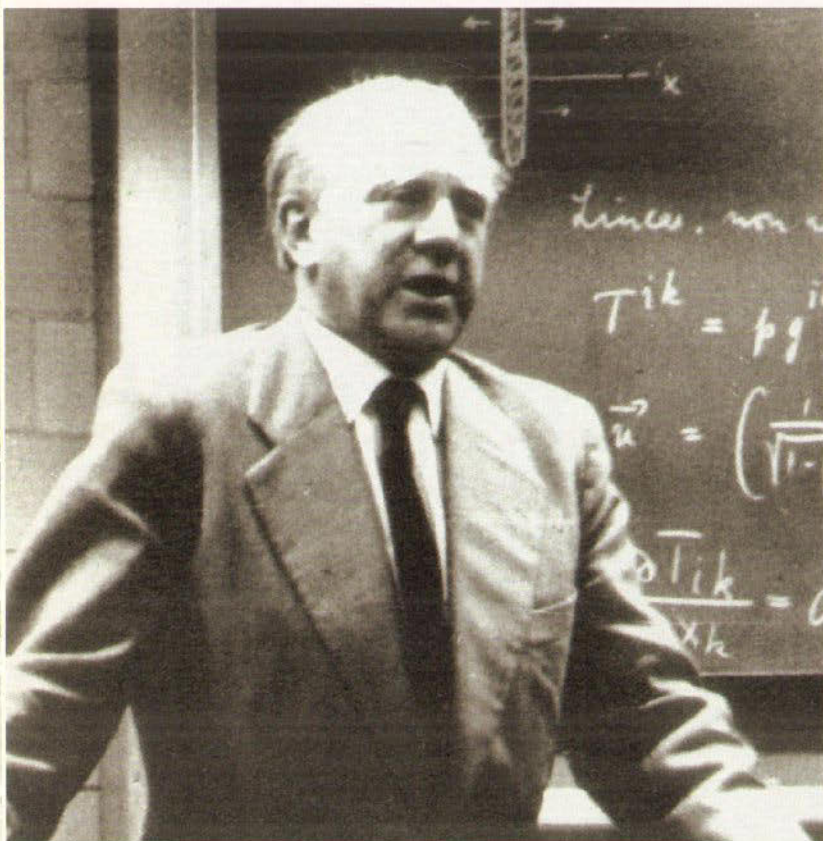
VON ULF VON RAUCHHAUPT

Das beschauliche Städtchen Princeton, 80 Kilometer südwestlich von New York, war Schauplatz einer stillen intellektuellen Tragödie. 1955 starb dort Albert Einstein, hoch geehrt zwar, aber gescheitert an einem Theoriegebäude, an dem er 35 Jahre immer wieder gearbeitet hatte. Der Mann, dem in jungen Jahren mit der Relativitätstheorie eine der bedeutendsten wissenschaftlichen Einzelleistungen aller Zeiten gelungen war, hatte sich danach gründlich verrannt.

Einstein hatte versucht, was bislang niemandem geglückt ist: die physikalische Welt mit einem einzigen, fundamentalen Naturgesetz zu beschreiben. Doch schon zu seinen Lebzeiten war das Scheitern absehbar. Als vereinigungsbedürftig erschienen ihm allein die Gravitation und der Elektromagnetismus, also die Lehre von Licht, Elektrizität und Magnetfeldern. Der

Quantenmechanik, deren Gesetze die Welt der Atome und Moleküle regieren, und speziell ihrer Deutung gegenüber blieb Einstein immer skeptisch.

Nicht viel besser erging es einige Zeit später auch Werner Heisenberg, in den 1920er Jahren Mitbegründer der Quantentheorie. Nun, Ende der 1950er Jahre, präsentierte der Physiker eine erweiterte Quantentheorie, die den gesamten Mikrokosmos mit allen bekannten Elementarteilchen beschreiben sollte. Die mathematische Gleichung der Theorie machte 1958 als „Weltformel“ Schlagzeilen, obwohl sie gar nicht dazu bestimmt war, die gesamte physikalische Welt einschließlich der Gravitation zu beschreiben. Später dann versuchte Heisenberg, die Gleichung zu einer echten Weltformel zu erweitern, scheiterte aber wie viele andere Forscher auch: Ihre Gleichungen ließen sich nicht anwenden, ohne



Werner Heisenberg während eines Vortrags Mitte der 1950er Jahre

**»Es sind die gleichen
ordnenden Kräfte, die die Natur in all ihren
Formen gebildet haben«**

Werner Heisenberg (1901–1976), Mitbegründer der Quantentheorie

dass die Nenner bestimmter Brüche zu null wurden – ein untrügliches Zeichen dafür, dass etwas nicht stimmen konnte.

Die Begriffe „Weltformel“ oder „Theory for Everything“ (Theorie für alles) hören Physiker heute gar nicht mehr gern. Ihnen geht es nicht darum, sämtliche Vorgänge auf der Welt zu erklären. Mit der „Grand Unified Theory“ (Große Vereinigte Theorie), wie sie ihr Ziel lieber nennen, wird sich nie das Wetter vorhersagen oder das Gefühlsleben eines Verliebten nachvollziehen lassen. Was die Forscher suchen, ist dennoch höchst anspruchsvoll: ein einheitliches Formelwerk, mit dem sich alle grundlegenden physikalischen Phänomene beschreiben lassen – weshalb ein Apfel vom Baum immer auf den Boden fällt, wie sich Licht im Was-

ser bricht, wie ein Uran-Atom zerfällt oder die ersten chemischen Elemente nach dem Urknall entstanden sind.

Dieses Ansinnen ist keinesfalls ein Symptom faustischer Allüren technikstolzer Forscher, sondern uralt – im Grunde so alt wie die Wissenschaft selbst. Schon im 7. Jahrhundert vor Christus spekulierten griechische Philosophen darüber, ob nicht alle Dinge der Natur Erscheinungsformen ein und desselben sind: Thales von Milet vermutete das Wasser hinter allem, Anaximenes die Luft, Empedokles wie später Aristoteles die vier Elemente Feuer, Wasser, Erde und Luft. Pythagoras und schließlich Platon glaubten, den modernen Physikern nicht unähnlich, dass das, was die Welt im Innersten zusammenhält, mathematischer Natur sein müsse.

Auch heute noch ist die Suche nach der Vereinigten Theorie für viele Physiker ein im Grunde philosophisches Unterfangen: Sie möchten herausfinden, warum die physikalische Welt so ist, wie sie ist. Die Forscher suchen nach Antworten auf Fragen wie: Warum legt das Licht ausgerechnet knapp 300 000 Kilometer pro Sekunde zurück und nicht 100 000 oder eine Million? Oder: Warum ist die elektromagnetische Kraft – die für den Zusammenhalt der Materie sorgt – viel stärker als die Gravitation, sodass ein dünnes Brett einen Bauarbeiter gegen die Schwerkraft der ganzen Erde auf dem Gerüst zu halten vermag? Und schließlich: Wo stoßen solche Fragen an prinzipielle Grenzen?

Dass diese Grenzen schon heute erreicht sein könnten, mag kaum ein Physiker glauben. Dazu war die Suche nach einheitlichen Beschreibungen verschiedener Naturphänomene viel zu oft erfolgreich. So entdeckte etwa Isaac Newton im 17. Jahrhundert, dass jene Kraft, die einen Apfel vom Baum zu Boden fallen lässt, dieselbe ist wie jene, die den Mond an die Erde kettet.

Zwei Jahrhunderte später gelang es James Clerk Maxwell, zwei bis dahin als getrennt angesehene Phänomene in einem zusammenhängenden Satz mathematischer Formeln zu beschreiben: die Elektrizität und den Magnetismus. Maxwell erkannte sie als zwei Seiten ein und desselben physikalischen Phänomens, des Elektromagnetismus: Ein bewegtes Magnetfeld erzeugt ein elektrisches Feld und lässt auf diese Weise Strom durch Spulen flie-

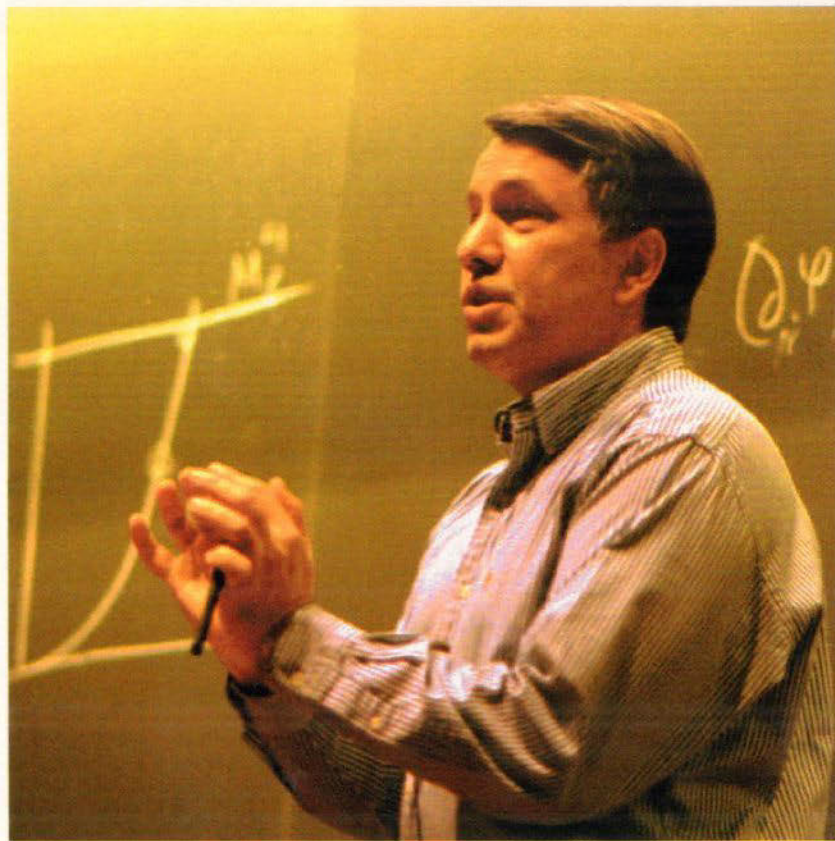
ßen – darauf beruht die Lichtmaschine im Auto. Strom erzeugt wiederum ein Magnetfeld und kann somit eine Achse drehen – das Prinzip des Elektromotors.

In den frühen 1970er Jahren nahm schließlich eine „Theorie für fast alles“ Gestalt an, die inzwischen ein fester Bestandteil der modernen Physik ist: das Standardmodell der Elementarteilchen. Demnach verbirgt sich hinter der Vielgestaltigkeit der Materie lediglich eine sehr überschaubare Anzahl von unterschiedlichen Teilchen, von denen einige erst vor wenigen Jahren nachgewiesen wurden: das Elektron, das Myon, das Tauon, drei Neutrinos und sechs Quarks, aus denen sich unter anderem die Atomkerne aufbauen. Hinzu kommen drei Sorten so genannter Bosonen.

Bis auf die Gravitation entstehen die übrigen fundamentalen Kräfte – die elektromagnetische Kraft, die starke und die schwache Kernkraft – dadurch, dass Materieteilchen Bosonen miteinander austauschen. Das Kohlenstoffisotop C-14 beispielsweise zerfällt – infolge der schwachen Kernkraft –, indem Bosonen hin und wieder ein Kohlenstoff-Neutron dazu nötigen, sich in ein Proton zu verwandeln. Die als Gluonen (vom englischen „glue“ = Klebstoff) bezeichneten Bosonen wiederum vermitteln die starke Kernkraft, welche die Atomkerne zusammenhält. Licht besteht ebenfalls aus einer speziellen Sorte von Bosonen – und genau die sind es auch, die bei elektromagnetischen Vorgängen, etwa in Elektromotoren, ausgetauscht werden.

Das Standardmodell ist außerordentlich erfolgreich. Bislang gibt es keinen einzigen gesicherten experimentellen Befund, der ihm widerspricht. Und alle Teilchen, die es vorhergesagt hat, wurden gefunden – zuletzt im Jahre 2000 das Tau-Neutrino. Nur das so genannte Higgs-Boson steht noch aus; seine Existenz würde verständlich machen, weshalb Elementarteilchen überhaupt unterschiedliche Massen haben. Mit dem neuen Teilchenbeschleuniger des Europäischen Hochenergiephysiklabors Cern bei Genf, der ab 2006 in Betrieb gehen soll, wollen die Physiker diesem Boson auf die Spur kommen.

Dennoch kann auch das Standardmodell nicht zur Weltformel führen. Es krankt an zwei Dingen: Zum einen kommt die vierte fundamentale Kraft, die Gravitation, darin nicht vor. Aber die Physiker



Andrej Linde erklärt im Forschungszentrum Cern in Genf die Inflationstheorie

»Auf lange Sicht wird das Universum nicht nur aus vier Dimensionen bestehen – es wird zehn Dimensionen verlangen«

Andrej Linde, Stanford University, Kalifornien

sind sicher, dass es Vorgänge in der Natur gibt, die nur von einer Theorie beschrieben werden können, die das Standardmodell und die Gravitationstheorie vereinigt. Solche Vorgänge zeigen sich vermutlich aber erst bei derart gewaltigen Temperaturen, die experimentell nicht erzeugt werden können – und die seit dem Urknall wohl nur an so exotischen Orten wie Schwarzen Löchern und dem Inneren von Neutronensternen entstehen. Zum anderen gibt es Beobachtungen, die allein mit dem Standardmodell nicht zu verstehen sind. Dazu gehört zum Beispiel der Befund, dass sich das Universum immer schneller ausdehnt, anstatt seine Expansion durch die eigene Gravitation abzu-bremsen. Die Kosmologen machen eine geheimnisvolle „Dunkle Energie“ dafür verantwortlich.



Edward Witten präsentiert bei Vorträgen mitunter simple Zeichnungen

»Die Stringtheorie ist ein Teil der Physik der Zukunft, die durch Zufall in der Gegenwart gelandet ist«

Edward Witten, Institute for Advanced Studies, Princeton, New Jersey



Derartige Erscheinungen, welche die Existenz noch unentdeckter Naturgesetze nahe legen, gibt es häufiger. Daher suchen die Nachfolger Einsteins und Heisenbergs weiter nach einer „Physik jenseits des Standardmodells“. Als aussichtsreichster Ansatz gilt derzeit die so genannte Stringtheorie. Ihr einflussreichster Vertreter, der amerikanische Physiker Edward Witten, forscht am Institute for Advanced Studies in Princeton, Einsteins letztem Arbeitsplatz.

Wie das Standardmodell, so ist auch die Stringtheorie im Grunde eine Quantentheorie – allerdings eine, in der die Vorstellung von der Punktförmigkeit der Quantenteilchen aufgegeben wurde. Stattdessen nehmen die Stringtheoretiker an, dass es sich bei den Elementarteilchen des Standard-

modells um winzige Fäden (englisch: *strings*) handelt, die mit unterschiedlicher Frequenz schwingen, ähnlich wie eine Gitarrensaite verschiedene Töne erzeugen kann.

Jedoch lassen sich die Strings nur dann mathematisch stimmig beschreiben, wenn sie in einer – der menschlichen Vorstellungskraft entzogenen – mindestens zehndimensionalen Raumzeit schwingen. Dass wir unsere vertraute Welt nur in vier Dimensionen, den drei räumlichen und der Zeit, wahrnehmen, erklärt man damit, dass die übrigen Dimensionen gewissermaßen „eingerollt“ sind. Für einen Beobachter verschwinden sie ähnlich wie der räumlich wahrnehmbare Durchmesser eines Gartenschlauches, der – aus der Entfernung betrachtet – als Linie erscheint.

Mit der String-Idee ist es tatsächlich möglich geworden, die Gravitation mit der Quantentheorie mathematisch so zu vereinen, dass in den Berechnungen keine Brüche auftauchen, deren Nenner null werden. Dafür gibt es andere Probleme: Wäre die Stringtheorie die Weltformel, müssten sich auch die Raumzeit und ihre Gesetze, also die Relativitätstheorie, aus ihr ableiten lassen – das ist aber nicht der Fall. Raumzeit und Strings widersprechen sich mathematisch zwar nicht, existieren aber unverbunden nebeneinander her. Für Edward Witten ist dies das größte Hemmnis auf dem Weg zur Weltformel.

Hinzu kommt, dass sich die Stringtheoretiker bei der Entwicklung ihrer Ideen nur an der mathematischen Stimmigkeit orientieren können. Beobachtungen oder Experimente zur Stringtheorie gibt es nicht und kann es derzeit nicht einmal geben. Strings müssten der Theorie zufolge viel winziger sein als alles, was sich mit heutiger Technik beobachten lässt: Ein Faden wäre im Verhältnis zu einem Staubkorn so klein wie ein Staubkorn im Verhältnis zum sichtbaren Universum. Ein Teilchenbeschleuniger, mit dem sich die Stringnatur der Materie nachweisen ließe, müsste die Ausmaße einer Galaxie haben.

Ob sich die Natur nach der Stringtheorie richtet oder nicht, lässt sich daher allenfalls anhand von Indizien ergründen. Bis vor kurzem war es jedoch nicht einmal möglich, eine Stringtheorie zu konstruieren, die mit unserem von Dunkler Energie fortlaufend aufgeblähten Weltall vereinbar wäre.



Die Teilnehmer der Konferenz »Strings 1999« in Potsdam, unter ihnen der Physiker Stephen Hawking

Dies gelang erst Anfang 2003 einer Gruppe von Theoretikern um Andrej Linde von der Stanford University. Allerdings hatten sie dafür einen philosophischen Preis zu zahlen: Ihre Lösung funktionierte nur, weil die Stringtheorie nunmehr nicht nur eine Welt, sondern Myriaden von Welten beschreibt – jede mit einer anderen Raumzeitstruktur, anderen Teilchen und Kräften.

Warum unsere reale Welt so ist, wie sie ist – also zum Beispiel dreidimensional –, bleibt damit ungeklärt. Derzeit ist die Stringtheorie nicht die „Theorie für alles“, sondern bestenfalls die „Theorie für alles Mögliche“. Nutzlos ist sie dennoch nicht; die Vereinigung aller Naturkräfte könnte sie trotzdem leisten.

Sollte es niemals zu einer Weltformel kommen, die ausschließlich unsere Welt beschreibt, bliebe philosophisch betrachtet nur noch das so genannte „anthropische Prinzip“ zu akzeptieren. Das besagt: Unsere Welt hat die Naturgesetze, die sie hat, weil die Gesetze gerade so beschaffen sind, dass sie die Existenz von Sternen, Planeten und einer Biosphäre ermöglichen – und damit auch die von Wesen, die diesen Gesetzen nachsinnen.

Ob in irgendwelchen Paralleluniversen noch andere Welten entstanden sind oder nur die unsere durch Zufall oder göttliches Wirken ins Dasein getreten ist, bliebe der wissenschaftlichen Neugier für immer verborgen.

Einstein hätte das wohl nicht gefallen. Gerade er träumte von einer Theorie, die unsere Welt nicht nur beschreibt, sondern auch ihr Dasein erklärt. Auch unter den heutigen Physikern gibt es viele, denen das anthropische Prinzip geradezu unwissenschaftlich vorkommt. Der Stringtheoretiker Brian Greene etwa fürchtet, es könne den Menschen davon abhalten, weiter zu forschen und den Fundamenten der Natur doch noch auf die Schliche zu kommen.

Andererseits: Ist ein Wissen um die Grenzen des Wissbaren nicht auch ein Wissen? Da wäre es doch gar nicht verwunderlich, wenn uns die „Theorie für alles“ am Ende auch mitteilte, was wir nie werden wissen können. □

Dr. Ulf von Rauchhaupt, 39, ist Redakteur der Frankfurter Allgemeinen Sonntagszeitung und hat Philosophie und Astrophysik studiert – unter anderem, weil er sich schon seit langem für die Debatte um die Weltformel interessiert und sie auch verstehen wollte.

Unter der Rundkuppel
im Hamburger Stadtpark
ist Platz für 253 Zuschauer.
Sobald der kugelförmige
Zeiss-Projektor Sonne,
Mond und Sterne an die
Decke wirft, richten
sich alle Augenpaare
nach oben



DER HIMMEL AUF ERDEN

Sternentheater auf höchstem Niveau präsentiert das neu eröffnete Hamburger Planetarium: Auf die Besucher warten ein Flug vom Urknall in die Gegenwart, ein einzigartig funkelnbes Firmament und das Ambiente eines alten Wasserspeichers

Sanft gleitet der Sitz in Liegeposition. Innerhalb weniger Sekunden versinkt die Sonne hinter der Silhouette von Hamburg. Es wird Nacht. Die Zeitreise beginnt mit einem Blitz vor mehr als 13 Milliarden Jahren. Der Himmel tut sich auf und offenbart eine nie zuvor erlebte Orgie aus Licht, Farben und Formen. Wir fliegen durchs Weltall.

Pulsierende Lichtbälle rasen auf uns zu, bizarre Gebilde explodieren; wir kreuzen durch Gas- und Staubwolken, trudeln im Geleitzug eines Asteroiden-Schwarms ins Nichts. Schwarze Löcher, die alles aufsaugen, was sie in den Bann ihrer Gravitation ziehen können, und Sternenhaufen bilden funkelnde Netze.

Er lebt, unser Kosmos. Was, von der Erde aus betrachtet, statisch und unerreichbar fern erscheint, wird plötzlich zur sinnlichen Begegnung. Aufregend, exotisch und fremd kommt die außerirdische Schöpfung daher.

Ein endgültiges Abdriften in psychedelische Sphären verhindert der

Reisebegleiter. In nüchtern-markantem Ton erklärt die Stimme von „Star Trek“-Captain Jean-Luc Picard, was wir erleben: Urknall und Sternengeburten, Milchstraße und Orion-Nebel, Pluto und Jupiter, Sonne, Mond und die Erde. Auf dem „blauen Planeten“ landen wir schließlich einige Milliarden Jahre später – und haben ihn doch nie verlassen.

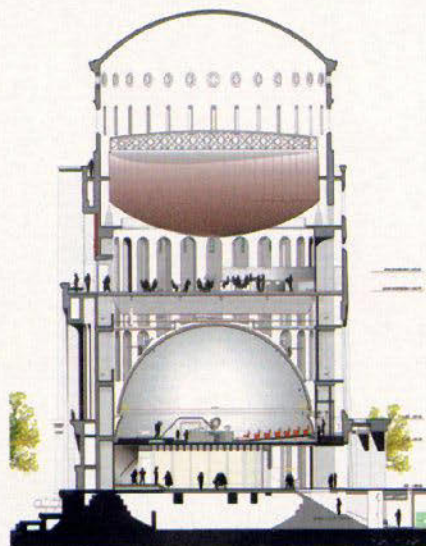
Der Flug durch den Kosmos ist fantastisches Theater, eine perfekte Illusion, erzeugt mit modernster Technik. In der Kuppel des neu eröffneten Hamburger Planetariums setzen sieben Daten-Beamer 12 Millionen Pixel zu einem Bilderstrom zusammen. 60-mal pro Sekunde verteilen die Rechner neue Sequenzen an die Beamer.

Die Technik – ein Zusammenspiel von Computern, ausgefeilter Software und hochauflösenden Projektoren – stammt aus den USA und wurde ursprünglich für Flugsimulatoren entwickelt. In Hamburg zaubert sie den Zuschauern, die unter der 180-Grad-Kuppel in Kippsesseln liegen, ein naturnahes Bild des Universums an den künstlichen Himmel.

Grundlage der Echtzeit-Simulation sind neueste Bilder und Daten verschiedener Himmelsbeobachter. Das „Hubble Space Telescope“ gehört dazu, wie auch der Satellit „Hipparcos“, der die Positionen von annähernd 100 000 Sternen präzise vermessen hat.

Wissenschaftliche Modelle über die Verteilung von Galaxien und Galaxienhaufen in Hunderten von Millionen Lichtjahren Entfernung können als dreidimensionale Animationen zum Leben erweckt werden. Das amerikanische „Space Telescope Science Institute“ aus Baltimore hat sie modelliert, und in Hamburg sind sie in dieser Form weltweit erstmals zu sehen.

„Eine solche Show ist heutzutage internationale Teamarbeit, an der Wis-



Der Längsschnitt durch das Hamburger Planetarium zeigt im oberen Bereich noch den alten Wassertank.



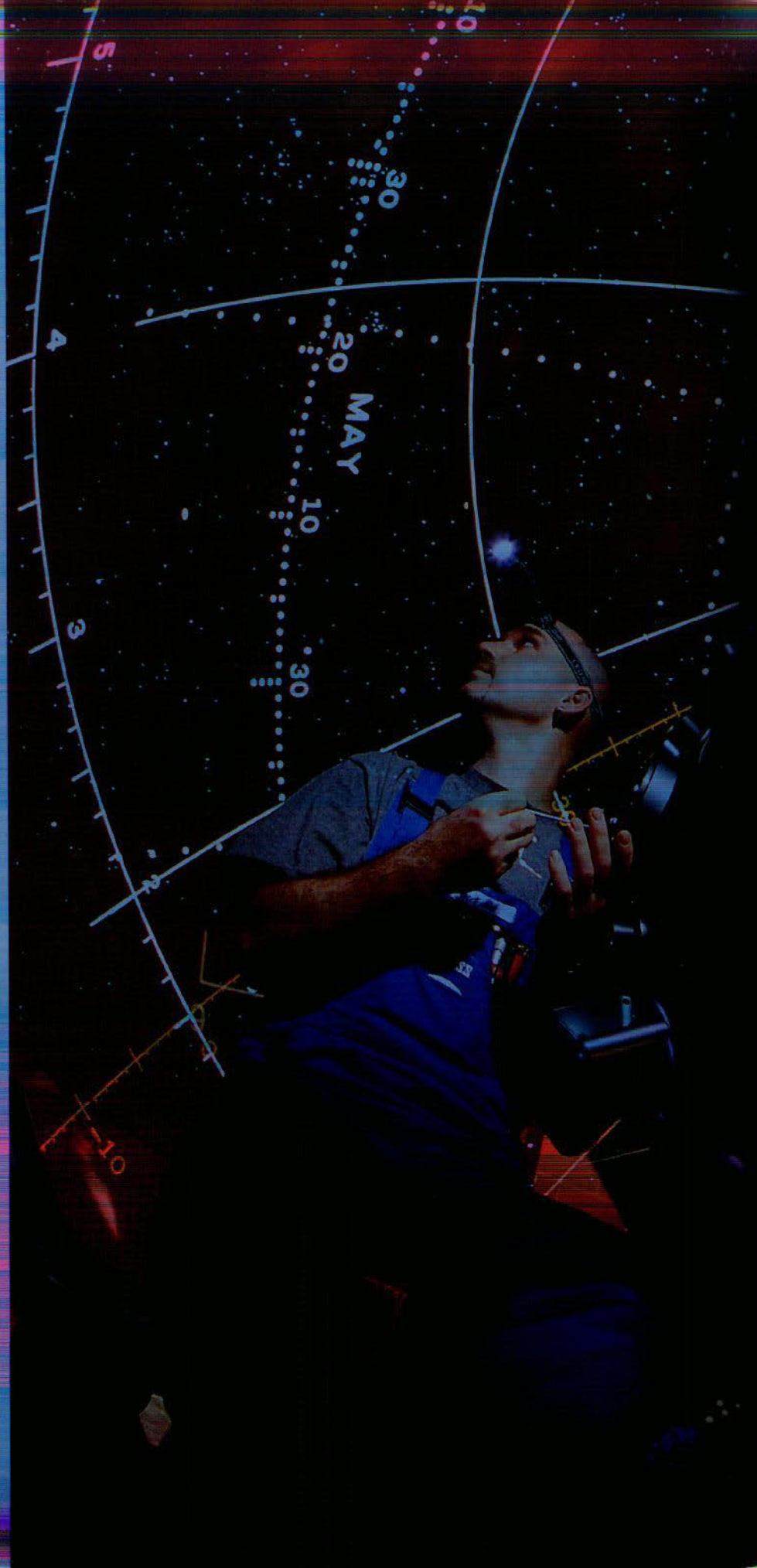
Im Foyer können sich die Besucher von Sternzeichen an der Decke inspirieren lassen oder auf Flachbildschirmen Live-Bilder aus dem Weltall verfolgen. Für die große Himmelsschau im Kuppelsaal stehen bequeme Liegesessel bereit

senschaftler, Grafikdesigner, Komponisten und Techniker beteiligt sind“, sagt Thomas Kraupe, der Direktor des Planetariums. Der Astrophysiker und Liebhaber von Science-Fiction-Romanen begeistert sich für beides gleichermaßen – die atemberaubende Show wie die akribische Wissenschaft. Kraupe gehört zu jenen Planetariums-Direktoren, die ihre Häuser mithilfe technischer Raffinessen von den Resten der alten Volksbildungsidee befreien wollen.

Als in den 1920er Jahren die ersten Kuppel-Planetarien in Deutschland gebaut wurden, sollten sie die breiten Bevölkerungsschichten astronomische Grundkenntnisse vermitteln, vor allem Kindern und Jugendlichen. Noch heute sehen viele Planetarien ihre wichtigste Aufgabe in dieser opto-mechanischen Präsentation von Himmelsbewegungen. Doch verglichen mit den perfekten Computersimulationen und -animationen auf Kinoleinwänden und heimischen Computern sahen viele Planetarien zuletzt ziemlich alt aus. Kaum noch Besucher – es musste etwas geschehen.

Mit technischer Aufrüstung wird nun gegengesteuert, Lasershow, neue Sternenspektoren und digitale Videoanimationen sollen den Besuch zu einem unvergesslichen Erlebnis machen. Gleichzeitig erweiterten viele Planetarien das Programmangebot, öffneten sich für andere Wissenschaftsdisziplinen, die etwa an der Kuppel Reisen in den menschlichen Körper visualisieren oder Bilder von Schmetterlingen im Regenwald vorführen. Einige Häuser nutzen die Räumlichkeiten auch für Kulturveranstaltungen, bei denen der Sternenhimmel manches Mal nur noch als stimmungsvolle Kulisse dient.

In Hamburg finden Tradition und Moderne zusammen: Das Planetarium ist in einem 1915 im Stadtpark errich-



Bei Carl Zeiss in Jena
werden die Universarium-
Projektoren nach Maß
und von Hand gefertigt...
und deren Objektive unter
einer Kuppel justiert







Die Sternen-Show
»Unendliche Weiten –
Vom Urknall zur Erde«
wird von einem Leit-
stand aus gesteuert. Die
Kassenhalle ist betont
nüchtern im Design. Nur
die Rundung des alten
Gebäudes bricht Geraden
und rechte Winkel

teten Wasserturm untergebracht. Innerhalb von 15 Monaten wurde es umgebaut, technisch aufgerüstet und im Oktober 2003 wieder eröffnet. Derzeit gilt es als das modernste Planetarium Deutschlands. Thomas Kraupe arbeitete zuvor als stellvertretender Chef des Stuttgarter Planetariums, war Direktor des Münchner Hauses und Berater beim Umbau des New Yorker Hayden Planetarium zum ersten digitalen Sternen-Kino der Welt. Zumindest technisch möchte der 46-Jährige selbst New York noch übertrumpfen.

Hamburg bietet wechselnde Reisefahrten durch das Universum, zu Planeten, Galaxien und Kometen. Die Vorführer können dank interaktiver Gerätesteuerung Extra-Schleifen drehen, zum Beispiel eine Stippvisite zu den drei Marssonden „Opportunity“, „Spirit“ und „Mars-Express“ organisieren, auf Wunsch eine Zwischenlandung auf dem Mond einlegen oder ein paar Minuten länger um den Jupiter kreisen. Auch neu entdeckte Planetensysteme lassen sich auf diese Weise kurzfristig in den Himmels-Trip einbauen. In jedem Fall aber endet die Reise im nächtlichen Hamburg.

Schließlich erscheint, nahtlos überblendet, was man von einem Planetarium traditionell erwartet: der Sternenhimmel, betrachtet von der Erde. Da ist alles an seinem Platz, der Mond, der Polarstern, der Große Wagen, Cassiopeia und Andromeda. In Wirklichkeit bekommen allenfalls Tuareg in der Sahara ein Panorama von derartiger Brillanz zu Gesicht, so klar und funkelnd.

„Universarium Modell IX“ heißt der Planetariumsprojektor mit seinen nahezu 130 Einzelprojektoren, davon 32 ausgerüstet mit Glasfaseroptik. Hinzu kommen acht separate Geräte für die Sonne, den Mond und die wichtigsten Planeten. Mehr als 9000 Sterne kann das Universarium an die Kuppel projizieren, 99 Prozent von ihnen so klein,

dass man sie, wie in der Natur, mit bloßem Auge nur als Punkt wahrnehmen kann. In der Gesamtschau erscheinen sie als Sternenhaufen und feinkonturierte Milchstraße.

„Diese analoge Sternenprojektion ist brillanter, als es mit digitalen Systemen möglich wäre“, sagt Thomas Kraupe. „Zum ersten Mal können wir das Weltall so schön zeigen, wie es wirklich ist.“ Das „Universarium IX“ hat er sich aus Jena kommen lassen. Seit 1923 werden bei Zeiss Planetariumsprojektoren gebaut, nach Maß und nur von Hand.

Eine neue Ära begann 1989, als der erste Sternenprojektor mit Glasfaseroptik auf den Markt kam. Seither sind die Sterne heller, kleiner und natürlicher, als sie ein digitaler Projektor zeigen könnte. Und die Geräte laufen nicht mehr heiß. Die mithilfe von Glasfaserkabeln erzielte höhere Lichtausbeute erlaubt es, Tausende Sterne mit zwei 400-Watt-Bogenlampen zum Leuchten zu bringen.

Die Faserprojektoren des Universarium sind beim „Modell IX“ mit Masken versehen. So genannte Laserlochgeräte haben computergesteuert Sternenhaufen, Galaxien und Nebelformationen in diese Masken gebrannt, die aus einzelnen Löchern aufgebaut sind und deren Durchmesser sich im Mikrometer-Bereich bewegen. Von der Lichtquelle ist zu jedem der Löcher per Hand eine Glasfaser gefädelt worden, die fast ohne Streuverlust den Stern mit Licht versorgt. Manche Fasern wurden sogar getönt, um Himmelskörper in ihrer natürlichen Farbe projizieren zu können.

Die Himmels-Baumeister von Jena haben sich selbst des fast unmerklichen Funkelns der Sterne angenommen. Nach einem Zufallsprinzip wird einzelnen Fasern oder Faserbündeln für kur-

STERNEN-THEATER

Im deutschsprachigen Raum gibt es zwölf Großplanetarien mit einem Kuppeldurchmesser von mehr als 15 Metern. Alle Häuser bieten Unterrichtseinheiten für Schulen, Erklärungen zum aktuellen Sternenhimmel und Kinderprogramme an. Die Planetarien unterscheiden sich vor allem in der technischen Ausstattung und der Programmvvielfalt.

BERLIN

ZEISS-GROSSPLANETARIUM

Prenzlauer Allee 80, 10405 Berlin
Tickets: 030/42 18 45 12
www.astw.de
23 Meter Kuppeldurchmesser
292 Sitzplätze

Das Ostberliner Planetarium hat neben Jena die größte Kuppel im



deutschsprachigen Raum. Sie ist mit Projektionstechnik aus den späten 1980er Jahren bestückt. Eine Besonderheit ist ein Heliostat, mit dem sich die Sonne als 80 Zentimeter große Darstellung auf eine Leinwand projizieren lässt. Besucher können auf diese Weise Sonnenflecken entdecken und am Spektrographen die Zusammensetzung des Sonnenlichts erkennen.

BERLIN

PLANETARIUM DER WILHELM-FOERSTER-STERNWART

Munsterdamm 90, 12169 Berlin
Tickets: 030/79 00 93-66
www.wfs.be.schule.de
20 Meter Kuppeldurchmesser
292 Sitzplätze

Das Planetarium gehört zu einer Sternwarte und wird von einem

Verein betrieben. Im Jahr 2003 wurde die Kuppel erneuert und der Projektor aus dem Jahr 1965 (Zeiss Modell V) wieder installiert. Eine Besonderheit ist das 500-mm-Sonnenteleskop auf dem Dach. Mit ihm kann ein sieben Meter großes Bild der Sonne in die Planetariumskuppel projiziert werden.

BOCHUM

ZEISS-PLANETARIUM

Castroper Str. 67, 44777 Bochum
Tickets: 0234/51 60 6-13
www.bochum.de/planetarium/
20 Meter Kuppeldurchmesser
300 Sitzplätze

Das Bochumer Planetarium wurde, als erstes in Europa, bereits im Jahre 2000 mit der neuesten Projektoren-Generation (Universarium IX) ausgerüstet. Das Programm konzentriert sich auf die Wissensvermittlung und richtet sich vor allem an Schüler und Lehrer. In Zusammenarbeit mit dem WDR finden in loser Folge Hörspielabende statt.

HAMBURG

PLANETARIUM IM STADTPARK

Hindenburgstraße 1b,
22303 Hamburg
Tickets: 040/428 86-520
www.planetarium-hamburg.de
21 Meter Kuppeldurchmesser
253 Sitzplätze

Neben den klassischen Planetariumsprogrammen setzen die Hamburger auf Musik: Der Kuppelsaal ist mit einer kleinen Bühne ausgestattet, auf der sich im Rahmen der „Sternkonzerte“ kleine Ensembles, Rock- und

Popgrößen oder DJs mit psychedelischen Video- und Lasershows präsentieren. Wer es etwas ruhiger liebt, sollte von der Aussichtsplattform des Wasserturms den fantastischen Ausblick auf Hamburg genießen.

JENA

ZEISS-PLANETARIUM DER ERNST-ABBE-STIFTUNG

Am Planetarium 5, 07743 Jena
Tickets: 03641/88 54 88
www.planetarium-jena.de
23 Meter Kuppeldurchmesser
241 Sitzplätze

Ausgerüstet mit einem Sternprojektor (Universarium VIII), einer Video-Großbild-Projektion und einer umfangreichen Lasershow-Anlage, bietet Jena ein breites Veranstaltungsprogramm aus eigenen, nationalen und internationalen Sternenshows. Außerdem: kulturgeschichtliche Exkurse, Multivisions-Shows, Blasorchester-Abende, Auftritte von Volksmusik-Stars, Kindermusicals oder Fünf-Sterne-Menüs mit Silvester-Gala. Zu Fuß erreichbar ist das Optische Mu-



seum, das eine Ausstellung über die Geschichte der Planetarien präsentiert.

MANNHEIM

PLANETARIUM MANNHEIM

Wilhelm-Varnholt-Allee 1,
68165 Mannheim
Tickets: 0621/41 56 92
www.planetarium-mannheim.de
20 Meter Kuppeldurchmesser
277 Sitzplätze

Auch das Mannheimer Planetarium hat eine Renovierung hinter sich und verfügt seit Oktober 2002 über die neueste Sternen-



projektor-Generation (Universarium IX); eine Lasershow und Video-Großbildprojektoren sind ebenfalls vorhanden. Zum Programm gehören Hörspielabende mit dem SWR, und vor Weihnachten wird mitunter ein Gottesdienst unter dem Sternenzelt abgehalten.

MÜNCHEN

PLANETARIUM IM FORUM AM DEUTSCHEN MUSEUM

Museumsinsel 1, 80538 München
Tickets: 089/211 25-180
www.forumamdeutschemuseum.de/planet/
20 Meter Kuppeldurchmesser
275 Sitzplätze

Das Münchner Planetarium befindet sich in unmittelbarer Nachbarschaft zum Deutschen Museum. Der technische Schwerpunkt liegt auf der digitalen 360-Grad-Ganzkuppel-Video Projektion, neben der sich der Sternprojektor (Zeiss Modell VII) nur schwer behaupten kann. Die Münchner übernehmen häufig Produktionen des New Yorker Hayden Planetarium und ergänzen sie mit internationalen Pop- und Lasershows.

MÜNSTER

PLANETARIUM IM WESTFÄLISCHEN MUSEUM FÜR NATURKUNDE

Sentruper Str. 285, 48161 Münster
Tickets: 0251/591-60 99
www.lwl.org/naturkundemuseum
20 Meter Kuppeldurchmesser
280 Sitzplätze

Das Planetarium ist Bestandteil des Naturkunde-Museums in Münster und mit einem Sternprojektor Universarium VIII ausgerüstet. Das Programm beschränkt sich vor allem auf Erklärungen des Sternenhimmels für Kinder und Erwachsene



sowie gelegentliche Literaturlesungen.

NÜRNBERG

NICOLAUS-COPERNICUS-PLANETARIUM

Am Plärrer 41, 90429 Nürnberg
Tickets: 0911/929 65 53
www.planetarium-nuernberg.de
18 Meter Kuppeldurchmesser
236 Sitzplätze

Nicht „Kuppelkino“, sondern „Sternen-Theater“ will das Nürnberger Copernicus-Planetarium sein: eine Bildungs- und Kultureinrichtung, die astronomische Sachverhalte in den Mittelpunkt stellt. Ein älterer Sternenprojektor (Zeiss V) ist hier im Betrieb, der um einige Dia- und Effektprojektoren ergänzt wird. Eines der Highlights im Jahr 2004 wird im Juni die Beobachtung der Venus-Passage vor der Sonne sein.

STUTTGART

CARL-ZEISS-PLANETARIUM

Mittlerer Schlossgarten,
70173 Stuttgart
Tickets: 0711/162 92 15
www.planetarium-stuttgart.de
20 Meter Kuppeldurchmesser
277 Sitzplätze

Der architektonisch beeindruckende Bau in Stuttgart verfügt über den neuesten Sternenprojektor Universarium IX. Schwerpunkt des diesjährigen Programms sind der rätselhafte Dogon-Stern, die Venus und die Milchstraße. Zudem bieten die Stuttgarter einen Einführungskurs für Hobby-Astronomen, ein Praktikum sowie ein astronomisches Seminar an.

WIEN

ZEISS-PLANETARIUM

Oswald-Thomas-Platz 1,
1020 Wien, Österreich
Tickets: 0043/1/729 54 94
www.planetarium-wien.at
20 Meter Kuppeldurchmesser
223 Sitzplätze

Das Planetarium in Wien wurde 2002 für rund vier Millionen Euro erneuert. Mit einem modernen Sternenprojektor (Universarium IX), der ergänzt wird durch einen Laserprojektor, setzt das Haus seither auf „Infotainment“.



Darunter sind viele Programme für Kinder, etwa „Eine Reise durch die Nacht“ oder „Kundschafter im Kosmos“, wobei die Reisen der Raumsonden Voyager, Galileo und Cassini/Huygens nachgefliegen werden.

LUZERN

PLANETARIUM IM VERKEHRSHAUS DER SCHWEIZ

Lidostr. 5, 6006 Luzern, Schweiz
www.verkehrshaus.org
18 Meter Kuppeldurchmesser
231 Sitzplätze

Das Planetarium in Luzern wurde 2001 renoviert und verfügt seitdem neben einem Sternenprojektor älterer Bauart (Zeiss Modell V) über eine Ganzkuppel-Video-Projektion. Die dafür produzierten Programme zählen international zu den aufwendigsten und besten „Sternenreisen“. Nebenan befindet sich ein IMAX-Kino, in dem naturkundliche Filme gezeigt werden, sowie das Verkehrsmuseum der Schweiz.

Neben den Großplanetarien gibt es Dutzende kleinere Häuser. Informationen dazu unter:

www.planetarium-online.info
www.astronomie.de/gad/Planetarien.htm

ze Zeit das Licht abgedreht. „Wir erhöhen damit die emotionale Wirkung unserer Sterne“, sagt Ralf Hasse, zuständig für Forschung und Entwicklung bei den Planetarium-Spezialisten, „denn flimmernd kommen sie Ihnen echter vor.“ Wie das genau funktioniert, ist Betriebsgeheimnis.

Letztlich ist jeder Planetariums-Himmel eine Maßanfertigung. „Wir bieten zwar einen Standard-Himmel an, der auf Basis wissenschaftlicher Daten und unter Berücksichtigung der Fähigkeiten des menschlichen Auges entwickelt wurde“, sagt Volkmar Schorcht vom Geschäftsfeld Planetarien bei Carl Zeiss. „Allerdings weichen etwa 80 Prozent unserer Projektoren davon ab.“

Weil sich Planetariums-Direktoren unterschiedliche Himmel wünschen, werde über die Anzahl der Sterne diskutiert, über ihren Durchmesser, die Helligkeitsabstufungen und die Farben. Das Hayden Planetarium in New York habe allein 89 verschiedene, weit entfernte Himmelserscheinungen verlangt, das sei Rekord.

Hamburg hat jetzt auch seinen Himmel auf Erden, der selbst hart gesottene Romantik-Verweigerer dahinschmelzen lässt – und der zudem flexibel genug ist, um mit der Darstellung einfach mal bis zu 10 000 Jahre in die Zukunft oder in die Vergangenheit zu springen. Für den Fall, dass jemand sehen möchte, wie der Sternenhimmel über Jerusalem bei Christi Geburt aussah oder am 31. Dezember 1999 aussehen wird. □



Als Stadtmenschen waren **Torsten Engelhardt**, 42, und **Heiner Müller-Elsner**, 46, hingerissen vom künstlichen Sternenhimmel des Planetariums. Die Hamburger erarbeiteten für GEO (11/2003) zuletzt gemeinsam eine Reportage über den neuen Container-Terminal Altenwerder.

A surrealist illustration by Tiziano Sottsass titled "START". The scene is a dreamlike landscape. In the foreground, a large, light blue, alien-like head with a single large eye and a small mouth is partially submerged in a green sea. The head has several thin, spiky appendages extending from its top. In the sea, there are several small fish and a diver. A large, dark, circular shape with a grid pattern is visible on the head's surface. In the background, a yellow sky with rain falls over a green sea. A white ship with a single smokestack is on the water. A person is lying in a hammock between two palm trees. A red bird is perched on one of the palm trees. A volcano with a reindeer on top is on the right. A small house is on the left. The word "START" is written in the top left corner.

Wo steckt ET?

Viele Forscher sind sicher, dass es in den Weiten des Alls von intelligentem Leben wimmelt. Warum nur hat die Menschheit davon nichts mitbekommen? GEO WISSEN stellt die zehn wichtigsten Thesen zur (Nicht-)Existenz von Aliens vor

VON NILS BOEING (TEXT) UND MONIKA AICHELE (ILLUSTRATIONEN)

Kantinengespräche haben meist überschaubare Themen: den Job, die Familie, das Hobby. Doch als sich im Sommer 1950 der Physik-Nobelpreisträger Enrico Fermi mit Edward Teller, einem der Väter der Wasserstoffbombe, und zwei Kollegen im Forschungszentrum Los Alamos zu Tisch setzte, nahm die Unterhaltung eine Wende ins scheinbar Surreale. Es ging um die Möglichkeit von Reisen mit Überlichtgeschwindigkeit – in den USA grassierte gerade das Ufo-Fieber. Plötzlich unterbrach Fermi seine Kollegen und fragte: „Wo sind sie alle?“ (Where is everybody?) Dann rechnete er und kam zu dem Schluss, dass die Erde schon oft Besuch von intelligenten Lebewesen bekommen haben müsste, ohne dass sie eindeutige Spuren hinterlassen hätten. Das so genannte Fermi-Paradoxon war geboren.

Fermi hat seine Berechnung nie veröffentlicht. Doch die Frage, ob es extraterrestrische Zivilisationen gibt – und wenn ja, wie viele –, beschäftigt seither die Wissenschaft. 1961 legte der US-Astronom Frank Drake eine For-

mel vor, mit der er die Zahl kommunikatonsfähiger Zivilisationen in der Milchstraße überschlägig kalkuliert hatte: $N = R \times P \times E \times L \times I \times Z \times S$. In einem Zahlenbeispiel: In der Milchstraße entstehen zehn neue Sterne pro Jahr ($R=10$); von allen Sternen hat die Hälfte Planeten ($P=0,5$), von denen wiederum zwei prinzipiell Leben erlauben ($E=2$). Dort, wo Leben möglich ist, entsteht auch welches ($L=1$). Leben führt in der Hälfte der Fälle zu einer intelligenten Spezies ($I=0,5$), aber nur jede Zehnte vermag Signale ins All zu senden ($Z=0,1$). Nimmt man als deren Lebensspanne eine Million Jahre an ($S=1000000$), sollte es allein in der Milchstraße $N=500000$ höher stehende Zivilisationen geben.

Auch nach Drakes Berechnungen müsste es also – entgegen unserer Wahrnehmung – in der Galaxis von Leben nur so wimmeln. Woraus sich folgern lässt: Entweder sind Fermis und Drakes Berechnungen falsch, oder die Menschheit vermag die Anzeichen extraterrestrischer Intelligenz nicht zu erkennen.

THESE 1

DIE STARS DER MILCHSTRASSE

Wir sind die einzige intelligente Spezies

Einige Astronomen glauben, dass es nur eine Frage der Zeit ist, bis endlich ein richtiger ET entdeckt wird. Der US-Physiker Frank Tipler hält dagegen: „Wir sind nicht nur die erste intelligente Spezies in der Galaxis – wir sind auch die einzige im ganzen Universum.“ Seine Überlegung: Die Milchstraße ist ungefähr zehn Milliarden Jahre alt. Zeit genug für mindestens eine technologisch hoch entwickelte Spezies, unsere Galaxis einmal zu durchstreifen. „Dann gäbe es aber keine Oortsche Wolke voller Kometen und keinen Asteroidengürtel mehr“, glaubt Tipler. „Sämtliche dieser rohstoffhaltigen Objekte wären längst in Bauwerke verwandelt worden.“

Der deutsche Biologe Ernst Mayr, der lange in Harvard gelehrt hat, hält das Entstehen einer zweiten intelligenten Spezies ebenfalls für extrem unwahrscheinlich: „Im Gegensatz zur landläufigen Meinung wird hohe Intelligenz von der natürlichen Selektion nicht bevorzugt; tatsächlich kommen Millionen von Arten sehr gut ohne Intelligenz zurecht.“

Ein weiteres Argument führen der Geologe Peter Ward und der Astronom Donald Brownlee in ihrem Buch „Unsere einsame Erde“ an: Die Besonderheiten unseres Sonnensystems zeigten, wie viele Zufälle im Spiel gewesen sein müssen, um

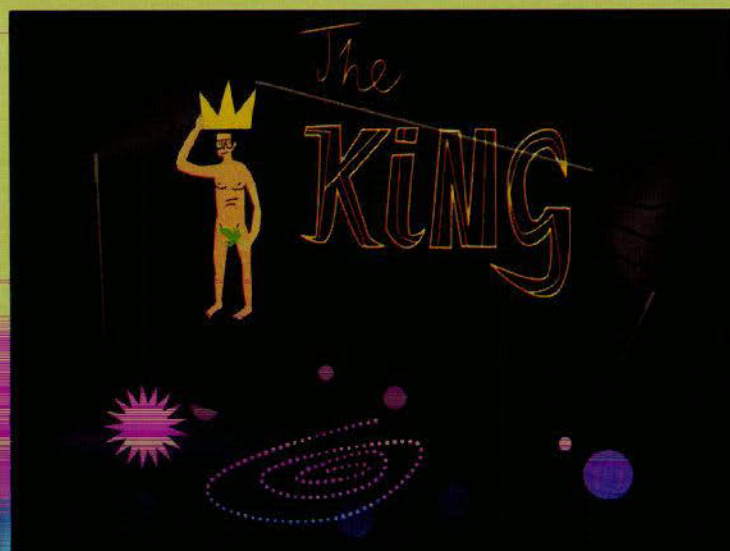
schließlich den Menschen hervorzu- bringen. Es gebe nur wenige Sonnen, deren Lebensdauer eine dauerhafte Evolution ermögliche, die gleichzeitig von Planeten in der sogenannten bewohnbaren Zone umlaufen werden und auf deren Planeten Wasser vorkomme. Dem stimmt auch Simon Conway Morris, Paläontologe an der Universität Cambridge, zu: „Weil die Aliens bisher nicht hier sind“, sagt er, „gibt es sie wohl nicht.“ Falls sie aber doch auftauchten, seien sie – da die Entwicklung des Lebens zielgerichtet nach festen Prinzipien verlaufe – ziemlich menschenähnlich, mit Augen, zwei Beinen und einem Blutkreislauf.

Die Argumente zeigen die Kehrseite der Drake-Gleichung: Ist auch nur eine der Bedingungen unwahrscheinlich, werden der entsprechende Faktor und damit das Gesamtergebnis sehr klein – und das Universum ist im Handumdrehen leer. „Wir sind ganz allein“, hat Frank Tipler es unbarmherzig auf den Punkt gebracht.

Beweisbar: nein, aber widerlegbar durch die Entdeckung einer weiteren intelligenten Spezies

Verfechter: Frank Tipler, Ernst Mayr, Simon Conway Morris

Film zur These: „Dune – Der Wüstenplanet“ (1984, 2001)

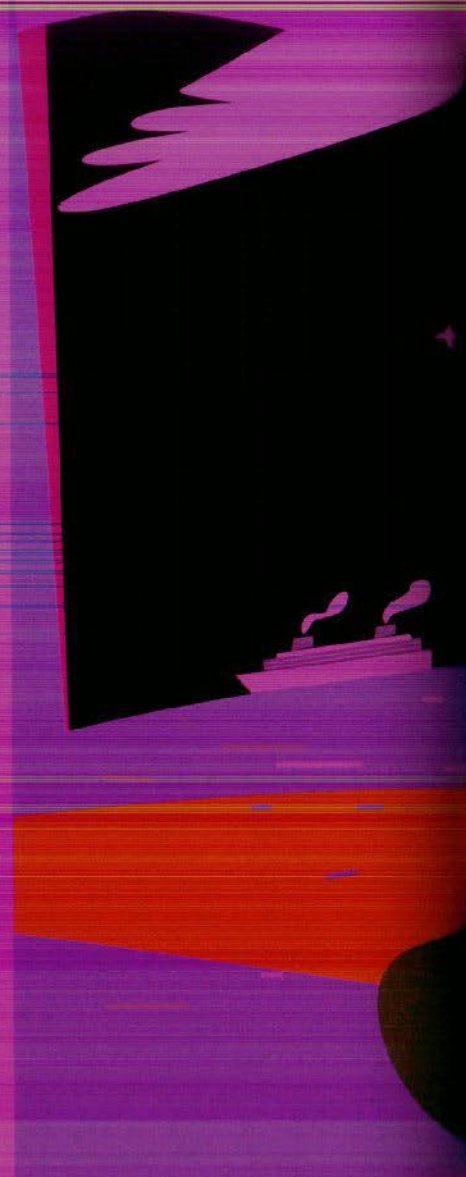


THESE 2

DÄNIKEN HAT DOCH RECHT

Die Aliens waren schon hier und sind wieder verschwunden

Viele Menschen interessiert die Frage „Wo sind sie?“ nicht sonderlich. Sie sind sicher, dass ET längst hier war und reichlich Spuren hinterlassen hat, etwa in Form von Statuen auf der Osterinsel oder Bildern in der peruanischen Nasca-Ebene. Bereits 1977 hatte der US-Orientalist Robert Temple in seinem Buch „Das Sirius-Rätsel“ die Theorie aufge-





stellt, Außerirdische seien in Afrika gewesen. Temple war auf die Beschreibung französischer Ethnologen über das Volk der Dogon in Mali gestoßen. Die Dogon verfügten vermeintlich bereits Anfang der 1930er Jahre über ein Wissen über den Sirius, das dem damaligen Stand der Astronomie entsprach. Dogon-Priester hatten den Ethnologen versichert, dieses Wissen seit Urzeiten zu besitzen. Angeblich haben die Dogon auch nicht durch Missionare von den astronomischen Erkenntnissen erfahren. Temple schloss daraus, dass es sich um eine Überlieferung von Außerirdischen handeln müsse.

Womöglich aber war ET gar nicht selbst auf der Erde, sondern hatte Späh-Sonden geschickt. Für Zivilisationen, die einige zehntausend Jahre weiter entwickelt sind als die Menschheit, dürfte das kein Problem sein, glaubt der kanadische Psychologe und Seti-Forscher Allen Tough. „Jede dieser Sonden könnte intelligenter als ein Mensch sein“, sagt er, „und dabei kleiner als ein Baseball.“ Der Physiker und Wissenschaftsautor Robert Freitas hat daraufhin eine Strategie zur „Suche nach extraterrestrischen Artefakten“ (Seta) ausgearbeitet. Demnach würden Aliens ihre Sonden wahrscheinlich auf bestimmten Umlauf-

bahnen oder an den so genannten Lagrange-Punkten von Erde und Mond oder Sonne und Erde stationieren. Das sind Orte, an denen sich die Anziehungskräfte der zwei Himmelskörper die Waage halten. Entdeckt hat man an diesen Punkten allerdings nichts.

Beweisbar: durch die Entdeckung eines Artefakts, das zweifelsfrei nicht menschlichen Ursprungs ist

Verfechter: Erich von Däniken, Robert Temple, Robert Freitas
Film/Roman zur These: „Stargate“ (1994); Algis Budrys: „Projekt Luna“ (1960)

THESE 3

RAUSCHEN AUF ALLEN KANÄLEN

Die Aliens senden Signale aus, die wir nicht entschlüsseln können

Forscher, die mit Radioteleskopen Zeichen außerirdischer Intelligenz aufspüren wollen, stehen vor prinzipiellen Problemen: Welche Frequenzen sollen sie anpeilen? Die Fachwelt hat sich auf die Radiowellen-Emission des Wasserstoffs konzentriert, des häufigsten Elements im Universum. Die Logik dahinter: Aliens würden diese Besonderheit des Wasserstoffs ebenfalls erkennen und daher auch auf diesen Frequenzen senden. Dazu müssten Aliens allerdings ähnlich denken wie Menschen.

Ein weiteres Problem: Woran ist eine Nachricht zu erkennen? 1977 tauchte das berühmt gewordene „Wow“-Signal auf. Der Name stammt von der handschriftlichen Notiz auf einem Messprotokoll, nachdem ein Astro-

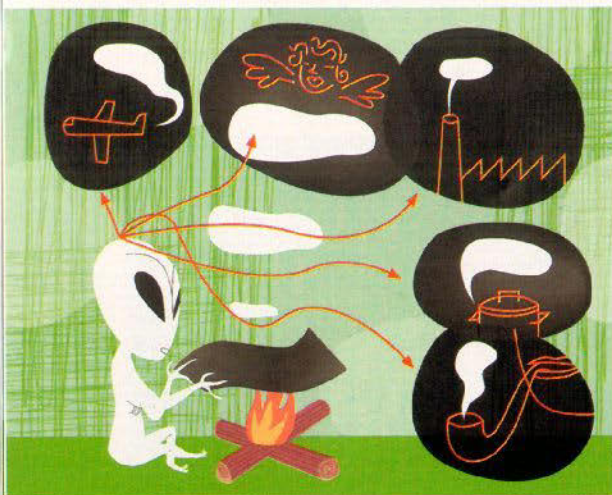
nom für wenige Sekunden ein unerwartet starkes Signal registriert hatte, das aber von anderen Radioteleskopen nicht bestätigt werden konnte. Wenn uns nicht jemand gezielt anpeilt, wird ein Signal wahrscheinlich unerkannt bleiben, denn selbst ein echter Treffer würde lediglich wie ein kurzes unmerkliches Flackern erscheinen.

Der Physiker Paul LaViolette glaubt, dass wir bereits etwas Wichtiges übersehen haben: Im Jahr 1967 entdeckte die irische Astronomin Jocelyn Bell ein starkes, rhythmisches Signal. Nach kurzer Aufregung befand die Fachwelt, dass es sich um eine neue Art von Stern, einen „Pulsar“, handeln müsse, der wie ein kosmisches Leuchtfeuer in regelmäßigen Abständen Radiowellen ins All schleudert. LaViolette argumentiert, dass technisch hoch entwickelte Aliens in der Lage sein könnten, die Abstrahlung von Pulsaren zu fokussieren. Wir hätten demnach ein Signal vor Augen und würden es irrtümlich einem natürlichen Ursprung zuschreiben.

Beweisbar: wenn die zweifelsfreie Entschlüsselung eines Signals gelänge

Verfechter: Frank Drake, Paul LaViolette

Film/Roman zur These: „2001 – Odyssee im Weltraum“ (1968); Carl Sagan: „Contact“ (1985)



Guten

MORGEN



THESE 4

SOLARER CHAUVINISMUS

Wir können die Erscheinungsform der Aliens nicht erkennen



Für den Mathematiker Ian Stewart und den Biologen Jack Cohen gründet die Debatte um extraterrestrisches Leben auf einem kapitalen Denkfehler: Die meisten Forscher gingen von erdähnlichem Leben aus – „wie ein britischer Tourist, der einen fremden Strand nach Fish and Chips und einem Bier absucht“, schreiben die Briten in ihrem Buch „Evolving the Alien“. Auf Erbmo-
lekülen der DNS basierendes Leben halten sie hingegen für einen kosmischen Einzelfall. Wie Leben auch ganz anders aussehen könnte, zeigt ein Versuch

rumänischer Physiker. Mithilfe zweier Elektroden und hoher elektrischer Spannung erzeugten sie Miniaturblitze in einem Plasma aus Argongas. Dabei entdeckten die Forscher, dass sich an der positiv geladenen Elektrode Blasen bildeten, die wuchsen und sich teilten. Die Blasen wurden zudem durch eine doppelte Schicht aus Ionen begrenzt – ähnlich wie eine Zellmembran –, während sich im Inneren ein Kern aus normalem Argongas befand. „Solche zellähnlichen Blasen könnten Grundlage ganz neuer Lebensformen sein“, spekuliert

der Physiker Mircea Sanduloviciu. Der US-Physiker Michio Kaku glaubt, dass es höher stehende Zivilisationen in der Milchstraße geben könnten, Menschen aber nicht fähig seien, diese zu erkennen. So wie sich für Ameisen nicht der Sinn einer Autobahn erschließe, über die sie krabbeln, meint Kaku.

Beweisbar: derzeit nicht
Verfechter: Jack Cohen, Ian Stewart, Michio Kaku
Film/Roman zur These: „Solaris“ (1972, 2002); Robert L. Forward: „Dragon's Egg“ (1980)



THESE 5 EIN GALAKTISCHER NATURPARK

Die Aliens meiden den
Kontakt mit uns

Der Radioastronom John Ball überraschte 1973 die Fachwelt mit seiner „Zoo-Hypothese“: Hoch entwickelte Außerirdische seien längst nicht so geschwätzig, wie Menschen annähen; sie betrachteten das Sonnensystem vielmehr als eine Art Naturpark, in dem wir in Ruhe leben

dürften, ganz ähnlich wie Seehunde im Nationalpark Wattenmeer. „Vielleicht sind wir für sie nur ein unbedeutender Eintrag in einer Tabelle der bewohnten galaktischen Regionen“, schrieb Ball.

Der britische Astrophysiker und Wissenschaftsautor Martyn Fogg hat diese Überlegung 1986 auf die Spitze getrieben: ET habe sich womöglich ganz bewusst eine Kontaktsperre mit uns verordnet. „Beobachter könnten sich entschieden haben, Planetensysteme, die sie untersuchen, nicht zu besiedeln, damit sich einheimisches Leben ungestört zu raumfahrenden Zivilisationen ent-

wickeln kann“, sagt Fogg. Einen ähnlichen Gedanken haben auch die Astronomen Carl Sagan und William Newman formuliert: Die hoch entwickelten Zivilisationen hätten sich einen „Codex Galactica“ gegeben, der einen Eingriff in die Entwicklung junger Spezies wie die der Menschheit verbiete.

Beweisbar: derzeit nicht
Verfechter: John Ball, Martyn Fogg
Romane zur These: Douglas Adams: „Per Anhalter durch die Galaxis“ (1979); C. Darlton et.al.: „Perry Rhodan Band 1 – Die Dritte Macht“ (1961)

THESE 6 DÜMMER, ALS DIE MILCHSTRASSE ERLAUBT

Die Aliens
haben nicht die Fähigkeit
zur interstellaren
Kommunikation

Neandertaler haben einige Jahrtausende neben dem *Homo sapiens* existiert, haben Steinwerkzeuge gefertigt, doch keine Hochkulturen oder gar die Raumfahrt entwickelt. Ähnlich könnte es auch Alien-Spezies gegangen sein. „Es ist gut vorstellbar“, sagt der Astronom Carl Sagan, „dass es außerirdische Zivilisationen gibt, die es nie auch nur zu Funkgeräten gebracht haben, sondern von der natürlichen Selektion ausgemerzt wurden.“ Ebenfalls denkbar seien Aliens, die – vergleichbar mit Delfinen – in einem Ozean leben oder deren Planet dauerhaft von einer dicken Wolkenschicht bedeckt ist. In ihrem Weltbild spielten das All und die Sterne vermutlich keine Rolle.

Einen weiteren Grund für ausbleibende Kommunikation führt der Astrophysiker Richard Gott von der Universität Princeton an: „Da wir noch an unsere Heimatwelt gebunden sind, sagt uns das Kopernikanische Prinzip – wonach die Erde ein durchschnittlicher Planet ist –, dass ein beträchtlicher Teil intelligenter Wesen ebenfalls noch an ihre Welten gebunden sind, denn sonst wären wir etwas Besonderes.“ Das erkläre, weshalb die Erde nicht längst von Außerirdischen kolonisiert worden sei.

Beweisbar: derzeit nicht

Verfechter: Carl Sagan, Richard Gott
Filme zur These: „Star Trek“ (ab 1966);
„Planet der Affen“ (1968, 2001)



THESE 7 ES WAR EINMAL ...

Die Aliens sind schon längst wieder
ausgestorben

Das Universum ist ein gefährlicher Ort. Asteroiden schlagen auf Planeten ein, Gammastrahlen-Ausbrüche erzeugen tödliche Strahlenschauer, Sterne kollidieren oder verglühen. Es gibt unzählige Möglichkeiten, wie aufkeimendes Leben erlöschen kann. Der Astrophysiker Milan Ćirković und der Geograph Richard Cathcart gehen davon aus, dass die ersten Milliarden Jahre des Universums noch weit lebensfeindlicher waren als die Gegenwart: „Die ältesten Zivilisationen müssten in einer Epoche entstanden sein, in der radioaktive, in Supernovae erzeugte Elemente häufiger waren.“ Die Energie aus dem radioaktiven Zerfall von Material im Inneren von Planeten ist die wichtigste Wärmequelle, die tektonische Bewegungen der Kruste verursacht – ein Mechanismus, der auch heute noch in der Erde wirksam ist. Erdähnliche Planeten in der Frühzeit des Universums waren demnach geologisch wesentlich aktiver, was die Entstehung

stabiler Lebensbedingungen erschwert haben dürfte.

Unter Umständen aber waren die Aliens an ihrem Untergang sogar selbst schuld:

- indem sie ebenfalls die Atombombe erfanden und ihre Zivilisation auslöschten;
- indem sie Nano-Roboter erschufen, die sich explosionsartig vermehrten und die Biosphäre in einen „Grey Goo“ (grauen Schleim) verwandelten, wie es etwa der Nanotechnik-Experte Eric Drexler annimmt;
- indem sie hemmungslos fossile Rohstoffe verbrauchten und ihr Heimatplanet durch den Treibhauseffekt unbewohnbar wurde.

Beweisbar: derzeit nicht

Verfechter: Milan Ćirković, Richard Cathcart, Eric Drexler

Roman/Film zur These: Ray Bradbury: „Die Mars-Chroniken“ (1950, 1980)

THESE 8

EIN KOSMISCHER EISERNER VORHANG

Die Aliens leben in einem Paralleluniversum

Selbst wenn wir im uns bekannten Kosmos die einzige intelligente Spezies wären, könnten Aliens gleichzeitig in Paralleluniversen leben. Das jedenfalls glaubt der US-Physiker Lee Smolin. In dem Bemühen, Quantenmechanik und Relativitätstheorie mit dem Gedanken der Evolution zu verbinden, ist Smolin zu folgender Theorie gelangt: „Jedes Schwarze Loch ist eine Knospe, die zu einem neuen Universum von Augenblicken führt.“ Lange Zeit habe es nur eine Abfolge von Universen ohne Schwarze

Löcher gegeben, wobei jedes aus seinem Vorgänger entstanden sei. „Das ist so ähnlich, als ob ein Bakterium sich nicht durch Teilung fortpflanzt, sondern stirbt und dadurch nur einen einzigen Nachkommen erzeugt.“ Irgendwann aber habe eine Mutation der Naturkonstanten – ähnlich einer Genmutation – zu einem Universum wie dem unseren geführt. Weil dieses viele Schwarze Löcher hervorbringe, die zu neuen Universen führen, müsse es inzwischen unzählige Paralleluniversen zu dem unseren geben.



Beweisbar: theoretisch, durch eine Reise durch ein Schwarzes Loch in ein Paralleluniversum

Verfechter: Lee Smolin

Film/Roman zur These: „Contact“ (1997); Carl Sagan: „Contact“ (1985)

THESE 9 DER AUSSERIRDISCHE IN UNS

Wir selbst sind
die Nachfahren von
Aliens

Könnte es sein, dass die Menschen von einer kosmischen Intelligenz abstammen? Die Astrophysiker Fred Hoyle und Chandra Wickramasinghe

haben schon vor Jahrzehnten die These vertreten, dass Asteroiden und Meteoriten Lebenskeime auf die Erde gebracht haben. Daran anknüpfend, haben Leslie Orgel und Francis Crick, der Mitentdecker der DNS-Struktur, die Hypothese entwickelt, menschliches Leben entstamme der zielgerichteten Aussaat einer sterbenden Zivilisation. Die beiden Forscher hatten sich gewundert, dass sämtliche Organismen Nukleinsäuren zur Speicherung der genetischen Information verwen-

den. Diese Universalität des Lebenscodes ist für sie erklärbar, wenn es eine „Infektion“ durch extraterrestrische Lebenskeime gegeben hat. Dass Leben selbst unter den harten Bedingungen im All Bestand haben kann, zeigen Experimente mit Bakterien im Weltraum, die gezielt kosmischer Strahlung ausgesetzt wurden. Und selbst Kometen können Kohlenstoff, die Grundsubstanz allen Lebens, offenbar über weite Strecken unversehrt durchs All transportieren: Mit einem Spektrometer entdeckten Forscher des Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics Kohlenstoffionen im Schweif des Kometen Kudo-Fujikawa.

Beweisbar: indirekt, durch Entdeckung von DNS-Molekülen oder irdischen Lebensformen in anderen Teilen des Weltraums

Verfechter: Francis Crick, Leslie Orgel

Film zur These: „Kampfstern Galactica 3“ (1981)



THESE 10 DIE GALAKTISCHE TRUMAN-SHOW

Das All ist eine
von Aliens erschaffene
Illusion

Eine unter Pessimisten verbreitete Überlegung lautet: Wir leben in einer Simulation. „Es gibt nichts in der Quantenmechanik oder in der Relativitätstheorie, das eine solche Matrix ausschließen würde“, räumt der Physiker Michio Kaku ein. Könnten telepathische Erlebnisse oder unsere Träume etwa Hinweise auf eine solche Matrix, eine tiefer liegende Wirklichkeit sein?

Oder liegt der Hinweis offen vor uns, in der Big-Bang-Theorie? In den 1960er Jahren entdeckten Astrono-

men die kosmische Hintergrundstrahlung, die aus den Anfangstagen des Weltalls stammt und kurz nach dem Big Bang entstanden sein muss. Die herkömmliche Urknalltheorie konnte aber nicht erklären, weshalb die Strahlung aus allen Himmelsrichtungen gleich stark ist. Erst 1981 fand der Physiker Alan Guth eine Erklärung: Demnach blähte sich das Universum 10^{-36} Sekunden nach dem Urknall abrupt auf. Was aber davor liegt, lässt sich bis heute nicht ergründen. Könnte es sein, dass diese „Mauer in der Zeit“ von den Architekten der Matrix eingezogen wurde, damit Menschen die Simulation nicht entdecken? Ein ähnliches Szenario bietet auch der Mathematiker Stephen Baxter als Erklärung an. Demnach ist unser Sonnensystem eine von Aliens geschaffene künstliche Sphäre. Allerdings wären wohl nur so genannte

„K3-Zivilisationen“ in der Lage, so etwas wie eine Truman-Show zu erschaffen. (Das sind – nach dem russischen Astrophysiker Nikolai Kardaschew – Zivilisationen, die die Energie ihrer gesamten Galaxie anzapfen können.) In dem Fall müsste die Menschheit zumindest theoretisch in der Lage sein, den Horizont der künstlichen Sphäre zu entdecken. Tatsächlich nähert sich die 1977 gestartete Nasa-Sonde „Voyager 1“ der Grenze des Sonnensystems. Doch selbst wenn die Sonde die Grenze überwindet und weiter sendet, wäre das Szenario nicht widerlegt – die Aliens könnten auch die Sonde manipuliert haben.

Beweisbar: durch Fehler in der Simulation

Verfechter: Stephen Baxter

Filme zur These: „Dark City“ (1998); „The Matrix“ (1999)



BEKENNTNIS ZUM

VON KLAUS BACHMANN

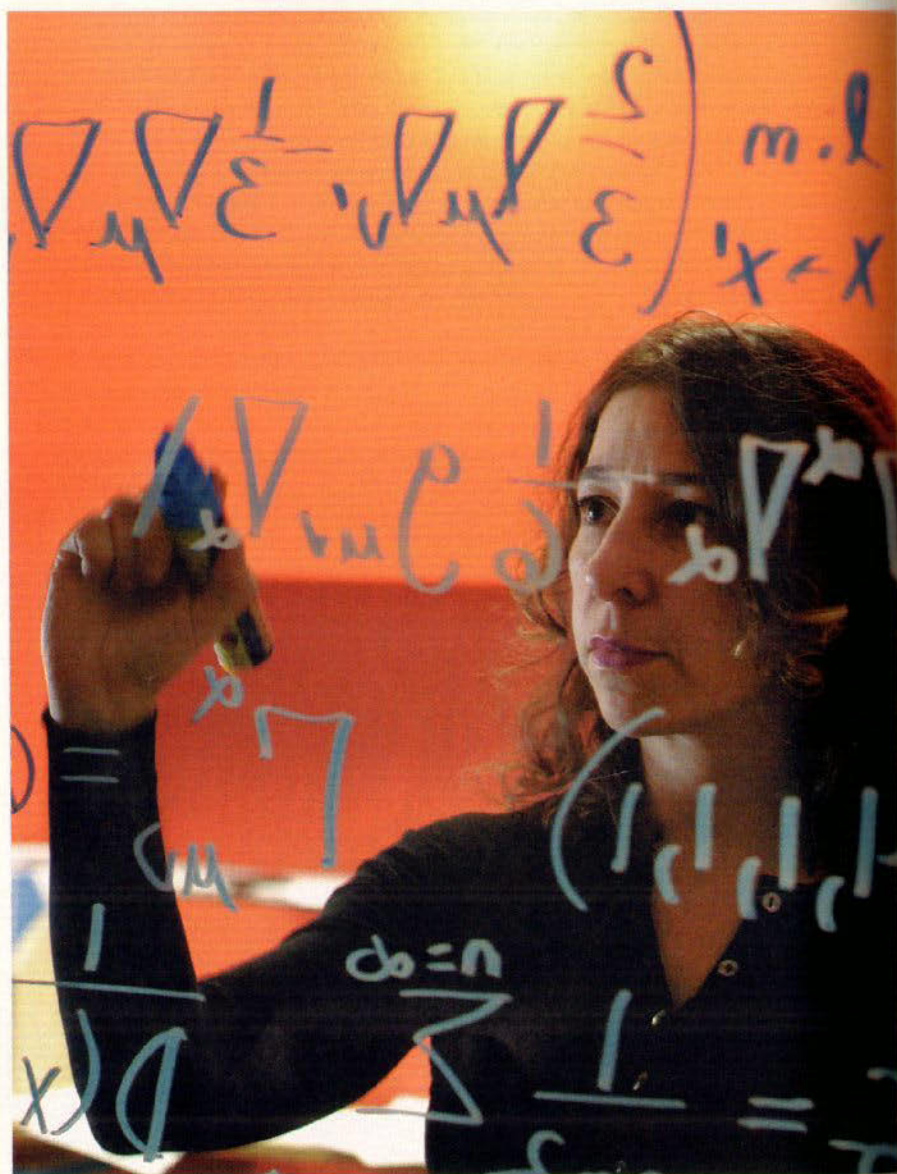
Elementarteilchen sind flatterhafte Wesen. Position und Geschwindigkeit etwa eines Elektrons lassen sich nie gleichzeitig exakt bestimmen, immer bleibt ein Rest Unschärfe. Obendrein tritt der Winzling je nach Experiment mal als Partikel, mal als Welle auf.

Janna Levins Leben spiegelt die seltsame Doppelgesichtigkeit der Bausteine unserer Welt wider. Schwarze Löcher, diese Gebilde aus unvorstellbar dicht komprimierter Materie, treiben sie um sowie jene Fragen, an denen Menschen seit Jahrtausenden herumdenken: Ist das Universum endlich oder unendlich? Und welche Form hat der Kosmos? Einerseits zählt die 36-jährige Amerikanerin zum Establishment der Astrophysik, und Koryphäen des Fachs bescheinigen ihr Originalität und außergewöhnliches Talent. Andererseits engagiert sie sich künstlerisch, zeichnet, malt, ist in der britischen Kulturszene zu Hause.

Und so ist die junge Frau, wie sie da in der Ruskin School of Drawing and Fine Art an Oxfords High Street sitzt – klein und zart, im kurzen Wollrock, mit hohen schwarzen Stiefeln, im Ohr mehrere Stecker –, der Gegenentwurf zum Klischee des Physikers als farbloser, verklemmter Musterschüler.

Auch die Rastlosigkeit der Elementarpartikel findet sich in der Vita der Wissenschaftlerin wieder: Kaum war Janna Levin auf ihrem Berufsweg an einem Ort angekommen und hatte sich in ein Thema vertieft, brach sie schon wieder zu einer neuen Wirkungsstätte auf, nie fest zu verorten, nie still stehend: Nach der Promotion am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge an der amerikanischen Ostküste wechselte sie für zwei Jahre ans Canadian Institute for Theoretical Astrophysics nach Toronto. Von dort an die Westküste der USA, nach Berkeley. Weiter ging es

Eine Grenzgängerin zwischen Astrophysik und Kunst: Janna Levin malt, forscht zu Schwarzen Löchern und schreibt über ihr unstetes Leben mit einem Bluesmusiker und ihre soziale Isolation



Janna Levin erforscht an der Columbia University in New York die Form des Kosmos

CHAOS

nach England: Brighton, Cambridge, Oxford. Manchmal leidet Janna Levin unter der regelmäßigen Entwurzelung und Umpflanzung. Doch insgeheim kommt das Hin und Her ihrem Naturrell entgegen. „Mein Leben ist absurd chaotisch. Aber ich mag das Chaos“, sagt sie.

Das Bekenntnis gilt dabei nicht nur für das alltägliche Durcheinander, die Provisorien in ständig wechselnden Wohnungen, sondern auch für ihre wissenschaftliche Arbeit. In den vergangenen Jahren hat sie viel Zeit auf die Frage verwandt, was passiert, wenn zwei Schwarze Löcher einander umkreisen und schließlich miteinander verschmelzen. Ihre Berechnungen zeigen, dass sich die kosmischen Objekte kurz vor der Vereinigung chaotisch und deshalb unkalkulierbar verhalten.

Was können wir über die Realität in Erfahrung bringen? Wo endet der Horizont unseres Verstehens? Antworten auf diese Fragen sind Teil eines größeren Bildes, das Janna Levin entdecken will. Anfang der 1990er Jahre hatte sich in Toronto eine Gruppe junger Wissenschaftler gefunden, unter ihnen Janna Levin, die sich ohne Furcht vor höchster Abstraktion in ein Unternehmen namens Topologie des Kosmos stürzten. Sie erkundeten mathematisch definierte Räume, die Modell standen für das Weltall. In einer für Laien nicht mehr nachvollziehbaren Formelsprache drehten, bogen, zerrten und verklebten sie Räume und prüften, ob deren jeweilige Eigenschaften zu denen des Kosmos passten.

Dabei verschob sich Janna Levins Glaubenssystem. „Ursprünglich hatte ich gedacht, das Universum sei unendlich“, erinnert sie sich. Nach und nach aber sei ihr klar geworden, dass auch ein endliches All mit den Gesetzen der Physik und der Idee des Urknalls vereinbar sei. Und sie freundete sich mit

dieser Vorstellung an. Jetzt beharrt sie darauf: „Unendlichkeit ist ein absurdes Konzept – ausgenommen in der Mathematik.“ In der Natur, so argumentiert sie, sei noch nie etwas Unendliches beobachtet worden.

Die Expedition in die merkwürdige Formel- und Formenwelt beschreibt die Physikerin in ihrem Bestseller „How the universe got its spots“. Sie wagt dabei, was in der Wissenschaft sonst verpönt ist: mischt Forschung und Gefühle, äußert sich offen über ihre soziale Isolation, ihr Unbehagen am kalten, regnerischen England. Sie spart auch nicht die Krisen ihrer Partnerschaft mit dem Bluesmusiker Warren Malone aus. Und sie legt ihr schlechtes Gewissen offen, dass er ihr von Stadt zu Stadt folgt, in Umkehrung der klassischen Rollenverteilung „kocht, putzt, meine Wäsche macht, meine Einkäufe erledigt, mein Leben organisiert“.

Das alles trägt sie in einem elegischen Grundton vor, der in seltsamem Gegensatz steht zu der Lebhaftigkeit und der Energie, die sie ausstrahlt. Die Grenzüberschreitung hat ihrer Karriere nicht geschadet. Im Gegenteil: Ihre Fachkollegen reagierten überraschend positiv.

Derzeit richtet Janna Levin ihre Aufmerksamkeit verstärkt auf die Topologie, jongliert intensiv mit Dodekaedern, Kugeln und Doughnut-förmigen Räumen. Denn seit zwei Jahren laufen Daten des Satelliten WMAP ein, der die kosmische Hintergrundstrahlung misst, jenes schwache Nachleuchten des Urknalls. Und bei deren Analyse stellte sich heraus, dass bestimmte langwellige Strahlen fehlen. „Das ist eine charakteristische Signatur eines endlichen Universums“, sagt Levin. In

eine Kiste endlicher Größe, erklärt sie, passten schließlich nur Strahlen, deren Wellenlängen kürzer seien als die Box. In einem unendlichen Raum dagegen wäre Platz selbst für die längsten Wellen. Aber noch ist die Forscherin skeptisch: „Wir müssen den Befund erst zweifelsfrei bestätigen.“

Dafür bleibt ihr derzeit nur die Hälfte der Woche. Den Rest der Zeit widmet sie ihrer zweiten – der künstlerischen – Existenz: Ein Dreamtime Fellowship – ein Traumzeit-Stipendium – hat es ihr ermöglicht, für ein Jahr in die andere Kultur einzutauchen.

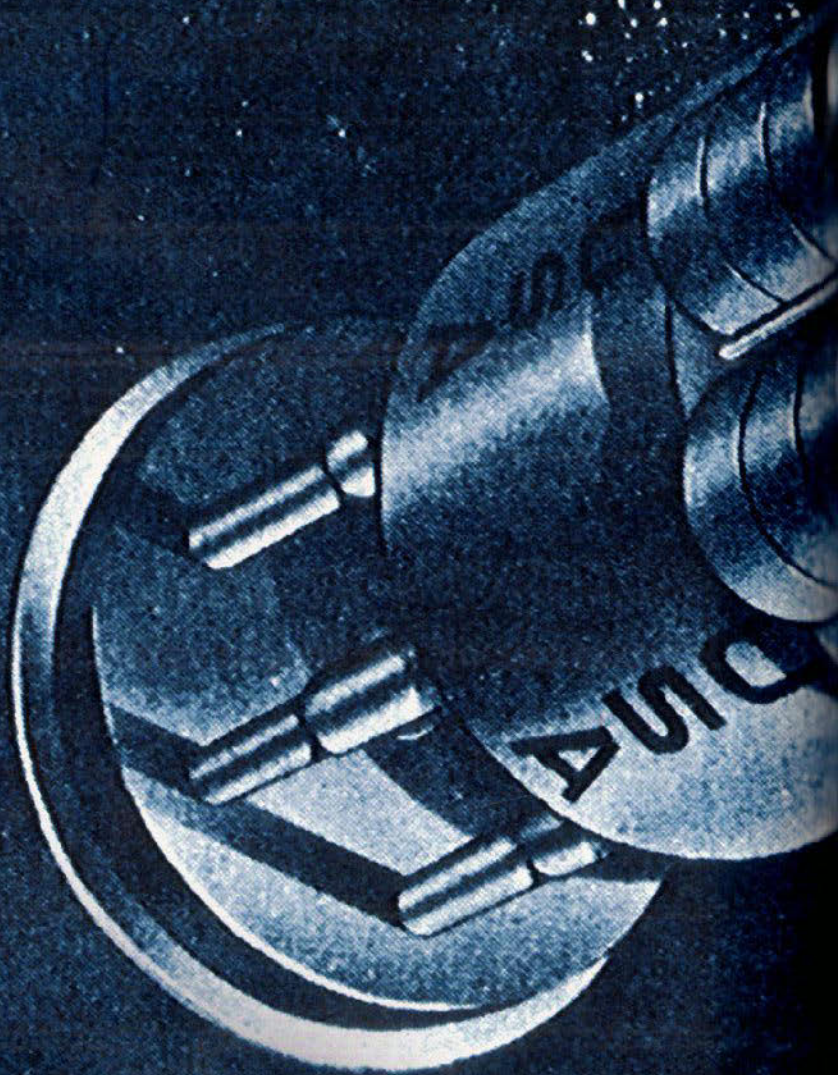
Hat sie es angesichts der Erfahrung an der Kunstschule bereut, der Wissenschaft den Vorzug gegeben zu haben? „Manchmal“, sagt sie, zögert und fährt

mit einem Seufzer fort: „Aber ich kann meine wissenschaftliche Arbeit nicht aufgeben. Ich liebe sie. Es ist wie in einer kriselnden Ehe.“ Und so genießt sie es, mit einem Fuß in der Wissenschaft zu stehen, mit dem anderen draußen. „Ich kann mich in den Kreisen der Künstler bewegen, kann Dinge ausprobieren, darüber schreiben und komme auf neue Ideen.“

Zum Jahreswechsel 2004 hat Janna Levin auch England wieder verlassen, ist zurück in die USA gegangen, nach New York an die Columbia University. Ist mit dem Nomadenleben nun endgültig Schluss? „Nein“, sagt sie prompt. Aber seit Sommer 2003 hat sie einen Sohn, Gibson, dem Beruf des Vaters gemäß nach einer berühmten Gitarrenmarke benannt. Und mit Kind sollte man vielleicht doch Wurzeln schlagen, überlegt sie. Deshalb will sie in New York wenigstens so lange bleiben, „dass es sich lohnt, die Bücherkisten auszupacken“. □

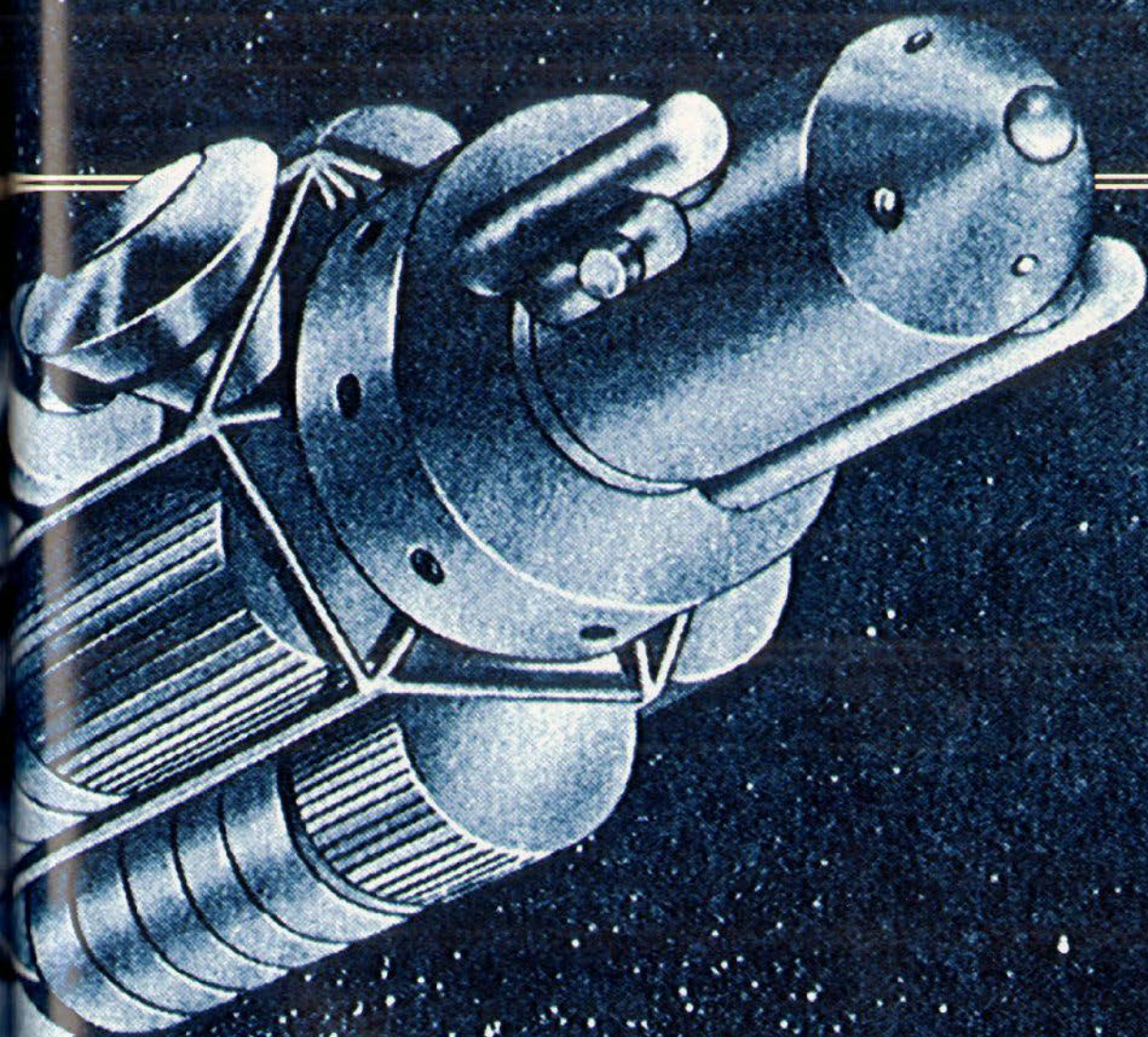
**»Unendlichkeit
ist ein absurdes
Konzept«**

Auf das Heck kam es an:
Eine 1000 Tonnen schwere
Stahlplatte sollte die Wucht
der dahinter gezündeten
Atombomben an den Raum-
kreuzer Orion weiterleiten,
Stoßdämpfer sollten die
Beschleunigung für die Be-
satzung erträglich machen



Den Großmächten war zu Beginn des Kalten Krieges fast jedes Mittel recht. Selbst abwegige Ideen wurden ernsthaft geprüft. US-Wissenschaftler entwickelten ein Raumschiff, das zum Mars und zum Saturn fliegen sollte – mit dem Schub Tausender Atomexplosionen

Projekt DER



ORION RITT AUF DER BOMBE

Der Schock traf die USA ins Mark. Anfang Oktober 1957 schossen die Russen mit „Sputnik I“ den weltweit ersten Satelliten ins All. „Sputnik II“ folgte Anfang November – mit Hündin Laika an Bord. „Die Amerikaner bauen die besseren Auto-Heckflossen“, höhnte ein Sowjetwissenschaftler in Anspielung auf damalige Chevrolets, „aber wir bauen die besseren Raketen.“ US-Politiker reagierten verwirrt. „Nutzen die Sowjets für die Sputnik-Starts Atomenergie?“, fragten aufgeregte Kongress-Abgeordnete bei einer Anhörung. „Und könnte es sein, dass derjenige, der den Welt-raum kontrolliert, auch die Welt beherrscht?“

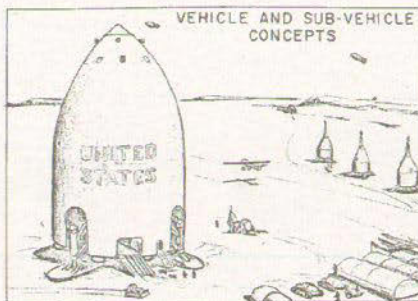
Weit weniger überrascht waren amerikanische Wissenschaftler. Als die beiden Sowjet-Sonden abhoben, hatten sie längst Pläne für Interkontinentalraketen und sogar für eine Mondlandung in Arbeit. Nun aber forcierten die Sputniks den „Wettlauf ins All“. Um den Anschluss – zivil wie militärisch – nicht zu verpassen, gründete die US-Regierung im Januar 1958 die Advanced Research Projects Agency (ARPA, später in DARPA umbenannt, mit D für „Defense“, Verteidigung). Sie hatte die Aufgabe, Raumfahrtpläne zu koordinieren und neue Vorhaben zu fördern – wie abstrus diese auch erscheinen mochten. Bald hatten die Forscher kühne Ideen ersonnen, darunter das „Projekt Orion“: ein gigantisches, 4000 Tonnen schweres Raumschiff, das von Hunderten in schneller Folge explodierender Atombomben ins All getrieben werden sollte. „Mars bis 1965, Saturn bis 1970“, lauteten die Ziele des Orion-Teams.

Nuklearenergie galt als entscheidender Trumpf – und die Amerikaner lagen auf diesem Gebiet weit vorn: Mitte Juli 1945 war es einem Physiker-Team um Robert Oppenheimer – Leiter des

„Manhattan-Projekts“ der Los Alamos National Laboratories in New Mexico – erstmals gelungen, eine Atombombe zu zünden. Bereits drei Wochen nach dem „Trinity-Test“ lösten „Little Boy“ und „Fat Man“ in den japanischen Städten Hiroshima und Nagasaki ein nukleares Inferno aus; über 100 000 Menschen starben sofort. Kriegsgegner Japan kapitulierte daraufhin.

Der Sieg versetzte Amerika in einen Atomrausch. Alles Nukleare galt als großartig. Von 1955 an kreuzten die ersten „Nautilus“-Atom-U-Boote in den Meeren. Atomgetriebene Flugzeuge und Raketen schienen nur eine Frage der Zeit. So wirkte auch das Orion-Projekt weit weniger absurd, als es heute anmutet.

Kurz nach dem Trinity-Test kam Stanislaw Ulam, ein Mitarbeiter Oppenheims im „Manhattan“-Team, auf die Idee, mit der enormen Energie von Atomexplosionen Raumschiffe anzutreiben. Ihm schwebte ein Flugkörper vor, der Atombomben abwirft und in geringem Abstand hinter sich zündet. Zahlreiche Detonationen kurz nacheinander sollten das Gefährt auf ein Vielfaches der Erdoberfläche beschleunigen und ins All katapultieren. Diese Art eines Nuklearantriebs –



In ihrer Fantasie hatten sich die Orion-Konstrukteure bereits ausgemalt, wie sie auf dem Mars eine Infrastruktur aufbauen würden. Als zentrale Bodenstation war eine ausgediente Raumfähre vorgesehen

der zur Grundlage des Orion-Projekts werden sollte – ließ sich Ulam patentieren.

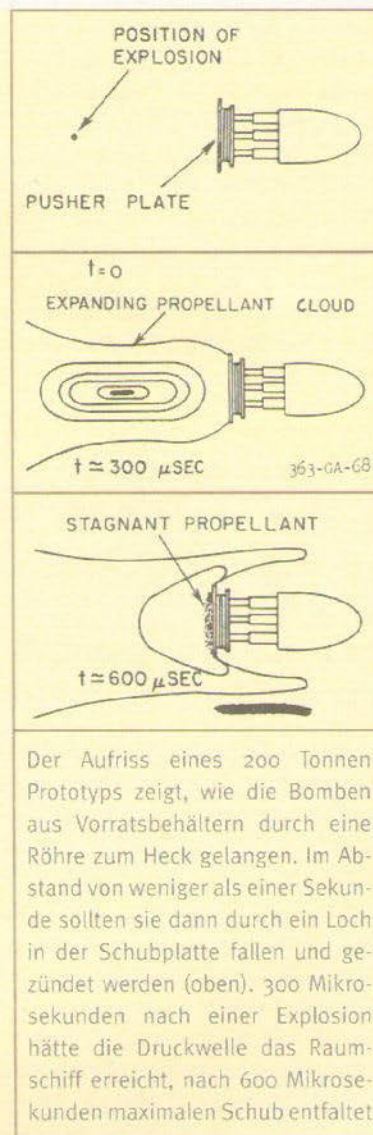
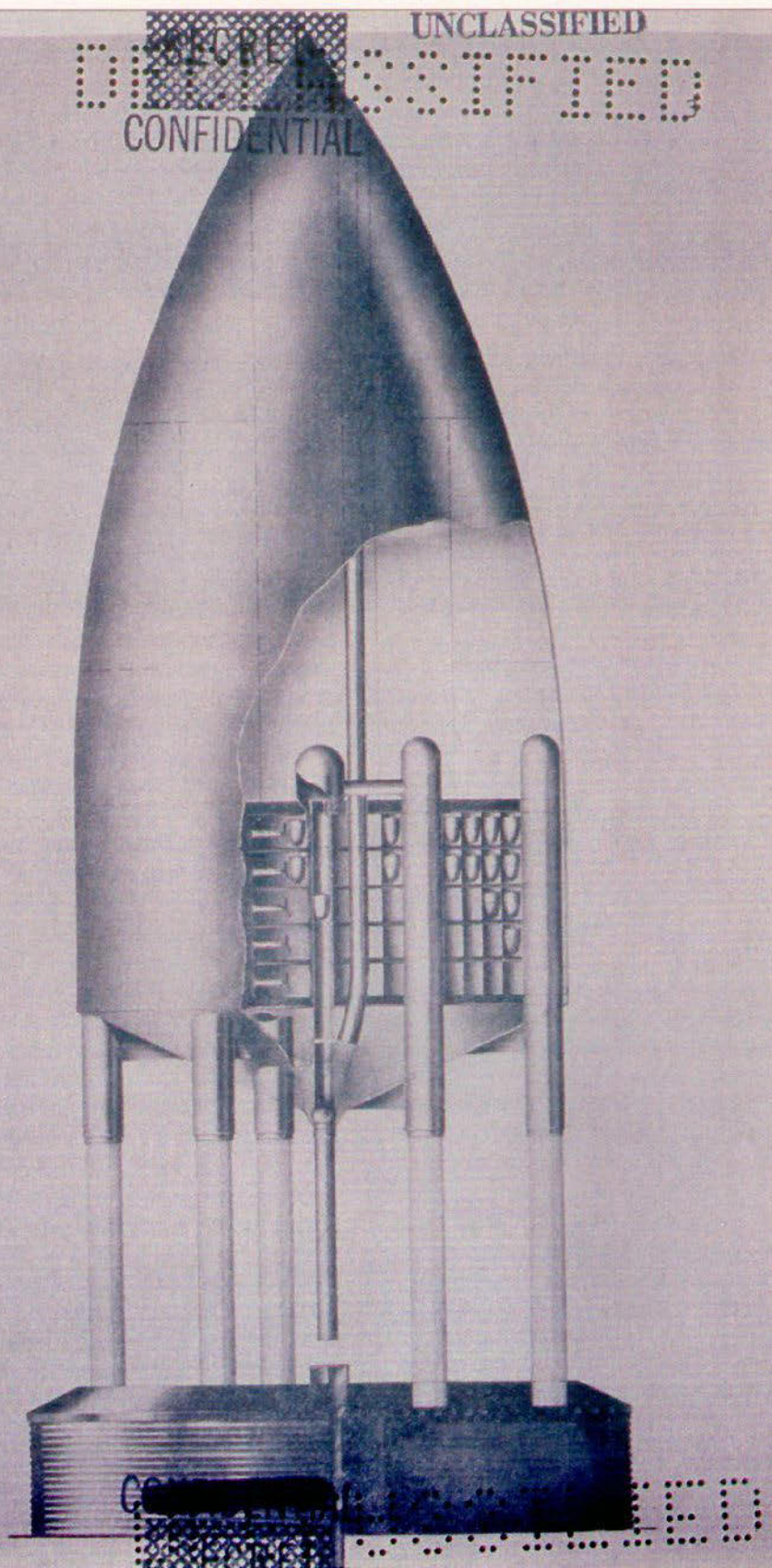
Die ersten Schritte zur Umsetzung unternahm Frederick de Hoffmann. Der österreichische Physiker war ein begnadeter Programmierer und stieg im „Manhattan“-Projekt zur rechten Hand Edward Tellers auf, einem der „Väter“ der im November 1952 gezündeten ersten Wasserstoff-Bombe „Ivy Mike“. Teller empfahl de Hoffmann, als die Rüstungsfirma „General Dynamics“ einen Projektleiter für das neue Geschäftsfeld Nuklearenergie suchte. 1955 wurde der Ableger „General Atomic“ in San Diego gegründet. Drei Jahre später hatte de Hoffmann die Firma in einen Forschungspark für Physiker verwandelt, die dort, ähnlich wie in Los Alamos, ihre Ideen ungehindert umsetzen konnten. Unter ihnen waren etliche Nobelpreisträger.

In diesem „Think Tank“ entstand unter anderem der erste kommerzielle Kernreaktor namens „Triga“. Das Konzept dieses Uran-Zirkonhybrid-Reaktors, der vergleichsweise sicher war, weil er sich bei drohender Überhitzung selber abbremste, ersannen die drei General-Atomic-Physiker Theodore „Ted“ Taylor, Freeman Dyson und Andrew McReynolds praktisch über Nacht. Sie verkauften ihr Patent für drei Dollar an ihren Arbeitgeber, der damit Millionen verdiente. Triga wurde zum weltweit am weitesten verbreiteten Forschungsreaktor.

Ted Taylors größter Coup aber war das von ihm als Unterabteilung von General Atomic und auf dessen Campus gegründete Projekt Orion. Bereits 1956 stellte er die ersten Wissenschaftler für sein Team ein. Anfang 1958 – nach dem Sputnik-Schock – warb General Atomic für das atomgetriebene Raumschiff. Die Orion-Akten beschäftigten die ARPA, das Penta-

In den 1950er Jahren schien mit Atomkraft alles erreichbar.

»Mars bis 1965, Saturn bis 1970«, lauteten die Ziele des Orion-Teams



gon und die Rüstungsindustrie – und stießen auf Zurückhaltung: Wer Orion für verrückt hielt, wagte nicht nein zu sagen, Befürworter zögerten mit der Zustimmung. Politiker und Air-Force-Generäle trieb nur die Sorge: „Wenn wir es nicht machen – kommen uns die Russen vielleicht wieder zuvor?“

Taylor wurde 1925 als Sohn amerikanischer Eltern in Mexiko-Stadt geboren. Schon als Kind hatte er eine

Vorliebe für explosive Einfälle; eine selbstgebastelte Bombe legte er auf die Schienen der Straßenbahn – zum Glück wurde niemand verletzt. Nach einem Physikstudium in Kalifornien ging er 1949 nach Los Alamos. In den Labors herrschte noch immer ein unbürokratisches Klima, wie in den Kriegsjahren. Statt umständlich Anträge zu stellen, kritzelten Forscher ihre Formeln mitunter auf die Rückseite von Briefumschlägen – und konnten

ihre Bomben schon sechs Monate später auf dem Testgelände hochgehen sehen. Taylor gab sich dabei betont cool: 1952 zündete er sich bei einem Atomtest in Nevada eine Zigarette an, indem er das gleißende Licht des nuklearen Feuers mit einem Parabolspiegel fokussierte. Anderthalb Minuten später zerbrach die Druckwelle der Explosion mehrere Martini-Gläser in dem 20 Kilometer entfernten Unterstand.

Besonders faszinierten Taylor kleinere Atombomben mit einer Sprengkraft von annähernd einer Kilotonne – nur etwa ein Zwanzigstel so stark wie jene von Nagasaki. „Es war wie eine Sucht. Ich wollte wissen, wo die untere Grenze ist“, sagte er später. Genau solche Bomben brauchte Orion. Denn sie sollten das Schiff nur antreiben, nicht zerstören. Das Projekt bot Taylor die lang ersehnte Chance, Mini-Bomben zu entwickeln. Sein wichtigster Mitarbeiter wurde Freeman Dyson, der als theoretischer Physiker Ordnung in Taylors experimentelles Chaos brachte.

Dyson, ein hagerer, 1923 geborener Engländer, verschlang als Kind Jules Vernes Buch „Von der Erde zum Mond“, das von Astronauten erzählt, die mit einer Rakete zum Erdtrabanten geschossen werden. Im Zweiten Weltkrieg lernte er die Projektile des deutschen Raketenbauers Wernher von Braun kennen, als dessen V2 über den Ärmelkanal flogen und in England einschlugen. Von 1947 an studierte Dyson Physik an der Cornell University im US-Staat New York, wo er bereits 1949 – nach einem bahnbrechenden Beitrag zum Thema „Quantenelektrodynamik“ – eine Professur erhielt. Als er zum Orion-Team stieß, halfen seine Kenntnisse, die Machbarkeit des Konzepts zumindest rechnerisch zu beweisen. Nun horch-

2011: MIT ATOMSCHUB ZU DEN JUPITERMONDEN

Die Nasa plant, einen 100-Kilowatt-Reaktor ins Weltall zu schießen.

Trotz der ernüchternden Erfahrung mit Projekt Orion: Die nukleare Zukunft der Raumfahrt steht für die Nasa außer Zweifel. Anfang 2003 kündigte die US-Weltraumbehörde ihr Projekt „Prometheus“ an, atomgetriebene Raumsonden, die zu den äußeren Planeten des Sonnensystems vordringen sollen. Grund ist, damals wie heute, die wesentlich höhere Energiedichte von Kernbrennstoffen. Eine Uran-Kugel von der Größe einer Apfelsine enthält 50-mal mehr Energie als einer der Außentanks eines „Space Shuttle“. Die wichtigste Prometheus-Mission ist der für 2011 geplante „Jupiter Icy Moons Orbiter“ (Jimo), der auf den Jupitermonden Callisto, Ganymed und Europa nach unterirdischen Ozeanen und Spuren von Leben fahnden soll. Jimo wird von einer herkömmlichen Rakete ins All geschossen und schaltet dort auf Ionen-Antrieb um, bei dem Xenon-Gas ionisiert und im elektrischen Feld beschleunigt wird. Dadurch entsteht ein Rückstoß. Gespeist wird das System von einem kleinen Atomreaktor. Auch einige der bereits eingesetzten Satelliten und

Raumsonden haben Kernbrennstoff an Bord – in Form von Plutonium-Batterien, die zur Stromerzeugung einige hundert Watt leisten. Das kann gefährlich werden, falls die Trägerrakete beim Start explodiert oder der Satellit von der Umlaufbahn abkommt. Bislang sind vier dieser Satelliten wieder auf die Erde gestürzt – ohne große Folgen.

Der Jimo-Atomreaktor hingegen bringt 100 Kilowatt Leistung und kann den Ionen-Antrieb damit monatelang speisen. Die Sonde benötigt so viel Energie, um nacheinander die drei Jupitermonde zu umkreisen. Außerdem erwägen die Nasa-Forscher, mit starken Lasern die vereisten Ozeane punktuell zu schmelzen, um die Dämpfe zu analysieren. Auch dafür liefert der Reaktor den Strom.

Eine direkte Form des Atomantriebs hat die US-Regierung noch bis in die 1970er Jahre verfolgt. Bei der „Nerva“-Rakete strömte ein Treibmittel durch die Gluthitze eines aktiven Atomreaktors und entwich mit hohem Druck durch eine Düse. Doch der heiße Reaktorkern bereitete bei Bodentests technische Probleme; hinzu kamen Sicherheitsbedenken. Dennoch gibt es noch heute Befürworter, die diesen Antrieb weiter favorisieren.

Schon als Kind hatte Ted Taylor eine Vorliebe für explosive Einfälle:
Der spätere Physiker legte eine selbst gebastelte Bombe auf Straßenbahn-Schienen



Als sich Ted Taylor 1999 vor der Bibliothek seines früheren Arbeitgebers, der Rüstungsfirma General Atomic, fotografieren lässt, hat er seine alten Träume längst als gefährlichen Irrtum erkannt. In den 1950er Jahren aber war er die treibende Kraft hinter dem Projekt Orion und versuchte, mit einem Werbefilm Sponsoren zu gewinnen



ten auch die Skeptiker auf: Taylor konnte Bomben bauen und Dyson ihre Wirkung berechnen. Dyson hatte keine Zweifel, dass Orion „funktioniert und uns den Himmel erschließt. Das Problem ist nur, dass man überzeugt sein muss, auf einer Bombe sitzen zu können, ohne dabei gebraten zu werden.“

Experimente des Air-Force-Physikers Lew Allen ließen das Orion-Team hoffen. Bei einem Atombomben-Test hängte er mit Graphit beschichtete Stahlkugeln an den Bombenturm. Sie befanden sich bei der Explosion inmitten des 150 000 Grad Celsius heißen Feuerballs. Die Kugeln flogen nicht nur überraschend weit weg – was das Antriebsprinzip von Orion bestätigte –, sondern blieben dank der Graphitschicht auch nahezu unversehrt. Allens Versuche überzeugten Kritiker, „dass die Idee, ein Raumschiff mit Atomexplosionen anzutreiben, nicht absurd war“, berichtet Dyson.

Nachdem General Dynamic und die ARPA die Startfinanzierung für Orion bewilligt hatten, wuchs das Team auf zwei Dutzend Mitarbeiter – und harmonierte bald wie ein Orchester aus lauter Virtuosen. Später übernahm die Air Force einen Großteil der Förderung, vor allem weil Orion wegen der Bomben als militärisches Projekt eingestuft wurde und die Nasa nur friedliche Missionen finanzierte.

Nun nahm Orion immer klarere Gestalt an. Äußerlich erinnerten einige Entwürfe des 4000 Tonnen schweren Raumkreuzers an eine dicke, etwa 60 Meter hohe Kirchenkuppel. Am Heck war eine massive, zehn Zentimeter starke Stahlplatte vorgesehen. Das tausend Tonnen schwere Monstrum sollte die Besatzung vor Strahlung schützen und als Schubplatte die Stöße der Atomexplosionen an das Schiff weiterleiten. Dabei bewegte sich die Platte wie ein „atomarer Vorschlaghammer“. Ein

zweistufiger Schockabsorber zwischen Schubplatte und Rumpf sollte die extreme Beschleunigung auf ein erträgliches Maß mindern.

Die 2600 Atombomben an Bord reichten nach den Berechnungen für eine zwei- bis dreijährige Reise über den Jupiter bis zum Saturn und zurück. Diese erste Mission würde, so Taylor, „zum Spektakulärsten zählen, was Menschen je gesehen haben“. Dabei sollte das Gefährt bis zu vier Atombomben pro Sekunde abfeuern – rund 350 allein bis zum Erreichen der Erdumlaufbahn.

Am 14. November 1959 erwies ein Test auf dem Versuchsgelände bei San Diego die prinzipielle Machbarkeit. Den Forschern gelang es, ein 120 Kilo leichtes Fiberglas-Modell von Orion mit fünf konventionellen Sprengladungen 56 Meter hoch in die Luft zu schießen – freilich erst nach etlichen Fehlversuchen. Waren die Ladungen zu schwach, blieb das Modell am Bo-

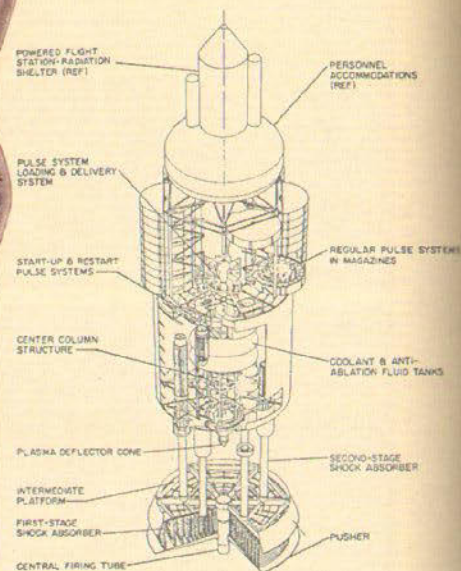
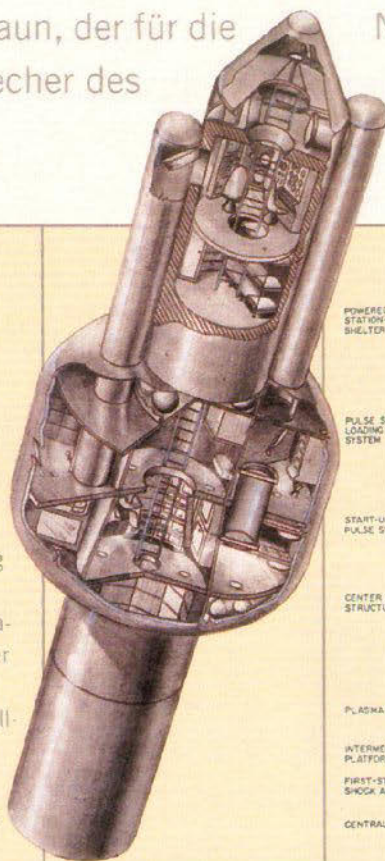
Die Testflüge machten Wernher von Braun, der für die Raketen entwickelte, zu einem Fürsprecher des

Nasa herkömmliche Projekts Orion



Auf einem Versuchsgelände bei San Diego testeten die Forscher 1959 verschiedene Modelle mit konventionellen Sprengladungen. Viele Versuche scheiterten. Der »Hot Rod« (großes Foto) brachte es schließlich auf 56 Meter Höhe

Kühn und naiv: So sollte die Innenausstattung des Mars-Raumschiffs aussehen – mit einer Navigations-Zentrale in der Spitze und Schlafkojen darunter. Mit Leitern sollten die Astronauten zu den Quartieren in der verbreiterten Mitte des Gefährts gelangen



den; waren sie zu stark, wurde es in Stücke gerissen. Ein Zeitlupenfilm des erfolgreichen Modellflugs überzeugte nicht nur skeptische Förderer, sondern auch Wernher von Braun, der mittlerweile für die Nasa im Marshall Space Flight Center in Huntsville, Alabama, konventionelle Raketen baute. Von Braun wurde ein engagierter Fürsprecher des Orion-Projekts, denn ihm war klar, dass die bemannte Raumfahrt mit chemischem Treibstoff nicht weit über den Mond hinauskommen würde.

Für Taylor und Dyson war der Erfolg von Orion eine ausgemachte Sache. Sehnsüchtig schauten sie durch ein Teleskop in Taylors Haus auf Jupiter und Saturn – und stießen mit einer Flasche Cognac an. Beide wollten beim Jungfernflug dabei sein, und Taylor erwog sogar, eines seiner vier Kinder mitzunehmen. Platz auf Orion sollte es reichlich geben – für bis zu 50 Personen. Größere Versionen, fabulierte Dyson, könnten eines Tages sogar „Kolonien von einigen tausend Menschen mit allen Annehmlichkeiten moderner Zivilisation zu Alpha Centauri bringen“.

Offizielles Reiseziel aber war zunächst der Mars. Der Erdenmond sollte gleich auf einem Weg mitbesucht werden, um dort die amerikanische Flagge aufzurichten. Zur Landung hätte das Schiff, mit dem Heck voranfliegend, eine Reihe von zusätzlichen Atomschüssen abfeuern müssen, um „Gegenschub“ zu erzeugen. Ähnlich energieintensiv wäre das Verlassen des Schwerfelds geworden. Um Bomben zu sparen, liebäugelte einer der Forscher daher mit dem winzigen Mars-Mond Phobos: Der hat mit nur etwa 26 Kilometern Durchmesser ein so schwaches Schwerfeld, dass ein Astronaut von der Oberfläche fast ins All springen könnte.

Doch je mehr sich das Orion-Team mit den Details befasste, desto deutlicher wurden die Probleme. So hätte sich das Raumschiff praktisch nur in der Schwerelosigkeit vernünftig testen lassen, etwa unter anderem wegen des komplizierten Zusammenspiels aus Bombenzündungen, Schubplatten- und Schockabsorber-Schwingungen.

Als unerwartet kompliziert erwies es sich auch, die 850 Kilo schweren Bomben vom Schiff aus in ihre Zündposition rund 60 Meter hinter der Schubplatte zu befördern: Sie sollten entweder aus seitlich neben der Platte angeordneten Rohren dorthin geschossen werden – mechanisch eine große Herausforderung – oder durch ein Loch in der Mitte der Schubplatte. Dieses Loch aber müsste vor jeder Explosion mit einer Klappe verschlossen werden – bis zu viermal pro Sekunde. Ob dies bei Tausenden Zündungen zuverlässig funktioniert hätte, war zweifelhaft. Als sicher galt hingegen, so Dyson: „Wenn die Klappe plötzlich klemmt oder eine Ladung stecken bleibt, bist du geliefert.“ Zudem war fraglich, ob die Oberfläche der Schubplatte dem über 120 000 Grad heißen Plasma auf Dauer standhalten würde.

Zunehmende Sorgen bereitete auch der radioaktive Fallout. Die exzessiven Atomversuche der 1950er Jahre hatten Strontium-90-Spuren in Kinderknochen und in der Muttermilch hinterlassen. Die USA und die Sowjetunion vereinbarten ein Testmoratorium von 1958 bis 1961, gefolgt vom Atomteststoppabkommen von 1963. Eine Orion-Mission zum Mars würde, wie Dyson errechnete, so viel Radioaktivität in der Atmosphäre hinterlassen, dass – statistisch – zehn Menschen daran stürben. Und selbst ein Teil der weit im All freigesetzten Spaltprodukte würde aufgrund ihrer elektrischen Ladung vom

Magnetfeld der Erde eingefangen und in die Lufthülle gelangen.

Für das endgültige Aus sorgte schließlich die Politik. „Orion gelang es auf einzigartige Weise, die vier einflussreichsten Bereiche des Washingtoner Establishments gegen sich aufzubringen“, erklärte Dyson 1965. Das Verteidigungsministerium war verärgert, weil Atombomben für nicht-militärische Zwecke abgezogen wurden. Die Nasa-Leitung, mit Ausnahme Wernher von Brauns, betrachtete Orion als überteuerte und unsichere Konkurrenz für die eigene Mars-Mission. Atomtest-Gegner sahen in Orion eine Fortsetzung des Rüstungswettlaufs. Und Wissenschaftler lehnten das Projekt ab, weil es – wegen der Bomben – eine derart große Geheimniskrämerei erforderte, dass der Forschung ein offener Zugang zu den Resultaten verweigert würde. Wegen dieser Probleme fanden sich für Orion am Ende keine Förderer mehr. Im Januar 1964 beschloss Nasa, Air Force und General Atomic bei einem Treffen in Huntsville, das Projekt zu beerdigen.

Bombenbauer Taylor wechselte 1966 vom Pentagon zur Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA) nach Wien – und wandelte sich zum erklärten Gegner jeglicher Atomwaffen. Heute lebt Taylor als Rentner im US-Staat New York. Nachts, berichtete er, träume er immer mal wieder von neuartigen Atombomben: „Kürzlich wachte ich um zwei Uhr auf und machte mir Notizen bis um sechs. Sie sind immer noch sinnvoll. Aber ich sehe keinen Grund mehr, sie öffentlich zu machen. Am liebsten würde ich alles vergessen.“ □

Der Hamburger Autor **Claus-Peter Sesin**, 51, schreibt seit 1985 Wissenschafts-Reportagen für GEO. Der Beitrag beruht auf dem Buch „Project Orion – The Atomic Spaceship 1957–1965“ (Henry Holt, 2002), verfasst von George Dyson, dem Sohn des am Orion-Projekt beteiligten Physikers Freeman Dyson.

DIE DRESSIERTE

VON TILL HEIN

Sergej Krasnikow hat einen ungewöhnlichen Beruf. Er forscht an Zeitmaschinen – wie inzwischen eine Reihe ebenfalls seriöser Wissenschaftler. Fast alle residieren sie in den USA oder in Großbritannien und arbeiten in gut bezahlten Forschungsteams und modernen Instituten. Der Physiker Krasnikow hingegen ist ein Einzelkämpfer – einer, der die Fesseln zu sprengen versucht, die uns Raum und Zeit auferlegen.

Der 44-Jährige lebt in St. Petersburg und wohnt aus Kostengründen bei seiner Mutter. Wie fast alle in der Familie ist auch sie Physikerin geworden. Gerade hat Sima Krasnikowa Borschtsch zubereitet, eine russische Gemüsesuppe mit Roter Bete und Sauerrahm. Anschließend gibt es Käse-Toast aus dem rostigen Mikrowellenherd.

Sergej hat es am weitesten gebracht in seiner Familie: Der Experte für Relativitätstheorie war schon am ehemaligen Forschungszentrums „Starlab“ in Brüssel tätig, wurde mit einem Förderpreis der Nasa ausgezeichnet. Ein Naturwissenschaftler, ein Vernunftmensch. Dennoch sagt er Sätze wie: „Wir werden die Grenze der Lichtgeschwindigkeit überwinden und womöglich eines Tages in andere Zeitepochen reisen.“

Die Weite seiner Gedanken wird durch die Enge des Arbeitszimmers nicht behindert. Der Schreibtisch mit dem Computer steht direkt neben dem Bett, auf dem Fensterbrett ein Aquarium, das statt Fischen Schnecken beherbergt. „Die helfen mir bei der Konzentration“, sagt Krasnikow. Manchmal sitze er einfach da und warte auf Inspiration; selten stehe er vor zwölf Uhr auf, arbeite dann aber oft bis vier Uhr in der Frühe. Derzeit hat er noch einen Forschungsauftrag an der St. Petersburger Pulkowo-Sternwarte, dort aber noch weniger Raum zum Arbeiten als zu Hause.

Eines Tages werden Menschen auch in die Vergangenheit reisen können, behauptet Sergej Krasnikow. Der russische Physiker berechnet die dafür benötigten »Wurmlöcher«



Sergej Krasnikow forscht an der Pulkowo-Sternwarte in St. Petersburg

Für seine Grundlagenforschung braucht Krasnikow allerdings kaum mehr als Stift und Papier. „Ich zeichne und berechne die Formen des Universums, die ich für Reisen durch die Raumzeit brauche“, sagt er. Seine Notizblätter zeigen abenteuerliche Kurven und Pfeile, die sich schneiden oder wild umkreisen, daneben viele Seiten lange, furchterregende Gleichungen.

Das Thema Zeitreisen ziehe ja leider viele Wahnsinnige an, bedauert Krasnikow. Seine Forschung aber nimmt die Wissenschaftlergemeinschaft durchaus ernst. „Die Vorschläge sind mathematisch völlig korrekt und mit der Relativitätstheorie vereinbar“, bekräftigt etwa H. Dieter Zeh, emeritierter Professor für Theoretische Physik an der Universität Heidelberg und aus Überzeugung skeptisch, was Zeitmaschinen betrifft. Und auch der Mathematiker und Astrophysiker Stephen Hawking hat sich mit Krasnikows Publikationen beschäftigt und ihm Tipps gegeben.

Sein erster eigener wissenschaftlicher Artikel über Wurm Löcher für die Fachzeitschrift „Journal of Gravity“ ging auf dem Postwege verloren. Erst über Bekannte, die Zugang zu einem Faxgerät hatten, klappte es schließlich doch noch mit einer Veröffentlichung.

„Die Grundidee eines Wurmloches ist eigentlich ganz einfach“, behauptet Krasnikow. „Stellen wir uns das Universum zweidimensional vor, wie dieses Blatt Papier. Dann wäre hier St. Petersburg und dort Berlin.“ In der Realität jedoch sei das Universum natürlich nicht zweidimensional: „Wenn die Raumzeit aber gekrümmt ist“ – Krasnikow wölbt das Papier –, „dann kann man durch ein Wurmloch im Nu zwischen den beiden Städten hin- und herflitzen.“

Alles, was bis heute über das Universum bekannt ist, schließt die Existenz solcher Abkürzungen durch die

Raumzeit nicht aus. „Und mit hoher Wahrscheinlichkeit erlauben Wurmlöcher sogar Ausflüge in die Vergangenheit und in die Zukunft“, sagt Krasnikow. Wohl gemerkt, dabei handelt es sich um Spekulation, rein theoretische Überlegungen, denn bisher haben Astronomen noch kein einziges Wurmloch entdeckt. „Aber auch die Existenz Schwarzer Löcher ist lange Zeit angezweifelt worden“, wendet Krasnikow ein.

Damit seine Träume eines Tages wahr werden, müsste sich allerdings die Lichtgeschwindigkeit überwinden lassen. Mithilfe eines Wurmlochs sei das kein Problem, erläutert der Physiker: „Nehmen wir an, die Orte A und B liegen drei Lichtjahre auseinander und das Raumschiff braucht durch das Wurmloch statt drei Jahren nur drei Minuten. Dann wäre es über 500 000-mal schneller als das Licht geflogen.“ Klingt einleuchtend. „Und wenn sich nun einer der Eingänge des Wurmlochs schnell genug bewegt, dann kann daraus sogar eine Zeitmaschine entstehen.“

Nach Einsteins Relativitätstheorie hat die Geschwindigkeit Einfluss auf die Zeit, erklärt der Physiker: „Nehmen wir an, wir beide sind Zwillinge, beide 44 Jahre alt“, sagt Krasnikow. „Ich bleibe hier auf der Erde, und Sie fliegen mit einer Rakete ins Weltall hinaus. Bei Ihrer Rückkehr werden Sie bemerken, dass ich sichtbar älter geworden bin als Sie.“ Ein solcher Effekt sei bereits beobachtet worden, wenn auch nicht bei Zwillingen. Dafür aber bei einem Experiment aus den 1970er Jahren mit zwei Atomuhren: Jene Uhr, die 65 Stunden lang mit einer Boeing 747 unterwegs war, tickte genau 59

Milliardstel Sekunden langsamer als jene, die am Boden geblieben war. An Bord einer Weltraumrakete wäre der Effekt natürlich ungleich größer.

Um eine Zeitmaschine zu konstruieren, müsse man lediglich Wurmloch und Zeitverlangsamung kombinieren. Das allerdings ist bislang nur ein Gedankenexperiment, gibt Krasnikow zu, das wohl erst höher entwickelte Zivilisationen in die Tat umsetzen könnten.

Eine weitere, nicht gerade unbedeutende Hürde ist die Tatsache, dass Zeitreisen in die Vergangenheit das Gesetz von Ursache und Wirkung durcheinander bringen würden. „Stellen Sie sich vor, ich plane einen Selbstmord“, sagt Krasnikow. „Ich baue heute eine Zeitma-

schine, warte bis übermorgen, steige ein, reise drei Tage zurück und bringe mich gestern um. Wie soll ich dann die Zeitmaschine gebaut haben?“ Dieser logische Widerspruch lässt sich auch auf mathematisch-physikalischer Ebene nicht auflösen. „Eine Erklärung ist daher, dass man mit Zeitmaschinen in eine Parallelwelt zurückreist und eine Kopie von sich umbringt.“

Bei allem Respekt, Herr Krasnikow, haben Sie nicht manchmal das Gefühl, dass Sie eines Tages den Kontakt mit der Realität verlieren, vor lauter Wurmlöchern und Zeitmaschinen? „Solange man noch jung und ungefestigt ist, können einem solche Theorien durchaus gefährlich werden“, räumt der Wissenschaftler ein und zündet sich eine Zigarette an, „aber in meinem Alter nicht mehr.“ Physiker hätten außerdem einen großen Vorteil gegenüber Philosophen: „Wir bewegen uns immer auf dem Boden der Tatsachen.“ □

**»Zeitmaschinen
bringen uns
in Parallelwelten
zurück«**

reisen in die Vergangenheit das Gesetz von Ursache und Wirkung durcheinander bringen würden. „Stellen Sie sich vor, ich plane einen Selbstmord“, sagt Krasnikow. „Ich baue heute eine Zeitma-

schine, warte bis übermorgen, steige ein, reise drei Tage zurück und bringe mich gestern um. Wie soll ich dann die Zeitmaschine gebaut haben?“ Dieser logische Widerspruch lässt sich auch auf mathematisch-physikalischer Ebene nicht auflösen. „Eine Erklärung ist daher, dass man mit Zeitmaschinen in eine Parallelwelt zurückreist und eine Kopie von sich umbringt.“

Bei allem Respekt, Herr Krasnikow, haben Sie nicht manchmal das Gefühl, dass Sie eines Tages den Kontakt mit der Realität verlieren, vor lauter Wurmlöchern und Zeitmaschinen? „Solange man noch jung und ungefestigt ist, können einem solche Theorien durchaus gefährlich werden“, räumt der Wissenschaftler ein und zündet sich eine Zigarette an, „aber in meinem Alter nicht mehr.“ Physiker hätten außerdem einen großen Vorteil gegenüber Philosophen: „Wir bewegen uns immer auf dem Boden der Tatsachen.“ □



Sternen- HIMMLISCHE NÄCHTE GUCKER

Als kreisten sie um ein Zentrum im All, so wirken die Bahnen der Sterne. Sichtbar gemacht hat sie eine in Richtung des Nordsterns fixierte Kamera, die über fünf Stunden lang belichtet hat. Durch die Rotation der Erde entsteht der Eindruck, als ob sich die Sterne um knapp einen Viertelkreis bewegt hätten. Der Beobachter ist der Aufnahme nachträglich hinzugefügt worden



Abends, wenn das letzte Licht der Sonne geschwunden ist, geben sie sich ganz dem Blick in die Weiten des Alls hin. Dutzende Amateur-Astronomen treffen sich jeden Herbst in New Mexico zur Star-Party: In der Gipswüste White Sands fahren sie ihre High-Tech-Teleskope auf, fachsimpeln über Brennweiten und träumen von der Entdeckung eines Kometen

Richard liegt einfach da, flach auf dem Rücken, und starrt hinauf in den Abendhimmel, wo die ersten Sterne aufglimmen. Neben ihm liegt Buford, sein Basset, müde, die langen Ohren erdenschwer. Der Hund schert sich nicht ums All.

Herrchen umso mehr. Richard Jones ist amtierender Präsident der ASLC, der Astronomical Society of Las Cruces, und sollte allmählich sein Teleskop aufbauen. Seine Nachbarn schrauben schon an ihren Guckrohren. Aber der Tag war lang, und die Nacht wird es ganz gewiss auch. Also bleibt er liegen, genießt es, nur so in den Himmel zu gucken, mit bloßen Augen, ohne Gerät, Sternenkarte und Fachliteratur. Und auf das Stück Erde hier unten, das einfach atemberaubend ist: endlose Dünen, weiß wie Schnee, vom Wind gewellt. Unwirklich schimmern sie im letzten Licht.

Nur keine Hast. Jones, ein Mittfünfziger, hat eine Menge gesehen auf Erden, vielleicht zu viel. Er ist Vietnam-Veteran; auf seinem Pick-up kleben Sticker: „Viva Bush“ und „Veterans for Cheney“. 20 Jahre war er bei der Air Force, arbeitet noch heute mit Waffen, gleich nebenan, auf der riesigen White Sands Missile Range, einem Testgelände, wo sie mit einem starken Laser Raketen abschießen.

Auch Ausflüge, etwa zum
»Very Large Array«-Radioteleskop, gehören
zum Programm der Sternen-Party



Sein Blick schweift in die Ferne. „Da oben, das ist Andromeda, dieser kleine Fleck“, sagt Jones, als es dunkel ist. Er zeigt in das Lichtermeer über der weißen Wüste. „Der nächste große Nachbar unserer Milchstraße – mehr als zwei Millionen Lichtjahre entfernt.“ Er lässt den Arm sinken. „Das macht einen demütig“, brummt er. „Unfassbar, wie klein wir sind – verglichen mit der Größe des Ganzen.“

Heute Nacht ist Star-Party in White Sands, einem Naturwunder im Tularosa-Becken, an den nördlichen Ausläufern der Chihuahuawüste. Bei Tag leuchtet alles gleißend hell. Jeder Schritt knirscht, wie im Schnee. Doch wer sich das Weiß durch die Finger rinnen lässt, fühlt, dass es Gips ist. Auf 700 Quadratkilometern, entstanden vor Millionen Jahren. Starke Südwestwinde formen die Dünen pausenlos neu.

Über der Bergkette im Westen hängt noch ein zartrosa-bläuliches Band, dann schwindet das letzte Licht. Der Aufzug der Sterne kann beginnen. Die Bedingungen sind ideal: die Luft trocken und klar, keine künstlichen Lichter weit und breit. Nur die Holloman Air Base, einige Meilen östlich, wirft ein Leuchten über die Dünen. Dort ist heute Abend Oktoberfest. Ein paar Hundert deutsche Luftwaffensoldaten, die in der Weite New Mexicos üben, haben den Brauch eingeschleppt.

Wir campieren auf einem Parkplatz, einer planierten Fläche im Gips-Wellenmeer. Da stehen selbst die wuchtigen Wohnmobile sicher. Die ersten Grillfeuer brennen, es wird rasch kühler. Unter einem Zeltdach in der Mitte des Lagers begrüßt uns Bob Ungar, einer der Organisatoren, und erinnert an die Regeln: keine Generatoren, kein helles Licht, selbst die Innenbeleuchtung der Fahrzeuge muss abgeklebt werden. Allenfalls Taschenlampen mit rotem Licht zum Lesen der Sternenkarten sind erlaubt. Wer sich daran nicht hält, hätte umgehend die 111 hier versammelten Hobby-Astronomen am Hals. Denn das Auge braucht

»Das ist doch cool
hier, gute Laune und
nette Leute«

Ron Montbrand

lange für eine gute Nachtsicht. Und die ist bei Star-Partys heilig.

Üblicherweise sind in diesem Naturpark nur Stippvisiten bei Tag gestattet. Aber für die Astronomen macht man einmal im Jahr eine Ausnahme. Ein freundlicher Ranger der Parkverwaltung mahnt zur Vorsicht. Wer in der Finsternis achtlos in die Dünen läuft, kann leicht verloren gehen. Alles schon vorgekommen.

Doch eine Star-Party ist schließlich kein Wandertag. Da will man ins Weltall gucken, möglichst weit und lange, vielleicht die ganze Nacht. Da geht man höchstens ein paar Schritte, um mal durch das Okular des Nachbarn zu spähen und zu fachsimpeln; darüber, was man am Himmel erkennt, und über die Gerätschaften: Brennweite, Öffnung, Stativ und Montierung. Und quasi-religiöse Grundfragen wie Lin sen- oder Spiegelteleskop.

Zur Einstimmung gibt es einen Vortrag im Amphitheater, einer großen



Nach der kalten Nachtschicht lassen sich Mitglieder des Astronomie-Vereins von Alamogordo von der Morgensonne und einem Kaffee wärmen

Mulde hinter der nahen Dünenkette. Eine Schar Neugieriger schaut erwartungsvoll auf ein Wägelchen mit großer Leinwand. Es erscheinen Bilder vom Mars, eine Stimme ertönt. Larry Crumpler spricht, ein Geologe aus New Mexico, der an einer Mars-Mission beteiligt war. Er führt seine Zuhörer auf den Roten Planeten, durch Krater, übers Hochland, erzählt von den beiden Mars-Fahrzeugen, an deren Bau er mitgearbeitet hat. Am Ende zeigt Crumpler ein Satellitenbild der Erde, darauf ein deutlich erkennbarer weißer Fleck: White Sands. „Leute“, sagt er, „wir sind von da draußen nicht zu übersehen.“

Was für eine milde Neumondnacht! Kein Wölkchen stört die Aussicht. Die Party kann beginnen. Verzückt stellen die Sternenfreunde ihre Geräte ein, nehmen ihre Lieblingsobjekte ins Visier. Der Mars steht im Südosten, deutlich zu sehen. Das ganze Firmament ein einziges

Gefunkel. Man meint zu fühlen, wie unser Raumschiff Erde durchs Universum schwebt.

Star-Partys kommen gewöhnlich ohne Exzesse aus. Man redet, isst einen Happen, trinkt vielleicht ein Bier miteinander. Hier sind überwiegend mittlere und ältere Semester versammelt, einige mit Familie. Dutzende Teleskope richten sich auf den Himmel. Steve Barkes, ein Programmierer, nimmt sich den Hantel-Nebel vor. Sohn Mac, gerade erst neun, hat mit seinem selbst gebauten roten Guckrohr den Andromeda-Nebel gefunden. „Good job, Mac“, lobt ihn der Vater.

Der Molekularbiologe Rich Richins hat sein Teleskop auf M13 gerichtet, einen großen Kugelsternhaufen im Sternbild Herkules. Das war nicht schwer. Das Gerät ist GPS-gesteuert, findet die einprogrammierten Sterne meist automatisch. Viele Jahre hat Richins sich als Fußball-Schiedsrichter gequält. Nun ist er Mitstreiter beim

„Project Astro“, einer Art Volkskampagne für Astronomie, und erklärt Kindern den Kosmos.

Gegenüber steht ein hübscher alter Linienbus aus Edelstahl, umgebaut zum Wohnmobil. Auf dem Grill brutzelt Fleisch, auf dem Campingtisch lockt kühles Bier. Ein Kleinkind quäkt, zwei Frauen reißen Witze über die Obsession ihrer Männer. „Das ist doch cool hier“, findet Ron Montbrand, der stolze Busbesitzer, „gute Laune und nette Leute.“

Montbrands Kumpel Ron Jarret, den sein Akzent als Mann aus dem Norden verrät, kann es gar nicht fassen, wie viele Sterne er hier im trockenen Süden sehen kann: „Bei mir in Detroit ist die Atmosphäre feuchter, schmutziger und viel zu hell.“ Jarret hat viele Hobbys – Lesen, Laufen, Radfahren, „alles, was einen vom Fernsehen abhält“, sagt er, während er sein Rohr auf M36 richtet, einen Haufen im Sternbild Fuhrmann. „Aber das hier ist nah

an der ewigen Wahrheit“, sinniert Jarret. „Wir sind endliche Wesen, die das Unendliche zu begreifen suchen. Dieser Anblick gibt mir Frieden. Damit kann ich alt werden und sterben.“ Sie reden gern über ihre Passion, öffnen Herz und Hirn. Im Dunkel zählt keine Mimik und Gestik, nur Stimme pur. Das schafft eine eigentümliche Intimität.

Jim Kunkle, ein älterer Mann, erzählt von seiner Freude, von Berggipfeln aus in den Sternenhimmel zu gucken, dieses „ultimative Physiklabor“. Und vom dauernden Streit mit seinem Pastor, der auf Gottes Schöpfung binnen sechs Tagen besteht. Wenn man sich mit Kosmologie beschäftigt, mit der Expansion aus dem Nichts, der Zeit und ihrer merkwürdigen Relativität, findet Kunkle, bekomme Schöpfung durchaus Bedeutung. „Aber alle Sterne am dritten Tag?“ Er schnaubt. „Es entstehen doch immer noch neue Sterne.“ Nein, Gott stehe außerhalb der Zeit. „Und Pastoren“, setzt er hinzu, „haben selten eine gute naturwissenschaftliche Ausbildung.“

Aus den Dünen dringt ein Jauchzen herüber – wegen einer riesigen Sternschnuppe. Alle rufen „Oooh“ und „Aaah“. „Dies ist ein spiritueller Ort“, sagt Betsy Hopson aus Mobile, Alabama. Vor langer Zeit verbrachte sie in dieser Gegend ihre Kindheit – ihr Vater war auf der Luftwaffenbasis nebenan stationiert. Schon als 13-Jährige guckte sie in die Sterne. Vor ein paar Jahren kam sie als Urlauberin wieder und war vom Himmel so verzaubert wie damals. Seither hat sie etliche Star-Partys besucht, auch Großereignisse wie in Texas, mit vielen hundert Besuchern, wo Firmen ihre Produkte feilbieten. Doch diese familiäre Veranstaltung in White Sands ist ihr die liebste. Später erzählt sie, dass der Mann, mit dem sie ihr halbes Leben verbrachte, vor kurzem gestorben ist. Sie ist auch hier, „um bei ihm zu sein“.

Manche Sternengucker sind unverkennbar Novizen. Sylvia Taylor, eine ältere Dame, kämpft zuerst mit ihren Zeltstangen, später dann mit einem teuren Teleskop. Als das Ding endlich steht, drückt sie die Tasten der GPS-



Charles Mayer richtet sein Teleskop für die nächtlichen Himmelsbeobachtungen aus. Gemeinsam



mit seiner Frau ist er im Wohnmobil aus El Paso angereist und hat sich einen windgeschützten Platz am Fuße einer Gipsdüne gesucht

Elektronik, um den ersten Stern anzuvisieren. Die Motoren schnurren, das Rohr schwenkt wild hin und her – und starrt schließlich geradewegs nach unten, in den weißen Sand. War wohl doch nicht richtig eingestellt.

Die Experten von nebenan grinsen, doch dann eilen sie zu Hilfe, justieren das Ungetüm und breiten ihr Fachwissen aus. Sylvia Taylor aus El Paso, Texas, Angestellte bei einer Krankenversicherung, hört andächtig zu. Sie

Ed Juddo lässt seine Tochter durchs selbst gebaute Dobson-Teleskop schauen



hat vor Jahren Fotos von fernen Galaxien gesehen und träumt seither davon, den Himmel mit eigenen Augen zu erobern. Sie ist glücklich, als das erste Objekt im Okular erscheint.

Die charmanten Helfer sind Ingenieure vom berühmten Los Alamos National Lab, nicht weit von hier. Was sie dort machen? „Darf ich nicht verraten“, sagt der weißhaarige Daniel Shell, „streng geheim.“ Sein Kollege Mark Bibeault hebt bedauernd die Arme.

Geschickt hantieren die beiden mit ihren Geräten. Auf einem Klappstisch liegen Sternenkarten, Listen, Bücher. Shell, zur Feier des Tages im T-Shirt mit aufgedruckten Planeten, tippt einige Tasten, schaut durchs Teleskop und ist zufrieden. „Alles, worauf ich ziele, ist sofort im Okular.“ Kein Wunder. Er kennt sein Werkzeug und den Himmel.

Die Freunde reden wenig beim Observieren, verharren lange bewegungslos auf ihren Klappstühlen, die Augen aufs Okular geheftet. „Observieren erfordert Zeit und Können“, sagt Mark Stunden später. „Ich habe mir heute Nacht nur sechs Objekte angeguckt, aber jeden Moment genossen.“ Das

Metier erfordere eine gewisse Reife, finden die beiden. Weswegen man auch selten junge Hobby-Astronomen treffe. „Du brauchst Disziplin und Geduld“, sagt Bibeault, „und nachts kann es richtig kalt werden.“

Worin also besteht der Reiz? Manche Amateure nehmen es sportlich, andere sehen es eher spirituell. Die einen wollen nur hin und wieder ein bisschen schauen, die Stille und Weite genießen. Andere fahren enorme Maschinenparks auf – Teleskope, Kamearas, Computer – und sind fast jede Nacht dabei, notieren alles, gründlich wie Wissenschaftler. Es gibt Milliarden Objekte im All. Genug, um auch erfahrene Amateure wichtige Beobachtungen und selbst Entdeckungen machen zu lassen. „Die Profis observieren ja gar nicht mehr“, sagt Bibeault. „Die verarbeiten nur noch Daten.“

Richard Jones, der Vereinspräsident aus Las Cruces, erinnert sich, wie David Levy, ein berühmter Amateur, der 21 Kometen aufgespürt hat, vor zehn Jahren im Astronomie-Club einen Vortrag hielt. Er hatte neue Bilder des gerade von ihm mitentdeckten Kometen Shoemaker-Levy 9 dabei, dessen

HOBBY-ASTRONOMEN OHNE NACHWUCHSSORGEN

Die Gemeinde der Sternengucker wächst: Die größte derartige Vereinigung der USA, die Astronomical League (www.astroleague.org/), hat ihre Mitgliederzahl seit 1990 auf rund 10 000 verdoppelt. In Deutschland sind mehr als 4000 Amateur-Astronomen in der Vereinigung der Sternfreunde (www.vds-astro.de/) organisiert. Fachmagazine wie „Sky&Telescope“ oder „Sterne und Weltraum“ können auf eine treue Leserschaft zählen; die Teleskophersteller vermelden Verkaufsrekorde.

Eine semi-professionelle Ausrüstung für einige tausend Euro leistet heute Dinge, die vor ein paar Jahren nur ein Profi-Teleskop

vermochte: Sterne auf Knopfdruck per GPS finden, Objekte verfolgen und Himmelskonstellationen abgleichen.

Seit langem existieren auch Amateur-Netzwerke für spezielle Aufgaben: Die American Association of Variable Star Observers (AAVSO) hat weltweit etwa 700 Beobachter, die nach Helligkeitsunterschieden bei Sternen Ausschau halten, und sie betreibt bereits seit 1911 eine Datenbank, in der sich heute über zehn Millionen Einträge finden. Beim Nasa-Projekt „Transit Search“ helfen Amateure mit normalen Teleskopen und Digitalkameras bei der Suche nach Planeten. Ein Zentrum für Hinterhof-Astrophysik an der New Yorker Columbia University organisiert weltweit Beobachtungsaktionen für kataklysmische Doppelsterne – Sternenpaare, bei denen zum Beispiel Gas

auf einen Weißen Zwerg strömt und sich irgendwann in einer thermonuklearen Explosion entzündet. Die deutsche Vereinigung der Sternfreunde bietet unter anderem Fachgruppen für den Selbstbau von Teleskopen, für Computer-Astronomie und atmosphärische Erscheinungen – womit jedoch keine Ufos gemeint sind, sondern Meteore und Regenbogen.

Wichtige Veränderungen am Himmel werden von Amateur-Astronomen per E-Mail an Gleichgesinnte in aller Welt gemeldet. Manche Supernova konnte so früh entdeckt und ausführlich studiert werden. Zuweilen alarmieren die Amateure auch Profis oder gleich die Nasa – damit deren hochempfindliche Satelliten-Optik im entscheidenden Moment das richtige Objekt erfasst.

Tom Schimmeck



»Unfassbar, wie klein wir sind – verglichen mit der Größe des Ganzen«

Richard Jones

Der meist wolkenlose Himmel und die trockene Luft über der Wüste White Sands sind für die Sternenfreunde perfekt

Einzelteile 1994 spektakulär in den Jupiter krachten. Seither hat sich Jones der Astronomie verschrieben.

Levy ist einer der Leitsterne der Astronomen-Gemeinde. Genau wie Clyde Tombaugh, Mitgründer des Clubs von Las Cruces, ein Bauernjunge aus Illinois, der anno 1930, mit 24 Jahren, den Planeten Pluto entdeckte. Tombaugh konstruierte schon als Kind eigene Guckrohre, baute sich einen 23-Zentimeter-Reflektor – aus einem selbst geschliffenen Spiegel, Teilen einer Milchzentrifuge und der Kurbelwelle von Papas altem Buick. Seine filigranen Zeichnungen von Jupiter und Mars machten am Lowell Observatorium in Arizona so viel Eindruck, dass man ihm einen Job anbot. Dort entdeckte Tombaugh den neunten Planeten, indem er Woche um Woche Himmelsregionen nach sich bewegend Lichtpunkten absuchte.

Solche Geschichten sind Ansporn für passionierte Hobby-Gucker: mit Glück einen neuen Kometen aufspüren, einen Asteroiden oder eine Supernova. Um des Augenblicks der Entdeckung willen. Oder um den eigenen Namen im Weltall zu verewigen. Ein wenig besessen sollte man schon sein. Und mit wenig Schlaf auskommen, weil die meisten nach langen Nächten

des Observierens einer geregelten Arbeit nachgehen.

Im Morgenlicht sehen viele Star-Party-Gäste etwas mitgenommen aus. Mit kleinen Augen blinzeln sie in den aufziehenden Tag, eine Tasse Kaffee in der Hand. Im nahe gelegenen Alamogordo, neben dem Museum für die Geschichte der Weltraumforschung, wartet auf sie eine kleine Tauschbörse, dazu eine Reihe von Workshops über Teleskopbau und Digitalfotografie.

Der ganze Bundesstaat New Mexico scheint dem Himmel zugewandt. Seit 1999 gibt es hier ein Gesetz gegen „Lichtverschmutzung“ – damit nicht allzu viele Lampen das Sternenzelt aufhellen. Die Air Force trainiert gern in den kargen Weiten mit der klaren Sicht. Und in den Bergen stehen etliche Sternwarten: in den Sacramento Mountains, auf 2800 Meter Höhe, das Nationale Sonnenobservatorium; gleich daneben Apache Point Observatorium, Standort des Sloan Digital Sky Survey, bei dem große Teile des Kosmos dreidimensional kartiert werden; nordöstlich erstreckt sich das Very Large Array, ein Komplex aus 27 Radioteleskopen, die tief ins All lauschen.

Schon die indianische Urbevölkerung hat in New Mexico die Sterne stu-

diert. Später entfachte der weiße Mann hier sein größtes Feuer: Am Nordrand der White Sands Missile Range liegt Trinity Site, wo am 16. Juli 1945 die erste Atombombe gezündet wurde. Die Hitze schmolz den Wüstensand zu Glas. Am Straßenrand verkaufen Einheimische dieses „Trinitite“ in kleinen Plastiktütchen.

Gegen Abend belebt sich der Parkplatz in den weißen Dünen wieder. Die Öffentlichkeit ist ins Astro-Camp eingeladen. Familien wandern von Teleskop zu Teleskop, schauen, staunen und lauschen den Erklärungen. Viele Stative sind mit rot blinkenden Lämpchen markiert – damit die Besucher sie im Dunkeln nicht umrennen.

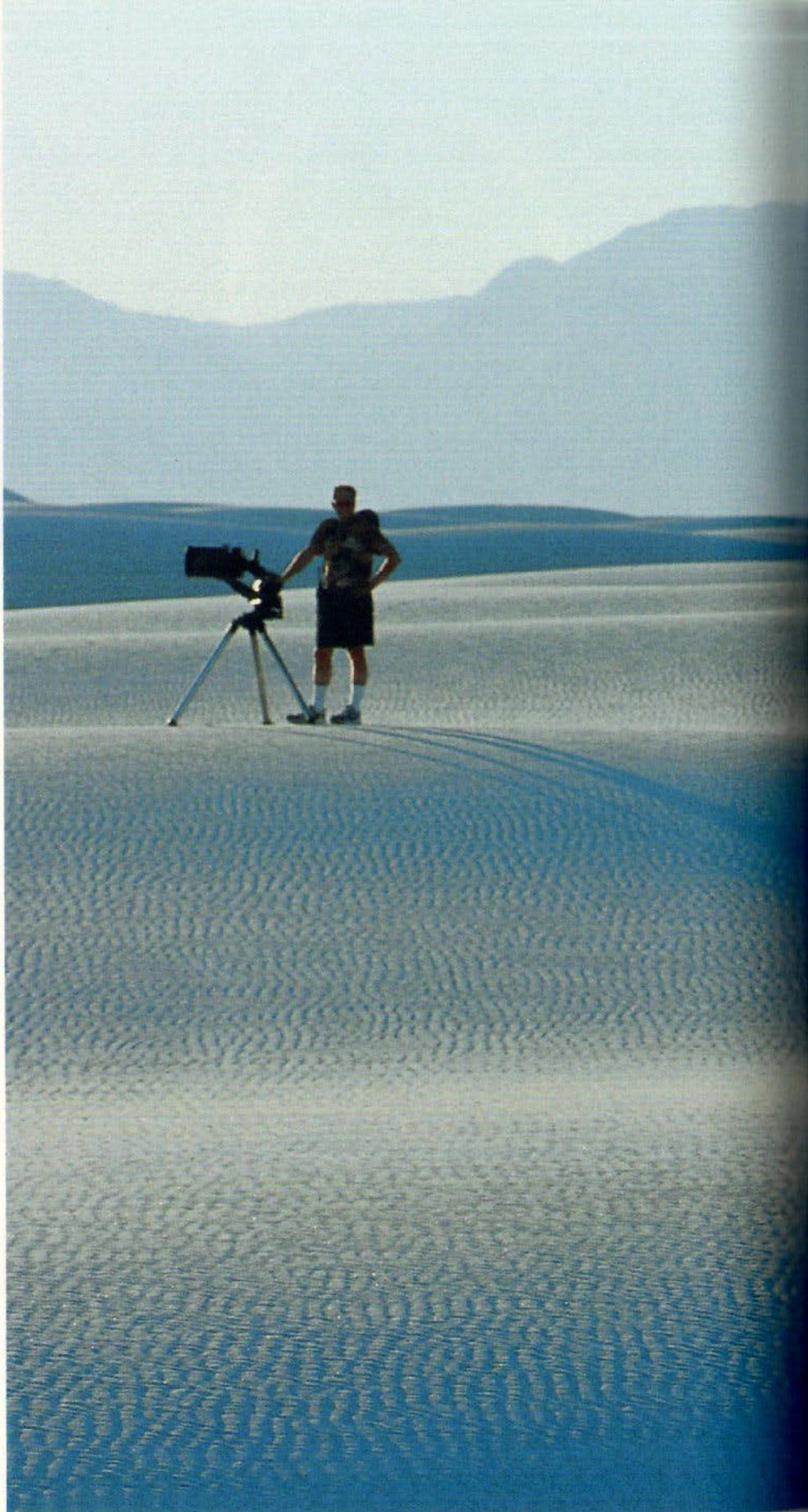
Jones hat sein Teleskop wieder aufgebaut und auf die Galaxien M81 und M82 gerichtet. Sein Hund Buford liegt wie immer reglos zu seinen Füßen, ignoriert die Neugierigen. Neben ihnen steht Nils Allen mit seinen „Dobsonians“ – großen, offenen Teleskopgestellen Marke Eigenbau, montiert auf einer Holzkonstruktion. Am Boden fängt ein Spiegel das ferne Licht ein, bündelt es und schickt es zum Okular am oberen Ende.

Ein Teleskop ist auf M51 gerichtet, eine Spiralgalaxie wie unsere Milchstraße, im Sternbild Jagdhunde. Der

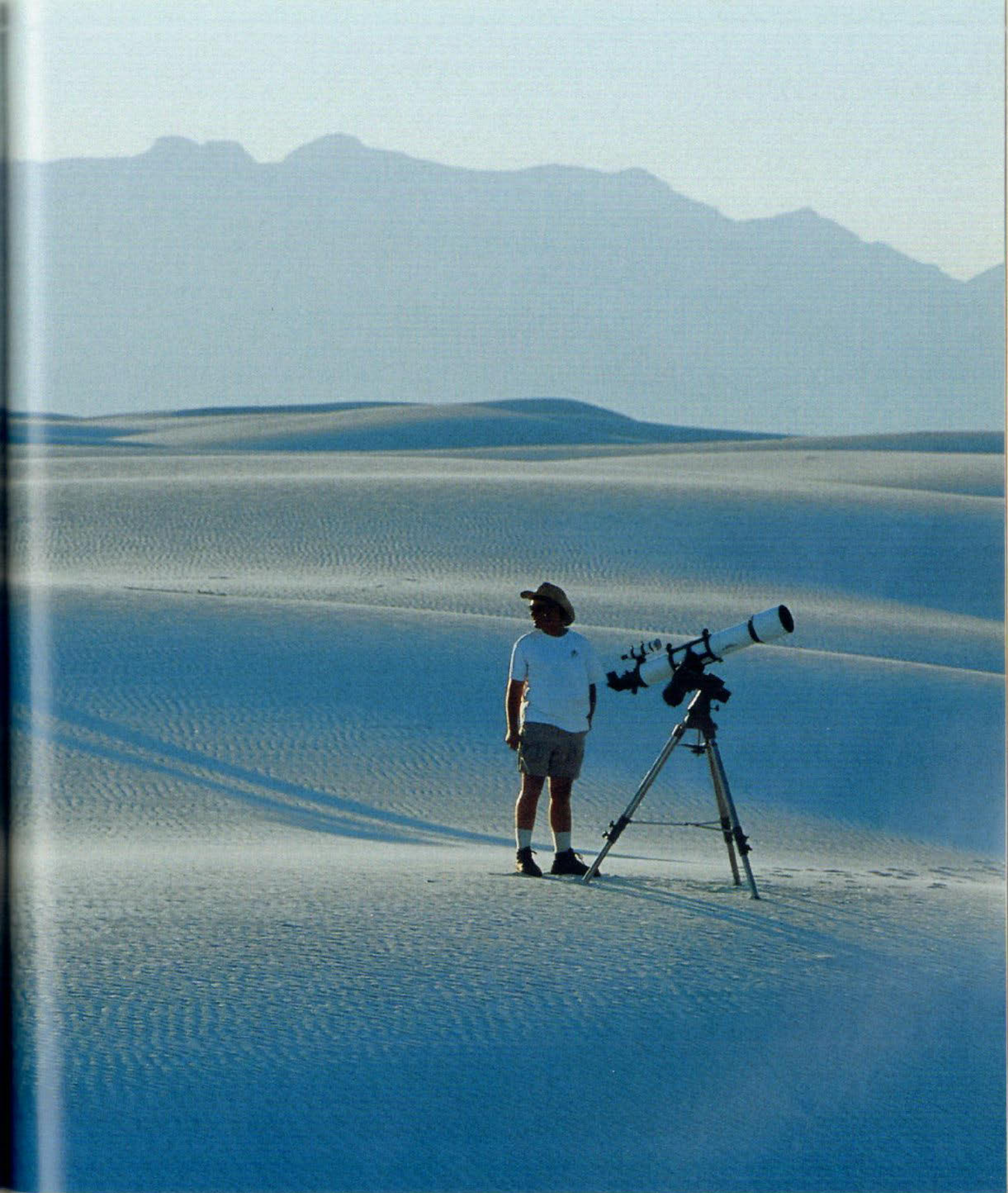
Strudel erinnert an ein umgekipptes Riesenkomma. Das andere, zwei Meter hohe Monstrum mit einem schweren, selbst geschliffenen 43-Zentimeter-Spiegel ist fixiert auf Albireo, das Auge des Sternbilds Schwans. Alle paar Minuten steigt Allen auf eine Trittleiter, um das Gerät nachzujustieren und den Doppelstern wieder in die Bildmitte zu rücken. „Das Baumaterial ist Standardzeug, das man in jedem Baumarkt findet“, sagt der Konstrukteur stolz. Das Gerät sei vor allem „für etwas entferntere Objekte geeignet“; der Mond beispielsweise sei viel zu hell, da könne man „Augenschäden bekommen“.

Etwas entfernter! Astronomen haben ein ganz eigenes Raumgefühl. Albireo ist 390 Lichtjahre entfernt, also mehr als 3,6 Billionen Kilometer. Zum Vergleich: „Voyager 1“, das am weitesten von Menschen ausgesandte Objekt, gestartet 1977, hat in einem Vierteljahrhundert erst knapp 14 Milliarden Kilometer zurückgelegt – und damit gerade einen halben Lichttag geschafft. Albireo steht unserem Sonnensystem also noch relativ nah. Andromeda, die Nachbar-Galaxie, ist schon über zwei Millionen Lichtjahre entfernt. Um dorthin zu gelangen, müsste „Voyager 1“ noch etliche Milliarden Jahre weiterfliegen. Unvorstellbar.

Zu vorgerückter Stunde, die Gäste haben das Camp längst verlassen, weht ein frostiger Wind über die Dünen. Steve Barkes und Dave Dockery sind konzentriert über die heruntergedimmten, rötlich schimmernden Monitore ihrer Laptops gebeugt, mit denen sie die Teleskope und Kameras steuern. Barkes hat gerade eine Aufnahme verpatzt. Auch Dockery sieht nicht glücklich aus. Er ringt seit Stunden mit der von ihm selbst programmierten Software, die das Teleskop exakt im Lauf der Gestirne führen soll – entscheidend, wenn man ein Bild eine Stunde lang belichtet. Es ist drei Uhr morgens. Lieber würde er sich jetzt in seinen Klappsessel fläzen, die Geräte schnurren hören und sich noch einen seiner köstlichen Burger mit frischem grünen Chili genehmigen. Soll aber



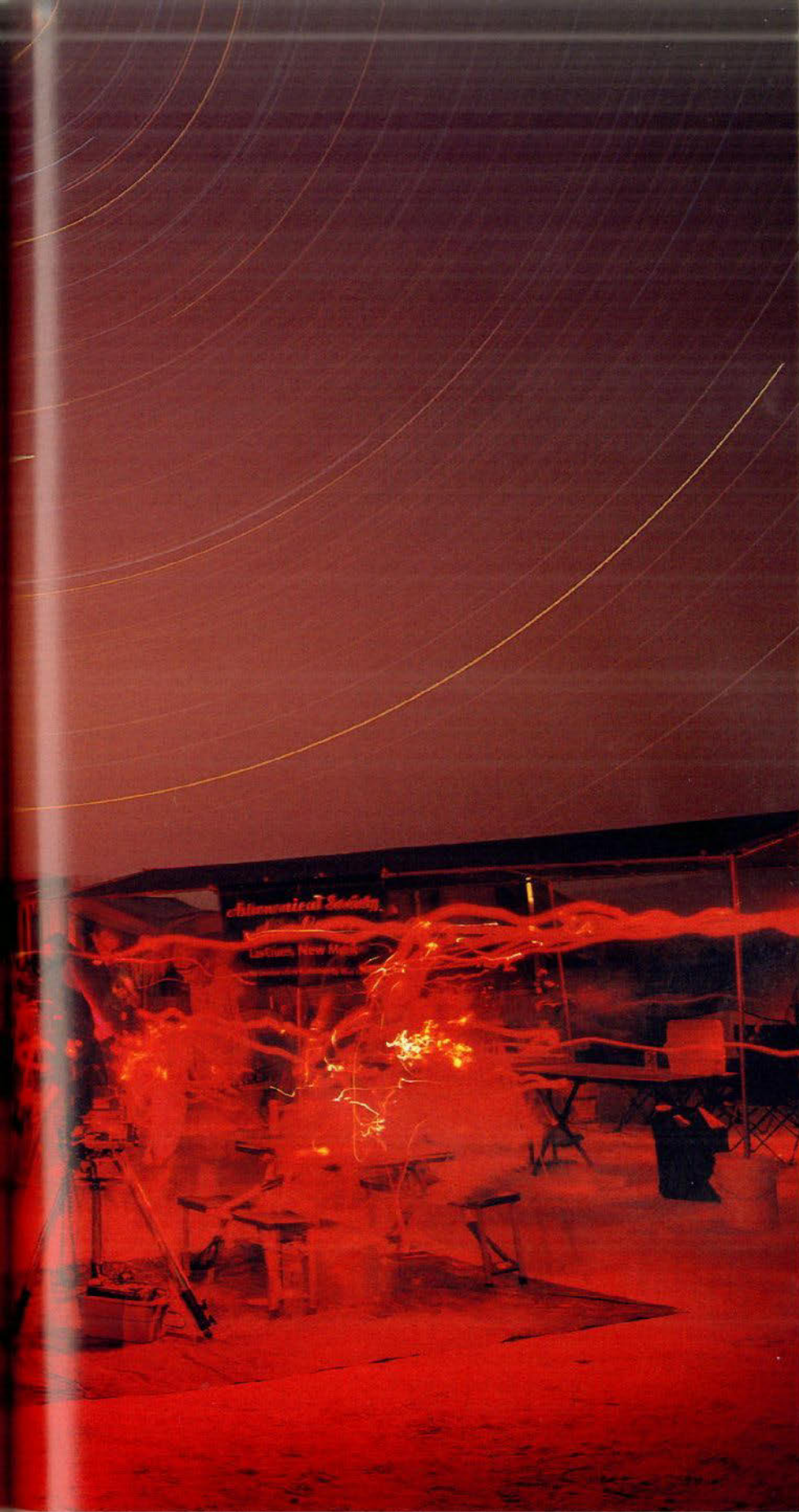
Warten, bis es dunkel ist: Schon Stunden vor Sonnenuntergang sucht John Cornicelli (re.) einen



Platz für sein Teleskop. Die Sternenbeobachtung ist sein Hobby, tagsüber erforscht er Sonnenstürme an einem nahe gelegenen Observatorium



Um die Gewöhnung des Auges an die Dunkelheit nicht zu stören, ist nachts nur rotes Licht erlaubt, etwa für die Markierung der Stative. Vorsorglich



nicht sein. „Ich habe immer die Natur und die Technik geliebt“, murrte Dockery heiser, „aber manchmal kommen sie einfach nicht zusammen.“

Um fünf, nach einem Nickerchen, sind Mark Bibeaault, Daniel Shell und John Cornicelli wieder auf den Beinen. Der eisige Wind weht immer noch, uns ist kalt, und die Nasen laufen. Doch die Sterne locken mehr als die Schlafsäcke.

Soeben ist Jupiter über dem Horizont aufgetaucht. Durch Shells Teleskop sind seine Monde zu sehen, in einer Linie aufgereiht. Wir reden über Galileo Galilei und was er mit seinem einfachen Fernrohr vor bald 400 Jahren alles entdeckt hat. Über die Verwundbarkeit der Erde und die Wucht anfliegender Meteoren. Und wie es sich wohl anfühlen mag, im Weltraum zu schweben. Bibeaault und Cornicelli, beide Mitte 30, gestehen, dass sie sich seit langem bei der Nasa als Astronauten bewerben, wie Tausende Amerikaner. Alle Jahre wieder.

„Ich wollte immer Astronaut werden“, sagt Bibeaault und macht sich Mut: „Die nehmen auch Ältere. Die wollen Erfahrung.“ Cornicelli fixiert derweil irgendeinen fernen Stern. „Guckt mal“, ruft er plötzlich, „da hält einer ein Schild hoch. Ich kann lesen, was draufsteht: Bleibt, wo ihr seid!“

Am Vormittag schüttelt eine müde, zufriedene Schar den weißen Staub aus den Sachen und packt zusammen. Ein paar Kinder rodeln schnell noch einmal auf Plastikschaalen die Gipshänge hinunter. Richard Jones fährt in seinem Chevy davon, mit Buford auf dem Beifahrersitz. „Er hat seit Tagen kaum gegessen“, hat Herrchen berichtet. „Na ja, vielleicht vor Aufregung.“ □



Für den Fotografen Louie Psihoyos, 46, aus Boulder, Colorado, war der Auftrag eine ungewöhnliche Herausforderung: Bei den Nachtaufnahmen durfte er kein Blitzlicht benutzen. Der im Wendland lebende Reporter Tom Schimmeck, 44, konnte sich bei den nächtlichen Unterhaltungen zumindest im roten Licht einer Taschenlampe Notizen machen.

muss selbst die Innenraumbelichtung der Autos abgekliebt werden

DAS WELTRAUM

Rechnen, tüfteln, lesen – mit diesen Fertigkeiten wird es Ihnen sicher gelingen, die folgenden

1 Warum wird der erste Flug ins All, den der Russe Jurij Gagarin 1961 unternahm, auch als Jahrhundertflüge bezeichnet?

- a weil die Sojus-Kapsel das All gar nicht erreicht hat
- b weil Gagarin nicht mit der Raumkapsel auf der Erde gelandet, sondern vorher mit dem Fallschirm abgesprungen ist
- c weil der Flug nur simuliert wurde
- d weil kein Mensch an Bord der Sojus-Kapsel war, sondern Gagarin mit dem Auto zum Landeort gebracht wurde

2 Auf eine Kugel von welchem Durchmesser müsste man die Erde zusammendrücken, damit sie zu einem Schwarzen Loch wird?

- a 2 Kilometer
- b 2 Meter
- c 2 Zentimeter
- d 2 Millimeter



Illustrationen von Clemens Maurer

3 Wenn man die Geschichte des Universums in ein Jahr packt: An welchem Tag wären Sonne und Erde entstanden?

- a 9. März
- b 9. Juni
- c 9. September
- d 9. Dezember

4 Denkt man sich die Sonne in der Größe eines Tennisballs – wie weit etwa wäre der nächst gelegene Stern, Proxima Centauri, entfernt?

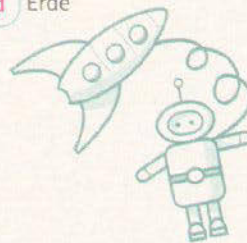
- a einige Meter
- b einige Kilometer
- c einige hundert Kilometer
- d einige tausend Kilometer

5 Von wem stammt der Satz „Die Ewigkeit ist sehr lang, besonders zum Ende hin“?

- a Woody Allen
- b George W. Bush
- c Helmut Kohl
- d Harald Schmidt

6 Der griechische Philosoph Thales von Milet hat sich Gedanken darüber gemacht, ob nicht alle Dinge der Natur verschiedene Erscheinungsform ein und desselben sind. Was vermutete er hinter allem?

- a Luft
- b Wasser
- c Feuer
- d Erde



7 In der Stringtheorie der Physiker tauchen unvorstellbar kleine Fäden auf, in denen sich unbekannte Dimensionen verstecken. In welchem Größenverhältnis stehen sie zu einem Staubkorn?

- a wie ein Staubkorn zu einem Fußball
- b wie ein Staubkorn zum Mount Everest
- c wie ein Staubkorn zur Erde
- d wie ein Staubkorn zum gesamten Universum

8 Die Gezeitenkräfte haben nicht nur Einfluss auf die Ozeane, sondern auch auf die Landmassen. Wie stark heben sich Landmassen?

- a zu gering, um messbar zu sein
- b bis zu einem Millimeter
- c bis zu einem Zentimeter
- d bis zu einem halben Meter

9 Was könnten Außerirdische sehen, wenn sie von einem 60 Lichtjahre entfernten Planeten auf die Erde blickten?

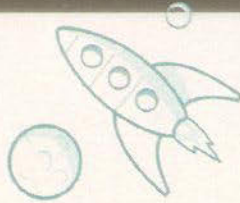
- a das, was an diesem Tag auf der Erde geschieht
- b das, was in 60 Jahren auf der Erde geschieht
- c die Endphase des Zweiten Weltkriegs
- d den Fall der Berliner Mauer



10 Wie lange wäre ein durchschnittlich schnelles Verkehrsflugzeug bis zum Mars unterwegs?

- a etwa sechs Wochen
- b etwa sechs Monate
- c etwa sechs Jahre
- d etwa sechs Jahrzehnte

RÄTSEL



Fragen zu beantworten. Kleiner Tipp: Einige Lösungen verstecken sich auch im Heft

11 Was konnten die Apollo-Astronauten bei ihren Weltraum-Spaziergängen nicht tun?

- a Energieriegel knabbern
- b E-Mail schreiben
- c Orangensaft trinken
- d Windel benutzen

12 Wie viele Menschen haben bislang den Boden des Mondes betreten?

- a 8
- b 10
- c 12
- d 14



Notieren Sie die Lösungsbuchstaben auf einer Postkarte und schicken Sie diese an:

GEO WISSEN
STICHWORT:
WELTRAUMRÄTSEL
20444 Hamburg

Einsendeschluss ist der 12. September 2004.

Mitarbeiter des Verlags Gruner+Jahr dürfen nicht teilnehmen. Nur ausreichend frankierte Postkarten gehen in die Verlosung ein. Die Gewinner werden schriftlich benachrichtigt, die Namen und Lösungen Anfang Oktober unter www.geo.de/weltraumraetsel veröffentlicht. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

1. Preis

eine 15-tägige Gebeco-Reise „Chile – Erlebnis einzigartiger Geographie“ für zwei Personen, inklusive einer dreitägigen Verlängerung mit Besuch der Europäischen Südsternwarte La Silla im Wert von etwa 7500 Euro

Die Tour des Studien- und Erlebnisreiseveranstalters Gebeco (www.gebeco.de) führt Sie von Santiago de Chile aus unter anderem zum bizarren Mondtal, verlassenen Salpeterminen-Siedlungen, einem 4200 Meter hoch gelegenen Geysirfeld, den Petrohue-Wasserfällen und dem Nationalpark Torres del



Nationalpark Torres del Paine

Paine. Für die Gewinner schließt sich ein Besuch der Europäischen Südsternwarte La Silla am Rande der Atacama-Wüste an.

LANCHILE
Die chilenische Fluglinie

Gebeco
LÄNDER ERLEBEN

2. Preis

ein Meade-Teleskop ETX-105AT im Wert von ca. 1100 Euro



Die hochwertige Sternwarte für zu Hause und unterwegs. Das ETX übersteigt in Bildkontrast, Auflösung und Helligkeit oftmals die Qualität von Teleskopen mit höheren Objektivdurchmessern. Mit dem Autostar Handcomputer lässt sich nahezu jede Funktion per Tasteneingabe ansteuern. In einer

Datenbank sind alle wichtigen Himmelsobjekte abgespeichert und lassen sich per Knopfdruck ansteuern – ohne Vorkenntnisse, ohne PC. Das stabile, höhenverstellbare Stativ verschafft dem Teleskop einen erschütterungsfreien Stand.

die Sonne, Sonnenfinsternisse und -flecken beobachten – ohne Gefahr für die Augen. Das Gerät ist auch bestens geeignet, um den Venustransit durch die Sonne am 8. Juni 2004 zu verfolgen.

3.–17. Preis

ein Solarscope im Wert von ca. 50 Euro



Ein didaktisches Instrument für die Tageslicht-Astronomie. Mit dem Solarscope lassen sich allein oder in größeren Gruppen

18.–37. Preis



ein Bildband „Kunstwerk Erde“ oder „Jenseits des Blauen Planeten“ im Wert von ca. 50 Euro

Nähere Beschreibung siehe Seite 173

WISSEN kompakt

AUS FORSCHUNG UND GESELLSCHAFT

TELESKOPE

Besser sehen mit Eule und Alma

Tiefer, schärfer, schneller: Mithilfe neuer Teleskop-Techniken wollen Astrophysiker die kosmische Evolution erklären

Die Vulkane Mauna Kea auf Hawaii und Roque de los Muchachos auf der Kanaren-Insel La Palma, einige Berge in den Wüsten Chiles und je ein Gipfel in Texas und in Arizona mögen passionierten Bergsteigern keine echte Herausforderung bieten – für Astronomen aber sind sie Top-Reiseziele. Ihr Vorzug: Sie liegen in wolkenarmen Regionen und bieten freien Blick in den Himmel. Die zwei bis vier Kilometer hohen Erhebungen sind daher besonders gut geeignet als Standorte neuer optischer Teleskope, allesamt ausgerüstet mit einem lange Zeit für unmöglich gehaltenen Spiegeldurchmesser von mehr als acht Metern.

Zwei Vorzüge zeichnen diese Geräte aus:

- Sie können von einer Himmelsregion Digitalfotos aufnehmen, die etwa 100-mal so scharf sind wie Aufnahmen von vor 20 Jahren.
- Sie analysieren mithilfe von Spektrographen die Farbzusammensetzung des Sternenlichts; daraus lässt sich auf die Bewegung der Himmelskörper schließen, ihre chemische Zusammensetzung und Temperatur.

Zu einer ähnlich radikalen Verbesserung der Beobachtungstechnik kam es zuletzt vor einem

halben Jahrhundert, als ein Fünf-Meter-Spiegel auf dem kalifornischen Mount Palomar errichtet wurde und das Zeitalter der modernen Astrophysik begann. Heute ist es erklärtes Ziel der Wissenschaftler, mittels der neuen Teleskope die gesamte kosmische Evolution vom Urknall bis heute als nachvollziehbaren und in den Grundzügen vorhersagbaren Gesamtvorgang abzubilden.

Warum aber so viele Geräte, die letztlich alle das Gleiche leisten? Zwar ist es immer derselbe Himmel, den die Astronomen absuchen, doch der Ausschnitt, den ein Teleskop bei einem Blick ins All tage- oder wochenlang untersucht, ist winzig klein – in der Regel nicht mehr als ein Zehnmillionstel des von der Erde aus sichtbaren Firmaments. Dort aber gibt es allein in der Milchstraße rund 100 Milliarden Sterne – und darüber hinaus weitere 100 Milliarden Galaxien, die beobachtet werden können.

Neben optischen Teleskopen nutzen Astrophysiker auch so genannte Radioteleskope, die über gewaltige Empfangsantennen in Schüsselform verfügen. Mit ihrer Hilfe wollen sie den Rätseln bei der Entstehung von Sonnen und Planeten auf die Spur kommen. Selbst in der Milchstraße entsteht und vergeht noch immer jedes Jahr ein Stern. Die eingefangene langwellige Strahlung solcher Himmelskörper durchdringt die staubgeschwängerten Geburtswolken.

Das ehrgeizigste Projekt der nächsten Jahre ist „Alma“, das Atacama Large Millimeter Array, bestehend aus 64 mobilen Empfangsantennen mit je zwölf Me-

ter Durchmesser. Die Europäische Südsternwarte (Eso) lässt dieses Schlüssel-Ensemble vom Jahr 2005 an auf einem 5000 Meter hohen Plateau in der chilenischen Atacama-Wüste errichten. Jede Antenne wird auf denselben Himmelsausschnitt ausgerichtet. Die aufgefangenen Signale werden mit Computerhilfe zusammengefasst, wodurch ein Bild entsteht, das vielfach schärfer ist als eine Einzelaufnahme. Dieses „Interferometrie“ genannte Verfahren macht die fahrbaren Antennen zu einem gigantischen Zoom-Objektiv: Je weiter sich die Schlüssel voneinander fort bewegen, desto detailreicher das Bild.

Zwischen Radiowellen und sichtbarem Licht liegt im Spektrum die infrarote Wärmestrahlung. Ein weiter Frequenzbereich kann jedoch nur im All genau gemessen werden, da die Erdatmosphäre ihn vollständig ver-





schluckt. Das ist ein Fall für Hubble: Das um die Erde kreisende US-Weltraumteleskop registriert mit einem 2,4-Meter-Spiegel die kurzwelligen Anteile der Infrarotstrahlung und kann auf diese Weise in die frühe Entwicklungsphase des Universums zurückblicken: Die allerfernsten und damit ältesten Galaxien haben zwar ursprünglich auch sichtbares Licht ausgesendet, die Expansion des Weltraums aber hat die Lichtwellen derart gedehnt, dass sie heute nur noch als Infrarotstrahlung auf der Erde ankommen.

Nach und nach sollen drei neue Infrarot-Weltraumteleskope, ausgerüstet mit Kameras und Spektrographen auch für langwellige Infrarotstrahlung, den Blick noch erweitern und schließlich Hubble ablösen: der Nasa-Satellit „SIRTF“ (ab 2004, mit 0,85 Meter Spiegeldurchmesser), das Esa-Weltraumteleskop „Herschel“ (ab 2007, mit 3,5 Meter Durchmesser) und das

amerikanisch-europäische „James Webb Space Telescope“ (ab 2011, mit 6,5 Meter Durchmesser).

Neben optischen Teleskopen und Radioteleskopen sind Röntgenteleskope eine dritte Art in der Familie der Himmelerforscher. Zu den Quellen dieser energiereichen und durchdringenden kurzwelligen Strahlung zählen die heißen Explosionswolken von Supernovae, das extrem dünne und heiße intergalaktische Gas sowie Himmelskörper mit starken Magnetfeldern, wie Neutronensterne und Schwarze Löcher.

Die Nachfolge des erfolgreichen europäischen Röntgensatelliten „Rosat“ haben jüngst der amerikanische Satellit „Chandra“ und der europäische „XMM-Newton“ angetreten. Und die europäische Weltraumagentur Esa bereitet sich schon auf „Xeus“ vor, ein Satelliten-Tandem, dass mit 50 Meter Abstand durchs All rauschen soll: Der eine Satellit bündelt die

Strahlung, der andere empfängt das Bild. Xeus soll Röntgenquellen in bis zu 13 Milliarden Lichtjahren Entfernung aufspüren können, aus einer Zeit nur wenige hundert Millionen Jahre nach dem Urknall.

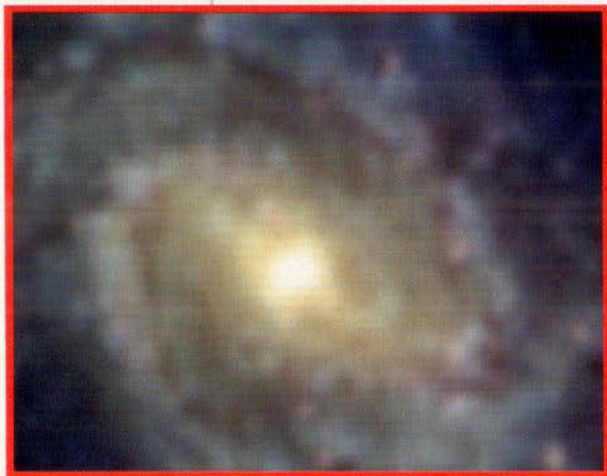
Stellt schon der Paarlauf der Xeus-Satelliten hohe Anforderungen an die Raumflugtechnik, so verlangt „Lisa“ (Laserinterferometer Space Antenna) geradezu Künstler am Steuerpult: Vom Jahr 2010 an wollen Nasa und Esa drei identische Raumsonden um die Sonne kreisen lassen. Die Flugobjekte sollen ein gleichseitiges Dreieck mit fünf Millionen Kilometer Seitenlänge bilden. Um selbst winzigste Kurskorrekturen zu ermöglichen, müssen die Antriebsdüsen der Sonden so konstruiert sein, dass sie einzelne Gasatome ausstoßen können.

Lisa soll so genannte Gravitationswellen aufspüren, die unser Planetensystem mit Licht-

Eine Langzeitbelichtung macht die Bewegung der Antenne des australischen Parkes-Radioteleskops sichtbar. Deren Schüsselform ist charakteristisch für Teleskope, die langwellige Strahlung von Sternen einfangen



geschwindigkeit durchleiten; sie entstehen, wenn Supernovae explodieren oder zwei Schwarze Löcher kollidieren. Die messbaren Effekte der Wellen sind winzig, lassen sich aber mit Laserstrahlen nachweisen, die zwischen den Sonden hin- und hergeschickt werden. Dabei ändert sich



Oben eine Hubble-Aufnahme, darunter eine heute mögliche Ausschnittsvergrößerung. Ganz unten die Simulation einer verbesserten Auflösung durch einen neuen Teleskop-Typ

die Länge der Lichtwege im Takt der Gravitationswellen: um vermutlich 0,000 000 000 5 Millimeter, etwa einem hundertstel des Durchmessers eines Wasserstoffatoms.

Auch die Technik der erdgebundenen Teleskope wird weiter entwickelt. Um die Bildschärfe zu

steigern, will etwa die Eso das Prinzip der interferometrischen Kopplung auch für optische Teleskope einsetzen – und testet dies derzeit bei den vier 8,2-Meter-Spiegeln des Very Large Telescope in Chile. Das soll beispielsweise Strukturen von nur wenigen Zentimetern Größe auf der Mondoberfläche erkennen, so etwa die Fußspur von Neil Armstrong.

Und in etwa zehn Jahren möchte die Eso mit der Montage eines 100-Meter-Spiegels beginnen, des Overwhelmingly Large Telescope, kurz OWL genannt („owl“, englisch für „Eule“). Das rund 800 Millionen Euro teure Gerät soll derart lichtstark sein, dass mit ihm eine Aufnahme aus den Tiefen des Alls, für die selbst Hubble zehn Tage lang belichten müsste, innerhalb von zehn Minuten gelingt.

Doch die Himmelskörper offenbaren längst nicht all ihre Geheimnisse allein durch die Betrachtung aus der Ferne. Die Missionen „Cassini“ und „Rosetta“ fliegen deshalb ihr Ziel direkt an. Die Nasa-Sonde Cassini ist bereits auf dem Weg zum Saturn, um dessen Atmosphäre, Ringe und Monde zu erforschen; im Januar 2005 soll die Landesonde Huygens auf dem von dichten Wolken verhüllten Saturnmond Titan landen, auf dem Bedingungen wie auf der Erde in ihrer Frühzeit vermutet werden.

Die im Februar 2004 gestartete Esa-Sonde Rosetta wird 2014 den Kometen Churyumov-Gerasimenko anfliegen und ihn danach auf seiner Bahn durch das Sonnensystem begleiten. Ein Roboter soll auf dem Körper aus Staub und Eis landen und ihn chemisch analysieren; im Eis des Kometen haben sich wahrscheinlich selbst komplexe chemische Verbindungen aus der Entstehungsphase des Planetensystems erhalten.

Für manche bedeutsame Erkenntnis brauchen die Astronomen jedoch nicht in die Tiefen des Alls zu spähen, sondern nur in die Abgründe ihrer Datenbanken. Denn dort verdoppelt sich jedes Jahr die Menge an digitalisierten Informationen; und zum Teil sind sie nicht einmal ausgewertet. Astrophysiker haben weltweit Initiativen gestartet, um die

Datenbestände zu vernetzen und jedem Interessenten zugänglich zu machen. Ziel ist ein so genanntes virtuelles Verbund-Teleskop. US-Astronomen entdeckten schon beim Testlauf der Software ihres „National Virtual Observatory“ plötzlich Objekte, die bislang niemandem aufgefallen waren: Braune Zwerge – Sterne, deren Wasserstoff-Kernfusion nicht gezündet hat und deren Signale bislang als Messstörungen interpretiert worden waren.

Ulf Borgeest

PSYCHOLOGIE

Klaustrophobie im Kosmos

Ein Flug zum Mars wird Astronauten vor ganz neue Probleme stellen: Wie halten es Menschen jahrelang auf engstem Raum miteinander aus? Forscher entwickeln bereits elektronische Therapeuten

Als David Wolf von seinem Ausflug heimkehrt, fühlt er sich wie ein Wrack. Er ist abgemagert, seine Muskelmasse fast auf die Hälfte geschrumpft; die Knochen haben zwölf Prozent Gewicht verloren. „Ich brauchte sechs Monate, bis ich mich wieder fit fühlte, ein Jahr, bis meine Knochen wieder wie vorher waren, und zwei Jahre, bis ich mein Leben wieder geordnet hatte“, berichtet der Astronaut über die Folgen seines viereinhalb Monate langen Aufenthalts auf der russischen Raumstation „Mir“.

Einige Forscher glauben dennoch, dass der menschliche Körper auch viel längere Reisen in der Schwerelosigkeit durchstehen kann – trotz Knochen- und Muskelschwund, Rückenschmerzen, Appetitlosigkeit, Schlaflosigkeit und einer Schwächung des Immunsystems. Selbst ein dreijähriger Flug zum Mars müsse zumindest aus medizinischer Sicht nicht scheitern.

Aber womöglich aus einem anderen Grund: der unberechenbaren menschlichen Psyche wegen. Bislang weiß niemand, wie sich Astronauten verhalten, die als erste Menschen überhaupt die Erde aus dem Blickfeld verlieren; die

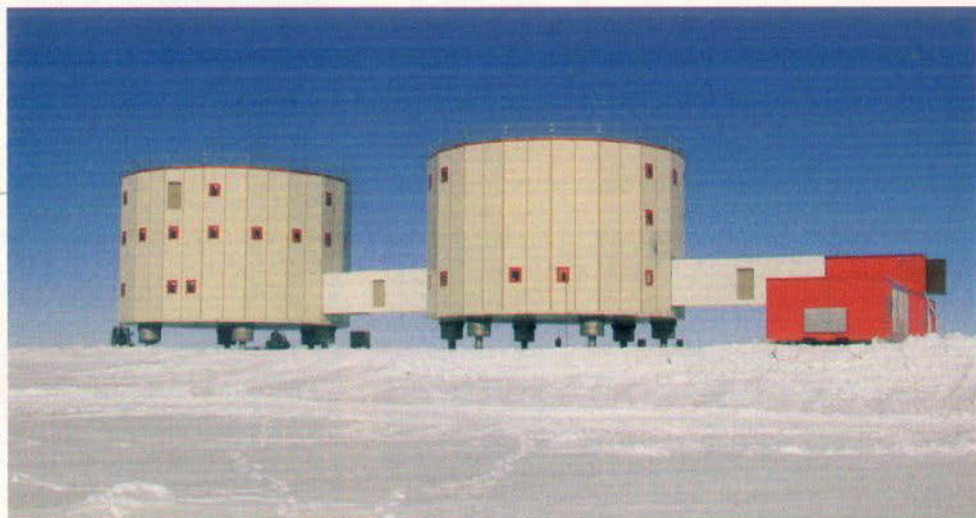
viele Monate oder gar Jahre auf engstem Raum zusammenleben; die Eintönigkeit, Isolation, Angst und Aggression ertragen müssen. „Alle Voraussetzungen für einen Mord sind erfüllt“, beschreibt der Kosmonaut Walerij Rjumin den Stress an Bord, wenn man zwei Männer in eine Kabine sperre und für zwei Monate allein lasse.

Vor allem Experten in den USA und Russland versuchen bereits seit einiger Zeit herauszufinden, wie man eine Crew zusammenstellt und verhindert, dass sich die Beteiligten an die Gurgel gehen. Offenbar kommt es auf ganz andere Qualitäten an, als vor allem Nasa-Experten lange glaubten. Demnach eignen sich die klassischen Helden-Typen nicht sonderlich gut für einen Langzeit-Trip ins All.

Solche „harten Jungs“ könnten nach Ansicht des Psychologen Frank Farley von der Temple University in Philadelphia sogar zu einer Gefahr für die Mannschaft werden. Menschen, die ständig Herausforderungen suchen, würden – eingesperrt in eine Kapsel – schlicht durchdrehen, schließt Farley aus seinen Studien: „Solche Leute sind notorische Regelbrecher und hungrig nach Abwechslung.“ Außerdem scheinen extrovertierte und erfolgsverwöhnte Menschen deutlich anfälliger für Depressionen und Angstattacken zu sein als ruhige, ausgeglichene Charaktere, hat der Anthropologe Lawrence Palinkas von der University of California in San Diego herausgefunden.

Vor allem aber fehlen klassischen Einzelkämpfern, wie sie die Nasa lange Zeit unter Testfliegern der Luftwaffe für ihre Raumflüge rekrutierte, oft jene sozialen Fähigkeiten, die für ein dauerhaft friedliches Auskommen an Bord einer Raumfähre wichtig sind: Teamgeist, Einfühlungsvermögen, eine gute Portion Humor und ein erhebliches Maß an Toleranz.

Gegenseitige Rücksichtnahme sei entscheidend, bestätigt auch der Psychologe Bernd Johannes vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Der Spezialist für Weltallmedizin hat am Institut für Biomedizinische Probleme in Moskau an Langzeitstudien teilgenommen, bei denen sechs



In der Forschungsstation Concordia in der Antarktis sollen ab dem Jahr 2006 europäische Astronauten für Langzeit-Raumflüge trainieren. Auf den heutigen Shuttle-Flügen geht es zwar eng zu, aber sie dauern auch nur wenige Tage



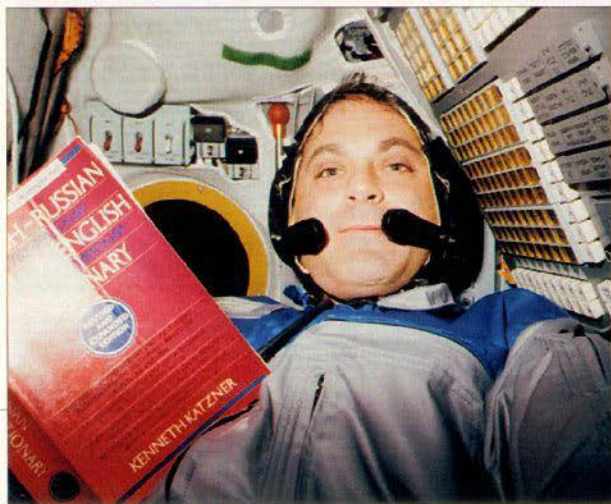
Personen bis zu 240 Tage gemeinsam isoliert waren. „In den ersten sechs Wochen“, sagt Johannes, „geht noch alles ganz gut.“ Dann aber hätten sich die Astronauten an die Situation gewöhnt und begannen sich zu langweilen: „Plötzlich fällt einem jeder Unterschied zum anderen auf.“

Das kann besonders bei internationalen Teams zu Konflikten führen, wie David Wolf auf seiner „Mir“-Expedition im Jahr 1997 erfuhr. Tagelang hatte sich der Astronaut im Stillen über seine beiden russischen Kollegen geärgert. „Wo Amerikaner ‚bitte‘ sagen, geben Russen häufig barsche Anweisungen. Deshalb hat man das Gefühl, ständig angeschrien zu werden“, erinnert sich Wolf. „Und bei jeder Mahlzeit angelten sie sich sofort das beste Stück.“ Nach einer Weile fragte er, warum sie das täten. „Sie waren völlig überrascht. Sie sagten mir ‚David, du musst einfach zugreifen. Wir haben uns schon gewundert, warum du gar

nicht mitmachst‘. Also machte ich mit, und alles war gut.“

Unklar ist noch, ob kulturelle und soziale Differenzen eher schaden oder nützen. Studien an Astronauten und Forschergruppen in der Antarktis deuten darauf hin, dass eine gut gemischte Gruppe weniger Probleme hat als ein allzu homogenes Team. Zudem komme es auf die richtige Balance zwischen Distanz und Nähe an, betont die Psychologin JoAnna Wood vom Baylor College of Medicine: Eine Person, die gut auf die emotionalen Bedürfnisse der Crew-Mitglieder eingehen könne, sei wünschenswert, mehr aber auch nicht, betont sie, „sonst kriegen die nichts anderes mehr erledigt“.

Geschlechtsunterschiede scheinen, so Wood, ebenfalls kaum eine Rolle zu spielen: Reine Männer- oder Frauen-Teams funktionieren demnach ähnlich gut wie gemischte Gruppen. Dass deren Erfolg aber keineswegs garantiert ist, zeigte ein Langzeitversuch am



Folge der Schwerelosigkeit: Die Muskelmasse des Astronauten David Wolf war nach viereinhalb Monaten an Bord der russischen »Mir« um die Hälfte geschrumpft

Moskauer Institut für Biomedizinische Probleme. Im Herbst 1999 richtete sich eine internationale Crew für 110 Tage in einem Nachbau der »Mir« ein. In der Silvesternacht prügelten sich zunächst zwei Männer derart, dass Blut in der Küche umherspritzte. Wenig später küsste der russische Kommandant eine Kanadierin gegen deren Willen. Daraufhin wurde die Luke zwischen der russischen und der internationalen Crew wochenlang geschlossen.

Derartige Experimente wird es auch künftig geben. Die Esa will ab 2006 mehr als ein Dutzend Probanden in der antarktischen Forschungsstation Concordia unter Beobachtung stellen. „Als einer der abgelegensten Orte auf Erden entspricht die Station in vielen Aspekten einer Mars-Mission“, sagt der Esa-Forschungsmanager Oliver Angerer. Die russischen Experten planen einen ähnlichen Test, für den sechs Kosmonauten 500 Tage im Nachbau einer Raumstation verbringen sollen.

Doch was passiert, wenn sich trotz bester Vorbereitung Stress oder gar Verzweiflung breit machen und keine rasche Rückkehr zur Erde möglich ist? Wenn nicht einmal eine psychologische Fernberatung funktioniert, weil allein

die Übermittlung von Fragen und Antworten jeweils bis zu 20 Minuten dauert? Bernd Johannes arbeitet mit Kollegen an einem Frühwarnsystem, das – noch bevor es den Astronauten selbst bewusst ist – Anzeichen von Überforderung und Konzentrationsmangel durch Angst, zu wenig Schlaf oder Stress registriert. Aus einer Vielzahl von Einzelwerten – wie Blutdruck, Puls, Hautwiderstand und Atmung – ermittelt das Gerät, ob der Raumfahrer körperlich und mental noch leistungsfähig ist oder knifflige Aufgaben lieber anderen überlassen sollte.

In eine ähnliche Richtung zielt ein Projekt von US-Forschern, die ein mit Überwachungskameras verbundenes Computerprogramm entwickeln. Mit dessen Hilfe sollen sich Ärger, Traurigkeit oder Nervosität im Gesicht der Astronauten erkennen lassen – und anhand des Mienenspiels, ob jemand bei Nachfragen mit der Antwort zögert.

Forscher am Massachusetts Institute of Technology in Boston haben sogar eine Maschine entwickelt, die als elektronischer Therapeut einspringen könnte. Das Gerät sagt den Benutzern in Krisensituationen aufmunternde Worte. Erste Tests ergaben, dass die emotional gefärbte Stimme des Programms den Probanden besser hilft als eine normale Computerstimme. Möglicherweise wird solch ein System im Jahr 2008 in der geplanten Mars-Simulationsanlage am Johnson Space Center in Texas getestet, für die ein Raumschiff, ein Landefahrzeug und Unterkünfte nachgebildet werden sollen.

Einige Forscher trauen den Fähigkeiten eines stählernen Therapeuten allerdings nicht allzu viel zu. Manch ein Raumfahrt-Enthusiast träumt schon von einer ganz anderen Lösung, die Stress und Aggression auf Langzeitflügen ausschließen würde: Die Crew-Mitglieder sollen tiefgefroren und erst kurz vor der Landung vom Zentralcomputer reanimiert werden. Eine solche Kryokonservierung halten deren Verfechter für technisch nicht ausgeschlossen. Berechenbarer als die menschliche Psyche wäre ein solches Verfahren allemal. *Cornelia Stolze*

WELTALL-BESTATTUNG

Himmlische Ruhe

Wer ein extravagantes Ende mag, kann seine Asche in den Weltraum schießen lassen – und als Sternschnuppe heimkehren

Von seinem letzten Trip konnte der „LSD-Prophet“ keinem Jünger mehr erzählen. Dabei war die Reise eine Weltpremiere, ganz ohne psychedelisches Beiwerk: Timothy Leary, dessen irdisches Leben im Mai 1996 endete, gehörte zu den ersten 24 Erdenbewohnern, die zur letzten Ruhe auf eine Umlaufbahn um den Planeten ihrer Geburt geschossen wurden. Je sieben Gramm ihrer Asche gelangten am 21. April 1997 in den Weltraum. Die Miniatururnen waren eingebaut in die Trägerstufe einer Pegasus-Rakete, die einen spanischen Satelliten ins All beförderte.

„Celestis“ nennt sich die US-Firma, die als weltweit einziger Anbieter Kleinstmengen sterblicher Überreste von Menschen in den Himmel schickt. Von der „ultimativen Chance, eins mit dem Universum zu werden“, schwärmte Mitgründer Charles Chafer anlässlich jener ersten Weltraumbestattung.

Eine Reihe illustrier Toter mit guten Beziehungen zum Kosmos begleitete Leary beim Pionierflug: Gene Roddenberry, der Erfinder von „Star Trek“, Weltraumpionier Krafft Ehrliche, der das „Apollo“-Programm mitgestaltet hatte, und der Teilchenphysiker Gerard O'Neill, der sich auch Gedanken über die Besiedlung des Weltraums gemacht hatte.

Im Orbit angekommen, bewegen sich die Aschekapseln gemeinsam mit dem ausgeklinkten Satelliten in 550 bis 800 Kilometer hohen Umlaufbahnen. Da ihnen ein Antrieb fehlt, kommen sie der Erde langsam wieder näher, sinken in die Atmosphäre und verglühen wie Sternschnuppen. Mitunter ist eine solche Reise allerdings zu Ende, ehe sie richtig begonnen hat. Wie im September 2001, als eine Taurus-Rakete samt Satellit und 48 Kapseln nach dem Start in den Pazifik stürzte. Das Ziel der Weltraumbestatter, ein



In Kapseln verpackt, werden jeweils sieben Gramm Krematoriumsasse in den Orbit geschossen. Die Hinterbliebenen erhalten ein Gedenk-Set



Prozent des US-amerikanischen Kremationsmarktes in himmlische Höhen umzuleiten – das wären 6500 Aufträge pro Jahr –, liegt auch ohne solche Rückschläge in weiter Ferne. Bislang erreichten nur rund 100 Mini-Urnen das All. Auf Interesse stößt der postmortale Service inzwischen aber international. Zum Kundenkreis gehörten Japaner, Niederländer und neun Deutsche.

Viele Hinterbliebene nehmen die Chance wahr, den Start mitzuerleben, bisher in Vandenberg, Kalifornien; ab April 2004 soll auch der Weltraumbahnhof Baikonur in Kasachstan zur Verfügung stehen. „Es ist etwas Einmaliges“, sagt der deutsche „Celestis“-Repräsentant Manfred Lessing. „Man schaut nicht hinunter in ein Grab, sondern nach oben, dann durchstößt die Rakete die Wolken, und sie glühen auf – als ob der liebe Gott den Himmel öffnet!“

11 000 Euro verlangt Lessing für eine Weltraumbestattung inklusive Gedenk-Video, aller Formalitäten und ordnungsgemäßer, anonymer Entsorgung der Rest-Asche, die auf Erden bleibt. In den USA kostet der Transport der üblichen sieben Gramm 5300 Dollar. Weniger Betuchte lockt das Unternehmen mit einem Sonderangebot: Für 995 Dollar wird ein

Gramm Asche ins All expediert – „Ratenzahlung möglich“.

Wer noch höher hinaus will, kann für 25 000 Euro den „Lunar Service“ buchen. Am 31. Juli 1999 schlug erstmals eine Raumsonde mit Kleinst-Urne auf dem Mond auf, in einem Krater in der Nähe des Südpols. Auch an dieser Reise nahm postum ein Prominenter teil: Eugene Shoemaker, der Mit-Entdecker des Kometen Shoemaker-Levy, fand 400 000 Kilometer von der Erde entfernt seine letzte Ruhe.

Hanne Tügel

STAR WARS

Tödliche Pfeile aus dem All

Spionage-Satelliten und Raketenabwehrschild sind nur der Anfang: Die US-Regierung treibt die Militarisierung des Weltraums mit futuristischen Waffensystemen planvoll voran. Völkerrechtlich lässt sich das kaum verhindern

Der Traum amerikanischer Generäle ähnelt einem Space Shuttle, dem die Flügel gestutzt wurden. Innerhalb von 90 Minuten sollen transatmosphärische Flugzeuge wie der „Alpha Strikestar“ den halben Globus umrunden, in gut 100

Kilometer Höhe. Kurz vor dem Ziel zünden Bremsraketen, der Flieger tritt wieder in die Atmosphäre ein und lässt sich wie ein normaler Jet steuern, um das anvisierte Objekt zu zerstören. Frühestens im Jahr 2020 soll der Weltraum-Bomber einsatzbereit sein.

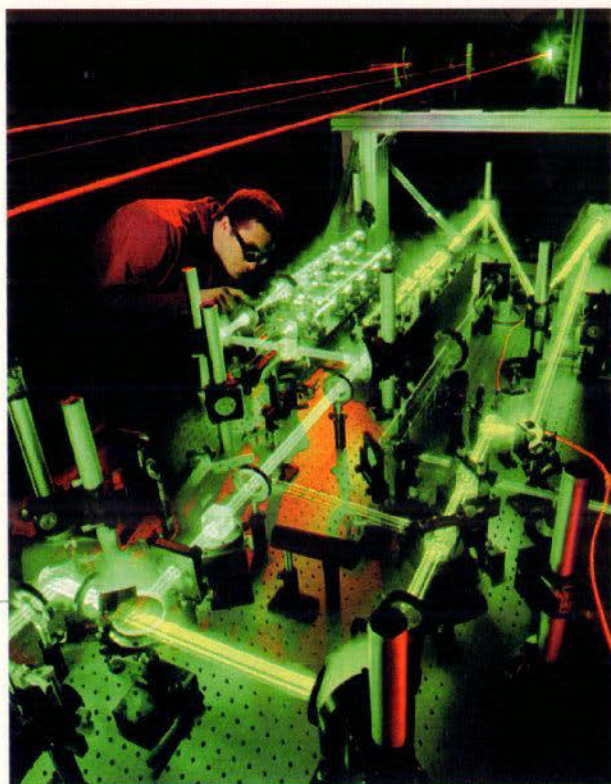
Die Militärs sind schon seit längerem im Weltall präsent. Von den über 600 aktiven künstlichen Trabanten, die um die Erde kreisen, dienen etwa 170 militärischen Zwecken. Derart passiv arbeitende Systeme sind allerdings nur der Anfang. Eine deutliche Erhöhung der US-Forschungsbudgets soll die Entwicklung von Waffen beschleunigen, die eher der Fantasie von Science-Fiction-Autoren entsprungen sein könnten: von Laserkanonen bis zu Uran-Pfeilen.

Bis 2007 sollen die Investitionen für Forschungsprojekte im Weltraum auf 1,2 Milliarden Dollar jährlich wachsen. Hinzu kommen die Ausgaben für den nationalen Raketenabwehrschild, die „National Missile Defense“ (NMD), die allein 2002 bei 7,8 Milliarden Dollar lagen. Stationierung und Betrieb des geplanten NMD-Systems werden bis 2030 schätzungsweise bis zu 273 Milliarden Dollar verschlingen.

Seit Ende 2002 ist die „Air Force Space Command“, in der die Weltraumaktivitäten der USA gebündelt sind, in das „US Strategic Command“ integriert. Damit wurde der Weltraum Teil der globalen Strategie und nach Meinung von Experten als Kriegsschauplatz der Zukunft entscheidend aufgewertet. „Russland ist

Raumgleiter wie dieser, mit vielfacher Schallgeschwindigkeit, könnten in den nächsten Jahrzehnten für zivile und militärische Zwecke eingesetzt werden





Für Weltraum-Waffen spielt Lasertechnik eine wichtige Rolle. Gesteuert wird der Krieg aus dem All von Einsatzzentralen auf der Erde



bei den zentralen High-Tech-Entwicklungen heute zehn bis fünfzehn Jahre zurück“, sagt Thomas Petermann, Experte für Weltraumwaffen im Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.

Grund für das massive Engagement der Amerikaner ist die

Angst vor einem „Space Pearl Harbor“, einem so vernichtenden wie überraschenden Angriff wie im Zweiten Weltkrieg. Eine „Space-Commission“ unter Vorsitz von Donald Rumsfeld kam 2001 zu der Einschätzung, aufgrund der Abhängigkeit der USA von Satelliten sei es notwendig, auch im Weltraum militärisch überlegen zu sein. „Wir wissen aus der Geschichte, dass es überall – in der Luft, auf Land und zur See – Konflikte gegeben hat“, heißt es im Schlussbericht der Kommission. „Die Umstände deuten darauf hin, dass es im Weltraum nicht anders sein wird.“

Als erste Etappe gilt amerikanischen Strategen der Aufbau eines Raketenabwehrschildes, der trotz großer technischer Probleme vorangetrieben wird; noch 2004 sollen die ersten Einheiten in Alaska stationiert werden. Das Projekt kombiniert konventionelle Systeme mit Weltraumwaffen. So sollen neben Abfangraketen auch eine Flotte satellitengestützter „Space-Based Laser“ anfliegende Raketen abschießen. Der Laserstrahl brennt dabei ein Loch in die Außenhaut, die Rakete explodiert. Wann dieses Projekt realisiert wird, ist noch unklar.

Konkreter sind die Pläne für den „Airborne-Laser“, einen Hochenergie-Laser, montiert auf die Nase einer Boeing 747. Er soll feindliche Interkontinentalraketen schon in der Startphase zerstören – wenn die Raketen noch relativ langsam sind, viel Wärme abgeben und damit leicht zu er-

fassen sind. Einsatzbereit sollen die vorgesehenen sieben Flugzeuge im Jahr 2010 sein.

Politische oder gar völkerrechtliche Hindernisse stehen der Militarisierung des Weltraums kaum noch im Weg. Seit US-Präsident George W. Bush im Jahr 2002 den ABM-Vertrag kündigte, der den Aufbau einer Raketenabwehr verbietet, begrenzt einzig der Weltraumvertrag von 1967 die Rüstung im All. Doch der untersagt lediglich die Stationierung militärischer Einrichtungen auf Himmelskörpern wie dem Mond sowie Massenvernichtungswaffen im Weltraum.

Die gezielte Zerstörung feindlicher Satelliten gehört schon seit langem zum Konzept im „Krieg der Sterne“. Im Oktober 1970 etwa beobachteten westliche Radarstationen, wie sowjetische Wissenschaftler einen Satelliten in direkter Nähe eines ihrer Himmelskörper zur Explosion brachten – offenbar um diesen durch die Splitter zu zerstören. Und 1985 feuerte ein amerikanischer F-15-Jet eine spezielle Rakete ab, die in 555 Kilometer Höhe einen ausgedienten Satelliten zerstörte.

US-Wissenschaftler arbeiten an Mikrosatelliten, die gezielt andere Flugkörper im All ansteuern, um sie zu reparieren – oder zum Absturz zu bringen. Der Testflug eines Prototyps, des 31 Kilo leichten XSS-10, verlief im Januar 2003 erfolgreich. Wie vorgesehen, näherte er sich der zweiten Stufe seiner Trägerrakete. Der Einsatz einer satellitengestützten Laserwaffe gegen hoch fliegende Himmelskörper ist unwahrscheinlich. Aufgrund der großen Entfernung zwischen Laser und Ziel benötigt der gebündelte Lichtstrahl einen Hauptspiegel mit 100 Meter Durchmesser, der noch dazu dem Ziel folgen muss.

Allerdings wollen die Pentagon-Planer Bodenziele aus dem All attackieren. Dazu sollen raketenähnliche, aber antriebslose Pfeile aus Uran von Satelliten zur Erde gefeuert werden: Ein Laser brennt den Pfeilen dazu einen luftleeren Pfad durch die Atmosphäre. Auf dem rasen sie, beschleunigt von der Schwerkraft, mit Überschallgeschwindigkeit zum Boden. Mehr als 700 Meter

tief, so haben Wissenschaftler errechnet, könnten solche Hochgeschwindigkeitsgeschosse in die Erde eindringen und Bunker zerstören.

Nur technische Hürden halten die Weltraumkrieger bislang von derartigen kinetischen Energie- waffen ab. Das galt schon zu Zeiten des deutschen Raketenpioniers Eugen Sänger, der ein dem „Alpha Strikestar“ ähnliches, transatmosphärisches Flugzeug geplant hatte. Sein Raketenbomber sollte mit fünffacher Schallgeschwindigkeit und tonnenschwerer Waffenlast die Erde mehrfach umrunden. Das war vor gut sechs Jahrzehnten – während des Zweiten Weltkriegs.

Marc Goergen

EXOPLANETEN

Die Jagd nach der zweiten Erde

Seit Astronomen Mitte der 1990er Jahre den ersten Planeten außerhalb des Sonnensystems entdeckt haben, boomt die Suche nach erdähnlichen Himmelskörpern – in der Hoffnung auf Spuren extraterrestrischen Lebens

Monatelang hatten die Astronomen Michel Mayor und Didier Queloz von einem Observatorium in der Haute-Provence aus den Himmel durchmustert. Im September 1994 nahmen sie die Sonne 51 im Sternbild Pegasus ins Visier. Im Januar 1995 bemerkten sie, dass der Stern seine Geschwindigkeit leicht verändert hatte und fast unmerklich wackelte. Sie wagten anfangs nicht, es zu glauben. „Wir dachten, das Teleskop sei defekt“, erinnert sich Mayor.

Immer wieder überprüften sie ihre Messungen, und erst im Juli 1995 waren sie sicher: Das Wackeln konnte nur das unverkennbare Zeichen eines Exoplaneten sein, eines Planeten außerhalb des Sonnensystems. Seither sind Mayor und Queloz Stars unter den Jägern einer zweiten Erde.

Dass es neben den bekannten Planeten unseres Sonnensystems noch weitere in den Tiefen des Alls geben musste, hatte schon der

Naturphilosoph Giordano Bruno im 16. Jahrhundert vermutet, doch an einen Nachweis war lange nicht zu denken.

Inzwischen hat sich unter den Astronomen Goldgräberstimmung breit gemacht; die Zahl der seit 1994 entdeckten Planeten ist auf über 100 gestiegen. Sie wurden selbst dort aufgespürt, wo man sie nicht vermutet hatte, etwa um Doppelsterne kreisend. Sie wurden, was früher als unmöglich galt, mit Umlaufbahnen und Umlaufzeiten vermessen. Und ihre Zahl könnte in die Milliarden gehen: Forscher der University of New South Wales in Australien schätzen, dass allein ein Viertel aller Sterne in der Milchstraße Planeten besitzen.

Vor allem zwei Fragen werden aber noch einige Zeit unbeantwortet bleiben: ob es für Menschen bewohnbare Exoplaneten gibt und ob dort Leben, vielleicht sogar intelligentes Leben existiert.

Bislang sind sämtliche Exoplaneten nur indirekt nachgewiesen worden. Mayor und Queloz hatten das leichte Pendeln des Sterns gemessen, das durch die gegensei-

tige Anziehungskraft von Planet und Stern entsteht. Kleine Planeten von der Größe der Erde, auf denen Leben nach Auffassung der Forscher am wahrscheinlichsten ist, lassen sich mit der Methode allerdings nicht aufspüren. „Sie haben eine so geringe Anziehungskraft, dass das Pendeln des Sterns von seiner brodelnden Oberfläche überdeckt wird“, sagt Francesco Pepe, Physiker am Observatorium Genf.

Aber auch auf andere Weise können sich Exoplaneten bemerkbar machen. Tritt ein Planet zwischen den Stern, den er umkreist, und die Erde, kann die minimale Abdunkelung des Sternlichts gemessen werden. Erst drei Planeten sind bislang mit beiden Methoden vermessen worden; von ihnen sind neben der Masse auch ihre Größe und damit die Dichte bekannt.

In den kommenden Jahren sollen drei im Weltraum stationierte Satelliten nach periodischen Mikrosternenfinsternissen suchen: Die Esa will Ende 2005 „Corot“ starten, der 12 000 Sterne überwacht; die Nasa plant ab 2007 mit

Wie in dieser Illustration könnte der Planet im Sternbild Schütze aussehen, den Astronomen aufgespürt haben: Sie registrierten einen Sonnensturm, der dutzendfach seinen Stern umkreiste. Eine solche Erscheinung, vermuten sie, wird vom Magnetfeld eines nahen Planeten erzeugt



WISSEN kompakt

der Sonde „Kepler“ Messungen an 100 000 Sternen.

Aber auch dies sind nur Zwischenschritte. Um Leben zu entdecken, müssten die Forscher mit hoch auflösenden Teleskopen Licht direkt vom Planeten einfangen. Die Esa arbeitet am Projekt „Darwin“, das aus Satelliten besteht, die in zentimetergenauem Abstand jeweils hundert Meter voneinander entfernt im All stationiert werden sollen. Die Nasa setzt bei dem geplanten „Terrestrial Planet Finder“ auf einen großen Spiegel aus vielen Segmenten, der erst im All zusammengesetzt wird; dessen Teile müssten so exakt zusammenpassen, dass Unebenheiten von nicht mehr als einem zehnmillionstel Meter auftreten.

Die Steigerung des Auflösungsvermögens ist indes nicht die einzige Herausforderung. Ein Teleskop

muss vor allem das vom Planeten reflektierte Sonnenlicht von dem seines Sterns unterscheiden – und der strahlt Milliarden Mal heller. „Das ist so, als ob sie eine Fliege vor der gleißenden Sonnenscheibe erkennen sollen“, erklärt Francesco Pepe: „Sie sind völlig geblendet.“ Die beste derzeitige Optik vermag nur einen Kontrastunterschied von eins zu einer Million wahrzunehmen.

Hoffnung macht den Forschern eine neue Technik namens „Nulling-Interferometrie“, mit deren Hilfe US-Astronomen kürzlich einen Riesenplaneten entdeckten: Sie beobachteten einen Stern mit zwei Teleskopen und überlagerten das eingefangene Licht, sodass es sich zu 95 Prozent auslöschte. Das Sonnenlicht war damit so weit abgedunkelt, dass der Planet sichtbar wurde.

Die Suche nach Lebenszeichen ist bei entdeckten Planeten der zweite Schritt. Zunächst können die Astronomen jene Objekte ausschließen, auf denen Leben extrem unwahrscheinlich ist: die entweder zu nah oder zu fern um ihre Sonnen kreisen oder auf einer derart lang gestreckten Bahn unterwegs sind, dass es zu extremen

Temperaturschwankungen auf der Oberfläche kommt.

Bei einem Planeten innerhalb der lebensfreundlichen Zone müsste zunächst die Zusammensetzung der Atmosphäre analysiert werden. Sauerstoff, Wasserdampf und Methan könnten auf Leben hindeuten, wie wir es von der Erde kennen. Wahrscheinlich aber gibt es weitere, noch unbekannte Anzeichen von Leben. Um denen auf die Spur zu kommen, simulieren Computermodelle des Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, Kalifornien, die Entwicklung von Leben unter verschiedenen Ausgangsbedingungen. Die größte Herausforderung ist für Projektleiterin Vikki Meadows unsere begrenzte Vorstellung von Leben: „Für jenes auf der Erde haben wir die unterschiedlichsten Nachweismethoden, aber darüber hinaus tappen wir im Dunkeln.“

Zunächst einmal beschränken sich die Planetenjäger ohnehin auf einen Umkreis von „nur“ 60 Lichtjahren. Selbst die Entdeckung von intelligenten Lebewesen in dieser Entfernung würde nicht zu einem raschen Kontakt führen: Da die Übertragung von Nachrichten durch die Lichtgeschwindigkeit begrenzt ist, wäre jede Botschaft 60 Jahre lang unterwegs. Wenn Außerirdische uns aus einer Entfernung von 60 Lichtjahren beobachteten, könnten sie noch die Schlachten des Zweiten Weltkriegs sehen.

Otto Pohl

Projekt »Darwin«:
Mit einem Satelliten-Ensemble im All will die Esa in einigen Jahren Licht von Planeten einfangen – und die Himmelskörper damit erstmals direkt sichtbar machen

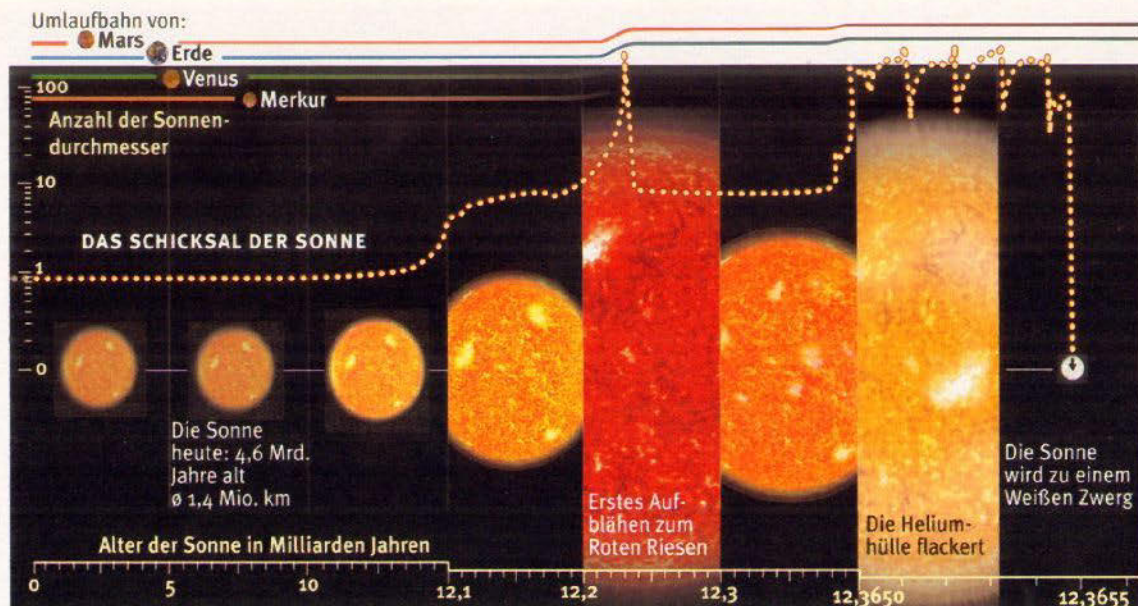


STERNENTWICKLUNG

Planet auf der Flucht

Das Schicksal der Sonne ist besiegelt: Sie bläht sich zu einem Roten Riesen auf und endet als Weißer Zwerg. Alles Leben auf der Erde würde verdorren. Rettung bringen könnte ein aberwitziger Plan: Gezielt herbeigeführte Beinahe-Kollisionen mit Asteroiden, die unseren Heimatplaneten aus der Gefahrenzone befördern

Trotz aller Hitzerekorde im Jahr 2003 und der starken Sonnenstürme – noch befindet sich unser Zentralgestirn in einer vergleichs-



In Milliarden Jahren wird sich unsere Sonne zu einem Roten Riesen aufblähen – und ihren Durchmesser mehr als verhundertfachen. Dann könnte ihre Hülle bis an die Erdumlaufbahn reichen

weise stabilen Lebensphase; in kosmischen Zeiträumen betrachtet allerdings nicht mehr lange.

In etwa einer Milliarde Jahre wird die Leuchtkraft der Sonne um ein Zehntel zugenommen haben. Das erscheint zunächst nicht dramatisch. Tatsächlich aber wird es dann auf der Erde selbst im Winter höchst unangenehm warm. Die intensivere Sonnenstrahlung lässt die Polkappen schmelzen. Die Ozeane erwärmen sich, riesige Mengen Wasser verdunsten. Der Wasserdampf aber bindet Sonnenwärme in der Atmosphäre. Ein Treibhauseffekt kommt in Gang, mit dem verglichen der gegenwärtige nur ein harmloses Vorspiel ist. Die Erde verwandelt sich in eine Art Schnellkochtopf: Die Jahresmitteltemperatur steigt von rund 15 Grad Celsius auf 50 Grad.

In dreieinhalb Milliarden Jahren ist alles Wasser verdunstet, die Erdkruste ausgetrocknet und mürbe geworden von der Hitze, die Atmosphäre mit Kohlendioxid gesättigt, alles Leben in der früheren Biosphäre vergangen. In weiteren zwei bis dreieinhalb Milliarden Jahren droht der Erde dann die völlige Auslöschung. Zu dem Zeitpunkt hat die Sonne ihren Brennstoff im Kern weitgehend aufgebraucht. Der Druck, der durch die Hitze im Innern entstanden ist, nimmt ab, und infolge der Schwer-

kraft zieht sich die Sonne in sich zusammen und verbrennt Wasserstoff auch in ihrer Hülle. Schließlich dehnt sie sich auf das 160fache ihres Durchmessers aus, wird zu einem Roten Riesen, der Merkur und Venus verschluckt.

Noch nicht im klaren sind sich die Forscher darüber, welches Schicksal der Erde widerfährt. In jedem Fall kommen die Ränder der Sonne der heutigen Umlaufbahn der Erde gefährlich nahe, und vielleicht wird auch unser Heimatplanet eingeschmolzen. Das wird vor allem davon abhängen, wie rasch die Sonne durch die Verbrennung ihres Kern an Masse verliert.

Geschieht dies schnell, könnte die Erde aufgrund der nachlassenden Anziehungskraft der Sonne in eine entfernte Umlaufbahn nahe der heutigen Marsbahn abdriften – als Kugel aus größtenteils geschmolzener Lava und mehr als 1200 Grad Celsius heiß.

Astronomen wie Donald Korycansky spornt das der Erde drohende Schicksal an, nach einem Ausweg zu suchen. Zusammen mit zwei Kollegen hat er in der Fachzeitschrift „Astrophysics and Space Science“ beschrieben, wie die Erde frühzeitig in Richtung Mars abgelenkt werden könnte, um dem Verderben zu entgehen.

Rein mathematisch, so Korycansky, sei ein Umzug im All

durchaus machbar. Die Praxis allerdings würde die derzeitigen technischen Fähigkeiten des Menschen weit übersteigen: Zunächst müsste ein Asteroid, der jenseits des Pluto um die Sonne kreist, ins Innere des Sonnensystems gelenkt werden. Das könne mit Hilfe starker Raketen gelingen, die auf dem Asteroiden gezündet werden und seine Flugrichtung derart verändern, dass er der Erde sehr nahe kommt und seine Gravitation unseren Planeten ein Stück verschiebt.

Zuvor müsste sich der Asteroid im Schwerefeld des Jupiter genügend Schwung für solch ein Manöver holen. Dieses „gravitational slingshot“ (Schwerkraftkatakapult) genannte Verfahren wird seit langem bei Weltraumsonden eingesetzt: Nach dem Start kreisen sie zunächst um Erde und Venus und holen sich dabei Beschleunigung, die sie bis zu weiter entfernten Zielen trägt.

Nach Korycanskys Berechnungen müsste alle 6000 Jahre ein Asteroid mit etwa 100 Kilometer Durchmesser an der Erde vorbeisaußen. Ein Vorbeiflug würde die Erde um jeweils 50 Kilometer verschieben und die zunehmende Wärmestrahlung der Sonne ausgleichen. Erde und Asteroid kämen sich dabei auf 16 000 Kilometer nahe, was nach kosmischen Maßstäben als Beinahe-Zusam-

menstoß gilt. „Eine solche Verschiebung muss sehr, sehr sorgfältig geplant werden“, sagt Korycansky. Nach einigen Millionen Jahren würde sich die Erde dann auf einer ähnlichen Bahn befinden wie heute der Mars.

Ihren Mond würde die Erde bei einem Umzug wohl verlieren. Dadurch aber änderten sich die Gezeiten. Ohne den Mond könnte sich auch die Lage der Erdachse verändern – mit unabsehbaren Konsequenzen für die Klimazonen. Um das zu verhindern, sollte der Mond, so Korycansky, am besten im gleichen Takt wie die Erde verschoben werden – durch einen weiteren Asteroiden.

Ein derartiges kosmisches Ballett könnte allerdings unkontrollierbare Folgen haben: „Wer damit anfängt, Planetenbahnen zu verändern“, sagt Korycansky, „riskiert die Stabilität des gesamten Sonnensystems.“

Hindeja Ahmed Farah

KUNSTPROJEKT

Amöbe im All

Die britische Tate Gallery hat ein Projekt im Internet gestartet, das Kunst und Wissenschaft, Fiktion und Realität raffiniert verschmelzen lässt

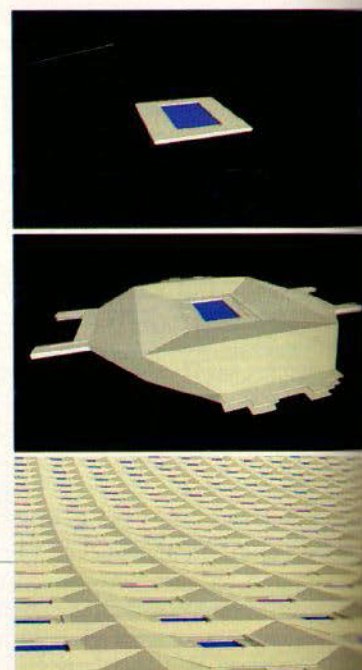
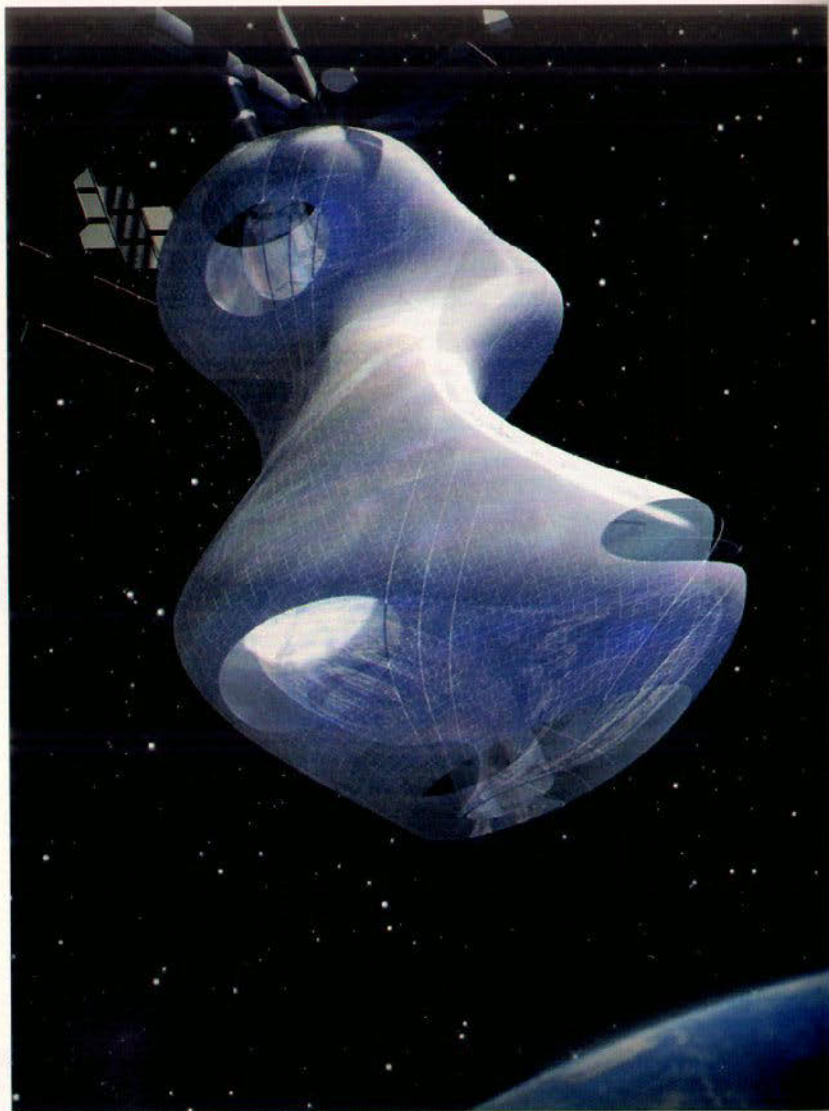
Die Künstlerin Susan Collins bat Architekten und Studenten um Entwürfe für Ausstellungsräume im Weltraum und ließ einen fiktiven Satelliten starten. Der erschien dem British National Space Centre immerhin so real, dass die Weltraumbehörde nach einer Erlaubnis für derartige Aktivitäten im All fragte.

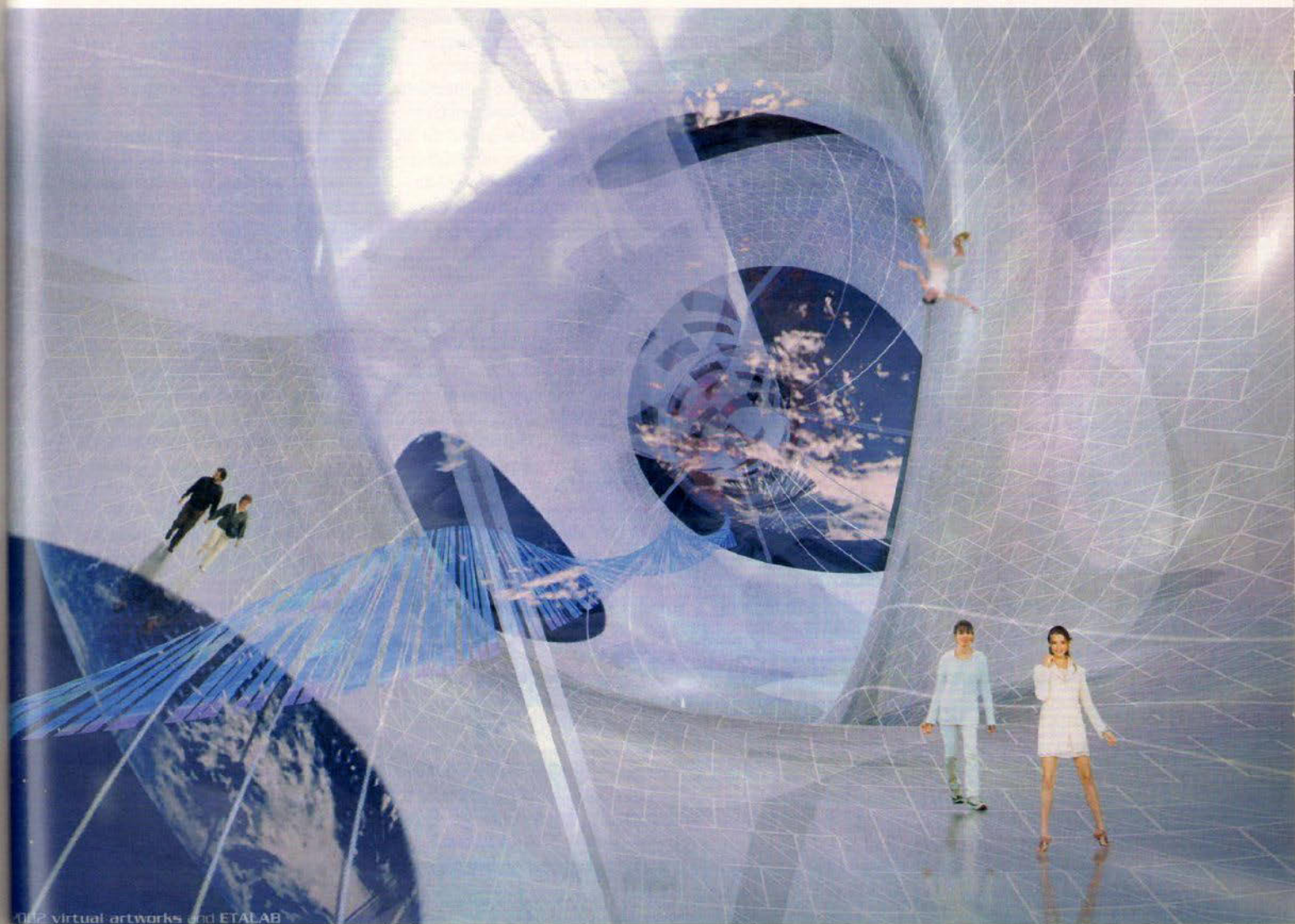
Unter den eingereichten Arbeiten (www.tate.org.uk/space/) findet sich ein amöbenförmiges Gebilde des Architekturbüros Etalab, in dem Besucher, der Schwere-

losigkeit sei Dank, an Wänden und Decken entlangflaniert werden können. Pragmatischer der Entwurf der britischen Designerfirma Softroom: Ihre Kunsthalle sieht aus wie ein überdimensionaler Bleistift und besteht aus ausgerichteten Teilen der Space Shuttles.

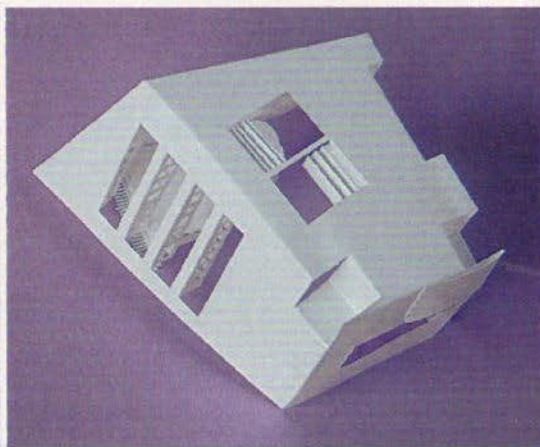
Die erste Vernissage wird indes auf sich warten lassen, denn realisierbare Pläne für eine Ausstellung im All sind nicht in Sicht. Susan Collins sieht das gelassen: „Die Idee ist allemal besser als jede Realität.“ Zum Trost können die Besucher der Tate-Website die Baupläne einiger Entwürfe herunterladen – und sie als Papiermodell nachbauen.

Marc Goergen





© 2002 virtual artworks and ETALAB



Weit entfernt von einer Verwirklichung, aber schön anzusehen: Der Entwurf des Architekturbüros Etalab für eine Weltraum-Galerie kommt ohne Ecken und Kanten aus. Das Gebilde soll in der Fantasie seiner Macher an die Raumstation ISS andocken, um neue Besucher aufzunehmen oder – mit Blickmöglichkeiten zur Erde – durchs All schweben. Andere Entwürfe orientieren sich eher an von der Erde bekannten Formen

WELTRAUMFOTOS

Zehn Meter große Pupillen

Wie entstehen die farbenprächtigen Bilder aus dem Kosmos? Könnte ein Mensch diesen Anblick auch mit eigenen Augen genießen? Die Antwort auf die zweite Frage: Nein. Warum, erklärt die Beantwortung der ersten Frage

So entsteht aus den Rohdaten der Teleskop-Kamera (links) ein farbiges Bild (ganz rechts): Das aufgefangene Galaxienlicht wird jeweils durch einen Filter für rotes, grünes und blaues Licht (v. l.) geschickt und dann vereinigt

In prächtigen Bildbänden sind sie zu bewundern, im Fernsehen, natürlich auch in GEO: Aufnahmen aus dem All, die dank ihrer Brillanz und Farbigkeit den Betrachter verzaubern. Die Daten für die am Computer der Astronomen entstandenen Bilder liefern Teleskope. Diese Himmels-späher sind nichts anderes als künstliche Augen, die einige Ge-

meinsamkeiten mit dem Sehorgan des Menschen haben, aber sehr viel lichtempfindlicher sind.

Im natürlichen Auge bündelt die Linse das Licht auf der Netzhaut. So entsteht, wie auf einer Projektionsleinwand, ein Bild der Umgebung. Bei Teleskopen sammeln große Spiegel das Licht aus dem Weltall und projizieren ein Bild beispielsweise auf den lichtempfindlichen Film einer astronomischen Kamera.

Während beim Auge nur das Licht zur Verfügung steht, das durch die wenige Millimeter kleine Pupille gelangt, sammelt bei einem Hochleistungsteleskop ein bis zu zehn Meter großer Spiegel erheblich größere Strahlungsmengen: Die Fläche eines solchen Spiegels ist mehr als zehn Millionen Mal größer als eine Pupille, was bedeutet, dass ein Teleskop eine entsprechend schwächere Lichtquelle wahrnehmen kann. Außerdem zeichnen astronomische Kameras das während der gesamten Belichtungsdauer gesammelte Licht auf, während das Auge die Lichtinformationen bereits nach Sekundenbruchteilen „vergisst“. Bei den meist üblichen Belichtungszeiten von mehreren

Stunden ergibt dies eine weitere Steigerung der Empfindlichkeit – und damit der Bildtiefe – um Faktoren bis zu einigen hunderttausend.

Seit etwa zwanzig Jahren verwenden Astronomen in ihren Kameras anstelle von Filmen oder Fotoplatten so genannte CCDs (Charge Coupled Devices) – Halbleiterchips, die wie die Netzhaut des Auges aus einer Vielzahl von Bildelementen (Pixeln) bestehen. Ein CCD-Chip gleicht, wie auch die Netzhaut des Auges, einem winzigen Setzkasten mit gleich großen quadratischen Fächern. Beim Chip landen die vom Spiegel gesammelten Lichtquanten in den Pixeln, so als würde ein Strom kleiner Kügelchen die Fächer des Setzkastens füllen: je voller die Fächer sind, desto heller die Bildpunkte.

Auf der Netzhaut gibt es allerdings zwei Arten von Fächern: die farbempfindlichen Zapfchen, die bei hellem Tageslicht ansprechen, und die viel empfindlicheren Stäbchen für das Sehen bei wenig Licht, die nur hell und dunkel unterscheiden. Auf Zapfchen wie auch Stäbchen setzen die eintreffenden Lichtquanten elektrische



Ladungen frei, die über den Sehnerv ins Sehzentrum des Gehirns gelangen. Beim Halbleiterchip bleiben die Ladungen zunächst in den Pixeln erhalten; erst nach vollendeter Belichtung überträgt ein Verstärker die Ladungsinformation als Daten an einen Computer.

Den schwarzweiß-empfindlichen Stäbchen der Netzhaut gelingt es, beinahe jedes einzelne Lichtquant zu registrieren; die Evolution hat damit einen optimalen Sensor für Informationen aus der Umwelt hervorgebracht. Die besten von Astronomen eingesetzten CCDs sind ebenso leistungsfähig; handelsübliche Digitalkameras, die ähnliche Chips enthalten, benötigen aber wesentlich mehr Licht.

Der wichtigste Unterschied zwischen menschlichem Auge und Teleskop ist die Farbwahrnehmung. Die Netzhaut des Auges enthält Zapfchen für rotes, grünes und blaues Licht. Je nachdem, wie ausgeprägt die Anteile dieser Grundfarben im Licht sind, entsteht im Sehzentrum der entsprechende Farbeindruck. Einen Chip für Farben, dem praktisch keine Lichtquanten verloren gehen, gibt es bislang nicht. Die Digitalfotos

der Astronomen sind daher zunächst schwarzweiß. Um Farbfotos anzufertigen, wird das Motiv dreimal mit der CCD-Kamera anvisiert und das Licht, bevor es auf den Chip trifft, jeweils durch einen Filter für rotes, grünes und blaues Licht geschickt. Vereinigt man die drei Aufnahmen, entsteht auf dem Computermonitor dann ein Farbbild. Aufnahmen im ultravioletten oder infraroten Spektralbereich werden ebenfalls mit Filtern gemacht und hinterher am Computer mit so genannten Falschfarben koloriert.

Je nach wissenschaftlicher Zielsetzung setzen Astronomen unterschiedliche Filter ein, etwa so genannte Schmalbandfilter, die nur den Wellenlängenbereich eines einzelnen chemischen Elements passieren lassen – und damit nur einen Teil des sichtbaren Spektrums.

Letztlich sind die Farben bei einem solchen Verfahren völlig frei wählbar. Meist aber wird Wasserstoff rot, Sauerstoff blau und Stickstoff grün dargestellt. Ein Farbbild kann somit die Verteilung dreier Elemente dokumentieren, zum Beispiel in einem interstellaren Gasnebel. Diese Fotos sind meist sehr kontrastreich und bunt und geben einen ganz anderen Eindruck wieder, als ihn das menschliche Auge jemals liefern könnte.

Die Kameras der Zukunft werden keine Filter mehr benötigen, weil sie auch die Wellenlänge des Lichts messen. Die heute üblichen Helligkeitsverluste von über 90 Prozent gehören dann der Vergangenheit an, und selbst sehr schwache Lichtquellen werden brillante Fotos ergeben.

Unserer Sehweise am nächsten kommen heute Breitbandfilter, die das gesamte Spektrum des sichtbaren Lichts durchlassen. Tatsächlich sehen könnten wir derartige Teleskop-Bilder aber selbst dann nicht, wenn wir mit einem Raumschiff tief im All unterwegs wären: Die Echtfarbenbilder zeigen das Weltall so, als hätte ein Mensch Pupillen mit bis zu zehn Meter Durchmesser und als könnte seine Netzhaut die Lichtinformationen über Stunden oder gar Tage sammeln.

Ulf Borgeest



GEO.de

www.geo.de

Allwissend?



Mehr zu den Themen dieses Heftes, Wissenstests und Aktuelles zum Thema Weltraum finden Sie unter www.geo.de/weltraum. Darunter eine virtuelle Reise aus dem All bis in die Atome einer Pflanze (www.geo.de/weltraumreise) sowie eine Animation zur Rotation des Mondes (www.geo.de/astronomie-geschichte).

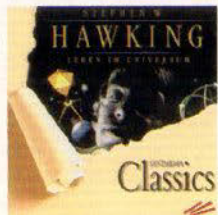
Mehr zum Thema

EMPFEHLENSWERTE SOFTWARE UND BÜCHER

MULTIMEDIA

Stephen W. Hawking Leben im Universum

United Soft Media, München
1999, 15,29 Euro
Systemvoraussetzungen:
Windows oder Mac OS



Sind wir allein im Universum, oder gibt es auch andernorts Leben? Anstatt Spekulationen anzuhäufen, werden auf der CD-ROM die wissenschaftlichen Hintergründe erläutert.

Das Programm ist in drei Teile gegliedert. Im Abschnitt „Kosmologie“ wird mittels leicht verständlicher Computer-Animation die Entstehung der Elemente und des Universums erklärt. Die „Welt der Organik“ lehrt, welche Voraussetzungen für das Entstehen erdähnlicher Planeten nötig sind, was charakteristische Anzeichen von Leben sind und wie dieses auf der Erde entstanden ist. Mit den physikalischen Grundlagen beschäftigt sich die „Welt der Mathematik“; dabei wurde jedoch auf Animation verzichtet. Highlight der CD-ROM ist der Video-Vortrag von Stephen Hawking, in dem er die Frage nach „Leben im All“ diskutiert und zahlreiche interessante Denksätze liefert.

Redshift Sternenkunde

United Soft Media, München
2000, 40,85 Euro
Systemvoraussetzungen:
Windows oder Mac OS

Wie funktioniert die Astronomie, eine der ältesten Wissenschaften der Menschheit? Ein Fall für das Einsteiger-Programm „Redshift Sternenkunde“: Von den Grie-

chen bis zu Galilei, vom Urknall bis zu den Galaxien – im interaktiven Kurs „Basiswissen Astronomie“ werden für den Laien die wichtigen Themen ausführlich und gut gegliedert erläutert. Textbegleitende Experimente sowie hervorragend gestaltete Animationen und Videos helfen, selbst komplexe Themen wie die Dopplerverschiebung ohne Vorkenntnisse zu vermitteln.

Das Besondere an dieser CD-ROM ist die Anbindung an das Planetariumsprogramm Redshift 3. Dort lässt sich das Gelernte anwenden: Mit virtuellen Werkzeugen wie Winkelmessern und Spektrographen kann man sich auf die Jagd nach Himmelskörpern machen. Die Datenbank ermöglicht den Ausblick auf Millionen von Sternen, Nebeln, Galaxien, Kometen und die Planeten des Sonnensystems.

Hinzu kommen eine Video-Galerie sowie ein Kurs „Unser Universum“ zu Themen wie den „Apol-



lo“-Missionen, Sternexplosionen, Schwarze Löcher und Gravitationslinsen. Die CD-ROM bietet abwechslungsreiche Inhalte, ist gut verständlich und leicht zu nutzen.

Mission Weltall – Per Raumschiff durchs Sonnensystem

United Soft Media, München
2000, 15,30 Euro
Systemvoraussetzungen:
Windows oder Mac OS

Manch einer träumt davon, in Neil Armstrongs Fußstapfen zu treten. Mit „Mission Weltall“ ist das zumindest virtuell möglich. An Bord eines Raumschiffes startet man zu einer Entdeckungsrei-



se durch das Sonnensystem. Die Flugroute ist frei wählbar und wird im „Navigationsraum“ zusammengestellt. Auf einem Himmelskörper angekommen, kann der Nutzer wissenschaftliche Daten sammeln und den Rundumblick genießen. Und fast alle berühmten Raumfahrt-Missionen der Vergangenheit lassen sich nachspielen.

Ein Besuch im „Museum“ des Raumschiffes informiert etwa über den Aufbau der „Viking“-Sonden oder über die Aufgaben des „Lunar Orbiter“. In einer „Bibliothek“ finden sich Animationen über Phänomene wie Vulkanismus oder die Atmosphäre der erdähnlichen Planeten.

Das Vergnügen wird durch die grob gerasterte Darstellung der Planeten manchmal getrübt. Dennoch ist „Mission Weltall“ ein empfehlenswertes Programm für all jene, die interaktiv Sonnensystem und Raumfahrt kennen lernen wollen.

Abenteuer Astronomie

Koch Media, Planegg/München
2000, 14,95 Euro
Systemvoraussetzungen:
Windows

In „Abenteuer Astronomie“ kann man sich alle Planeten des Sonnensystems ausführlich erklären lassen und in die Tiefen des Universums vordringen, zu Supernovae und Nebeln. Gelungen ist auch die umfassende Datenbank zum Thema Sternbilder. Erreichbar über ein virtuelles Planetarium, werden vom Orion bis hin zur „Luftpumpe“ über 80 Konstellationen vorgestellt.

Welche Vorstellungen die Griechen der Antike, die Inka oder

Galilei im 17. Jahrhundert vom Weltraum hatten und was die Entdeckungen von Edwin Hubble oder Friedrich Wilhelm Herschel bedeuten, zeigt der Bereich über die „Geschichte der Astronomie“. Chronologisch geordnet dargestellt sind zudem Raumsonden und Vorstöße des Menschen ins All. Leider ist die optische Qualität der Animationen, bei denen es sich hauptsächlich um Videos wissenschaftlicher Institute han-



delt, oft schwach. Dafür entschädigt der umfangreiche Informationsgehalt: Nahezu jedes der über 2000 Bilder wird mit einem kurzen Text erklärt, und auch die Menge an wissenschaftlichen Daten überzeugt.

Redshift 5

United Soft Media, München
2003, 79,90 Euro
Systemvoraussetzungen:
Windows, 105 MB Festplatte

Das Planetariumsprogramm Redshift 5 soll helfen, die nächtlichen Himmelserscheinungen kennen zu lernen und sich am Firmament zurechtzufinden. Die Datenbank listet knapp 20 Millionen Objekte wie Galaxien, Nebel, Sternhaufen, Quasare und Meteore auf, samt der wichtigen Daten für die Himmelsbeobachtung mit dem Teleskop: unter anderem relative Helligkeit, Koordi-



naten und die Bezeichnung in allen gängigen Sternenkatalogen. Der Sternenhimmel lässt sich für jeden Standort auf der Erde simulieren. Auch der Beobachtungszeitpunkt ist frei wählbar, sodass sogar längst vergangene Sternkonstellationen darstellbar sind. Im Astronomie-Lexikon finden sich Informationen über die Struktur und Entdeckungsgeschichte populärer Beobachtungsziele wie den Andromeda-Nebel. Hinzu kommt eine Fotogalerie mit qualitativ hochwertigen Bildern und detailliert dargestellten Oberflächen der Planeten des Sonnensystems. Vorkenntnisse in Astronomie werden bei Redshift 5 vorausgesetzt, denn das Programm wendet sich vor allem an Amateur-Astronomen, die Beobachtungsnächte planen. Für sie ist es ein äußerst informatives Hilfsmittel.

Frank Lennartz

BÜCHER

Das Rätsel unseres Universums

Martin Rees

Beck, 2003

219 Seiten, 19,90 Euro

Die derzeit am besten geschriebene und fundierteste Zusammenfassung zum aktuellen Stand der Kosmologie. Die Unterzeile des Titels „Hatte Gott eine Wahl?“ beantwortet der Autor – er ist Professor für Astronomie in Cambridge – mit Ja. Die Welt könne auch ganz anders aussehen. Rees glaubt allerdings nicht an göttliche Fügung, sondern vertritt die Theorie, dass unser Universum zwar etwas Besonderes, aber nur eines von vielen sein könnte.

Vom Urknall zum Menschen

Brockhaus Menschi, Natur, Technik
Brockhaus, 1999

704 Seiten, 49,95 Euro

Was lexikalisch und dickbauchig daherkommt, ist tatsächlich ein



allgemein verständliches und wissenschaftlich korrektes „Geschichtenbuch“. Es beschreibt – chronologisch und inhaltlich in sinnvolle Portionen aufgeteilt – die Entstehung der Welt bis zum Auftritt des *Homo sapiens*. Vorbildlich: die vielen anschaulichen Infografiken und das ausführliche Register.

Astrowissen

Hans-Ulrich Keller

Franckh-Kosmos, 2003

271 Seiten, 24,90 Euro

Weniger ein Buch zum Lesen, sondern eine höchst detaillierte Faktensammlung. Die zahlreichen Tabellen, Infografiken, Definitionen und Fotos machen „Astrowissen“ zum Nachschlagewerk vor allem für Amateur-Astronomen, Lehrer und Studierende. Themenschwerpunkte sind das Sonnensystem, Kosmologie, Teleskoptypen, Stellar-astronomie und Galaxien.

Kosmologie für Fußgänger

Harald Lesch, Jörn Müller

Goldmann, 2001

255 Seiten, 9 Euro

Eine Entdeckungsreise durch den Kosmos, ohne Formelballast und wissenschaftliches Wortgeklingel: Wie entstand das Sonnensystem? Wie dünn war die Ursuppe? Warum fällt der Mond nicht auf die Erde? Die Sprache ist ebenso amüsant wie bildhaft, die Inhalte sind dennoch wissenschaftlich solide dargestellt, denn beide Autoren sind Astrophysiker.

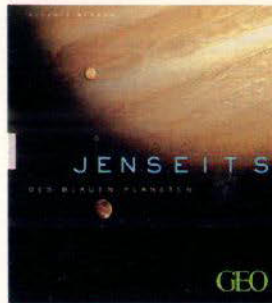
BILDBÄNDE

Jenseits des Blauen Planeten

Knesebeck, 2004

321 Seiten, 49,40 Euro

Eine fotografische Reise zu den Planeten, Monden und Asteroiden des Sonnensystems. In jahrelanger Kleinarbeit sind für diesen Bildband die besten Fotos von Kameras in Satelliten und Raumsonden ausgewählt und zum Großteil so koloriert worden, wie sie das menschliche Au-



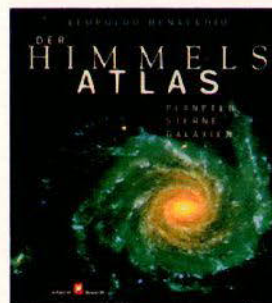
ge sehen würde. Ein Vorwort von Arthur C. Clarke, Autor von „2001 – Odyssee im Weltraum“, und einige Textessays begleiten die prächtigen Bilder.

Der Himmelsatlas

Frederking & Thaler, 2003

194 Seiten, 50 Euro

Ein ebenso sinnlicher wie ungewöhnlicher Bildband über das Weltall. Enthalten sind so gut wie alle aktuellen Aufnahmen aus der Tiefe des Alls, hinzu kommen Illustrationen und Infografiken. Bei diesem Band muss der Betrachter aktiv werden: Fast jede Seite lässt



sich aufklappen und öffnet den Blick auf großformatige Fotos. Hervorragend aufbereitet sind die Texte, deren Autor Leopoldo Benacchio ein Spezialist für die Didaktik der Astronomie ist.

Kunstwerk Erde

Frederking & Thaler, 2001

243 Seiten, 50 Euro

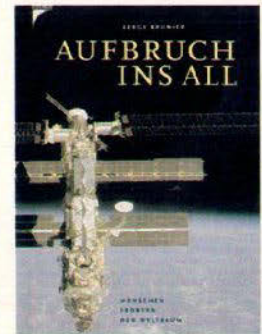
Die Zusammenschau der Satellitenbilder eröffnet einen überwältigenden Blick aus dem All auf die Erde. Die Fotos lassen den Planeten gleichzeitig entrückt und intim wirken, vor allem aber verletzlich. Der Blick fällt auf bizarre Geometrien; Autos, die wie Ameisen wirken, geheimnisvolle Linien in der Landschaft und ungewöhnliche Farbspiele. Im hinteren Teil wird jedes Bild beschrieben und seine Herkunft erläutert.

Aufbruch ins All

Franckh-Kosmos, 2003

192 Seiten, 49,90 Euro

Wie die Menschen den Weltraum eroberten, zeichnet dieser Bildband des französischen Autors



Serge Brunier nach. Allerdings geht er nicht streng chronologisch vor. Bild und Text zielen vor allem darauf, die Erlebnisse und die Begeisterung der Menschen im All lebendig zu schildern: bei der Mondlandung, bei Weltraumspaziergängen oder im Inneren der russischen Raumstation „Mir“. Zahlen und Fakten zu den Missionen finden sich im ausführlichen Anhang.

Von A bis Z: Das sollten Sie wissen

60 WICHTIGE BEGRIFFE

Abendstern

Der Planet Venus, wenn er am Abend zu sehen ist. Wenn die Venus am Morgenhimmel sichtbar ist, wird sie als Morgenstern bezeichnet.

Antimaterie

Form der Materie, die aus so genannten Antiteilchen wie Antiprotonen und Antielektronen zusammengesetzt ist. Diese besitzen eine dem Proton und Elektron entgegengesetzte elektrische Ladung. Treffen – wie unmittelbar nach dem Urknall – Materie und Antimaterie zusammen, wird beides vollständig in Energie verwandelt. Das heutige Universum besteht aus dem winzigen Überschuss an Materie.

Asteroid

Auch Kleinplaneten oder Planetoiden genannte Himmelskörper, die – mit einem Durchmesser bis zu 1000 Kilometern – neben den großen Planeten die Sonne umlaufen, die meisten von ihnen im Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter.

Astrobiologie

Auch Exobiologie genannter Wissenschaftszweig, der die Möglichkeiten organischen Lebens auf anderen Himmelskörpern erforscht und die Bedingungen, denen der menschliche Organismus bei Raumflügen ausgesetzt ist.

Astronomische Einheit

Entfernungsmaß für das Sonnensystem, auch als A.U. (astronomical unit) bezeichnet: Eine A.U. entspricht der mittleren Entfernung der Erde zur Sonne (rund 150 Mio. Kilometer). Demnach ist der Mars im Mittel 1,5 A.U. von der Sonne entfernt, der Pluto 39,9 A.U.

Astrophysik

Wissenschaftszweig, der sich mit den physikalischen Eigenschaften

der Himmelskörper beschäftigt, ihrer Entwicklung und Zusammensetzung.

Big Bang

Die derzeit allgemein akzeptierte Theorie, wonach das Universum vor 13,7 Milliarden Jahren aus einem Urknall hervorgegangen ist und sich seither ausdehnt.

Big Bounce

Englisch für „großer Rückprall“. Der Big-Bang-Theorie entgegengesetzte Annahme, wonach ein materiefreies Universum zu einem Minimaldurchmesser geschrumpft ist, um dann zum heutigen Universum zu expandieren.

Big Crunch

Die nach heutigem Wissen eher unwahrscheinliche Theorie, wonach das Universum nicht dauerhaft expandiert, sondern irgendwann zum Stillstand kommt und dann in sich zusammenfällt.

Brauner Zwerg

Kleiner Stern, der eine so niedrige Masse und Temperatur hat, dass es – anders als bei der Sonne – nicht zu einer Kernfusion von Wasserstoff kommt. Sein schwaches Leuchten kommt zustande, indem Gravitationsenergie in Wärmeenergie umgewandelt wird.

Dunkle Energie

Geheimnisvolle, noch nicht direkt nachgewiesene Energie, die für die Beschleunigung des expandierenden Universums verantwortlich sein soll; 73 Prozent des Alls bestehen vermutlich aus Dunkler Energie.

Dunkle Materie

Materie, die keine Strahlung aussendet und sich daher direkter Beobachtung entzieht, aber entscheidendes Element der kosmologischen Theorie ist. Sie ist etwa in der Umgebung von Galaxien anzutreffen; 23 Prozent des Alls sollen aus Dunkler Materie bestehen.

Esa

Abkürzung für die 1975 gegründete European Space Agency, die Europäische Raumfahrtagentur.

Eso

Abkürzung für European Southern Observatory, die Europäische Südsternwarte, ein astronomisches Gemeinschaftsunternehmen, dessen Weltraumteleskope in Chile stehen.

Fixstern

Ein heute in der Wissenschaft nicht mehr gebräuchlicher Ausdruck, der Sterne bezeichnet, die vermeintlich fest am Himmel stehen. Im frühen 18. Jahrhundert hat Edmund Halley jedoch bereits die Eigenbewegung der Sterne erkannt.

Fluchtgeschwindigkeit

Geschwindigkeit, die etwa eine Rakete benötigt, um die Schwerkraft eines Himmelskörpers zu überwinden; die Fluchtgeschwindigkeit von der Erde beträgt 11,2 km/s, die von der Sonne – aufgrund ihrer größeren Masse – 617,7 km/s.

Galaxie

Unserer eigenen Milchstraße ähnliche Gebilde aus vielen Millionen Sternen, die durch Gravitation zusammengehalten werden. Ihrer Form nach werden sie als irreguläre, linsenförmige, elliptische und spiralförmige Galaxien eingeteilt.

Gammastrahlen-Ausbruch

Kurze Blitze aus Gammastrahlung, die aus der Tiefe des Universums kommen und mehr Energie freisetzen als alle anderen bekannten Quellen. Sie entstehen vor allem bei der Geburt Schwarzer Löcher.

Grand Tour

Die erst wieder im Jahre 2155 realisierbare Möglichkeit, unter

Ausnutzung einer günstigen Planeten-Konstellation mit einem einzigen Start Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun energiesparend anzufliegen. Voyager II startete im August 1977 zu solch einer Tour.

Gravitation

Auch Schwerkraft genannt: Die universelle Eigenschaft aller materiellen Objekte, sich gegenseitig anzuziehen. Das von Isaac Newton im 17. Jahrhundert aufgestellte Gravitationsgesetz gilt als Grundlage der Himmelsmechanik.

Größenklassen

Einteilung von Sternen, die sich allerdings nicht nach deren Durchmesser, sondern ihrer Helligkeit richtet. Sterne der Größenklasse 0 sind sehr hell, etwa die Vega, die der Größe 6 sind dagegen gerade noch mit bloßem Auge zu erkennen.

Halleyscher Komet

Einer der bekanntesten Kometen; er taucht im Abstand von 76 Jahren auf, zuletzt 1986. Sein Entdecker Edmund Halley erkannte als Erster, dass Kometen nicht geradlinig fliegen, sondern von der Gravitation auf elliptische Bahnen gezwungen werden.

Halo

Griechische Bezeichnung für „Hof“: Die optische Erscheinung um Mond und Sonne, die durch Lichtbrechung entsteht. Halo bezeichnet aber auch den sphärisch geformten Raum um Galaxien.

Hubble-Konstante

Sie gibt die Fluchtgeschwindigkeit der Galaxien in Abhängigkeit zur Entfernung zur Erde an – je größer die Entfernung, desto größer die Fluchtgeschwindigkeit. Quasare am Rande des sichtbaren Universums können sich mit einem Tempo bis zu 270 000 km/s von uns entfernen. Der Kehrwert der Konstante gibt Auskunft über das Alter des Welt-

alls, das derzeit auf 13,7 Milliarden Jahre geschätzt wird.

Inflationstheorie

Heute recht gut gesicherte Annahme, wonach sich das Universum unmittelbar nach dem Urknall extrem schnell (inflationär) ausgedehnt hat. Damit lässt sich auch die Flachheit des Universums erklären.

Interferometrie

Astronomisches Beobachtungsverfahren, bei dem Himmelskörper mit mehreren Teleskopen gleichzeitig beobachtet werden. Aus der Überlagerung der Beobachtungsdaten lässt sich ein genaueres Bild des Objekts erstellen als mithilfe von Einzelbetrachtungen.

Koma

Eine durch die Sonnenstrahlung verursachte gas- und staubförmige Hülle um einen Kometenkern, die sich Millionen von Kilometern ausdehnen kann. Eine Koma bildet sich bei der Annäherung eines Kometen an die Sonne bereits außerhalb der Jupiterbahn.

Kometen

Himmelskörper, die meist um die Sonne laufen und vorwiegend aus Eis- und Staubeilchen bestehen. Kometen haben einen Durchmesser von einem bis 100 Kilometern und werden häufig als „schmutziger Schneeball“ bezeichnet (früher auch als Schweifstern).

Korona

Die äußeren Bereiche der Sonnenatmosphäre, die bei einer Sonnenfinsternis als strahlenartiger Kranz erscheinen und Quelle der Sonnenwinde sind.

Kosmische

Hintergrundstrahlung

Die Reststrahlung des Urknalls im extrem kurzwelligen Radio-

wellenbereich. Ihre Entdeckung wird als Bestätigung für die Urknall-Theorie angesehen.

Kosmologie

Ein Zweig der Astronomie, der sich mit dem Weltall als Gesamtsystem beschäftigt, die Verteilung von Materie und Energie sowie den Anfang und das Ende des Universums erforscht.

Kuiper-Gürtel

Ein jenseits der Bahn des Neptun liegende Zone, auf der Millionen von Kleinstplaneten und Kometen um die Sonne kreisen; der mächtigste ist mit einem Durchmesser von knapp 1300 Kilometern etwa halb so groß wie Pluto.

Lichtgeschwindigkeit

Eine der wichtigsten Naturkonstanten (299792 km/s), die für alle Wellenlängen des Lichts gilt sowie für die anderen elektromagnetischen Wellen – also auch für Röntgenstrahlen und Radiowellen.

Lichtjahr

Keine Zeit-, sondern eine Längeneinheit. Ein Lichtjahr entspricht der Entfernung, die das Licht im Vakuum in einem Jahr zurücklegt: 9461 Milliarden Kilometer. Der unserem Sonnensystem nächste Stern, Proxima Centauri, ist 4,3 Lichtjahre entfernt.

Messier-Katalog

Von Charles Messier im 18. Jahrhundert erstellter Katalog von Nebeln und Sternhaufen, der noch heute zu deren Kennzeichnung verwendet wird und den besonders Hobby-Astronomen zur Himmelsbeobachtung nutzen. M 1 ist z. B. der Krebs-Nebel, M 31 der Andromeda-Nebel.

Meteor

Im Volksmund Sternschnuppe genannt: Die Leuchterscheinung am Himmel, wenn ein Stein- oder Eisenstück in die Atmosphäre eindringt und dort verglüht.

Meteorit

Ein bis zum Boden gefallener Meteor. Täglich erreichen schätzungsweise 40 Tonnen Meteoriten-Material die Erde. Überwiegend sind dies bis zu 0,1 Millimeter messende Mikrometeoriten; der größte erhaltene – gefunden 1920 – wiegt über 60 Tonnen.

Neutrino

Elementarteilchen, das zum Beispiel bei der thermonuklearen Fusion im Sterninneren entsteht. Neutrinos haben keine elektrische Ladung und sind extrem schwer nachzuweisen. Der menschliche Körper wird jede Sekunde von 100 Billionen Neutrinos durchquert, ohne dass wir etwas davon spüren.

Neutronenstern

Extrem kompaktes Objekt am Ende der Sternentwicklung: Bei einer Masse von bis zu drei Sonnen hat ein Neutronenstern nur einen Durchmesser von 20 bis 24 Kilometer.

Oortsche Wolke

Die Ansammlung von vielleicht Milliarden Kometen an der Grenze des Sonnensystems, weit hinter der Umlaufbahn des Pluto. Durch vorüberziehende Sterne werden gelegentlich einzelne Kometen ins Innere des Sonnensystems gelenkt.

Panspermie

Die von Svante Arrhenius (1859–1927) aufgestellte und bis heute umstrittene Hypothese, wonach das Leben auf der Erde durch Keime aus dem All entstanden ist.

Perihel

Der sonnennächste Punkt auf der Bahn eines Planeten. Der sonnenfernste Punkt heißt Aphel.

Polarstern

Stern in der Deichsel des Kleinen Bären, der in unmittelbarer Nähe der gedachten verlängerten Erd-

achse am Himmel steht. Mit seiner Hilfe lässt sich recht genau die Nordrichtung finden.

Protuberanz

Fontänen- oder schleifenförmige Gebilde, die bis zu 1 000 000 Kilometer in die Sonnenatmosphäre reichen. Sie entstehen durch das Hochschleudern heißer Gase von der Oberfläche.

Pulsar

Abkürzung für Pulsating Radio Source (pulsierende Radioquelle): eine spezielle Art Neutronenstern, der in regelmäßigen, kurzen Intervallen Radiostrahlung abgibt.

Quasar

Abkürzung für Quasi-Stellar Radio Source (sternähnliche Radioquelle); bezeichnet aktive Kerne weit entfernter Galaxien, die sich mit hoher Geschwindigkeit bewegen und als hellste Objekte im All gelten. Sie haben im Durchschnitt eine Leuchtkraft von mehr als dem Billionenfachen der Sonne; selbst in einer Distanz von 30 Lichtjahren leuchten sie noch so hell wie die Sonne.

Roter Riese

Sterne mit einem bis zu 2000fachen Sonnendurchmesser, die sich in fortgeschrittenem Alter befinden. In ihrem Kern hat sich der Wasserstoff zum größten Teil in Helium verwandelt; ihre Materiedichte hat nachgelassen, und die Helligkeit schwankt.

Rotverschiebung

Der von Edwin Hubble in den 1920er Jahren erforschte Effekt, wonach sich das Licht der sich von uns entfernenden Galaxien zum roten Bereich des Spektrums verschiebt.

Schwarzes Loch

Tatsächlich das Gegenteil von einem Loch: Zusammenballung ei-

Von A bis Z: Das sollten Sie wissen

nes extrem massereichen Sterns nach einer Supernova-Explosion. Dessen Materie ist derart stark konzentriert, dass die Gravitation selbst Licht und Radiowellen nicht mehr entkommen lässt. Wenn sich die Erdmasse auf etwa zwei Zentimeter Durchmesser zusammenpressen ließe, würde sie zu einem Schwarzen Loch.

Schwerelosigkeit

Zustand, in dem die Schwerkraft eines Körpers durch Trägheitskräfte ausgeglichen wird. Da aber praktisch nie völlige Schwerelosigkeit erreicht werden kann, spricht man auch von Mikrogravitation.

Seti

Search for Extra-Terrestrial Intelligence: Suchprogramm mit Radioteleskopen nach außerirdischen Lebenssignalen, das die Nasa 1992 aufgenommen hat.

Singularität

Ein Bereich im Raum-Zeit-Kontinuum, in dem die bekannten physikalischen Gesetze keine Gültigkeit haben. Der Ausgangspunkt des Urknalls gilt als Singularität, eventuell auch das Zentrum eines Schwarzen Lochs.

Sonnensflecken

Dunkle Bereiche auf der Sonne, die periodisch im Rhythmus von elf Jahren schwanken. Sonnensflecken sind kälter als die anderen Bereiche, dennoch über 4000 Grad heiß und sollen auch das Erdklima beeinflussen.

Sonnenwind

Ein permanent von der Sonne ausgehender Teilchenstrom, vorwiegend aus Elektronen und Protonen, der sich bis über die Bahn des Pluto hinaus tief ins Sonnensystem ausbreitet. Auf der Erde verantwortlich für Störungen von Funkverbindungen und für das Polarlicht.

Sternbild

Eine meist aus mythologischen Gründen zusammengefasste Anordnung von Sternen, die physikalisch in keinerlei Verbindung stehen. 88 Sternbilder sind von der Internationalen Astronomischen Union anerkannt.

Supernova

Endstadium in der Entwicklung eines Sterns, der mit dem Milliardenfachen seiner Helligkeit explodiert. Er kann danach zu einem Neutronenstern werden oder – falls er besonders massereich ist – zu einem Schwarzen Loch.

Tunguska-Ereignis

Explosion eines 50 bis 100 Meter großen Meteoriten im Jahre 1908 über der sibirischen Taiga im Gebiet der Steinigen Tunguska; sie führte – mit der Energie von über tausend Hiroshima-Bomben – zu Verwüstungen im Umkreis von 65 Kilometern.

Weißer Zwerg

Ein kleiner Stern von etwa der Größe der Erde, in dem die Masse einer Sonne enthalten ist. Weiße Zwerge enthalten kaum noch Wasserstoff; ihre Rotationsgeschwindigkeit ist gering; nachdem sie ausgekühlt sind, nennt man sie Schwarzer Zwerg.

Weltraummüll

Die auf dem Mond und vor allem in der Erdumlaufbahn verbliebenen inaktiven Satelliten, Bauteile und Trümmer, die der Raumfahrt gefährlich werden können. Man schätzt etwa 100 000 Teile mit mehr als einem Zentimeter Durchmesser, von denen aber nur 7000 durch Radar oder optische Methoden überwacht werden.

Zwerggalaxie

Jede Galaxie mit einem Durchmesser von wenigen tausend Lichtjahren.

Fotovermerke nach Seiten. Anordnung im Layout: l. = links, r. = rechts, o. = oben, m. = Mitte, u. = unten

TITEL: Robert Gendler

SEITE 3: NASA

SEITE 4: Dick Hutchinson: l. o.; Ernst Haas/Corbis: r. o.; Simulationen: Tom Abel/Penn State University; Greg Bryan/University of Oxford; Michael L. Norman/UCSD. Visualisierung: Ralf Kaehler/ZIB, AEI & Tom Abel/Penn State University: l. m. o.; Louie Psihoyos/Agentur Focus: r. m. o.; Heiner Müller-Elsner/Agentur Focus: l. m. u.; Canada-France-Hawaii Telescope/Jean-Charles Cuillandre/Coelum/© CFHT: r. m. u.; Monika Aichele: l. u.; NASA: r. u.

REISE ZUM ANFANG VON RAUM UND ZEIT Robert Gendler: 6/7; NASA/ESA: 8/9; Canada-France-Hawaii Telescope/Jean-Charles Cuillandre/Coelum/© CFHT: 8, 10/11, 16/17 o., 18/19; STScI/AURA/NASA/Astrofoto: 12/13; STScI/AURA/NASA/ULI Borgeest: 12, 13; T. A. Rector/NRAO/AUI/NSF & NAO/AURA/NSF: 14/15; Axel Mellinger/Universität Potsdam: 16/17 u.; STScI/AURA/NASA: 20/21 (3); ESO: 22/23

STREITGESPRÄCH Enno Kapitza/Agentur Focus: 24–29

VOM HIMMEL HOCH, DA KOMMT

ES HER... Dick Hutchinson: 30/31; Peter Ginter/Bilderberg: 32/33; David Miller/David Mallin Images: 34 o.; SOHO/Astrofoto: 34 u.; Jack Newton: 35 o.; Jan Curtis: 35 u.; Kamioka Observatory/ICRR/The University of Tokyo: 37; Shigemi Numazawa/Astrofoto: 38 o.; Günther Edelmann. Quelle: LPI: 38 u.; LPI: 39 o.; Mit freundlicher Genehmigung D. Roddy/LPI: 39 m.; Alexandra Rigos: 39 u.

AUF DER SPUR DER STEINE Enno Kapitza/Agentur Focus: 40

RÜSTUNG FÜR RAUMREISENDE Smithsonian Institution: 42, 44 r. u., 45 u. (2), 47 l. u. (2), 48 l. u.; ILC Dover: 43 l.; Wade Sisler/Ames Research Center/NASA: 43 r., 48 o., 49 m. u.; Deutsches Museum München: 44 o., l. u. und m. u.; Bettmann/Corbis: 45 o.; NASA: 46 o. und l. u., 47 r. u., 48 r. u.; James McDivitt/NASA: 46 r. u.; Carolyn Russo-Smithsonian Institution, aus: „Artifacts of Flight“, Harry N. Abrams 2003 (Ausschnitt): 47 o.; Roger Ressmeyer/Corbis: 49 l. u.; Mit freundlicher Genehmigung Dava J. Newman, Dept. of Aeronautics and Astronautics, MIT. Illustration Cam Bresinger, Bio-Suit work funded by the NASA/NIAC: 49 o. und r. u.

DAS MODERNE BILD VOM KOSMOS Simulationen: Tom Abel/Penn State University; Greg Bryan/University of Oxford; Michael L. Norman/UCSD. Visualisierung: Ralf Kaehler/ZIB, AEI & Tom Abel/Penn State University: 50–51; WMAP Team: 52 o. und m.; Andrew Fruchter/NASA und the ERO Team: Sylvia Baggett/STScI, Richard Hook/ST-ECF, Zoltan Leyay/STScI: 52 u.; Jörg Colberg/Virgo Consortium/MPI für Astrophysik, Garching: 52/53 (2); ESO: 54/55, 55 o.; Hester et al./CXC/ASU/HST/ NASA: 55 m.; Birr Scientific & Heritage Foundation: 55 u.; Reinhard Schulz-Schaeffer: 57 o. (3); Alfred T. Kamajian: 57 u. (2); Konstantinos Kifonidis/MPI für Astrophysik, Garching: 58/59, 59 o. und m.; NASA/CXC/SAO: 59 u.; J. P. Harrington, K. J. Borowski/University of Maryland/NASA: 60; Romano L. M. Corradi/Isaac Newton Group of Telescopes: 60/61; suw: 62 o.; J. Carpenter, T. H. Jarrett & R. Hur/zMAS: 62 u.; John Dubinsky/Dept. of Astronomy and Astrophysics/University of Toronto: 63 o.; K. Sahu, M. Livio, L. Petro & D. Macchetto/STScI/NASA: 64; SkyWorks Digital/NASA: 65; H. E. Bond/STScI/ESA/NASA: 66, 67 o. (3); Mark A. Garlick: 67 u.

»ICH SPÜRE ETWAS GÖTTLICHES« M. Dillon/Corbis: 68/69; Bettmann/Corbis: 71, 73; Leonard de Selva/Corbis: 72

UNSERE KOSMISCHEN NACHBARN NASA: 74–76; NASA/Astrofoto (Uranus, Jupiter, Saturn): 75/76

URKNALL THEORIE

Reinhard Schulz-Schaeffer: 77–80 o. 78–80 u. (von l. nach r.): Corbis; Robert Bein/courtesy AIP Emilio Segrè Visual Archives; Bettmann/Corbis; courtesy of Igor Gamow; Courtesy of the Archives, California Institute of Technology (2); Mark Godfrey; Courtesy of the Archives, California Institute of Technology; UCSD; Bettmann/Corbis (2); Frank Leonhardt/dpa-Fotoreport; Donna Coveney/MIT; Lawrence Berkeley National Lab.; Australian Academy of Sciences UNSER PLATZ IM UNIVERSUM Reinhard Schulz-Schaeffer: 81–83

AUFBRUCH IN DIE UNSTERBLICHKEIT

Pat Rawlings/NASA: 84/85; NASA: 87, 88, 89, 91; University of Newcastle Upon Tyne: 90

AUF ZUM MARS? BLOSS NICHT!

Franziska Lorenz: 92–93

WIE WIR LERNTEN, ÜBER DAS WELTALL NACHZUDENKEN

Astrofoto: 94, 95, 102/103; AKG: 96; BPK: 97 o.; John Wilson White, aus der Carolyn & Nick Kansas Collection: 99; suw: 100; Lauris Giraudon/Bridgeman/Getty Images: 101; Janin Stötzner: 103

IST DA DRAUSSEN JEMAND?

Nic Bishop: 104

AUF DER JAGD NACH DER WELTFORMEL

Ernst Haas/Getty Images: 106/107; Landé Collection/AIP Emilio Segrè Visual Archives: 108; CERN: 109; AIP Emilio Segrè Visual Archives: 110; Norbert Michalke: 111

DER HIMMEL AUßER DEN

Heiner Müller-Elsner/Agentur Focus: 112–119, 120 u.; ARTS Hamburg: 114 l.; Carl Zeiss Jena GmbH: 120 o. und m. (2), 121 o.; Das Foto-archiv: 121 m.

AUSSERIRDISCHE

Monika Aichele: 122–131

BEKENNTNIS ZUM CHAOS

Jiri Rezac: 132

PROJEKT ORION

Mit freundlicher Genehmigung George Dyson: 134–140

DIE DRESSIERTE ZEIT

Andri Pol: 142

STERNENGUCKER

Louie Psihoyos/Agentur Focus: 144–155

DAS WELTRAUMRÄTEL

Illustrationen: Clemens Maurer

KOMPAKT

Roger Ressmeyer/Corbis: 15B/159; Robert Williams and the Hubble Deep Field Team/NASA: 160 o.; ESO: 160 m. und u.; Fototeca del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide/PNRA: 161 o.; NASA: 161 u., 163 u.; Rosavikokosmos & JSC/NASA: 162; Celestis, Inc.: 163 o. (2); Russ Underwood, Lockheed Martin Missiles & Space: 164 o.; US Navy/Getty Images: 164 u.; Shane Erno: 165; MediaLab/ESA: 166; Birte Wagner: 167; @ETALAB and Virtual Artworks © 2002 proposal for Susan Collins' Tate in Space, a net art commission for Tate Online: 168–169 o.; David Rickard/@ETALAB and Virtual Artworks for Tate in Space 2002, a net art commission for Tate Online: 168 u.; Sarah Wigglesworth/@ETALAB and Virtual Artworks for Tate in Space 2002, a net art commission for Tate Online: 169 u.; NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA): 170–171

VORSCHAU

Mark Hanauer/Corbis: 178 o.; Norbert Schäfer/Corbis: 178 u.

Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Fotos übernehmen Verlag und Redaktion keine Haftung.

© GEO 2004, Verlag Gruner + Jahr, Hamburg, für sämtliche Beiträge.

Einem Teil der Auflage liegen Prospekte für Die Zeit, Spektrum der Wissenschaft, GEO und GEO Wissen bei.



**Gratis
zur Wahl!**



1. GEO Wissen Nr. 32 – Verhalten, Persönlichkeit, Psyche

Lernen Sie Neues über Partnerwahl, über die verkannte Macht der Gefühle, über die Arbeit einer Evolutionsbiologin und vieles mehr.

2. Der Taschenbrockhaus „Das Wissenspaket“

Dieser Brockhaus ist eine kleine Enzyklopädie, die in jede Tasche passt. Etwa 10.000 Stichwort-erklärungen und mehr als 1.000 durchgehend farbig gedruckte Fotos, Illustrationen, Zeitleisten, Infokästen und Tabellen beschreiben Fakten, erklären Zusammenhänge und zeigen Details.

So spannend kann Wissenschaft sein – gleich anfordern und Geschenk wählen!

GEO WISSEN zeigt Ihnen die faszinierenden Seiten der Human- und Naturwissenschaften – verständlich und anschaulich aufbereitet. Informieren Sie sich über die spannenden Entwicklungen und bestellen Sie jetzt GEO WISSEN frei Haus zum Selberlesen oder Verschenken!



Die Welt verstehen mit GEO

Gleich anrufen unter:

040/37 03 38 03

Fax: 040/37 03 56 57

E-Mail: Geo-Service@guj.de

oder einsenden an:

GEO WISSEN-Kunden-Service,
20080 Hamburg

Abonnement-Service Österreich

Tel.: 08 20 / 00 10 85

E-Mail: geo-wissen@abo-service.at

Leserservice Schweiz

Tel.: 041 / 329 22 20

E-Mail: geo@leserservice.ch

GEO WISSEN erscheint im
Verlag Gruner+Jahr AG & Co KG,
Am Baumwall 11, 20459 Hamburg

Bitte Bestellnummern aus dem
Antwortcoupon mit angeben.

Antwortcoupon

Ja, ich bestelle GEO Wissen 2 x jährlich zum Preis von zzt. D € 6,90 pro Heft, € 13,80 im Jahr / AU € 7,60 pro Heft, € 15,20 im Jahr / CH Fr. 13,80, Fr. 27,60 im Jahr. Zum Dank für meine Bestellung erhalte ich ☐ **1. GEO WISSEN Nr. 32 „Verhalten, Persönlichkeit, Psyche“** oder ☐ **2. den Taschenbrockhaus „Das Wissenspaket“** gratis (bitte nur ein Kreuz). Die Lieferung der Zugabe erfolgt nach Zahlungseingang. Die Lieferung aller Hefte erfolgt frei Haus. Ich gehe kein Risiko ein, denn ich kann nach Erhalt der 4. Ausgabe jederzeit kündigen. Das Geld für bezahlte, aber nicht gelieferte Ausgaben erhalte ich zurück.

Meine Adresse:

Name _____

Vorname _____ Geburtsdatum 19 _____

Straße/Nr. _____

PLZ _____ Wohnort _____

Ich zahle bequem per Bankeinzug:

Bankleitzahl _____ Kontonummer _____

Geldinstitut _____

Datum _____ Unterschrift _____ **240772**

Adresse des Geschenkeempfängers:

Name _____

Vorname _____ Geburtsdatum 19 _____

Straße/Nr. _____

PLZ _____ Wohnort _____ **240773**



GEO WISSEN VORSCHAU



Am Anfang steht die Liebe,
und oft erwächst daraus eine
Familie – wichtige Bande
für ein ganzes Leben



WAS IM LEBEN WIRKLICH ZÄHLT PARTNERSCHAFT & FAMILIE

Nichts prägt den Menschen stärker als seine familiäre Herkunft, nichts ist wichtiger für sein Wohlbefinden als eine erfüllte Partnerschaft. Doch die Gleichberechtigung der Geschlechter und der soziale Wandel haben auch unsere elementaren Beziehungen verändert, traditionelle Bindungen aufgelöst und neue Lebensmuster hervorgebracht. Dennoch halten Wissenschaftler die Familie für weitaus krisensicherer als gemeinhin angenommen. Das neue GEO WISSEN ergründet die gesellschaftlichen und politischen Hintergründe der Veränderungen und ihre Konsequenzen. Es verfolgt die Bedeutung

familiärer Netzwerke über Generationen hinweg und fragt, wieso wir unser Leben lang angewiesen sind auf Geborgenheit, Liebe und Vertrauen.

Weitere Themen: Das unentrinnbare Erbe – ganz wie Vater und Mutter? • Jung und Alt in einem Haus – die Wohngemeinschaft der Zukunft • Familien contra Kinderlose – die gesplante Gesellschaft • Wege aus der Krise – wie man Streiten lernen kann • Scheidung – eine Chance für die Kinder? • Liebe, Lust und Eifersucht – die Biologie der Partnerwahl • Bei den Inuit in Kanada – wenn Familienbande brüchig werden

Die zuletzt erschienenen Hefte der GEO-WISSEN-Reihe sind im ausgewählten Zeitschriftenhandel oder beim Verlag erhältlich: Tel. 040/37 03 40 41; abo-service@guj.de



GEO

WISSEN

Gruner + Jahr AG & Co. Druck- und Verlagshaus, Am Baumwall 11, 20459 Hamburg. Postanschrift für Verlag und Redaktion: 20444 Hamburg. Telefon (040) 37 03-0. Telefax (040) 37 03-56 48. E-Mail (Redaktion): briefe@geo.de. Internet: www.GEO.de

CHEFREDAKTEUR
Peter-Matthias Gaede
STELLV. CHEFREDAKTEUR
Michael Schaper
GESCHAFTSFÜHRENDE REDAKTEURE
Claus Peter Simon (Text), Ruth Eichhorn (Fotografie), Jutta Krüger (Art Direction)
CHEF VOM DIENST
Peter Bier
TEXTREDAKTION
Claus Peter Simon
ART DIRECTOR
Andreas Knoche
BILDREDAKTION
Sabine Wuensch
DOKUMENTATION
Dr. Arno Nehlsen; freie Mitarbeit: Kirsten Milhahn
WISSENSCHAFTLICHE BERATUNG
Dr. Ulf Borgeest
MITARBEITER DIESER AUSGABE
Hindeja Ahmed Farah, Titus Arnu, Klaus Bachmann, Niels Boeing, Dr. Jürgen Broschart, Torsten Engelhardt, Dr. Henning Engeln, Marc Goergen, Till Hein, Karsten Lemm, Frank Lennartz, Franziska Lorenz, Martin Paetsch, Otto Pohl, Dr. Ulf von Rauchhaupt, Dr. Max Rauner, Prof. Dr. Martin Rees, Anping Richter, Alexandra Rigos, Tom Schimmeck, Prof. Reinhard Schulz-Schaeffer, Claus-Peter Sesin, Cornelia Stolz, Hanne Tügel, Birte Wagner
REDAKTIONSASSISTENZ: Angelika Fuchs
SCHLUSSREDAKTION
Hinnerk Seelhoff; Assistenz: Hannelore Koehl
HONORARE/SPESEN: Angelika Györfy
GEO-BILDARCHIV
Bettina Behrens, Gunda Lerche, Gudrun Lüdemann, Peter Müller
Redaktionsbüro New York:
Nadja Masri (Leitung), Brigitte Barkley, Wilma Simon, Anuschka Tornat (Sekretariat)
375 Lexington Avenue, New York, NY 10017-5514.
Tel. (212) 499-8100, Fax (212) 499-8105.
E-Mail: geo@geo-ny.com
Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:
Peter-Matthias Gaede
VERLAGSLEITUNG
Dr. Gerd Brüne
ANZEIGENLEITERIN: Anke Wiegel
VERTRIEBSLEITER: Markus Böhler
MARKETINGLEITER: Florian Wagner
HERSTELLER: Peter Grimm

GEO-SERVICE-TELEFON
Abonnement
Deutschland: Tel. (040) 37 03 40 41, Fax (040) 37 03 56 57
Schweiz: Tel. (0041) 41 3 29 22 20, Fax (0041) 41 3 29 22 04
Österreich: Tel. 0820 00 1085, Fax 0820 00 1086
Übriges Ausland: Tel. 0041 41 329 22 20, Fax 0041 41 329 22 04
GEO-WISSEN@Leserservice.ch
Nachbestellung älterer Ausgaben
Deutschland:
Tel. (040) 37 03 38 03, Fax (040) 37 03 56 57
Bestellungen
Bücher, Kalender, Register, Schubert etc.
Deutschland, Österreich, Schweiz, übriges Ausland:
Tel. (0049) 1 805 06 2000, Fax (0049) 1 805 08 2000
Heft-Preis: 8,- • ISBN-Nr. 3-570-19468-x
© 2004 Gruner + Jahr, Hamburg
ISSN-Nr. 0933-9736

Anzeigenabteilung
Anzeigenverkauf: Lars Niemann,
Tel. (040) 37 03 29 32, Fax (040) 37 03 57 73
Anzeigen disposition: Wolfgang Rüdgers,
Tel. (040) 37 03 38 24, Fax (040) 37 03 57 73
Es gilt die GEO-Anzeigenpreisliste Nr. 25 vom 1. Januar 2004
Bankverbindung: Deutsche Bank AG Hamburg,
Konto 0322800, BLZ 200 700 00
Druck: Gruner + Jahr AG & Co KG
Druck- und Verlagshaus, Itzehoe/Holstein

Ihre Zukunft ist Ihr Wissen. Tun Sie heute etwas dafür.

www.wissenschaft.de

2004 jahre zukunfft
bild der
wissenschaft



Erfahren Sie alles, was Sie heute für morgen wissen müssen.

Testen Sie bild der wissenschaft!

Sie sparen **35%**
und erhalten dazu
gratis diese
Armbanduhr
im klassischen
Flieger-Design!



Ihre persönliche und berufliche Zukunft wird immer mehr von Ihrem Wissen geprägt. Nutzen Sie deshalb die Kompetenz eines der renommiertesten Wissensmagazine. Entdecken Sie die faszinierenden

Seiten der Wissenschaft und nutzen Sie den Wissensvorsprung! bild der wissenschaft vernetzt Erkenntnisse aus allen Wissensgebieten und zeigt verständlich Zusammenhänge auf.

3 Ausgaben für € 13,40 statt € 20,70

JA, bitte schicken Sie mir 3 Ausgaben bild der wissenschaft für € 13,40 mit 35% Ersparnis. Als Dankeschön erhalte ich gratis die hochwertige Uhr. Wenn ich bild der wissenschaft danach weiterbeziehen möchte, brauche ich nichts tun. Ich erhalte bild der wissenschaft dann künftig frei Haus geliefert – zum günstigen Abo-Preis von € 6,20 (statt € 6,90 für das Einzelheft) bei 12 Ausgaben im Jahr. Andernfalls sage ich zwei Wochen nach Erhalt der dritten Testausgabe ab. Das Abonnement kann ich jederzeit kündigen. Das Angebot gilt nur im Inland.

Vertrauensgarantie: Mir ist bekannt, dass ich die Bestellung innerhalb von 14 Tagen in Textform (z.B. Brief, Fax, e-mail) bei Presseservice Güll GmbH, bild der wissenschaft, Leserservice Heuriedweg 19, 88131 Lindau widerrufen kann. Die Frist beginnt mit der Absendung der Bestellung (Poststempel).

☒ Datum, 2. Unterschrift

AGEWM04

Name, Vorname

Straße, Nr.

PLZ

Wohnort

Telefon

e-mail

☒ Datum, Unterschrift

Coupon bitte abschicken an: bild der wissenschaft, Leserservice, Heuriedweg 19, 88131 Lindau.

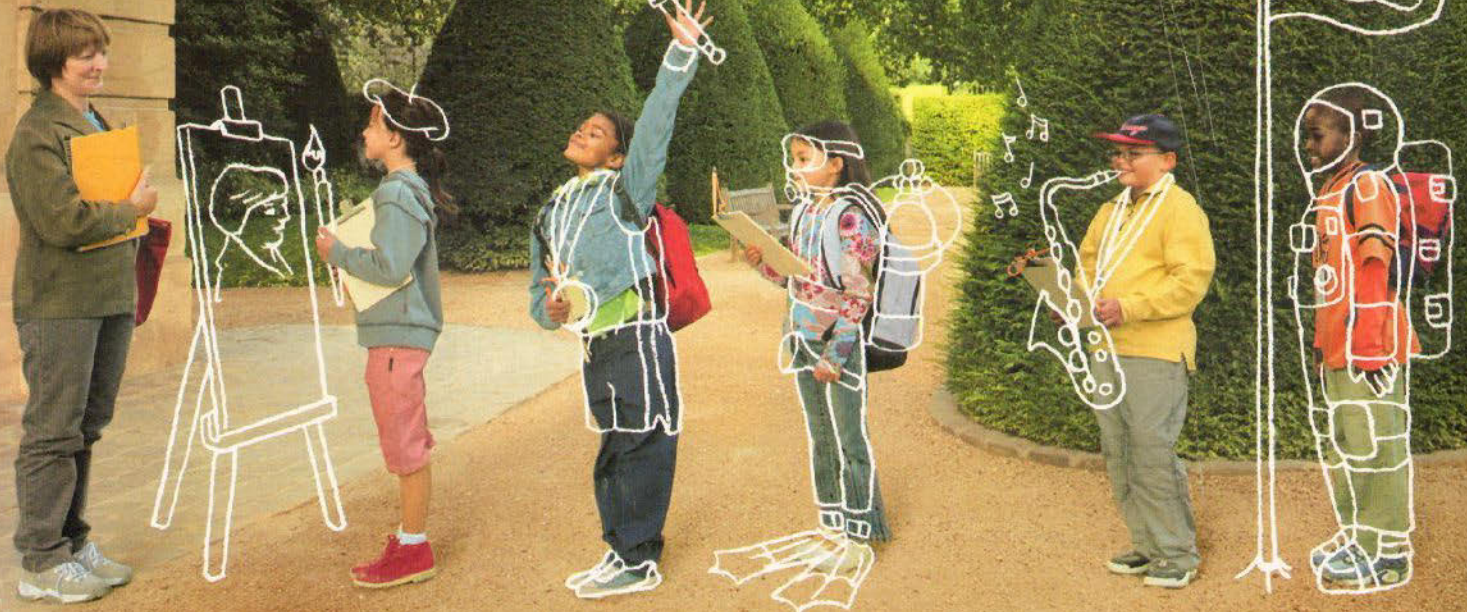
Oder: Telefon 083 82/9 63 17 41 Fax 083 82/9 63 15 62

Vertrauensgarantie: Mir ist bekannt, dass ich die Bestellung innerhalb von 14 Tagen in Textform (z.B. Brief, Fax, e-mail) bei Presseservice Güll GmbH, bild der wissenschaft, Leserservice Heuriedweg 19, 88131 Lindau widerrufen kann. Die Frist beginnt mit der Absendung der Bestellung (Poststempel).

bild der wissenschaft – ein Produkt der Konradin Medien GmbH, Ernst-Mey-Str. 8, 70771 Leinfelden-Echterdingen.

wir sehen Kinderträume wahr werden.

Kinder stecken voller Potenzial. Denn sie können alles werden, wovon sie träumen. Mit guten Pädagogen und dem richtigen Werkzeug schaffen sie es auch. Wir begeistern uns für Kinder und deren Potenzial. Davon inspiriert, entwickeln wir die Software, die ihre Träume wahr werden lässt. So helfen wir zum Beispiel Vorschulkindern, ihr sprachliches Talent zu entwickeln. Mehr über unsere Initiative „Schlaumäuse – Kinder entdecken Sprache“ sehen Sie unter Microsoft.com/germany/potenzial



Ihr Potenzial. Unser Antrieb.

Microsoft