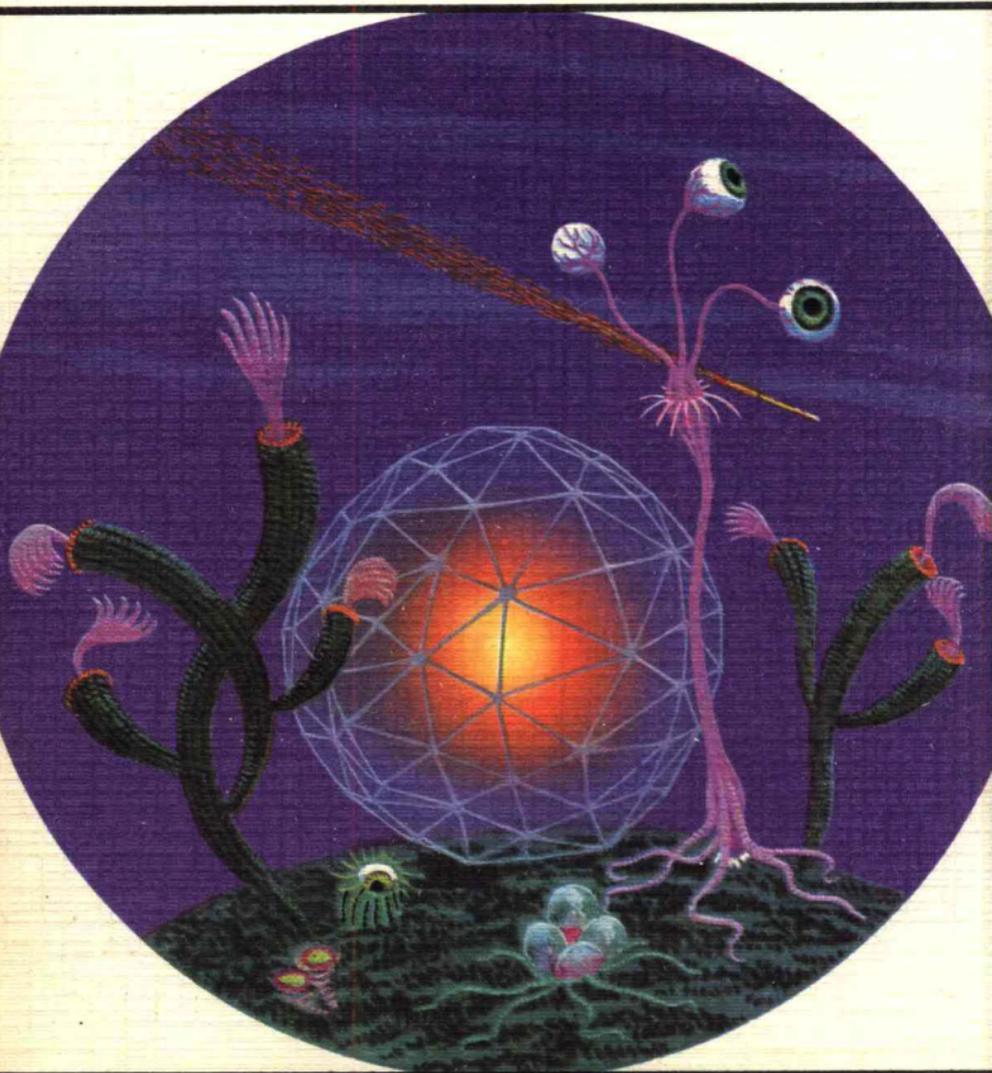


akzent

Johann Dorschner

Sind wir allein im Weltall?





Dr. Johann Dorschner

Sind wir allein im Weltall?

Urania-Verlag Leipzig Jena Berlin

Autor: Dr. Johann Dorschner,
Friedrich-Schiller-Universität, Jena

Illustrationen: Klaus Thieme

3., überarb. Auflage 1978
51.–70. Tausend. Alle Rechte vorbehalten
© Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin
Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig, 1974
VLN 212-475/101/78 LSV 1499
Lektor: E. Oetzel
Umschlagreihenentwurf: Helmut Selle
Typografie: Hans-Jörg Sittauer
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb
Leipzig – III/18/97
Best.-Nr.: 653 249 1
DDR 4,50 M

Inhalt

In eigener Sache

Das ungewöhnliche Problem

Faszinierende Fragen 9

Geschäfte mit der Phantasie 10

Historische Wurzeln moderner Ideen 12

Wissenschaftliche Motive für die Suche 16

Nachweismöglichkeiten für außerirdische
Zivilisationen 19

Leben auf der Erde

Das Geheimnis des blauen Planeten 22

Was ist Leben? 24

Die planetologische Ausgangssituation 30

Die Entstehung des Lebens 35

Andere Arten von Leben? 40

Leben im Sonnensystem

Die Ökosphäre der Sonne 44

Die Geheimnisse des Planeten Mars 48

Venus – die Zwillingschwester der Erde 53

Die »lebensträchtigen« Atmosphären der Riesenplane-
ten 55

Lebewesen in Meteoriten? 58

Planetensysteme und Zivilisationen

Organische Moleküle im Kosmos 62

Wie entsteht ein Planetensystem? 64

Planetensysteme um andere Sterne 69

Wieviel »zivilisierte« Planeten gibt es? 73

»Exosoziologie« und »Superzivilisationen« 77

Funksignale aus dem Kosmos

Pulsare und »Kleine Grüne Männer« 83

Frequenz und Bandbreite 85

Natürliches Radiogeräusch oder künstliches Signal? 89

Wie könnte eine interstellare Botschaft aussehen? 92

Die Suche nach außerirdischen Zivilisationen 97

Besucher aus dem Kosmos

»Fliegende Untertassen« und »Planetarier« 100

Archäologische Rätsel und Gäste aus dem Kosmos 106

Moderne Ideen in alten Büchern 113

Der Flug zu den Sternen

Horchen und Warten kontra Rufen und Fliegen 116

Relativistische Raumflüge und Besiedlung des Kosmos 120

Anhang

Das Drakesche Kosmogramm 126

Für Christa

In eigener Sache

Bei zahlreichen Vorträgen, die ich im letzten Jahrzehnt zu astronomischen und astronautischen Themen bei der Gesellschaft »Urania« hielt, wurde mir oft die Frage gestellt, die diesem Taschenbuch den Titel gab: »Sind wir allein im Weltall?« Meine Antwort löste häufig eine Fülle neuer, ins Detail gehender Fragen aus. Die Begeisterung, die dabei vor allem aus den Fragen und Argumenten junger Zuhörer sprach, war so beeindruckend, daß ich mich entschloß, die wichtigsten Punkte, die heute in der wissenschaftlichen Diskussion um den Problemkreis »Vernunftbegabtes Leben im Kosmos« eine Rolle spielen, in systematischer und möglichst leicht verständlicher Form zu Papier zu bringen, um sie einem großen Kreis von Interessenten zugänglich zu machen.

Der Urania-Verlag Leipzig kam meinen Vorstellungen in dankenswerter Weise entgegen und setzte mein Manuskript in das vorliegende Buch um. Zahlreiche Anregungen, die vor allem im biologischen Teil des Buches ihren Niederschlag fanden, verdanke ich Herrn Dr. Fritz Jungnickel von der Sektion Biologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Für die kritische Sichtung des Manuskripts zu Dank verpflichtet bin ich weiterhin den Herren Dr. K.-H. Schmidt vom Zentralinstitut für Astrophysik in Potsdam-Babelsberg und Dr. Ludwig Kühn von der Universitätssternwarte Jena.

J. Dorschner



Das ungewöhnliche Problem

Faszinierende Fragen

Menschen stellen häufig Fragen. Meist betreffen sie praktische Bereiche, z. B. den Tagesablauf, die Familie, den Beruf, die Politik, die Technik, die Wissenschaft ... Nicht selten wollen wir jedoch auch über Dinge informiert werden, die keine unmittelbare praktische Bedeutung für uns haben und schon gar nicht lebensnotwendig sind. Wir interessieren uns für neuentdeckte Elementarteilchen, für Neutronensterne, für Gesteinsproben vom Mond, für die Sprache der Delphine, für die Biographie von Nikolaus Kopernikus. Mit Begeisterung lesen wir Berichte über archäologische Ausgrabungen, über das Aussehen der Marsmonde, über die Entzifferung der Mayaschrift und viele andere »nutzlose« Dinge, deren Kenntnis uns keine materiellen Vorteile verschafft, sondern »nur« ideellen Wert besitzt, unseren Horizont weitet und neue Fragen in uns provoziert.

Unter den besonders »welfremden« Fragen, die uns magisch anziehen, befindet sich auch die, die unserem Büchlein den Titel gibt: Sind wir allein im Weltall? Die Vorstellung, daß irgendwo im Kosmos intelligente Lebewesen gleich uns die Natur zu überlisten und in den Griff zu bekommen versuchen, läßt die meisten Menschen nicht gleichgültig. Wir brennen vor Neugierde, wo unsere unbekanntenen »Verwandten« zu suchen sind, wie sie leben und arbeiten, wie weit sie es in Wissenschaft und Technik

»Marsbewohner« nach H. G. Wells

gebracht haben. Haben sie möglicherweise schon Mittel und Wege gefunden, die Energie ihrer Sonne im großen Stil »anzuzapfen«? Sind sie in der Lage, interstellare Entfernungen mit Raumschiffen zu überbrücken? Wissen sie von unserer Existenz? Halten sie uns »Terraner«, uns Erdbewohner, für besonders problematisch, weil es noch immer Ausbeutung und Krieg auf unserem Planeten gibt? Wollen sie uns helfen, oder müssen wir uns auf eine Invasion aus dem Kosmos vorbereiten?

Bisher kennen wir trotz unserer Astronomie, Nachrichtentechnik und Raumfahrt keine einzige außerirdische Gesellschaft vernunftbegabter Wesen. Das braucht uns aber keineswegs zu entmutigen, denn gerade unsere astronomischen, nachrichtentechnischen und astronautischen Erfahrungen lehren uns, wie schwierig es sein dürfte, Lebenszeichen einer außerirdischen Zivilisation nachzuweisen oder gar mit ihr in Kontakt zu kommen. Im Gegensatz zu früheren Generationen, deren größte Denker sich auch die Frage vorlegten, ob die Menschheit einzigartig im Kosmos sei oder nicht, haben wir heute mehr als nur die reine Phantasie zur Verfügung, wenn wir nach einer Antwort suchen. Verschiedene Wissenschaftszweige geben uns Anregungen, wie wahrscheinlich wir uns das Auftreten intelligenten Lebens im Weltall vorstellen dürfen. Im vorliegenden Büchlein wollen wir diesen Anregungen nachgehen.

Geschäfte mit der Phantasie

Die Frage nach der Existenz vernunftbegabten Lebens im Weltall führt uns in das Reich der »Denkmöglichkeiten«, in eine romantische »Wildnis«, in der es noch wenig »ausgetretene Pfade« der Wissenschaft gibt. Die Versuchung, von diesen wenigen, meist schwer begehren Wegen der »trockenen« wissenschaftlichen Schlußfolgerungen abzuweichen und sich seitlich in die »Büsche« der hemmungslosen Phantastereien zu schlagen, ist groß, zumal es viele Stimmen gibt, die ausdrücklich dazu raten und Interessantes anzubieten haben. Ein ganzer Literaturzweig, die utopische Literatur oder, wie es im

Englischen treffender heißt, die science fiction (Wissenschaftsdichtung), verlockt dazu.

Die Entdeckung, daß man mit phantastischen Geschichten über fremde Welten viele Menschen begeistern und große literarische und kommerzielle Erfolge erzielen kann, wurde allerdings nicht erst in unserer Zeit gemacht. So berichtete beispielsweise die »New York Sun« im Jahre 1835, daß es dem bekannten englischen Astronomen Sir John Herschel mit einem Riesenteleskop auf der Kap-Sternwarte gelungen sei, Mondbewohner zu beobachten. Sogar Bilder dieser Geschöpfe wurden vorgelegt. Wenn man zeitgenössischen Gerüchten glauben darf, bewirkte diese »Ente«, daß die »Sun« ihre Auflage vorübergehend drastisch erhöhen mußte.

Nachdem im Jahre 1877 die sogenannten Marskanäle entdeckt worden waren, begann in einigen Ländern eine regelrechte »Mars-Psychose«. Der bekannte englische Schriftsteller Herbert George Wells schockierte 1898 mit dem Buch »Der Krieg der Welten« seine Landsleute, als er einen Überraschungsangriff gewissenloser, technisch überlegener Marsbewohner auf England schilderte. Noch im Jahre 1938 kam es in einigen Städten an der Ostküste der USA zu panikartigen Zuständen, als der Rundfunk eine Neubearbeitung von Wells Idee als Reportage ausstrahlte. Die Sendung war so »realistisch«, daß zahlreiche Menschen kopflos auf die Straßen stürmten, weil sie glaubten, in New Jersey seien tatsächlich Martianer gelandet.

In den letzten Jahren wurden in der westlichen Welt die Bücher des Schweizer Amateurarchäologen Erich von Däniken zu Verkaufsschlagern. Unter Titeln wie »Erinnerungen an die Zukunft – Ungelöste Rätsel der Vergangenheit« und »Zurück zu den Sternen – Argumente für das Unmögliche« deutete der Verfasser zahlreiche rätselhafte archäologische Befunde zugunsten seiner Idee, daß intelligente Lebewesen von anderen Planeten vor Jahrtausenden die Erde besuchten und die Entwicklung der Menschheit in ihrem Sinne beeinflussten. Die Facharchäologen, die den kühnen Interpretationen des Amateurs nicht immer folgen können, werden als unfähige Kathedergelehrte abgekanzelt, denen es an schöpferischer Phantasie mangelt, weil sie in Vorurteilen ersticken.

Wie eh und je geht also auch heute von der Vorstellung, daß wir nicht allein im Weltall sind, eine unerhörte Faszination aus. Sie gleicht dem Funkeln eines Edelsteins, den man sich wegen seines Glanzes etwas kosten läßt. Nur der Kenner sieht, daß oft genug lediglich Glas angeboten wird – raffiniert geschliffen, um es gut verkaufen zu können.

Historische Wurzeln moderner Ideen

Die Frage nach der Stellung des Menschen im Kosmos ist keine Erfindung der Neuzeit. Bereits die »Ahnherren« der Wissenschaft, z. B. die Gelehrten der berühmten ionischen Philosophenschule, die Thales von Milet um 600 v. u. Z. gegründet hatte, stellten sich Mond und Sterne mit lebenden Wesen bevölkert vor. Anhänger der 300 Jahre später gegründeten Gelehrtenschule der Epikuräer äußerten sogar, der Gedanke, daß die Erde die einzige bewohnte Welt sei, müsse als absurd betrachtet werden.

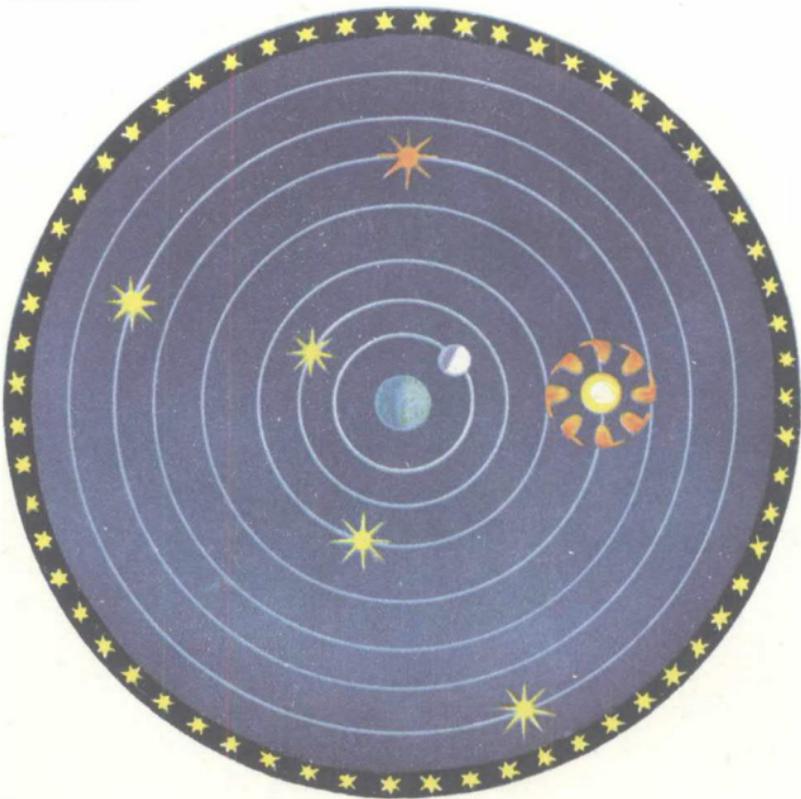
Nach diesen optimistischen Spekulationen der antiken Philosophen folgte eine mehr als 1000jährige »Denkpause«. Das kam so: Im 2. Jh. u. Z. hatte der alexandrinische Gelehrte Claudius Ptolemäus ein geometrisches Modell ausgearbeitet, mit dem die Bewegungen aller Gestirne mit einer für die damalige Zeit hohen Genauigkeit wiedergegeben werden konnten. Sonne, Mond und Planeten umliefen auf kompliziert zusammengesetzten Kreisbahnen die im Mittelpunkt des Weltganzen ruhende Erde. Eingehüllt wurde dieses System von der Fixsternsphäre, dem kugelförmigen Himmelsgewölbe, an dem die Sterne befestigt waren und das sich einmal am Tage um die Erde drehte. Durch die einzigartige Stellung der Erde im Kosmos war auch die Menschheit zu etwas Einmaligem geworden; die Frage nach anderen bewohnten Welten schien den Gelehrten daher überflüssig.

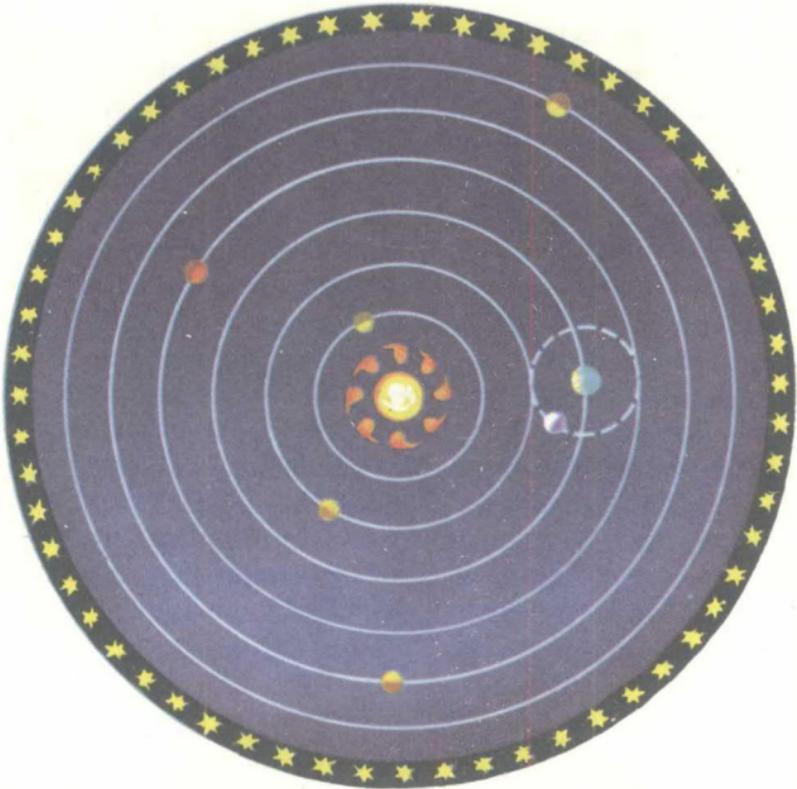
Erst zur Zeit der Renaissance wurden die Überlegungen der antiken Philosophen wieder aktuell. Zwischen den beobachteten Örtern der Planeten am Himmel und den nach der Ptolemäischen Planetentheorie berechneten waren Widersprüche zutage getreten. Um sie zu beheben, baute man zusätzliche geometrische »Tricks« ein, die das Modell

immer unübersichtlicher werden ließen. In dieser Situation kam der polnische Gelehrte Nikolaus Kopernikus auf eine revolutionäre Idee. Seiner Meinung nach war es mit einer »Reparatur« des Ptolemäischen Modells nicht getan. Es mußte vielmehr ein grundsätzlicher Irrtum beseitigt werden, nämlich die Zentralstellung der Erde. Kopernikus arbeitete eine neue, heliozentrische Planetentheorie aus, nach der die Sonne im Mittelpunkt des Kosmos steht, während die Erde zu den sie umlaufenden Himmelskörpern zählt, also »nur noch« ein Planet unter Planeten ist. Mit der Durchsetzung dieses neuen Weltbildes ging der alten Vorstellung, wonach die Erde mit ihren Bewohnern etwas absolut Einzigartiges darstellt, das entscheidende astronomische Argument verloren.

In der Tat waren die führenden Astronomen des 17. Jh. fest von der Existenz anderer bewohnter Planeten über-

Das geozentrische Weltbild der Antike nach Claudius Ptolemäus





Das heliozentrische Weltbild der Renaissance nach Nikolaus Kopernikus

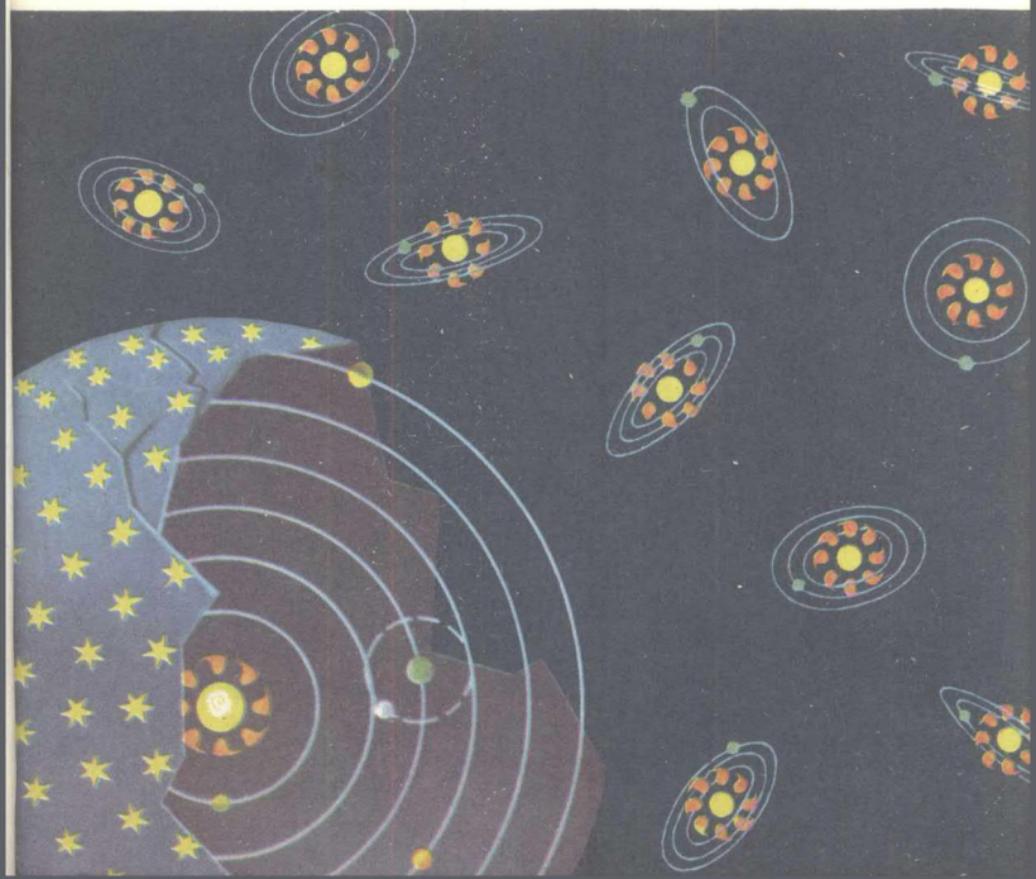
zeugt. Hatte die Kopernikanische Revolution ein neues Fundament gelegt, so brachten die durch die Erfindung des Fernrohrs möglich gewordenen Untersuchungen der Himmelskörper des Sonnensystems, die sich z.T. als »erdähnlich« herausstellten, eine Fülle anregender Erkenntnisse. Mit seinem Fernrohr hatte der italienische Physiker Galileo Galilei Berge und Täler auf dem Mond entdeckt. Einer der erfolgreichsten Planetenbeobachter des 17. Jh., der Niederländer Christian Huygens, hielt auf Grund seiner Ergebnisse den Mars für eine zweite Erde und stellte als erster wissenschaftliche Betrachtungen über die Bewohnbarkeit der Planeten an.

Im Schatten der Kopernikanischen Revolution vollzog sich eine andere, für unsere Überlegungen wichtige Umwälzung. War Kopernikus noch davon überzeugt, daß die Sterne am Himmelsgewölbe, das den Kosmos be-

grenzte, angeheftet waren, so stellte sie sich Isaac Newton anderthalb Jahrhunderte später als im grenzenlosen Raum verteilte Sonnen vor. Wir wissen nicht genau, wer in der Zwischenzeit die geistige »Sprengung« der Fixsternsphäre als erster vollzogen hatte. Fest steht aber, daß im Jahre 1600 der Mönch Giordano Bruno in Rom von der Inquisition verbrannt wurde, weil er u. a. von der Existenz zahlloser »Sonnen« und zahlloser sie umkreisender »Erden« überzeugt war und damit gegen die Lehre der Kirche verstieß. Brunos Ahnung von der Vielzahl bewohnter Planetensysteme schob die Diskussion über vernunftbegabtes Leben im Weltall über die Grenzen des Sonnensystems hinaus und hob sie damit auf die astronomische Ebene, auf der sie heute geführt wird.

Wiederum eineinhalb Jahrhunderte später tauchte ein neuer, wichtiger Gedanke auf. Im Jahre 1755 erschien die

Giordano Bruno ahnte, daß die Fixsterne keine am Himmelsgewölbe befestigten Lichter sind, sondern ferne »Sonnen«, die den unendlichen Weltraum füllen.



»Naturgeschichte und Theorie des Himmels«, in der der deutsche Philosoph Immanuel Kant die Herkunft des Sonnensystems wissenschaftlich zu erklären versuchte. Sonne und Planeten entstanden seiner Meinung nach aus einer chaotischen Ansammlung von Meteoriten unter der ausschließlichen Wirkung der von Newton formulierten Grundgesetze der Mechanik. Erstmals erschien das Planetensystem als Ergebnis eines kosmischen Entwicklungsprozesses, der im Prinzip auch an anderen Stellen des Weltalls ablaufen konnte.

Später hielt der Entwicklungsgedanke auch in die Geologie und schließlich in die Biologie Einzug. Um 1830 vertrat der Engländer Charles Lyell die Meinung, daß das heutige Aussehen der Erdoberfläche das Ergebnis einer langen, stetigen Entwicklung ist. Unter dem Eindruck dieser neuen Ideen begründete sein Landsmann Charles Darwin die Abstammungslehre, die Lehre von der Evolution des Lebens auf der Erde, und veröffentlichte 1859 sein berühmtes Buch »Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl«. Damit war die Basis für die heutigen Versuche gegeben, die Frage nach der Herkunft vernunftbegabten Lebens im Weltall wissenschaftlich zu beantworten: Eine Gemeinschaft intelligenter Lebewesen entsteht durch die Evolution innerhalb der Biosphäre eines Planeten. Dieser wiederum verdankt seine Existenz kosmischen Entwicklungsprozessen. Die Fähigkeit der Materie, sich zu Lebewesen zu organisieren, ist in ihren Bewegungsgesetzen begründet. Beim Vorliegen bestimmter »planetologischer« Bedingungen kann sich diese Fähigkeit realisieren.

Wissenschaftliche Motive für die Suche

Über intelligentes Leben im Kosmos finden heute wissenschaftliche Tagungen statt. Eine internationale Konferenz zu diesem Thema wurde vom 6. bis 11. September 1971 in der armenischen Stadt Bjurakan abgehalten. Die Akademie der Wissenschaften der UdSSR und die Nationale Akademie der Wissenschaften der USA hatten gemeinsam mit der Akademie der Wissenschaften der

gastgebenden Armenischen SSR das Unternehmen vorbereitet, zu dem sich prominente Astronomen, Biologen, Physiker, Chemiker, Anthropologen, Soziologen, Historiker, Philosophen, Kybernetiker und Informationstheoretiker trafen, um ihre Vorstellungen zum Thema »Verbindungen zu außerirdischen Zivilisationen« zu diskutieren. Unter der Bezeichnung CETI 71 ist die Konferenz überall bekannt geworden. CETI ist die Abkürzung von *Communication with Extra-Terrestrial Intelligence* (Verbindung zu außerirdischer Intelligenz), ein Name, den der tschechoslowakische Wissenschaftler R. Pešek für ein Projekt zum Nachweis intelligenten Lebens im Weltall 1965 vorgeschlagen hatte.

Wenn bedeutende Wissenschaftler über Kontaktmöglichkeiten zu außerirdischen Gemeinschaften denken, der Wesen eine Tagung abhalten, dann gibt das zu denken. Zumindest müssen sie wissenschaftliche »Motive« für die Annahme haben, daß außerirdische Zivilisationen überhaupt existieren. Unser Problem hat jedoch gewisse Ähnlichkeiten mit einem Kriminalfall, bei dem noch alles im dunkeln liegt. Wir haben bisher weder »Fingerabdrücke« noch andere beweiskräftige »Spuren« außerirdischer Intelligenzen entdeckt, zumindest keine solchen, die der kritischen Untersuchung standgehalten und allgemeine Anerkennung durch die Wissenschaft gefunden haben. Auch haben bisher keine »Extraterrestrier« mit uns Kontakt aufgenommen. Es liegt also weder ein »Indizienbeweis« noch ein »Geständnis« vor. Den einzigen greifbaren Schlüssel bietet uns das Motiv der Wissenschaftler, trotz dieser unbefriedigenden Situation auf die Suche zu gehen.

Eine der tiefgründigsten Fragen, die heute die Biologie stellt, könnte man etwa so formulieren: Ist Leben ein allgemeines Prinzip, das sich auch anderswo im Kosmos realisiert, oder ist es etwas spezifisch Irdisches?

Diese Frage läßt sich natürlich nur endgültig beantworten, wenn man nach Leben außerhalb der Erde sucht. Lebewesen mit Verstand, die ihre Umwelt begreifen und zu ihren Gunsten verändern, die also in einem bestimmten Bereich des Kosmos die Natur in eine Kultur verwandeln, sollten den über astronomische Entfernungen hinweg ope-

rierenden Forschern am ehesten auffallen und sind daher bei dieser Suche besonders interessant.

Wir kennen bisher nur eine »Sorte von Leben«, die Biosphäre des Planeten Erde. Nach den biochemischen Forschungsergebnissen der letzten Jahrzehnte sind die irdischen Lebensprozesse, die die lebende von der toten Materie unterscheiden, an spezielle Riesenmoleküle gebunden, die der Kohlenstoff mit Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Eisen und einigen anderen Elementen bildet. Alle wichtigen »Baugruppen« dieser »Lebensmoleküle« konnten im Laboratorium unter Bedingungen synthetisiert werden, wie sie wahrscheinlich auf der Urerde vor rund 4,5 Mrd. Jahren herrschten. Die dazu notwendigen Prozesse sind auch auf andere Planeten übertragbar, auf denen ähnliche physikalische und chemische Voraussetzungen bestehen. Die Suche anderer Planeten, auf denen sich Leben entwickelte, ist daher nicht nur interessant, sondern geradezu wissenschaftlich erstrebenswert.

Interessanterweise bestehen die irdischen Lebewesen aus den chemischen Elementen mit der größten kosmischen Häufigkeit. In jüngster Zeit haben die Astronomen sogar die überraschende Entdeckung gemacht, daß gerade die Moleküle, die die Biochemiker als Ausgangsstoffe für die Synthese der »Lebensmoleküle« betrachten, im Kosmos weit verbreitet sind. Von der »Rohstoffsituation« her gibt es also wenig Probleme. Auch auf der Suche nach geeigneten Orten, an denen Leben entstehen kann, also nach Planeten, konnten die Astronomen Fortschritte erzielen. Planetensysteme scheinen keineswegs so selten zu sein, wie man früher annahm. Bereits die nächsten Sterne verhalten sich so, als ob sie von dunklen Körpern niedriger Masse umrundet würden. Man darf natürlich nicht in jedem der möglicherweise zahlreich vorhandenen Planetensysteme Leben oder gar eine Gemeinschaft intelligenter Lebewesen, eine Zivilisation, erwarten. Da jedoch im überschaubaren Teil des Universums, der innerhalb der Reichweite der größten Teleskope liegt, rund 10^{21} , d. h. eine Milliarde Billionen, Sterne enthalten sind, kann selbst eine sehr niedrige Wahrscheinlichkeit für die Existenz eines bewohnten Planeten immer

noch zu einer stattlichen Anzahl von Zivilisationen in diesem Bereich führen. Selbst wenn nur einer unter einer Milliarde von Sternen diese Eigenschaft hat, dann enthält der überschaubare Raum rund eine Billion, also tausend Milliarden Zivilisationen.

Wenn die technische Entwicklung einer Zivilisation weit genug fortgeschritten ist und wenn genügend große Energiequellen zur Verfügung stehen, können wir erwarten, daß sie sich den anderen Bewohnern des Universums bemerkbar machen kann. Besonders hochentwickelte Zivilisationen können vielleicht sogar den gigantischen »Ozean« des Weltraumes überqueren und eine benachbarte Zivilisation besuchen. Solche, im Augenblick allerdings noch sehr spekulative Überlegungen, bilden weitere »Motive«, daß sich ernst zu nehmende Wissenschaftler mit diesem Forschungsgegenstand einlassen, den bisher noch niemand zu Gesicht bekam.

Nachweismöglichkeiten für außerirdische Zivilisationen

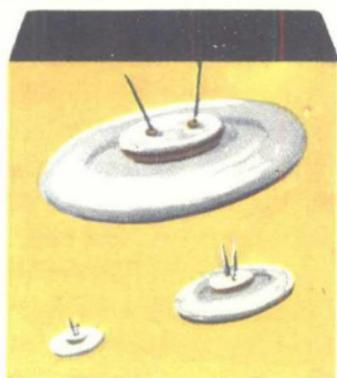
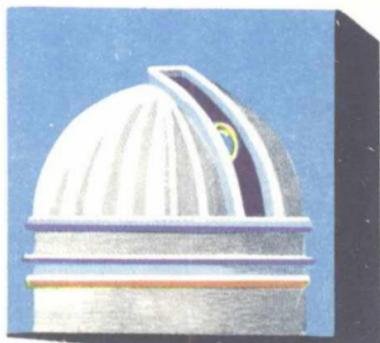
Die Wissenschaftler suchen natürlich Möglichkeiten, außerirdische Zivilisationen exakt nachzuweisen, um die Überzeugung von ihrer Existenz zu rechtfertigen. Für einen solchen Nachweis gibt es eine Reihe von Vorschlägen, die sich in drei Gruppen einordnen lassen:

1. Man kann mit Hilfe von Raumfahrtunternehmungen andere Himmelskörper an Ort und Stelle untersuchen und damit direkt feststellen, ob es auf ihnen eine Biosphäre gibt oder eventuell früher einmal gab.

2. Man kann den Weltraum nach »Intelligenzspuren« absuchen bzw. nach »vernünftigen« Signalen abhören, die von der Existenz denkender Wesen zeugen.

3. Man kann nach Spuren suchen, die Besucher aus dem Kosmos auf unserem Planeten oder an anderen Stellen des Sonnensystems hinterlassen haben könnten.

Die erste Methode ist zweifellos der direkte und sicherste Weg. In ihrer Reichweite ist sie natürlich vorerst auf die Körper des Sonnensystems beschränkt.



Der zweiten Methode gibt man heute die größten Chancen, wenn es um den Nachweis von fernen Gemeinschaften intelligenter Wesen geht. Das Prinzip besteht darin, elektromagnetische Strahlungen, z. B. Radiowellen oder Licht, zu entdecken, die entweder von Sendern herrühren, die denkende Wesen gebaut haben, oder Anzeichen einer künstlichen Beeinflussung aufweisen. Technische Gründe und die Eigenschaften des Mediums zwischen Sender und Empfänger sind dafür maßgebend, daß man heute in erster Linie an Radiosignale denkt und die Aufgabe des Nachweises den Radioastronomen überträgt.

Die dritte Methode schließlich geht von der allerdings sehr spekulativen Überlegung aus, daß besonders weit fortgeschrittene Zivilisationen das Problem der interstellaren Raumfahrt gelöst und sich über das Milchstraßensystem, jener gewaltigen Welteninsel, zu der die Sonne im Verein mit mehr als hundert Milliarden anderer Sterne gehört, ausgebreitet haben könnten. Es ist dann nur eine Frage der Zeit, wann ihre Vertreter oder die von ihnen als Kundschafter entsandten Roboter im Sonnensystem »aufkreuzen«.

Wie die »Besucher« aus dem Kosmos aussehen und auf welche Weise sie »anreisen«, ist natürlich unbekannt. Wir halten aber die Vermutung für vernünftig, daß wir von der Kontaktaufnahme etwas merken. Da eine solche Begegnung auf jeden Fall ein äußerst fremdartiges Ereignis sein wird, besteht das Prinzip dieser dritten Methode gerade darin, auf rätselhafte Ereignisse achtzugeben. Genau das aber ist der wunde Punkt des Verfahrens. Bei zu unkritischem Vorgehen läuft man nämlich Gefahr, jedes unbekante und rätselhafte Phänomen der Wirkung einer »höheren Intelligenz von außerhalb« zuzuschreiben.

Leider ist diese dritte Methode schon oft mißbraucht worden; das Zutrauen kritisch eingestellter Menschen zu ihr ist daher tief erschüttert. Trotzdem vertreten wir den Standpunkt, daß die zugrunde liegenden Ideen Beachtung verdienen.

Nachweismöglichkeiten für fremde Zivilisationen.

Leben auf der Erde

Das Geheimnis des blauen Planeten

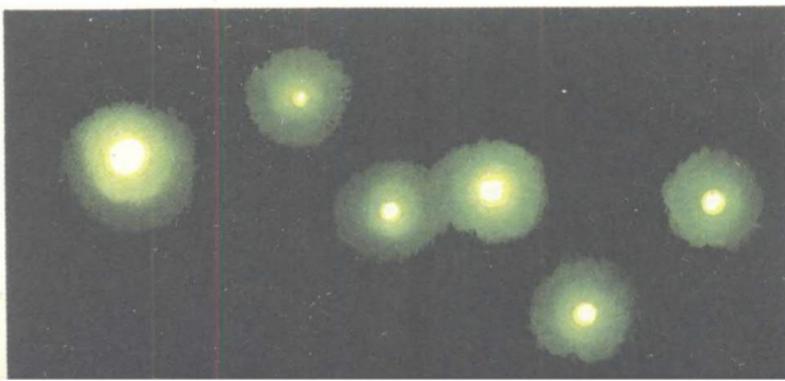
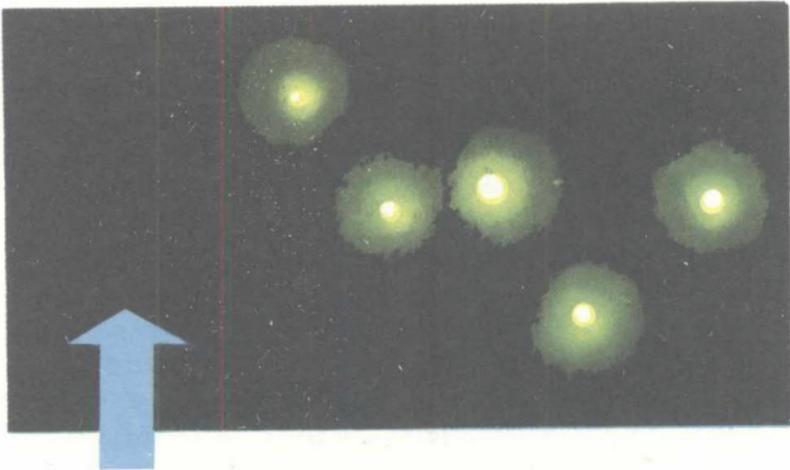
Gibt es Leben auf der Erde? Wir stellen diese »witzlose« Frage, um uns in Form einer kleinen Geschichte, eines Gedankenexperiments, in die Lage von »Extraterrestriern« zu versetzen, die unseren Planeten während einer Expedition ins Sonnensystem »unter die Lupe« nehmen. Aus dieser Perspektive können wir nämlich die Erde bedeutend objektiver als sonst beurteilen.

Aus dem Planetensystem, das wir uns um den Stern Alpha Centauri denken, der mit vier Lichtjahren Entfernung zur unmittelbaren kosmischen Nachbarschaft der Sonne gehört, sei ein bemanntes Raumschiff im Sonnensystem angekommen. Seine Mannschaft bestehe aus Angehörigen einer wissenschaftlich-technisch hochentwickelten Zivilisation, die bereits in der Lage ist, Expeditionen zu den Nachbarsternen zu entsenden. Die »Centauriden« – so wollen wir sie nennen – wurden auf den bläulich schimmernden dritten Planeten der Sonne aufmerksam, als sie ihn vom Jupitermond Io aus, wo sie eine provisorische wissenschaftliche Station errichtet hatten, astronomisch untersuchten. Die ungewöhnliche, freien Sauerstoff enthaltende Atmosphäre dieses Planeten reizte ihre wissenschaftliche Neugier. Warum wird dieses chemisch so aktive Element nicht vom Oberflächengestein gebunden? Oder: Wenn es sich mit dem Oberflächenmaterial verbindet, durch welchen ungewöhnlichen chemischen Prozeß wird der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre dann wieder regeneriert? Noch mehr beeindruckt waren die »Centauriden« von den fremdartigen »Radiogeräuschen«

des blauen Planeten. Sollte es sich um elektromagnetischen »Intelligenzmüll« handeln?

Um der Sache auf den Grund zu gehen, schickten sie eine Robotersonde zur Erde. Sie erkundete zahlreiche planetologische Fakten: Der blaue Planet ist zu zwei Dritteln von Wasser bedeckt und besitzt vereiste Polargebiete. Seine Kruste weist Merkmale starker innerer Aktivität auf, sie ist andererseits entscheidend durch Erosion geprägt und mit dicken Schichten von Verwitterungsprodukten bedeckt. Stellenweise zeigt der Planet eine ungewöhnliche grüne Färbung. Es finden sich Gegenden mit auffällig regelmäßig angeordneten Oberflächendetails. Auf der Nachtseite fallen schwache Lichter auf. Im Radiogebiet wimmelt es von »unnatürlichen« Lauten. Von zahlreichen metallischen Mönchen, die die Erde umkreisen, gehen gleichfalls solche Geräusche aus.

Der Stern Sonne am Himmel eines (angenommenen) Planeten um unseren Nachbarstern Alpha Centauri. Die Sonne ergänzt als auffällig heller, gelber Stern das W-förmige Sternbild Cassiopeia. Der Pfeil kennzeichnet die Richtung zum Polarstern.



Die Sonde entnahm schließlich noch Luft-, Wasser- und Bodenproben. Während die Proben automatisch analysiert wurden, bemühten sich die »Centauriden«, die »Radiogeräusche«, die ihr Computer als »künstlich« klassifiziert hatte, zu entschlüsseln.

Die Analyseergebnisse entsprachen teils den Erwartungen, teils waren sie äußerst aufregend. In allen Proben wurden winzige, charakteristisch geformte und mit einer einzigartigen inneren Struktur und chemischen Beschaffenheit ausgestattete Gebilde gefunden. Es waren offensichtlich »Behältnisse«, in denen sich eine wäßrige Lösung hochmolekularer Kohlenstoffverbindungen befand. Die Bausteine dieser Riesenmoleküle waren den »Centauriden« gut bekannt, nur die Art der Verknüpfung zu extrem langen Fäden mit speziellen Windungen und Faltungen stellte für sie eine Neuigkeit dar. Experimente zeigten bald, daß es hier nicht um willkürliche Molekülmischungen ging, sondern um ein ausgeklügeltes chemisches System mit genau aufeinander abgestimmten Komponenten. Der Bordcomputer ordnete diese Gebilde, nachdem man ihn mit den Analysendaten und den Untersuchungsergebnissen »gefüttert« hatte, in die Rubrik »Lebende Molekülsysteme« ein.

Damit war der Schlüssel zum Verständnis der eigenartigen Beobachtungen gefunden. Die grünen Flächen, die sich regenerierende Sauerstoffatmosphäre, die künstlichen Radiosignale u. a. m. hingen damit zusammen, daß der blaue Planet eine Biosphäre besaß, innerhalb deren sich eine Zivilisation vernunftbegabter Lebewesen gebildet hatte.

Was ist Leben?

Für den Nichtbiologen bietet die irdische Biosphäre mit ihren fast zwei Millionen Arten von Lebewesen ein unübersehbares Gewirr von Formen, Strukturen, Farben, Lebensgewohnheiten usw. Es bedarf bereits sehr gründlicher Untersuchungen, um aus dieser bunten Vielfalt das allen Lebewesen Gemeinsame herauszuschälen.

Eine fundamentale Eigenschaft allen Lebens ist der Stoffwechsel. Jeder Organismus nimmt Nahrung auf und

erzeugt daraus »eigene« Stoffe, die er zum Leben braucht. Er beschafft sich dadurch die zum Leben notwendige Energie, stellt »Baumaterial« zum Bestreiten seines Wachstums zur Verfügung und ersetzt alles, was in ihm verschlissen bzw. verbraucht wird. Nicht Verwertbares oder im Organismus anfallender »Müll« wird ausgeschieden.

Eine weitere grundlegende Eigenschaft ist die Fähigkeit zur Fortpflanzung. Jedes Lebewesen kann von sich Reproduktionen herstellen. Dieser Prozeß verläuft fast so genau wie ein fotografischer Kopiervorgang; die Lebewesen vererben ihre Eigenschaften. Zu Änderungen der Eigenschaften, sogenannten Mutationen, kommt es nur in geringem Umfang und auf zufälligem Wege. Durch die große Beständigkeit des Erbgutes ist eine gewisse Stabilität des Lebens auf der Erde gesichert. Die auftretenden Mutationen ermöglichen jedoch eine Evolution der irdischen Biosphäre über lange Zeiträume hinweg.

Mutanten, die ihrer Umwelt besonders gut angepaßt sind, sind ihren Artgenossen überlegen, können sich daher besser durchsetzen und bilden so den Ausgangspunkt für die Entstehung neuer Arten.

Zufällige Veränderungen, Mutationen, sowie ein natürlicher Ausleseprozeß, die Selektion, bewerkstelligten also die Evolution der irdischen Biosphäre, durch die im Laufe der Erdgeschichte immer neue Arten mit größeren »Fähigkeiten« hervorgebracht wurden.

Der Aufstieg der irdischen Biosphäre erfolgte allerdings nicht längs einer vorgegebenen Leitlinie, so wie jemand die Treppe eines Hauses zielstrebig bis zum obersten Stockwerk hinaufsteigt. Das Leben auf der Erde entwickelte sich immer erst in die »Breite«, schuf eine große Mannigfaltigkeit, bevor es an einer Stelle dieser Mannigfaltigkeit den »Aufstieg« zur nächsten Stufe erreichte. Durch das Wechselspiel von Mutation und Selektion wurde auf jeder Entwicklungsstufe eine Anpassung an fast alle auf der Erde vorkommenden Lebensräume vollzogen. Jede ökologische Nische wurde besetzt, wie es in der Fachsprache heißt. In unserem Bild vom Treppenaufstieg heißt das, auf jeder Etage wird haltgemacht, alle erreichbaren Wohnungen werden mit Beschlag belegt, bevor an einer be-

sonders günstigen Stelle der Aufstieg zur nächsten vollzogen wird. Evolution in diesem Sinne ist eine weitere, das Leben auf der Erde kennzeichnende Eigenschaft.

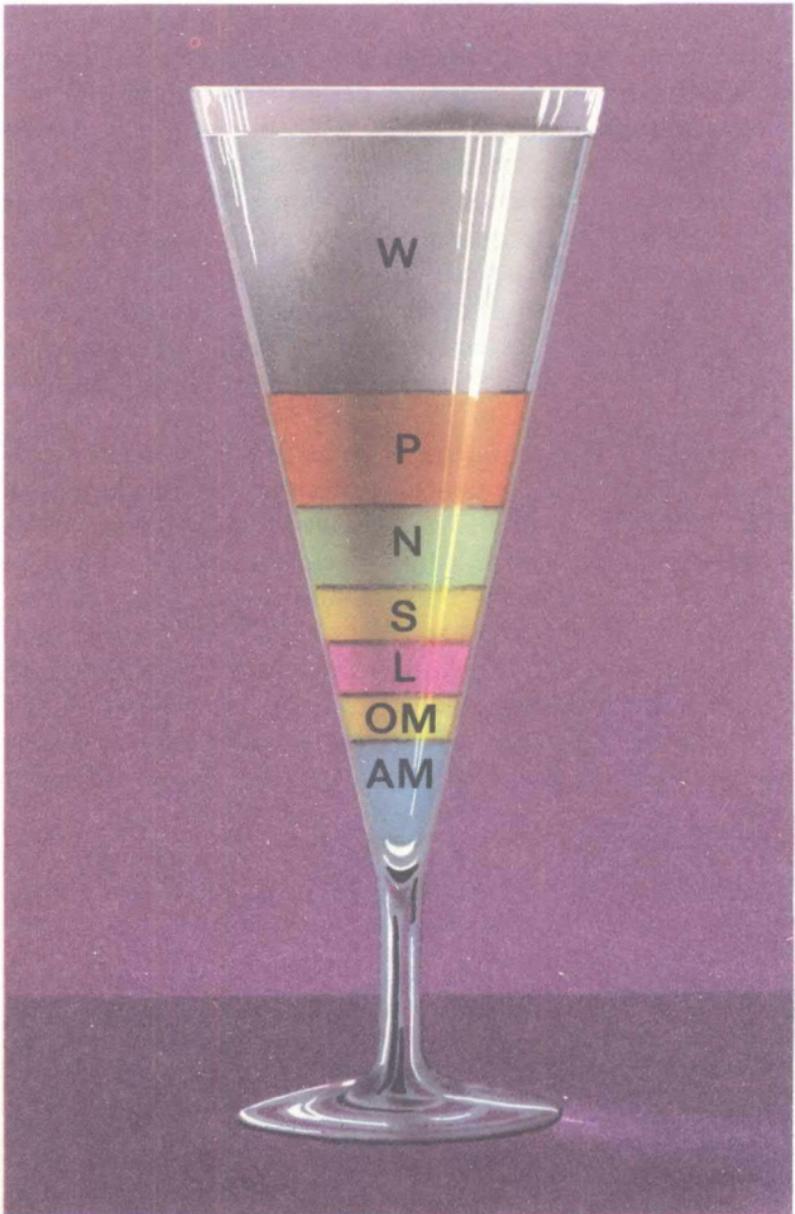
Alle Lebewesen bestehen aus winzigen Struktureinheiten, den Zellen. Die Lebewesen mit der größten Verbreitung auf der Erde bestehen sogar nur aus einer einzigen Zelle. Der am weitesten fortgeschrittene und daher »fähigste« Vertreter der irdischen Biosphäre, der Mensch, weist rund hundert Billionen solcher Elementarbausteine auf. Sie besitzen übereinstimmende Grundstruktur, sind aber entsprechend ihren Aufgaben spezialisiert. Jede Zelle für sich stellt bereits ein Lebewesen dar. Auch beginnt jeder vielzellige Organismus seine individuelle Entwicklung als Einzeller, nämlich als befruchtete Eizelle.

Dem Phänomen Leben auf den Grund zu gehen heißt daher in erster Linie, die Vorgänge in den Zellen zu studieren.

Die wichtigsten Stoffe in der Zelle sind die Eiweiße (Proteine) und die Kernsäuren (Nukleinsäuren). Daneben spielen noch Kohlenhydrate (Polysaccharide) und Fette (Lipide) eine große Rolle. Die Proteine sind einerseits wichtige Baustoffe bestimmter Zellstrukturen, andererseits wirken sie als Enzyme, als Katalysatoren der lebenswichtigen chemischen Prozesse, die ohne sie nicht oder nur im »Schnecken tempo« ablaufen würden. Jedes Protein besteht aus einigen hundert aneinandergereihten chemischen Bausteinen, die eine kompliziert gefaltete Kette bilden.

Bausteine der Eiweiße sind zwanzig Aminosäuren, deren Reihenfolge in der Proteinkette festlegt, was das betreffende Eiweiß alles kann, welche speziellen Vorgänge in der Zelle es ermöglicht. Würde man die Aminosäuren eines Proteins willkürlich umordnen, dann entstünde ein Stoff mit anderen Eigenschaften. Man kann ihre Rolle mit Wörtern vergleichen, die, in einer bestimmten Reihenfolge kombiniert, einen vernünftigen Text ergeben, der einen bestimmten lebensnotwendigen Vorgang beschreibt. Verändert man die Wortfolge, dann entsteht ein anderer, meist sogar ein unsinniger Text. Das Proteinmolekül trägt dann eine falsche oder gar keine Information.

Der »Cocktail des Lebens«. Rein chemisch betrachtet, besteht eine Zelle aus einer wäßrigen (W) Lösung von Proteinen (P), Nucleinsäuren (N), Polysacchariden (S), Lipiden (L), einer Reihe von organischen Kleinmolekülen (OM) und einigen anorganischen Bestandteilen (AM) in den dargestellten Mengenverhältnissen (die sich hier speziell auf das Darmbakterium *Escherichia coli* beziehen). Diese Bestandteile bilden jedoch kein bloßes Gemisch, sondern bauen komplizierte Strukturelemente auf.

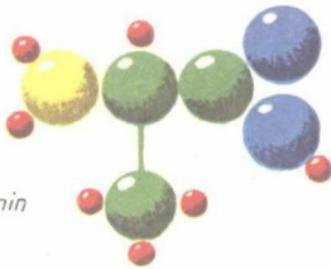


Treten die Proteine als »Funktionsmoleküle« auf, die dafür sorgen, daß das Molekülsystem leben kann, so tragen die Nukleinsäuren die zum Leben notwendige Information, z. B. die »Baupläne« sämtlicher für das betreffende Lebewesen charakteristischen Proteine und die zu ihrer Herstellung notwendigen Vorschriften. In den meisten Fällen ist das wichtigste »Informationsmolekül« die Desoxyribonukleinsäure (DNS). Sie besteht aus einigen Milliarden von Atomen und hat die Form einer verdrehten Strickleiter. Zwei Stränge, in denen sich immer ein spezielles Zuckermolekül, eine Ribose, und ein Phosphorsäurerest abwechseln, bilden die »Stricke« der Leiter, die beim Menschen eine Länge von etwa einem Meter hätte. Die »Leitersprossen« werden von heterozyklischen Basen gebildet, die jeweils am Zucker der »Leiterstränge« hängen und sich in der Mitte zwischen den »Strängen« treffen. Insgesamt treten vier solcher Basen auf, von denen sich aber immer nur zwei ganz bestimmte gegenüberstehen dürfen.

Drei am Zucker-Phosphorsäure-Strang einander folgende Basen drücken eine bestimmte Aminosäure aus. Man kann die Basen als Buchstaben eines chemischen »Alphabets« auffassen. Immer drei Buchstaben bilden ein »Wort«, den »Namen« einer Aminosäure in dieser chemischen »Sprache«. Die einzelnen »Wörter« folgen einander genau in der Reihenfolge, wie die Aminosäuren in den Proteinketten angeordnet sind. Die DNS ist damit ein »Textband«, auf dem nacheinander sämtliche »Eiweißrezepte« stehen. Alle Lebensprozesse der Zelle sind damit

Die charakteristische Verkettung von Aminosäuren zu Polypeptidketten (Proteinen). Oben sind die Strukturbilder der drei Aminosäuren Glyzin, Alanin und Valin zu sehen. Kohlenstoffatome sind grün, Stickstoffatome gelb, Sauerstoffatome blau und Wasserstoffatome rot gezeichnet. Bei Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff wurden die Größenunterschiede vernachlässigt; nur die sehr kleinen Wasserstoffatome wurden hervorgehoben. (In allen folgenden Moleküldarstellungen wird diese Darstellungsweise beibehalten.) Unter Austritt von Wasser ergibt sich die darunter abgebildete Polypeptidkette, für die der Rhythmus, in dem sich Kohlenstoff und Stickstoff abwechseln, typisch ist.

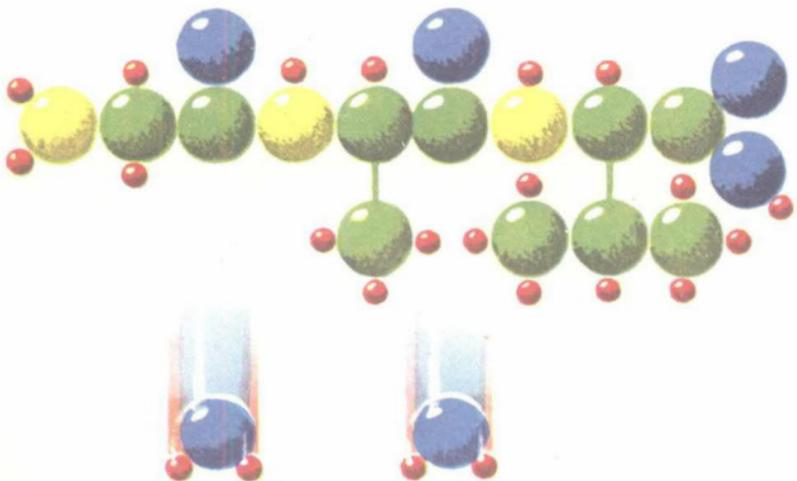
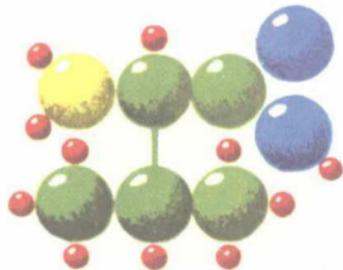
Alanin



Glyzin



Valin



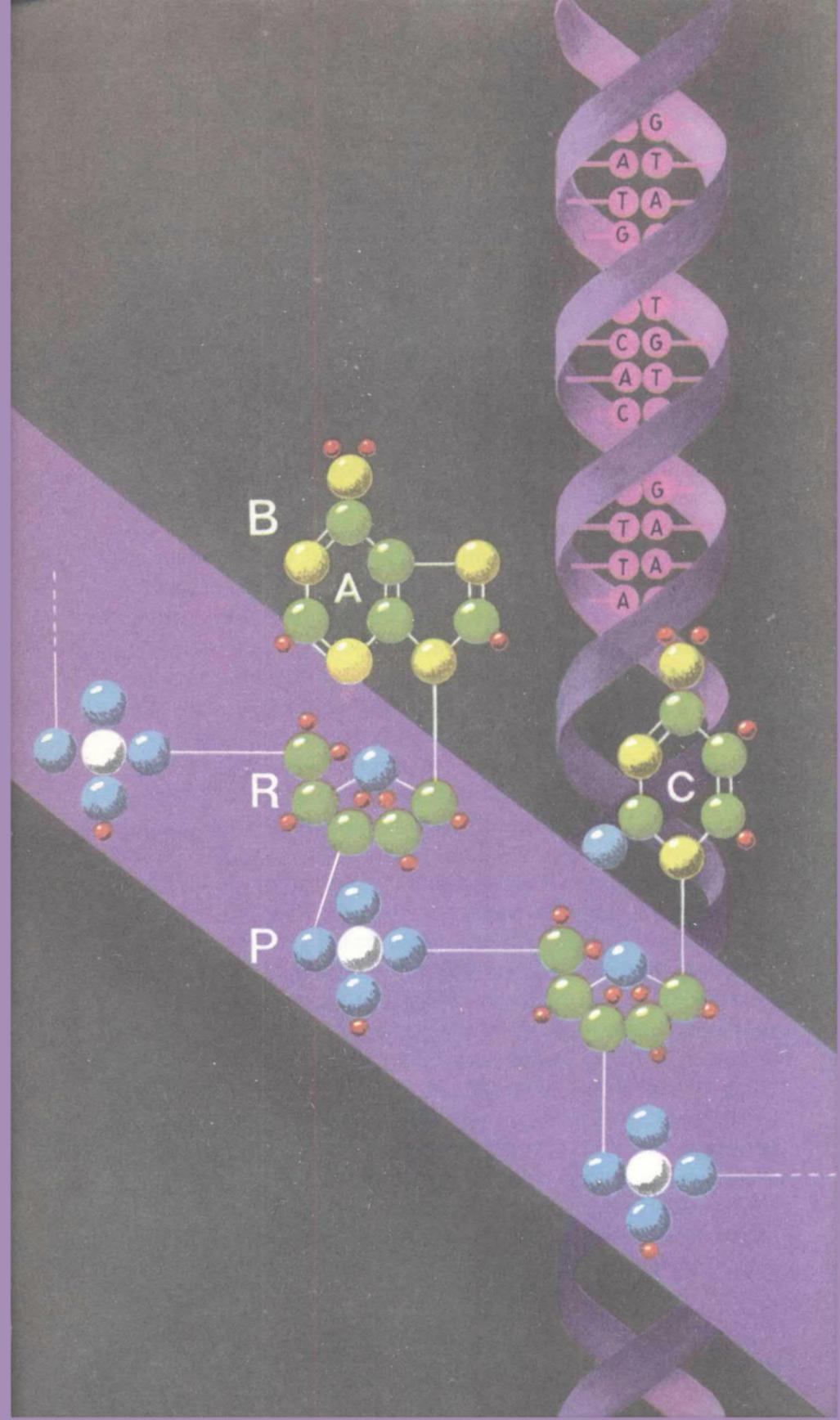
in codierter Form fixiert. Wie ein Computer durch den Lochstreifen erfährt, was er rechnen soll, so »weiß« die Zelle durch die DNS, wie sie mit Hilfe ihres chemischen Apparates ein völlig gleichartiges Lebewesen »synthetisieren« kann. Mutationen kommen übrigens hauptsächlich dadurch zustande, daß die DNS durch irgendwelche Einflüsse von außen verändert wird oder daß ein »Rezept« falsch von dem »Textband« abgelesen wird.

Dieser Informationsübertragungsmechanismus, der 1953 durch die Engländer F. H. C. Crick und M. H. F. Wilkins und den Amerikaner J. D. Watson entdeckt wurde, ist für die gesamte Biosphäre unseres Planeten einheitlich. Sieht man vom codierten »Text« ab, dann unterscheidet sich die DNS eines Einzellers von der eines Menschen nur durch ihre Länge, weil der »Bauplan« des Menschen natürlich wesentlich komplizierter als der des Einzellers ist. Überhaupt stimmen die irdischen Lebewesen im Stoffbestand ihrer Zellen weitgehend überein. Im molekularen Bereich ist das Phänomen Leben generell durch eine strikte Einheitlichkeit der Vorgänge gekennzeichnet, ein starkes Argument dafür, daß die irdische Biosphäre einen einheitlichen Ausgangspunkt hatte.

Die planetologische Ausgangssituation

Vor 10 bis 20 Mrd. Jahren befand sich die »Welt im Großen« in einem anderen physikalischen Zustand als jetzt. Es gab keine Sterne und Planeten; die Weltmaterie war extrem heiß und hochkomprimiert und lag größtenteils als energiereiche Strahlung vor. Durch die explosive Ausdehnung des Weltraumes sanken Druck und Temperatur, und der Stoff gewann gegenüber der Strahlung allmählich die Oberhand. Aus ihm bildeten sich die in großen Systeme

Ausschnitt aus einem Strang der Desoxyribonukleinsäure. Das »Rückgrat« bilden Zucker- (R) und Phosphorsäuremoleküle (P). An jedem Zucker hängt eine der vier Basen (B), Adenin (A), Guanin (G), Cytosin (C) und Thymin (T). In unserem Ausschnitt sind nur A und C gezeigt. Oben rechts ist die »Strickleiter-Struktur« veranschaulicht. Gegenüberstehen dürfen sich an den beiden Strängen jeweils nur A und T und C und G. Phosphoratome sind weiß gekennzeichnet.



men »organisierten« Sterne. Im Innern der massereichen Sterne wurden schwere Elemente, z. B. Kohlenstoff, Sauerstoff und Silizium, synthetisiert, die sowohl für die Bildung erdartiger Planeten als auch der Lebewesen unerlässlich sind. Die Entstehung geeigneter Planeten ist damit die wichtigste Voraussetzung für die Entstehung des Lebens.

Unser Planet konstituierte sich vor rund 4,5 Mrd. Jahren. Etwa eine Jahrmilliarde später tauchten die ersten Lebewesen auf. Entscheidend für die Entstehung des Lebens war die Atmosphäre unseres Planeten, die aus dem Erdinnern freigesetzt wurde. Bei den heute stattfindenden Vulkanausbrüchen ist der Wasserdampf mit rund 75% der Hauptbestandteil des freiwerdenden Gases.

In der Frühgeschichte unserer Erde wurde das Bild der Atmosphäre noch von anderen Gasen geprägt: Wasserstoff (H_2), Helium (He), Ammoniak (NH_3) und verschiedenen Kohlenwasserstoffen (C_mH_n). Die drei zuerst Genannten bilden mit Methan (CH_4) die Hauptbestandteile der Atmosphären von Jupiter und Saturn. Aus dem Vorkommen bestimmter Minerale in den ältesten Sedimentgesteinen, z. B. Pyrit, Ilmenit, Uraninit, müssen wir schließen, daß vor mehr als 2 Mrd. Jahren noch kein freier Sauerstoff in der Gashülle unseres Planeten vorhanden war. Der atmosphärische Wasserdampf war der Ausgangspunkt für die Bildung der irdischen Gewässer, nachdem eine kühle Erdkruste entstanden war.

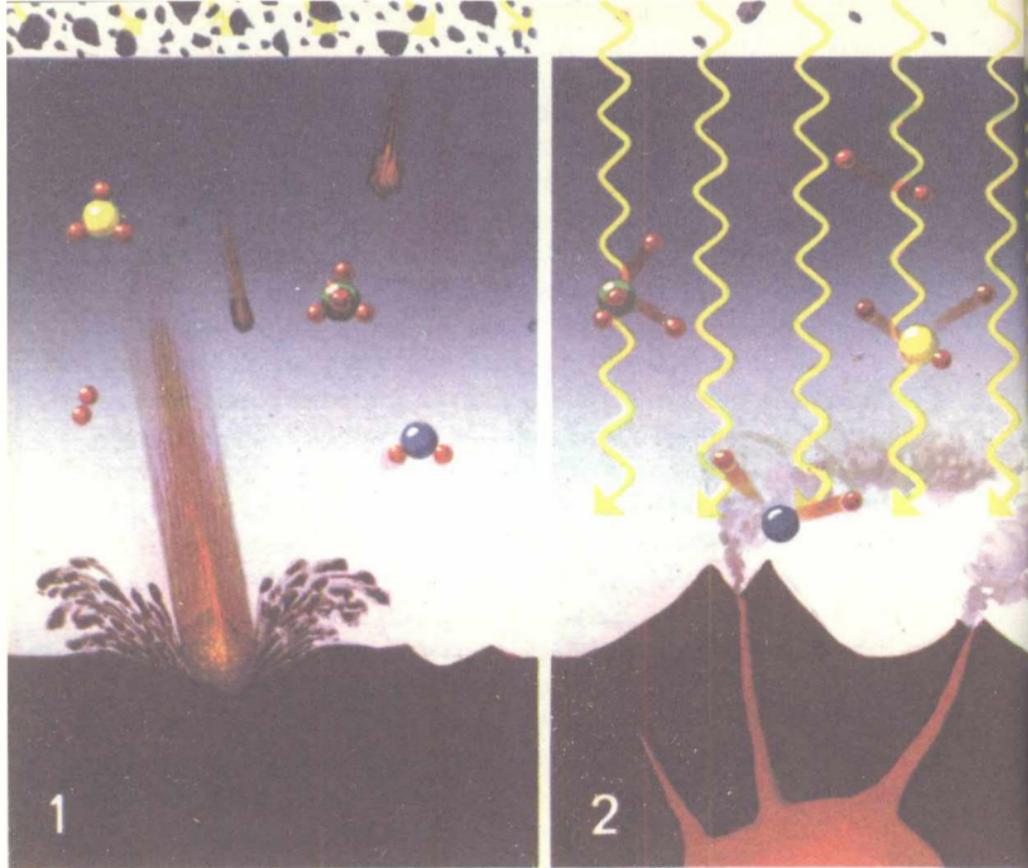
Als erste Komponente der Uratmosphäre der Erde verflüchtigte sich das leichteste Gas, der Wasserstoff, in den Weltraum. Unter der Wirkung der UV-Strahlung der Sonne wurden die anderen Komponenten in ihre Bestandteile zerlegt, sie dissoziierten. Die Trümmer, die chemisch sehr aktiv waren, arrangierten sich neu und lieferten so eine bunte Palette von Verbindungen der Elemente C, H, O und N, darunter zahlreiche organische Verbindungen. Im Meer reicherte sich dieses organische Material an und bildete die berühmte »Ursuppe«, aus der sich nach Ansicht der Biologen die ersten Lebewesen organisierten.

Ein äußerst bedeutungsvolles planetologisches Ereignis dürfte die »Entdeckung« bestimmter Einzeller gewesen sein, mit Hilfe des grünen Farbstoffs Chlorophyll die

Sonnenenergie zum Aufbau von Kohlenhydraten aus CO_2 und H_2O auszunutzen. Nunmehr konnten die CO_2 -Vorräte der Erde einer »sinnvollen« Verwendung zugeführt werden. Der Kohlenstoff wurde zum Aufbau der Pflanzen benutzt, der Sauerstoff an die Atmosphäre zurückgegeben, die dadurch allmählich oxydierende Eigenschaften bekam. Diese »Sauerstoffrevolution« hatte geologische, geophysikalische und biologische Konsequenzen. Die auf der Atmung von atmosphärischem Sauerstoff beruhenden Stoffwechselprozesse der tierischen Lebewesen erwiesen sich als sehr effektiv. Die biologische Evolution machte auffällige Fortschritte: Die geschlechtliche Vermehrung wurde »erfunden« und bewirkte eine drastische Steigerung des Entwicklungstempos. Die ersten Vielzeller bildeten sich. Hatte die Herausbildung von Einzellern mit Zellkern fast 2,5 Mrd. Jahre erfordert, so vollzog sich die Evolution von den ersten primitiven Vielzellern bis zum Menschen in nur 800 Millionen Jahren.

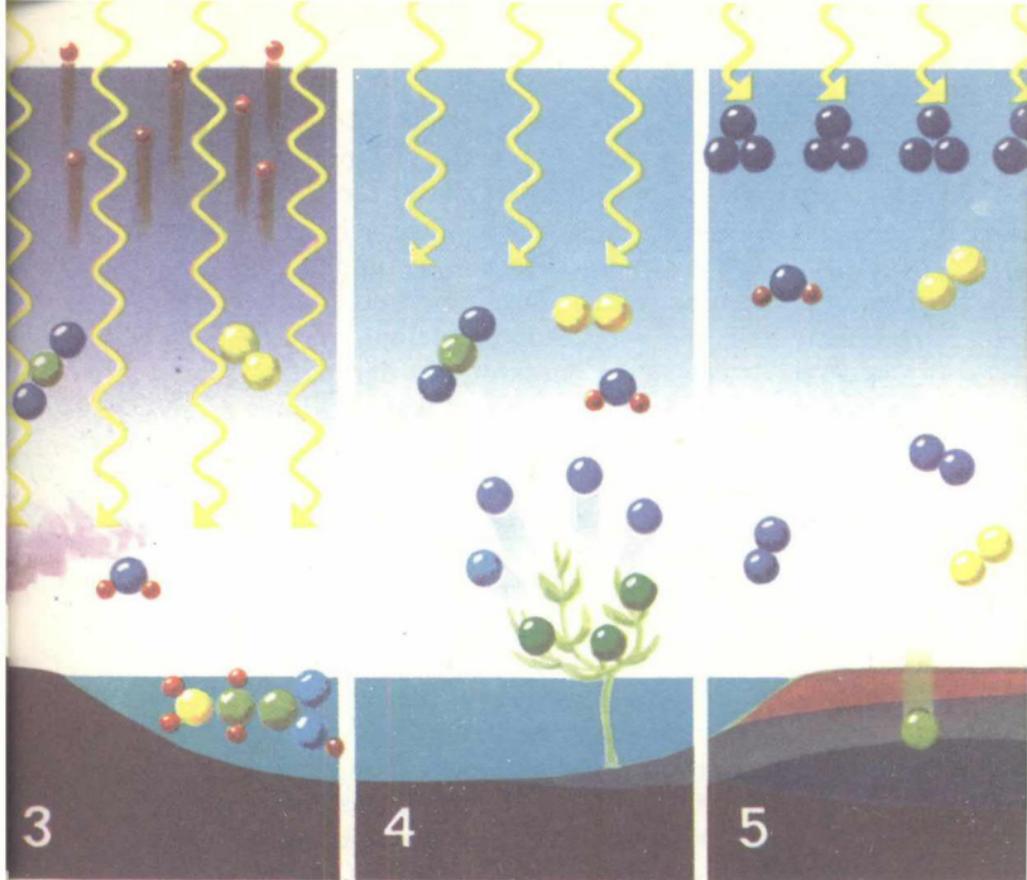
Unter der Wirkung der kurzweiligen Sonnenstrahlung bildete sich über dem freien molekularen Sauerstoff in ungefähr 20 km Höhe eine Schicht aus Ozon (O_3). Diese Verbindung hat die interessante Eigenschaft, die gesamte energiereiche Sonnenstrahlung zu absorbieren. Die alles zersetzende UV-Strahlung hatte damit ihren Meister gefunden und konnte fortan die Entwicklung an der Erdoberfläche nicht mehr beeinflussen. Das Leben konnte seine »Wiege«, das Meer, verlassen. Es war nicht mehr auf das vor dem »kosmischen Sonnenbrand« schützende Wasser angewiesen.

Nach der »Sauerstoffrevolution« stellte sich ungefähr der heutige Temperaturverlauf in der Atmosphäre ein, bei dem zwischen Troposphäre und Stratosphäre, in 12 bis 17 km Höhe, ein Temperaturminimum von etwa -50 bis -60°C vorhanden ist. Dadurch befindet sich nun unterhalb der Ozonschicht eine »Kältefalle« für den Wasserdampf. Emporsteigender Dampf kondensiert beziehungsweise »friert aus«; er bildet Wolken aus Wassertröpfchen oder Eiskristallen und kann dadurch nicht höher steigen. Damit bleibt er stets unterhalb der Ozonschicht, und er entgeht auf diese Weise der Zersetzung durch die solare UV-Strahlung.



Die Entwicklungsgeschichte der Erdatmosphäre. Während sich die »Protoerde« durch einfallende Planetesimals zu einem Planeten auswuchs, bestand ihre Atmosphäre wahrscheinlich aus reduzierenden Gasen wie H_2 , CH_4 , NH_3 , H_2O . Durch zahlreiche Planetesimals war der interplanetare Raum für die Strahlung der Ursonne weitgehend undurchsichtig (1). Nachdem sich fast alle Planetesimals zu Planeten vereinigt hatten, wurde der Raum zwischen Sonne und Erde für die kurzwellige Sonnenstrahlung durchlässig. Die energiereiche Strahlung zersetzte die Moleküle der Uratmosphäre. Vulkanische Aktivität setzte Gase wie CO_2 und H_2O aus dem Erdinnern frei (2). Der bei der Dissoziation anfallende Wasserstoff entwich bevorzugt (als leichtestes Gas) in

Günstig wurde die Entstehung des Lebens auf der Erde auch durch das ziemlich starke Magnetfeld unseres Planeten beeinflusst. Durch seine Existenz kann ein großer Teil der von der Sonne ausgeschleuderten Korpuskeln die Erdoberfläche nicht erreichen. Diese Teilchenstrahlung hat für Lebewesen unangenehme Konsequenzen, indem sie die Mutationsrate heraufsetzt und damit die Entwicklung entscheidend negativ beeinflussen kann.



den Weltraum. Andere Dissoziationsprodukte arrangierten sich zu verschiedenen Molekülen, z. B. CO₂, N₂ (3). Es entstanden die Ozeane, in denen sich Kohlenstoffverbindungen anreicherten. Lebende Molekülsysteme bildeten sich. Die Lebewesen im Meer »entdeckten« die Photosynthese und setzten Sauerstoff frei, während sich der Kohlenstoff des atmosphärischen CO₂ in der sich entfaltenden Biosphäre anreicherte (4). Unter dem Einfluß der solaren UV-Strahlung bildete sich aus dem Sauerstoff Ozon (O₃) und schützte die untere Erdatmosphäre vor weiterer Strahlungszersetzung. Das Leben verließ das Meer. Durch die Lebewesen gelangte der Kohlenstoff in den Boden in Form von Sedimenten (Kalkstein, Kohle, Erdöl) (5).

Die Entstehung des Lebens

Drei große internationale Symposien in Moskau (1957), in Wakulla Springs (1963) und in Pont-à-Mousson (1970) haben den Rahmen für die Diskussion der zahlreichen Probleme bei der Lebensentstehung abgesteckt. Für das Studium dieser Fragen wurde eine eigene internationale Ge-

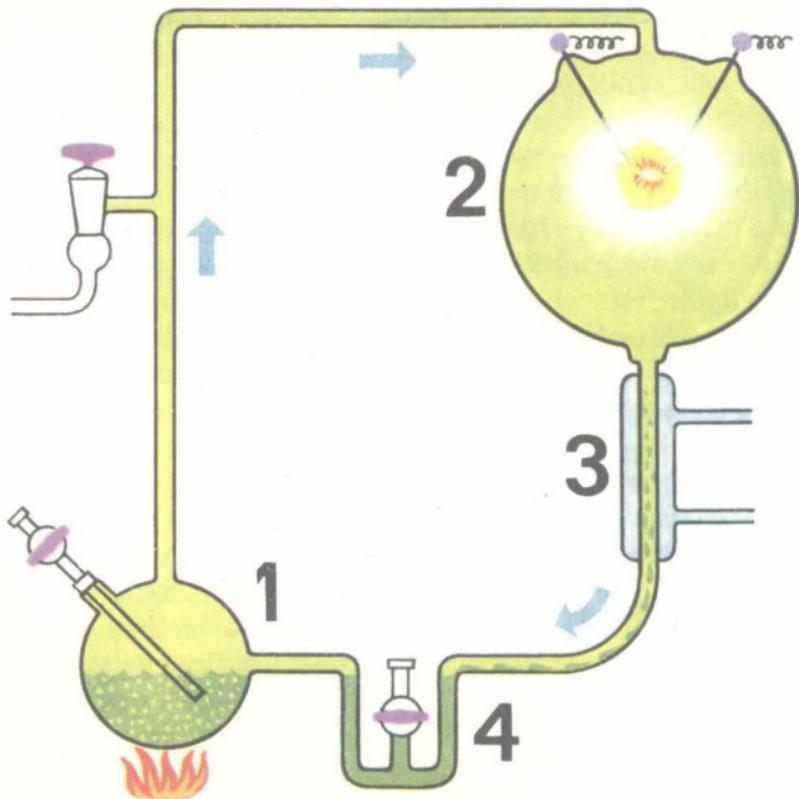
sellschaft gegründet, zu deren ersten Präsidenten der sowjetische Biochemiker Alexander I. Oparin gewählt wurde. Etwa seit 1924 bearbeitet dieser Gelehrte diesen Problemkreis. Seine inzwischen klassisch gewordene Theorie hat allgemeine Anerkennung gefunden.

Oparin ging von einer Zusammensetzung der Uratmosphäre aus, wie wir sie betrachteten. Als Argument für ihren reduzierenden Charakter, für den damals noch keine geologischen Indizien bekannt waren, führte er ins Feld, daß sich Aminosäuren nicht in einer stark oxydierenden Umgebung bilden können. Im Urozean sammelte sich das durch zahlreiche chemische Reaktionen gebildete organische Material an und bildete »Koazervate«, Tröpfchen, die von einer halbdurchlässigen Haut umgeben waren und mit ihrer Umgebung bestimmte Stoffe austauschen konnten. Solche Gebilde lassen sich auch im Laboratorium aus kolloidalen Substanzen herstellen. Durch einen langwierigen Selektionsprozeß wurden immer stabilere und »stoffwechselaktivere« Koazervate ausgesondert. Molekülstruktur und Information haben sich in einem langen Wechselwirkungsprozeß innerhalb dieser Koazervate bzw. »Urzellen« herausgebildet.

In einigen wichtigen Punkten konnte die Oparinsche Theorie getestet werden. Experimente zeigten, daß alle biologisch wichtigen Moleküle im Laboratorium unter Bedingungen synthetisiert werden können, die denen der Uratmosphäre angepaßt sind. Wichtig ist nur eine geeignete Energiequelle, die die Moleküle des Ausgangsmaterials, z. B. eines Gasmisches aus Methan, Ammoniak und Wasserdampf, »aufknackt«, damit sich dann die sehr »kontaktfreudigen« Bruchstücke zu komplizierten organischen Molekülen, zu Bausteinen der Lebensmoleküle, arrangieren können. Im Jahre 1953 gelang erstmals dem amerikanischen Chemiker S. Miller auf diesem Wege die Synthese von Aminosäuren aus einem Gasmisch, das genau den Oparinschen Vorstellungen von der irdischen Uratmosphäre entsprach. Als Energiequelle dienten zunächst elektrische Entladungen. Bei späteren Experimenten wurde häufig UV-Licht benutzt, das wahrscheinlich die effektivste Energiequelle auf der Erde zur Zeit der Lebensentstehung darstellte.

Innerhalb der »präbiologischen Chemie« spielte wahrscheinlich Formaldehyd (HCHO) eine wichtige Rolle. Aus wässrigen Formaldehydlösungen bilden sich bei Bestrahlung mit UV-Licht verschiedene Zucker. Nach der Summenformel ist übrigens ein Traubenzuckermolekül genau das Sechsfache eines Formaldehydmoleküls (Traubenzucker: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, Formaldehyd: CH_2O). Als weitere Grundsubstanz für die »Retorte des Lebens« entpuppte sich Blausäure (HCN). Aus dieser Verbindung und Ammoniak lassen sich leicht einfache Eiweißstoffe und die heterozyklischen Basen der DNS synthetisieren. Auf künstlichem Wege konnte man sogar die Nukleotide, die Bausteine der Nukleinsäuren, herstellen.

Der Millersche Apparat zur Synthese von Aminosäuren. Im Kolben (1) wurde ein Gemisch aus H_2O , CH_4 und NH_3 am Sieden gehalten. Das Gasgemisch passierte eine Funkenstrecke (2) und wurde dann gekühlt (3). Durch ein Lösungsmittel (4) wurden die gebildeten organischen Verbindungen aus dem Kreislauf entfernt.



Problematisch ist allerdings bisher die Polymerisation, d. h. das fachgerechte Verhaken der einzelnen Moleküle, z. B. der einzelnen Nukleotide zum Riesenmolekül der DNS oder der Aminosäuren zur Proteinkette. Die »Waggons« kann man durchaus im Labor herstellen, aber das Zusammenstellen wohlgeordneter »Güterzüge«, die die »Lebensfracht« transportieren, klappt auf künstlichem Wege, also ohne Zuhilfenahme der biologischen Katalysatoren, noch nicht. Es gibt bisher in dieser Richtung erst sehr bescheidene Erfolge. So »kochte« der amerikanische Biochemiker S. Fox aus 18 Aminosäuren ein »Protenoid«, ein eiweißartiges Substanzgemisch. Interessanterweise bildete diese Substanz in heißem Wasser winzige Kügelchen von wenigen Mikrometern Durchmesser, die von einer Doppelmembran begrenzt waren. Den Foxschen Kügelchen fehlen zwar entscheidende Eigenschaften der lebenden Materie, ihre Existenz bestätigt jedoch die Oparinsche Theorie über die Bildung der Koazervate.

Das zentrale Problem in der Diskussion um die Lebensentstehung ist heute: Wie entsteht aus einem Koazervat eine Zelle? Anders ausgedrückt: Wie wird dem »Molekülchaos« eines Koazervats der »Sinn« für Ordnung und der »Wunsch« nach Selbsterhaltung beigebracht? Eine Reihe von Fachleuten, vor allem der bekannte Physikochemiker Eigen (BRD), vertreten den Standpunkt, daß die »Selbstorganisation« ziemlich zwangsläufig erfolgt, wenn die rein chemische Entwicklung genügend komplizierte Moleküle geschaffen hat. Eigen ist der Ansicht, daß keine »lebensspezifischen« Kräfte oder Wechselwirkung unphysikalischer Art zur Erklärung benötigt werden.

Die entgegengesetzte Meinung, wonach das Leben auf der Erde das Ergebnis eines außerordentlichen Zufallstreffers der Natur ist, wird heute von wenigen Biologen geteilt. Zu ihnen gehörte der französische Gelehrte J. Monod. Seiner Meinung nach kam das Leben durch »Probieren« der Natur zustande. Auf der Erde gelang der »große Wurf«, daß der »Molekülcocktail« aus Informations- und Funktionsmolekülen gerade so »gemixt« war, daß er zu leben anfang. Aus der extrem niedrigen

Wahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses schloß Monod, daß man an keinem weiteren Ort im Universum Leben erwarten dürfe.

Auf den ersten Blick scheint die Wahrscheinlichkeitsrechnung solche Spekulationen zu unterstreichen. Wenn man beispielsweise aus den 20 Aminosäuren durch »Würfeln« Proteine zusammenstellen will, die jeweils aus 100 Aminosäuren bestehen sollen, dann gibt es 20^{100} (das sind ungefähr 10^{130}) Möglichkeiten. Die Wahrscheinlichkeit, auf diesem rein zufälligen Wege ein bestimmtes Eiweiß zu erhalten, beträgt also $1:10^{130}$, ein Wert, vor dem man in der Tat kapitulieren müßte.

Es zeichnet sich aber ab, daß die Kombination der Aminosäuren wahrscheinlich nicht zufällig (im mathematischen Sinn) erfolgt. Die chemischen Bindungskräfte wirken nämlich dirigierend und sorgen damit für die Bevorzugung bestimmter Reihenfolgen, so daß bei weitem nicht alle denkbaren Hunderterketten unseres Beispiels durchprobiert werden. Dadurch erhöht sich natürlich die Bildungswahrscheinlichkeit eines bestimmten Proteins beträchtlich. Vergessen werden darf außerdem nicht, daß die Proteine ja nicht isoliert entstanden, sondern als Bestandteil eines sich entwickelnden Molekülsystems, in dem Strukturvergrößerung und Informationszuwachs einander wechselseitig beeinflussen. Die Entstehung des Lebens muß man sich als Evolutionsprozeß vorstellen, den ein chemisches System durchläuft. Der Übergang unbelebt—belebt erfolgte wahrscheinlich ganz allmählich und durch Selektionsprozesse. Die Details dieses Vorganges sind aber heute noch längst nicht aufgeklärt.

Wir wissen, daß sich das Leben auf der Erde von primitiven Formen aus allmählich höher entwickelte. Mit wachsender »Leistungsfähigkeit« machte es immer raschere Fortschritte, bis es schließlich die Voraussetzungen für die Entstehung der Vernunft, das Gehirn, entwickelte. Wir kennen auch das Gesetz dieser Entwicklung, das Ch. Darwin vor über hundert Jahren entdeckte, die natürliche Auslese, das »Überleben des Tüchtigsten im Kampf ums Dasein«, die Selektion. Wenn auch die einzelnen Faktoren, die die Entwicklung des Lebens auf der Erde beeinflussten, noch längst nicht alle bekannt sind, so han-

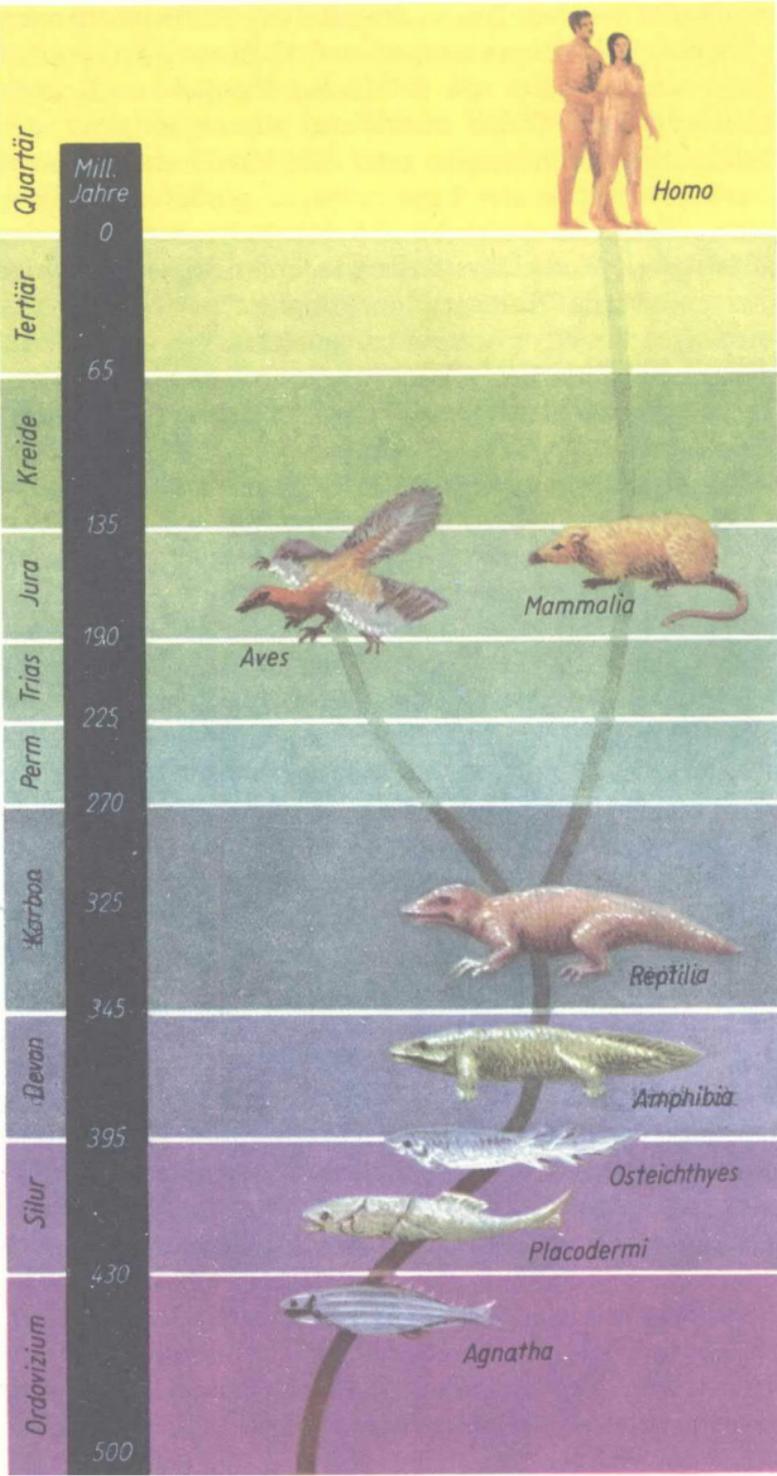
delt es sich doch bei der biologischen Evolution um einen Optimierungsprozeß auf der Grundlage der der Materie innewohnenden Gesetzmäßigkeiten. Nach unserem heutigen Wissen sind die Naturgesetze aber im gesamten der Astronomie zugänglichen Bereich des Universums dieselben.

Andere Arten von Leben?

Wenn wir Leben als ein allgemeines kosmisches Prinzip auffassen, etwa als die Selbstvervielfältigung von Struktureinheiten, die zu Stoff- und Energieumsatz befähigt sind und eine Evolution durchlaufen, dann drängt sich die Frage auf: Kann sich dieses in den Bewegungsgesetzen der Materie begründete Prinzip auf anderen Himmelskörpern möglicherweise auf einer anderen chemischen Grundlage realisieren als auf der Erde? Kann etwa Silizium die Rolle des Kohlenstoffs übernehmen? Sind lebende Systeme immer wäßrige Lösungen? Wir stellen dazu einige chemische Betrachtungen an.

Die einzigartige »Stärke« der Kohlenstoffatome ist die Fähigkeit, mannigfaltige stabile Verbindungen untereinander zu bilden. C-Atome können sich zu geraden oder verzweigten Ketten zusammenlagern (aliphatische Verbindungen). Sie können verschiedene Sorten von Ringen bilden (aromatische und heterozyklische Verbindungen). Schließlich können Ketten und Ringe miteinander

Der Stammbaum der Wirbeltiere. Vor 500 Millionen Jahren entstanden aus wirbellosen Tieren die Urfische (Agnatha). Aus ihren Kiemenbögen bildeten sich die Kiefer der Panzerfische (Placodermi) und Knochenfische (Osteichthyes). Vor etwa 350 Millionen Jahren tauchten erstmals Amphibien auf, deren Beine sich aus paarigen Flossen entwickelt hatten. Aus den Amphibien gingen die Reptilien hervor, die sich durch nährstoffreiche, beschaltete Eier vermehrten. Von ihnen zweigten sich die Vögel (Aves) und die Säuger (Mammalia) ab. Beide besaßen konstante Körpertemperatur; die Säuger hatten das Stadium der internen Brutpflege erreicht. Aus den Säugern ging der Mensch (Homo) hervor. Die Zeitskala ist in Millionen Jahren angegeben. Links sind die Namen der entsprechenden Erdzeitalter aufgeführt.



kombiniert werden. Bis zu drei der vier Außenelektronen des Kohlenstoffatoms können an C-C-Bindungen beteiligt sein; man spricht von Einfach-, Doppel- und Dreifachbindungen. Diese unerhörte Mannigfaltigkeit der Kohlenstoffverbindungen setzt ein chemisches System überhaupt erst in die Lage, eine so große Menge von Informationen zu speichern und aktiv zu benutzen, wie das bei lebenden Molekülsystemen geschieht. So wie die schier unerschöpfliche Kombinationsfähigkeit der Wörter unserer Sprache die Voraussetzung bietet, um dem Ideenreichtum und der Gedankenfülle, wie sie uns in der Weltliteratur entgegentritt, Ausdruck zu verleihen, so garantiert das Reich der Kohlenstoffverbindungen die Bewältigung der zum Leben notwendigen Informationsmenge.

Silizium, das dem Kohlenstoff verwandteste Element, zeigt nur Andeutungen eines ähnlichen Verhaltens. Analog zu den Kettenkohlenwasserstoffen gibt es auch Siliziumwasserstoffe, die sich aber nicht verzweigen. Sie neigen generell zu Instabilität, entzünden sich beispielsweise an der Luft. Ursache dafür ist die geringe Festigkeit der Si-Si-Bindung. Mehrfachbindungen von Siliziumatomen gibt es nicht, damit auch keine Ringe. Im Gegensatz zu Kohlenstoff bildet Silizium so gut wie keine Verbindungen mit Stickstoff und Phosphor.

Die Bindung mit Sauerstoff ist dagegen sehr fest. Anders als Kohlendioxid, ein wasserlösliches Gas, ist Siliziumdioxid ein kaum wasserlösliches Mineral. Für gewöhnlich umgeben sich Siliziumatome mit jeweils vier Sauerstoffatomen, die die Ecken eines Tetraeders bilden. Diese SiO_4 -Tetraeder, die sich häufig zu Ketten, Netzen oder dreidimensionalen Strukturen vereinigen, bilden die Bausteine der Silikatminerale. So wie der Kohlenstoff seine Bindungsfähigkeiten in der Biosphäre voll »ausspielt«, offenbart Silizium seine chemischen Qualitäten in der Lithosphäre, der Gesteinshülle, der erdähnlichen Planeten. Leben auf der Grundlage eines Siliziumchemismus halten wir daher für sehr wenig wahrscheinlich. Aus diesem Grunde verfolgen wir hier auch die öfters angestellten Überlegungen über mutmaßliche Eigenschaften eines »Siliziumlebens«, z. B. die hohe Mutationsrate, nicht weiter.

In gewissen Spekulationen über die Entstehung von Lebewesen in der Jupiteratmosphäre spielt Ammoniak die Rolle des Lösungsmittels, das für ein lebendes Molekülsystem notwendig ist. Bereits bei Drücken von etwa 8 at wird dieses Gas bei Zimmertemperatur flüssig und löst zahlreiche organische Substanzen sehr gut. Ein »Gewässer« aus flüssigem Ammoniak auf einem anderen Planeten würde sich jedoch in physikalischer Hinsicht völlig anders verhalten als ein irdisches Gewässer. Es würde beispielsweise nicht zuerst an der Oberfläche zufrieren, sondern das »Ammoniak« würde, da es schwerer als die Flüssigkeit ist, nach unten sinken und zuerst den Boden vereisen. Für Organismen, die sich wie die irdischen Fische in diesem »Gewässer« aufhielten, wäre diese Eigenschaft wahrscheinlich sehr verhängnisvoll. Das ist allerdings kein prinzipieller Einwand gegen die Eignung von NH_3 als Lösungs- und Transportmittel lebender Struktureinheiten.

Übrigens kann auch ein Leben auf Kohlenstoffbasis und mit Wasser als Transportmedium völlig anders aussehen, als wir es gewohnt sind. Es ist keineswegs sicher, daß sich die Proteine außerirdischer Organismen aus genau den 20 Aminosäuren aufbauen, die in der irdischen Lebenswelt besonders ausgezeichnet sind. Es gibt nämlich sehr viel mehr Aminosäuren als diese 20. Weiterhin können in fremden Organismen andere Informationsträger benutzt werden als die Nukleinsäuren. Andere Farbstoffe könnten die Rolle des Chlorophylls übernehmen. Die Elementarbausteine dieser Lebewesen brauchen wenig Ähnlichkeit mit den irdischen Zellen zu haben. Ihre Fortpflanzung könnte sich von den uns geläufigen Formen sehr unterscheiden. Diese und viele andere Dinge, die uns so selbstverständlich sind, könnten nämlich Besonderheiten des irdischen Lebens sein, und wir würden »biologischen Chauvinismus« betreiben, wenn wir nur den Entwicklungsweg gelten ließen, den die Biosphäre der Erde genommen hat.

Leben im Sonnensystem

Die Ökosphäre der Sonne

Die Erde ist nur einer der Planeten des Sonnensystems. Bestanden vielleicht auch auf anderen Planeten geeignete Bedingungen für die Entstehung des Lebens? Wie wir sehen, kann Leben, wie es auf der Erde existiert, nur dort entstehen, wo Wasser in flüssiger Form vorkommt und »Lebensmoleküle« wie die Proteine stabil sein können. Wichtigste planetologische Kennziffer bei der Suche nach »Lebensträgern« im Kreise der Geschwister der Erde ist daher die Oberflächentemperatur.

Wie heiß es auf einem Planeten wird, der keine Eigenwärme besitzt, hängt in erster Linie von der Intensität der einfallenden Sonnenstrahlung ab. Unter ihrer Wirkung erwärmt sich der Boden so stark, bis seine Wärmestrahlung ausreicht, die in Form von Sonnenlicht übernommene Energie wieder an den Weltraum loszuwerden. Die mittlere Oberflächentemperatur ergibt sich damit aus der Bedingung des thermischen Gleichgewichts, die in diesem Falle lautet: Sonneneinstrahlung = Wärmeausstrahlung. Dazu muß man wissen, welchen Bruchteil des einfallenden Lichts der Planet, z. B. durch seine Bewölkung, reflektiert (diese Energiemenge geht ja für das Heizen des Bodens verloren!) und wie gut seine Atmosphäre die Wärme in den Weltraum abströmen läßt. Als grobe Näherung kann man die entsprechenden Werte der Erde einsetzen. Unter dieser Annahme hängt dann die mittlere Temperatur auf einem Planeten nur noch von seiner Entfernung von der Sonne ab.

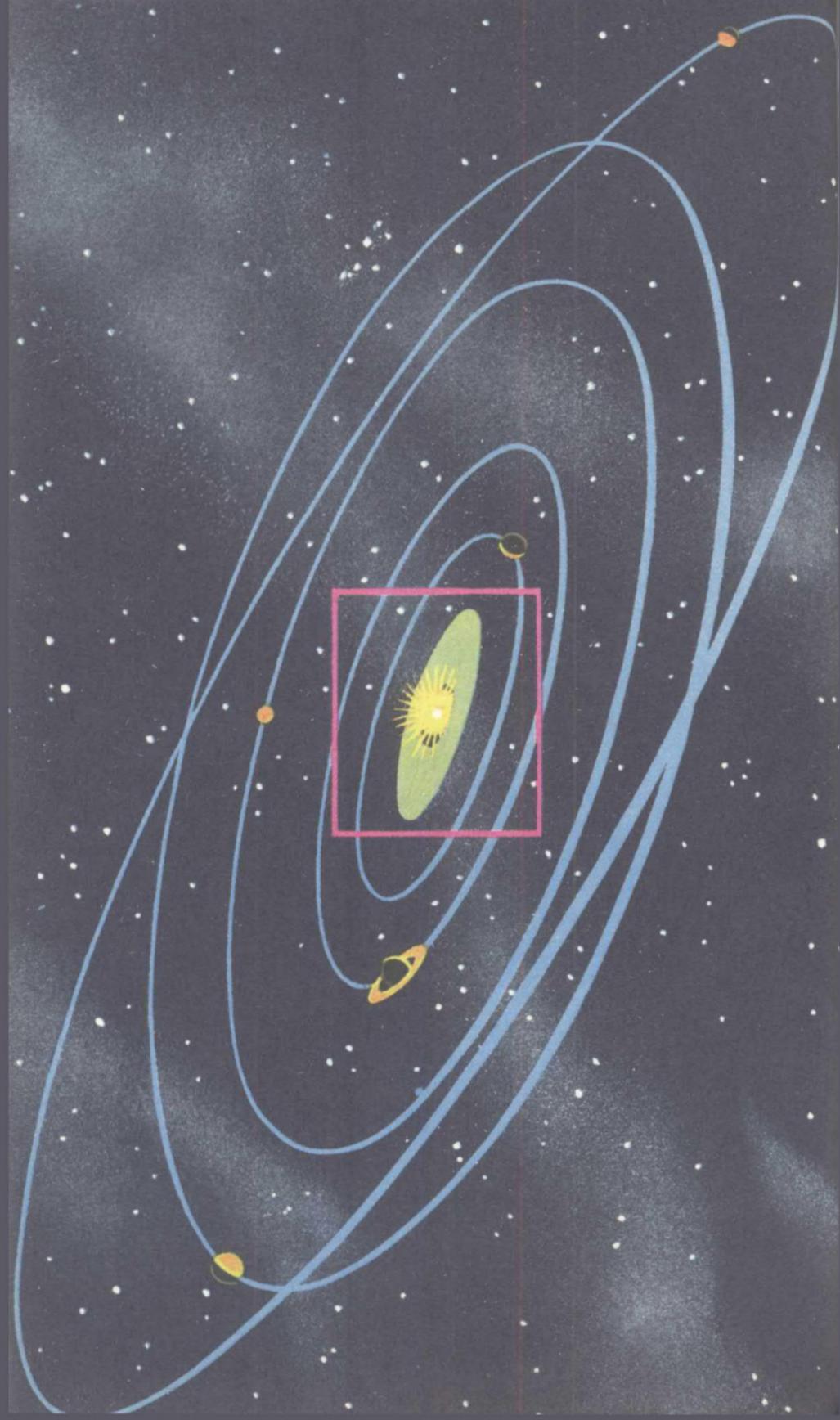
Um die Sonne läßt sich somit ein Bereich abgrenzen, in

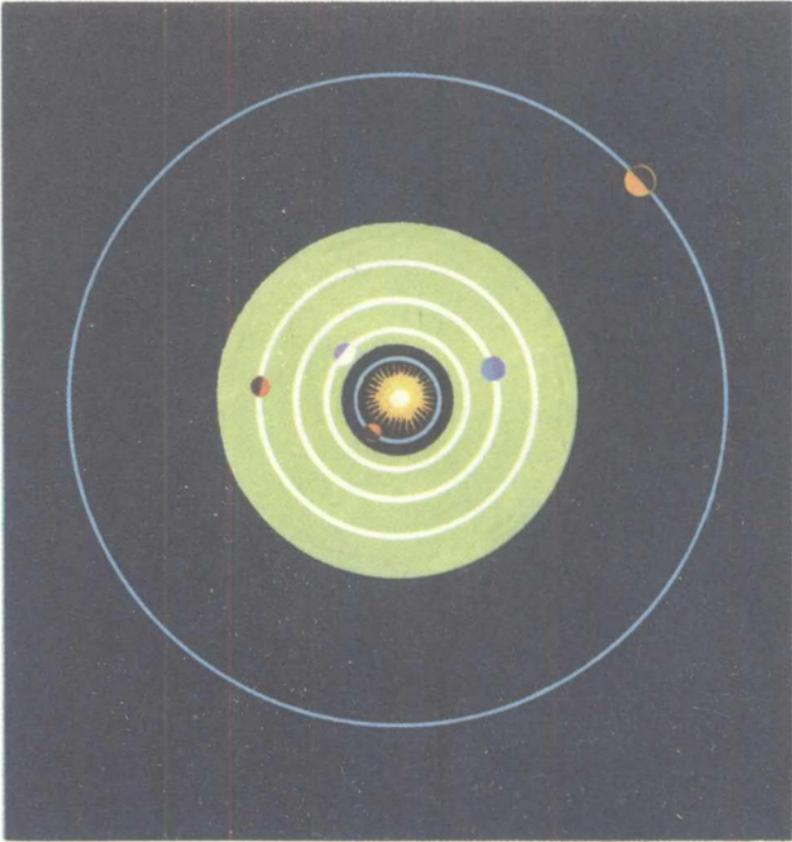
dem die sich an der Oberfläche eines erdähnlichen Planeten einstellende Temperatur innerhalb der Grenzen bleibt, die für »Lebewesen à la Erde« bekömmlich sind. Die so definierte Kugelschale lebensfreundlicher Temperaturen nennt man Ökosphäre, Zone der Bewohnbarkeit oder Wärmegürtel des Lebens.

Die Dimensionen der Ökosphäre eines Sterns spielen eine Schlüsselrolle bei der Suche nach bewohnbaren Planeten im Kosmos. Im Kapitel »Planetensysteme und Zivilisationen« werden wir uns mit den Größen der Ökosphären verschiedener Sterntypen auseinandersetzen. Die Bedeutung dieser »Zonen der Bewohnbarkeit« darf jedoch nicht überschätzt werden. Wenn auf einem Planeten Leben, das auf den gleichen chemischen Grundlagen wie das irdische beruht, auf völlig selbständigem Weg entstehen soll, muß er sich sicherlich innerhalb der Ökosphäre seines Sterns bewegen – es sei denn, er verfügt über eigene, von der Sternstrahlung unabhängige Energiequellen. Wir dürfen aber nicht erwarten, daß jeder innerhalb einer Ökosphäre kreisende Planet auch tatsächlich eine Biosphäre beherbergt; denn zur Entstehung des Lebens sind ja noch andere planetologische Umstände erforderlich. Die Lage eines Planeten in der Ökosphäre ist also, um eine mathematische Ausdrucksweise zu gebrauchen, nur eine *notwendige*, aber *keine hinreichende* Bedingung für die Existenz von Leben.

Aber zurück zur Ökosphäre unserer Sonne! Um Wasser bei ungefähr 1 at Druck flüssigzuhalten, darf die mittlere Temperatur auf einem Planeten 100°C nicht wesentlich über- und 0°C nicht sehr unterschreiten. Durch im Wasser gelöste Stoffe kann der Gefrierpunkt des Wassers etwas herunter- und der Siedepunkt etwas heraufgesetzt sein. Zu beachten ist, daß wir hier immer mit der *mittleren* Temperatur rechnen. Selbst wenn die mittlere Temperatur eines Planeten beim Gefrierpunkt des Wassers liegt, wird es auf seiner Oberfläche wärmere Stellen geben, an denen Wasser noch flüssig sein kann. Wir lassen als untere Temperaturgrenze –25°C zu. Der Bereich von –25 bis +100°C markiert übrigens das Temperaturintervall, in dem die thermisch stabilsten Proteine funktionsfähig sind.

Benutzt man beide Extreme, dann beginnt die Öko-





Der »Wärmegürtel des Lebens«. Die Ökosphäre der Sonne erstreckt sich von der Venus- bis kurz hinter die Marsbahn, nimmt also, gemessen an der Größe des Systems, einen winzigen Bereich ein.

sphäre der Sonne wenig innerhalb der Venusbahn, und sie erstreckt sich bis knapp hinter die Marsbahn. Die Bahnen dieser beiden Nachbarplaneten markieren also die Grenzen der solaren Ökosphäre, während sich Erde und Mond mitten in ihr befinden. Da der Erdmond keine Atmosphäre besitzt, werden wir unser Hauptaugenmerk auf Mars und Venus richten. Beide Himmelskörper können heute von Planetensonden erreicht werden und liefern dadurch Stoff für exobiologische Überlegungen. Exobiologie ist die Bezeichnung für das Spezialgebiet, das sich mit dem Studium von Leben unter außerirdischen Bedingungen befaßt.

Die Geheimnisse des Planeten Mars

Kein Himmelskörper, kein astronomisches Objekt hat in den letzten dreihundert Jahren so sehr die Gemüter erregt wie unser Nachbarplanet Mars. Unübersehbar ist die Zahl der Bücher, die über den Roten Planeten geschrieben wurden, unglaublich der Ideenreichtum der Autoren, die der Öffentlichkeit Lösungen für die Rätsel des Mars anboten, unverständlich die psychologische Wirkung dieser »Leistungen« der menschlichen Phantasie. Eine außerirdische Welt mit Pflanzen, Tieren, vielleicht sogar Menschen schien gefunden zu sein.

Inzwischen ist dieser Rausch verfliegen. Um den geheimnisvollen Planeten kreisen heute künstliche Satelliten, an seiner Oberfläche befinden sich automatische Forschungsstationen. Die Marsoberfläche ist aus der Satellitenperspektive fast so gut bekannt wie die des Erdtrabanten; in den Landegebieten der beiden Vikingsonden des Jahres 1976 kennt man die Details bis herunter zur Sandkörnchengröße. Die Meßgeräte der bisherigen sowjetischen und amerikanischen Marssonden haben die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre, ihren Feuchtigkeitsgehalt, die Windtätigkeit, die Boden- und Lufttemperatur, die chemische Beschaffenheit des Gesteins, das seismische Verhalten und viele andere Parameter gemessen. Die berühmten Marskanäle, die seit 1877 die Phantasie provozieren, fand man nicht! Offensichtlich sind hier einige Beobachter einer Täuschung erlegen. Daß die beiden Marsmonde keine Raumstationen oder der letzte Zufluchtsort einer untergehenden Zivilisation von Martianern, sondern natürliche Himmelskörper sind, ist zweifelsfrei bewiesen. Eine Pflanzendecke oder andere Spuren höher organisierten Lebens wurden auf dem Roten Planeten nicht gefunden. Trotzdem erwies sich der Mars als ein exobiologisch außerordentlich interessanter Himmelskörper.

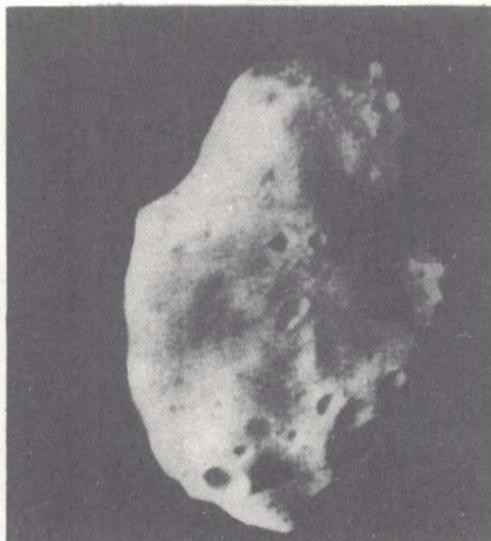
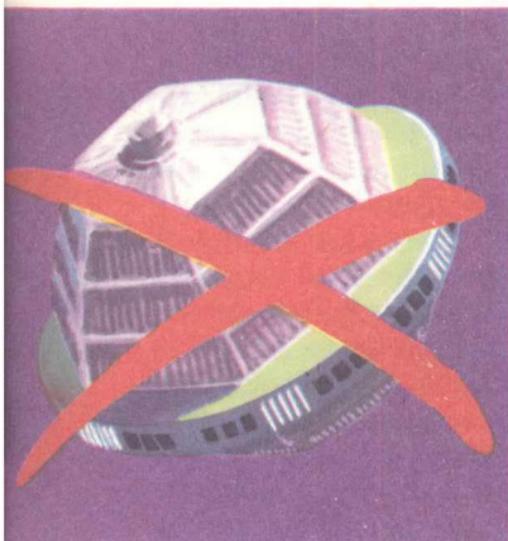
Die »Marskanäle«. Im oberen Bildteil ist ein Ausschnitt aus der Marskarte G. Schiaparellis von 1896 zu sehen. Das farbige Rechteck ist darunter noch zweimal wiedergegeben, nach einer Zeichnung Schiaparellis (oben) und nach einer von Antoniadi (unten). In letzterer gibt es keine Kanäle!



Die Entmythologisierung der Marsmonde. Durch die Aufnahmen von Mariner 9 steht einwandfrei fest, daß die Marsmonde Phobos und Deimos natürliche Himmelskörper sind und nicht, wie verschiedentlich vermutet, Raumstationen von Martianern.

Mars, der nur halb so groß wie die Erde ist und eine Masse von etwa 11% der Erdmasse aufweist, nimmt geologisch gesehen eine Zwischenstellung zwischen Erde und Mond ein. Die ausgedehnten Kraterfelder erinnern stark an die Mondoberfläche. Die Marskruste scheint aber wesentlich länger dynamisch und vulkanisch aktiv gewesen zu sein als die des Erdtrabanten. Davon zeugen zahlreiche tektonische Bildungen, z. B. ein 4000 km langes Grabensystem, und imposante Vulkanbauten. Die gewaltigsten Schildvulkane, die die Geologen je zu Gesicht bekamen, stehen auf dem Mars! Die Kruste unseres Nachbarplaneten ist allerdings nicht wie die der Erde in Platten zerbrochen, die gegeneinander driften. Es gibt daher auch keine echten Faltengebirge auf dem Mars.

Unübersehbar sind die Spuren der Verwitterung, der Abtragung und des Transports von Bodenmaterial auf dem Roten Planeten. Wenn auch die Tiefländer niemals Meeresbecken waren, so gibt es doch deutliche Anzeichen, daß der jetzt extrem trockene Planet früher größere Mengen flüssigen Wassers zur Verfügung gehabt haben muß. Es gibt z. B. zahlreiche Flußbetten und Stromtäler auf dem Mars. Heute ist die Marsatmosphäre so trocken, daß sich nur ein Wasserfilm von einigen Mikrometern



Dicke ergäbe, könnte man allen Wasserdampf abregnen lassen. Es gibt aber gefrorenes Wasser auf dem Planeten. Das Kernstück jeder Polkappe besteht aus echtem Schnee, während der größte Teil der im Winter sehr weit ausgedehnten weißen Polflecken aus Kohlendioxid Schnee besteht, denn CO_2 ist mit 95 Volumenprozent neben Stickstoff (2–3 %) und Argon (1–2 %) der Hauptbestandteil der sehr dünnen Marsatmosphäre, deren Bodendruck bei ungefähr 6 mbar liegt. Wahrscheinlich gibt es im Marsboden noch Wasservorräte in gefrorenem Zustand.

Das Vorkommen flüssigen Wassers in der Vergangenheit und die große Ähnlichkeit des Planeten mit der Erde berechtigen zu der Erwartung, daß auf dem Mars Leben entstanden sein könnte, dessen Spuren man heute noch in Form sehr widerstandsfähiger primitiver Formen an besonders günstig gelegenen Orten im Marsboden finden sollte. Mit besonderer Spannung sah man daher den von den Viking-Sonden durchgeführten Lebensnachweisexperimenten entgegen. 1976 und 1977 testete man auf drei verschiedene Arten Bodenproben in den mitgeführten biologischen Kleinstlabors auf mögliche Lebensäußerungen von Mikroorganismen. Einer der Tests bestand darin, eine Bodenprobe in einer künstlichen Marsatmosphäre, deren CO_2 mit radioaktivem Kohlenstoff (^{14}C) markiert

war, einige Tage lang mit Licht zu bestrahlen. Wenn in der Bodenprobe ein mit der Photosynthese vergleichbarer Vorgang stattgefunden hätte, wenn also die Marsmikroorganismen zu assimilieren begonnen hätten, dann müßte radioaktiver Kohlenstoff in ihre Organismen gelangt sein. Man entfernte dann die künstliche Atmosphäre und erhitze die Bodenprobe kräftig, so daß sich die möglicherweise enthaltenen biochemischen Stoffe der Lebewesen zersetzen mußten. Wenn ein Stoffwechsel stattgefunden hat, dann müssen die Zersetzungsprodukte radioaktiv sein. Tatsächlich beobachtete man das Freisetzen eines radioaktiven Gases.

In einem anderen Test versetzte man eine Bodenprobe mit einer sorgfältig vorbereiteten Nährlösung, die gleichfalls ^{14}C enthielt. Wenn die Marsmikroben an dieser Nährlösung Geschmack finden und sie »fressen«, dann nehmen sie radioaktiven Kohlenstoff auf und scheiden möglicherweise radioaktive Stoffwechselabbauprodukte aus. Überraschenderweise wurde tatsächlich radioaktives Gas freigesetzt.

Beim dritten Test gab man eine gewöhnliche Nährlösung zu und analysierte die Atmosphäre im Testraum, um feststellen zu können, welches Gas bei eventuellen Stoffwechselprozessen frei wird. Grundsätzlich hatte man die Möglichkeit, CO_2 , CH_4 , N_2 , O_2 und H_2 nachweisen zu können. Interessanterweise wurde beim Zusetzen der Nährlösung schlagartig Sauerstoff freigesetzt, und später entwich CO_2 . Hatte man tatsächlich Leben nachgewiesen?

Formal betrachtet hatten alle Tests irgendwie positiv angesprochen, jedoch wesentlich anders als bei den Experimenten mit irdischen Mikroben. Die Freisetzung von Gas erfolgte bei den Versuchen auf dem Mars zu abrupt und klang auch zu schnell wieder ab. Außerdem gelang es nicht, mit den äußerst empfindlichen Analysengeräten der Sonden im Marsboden Spuren organischen Materials aufzuspüren. Die Experten blieben daher bei der Beurteilung der Ergebnisse sehr zurückhaltend und räumten ein, daß eventuell unerwartete chemische Reaktionen im Marsboden für das positive Ansprechen der Tests verantwortlich sein könnten. Das Rätsel, ob es Leben auf dem Mars gibt, ist also noch nicht endgültig gelöst!

Venus – die Zwillingsschwester der Erde

Kandidat Nr. 2 für die Suche nach Leben im Sonnensystem ist seit langem der Nachbarplanet der Erde, die Venus. Größe und Masse dieses Himmelskörpers stimmen fast genau mit den irdischen Werten überein, ein Umstand, der Vergleiche mit der Erde geradezu provoziert. Beflügelten beim Mars die Erscheinungen, die man beobachten konnte, die Phantasie, so war es bei dem strahlend hellen Morgen- und Abendstern gerade der Umstand, daß buchstäblich nichts zu sehen war. Eine völlig undurchdringliche, weiße bis gelbliche Wolkendecke entzieht nämlich alles darunter Liegende den forschenden Blicken der Beobachter. Dieser Ozean aus Wolken und Nebel, dessen Tiefe noch vor wenigen Jahren unbekannt war, bot Anlaß für zahlreiche Spekulationen. Aus der größeren Nähe der Sonne und der dichten Bewölkung schloß man auf ein feuchtwarmes Klima. Man dachte an Sumpfwälder, wie sie auf der Erde im Karbon, der Steinkohlenzeit, existierten.

Das Bild änderte sich, als man spektroskopisch große Mengen von Kohlendioxid, aber keinen Wasserdampf nachweisen konnte. Die große Häufigkeit des Kohlendioxids gab zu Fragen Anlaß. So war es immer wieder verwunderlich, daß sich dieses Gas nicht in den Venusmeeren löste und in Form von Kalkstein in den Boden befördert wurde. Die Antwort auf diese Frage rückte 1956 in greifbare Nähe. Noch war sie aber so desillusionierend, daß die Venusforscher nur sehr vorsichtig an sie herangingen. Radioastronomen hatten nämlich Anzeichen dafür gefunden, daß die Venusoberfläche sehr heiß ist.

Im Jahre 1962 wurden die letzten Zweifel beseitigt, denn die Raumsonde Mariner 2 maß die Mikrowellenstrahlung der Venus aus unmittelbarer Nähe und mit großer Präzision. Daraus ergab sich eine Temperatur von 425°C; gleichzeitig wurde sichergestellt, daß die »heiße« Strahlung tatsächlich vom Venusboden, nicht etwa von einer dichten Ionosphäre stammt. Vor den Astronomen entstand das faszinierende Bild eines rotglühenden Planeten, den eine Hülle von Eiswolken umgibt.

Von 1967 bis 1975 stießen sieben sowjetische Sonden (Venus 4 bis 10) in diese »Gluthölle« vor. Sie stell-

ten fest, daß die Venusatmosphäre zu 97% aus CO_2 besteht. Wasserdampf ist mit weniger als 1%, Sauerstoff mit weniger als 0,1% und Ammoniak mit 0,01% vertreten. Die Temperatur der Venusoberfläche liegt bei 470°C , der Druck bei 90 at. Während in Wolkenhöhe (etwa 50 km) orkanartiger Sturm herrschte, fand man am Venusboden Windstille. Die Sonden Venus 9 und 10 vollbrachten die astronautische Spitzenleistung, Bilder vom glühenden Venusboden zu übertragen. Die Venuswolken bestehen wahrscheinlich aus Tröpfchen von Schwefel-, Salz- und Flußsäure und bilden die aggressivste und lebensfeindlichste Flüssigkeit des Sonnensystems.

Der Unterschied in der Entwicklung beider Himmelskörper scheint darauf zu beruhen, daß das durch Entgasung der Venus anfallende CO_2 nicht wie auf der Erde gebunden wurde, sondern in der Atmosphäre verblieb. Entweder hatte unser Nachbarplanet von Anfang an weniger Wasser oder es ging ihm zeitig verloren, so daß sich das CO_2 nicht lösen konnte.

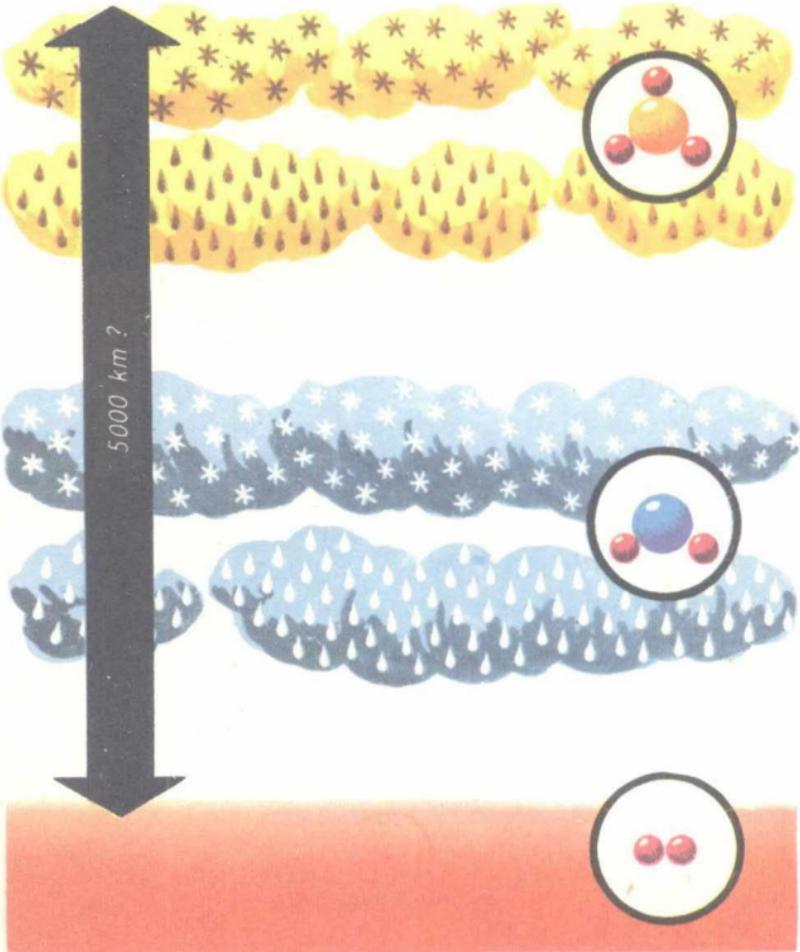
Das CO_2 in der Venusatmosphäre wirkte nun ähnlich wie die Glasfenster eines Treibhauses, es absorbierte die Wärmestrahlung des Bodens und hinderte sie so am Entweichen in den Weltraum. Die Temperatur der Atmosphäre stieg, alles Wasser verdampfte und bildete Wolken, die ihrerseits den Wärmestau in der unteren Atmosphäre drastisch vergrößern halfen. Das »Venustreibhaus« ging durch. Erst als der Boden auf 400 bis 500°C aufgeheizt war, konnte seine Emission im Bereich der Mikrowellen (Millimeter-, Zentimeterwellen), für die CO_2 -Atmosphäre und Eiswolken durchlässig sind, so viel Wärme nach außen schaffen, daß die Temperatur nicht weiter stieg.

Wenn auf der Venus Leben entstand, dann verlor es offensichtlich den »Wettlauf« mit der Temperatur. Die primitiven Venuslebewesen – falls es sie überhaupt gab! – haben anscheinend die Photosynthese zu spät oder überhaupt nicht in Gang gebracht. Das CO_2 wurde nicht abgebaut, die vor Wasserverlust schützende Ozonschicht blieb aus. Ob es den Mikroorganismen gelang, die letzte noch verbliebene ökologische Nische zu bevölkern und sich etwa in 50 km Höhe im Schutze der Wolken als eine Art Plankton zu halten, ist zweifelhaft.

Die »lebensträchtigen« Atmosphären der Riesenplaneten

Im Zusammenhang mit der Entstehung von Leben im Planetensystem müssen wir auch die eigentümlichen Gas-hüllen der Riesenplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und

Die Wolkenhülle des Jupiter: zuoberst Ammoniakwolken (obere Schicht mit Wolken aus festen Ammoniakpartikeln, untere mit Wolken aus Ammoniaktröpfchen) und darunter ein System gewöhnlicher Wolken (obere Schicht aus Eiswolken, untere mit Wolken aus kondensiertem Wasserdampf). Es kann also in der Jupiteratmosphäre sowohl H_2O als auch NH_3 regnen bzw. schneien. Die Oberfläche des Planeten – wenn man von einer solchen überhaupt sprechen kann – besteht wahrscheinlich aus flüssigem Wasserstoff.



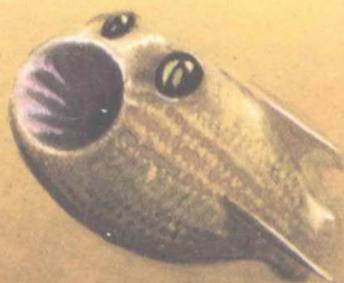
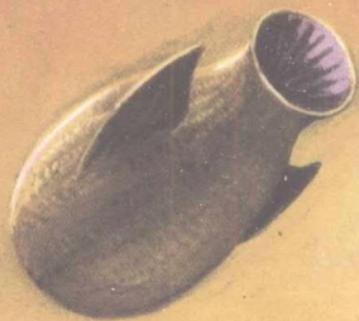
Neptun erwähnen. Stellvertretend sollen hier nur die Verhältnisse beim Jupiter dargestellt werden.

Das Streifengesicht des Jupiters hat nichts mit seiner Oberfläche zu tun, sondern rührt von der Struktur der Wolkenhülle her, die ständigen Veränderungen unterliegt. Eingebettet sind diese Wolken in einen »Ozean« aus Wasserstoff, Helium, Methan, Ammoniak, Wasserdampf und anderen wasserstoffreichen Verbindungen. Auch der Jupiterkörper muß, wie seine geringe mittlere Dichte von $1,33 \text{ g/cm}^3$ ausweist, hauptsächlich aus Wasserstoff, dem leichtesten Element, bestehen. Während an der Oberseite der Wolkendecke die Temperatur bei -130°C und der Gasdruck bei 1 at liegt, kann man am Boden dieses »Gasozeans« Temperaturen in der Größenordnung von 1000°C und Drücke von 10^5 at erwarten. Die »Jupiterluft« hat dabei eine Dichte, die der von Flüssigkeiten und Festkörpern nur wenig nachsteht. In diesem komprimierten Gas würden alle Gegenstände schwimmen.

Völlig fremdartig sind auch die meteorologischen Verhältnisse auf dem Jupiter. Anders als bei der Erde wird hier die Atmosphäre von innen her, nicht durch die Sonneneinstrahlung geheizt. Jupiter besitzt eine eigene Energieproduktion, er erzeugt Wärme, indem er sich ständig zusammenzieht. Auf diesen Umstand wurden die Astronomen aufmerksam, als sich herausstellte, daß Jupiters Infrarotabstrahlung mehr als doppelt soviel Energie in den Weltraum befördert, wie der Planet von der Sonne zugestrahlt bekommt. Ein gewaltiges System von Passatwinden erzeugt das streifige Aussehen des Planeten. In der Atmosphäre toben vermutlich imposante Gewitter. Neben Wasser kann es auch Ammoniak regnen.

Chemisch sind also in der Gashülle des Jupiters genau die Bedingungen realisiert, unter denen S. Miller, die Uratmosphäre unserer Erde nach dem Oparinschen Konzept nachahmend, auf nichtbiologischem Wege Aminosäuren synthetisierte. Die Jupiteratmosphäre mit ihren gewaltigen

Phantasiedarstellung von »Jupiterlebewesen«. In der dichten Gashülle dieses Planeten müßten Lebewesen sehr stabil gebaut sein. Sie könnten sich exotische Fortbewegungsarten leisten (z. B. eine Art Staustrahlantrieb).

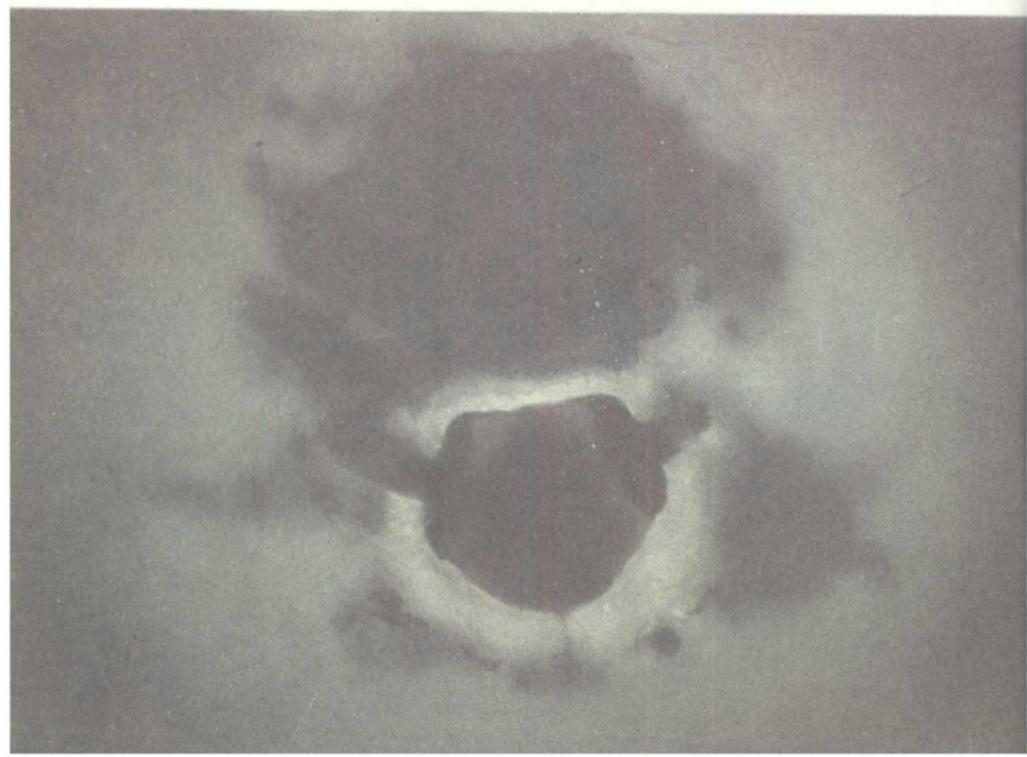


elektrischen Entladungen ist damit ein riesiges Labor zur Herstellung präbiologischen Materials. Es wäre daher grundsätzlich denkbar, daß sich innerhalb dieses »Gasozeans« hochkomplizierte organische Verbindungen zu lebenden Molekülsystemen organisiert haben, die vielleicht eine völlig anders geartete Lebenswelt aufbauten, als wir sie kennen. Ob aber dort wirklich exotische »Fische« mit Rückstoßantrieb durch das dichte Medium »brausen«, nach dem Staustrahlprinzip Gas einsaugen und das reichlich vorhandene organische Material als Nahrung auf sammeln, bleibt vorläufig dahingestellt. Wir werden es erst erfahren, wenn uns Jupitersonden aus diesen Gefilden berichten.

Lebewesen in Meteoriten?

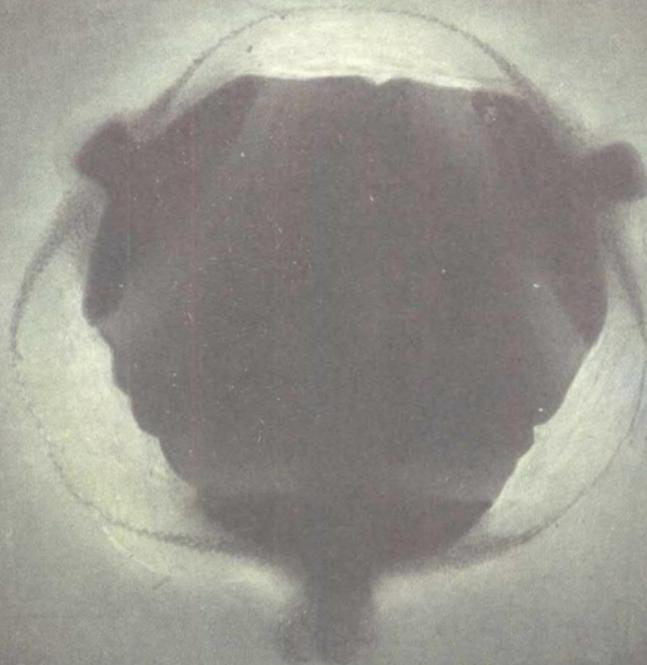
Eine wichtige Quelle für die Suche nach Lebensspuren im Sonnensystem sind die Meteorite. Für unsere Betrachtungen besonders interessant dürften die sogenannten

Eines der von Nagy in kohligen Chondriten gefundenen »organisierten Elemente« (links). Rechts ein durch Färbemittel verformtes Pollenkorn.



kohligen Chondrite sein, deren Name von dem relativ hohen Gehalt an Kohlenstoff herrührt. Das dunkelgraue bis schwarze Material dieser Meteorite enthält zu rund 0,5% organische Bestandteile. Darin konnten bisher ketten- und ringförmige Kohlenwasserstoffe, heterozyklische Verbindungen (darunter zwei der vier Basen der DNS), Aminosäuren (darunter auch biologisch bedeutsame) und organische Farbstoffe (z. B. Porphyrin) gefunden werden. Andere Verbindungen erwiesen sich als irdische Verunreinigungen. Durch ihre große Porosität hatten manche dieser Meteoriten im Museum verschiedene organische Stoffe »eingeatmet«, die dann bei späteren Analysen »entdeckt« wurden und die Meteoritenforscher arg hinteres Licht führten.

Nach dem Auffinden biologisch bedeutsamer Moleküle in den kohligen Chondriten Ende der fünfziger Jahre entzündete sich eine heftige Diskussion darüber, ob es im Sonnensystem früher einen zusätzlichen Planeten – in der Science-fiction-Literatur erhielt er den Namen Phaeton – gegeben haben könnte, auf dem Leben entstanden war. Schon im vorigen Jahrhundert hatten manche Astronomen die kleinen Planeten, die sich in der Lücke zwischen Mars und Jupiter bewegen, und auch die Meteorite für Trüm-



mer eines Planeten gehalten. Endgültig durchsetzen konnte sich aber diese Ansicht nicht, weil es niemandem gelang, auf physikalisch plausible Weise einen Planeten »platzen« zu lassen. Nun kam als neuer Gesichtspunkt hinzu, daß sich auf diesem hypothetischen Planeten eine Zivilisation technisch sehr fortgeschrittener Wesen, der »Phaetonen«, entwickelt haben könnte, die diese Katastrophe verursachten. Zum Zersprengen eines Planeten ist jedoch eine Energiemenge notwendig, gegen die die Detonationsenergie der Kernwaffenvorräte der Erde eine winzige Größe ist. Für die »Amateurdenker« der utopischen Literatur ist das natürlich kein Hinderungsgrund, schaurige Stories von Phaetonen zu erfinden, denen das »Gokeln« mit thermonuklearen »Streichhölzern« zum Verhängnis wurde.

Großes internationales Echo fand 1961 eine von dem New-Yorker Erdölchemiker B. Nagy gemeldete Entdeckung. Nagy und seine Mitarbeiter hatten in einem kohligen Chondriten »organisierte Elemente« gefunden, die sie als Fossilien außerirdischer Mikroorganismen deuteten, etwa als »phaetonische Mikroflora«. Dieser Meldung folgte eine regelrechte Lawine von ähnlichen Entdeckungen. Auch der bekannte Leningrader Pollenspezialist B. W. Timofejew fand kugelförmige, an Algen erinnernde Gebilde. Andere Forscher züchteten aus kohligen Chondriten Bakterien, die sie für außerirdische Lebewesen hielten. Die Mehrzahl der Meteoritenforscher und Exobiologen blieb jedoch skeptisch, weil ihnen die Gefahr der irdischen Verseuchung des porösen Meteoritenmaterials zu groß erschien.

Zwei Jahre später konnte eine Chicagoer Arbeitsgruppe unter Leitung des Meteoritenforschers E. Anders das entscheidende Argument für die Berechtigung der Skepsis liefern. Sie hatten irdische Pollenkörner mit den Färbemitteln behandelt, die man bei der mikroskopischen Suche nach »organisierten Elementen« benutzte. Dabei verformten sich bestimmte Pollensorten in charakteristischer Weise und lieferten genau die Form des eindrucksvollsten Typs der »organisierten Elemente«.

Ein anderer interessanter Sachverhalt konnte damit allerdings nicht aus der Welt geschafft werden: die optische

Aktivität des organischen Materials bestimmter kohligler Chondrite. Asymmetrisch gebaute organische Moleküle treten in zwei zueinander spiegelbildlichen Formen auf. Moleküle der einen Form drehen die Schwingungsebene einer passierenden Lichtwelle nach rechts, Moleküle der anderen Form nach links. Synthetisiert man diese Stoffe künstlich, dann treten beide Molekülsorten in gleicher Menge auf, es kommt daher zu keiner Verdrehung, die Stoffe verhalten sich optisch inaktiv. Eigentümlicherweise werden bei der Biosynthese der Lebewesen fast ausschließlich linksdrehende Aminosäuren produziert. Diese Stoffe sind also optisch aktiv, und diese Eigenschaft gilt als Kennzeichen dafür, daß diese Stoffe auf biologischem Wege entstanden sind.

Die optische Aktivität des organischen Materials der Meteorite braucht aber noch kein Beweis für biogene Herkunft zu sein. Wie der amerikanische Planetenforscher C. Sagan vorschlug, könnten irdische Bakterien von dem ursprünglich nicht optisch aktiven Material nur eine Sorte von Molekülen »gefressen« haben, so daß die andere nunmehr überwiegt und optische Aktivität vorgetäuscht wird. Strenggenommen gibt es heute keinen stichhaltigen Beweis dafür, daß die Kohlenstoffverbindungen der kohligen Chondrite biologischen Ursprungs sind. Wir können heute nicht einmal sicher sein, daß es sich eventuell um eingetrocknete »Ursuppe« eines anderen Planeten handelt. Organische Moleküle sind nämlich, wie wir sehen werden, eine kosmisch weit verbreitete Erscheinung!

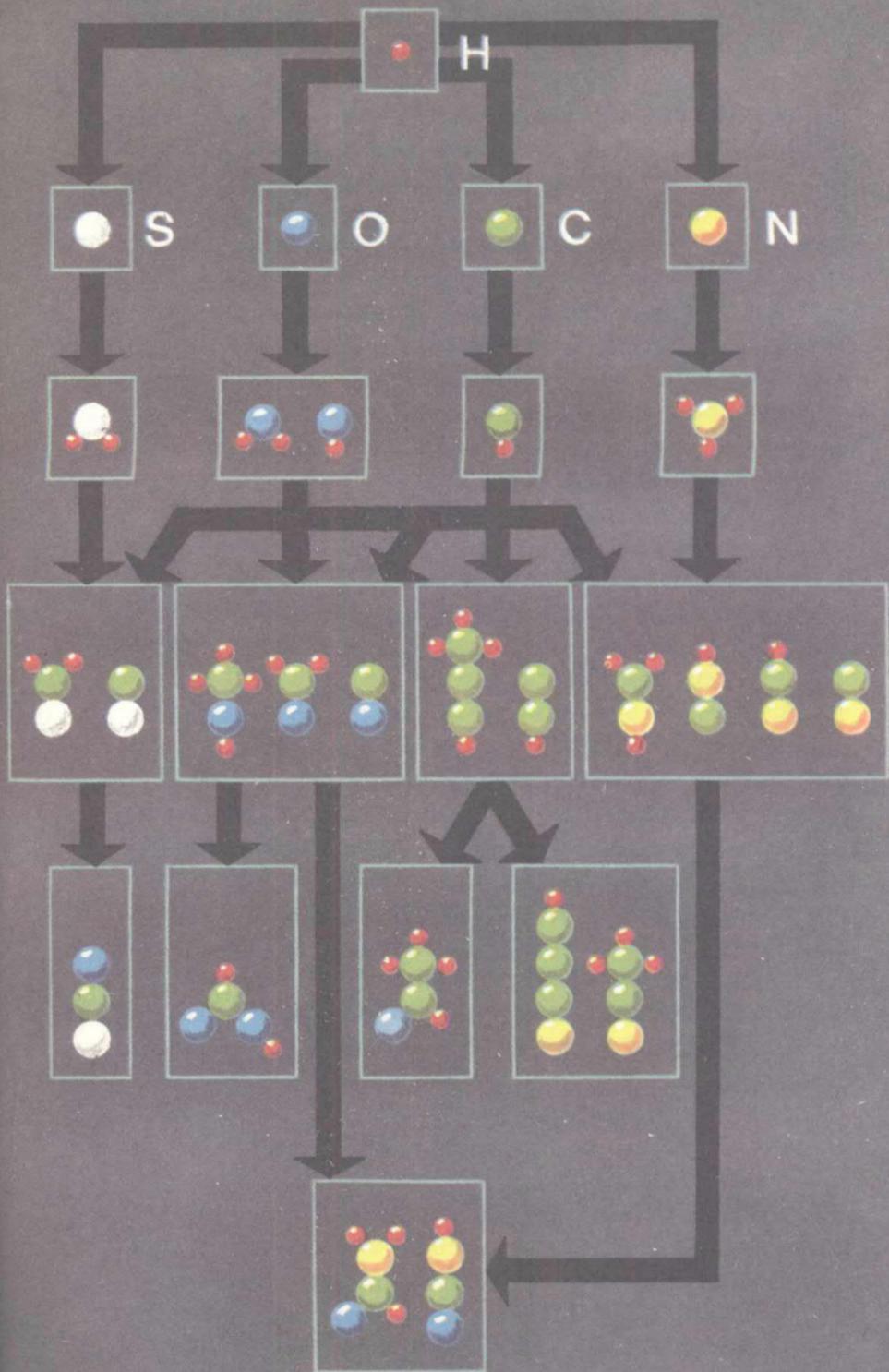
Planetensysteme und Zivilisationen

Organische Moleküle im Kosmos

Von allen astronomischen Objekten bieten die Oberflächen und Atmosphären der erdähnlichen Planeten sicherlich die besten physikalischen Voraussetzungen für die Entstehung des Lebens. Die chemische Grundlage dafür, die Existenz einer bunten Palette von Kohlenstoffverbindungen und die Existenz von Wasser sind in gewissem Sinne sogar bereits vor der Bildung von Planeten erfüllt. Seit 1969 stehen wir vor der faszinierenden Tatsache, daß zahlreiche organische Moleküle bereits im Baumaterial der Sterne und Planetensysteme vorkommen. Die »Zutaten« zur »Ursuppe« warten anscheinend nur auf den »Topf« mit Wasser und die »Kochplatte«.

Nachdem 1968 eine amerikanische Forschergruppe unter Leitung von Ch. Townes Linien von Ammoniak bei 1,25 cm und von Wasser bei 1,35 cm Wellenlänge in den Spektren einiger Radioquellen gefunden hatte, glückte einer anderen Gruppe 1969 der Nachweis von Formaldehyd (HCHO) anhand seiner Linien bei der Wellenlänge 6,2 cm. Und dann sorgte die Radiospektralanalyse für eine Überraschung nach der anderen. 1970 fand man u.a. Blausäure (HCN), Methylalkohol (CH₃OH) und Ameisensäure (HCOOH). In den nächsten Jahren gesellten sich Methylazetylen (C₂HCH₃), Formamid

Im interstellaren Gas nachgewiesene Moleküle. Eindeutig dominieren die organischen Kohlenstoffverbindungen. Die Moleküle wurden in Gruppen angeordnet, wobei die Kompliziertheit von oben nach unten zunimmt. Pfeile deuten an, wie man sich die Bildung komplizierterer aus einfacheren Molekülen vorstellt.



(NH_2CHO), Azetaldehyd (CH_3CHO), Formaldimin (H_2CNH), Methylamin (CH_3NH_2), Dimethyläther ($(\text{CH}_3)_2\text{O}$), Vinylcyanid ($\text{H}_2\text{C}_2\text{HCN}$), Äthylalkohol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) u. a. dazu.

Auf die Bedeutung von Formaldehyd und Blausäure für die Chemie des entstehenden Lebens gingen wir bereits ein. Hier wollen wir nur am Rande vermerken, daß Formaldimin mit Ameisensäure zu Glyzin reagiert, einer der biologisch bedeutsamen Aminosäuren.

Wahrscheinlich bildeten sich diese Moleküle in den Wolken der interstellaren Materie. Wenn in eine solche, hauptsächlich aus Wasserstoff, dem »Baustoff« des Universums, bestehende Wolke Staubpartikeln eingebettet sind – und dieser Fall liegt häufig vor –, dann sorgt der Staub für eine Absorption des für Moleküle so gefährlichen ultravioletten Sternlichts. An den Oberflächen der Staubteilchen können die dort auftreffenden Gasatome haftenbleiben und chemisch miteinander reagieren.

Interessanterweise wurden die meisten Moleküle in Gas-Staub-Komplexen entdeckt, in denen augenblicklich gerade Sterne entstehen, z. B. im Orionnebel. Wahrscheinlich können vor allem in den Gas- und Staubhüllen, in die entstehende Sterne und Planetensysteme »verpackt« sind, zahlreiche chemische Reaktionen ablaufen.

Damit schließt sich der Kreis unserer Überlegungen: Im »Bauschutt« des Sonnensystems, in den Meteoriten, fanden sich biochemisch bedeutsame Moleküle. In den interstellaren Gas- und Staubkomplexen, aus denen sich Sterne und Planetensysteme bilden, kommen sie gleichfalls vor. Die chemische Grundlage des Lebendigen sind also Stoffe mit einer relativ großen Verbreitung. Anscheinend häufen sie sich gerade dort, wo neue Himmelskörper ins Dasein treten und damit auch neue Möglichkeiten für die Entstehung des Lebens geschaffen werden.

Wie entsteht ein Planetensystem?

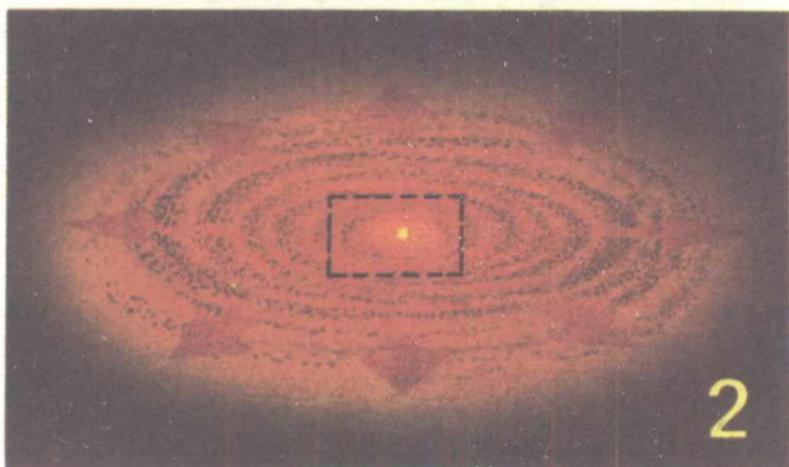
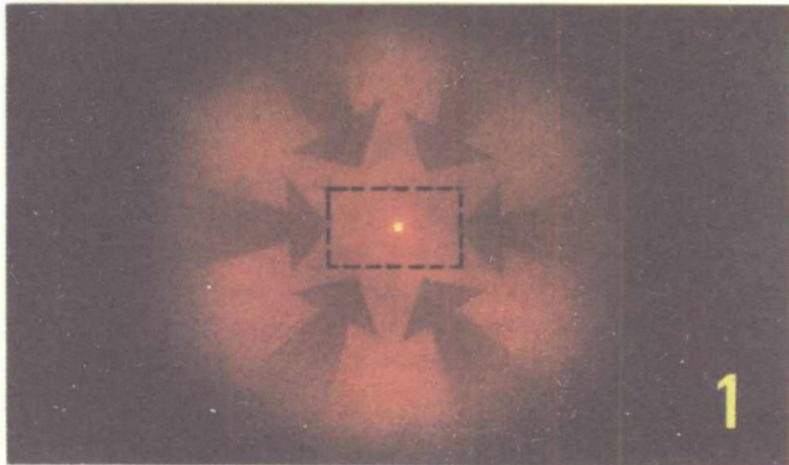
Um die Chancen für die Entstehung von Leben im Kosmos beurteilen zu können, muß man wissen, wie Planetensysteme entstehen. Diese Frage ist jedoch sehr pro-

blematisch, denn wir wissen leider noch nicht einmal genau, wie das Planetensystem der Sonne entstand, in dem wir leben. Die großen Raumfahrerfolge bei der Erforschung des Planetensystems klären uns nur darüber auf, wie das Sonnensystem heute, im vorgerückten Alter von rund 5 Mrd. Jahren, aussieht. »Geburtsumstände« und »Kindheit« des Systems müssen aus diesen Daten erst rekonstruiert werden. Diese »Detektivarbeit« teilen sich Astronomen, Geologen, Geophysiker, Geochemiker, Meteoritenkundler und andere Fachleute.

In groben Zügen sieht das Ergebnis dieser interdisziplinären Bemühungen folgendermaßen aus: Vor rund 5 Mrd. Jahren begann eine interstellare Wolke aus Gas und Staub, die mehrere Lichtjahre Durchmesser hatte, unter ihrer eigenen Massenanziehung zusammenzufallen. Als die Staubpartikeln der kollabierenden Wolke so stark konzentriert waren, daß sie die Wärme des sich immer mehr komprimierenden Gases, die in Form von Infrarotstrahlung nach außen zu gelangen versuchte, behinderten, heizte sich das Wolkeninnere immer mehr auf. Die beim Zusammenstürzen der ursprünglichen Wolke frei werdende potentielle Energie wandelte sich in den Wärmeinhalt eines entstehenden Sterns, der Ursonne, um.

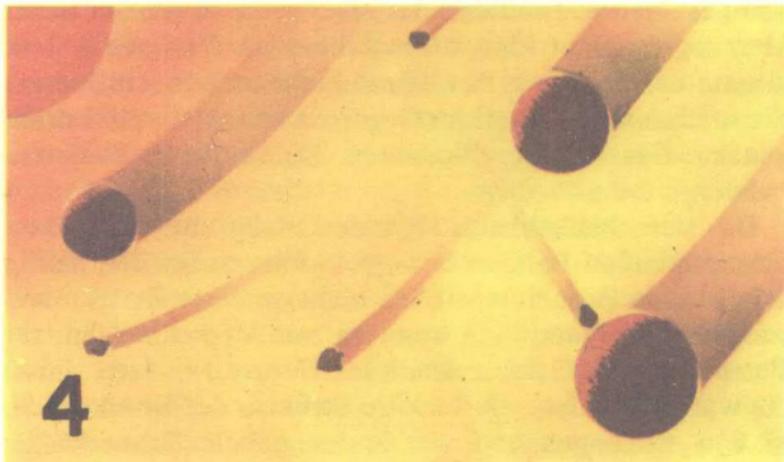
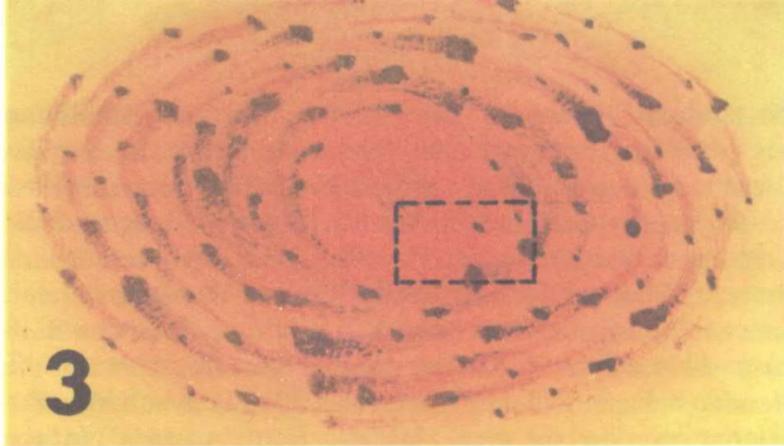
Nach dem Gesetz der Drehimpulserhaltung mußte sich die Ursonne mit zunehmender Schrumpfung immer schneller drehen. Als sich ihre Rotationsgeschwindigkeit dem kritischen Wert näherte, bei dem die Fliehkraft am Äquator gleich der Schwerkraft ist, verformte sich die Kugel der Ursonne immer mehr zu einem »Pfannkuchen«. Sie wurde schließlich, wie es in der Fachsprache heißt, »rotationsinstabil« und gab am Äquator Masse ab. Nach theoretischen Berechnungen wurde dieser Zustand erreicht, als der Radius der Ursonne etwa halb so groß wie die Bahn des Planeten Merkur war. Zu diesem Zeitpunkt betrug die Oberflächentemperatur etwa 3200°C; das Gas war bereits leicht ionisiert, es bildete ein Plasma.

Während der Kontraktion wurden natürlich auch die in der ursprünglichen Wolke vorhandenen Magnetfelder zusammengequetscht, und die Feldstärke erreichte jetzt an der Oberfläche der Ursonne sehr hohe Werte. Nach den Gesetzen der Magnetohydrodynamik blieben die ma-



Die wahrscheinliche Ereignisfolge bei der Bildung eines Planetensystems. Jede der vier Skizzen stellt den in der vorangehenden Abbildung eingerahmten Ausschnitt vergrößert und zu einem späteren Zeitpunkt dar. 1 – Eine interstellare Gas-Staub-Wolke kollabiert, und in ihrem Innern bildet sich ein Protostern. 2 – Der mit weiterer Kontraktion immer schneller rotierende Protostern gibt Masse ab, die sich, von den Magnetfeldern des Protosterns mitgeschleift, zu einer Scheibe anordnet. 3 – In der sich abkühlenden Gasscheibe, dem Urnebel, kondensieren Stoffe aus und bilden Planetesimals, die den Stern umlaufen. 4 – Die durch Zusammenballung am schnellsten gewachsenen Planetesimals ziehen durch ihr wirksam werdendes Schwerfeld nahezu das gesamte kondensierte Material an sich und wachsen damit zu Planeten heran.

gnetischen Kraftlinien starr mit der immer rascher herumwirbelnden Ursonne verbunden. Sie »griffen« in das abgestoßene Plasma hinein und zogen es mit sich herum. Wie mit Gummiseilen waren dadurch die bei der Ro-



tationsinstabilität abströmenden Massen an das sich immer schneller drehende Karussell angebunden. Durch diese magnetische Kopplung verlor die Ursonne ständig Drehimpuls an das abströmende Gas. Sie wurde mit weiterer Schrumpfung immer mehr abgebremst, während das umgebende Gas beschleunigt und durch die Fliehkraft nach außen abgedrängt wurde, um in rund 1000 Jahren bis zur Entfernung des Planeten Neptun vorzudringen. Der »Pfannkuchen« der rotationsinstabilen Sonne löste sich also in eine expandierende Gasscheibe und die im Scheibenmittelpunkt immer langsamer rotierende Sonne auf.

In der Gasscheibe, dem Sonnennebel, sank die Temperatur mit wachsendem Abstand von der Sonne. In dem dichten, kühlen Gas bildeten sich zahlreiche Moleküle. Zunächst reicherten sich Hochtemperaturoxide und hitze-

beständige Silikate an, die sich bei weiterer Abkühlung als feste Partikeln aus dem Gas ausschieden. In den Gebieten, in denen die Temperatur 1100°C unterschritten hatte, kondensierten metallisches Eisen, Olivin und die Orthopyroxene, die den Hauptbestand des Meteoritenmaterials bilden. In den noch kühleren Bereichen fielen immer flüchtigere Verbindungen aus dem Gas des Sonnennebels aus. Auf Kosten des Gasvorrates konnten die kondensierten Teilchen immer schneller wachsen. Zunächst wurden sie vom Gas des Sonnennebels einfach »mitgeschleift«. Nachdem sie aber zu metergroßen Brocken, sogenannten Planetesimals, herangewachsen waren, konnte das Gas ihre Bewegung nicht mehr beeinflussen. Sie umliefen die Sonne im Gegensatz zum auswärts drängenden Gas auf geschlossenen Kurven, auf Planetenbahnen.

Da sich benachbarte Planetesimals auf fast übereinstimmenden Bahnen bewegten, kam es bei den häufig erfolgenden Zusammenstößen nicht zu einer Zertrümmerung oder Verdampfung, sondern zum Verschmelzen, zur Fusion. Begünstigt wurde dieses »Verschweißen« durch die wahrscheinlich sehr lockere Struktur der Brocken, die in den Außengebieten des Sonnennebels Schneebällen glichen. Günstige Fusionseigenschaften dürften auch Eisenbrocken gehabt haben. So entstanden als Ergebnis der Kollisionen immer größere Körper. Schließlich machte sich bei den größten von ihnen die eigene Massenanziehung bemerkbar. Durch die wachsende Schwerkraft stürzten aus immer größeren Raumbereichen Planetesimals auf diese Zentren. Sie wuchsen dadurch explosiv zu Planeten heran und »fegten« einen immer breiteren Streifen längs ihrer Bahn um die Sonne frei.

Während dieser Vorgänge kam die Kontraktion der Ursonne zum Stillstand. In ihrem Innern hatte die Temperatur die Millionengrenze überschritten. Die Kerne der Wasserstoffatome begannen miteinander zu reagieren und zu Heliumkernen zu verschmelzen. Die dabei frei werdende Energie baute im Innern der Sonne einen so großen Druck auf, daß das Gewicht der äußeren Schichten getragen werden konnte. Die Ursonne war damit zu einem stabilen Stern, der Sonne, geworden, der über Jahr-

milliarden hinweg von seinen atomaren Brennstoffvorräten »zehren« kann.

Als die entstehenden Planeten den interplanetaren Raum von Planetesimalen »säuberten«, konnte das Sonnenlicht durch den bis dahin undurchsichtigen Sonnennebel hindurchdringen. Mit dem Druck ihrer Strahlung »blies« die Sonne neu kondensierte Partikel aus dem System heraus. Der aus den Aktivitätszentren der jugendlichen Sonnenatmosphäre ausgeschleuderte Sonnenwind, der damals viel heftiger als heute »wehte«, fegte schließlich auch das restliche Sonnennebelgas, hauptsächlich Wasserstoff und Helium, für deren Kondensation die Temperatur noch zu hoch war, aus dem System hinaus. Im Endergebnis entstand also ein flaches System die Sonne umlaufender Planeten. In dieses System, dessen Masse nur etwas mehr als ein Tausendstel der Sonnenmasse beträgt, hatte die Sonne 98% ihres Drehimpulses »investiert«.

Wir resümieren: Planetensysteme sind Nebenprodukte der Sternentstehung. Sie bilden sich, wenn rotationsinstabil gewordene Sterne ihren Drehimpulsvorrat rechtzeitig über einen großen Raumbereich verteilen können. Wenn der »Pfannkuchen« des Protosterns nicht zu einer Scheibe auseinandergezogen werden kann – etwa, weil die Magnetfelder zu schwach sind –, bildet sich wahrscheinlich aus dem abgestoßenen Material ein zweiter Stern. Anstelle eines Planetensystems entsteht dann ein Doppelstern. Nach Ansicht des Astronomen Su-shu Huang, eines der kompetentesten Fachleute auf dem Gebiet der Entstehung von Planetensystemen, hat jeder entstehende Stern aus Gründen der Drehimpulserhaltung nur die Alternative, ein Doppelstern zu werden oder sich mit einem Planetensystem zu umgeben.

Planetensysteme um andere Sterne

Ähnlich wie die dunklen Komponenten von Doppelsternsystemen können sich planetarische Begleiter eines Sterns in dreierlei Weise bemerkbar machen. Sie können erstens das Bewegungsverhalten eines Sterns verändern. Zweitens können sie ein periodisches Pendeln

der Linien im Spektrum des Sterns hervorrufen. Unter besonderen Umständen können sie drittens periodisch das Sternlicht schwächen. Nach den Gesetzen der Himmelsmechanik bewegen sich nämlich Stern und Planeten um den gemeinsamen Schwerpunkt des Systems, der weit außerhalb des Sterns liegen kann. Genaue Positionsmessungen, wie sie die Astrometrie liefert, sollten daher bei Sternen mit planetarischen Begleitern periodische Schwankungen, »Torkelbewegungen«, um eine mittlere Lage erkennen lassen.

Der Umlauf um den Systemschwerpunkt bewirkt auch, daß die Geschwindigkeit des Sterns in der Sichtlinie, die Radialgeschwindigkeit, periodischen Schwankungen unterliegt. Durch den Dopplereffekt, der das Spektrum einer Lichtquelle nach der langwelligen Seite verschiebt, wenn sie sich von uns entfernt, und nach der kurzwelligen, wenn sie sich nähert, werden diese Geschwindigkeitsschwankungen in periodische Veränderungen der Lage von Spektrallinien im Sternspektrum »übersetzt«. Ist das Planetensystem eines Sterns zufällig gerade so im Raum angeordnet, daß man genau in die Bahnebene eines großen Planeten hineinblickt, dann muß es beim Vorübergang des Planeten vor dem Stern zu einer kurzzeitigen Helligkeitserniedrigung, zu einer »Verfinsterung«, kommen. Dopplereffekt und Verfinsterung geben uns damit zwei weitere Nachweismethoden für die Existenz von Planetensystemen in die Hand, die spektroskopische und die photometrische Methode. Im Gegensatz zur astrometrischen Methode sind diese beiden unabhängig von der Entfernung des Planetensystems.

Verdeutlichen wir uns die Größe der Effekte einmal am Sonnensystem, das wir aus der Entfernung von Alpha Centauri betrachten wollen. Der hellste Planet Jupiter würde sich maximal 4 Bogensekunden von der Sonne entfernen; seine Helligkeit wäre hundertmillionenmal kleiner als die der Sterne des Großen Bären. Seine Existenz würde sich in einer »Torkelbewegung« der Sonne äußern, die die winzige Amplitude von 0,003 Bogensekunden haben sollte. Die Amplitude der Radialgeschwindigkeitsschwankung ergäbe sich zu maximal 0,01 km/s. Alle 12 Jahre würde sich die Sonnenhelligkeit beim Jupiter-

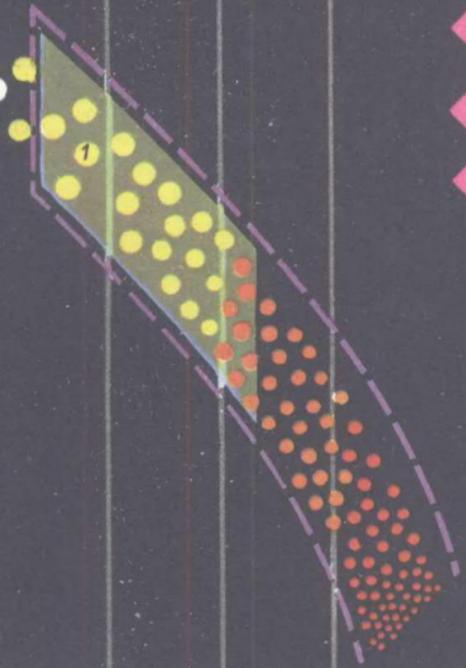
durchgang 29 Stunden lang um etwa 0,9% verringern. Alle drei Effekte sind so klein, daß wir keine Chance hätten, das Sonnensystem auf diesem Wege ausfindig zu machen.

Trotzdem fand man auf astrometrischem Wege einige Sterne in der Sonnennachbarschaft, deren unsichtbare Begleiter so geringe Massen besitzen, daß man sie für große Planeten halten kann. Daß das »Torkeln« dieser Sterne gemessen werden kann, hängt damit zusammen, daß das Massenverhältnis Planet/Stern bei ihnen viel größer ist als das im System Jupiter/Sonne.

Der interessanteste Fall ist zweifellos Barnards Stern. Im Jahre 1963 hatte der amerikanische Astronom P. van de Kamp festgestellt, daß dieser Stern von einem Begleiter winziger Masse – 1,7 Jupitermassen – umlaufen wird. Anders als bei den Planeten der Sonne deuteten die Messungen aber auf eine stark elliptische Bahn hin. 1969 konnte van de Kamp zeigen, daß die Beobachtungen auch durch zwei Begleiter, die sich wie die Planeten der Sonne bewegen, wiedergegeben werden können. Die beiden Körper sollen 0,8 und 1,1 Jupitermassen aufweisen und ihren Stern in 12 bzw. 26 Jahren umrunden. Möglicherweise wurden damit die Riesenplaneten eines Nachbarsystems aufgespürt. Da Barnards Stern sehr viel kühler als die Sonne ist, erwarten wir allerdings in seinem Planetensystem keine Zivilisation vernunftbegabter Wesen. Die Tatsache, daß man bereits bei den nächsten Nachbarn der Sonne im Milchstraßensystem positive Anzeichen für ein Planetensystem entdeckte, ist jedoch sehr ermutigend.

Neben diesen konkreten Anzeichen in Einzelfällen gibt es ein allgemeines Indiz für das häufige Auftreten von Planetensystemen: das Rotationsverhalten der Sterne. Im Jahre 1930 hatte O. Struve entdeckt, daß normale Sterne mit Massen kleiner als etwa 1,4 Sonnenmassen so langsam rotieren, daß man ihre Rotationsgeschwindigkeit spektroskopisch nicht bestimmen konnte. Bei 1,4 Sonnenmassen schnellte die Rotationsgeschwindigkeit der Sterne um ein bis zwei Größenordnungen in die Höhe. Die massereichen Sterne rotieren also sehr viel schneller als die masseärmeren, die das Gros der Sterne im Milchstraßensystem stellen.

10000
1000
100
10
1
0,1
0,01



8 Mil
80 Mil
400 Mil
2 Mr
6 Mr
13' Mr

O B A F G K M

Die Drehimpulsverteilung im Sonnensystem gibt uns einen wertvollen Tip zum Verständnis dieser Sachlage. Könnte man nämlich ohne Drehimpulsverlust das Planetensystem wieder mit der Sonne vereinen, dann würde die Umdrehungsgeschwindigkeit der Sonne etwa um einen Faktor 50 wachsen, also in die Größenordnung der Sterne von 1,4 Sonnenmassen gelangen. Struve und zahlreiche andere Astronomen deuteten daher die langsame Rotation der kühlen und masseärmeren Sterne als Ergebnis des Drehimpulsverlustes an Planetensysteme. Wegen der Allgemeingültigkeit der Struveschen Beziehung sollten also Planetensysteme die Regel und nicht die Ausnahme unter den Sternen des Milchstraßensystems sein.

Wieviel »zivilisierte« Planeten gibt es?

Die Überlegungen des letzten Abschnitts stimmen uns natürlich optimistisch. Wieviel Optimismus wir uns bei der Suche nach anderen Gesellschaften vernunftbegabter Wesen leisten können, soll die folgende Abschätzung zeigen. Zunächst leiten wir uns für die Zahl N_z der im Milchstraßensystem zu erwartenden Zivilisationen eine Formel ab, dann setzen wir Zahlen ein.

Da die Bildung der Planetensysteme eine Folgeerscheinung

Planetensysteme und das Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD). Im HRD werden die Leuchtkräfte der Sterne (hier in Einheiten der Sonnenleuchtkraft) über ihren Spektralklassen (die mit den angegebenen Buchstaben bezeichnet werden und Sterne ähnlicher Oberflächentemperatur und damit Färbung zusammenfassen) aufgetragen. Die meisten Sterne ordnen sich zu einem Band, der Hauptreihe, an, das bei den massereichen, bläulich-weißen Sternen am dünnsten und bei den kleinen, massearmen, rötlichen Sternen am dichtesten besetzt ist. Die Durchmesser der Sterne sind durch die Größe der Punkte angedeutet, bei einigen wurden die Massen (in Einheiten der Sonnenmasse) eingetragen. Sterne mit Planetensystemen finden sich wahrscheinlich nur in dem violett umrahmten Teil der Hauptreihe. Das grün schraffierte Gebiet enthält die Sterne, in deren Ökosphären Leben möglich ist. Die Zeitskala rechts gibt die Lebensdauer der betreffenden Sterne an.

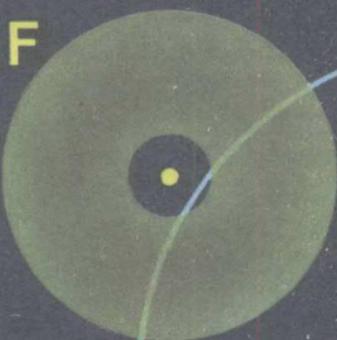
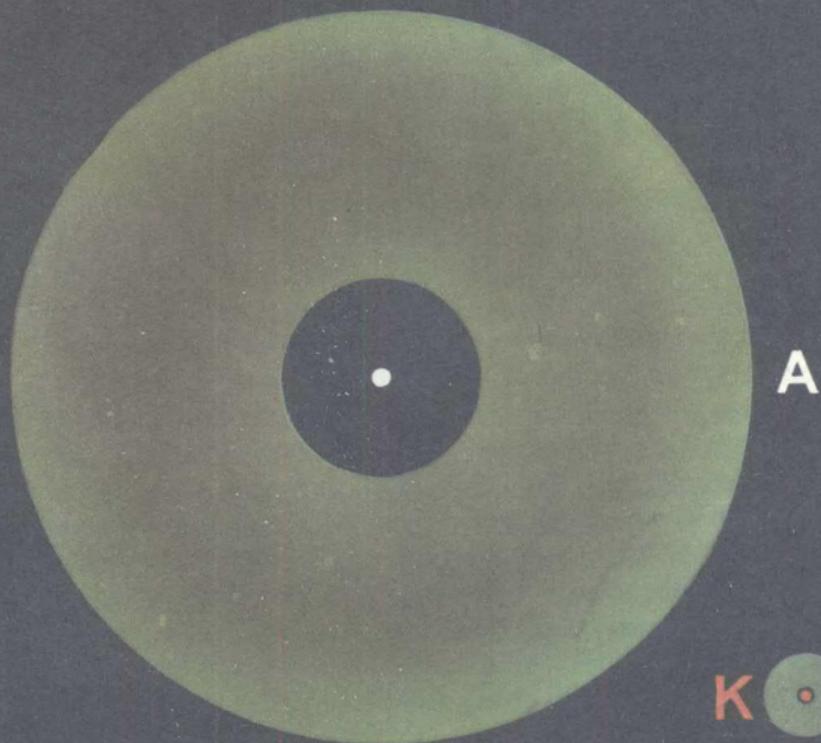
nung der Sternentstehung ist, müssen wir von der »Geburtenrate« für Sterne ausgehen, die wir mit R . bezeichnen wollen. Der Bruchteil f_p der entstehenden Sterne besitze Planetensysteme. Damit entstanden bzw. entstehen durchschnittlich pro Jahr $R \cdot f_p$ Planetensysteme.

Mit $N_{\text{Ö}}$ bezeichnen wir die Zahl der Planeten, die im Durchschnitt in einer Ökosphäre kreisen. Von diesen Planeten weise der Bruchteil f_E etwa die Bedingungen auf, die wir als für die Entstehung von Leben notwendig klassifiziert hatten. Das Produkt $R \cdot f_p \cdot N_{\text{Ö}} \cdot f_E$ gibt uns somit an, wieviel Planeten mit »lebensfreundlichen« Bedingungen sich pro Jahr im Milchstraßensystem bilden.

Auf dem Bruchteil f_L aller dieser Planeten soll sich eine Biosphäre herausbilden. Es ist natürlich nicht selbstverständlich, daß auf jedem »belebten« Planeten eine so »erfolgreiche« Evolution wie auf der Erde abläuft. Die Wahrscheinlichkeit, daß die Biosphäre eines Planeten innerhalb der Zeit, in der der Stern konstante Strahlungsverhältnisse garantiert, Lebewesen mit Verstand hervorbringt, soll mit f_1 bezeichnet werden. Die Zahl der pro Jahr entstehenden Gesellschaften intelligenter Wesen ist damit durch das Produkt $R \cdot f_p \cdot N_{\text{Ö}} \cdot f_E \cdot f_L \cdot f_1$ gegeben.

In unserem Zusammenhang sind natürlich solche Planeten von besonderem Interesse, auf denen diese vernunftbegabten Wesen eine wissenschaftlich und technisch fortgeschrittene Zivilisation bilden, die sich im Milchstraßensystem »laut genug« bemerkbar machen kann. Nur dann haben wir nämlich die Chance, sie zu entdecken. Wir wissen nicht, ob jede Zivilisation diesen Schritt schafft, und führen darum die Größe f_2 ein, die die Wahrscheinlichkeit dieses Vorganges ausdrückt. Das

Die Dimensionen der Ökosphären bei verschiedenen Sternen. Bei den weißen Sternen (Spektralklasse A) liegen die Ökosphären weit außen und sind sehr ausgedehnt. Bei den gelben (Spektralklassen F und G) rücken sie näher an den Stern heran und werden zudem kleiner. Bei den roten Sternen (Spektralklasse M) schrumpfen sie zu einem kleinen Saum um den Stern herum. Bei der Spektralklasse G (Sonnentyp) wurden die Planetenbahnen (blau) von Merkur bis Jupiter eingezeichnet.



Produkt aller bisher genannten Größen liefert uns schließlich die Entstehungsrate für kommunikationsfähige Zivilisationen. Wenn wir diese Rate noch mit der mittleren Lebenszeit einer Zivilisation, T , multiplizieren, erhalten wir genau die Zahl N_Z der in unserer Galaxis gegenwärtig zu erwartenden technisch fortgeschrittenen Zivilisationen.

$N_Z = R \cdot f_p \cdot N_{\odot} \cdot f_E \cdot f_L \cdot f_I \cdot f_Z \cdot T$ – das ist die berühmte Formel, die 1961 von einer Gruppe prominenter Fachleute im Nationalen Radio-Observatorium der USA in Green Bank auf einer Klausurtagung unter Leitung von O. Struve abgeleitet wurde. Da diese Formel häufig in der Literatur mit einem Geheimnisschleier umgeben wird, haben wir sie hier einmal detailliert abgeleitet.

Um die Green-Bank-Formel mit »Leben zu erfüllen«, müssen wir Zahlenwerte einsetzen. Leider kennen wir bisher keine anderen außerirdischen Zivilisationen, so daß keine objektiven Zahlenwerte für die f -Größen in der Green-Bank-Formel, die ja den Charakter mathematischer Wahrscheinlichkeiten haben, zur Verfügung stehen. Wir müssen statt dessen mit den subjektiven Entscheidungen irdischer Experten über diese Größen vorliebnehmen.

Die durchschnittliche Sternentstehungsrate erhält man, wenn man die rund 100 Mrd. Sterne des Milchstraßensystems gleichmäßig auf die 10 Jahrmilliarden seiner Existenz verteilt. Damit ergibt sich: $R = 10$ Sterne pro Jahr. Wenn Huang's Ansicht richtig ist, dann besitzen alle Einzelsterne Planetensysteme. Da es uns nur auf die Größenordnung ankommt, beziffern wir ihren Anteil auf rund 50% und setzen daher $f_p = 0,5$.

Ungefähr 70% aller Sterne sind so kühl, daß ihre Ökosphären kleiner als die Merkurbahn im Sonnensystem sind. Selbst wenn in so großer Nähe vom Stern noch Planeten vorkommen, scheiden sie doch für die Lebensentstehung aus. Die große Nähe des Sterns bewirkt nämlich eine starke Abbremsung der Rotation des Planeten und schafft so extrem lange Tage und Nächte, d. h. Temperaturschwankungen, die das Einstellen »lebensfreundlicher« Bedingungen verhindern. Wir erwarten für $N_{\odot} \cdot f_E$ einen Wert in der Nähe von 0,1.

Die Größe f_L setzen wir gleich 1: Wir sind so optimi-

stisch, daß wir annehmen, Leben kann überall dort entstehen, wo die Bedingungen denen auf der Urerde gleichen. In Anlehnung an Arbeiten von C. Sagan setzen wir für f_1 und f_2 je 0,1 an.

Äußerst problematisch ist die Schätzung der Existenzdauer T einer technisch geprägten Zivilisation, gezählt von dem Zeitpunkt an, in dem sie über interstellare Entfernungen hin kommunikationsfähig wird. Nehmen wir an, T betrage nur 100 Jahre, dann liefert die Green-Bank-Formel den enttäuschenden Tatbestand, daß wir zumindestens im Milchstraßensystem allein sind. Erstreckt sich jedoch das technische Zeitalter einer Zivilisation über Jahrmillionen oder Jahrmilliarden hinweg, dann könnten viele Tausend oder gar Millionen von Zivilisationen in unserer »Welteninsel« vorhanden sein. Der Abstand zwischen ihnen betrüge jedoch dann immer noch einige hundert bzw. tausend Lichtjahre.

»Exosoziologie« und »Superzivilisationen«

Wieviel fortgeschrittene Zivilisationen das Milchstraßensystem beherbergt, sollte also in erster Linie eine Frage der Lebensdauer dieser Gesellschaften sein. Leider haben wir keine Möglichkeit, unter unseren »Verwandten« im Kosmos eine statistische Erhebung zu dieser Schlüsselfrage anzustellen. Wir können nur einige spekulative Betrachtungen darüber anstellen, wobei uns die historischen Erfahrungen und soziologischen Charakteristika der Menschheit einige Richtlinien geben. Der sowjetische Astronom S. A. Kaplan, Herausgeber des Buches »Außerirdische Zivilisationen – Probleme interstellarer Radioverbindungen«, das 1969 erschien und an dem namhafte sowjetische Wissenschaftler mitarbeiteten, sprach in diesem Zusammenhang von »Exosoziologie«.

Wie das Beispiel der Menschheit zeigt, ist der Aufstieg einer Zivilisation äußerst problematisch. Das Bestehen antagonistischer Widersprüche kann den Bestand bedrohen, wie das Arsenal thermonuklearer und biologischer Waffen auf der Erde zeigt. Das starke und unkontrollierte Wachstum der Produktivkräfte – wie es auf unserem

Planeten typisch für das Stadium des Kapitalismus ist —, kann die Lebensbedingungen auf einem Planeten verschlechtern. Eine fundamentale »exosozologische« Schlußfolgerung ist daher, daß Zivilisationen, deren »technische Ära« sich über geologische oder gar astronomische Zeiträume erstreckt, bereits zu Beginn dieser Ära ihre antagonistischen Widersprüche gelöst haben müssen. Sie werden daher in einer Gesellschaftsordnung leben, die wir am ehesten mit der kommunistischen vergleichen können.

Der Aufstieg einer Zivilisation wird aber nicht nur durch innere Widersprüche gefährdet; es gibt auch natürliche Gefahren von außen. Besonders katastrophal kann sich die frühzeitige Erschöpfung der Naturschätze, vor allem der Energiequellen, auswirken. Hinzu kommt die Möglichkeit planetarischer oder kosmischer Katastrophen. Eine solche Situation tritt ein, wenn ein Stern sich gegen Ende seines »Lebens« stark aufbläht und sich dabei die inneren Bezirke seines Planetensystems »einverleibt«. Wenn die dort ansässige Zivilisation nicht bis dahin das Weite gesucht hat, ist ihr Dasein beendet. Starke Klimaschwankungen (Kaltzeiten!) oder starke Radioaktivität (durch die Röntgen- und Korpuskelstrahlung eines in der Nähe explodierenden Sterns, einer Supernova) können gleichfalls verheerende Folgen haben.

Sebastian von Hoerner von dem Nationalen Radio-Observatorium in Green Bank versuchte, einige dieser Faktoren quantitativ zu fassen und die Größe T zu berechnen. In einer 1961 publizierten Arbeit unterschied er fünf Fälle. (Die dahinter jeweils in Klammern stehenden Zahlen geben an, wieviel % aller Zivilisationen von dem jeweiligen Prozeß betroffen werden und welche »Lebenserwartungen« die betroffenen Zivilisationen haben.)

Fall 1: Eine große Katastrophe löscht jegliches Leben auf dem Planeten aus (5%, 100 Jahre).

Fall 2: Durch eine Katastrophe werden nur die höheren Lebensformen vernichtet. Sie können sich jedoch »regenerieren«, so daß nach entsprechender Zeit erneut eine Zivilisation auf dem betreffenden Planeten entsteht (60%, 30 Jahre).

Fall 3: Es tritt physische oder geistige Degeneration ein (15%, 30 000 Jahre).

Fall 4: Die Zivilisation verliert jegliches Interesse an Wissenschaft und Technik und gibt sich damit auf. Auch hier besteht jedoch die Möglichkeit der »Regeneration« (20%, 10 000 Jahre).

Fall 5: Die Zivilisation überwindet alle Krisen und entwickelt sich unbegrenzt (0%, beliebig lange).

Nach diesem Konzept ermittelt von Hoerner die durchschnittliche Dauer der »technischen Ära« einer hochentwickelten Zivilisation mit 6500 Jahren. Wir halten die obige Klassifikation grundsätzlich für diskutabel, die Gewichtsverteilung jedoch für zu pessimistisch. Wahrscheinlich macht sich hier der unter bürgerlichen Futurologen verbreitete Pessimismus über die Zukunftsaussichten der Menschheit bemerkbar.

Wenn sich die Menschheit anschickt, mit außerirdischen Intelligenzen über Funk in Kontakt zu kommen, dann taucht die interessante Frage auf: Wie »alt« dürfte aller Wahrscheinlichkeit nach unser Gesprächspartner sein? Nach von Hoerners Berechnungen sollte das »technische Alter« unseres kosmischen Gegenübers rund 12 000 Jahre betragen! Wie man die Zuverlässigkeit dieser Abschätzung auch immer beurteilen mag, soviel ist klar: Unser Kontaktpartner kann nicht jünger als wir sein (da wir erst am Beginn der »technischen Ära« stehen). Wir müssen uns mit dem Gedanken anfreunden, daß seine Entwicklung der unseren ein Stück voraus sein wird. Es könnte sich vielleicht sogar um eine »Superzivilisation« handeln, für deren gesellschaftliche Struktur, deren Niveau der Naturerkenntnis und -beherrschung uns jegliche Vergleichsmaßstäbe fehlen. Man versuche, sich die Menschheit im Jahre 14 000 u. Z. vorzustellen!

Der Begriff »Superzivilisation« hat sich eingebürgert, seit der sowjetische Astronom N. S. Kardaschow, ein Mitarbeiter Schklowskis, im Jahre 1964 Zivilisationen nach der Größe ihres Energieumsatzes in drei Typen klassifizierte. Die vom Typ I stehen auf dem technischen Niveau der jetzigen Menschheit und verbrauchen rund 4 Mrd. Kilowatt. Typ-II-Zivilisationen haben sich bereits die gesamte Leuchtkraft ihrer Zentralsonne dienstbar gemacht und verfügen somit über einen Energieumsatz von

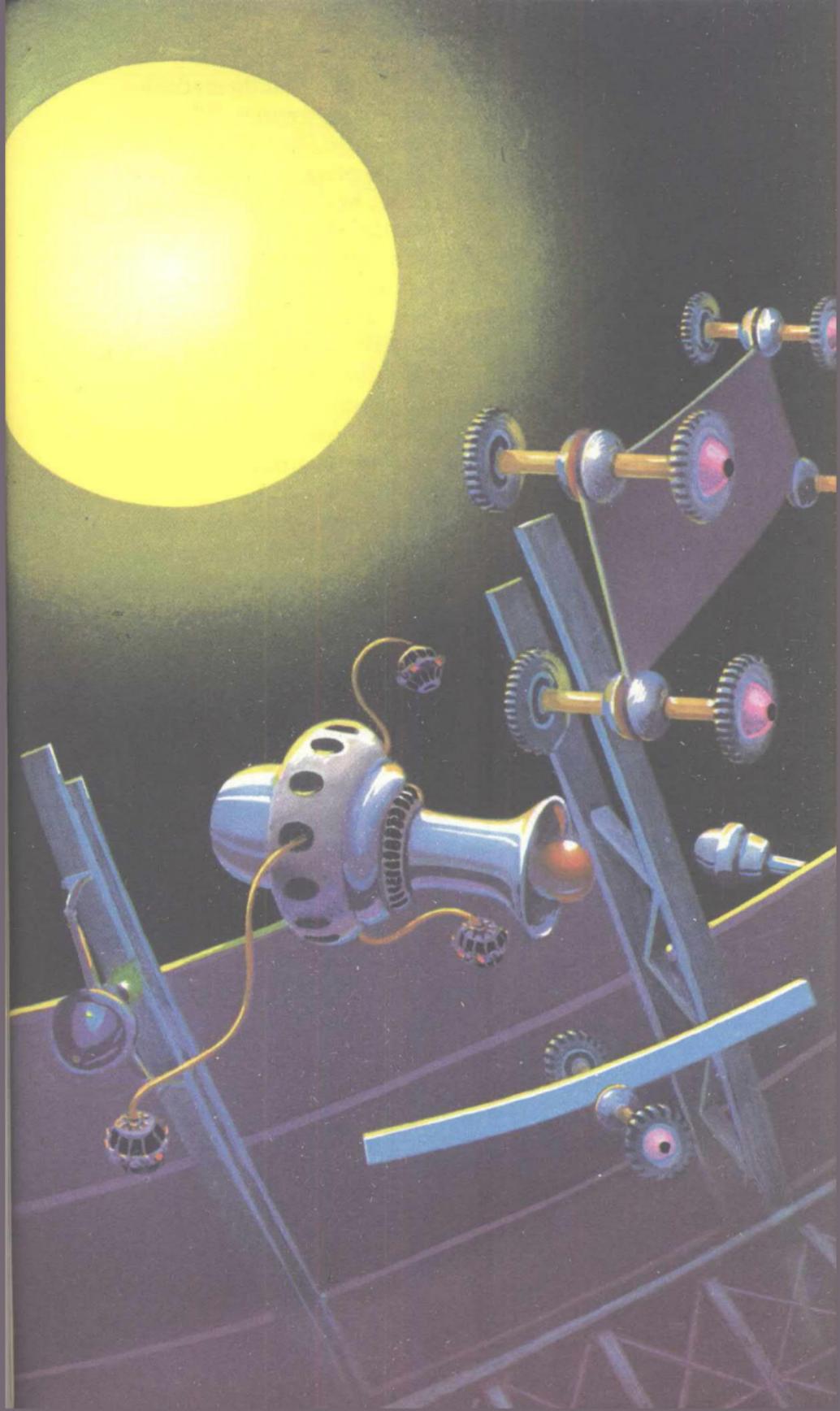
rund $4 \cdot 10^{23}$ Kilowatt. Zivilisationen vom Typ III schließlich sind nicht mehr an Planetensysteme gebunden. Sie haben sich über ein ganzes Sternsystem verbreitet und »dirigieren« die Energieproduktion von 100 Mrd. Sternen.

Während Typ III jeden Vorstellungsrahmen sprengt, konnte Kardaschow bei den Typ-II-Gesellschaften bereits an bestimmte *Denkmodelle* anknüpfen. Er berief sich auch ausdrücklich auf das 1960 von dem amerikanischen Physiker Freeman Dyson durchgerechnete Projekt. Dyson schlug vor, daß die Menschheit der Zukunft ihren Energiebedarf decken könnte, wenn sie das Material eines Planeten zu einer Kugel verarbeiten würde, mit der die Sonne allseitig eingeschlossen wird. Durch diese »Dyson-Sphäre« vom Radius der Erdbahn könnte die Sonnenenergie maximal nutzbar gemacht werden. Den »Terranern« würde damit ein Lebensraum zur Verfügung gestellt, in dem sie sich zu einer »Superzivilisation« entwickeln könnten.

Hinter Dysons Projekt steht die Überlegung, daß der entscheidende materielle Faktor in der Entwicklung der menschlichen Gesellschaft die Steigerung der Produktion ist. Sie ist zwangsläufig mit erhöhtem Stoff- und Energieumsatz verbunden, denen jedoch Grenzen gesetzt sind, da die Vorräte an Kohle, Erdöl, Erzen usw. in einigen Jahrhunderten erschöpft sein werden. Wasser- und Gesteinshülle der Erde können nur in bestimmten Grenzen zur Produktion benutzt werden, wenn die Erde weiter bewohnbar bleiben soll. Aus diesem Grunde wendet sich Dyson an das Stoffreservoir der Planeten und die Energiequelle Sonne, um das Sonnensystem im Interesse der Menschheit neu zu arrangieren. Ein kühner, aber logisch konsequenter Vorschlag! Ideen von einem »Umbau« des Sonnensystems und von der Nutzung der Sonnenenergie hatte übrigens bereits der »Vater der Kosmonautik« K. E. Ziolkowski im Jahre 1895 in seinem Buch »Träume über die Erde und den Himmel« geäußert.

Alle diese Überlegungen sind natürlich höchst spe-

Utopische Szenerie. Angehörige einer Zivilisation vom Typ II bauen um ihren Stern eine Dyson-Sphäre.



kulativ, auch wenn sie in Form mathematisch-physikalischer Berechnungen angeboten werden. Wir sind heute noch nicht einmal in der Lage, zuverlässig den Entwicklungsstand im Jahre 2000 zu prognostizieren; wie es im Jahre 5000 oder 14 000 um uns bestellt sein wird, ob wir solche Projekte wie die Dyson-Sphäre realisiert haben werden, entzieht sich natürlich unserer Voraussagemöglichkeit. Aber wir sprachen ja von einem *Denkmodell!* Und daran denken müssen wir auch, daß seit mehr als 10 Mrd. Jahren mehr als 10^{20} Sterne im Weltall entstanden, von denen viele das Schwerezentrum von Planetensystemen, zahlreiche die lebenspendende Wärmequelle für eine Biosphäre und manche das Energiereservoir einer Gesellschaft vernunftbegabter Lebewesen sein könnten.

Manchen Lesern werden solche Überlegungen sinnlos, als vergeudete Zeit erscheinen. Sollten sich aber unter den zahlreichen Radioquellen, die die Astronomen untersuchen, einige als künstlich herausstellen, dann wird man ohnehin »exosozilogische« Erwägungen anstellen müssen, dann sind »nutzlose« Ideen von Träumern und Phantasten begehrte Artikel. Wir leisten uns also hier den Luxus, etwas auf »Vorrat« zu denken, auch auf das Risiko hin, daß uns spätere Generationen bescheinigen, daß wir zu »amateurhaft« dachten. »Zum Teufel mit den allgemeinen Überlegungen«, schrieb Dyson im September 1971 während seines Vortrages in Bjurakan bei CETI 71 an die Tafel, »vor allem helfen uns Beobachtungen!«

Funksignale aus dem Kosmos

Pulsare und »Kleine Grüne Männer«

Im August 1967 machte die junge englische Astronomin Jocelyn Bell, die die Registrierstreifen des neuen großen Radioteleskops in Cambridge auszuwerten hatte, eine interessante Entdeckung. Sie fand eine schwache Radiostrahlung, die aus einzelnen, sehr kurzen Impulsen bestand, die einander ungewöhnlich schnell und regelmäßig folgten. Daß sie überhaupt aufgezeichnet wurden, lag daran, daß das Teleskop speziell zum Nachweis schneller Fluktuationen schwacher Radioquellen ausgelegt war. Es bestand aus 2048 Dipolen auf einer Fläche von über 18 000 m² und arbeitete bei 3,7 m Wellenlänge.

Die Erforschung dieser geheimnisvollen Radiostrahlung durch die Cambrdiger Radioastronomen unter Leitung von Anthony Hewish ergab einige Monate später, daß die etwa 10 bis 20 Millisekunden dauernden Impulse einander mit der Präzision einer Atomuhr folgten. Der genaue Impulsabstand betrug 1,337 301 13 s. Irdische Quellen schieden aus, denn die Strahlung kam eindeutig von einer bestimmten Stelle des Himmels. Der Verdacht, daß es sich um künstliche Signale handeln könnte, lag nahe. Scherzhaft äußerte der prominente britische Radioastronom Sir Martin Ryle, die Strahlung stamme von den LGM. Hinter dieser Abkürzung verbergen sich die Worte »Little Green Men« (»Kleine Grüne Männer«), die seit mehr als zwei Jahrzehnten als Bezeichnung für außerirdische Intelligenzen durch die Presse geistern. Wir werden später die Story von den »Kleinen Grünen Männern« erzählen.

Ryle hatte öffentlich ausgesprochen, was die vorsichtig

zu Werke gehende Cambridger Gruppe auch vermutete. Aus der sehr kurzen Dauer der Impulse ließ sich nämlich die aufregende Schlußfolgerung ziehen, daß die Quelle höchstens 5000 km Durchmesser, also nur Planetendimensionen, haben konnte!

Bald erhielten diese Vorstellungen aber einen empfindlichen Schlag. Bei Signalen, die von einem Planeten stammen, müßte die Ankunftszeit der einzelnen Impulse periodisch schwanken, weil ja der Planet beim Umlauf um sein Zentralgestirn seine Entfernung von uns verändert. Das aber wurde nicht beobachtet. Die Entdeckung weiterer solcher merkwürdiger Radioquellen zerschlug schließlich die »LGM-Diskussion«. Es konnte sich nicht um Signale außerirdischer Intelligenzen handeln, denn eine derartige Häufigkeit von Zivilisationen ist unglaublich. Offensichtlich hatte man eine neue Klasse von Radioquellen entdeckt.

Als Name für diese Objekte setzte sich die in Cambridge geprägte Bezeichnung »Pulsare« durch. Bisher sind rund 200 Pulsare bekannt, die an zahlreichen Radio-Observatorien der Erde entdeckt wurden. Der Abstand ihrer »Zeitzeichen« liegt zwischen 0,033 s und knapp 4 s. Inzwischen gibt es Gründe für die Annahme, daß das Pulsarphänomen von den seit über 40 Jahren theoretisch vorausgesagten Neutronensternen ausgelöst wird. Neutronensterne sind mögliche Endprodukte der Sternentwicklung, »sterbende Sterne«, deren Materie so stark komprimiert ist, daß nicht einmal Atomkerne existieren können. Diese daher nur aus Neutronen bestehenden, schnell rotierenden Gebilde haben Radien von größenordnungsmäßig 10 km. Bei jeder Umdrehung löst ihr starkes Magnetfeld einen Radioimpuls aus, wie wir ihn beobachten. Ein solcher »Sender« ist zwar ungewöhnlich, aber keineswegs künstlichen Ursprungs! Es war übrigens nicht das erste Mal, daß die LGM den Radioastronomen einen Streich spielten – es wird auch nicht das letzte Mal gewesen sein.

Frequenz und Bandbreite

Die beste Möglichkeit, Informationen durch die Weiten des Weltalls zu transportieren, bieten elektromagnetische Wellen, z. B. Radiowellen oder Licht. Sie breiten sich geradlinig und mit der größten Geschwindigkeit, die wir kennen, aus. Jede Zivilisation, die die Gesetzmäßigkeiten des elektromagnetischen Feldes entdeckt hat (die »Terraner« nennen sie »Maxwell-Gleichungen«), wird über kurz oder lang Radiowellen zum Zwecke der Nachrichtenübermittlung benutzen. Wenn große Energien, starke Sender und leistungsfähige Anlagen zum Bündeln solcher Wellen zur Verfügung stehen, liegt der Gedanke an interstellare Kommunikationsversuche nahe. Verschiedene Forscher sind sogar der Ansicht, daß die Suche nach anderen Intelligenzen zum zentralen Forschungsthema für eine Zivilisation werden könnte, die zahlreiche dringende Probleme, mit denen die Menschheit gegenwärtig ringt, schon gelöst hat.

Für die Auswahl des Übertragungskanals sind vor allem astronomische Überlegungen notwendig, d. h. für die Wahl der Wellenlänge oder Frequenz, bei der man sendet, um sich anderen bemerkbar zu machen, oder bei der man horcht, um andere zu suchen. Da Radiowellen gegenüber Licht gewisse Vorzüge haben – sie werden beispielsweise viel weniger von der interstellaren Materie gestört –, werden wir uns jetzt nur noch mit diesem Informationsträger beschäftigen.

Für die Kommunikation mit unseren »Verwandten« müssen wir uns Frequenzen aussuchen, bei denen das kosmische Rauschen niedrig ist, bei denen wenig natürliche Strahlung den Weltraum durchsetzt. Die »Stimme der Vernunft« muß ja das gewaltige »Orchester« der natürlichen Radiostrahler übertönen bzw. aus ihm herauszuhören sein. Bei Wellenlängen über einen halben Meter »summen« die sich im Magnetfeld des Milchstraßensystems »tummelnden« Elektronen des interstellaren Gases zunehmend lauter vor sich hin – sie senden Synchrotronstrahlung aus – und werden dadurch zu einer empfindlichen Störquelle für interstellare Nachrichtenkanäle. Unsere möglichen Gesprächspartner kennen

diesen Umstand natürlich, wenn sie Astronomie treiben, und werden daher kürzere Wellenlängen bevorzugen, bei denen das Rauschen geringer ist.

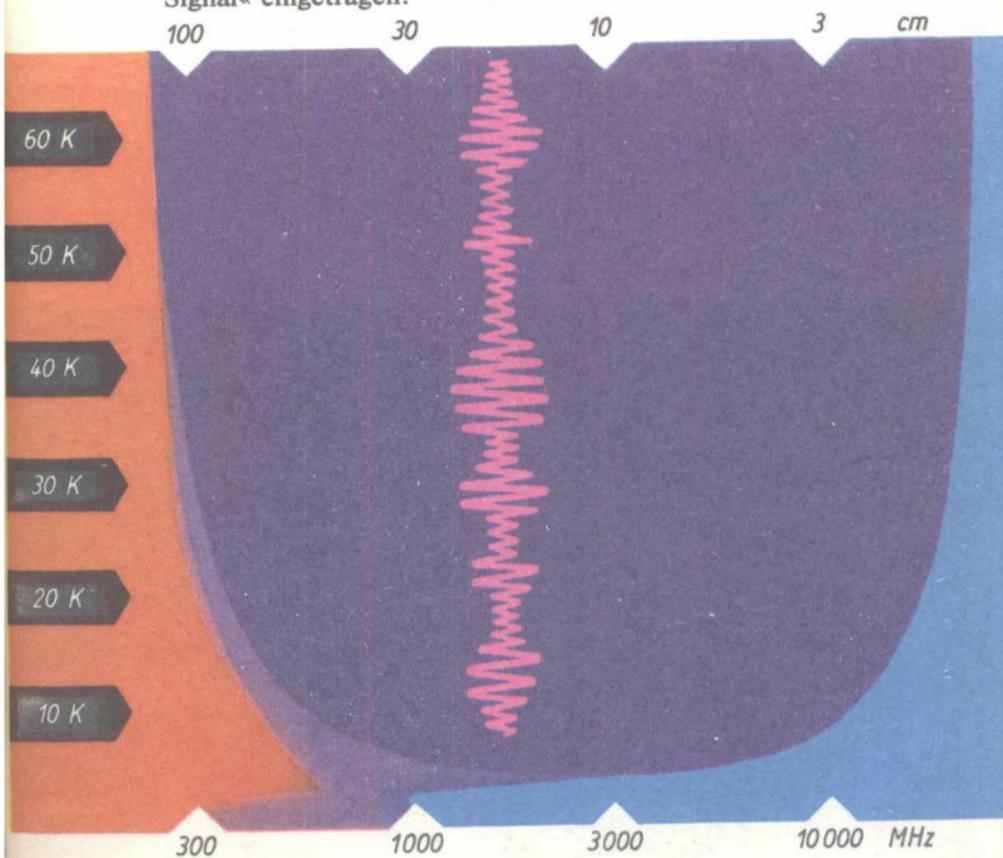
Eine fortgeschrittene Zivilisation kennt sicher auch die Tücken von Planetenatmosphären, deren Rauschpegel unterhalb von 3 cm stark ansteigt und die unterhalb von 1 cm Wellenlänge schließlich alle einfallenden Radiowellen (genauer müßten wir solche Wellen »Mikrowellen« nennen) verschlucken. Schuld daran sind interessanterweise zwei mit der Existenz einer Biosphäre verknüpfte Atmosphärenbestandteile, nämlich CO_2 und H_2O . Eine vom Boden einer Planetenatmosphäre aus operierende Sende- oder Empfangsapparatur sollte daher Wellenlängen oberhalb von 3 cm verwenden. Aus diesen Gründen vermuten wir die für die interstellare Kommunikation geeigneten Kanäle zwischen 3 und 30 cm Wellenlänge (oder, in Frequenzen ausgedrückt, zwischen 1000 und 10 000 MHz).

Nachrichtentechnisch betrachtet, ist das ein extrem breites Frequenzband; die Bandbreite beträgt schließlich 9000 MHz! Um Signale großer Sendestärke zu erreichen, die über Entfernungen von einigen hundert oder tausend Lichtjahren hinweg den Kampf mit dem kosmischen Rauschen erfolgreich bestehen können, muß man die Energie auf ein wesentlich schmaleres Frequenzband konzentrieren. Welche Bandbreite man sich leisten kann, hängt hauptsächlich von der Energiemenge ab, die für das Projekt zur Verfügung steht. Je geringer die Bandbreite ist, desto mehr Kanäle kann man in dem breiten Bereich von 3 bis 30 cm Wellenlänge unterbringen, desto schwieriger ist aber auch der benutzte Kanal dann zu finden.

Nach einem Vorschlag, den die beiden amerikanischen Physiker G. Cocconi und Ph. Morrison 1959 veröffentlichten, erscheint es vernünftig, in der Nähe von Wellenlängen zu suchen, die die Natur besonders »bevorzugt«, die daher jeder Physik und Astronomie treibenden Zivilisation bekannt sein sollten. Speziell schlugen sie die Wellenlänge 21 cm vor, bei der der Wasserstoff, das häufigste Element im Kosmos, eine charakteristische Strahlung aussendet, deren Untersuchung uns entscheidende Kenntnisse über den Bau des Milchstraßensystems gebracht hat. Die im Abschnitt »Organische Moleküle im Kosmos« genannten

Moleküllinien im Mikrowellengebiet könnten andere interessante Wellenlängenbereiche darstellen. Möglicherweise erscheint es auch anderen Bewohnern des Universums vernünftig, in der Nähe dieser »Marken« ihre Sendungen auszustrahlen. Da in diesen Bändern intensiv

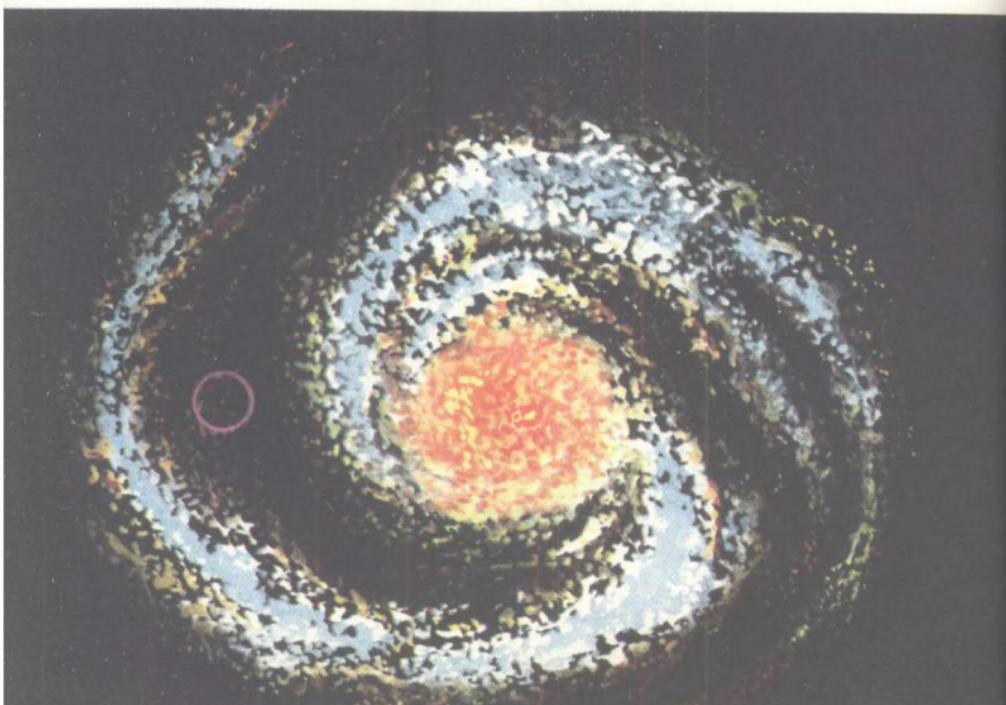
Der günstigste Wellenlängenbereich für den interstellaren Funkverkehr. Über der Frequenz (untere Skala) bzw. der Wellenlänge (obere Skala) ist die Rauschtemperatur in Kelvin (K) aufgetragen, ein Maß für die Stärke der natürlichen Radiostrahlung, die den kosmischen Raum und die Erdatmosphäre durchsetzt. Signale, die auf sehr kurzen Mikrowellen gesendet würden, werden vom Rauschen der Atmosphäre übertönt (blauer Bereich). Am langwelligen Ende macht sich die Synchrotronstrahlung der interstellaren Elektronen zunehmend bemerkbar (roter Bereich). Zwischen 3 cm und 30 cm Wellenlänge liegt also die rauschärmste und daher für interstellare Funkkontakte günstigste Zone. In unsere Skizze ist eine modulierte Welle als ein solches »LGM-Signal« eingetragen.



geforscht wird, sollte die Entdeckungswahrscheinlichkeit besonders hoch sein.

Bei der Verwendung sehr schmalbandiger Signale sorgt übrigens der Dopplereffekt für einigen Ärger. Durch die Rotation des Planeten, auf dem eine Typ-I-Zivilisation ihren Sender installiert hat, und noch mehr durch die Bahnbewegung dieses Planeten um den Stern tauchen periodische Frequenzverschiebungen auf, durch die die Signale um einige 10 oder 100 kHz pendeln können. Bei einer Bandbreite von nur 100 Hz kann es daher leicht passieren, daß der Empfänger, obwohl er den gleichen

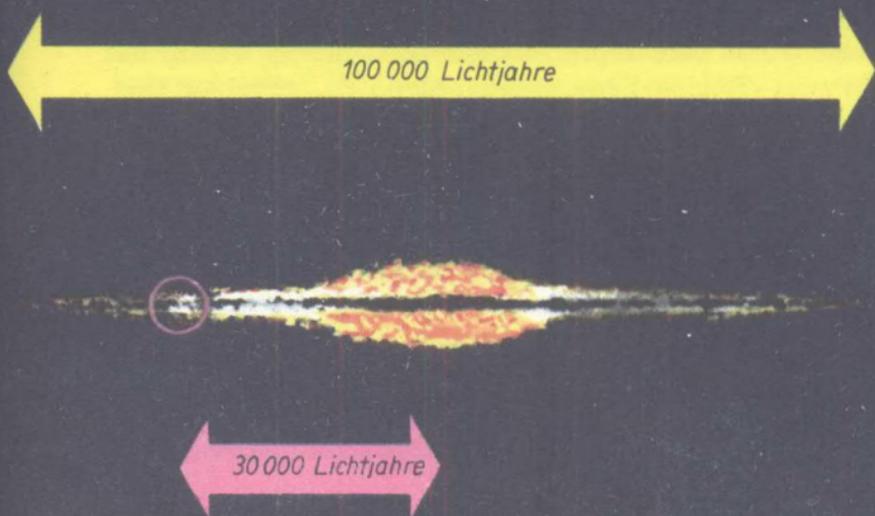
Schematische Darstellung des Milchstraßensystems. Für einen Beobachter, der aus einigen Millionen Lichtjahren Entfernung auf das System von oben drauf sieht, ergibt sich der Anblick eines Spiralnebels (links). Von der Kante gesehen ähnelt das System einem Diskus (rechts). Während die Spiralarme vor allem von heißen, bläulich-weißen Sternen und Wolken interstellarer Materie markiert werden, besteht das Gros der mehr als 100 Milliarden »Bevölkerung« aus gelben und roten Sternen. Das Milchstraßensystem hat einen Durchmesser von 100 000 Lichtjahren, die Sonne ist 30 000 Lichtjahre vom Zentrum entfernt (Pfeil). Der durchschnittliche Abstand zweier Sterne beträgt etwa 5 Lichtjahre. Der dunkle Streifen in der Symmetrieebene wird durch die lichtverschluckende Wirkung des interstellaren Staubes hervorgerufen.



Kanal benutzt, von den Signalen des Senders überhaupt nichts merkt, weil die Verschiebungen durch den Dopplereffekt ja ein Vielfaches der Bandbreite betragen.

Natürliches Radiogeräusch oder künstliches Signal?

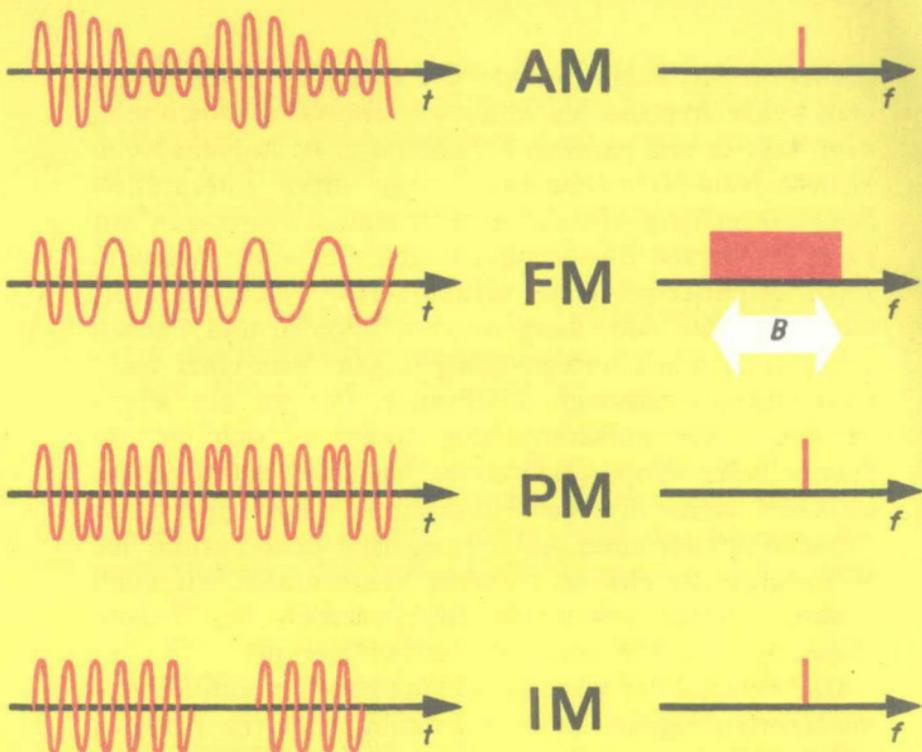
Die Entdeckungsgeschichte der Pulsare zeigt deutlich, daß auch natürliche »Radiolaute« verblüffend »künstlich« aussehen können. Die Frage nach Kriterien für die Künstlichkeit eines Signals ist daher besonders wichtig. Natürliche »Radiosender« strahlen in der Regel sehr breitbandig, selbst wenn es sich um Quellen handelt, die nur in einer Mikrowellenlinie emittieren. Solche »Linienstrahler« sind z. B. die interstellaren Gaswolken mit ihrer charakteristischen 21-cm-Linie, deren Breite bei einigen 10 kHz liegt. Bei Typ-I-Zivilisationen müssen wir aber mit Bandbreiten rechnen, die u. U. kleiner als 100 Hz sind. Lediglich »Superzivilisationen« können sich wahrscheinlich wesentlich größere Bandbreiten leisten. Ein sehr schmalbandiges »Radiogeräusch« ist also von vornherein als Signal eines künstlichen Senders verdächtig.



Generell läßt sich sagen, daß eine Welle dann künstlichen Ursprungs ist, wenn sie zusätzlich zu den »natürlichen Informationen« (z. B. Frequenz bzw. Wellenlänge, Amplitude, Phase, Polarisationsverhalten und Ausbreitungsrichtung) noch andere Informationen trägt. Den Radiowellen, die eine Zivilisation zum Zwecke der Nachrichtenübermittlung benutzt, muß ja irgendeine Information, eine Nachricht, aufgeprägt sein. Solche Informationen werden durch den Vorgang der Modulation in die Wellen »eingekerbt«. Je nach Modulationsverfahren können die »Kerben« auf der Amplitude, der Frequenz oder der Phase angebracht sein. Der Empfänger »greift« diese »Kerben« ab und registriert sie. Um die Nachricht zu verstehen, muß man dann nur noch die »Kerbensprache« in die Normalsprache übersetzen können. Man muß also die Art der Verschlüsselung, den Code, kennen.

Künstlich könnte also jede modulierte Radiostrahlung sein. Es empfiehlt sich aber trotz Anzeichen von Modulation, genau nachzuprüfen, ob die »Kerben« auf der Welle tatsächlich eine Information darstellen. Es kann uns nämlich passieren, daß wir, wie im Falle der Pulsare, von einer ganz besonders »abgefeimten« Radioquelle mit modulierten Signalen (Impulse können als Amplitudenmodulation interpretiert werden!) »gefoppt« werden. An dieser Stelle müssen wir einige Bemerkungen über die Informationstheorie machen.

Die einfachste Möglichkeit, Nachrichten zu verschlüsseln, bietet ein Binärcode. In diesem Falle wird die Botschaft in eine »Sprache« übersetzt, deren Wörter nur aus zwei »Buchstaben«, sogenannten Bits, aufgebaut sind. Man denke etwa an die Punkte und Striche des Morsealphabets, an die Ziffern 0 und 1 im Dualsystem unserer Computer, an Ja und Nein in der Logik, an die schwarzen und weißen Punkte eines Rasterbildes ... Ein Binärcode läßt sich technisch besonders leicht realisieren und ist daher gut zur Nachrichtenübermittlung geeignet. Noch einfacher als bei den Punkten und Strichen des Morsealphabets kann man verfahren, wenn man Radiowellen in Impulse »zerhackt«, d. h. eine spezielle Amplitudenmodulation vornimmt. Die beiden Bits würden dann lauten:



Verschiedene Arten von Modulation. Links im Bild ist jeweils der zeitliche Ablauf des Wellenvorganges (Schwingungsbild) dargestellt. Rechts ist die Verteilung der Frequenzen innerhalb der Strahlung (Spektrum) gezeigt. Bei der Amplitudenmodulation (AM) ist die Nachricht in Schwankungen der Amplitude verschlüsselt, an der Frequenz ändert sich nichts. Bei der Frequenzmodulation (FM) steckt die Information in den Änderungen der Frequenz, während die Amplitude unverändert bleibt. Je nach untergebrachter Informationsmenge wird das Spektrum immer eine bestimmte Bandbreite aufweisen müssen. Bei der Phasenmodulation (PM) springt die Phase der Welle. Bei der Impulsmodulation (IM) werden die Wellenzüge in kurze Stücke zerhackt, in deren Länge und Aufeinanderfolge die Nachricht verschlüsselt ist.

Impuls vorhanden – Impuls nicht vorhanden. Eine Botschaft würde dann aus Impulsen und Pausen bestehen.

Die extrem regelmäßige Folge der Impulse und Pausen bei einem Pulsar kann so gut wie keine Information trans-

portieren. Ein Pulsar »tickt« wie eine Uhr. Interpretiert man seine Impulse als binär verschlüsselte Nachricht, dann sagt er uns pausenlos dasselbe, z. B. Ja-Nein-Nein-Nein-Ja-Nein-Nein-Nein-Ja... Als Bild interpretiert heißt das, ständig wird dasselbe Ornament übertragen, auf jeden schwarzen Rasterpunkt folgen drei weiße. Wenn in einer Impulsfolge eine »ordentliche« Nachricht verschlüsselt sein soll, dann müssen Impulse und Pausen einander ziemlich unregelmäßig folgen. Von einer technisch fortgeschrittenen Zivilisation (wegen der Breitbandigkeit der Pulsarstrahlung müßte es sich um die Signale einer »Superzivilisation« handeln!) erwarten wir natürlich mehr als die Ausstrahlung eines primitiven Ornaments oder einer Abkürzung nach dem Vorbild des SOS-Rufes. Bereits an früherer Stelle hatten wir noch andere Gründe gegen die Interpretation der Pulsarstrahlung als LGM-Botschaft ins Feld geführt.

Das Beispiel der Impulsstrahlung bzw. der amplitudenmodulierten Signale haben wir natürlich nur im Hinblick auf die Pulsare gewählt. Die Art der Modulation ist natürlich den technischen Gepflogenheiten der betreffenden Zivilisation überlassen. Wir »Terraner« bevorzugen beispielsweise die Frequenzmodulation. Welche Art von Code gewählt wird, hängt gleichfalls vom Belieben der sendenden Zivilisation ab. Nur wenn andere vernunftbegabte Lebewesen auch eine zweiwertige Logik wie wir besitzen, wenn es also bei Schlüssen und Aussagen nur die Alternative »wahr« oder »falsch« gibt, dann teilen sie vermutlich unsere Sympathie für Dualzahlen und einen Binärcode und empfinden diese Möglichkeit, eine Nachricht zu verschlüsseln, einfacher als die Verwendung von Dezimalzahlen oder eines 26buchstabigen Alphabets.

Wie könnte eine interstellare Botschaft aussehen?

Von technisch fortgeschrittenen Zivilisationen können wir im Radiobereich verschiedene Sorten von »Intelligenzbekundung« erwarten. Unsere Radioteleskope könnten beispielsweise in einigen Jahrzehnten Signale des internen

Nachrichtenverkehrs einer benachbarten Zivilisation entdecken, etwas Analoges wie den Funkverkehr mit einer weit entfernten Raumstation oder wie unser Fernsehen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß auch bei anderen intelligenten Lebewesen der Gesichtssinn eine besondere Rolle spielt, weil das Licht ihrer Sonne sicher ähnlich entscheidend die Evolution des Lebens beeinflusste wie das von unserem Tagesgestirn die Entwicklung des Lebens auf der Erde. An einen Nachrichtenverkehr in Form des Fernsehens zu denken, scheint uns daher nicht abwegig. Denkbar wäre natürlich auch, daß wir eines Tages zufällig den Informationsaustausch zweier »Superzivilisationen« »mitschneiden« könnten. Wir würden allerdings nur einen der beiden Gesprächspartner hören, weil die Antwort des anderen wegen der großen Entfernung u. U. Jahrhunderte oder Jahrtausende auf sich warten läßt.

Wenn wir diese beiden Denkmöglichkeiten, »Mitschneiden« des internen und externen Nachrichtenverkehrs, genauer diskutieren, dann ergeben sich ernsthafte Probleme. Selbst von unseren stärksten Radio- und Fernsehsendern auf der Erde käme in 10 Lichtjahren Entfernung nur noch so wenig Strahlung an, daß wir keine Möglichkeit sehen, sie aus dem kosmischen Rauschen »herauszufischen«. Der Gedanke, daß die Radio- und Fernsehprogramme der Erde die Visitenkarte der »Terraner« für die übrigen Bewohner der Galaxis darstellen könnten, verursacht sicher ein gewisses Unbehagen. Trotzdem können wir nicht von vornherein ausschließen, daß der »Radiolärm« der Erde, der »Intelligenzmüll der Terraner«, unbemerkt bleibt. Vielleicht »füttert« man in 40 Lichtjahren Entfernung gerade die Computer mit einem Lied Enrico Carusos, das auf irdischen Radiowellen moduliert war, um hinter seinen Sinn zu kommen.

Auch die zweite Möglichkeit, das »Abhören« eines interstellaren Gesprächs, ist nicht so einfach zu bewerkstelligen, wie es zunächst den Anschein hat. Zwei miteinander kommunizierende Zivilisationen werden ihre Funkwellen wahrscheinlich sehr stark bündeln, eventuell viel stärker, als wir das mit unseren Radioteleskopen zur Zeit tun können. In eine solche »Richtfunkstrecke« kann

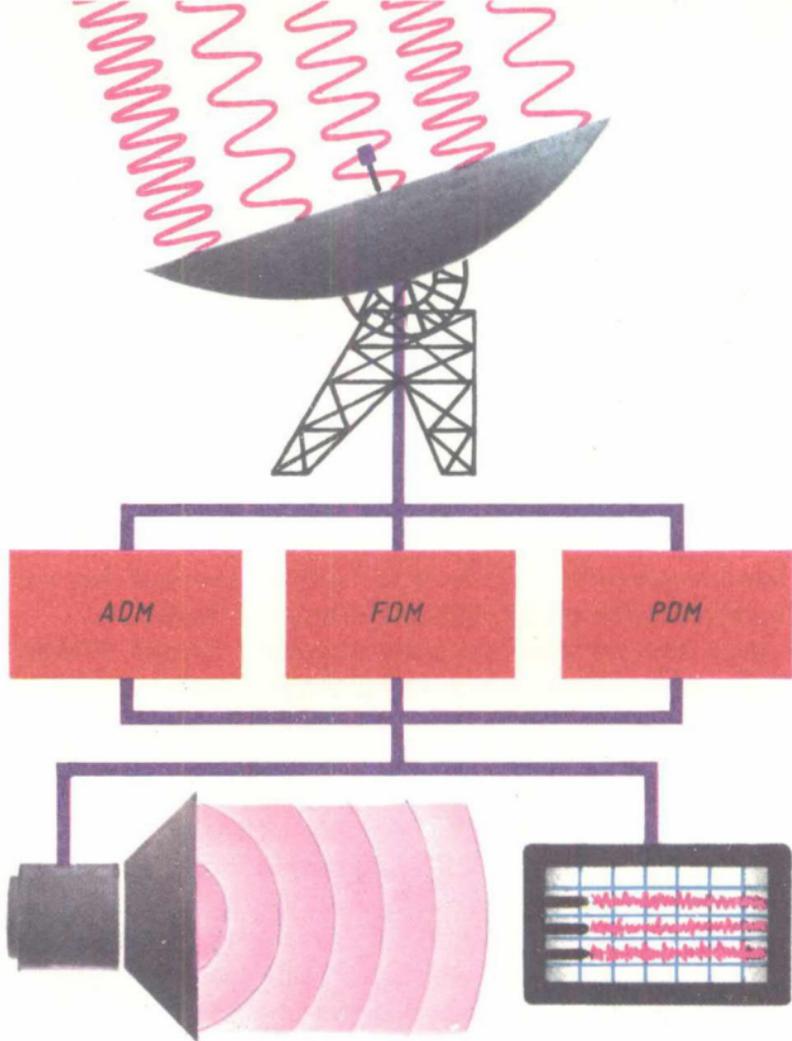
man nicht von außen ohne weiteres »hineinhören«, man muß sich in ihr befinden! Angesichts der geringen Dichte der kommunikationsfähigen Zivilisationen im Raum ist es aber extrem unwahrscheinlich, daß sich das Sonnensystem oder auch nur die Erde gerade innerhalb eines solchen Bündels aufhält.

Die dritte Möglichkeit sind Signale, die eine Zivilisation aussendet, um auf sich aufmerksam zu machen und Kontaktpartner zu finden. Solche »Rufsignale« werden aber wesentlich mehr Informationen enthalten als die beim irdischen Funkverkehr üblichen, schließlich läßt die Antwort Jahrhunderte auf sich warten. Dieser »Monolog an Unbekannt« wird vermutlich in kurzen Abständen wiederholt, er wird möglichst einfach codiert sein und bei einer auffälligen Wellenlänge abgestrahlt werden. Was könnte er beinhalten? Wir vermuten, daß der Absender eine Art »Steckbrief« von sich selbst aussendet, durch den er sich den anderen Bewohnern des Milchstraßensystems vorstellen möchte.

Zur Illustration benutzen wir eine Botschaft – ein Kryptogramm oder auch »Kosmogramm« –, die der amerikanische Radioastronom Frank Drake den Teilnehmern der Konferenz von Green Bank zum Entziffern vorlegte. Aus drucktechnischen Gründen schreiben wir das binär verschlüsselte Kryptogramm mit den Ziffern 0 und L, wir könnten ebensogut Punkte und Striche nehmen:

LLLL0000L0L00L0000LL00L0000000L00000L0L00L000
00LL00L0LL00LLLL00000LL0000LL0L00000000L0000
0L0000L0000L000L0L0L0000L000000000000000000L00
0L0000000000L0LL000000000000000000L000LLL0LL0L0
LL0L0L000000000000000000L00L0000LLL0L0L0L0L0
00000000L0L0L0L0L0L000000000LLL0L0L0L0L0L0L0L
L0000000L0000000000000000L000000000000L000L00L
LLLLL00000LLL0L00000L0LL00000LLL0000000L0000
00000L00000000L0000000LLLLL000000L0LL000L0LLL
0L0000000LL00L0L0LLL0L0L0LLL000L00L0LLL00
L000000000000000000000L0LL000L0LLL00000L
00000LL00000LL0000L0000LL000000L000L0L00L000
LLLL00L0LLL

Da wir damit rechnen, daß dieser oder jener Leser hier ein wenig seine Fähigkeiten erproben möchte, Botschaften aus



Schema einer Anlage zum Empfang »kosmischer Sendungen«. Die mit der Antenne (Radioteleskop) aufgefangenen Wellen werden überprüft, ob sie irgendwie moduliert sind, und passieren einen Amplituden- (ADM), einen Frequenz- (FDM) und einen Phasendemodulator (PDM). Das Ergebnis der Demodulation, also die verschlüsselte Botschaft, (wenn eine solche vorhanden ist), wird durch einen Papierschreiber aufgezeichnet und durch einen Lautsprecher hörbar gemacht.

dem Kosmos zu entziffern, werden wir den Code erst im Anhang (s. S. 126) »knacken«. Zu bedenken bleibt natürlich, daß es sich um keine echte Nachricht von fremden Intelligenzen handelt. Das erste echte »Kosmogramm« könnte nämlich wesentlich schwieriger zu entziffern sein.

Denken wir nur daran, daß es uns noch nicht einmal gelungen ist, die Schriften aller alten Kulturen zu enträtseln, also Dinge, die sich Menschen ausgedacht haben!

Wenn zwei Zivilisationen miteinander Kontakt aufzunehmen versuchen, dann sprechen sie nicht nur eine verschiedene Sprache. Ihre Mitglieder sind grundverschiedene Wesen. Wir können lediglich erwarten, daß sie logisch-abstrakt denken können und daß sie ihre Umwelt begreifen und schöpferisch gestalten. Wie sich ihr Leben biologisch realisiert, wie sie denken, arbeiten, ist uns genauso unbekannt wie ihr Aussehen, ihre Lebensweise, ihre Gesellschaftsordnung, ihre Ethik, ihre Ästhetik, ihre philosophischen Ansichten. Die Fähigkeit zum logischen Denken stimmt uns jedoch so optimistisch, daß wir eine Verständigung grundsätzlich für möglich halten.

Der holländische Mathematiker Hans Freudenthal hat 1960 in dieser Richtung einen interessanten Vorschlag gemacht. Er konstruierte eine abstrakte, sich selbst erklärende Sprache für die kosmische Verständigung, die er LINCOS nannte. Sie sollte für alle Mathematik treibenden Wesen begreifbar sein. Ob diese absolut logisch aufgebaute Nachrichtensprache tatsächlich zur »kosmischen« Sprache wird (LINCOS ist die Abkürzung von lingua cosmica, lat. kosmische Sprache), auf deren Grundlage wir uns mit dem ersten kosmischen Gesprächspartner verständigen können, bleibt abzuwarten.

Erwähnen müssen wir noch eine vierte Variante von interstellaren Botschaften. Es wäre denkbar, daß eine »erwachsene« Zivilisation sich aus wissenschaftlichem Interesse um die »Kinder« im Milchstraßensystem kümmert. Sie hat sehr starke Sender zur Verfügung und weiß, wie sie sich »Neulingen« wie uns, die erst seit knapp hundert Jahren Radiowellen kennen, seit dreißig Jahren Radioteleskope bauen und seit anderthalb Jahrzehnten bescheidene Kommunikationsversuche unternehmen, verständlich machen kann. Wir wollen diesen Faden nicht weiter spinnen und uns statt dessen, der drastischen Aufforderung Dysons gemäß, um die Beobachtungen kümmern.

Die Suche nach außerirdischen Zivilisationen

Am 8. April 1960, 4 Uhr morgens, schaltete Frank Drake in Green Bank erwartungsvoll Lautsprecher und Papierregistrierung an seinem neuen Empfänger ein, der eigens zum Zwecke des Nachweises von Funksignalen vernunftbegabter Lebewesen konstruiert worden war. Das Radioteleskop, ein Reflektor von 27 m Durchmesser, war auf den Stern Tau im Sternbild Walfisch (τ Ceti) gerichtet. Es ist dies der am nächsten stehende Einzelstern vom Typ der Sonne; er ist nur 11 Lichtjahre entfernt. Alpha Centauri ist zwar auch sonnenähnlich, gehört aber einem Doppelsternsystem an, so daß wir nicht annehmen, daß er ein »normales« Planetensystem besitzt. Die Geschichte von den »Centauriden« zu Beginn des Kapitels »Leben auf der Erde« war ja nur ein Gedankenexperiment!

Wie Drakes Bemühungen zeigten, war es 1949 in der Gegend von Tau Ceti ziemlich still, zumindest in den Kanälen, die 1960 abgehört wurden. Nachdem Tau Ceti einige Stunden lang erfolglos »belauscht« worden war, wurde der nächste Kandidat, der Stern Epsilon Eridani, eingestellt. Hier gab es einige Überraschungen. Kurz nach Beginn der Überwachung wurde eine Serie schneller Impulse, etwa 8 pro Sekunde, registriert. Sie brachen jedoch ab, bevor man genaue Untersuchungen anstellen konnte. Als sich 14 Tage später etwas Ähnliches wiederholte, stellte man fest, daß nicht Epsilon Eridani die Quelle der Signale war, sondern daß sie auf einen irdischen Sender zurückgingen und wahrscheinlich von geheimen militärischen Experimenten herrührten.

Drake hatte dem Projekt den Namen »Ozma« gegeben, benannt nach der Königin des sagenhaften Landes Oz in einer Serie von Kindergeschichten des Schriftstellers Frank Baum. Die Empfangsapparatur des Projektes »Ozma« arbeitete auf 400 Kanälen, die beiderseits der 21-cm-Linie angeordnet, also um 1420 MHz verteilt waren. Gesucht wurde nach schmalbandigen Signalen mit Bandbreiten unterhalb von 100 Hz. Im Mai, Juni und Juli 1960 wurden die beiden Sterne insgesamt 150 Stunden lang »abgehört«. Ein künstliches Signal wurde nicht entdeckt.

Nach unseren bisherigen Abschätzungen war das auch kaum zu erwarten. Um durch das Projekt »Ozma« entdeckt zu werden, hätte eine auf einem Planeten um Epsilon Eridani oder Tau Ceti ansässige Zivilisation 11 Jahre vorher mit einem 200-m-Reflektor und einer Leistung von 1 MW bei 1420 MHz Signale mit Bandbreiten unterhalb von 100 Hz in Richtung Sonne abstrahlen müssen. Das war anscheinend nicht der Fall.

Das Projekt »Ozma« wurde 1971/72 von G. Verschuur und 1973 von B. Zuckermann und P. Palmer mit den größeren Radioteleskopen (43 m und 92 m Spiegeldurchmesser) des Nationalen Radioastronomischen Observatoriums der USA fortgesetzt. Dabei wurden mehr als 200 Sterne »abgehört«, ohne daß man ein künstliches Signal fand. Damit ist allerdings noch nicht endgültig bewiesen, daß es bei diesen Sternen keine Zivilisation gibt. Sie könnte beispielsweise die Sonne für einen ziemlich uninteressanten Stern halten und ihre Signale in andere Richtung aussenden. Oder: Sie könnte das 21-cm-Band nicht für den besten Übertragungskanal halten. Oder: Sie sendet gar nicht, sondern tut das gleiche wie wir: Sie horcht! Eine fatale Situation, wenn alle horchen und niemand ruft. Dann wären wir tatsächlich nur auf den »Intelligenzmüll« oder das wissenschaftliche Interesse einer »Superzivilisation« angewiesen.

In der Sowjetunion schenkte man dem Projekt »Ozma« große Beachtung. Eine Gruppe von Radioastronomen an der Universität Gorki unter Leitung von W. S. Troizki unternahm in der zweiten Hälfte der sechziger Jahre eigene Anstrengungen, künstliche Signale aus dem Kosmos zu entdecken. Ihre Empfangsapparatur arbeitete im 32-cm-Band bei 927 MHz. Überwacht wurden 12 Sterne vom Typ der Sonne zwischen 11 und 60 Lichtjahren Entfernung auf 25 Kanälen mit je 13 Hz Bandbreite in einem gegenseitigen Abstand von 4 kHz. Auch bei 32 cm Wellenlänge war das Ergebnis so mager wie bei 21 cm, und auch bei 16 und 50 cm Wellenlänge verhielten sich die LGM äußerst schweigsam. In den Jahren 1970 bis 72 wurde auch das sowjetische Abhörprogramm zur Suche außerirdischer Zivilisationen stark erweitert.

Wenn die bisherigen Bemühungen auch ergebnislos

waren, so ist doch der Wert dieser ersten und bescheidenen Versuche keineswegs klein. Zum ersten Male haben Wissenschaftler ernsthaft versucht, mit einer anderen Zivilisation in Kontakt zu kommen. Vorstellungen, die es bisher nur in der utopischen Literatur gab, wurden Wirklichkeit. Daß sich noch kein Fisch in den winzigen Netzen verfang, braucht uns angesichts der Größe des Ozeans, in dem gefischt wurde, nicht sonderlich zu wundern.

Die Zukunft wird uns weitere Unternehmungen auf diesem interessanten Gebiet bringen. Vorschläge gibt es genug. So schlug Bernard Oliver, gleichfalls einer der Aktivisten auf diesem Gebiet, das Projekt »Zyklop« vor, dessen Antennensystem 10 000 Reflektoren von 20 bis 30 m Durchmesser umfassen soll. Mit dieser gigantischen Anlage soll der gesamte Bereich von 5 mm bis 30 cm Wellenlänge auf rund einer Million Kanälen abgesucht werden. Derartig aufwendige Projekte werden sich vorerst nicht realisieren lassen, weil die Erfolgchancen zu gering sind. Wenn man Milliardenbeträge für ein Raumfahrtprogramm zur Verfügung stellt, dann hat man eine gewisse Sicherheit, daß das gesteckte Ziel damit weitgehend erreicht wird. Diese Sicherheit besteht bei der Suche außerirdischer Intelligenzen nicht! Damit ist kein Anreiz vorhanden, großen Aufwand zu treiben. »Die Wahrscheinlichkeit eines Erfolges läßt sich schwer abschätzen, wenn wir aber niemals suchen, ist sie gleich Null«, schrieben Cocconi und Morrison in ihrer programmatischen Arbeit.

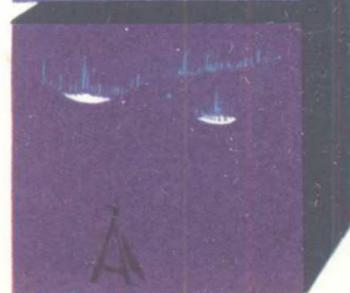
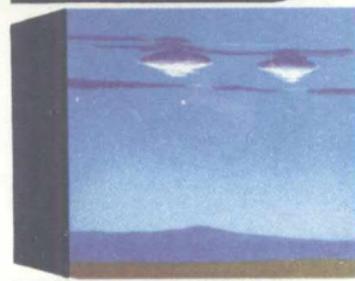
Besucher aus dem Kosmos

»Fliegende Untertassen« und »Planetarier«

In den fünfziger und sechziger Jahren waren zahlreiche Menschen in vielen Ländern felsenfest davon überzeugt, daß die Erde ständig von denkenden Wesen aus dem Kosmos überwacht wird. Ursache dafür waren zahllose Entdeckungsmeldungen über geheimnisvolle Flugkörper. Die »Unidentifizierten Fliegenden Objekte« (UFO), wie sie zunächst völlig neutral in Wissenschaftlerkreisen genannt wurden, tauchten zum ersten Mal 1947 auf. Am 24. Juni 1947 sichtete der amerikanische Privatpilot Kenneth Arnold beim Überfliegen des Mt. Rainier im USA-Staat Washington angeblich neun riesige, silbern glänzende Flugobjekte, die er auf einer Pressekonferenz wegen ihrer äußeren Form mit Untertassen verglich.

Seit dieser Zeit wurde fieberhaft nach »Fliegenden Untertassen« gefahndet. Vor allem den militärischen Kreisen der USA kam die einsetzende UFO-Psychose sehr gelegen, denn sie konnten sie zunächst gut zur psychologischen Kriegführung gegen die Sowjetunion gebrauchen. Man verbreitete beispielsweise das Gerücht, es könne sich um sowjetische Geheimwaffen handeln, die die Sicherheit der USA bedrohten. Jedoch entglitt die »UFO-Welle« sehr bald den Militärs und nahm ihren eigenwilligen Lauf. Die Zeitungen der kapitalistischen Welt waren voll von seltsamen Augenzeugenberichten, Fotos von UFOs und ihren Piloten, den »Planetariern«, wurden verbreitet. Die UFO-Enthusiasten organisierten sich zu Verbänden.

Was ein UFO alles sein kann



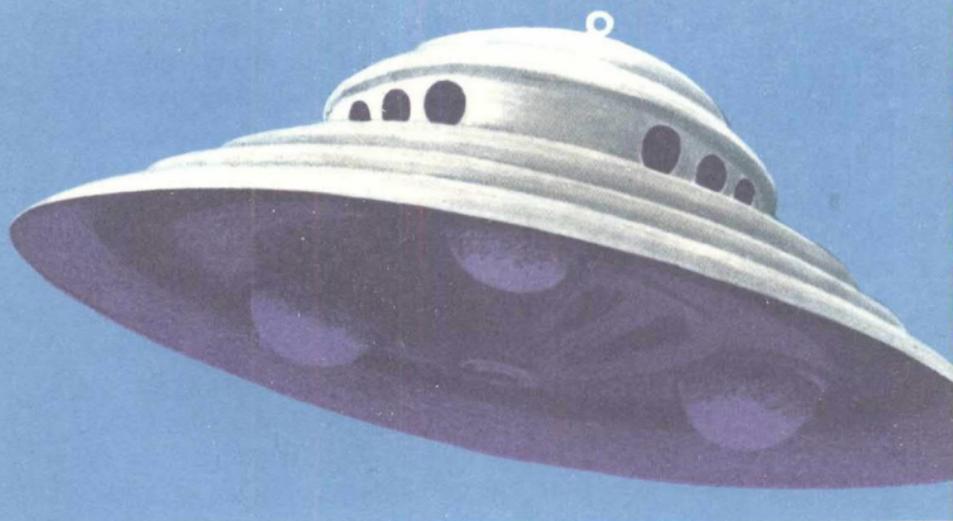
um die »Forschungsarbeit«, die Ufologie, zu organisieren. Zahlreiche UFO-Zeitschriften wurden gegründet, nationale und internationale UFO-Kongresse organisiert. Bücher über »Fliegende Untertassen« und über »Planetarier« überschwemmt den Markt. »Kontaktler«, d.h. Mittelspersonen zwischen Erdbewohnern und



UFO-Piloten, versuchten, durch weltweite Kampagnen die Menschen für die Botschaften der »Planetarier« empfänglich zu machen, die sie durch Gedankenübertragung, durch das häusliche Radio oder von Angesicht zu Angesicht empfangen hatten. Berühmt als »Kontaktler« wie überhaupt als »UFO-Klassiker« wurde der 1965 verstorbene Amerikaner George Adamski, der 1952 als erster Mensch mit einem »Venusier« gesprochen haben will und als Passagier einer »Untertasse« angeblich die Mondrückseite zu Gesicht bekam. In ihren Botschaften warnen die »Planetarier«, die der Menschheit ethisch wie technisch weit überlegen sein sollen, die »Terraner« vor den Gefahren des kalten Krieges, des atomaren Wettrüstens und erteilen praktische Ratschläge zum »Überleben«.

Mit Stolz verwiesen die Ufologen darauf, daß berühmte Forscher, z.B. der Entdecker des Pluto, C. Tombaugh, oder der Raketenpionier H. Oberth zu ihnen gehörten. Es

Wenn UFO-Fotografien sprechen könnten! Der besten UFO-Aufnahme, dem Renommierbild der Ufologen, wurde zum Verhängnis, daß sie zuviel Details zeigte. Es sollte sich um ein Raumschiff von der Venus handeln, das der »Kontaktler« George Adamski am 13. Dezember 1952, 9.10 Ortszeit, in Palomar Gardens (Kalifornien) fotografiert haben wollte. Findige Leute entdeckten, daß das UFO eine frappante Ähnlichkeit mit den Deckeln alter kalifornischer Gaslaternen hat.



ist indessen kein Geheimnis, daß sich die meisten Astronomen, Luft- und Raumfahrtfachleute usw. von den UFO- und IFO- (*Interplanetare Flugobjekte*) Forschern distanzieren und UFOs und IFOs als Forschungsgegenstand ablehnten. Sogar die amerikanische Air Force, die 20 Jahre lang im Projekt »Blaues Buch« UFO-Entdeckungen sammeln und auswerten ließ, schloß 1969 die Akten über dieses Thema. Den Schlußstrich bildete der in ihrem Auftrag ausgearbeitete Condon-Bericht. In dieser Studie, von Wissenschaftlern der Universität von Colorado unter Leitung von E. U. Condon angefertigt, werden die UFOs als rein subjektive Erscheinungen, also Phantastereien oder Täuschungen, gewertet, deren weitere Untersuchung sich nicht lohnt.

Wer die Spalten der UFO-Presse liest, kommt tatsächlich zu dem Eindruck, daß die Leute, die dort ihre Erlebnisse mit »Venusiern« und »Marsianern« schildern,

wohl eher Fälle für den Psychiater als für eine Untersuchungskommission von Astronomen, Physikern, Technikern usw. sind. Möglicherweise ist auch der Genuß bestimmter Drogen im Spiel, der die geschilderten UFO-Erlebnisse »vermittelte«. Das Anliegen mancher Ufologen, sich die von den »Fliegenden Untertassen« ausgehende Faszination zunutze zu machen, um vor den Gefahren des Atomkrieges zu warnen, ist durchaus edel. Allerdings halten wir die Methode, mit einer Art von modernem Spiritismus an das Weltgewissen zu appellieren, für mehr als zweifelhaft. Für unsere Frage nach intelligentem Leben im Universum ist diese Art der »UFO-Forschung« jedenfalls völlig unbrauchbar.

Natürlich dürfen wir nicht dem Vorurteil unterliegen (C. Sagan nennt es »intellektuellen Chauvinismus«), daß wir bereits alles wissen und daß die Beschäftigung mit rätselhaften Dingen verschwendete Zeit ist. Große wissenschaftliche Autoritäten haben sich durch ähnliches dogmatisches Denken ein »Denkmal« gesetzt. Die außerirdische Herkunft der Meteorite wurde z. B. von der Pariser Akademie trotz zahlreicher glaubwürdiger Berichte über Meteoritenfälle bis zum Beginn des 19. Jh. mit Entschiedenheit bestritten, die Vertreter dieser Anschauung wurden zu Narren gestempelt, die Meteorite aus den Gesteinssammlungen entfernt.

Bisher gibt es keinerlei zwingende Beweise dafür, daß es sich bei den UFOs um Raumschiffe von Typ-II- oder Typ-III-Zivilisationen handeln könnte. Die Auswertung der mehr als 10 000 im Projekt »Blaues Buch« erfaßten Fälle ergab vielmehr, daß es sich zum überwiegenden Teil um verkannte Naturerscheinungen oder irdische Fluggeräte handelte. Auch die auf dem Radarschirm gesichteten UFOs konnten z. T. durch atmosphärische Erscheinungen erklärt werden. Besonders eindrucksvoll ist, daß auf den vielen tausend Himmelsaufnahmen der Meteorüberwachungsprogramme keines der zahlreichen »Nacht-UFOs« zu sehen war. Dagegen stellten sich berühmte UFO-Fotos als Fälschungen heraus, die von Witzbolden oder Wichtigtuern fabriziert worden waren.

Wie der bekannte Astronom J. A. Hynek, der zwei Jahrzehnte lang im Projekt »Blaues Buch« Gutachter war,

feststellte, gibt es jedoch einige Dutzend gut bezeugter, aber absolut rätselhafter Fälle, die jedem Aufklärungsversuch widerstanden. In seinem Buch »UFO-Erfahrungen«, das 1972 erschien und sich kritisch mit dem Condon-Bericht auseinandersetzte, führte Hynek 80 solche Fälle an. In keinem dieser »Paradebeispiele« gelang es jedoch, präzise Daten zu ermitteln. Die UFOs entkamen stets den zu ihrer Aufbringung entsandten Jagdflugzeugen und legten dabei ein völlig »unphysikalisches« Bewegungsverhalten an den Tag. Sie hinterließen kaum Spuren, bewegten sich aber nicht immer geräuschlos. Verdächtig ist allerdings, daß keine glaubwürdigen Berichte über Starts oder Landungen von UFOs vorliegen. Kein »Planetarier« hat je Kontakt mit einem Wissenschaftler oder Politiker aufgenommen!

Zur Erklärung dieser mysteriösen Umstände bringen die Ufologen sehr bezeichnende Ansichten vor, die sich größtenteils mit denen der utopischen Literatur decken. Die »Planetarier« können die Schwerkraft nach Belieben ein-, aus- oder umschalten, sie fliegen in »eigenen« Kraftfeldern, die nur sie allein erzeugen können, sie können »Materie auflösen«, mit Überlichtgeschwindigkeit fliegen usw. Für Physik ist in diesem Rahmen verständlicherweise kein Platz, hier geht es offensichtlich um reine Mystik.

Den Wissenschaftlern der Untersuchungsbehörden werfen die Ufologen die Unterschlagung von Beweismaterial vor. Auf dem 7. Internationalen Kongreß der UFO-Forschung, der 1967 in der UFO-Hochburg Wiesbaden stattfand, wurde erneut die amüsante Story vorgetragen, wonach auf Anweisung des Pentagon die Leichen der 16 »Kleinen Grünen Männer«, die 1949 in der Wüste von Nevada mit ihrer »Untertasse« abgestürzt waren, beseitigt wurden, um die Untersuchung des Falles zu blockieren. Auch der Venusbürger Val Thor, der 1958 wegen Treibstoffmangels in den USA notlanden mußte, wird angeblich von den Behörden festgehalten.

Zusammenfassend können wir sagen, daß die »Forschungsergebnisse« der Ufologen einer kritischen Untersuchung nicht standhalten. Es gibt keine Anhaltspunkte, daß die UFOs Flugobjekte fremder Zivilisationen sind. Von materiellen Flugkörpern müssen wir erwarten, daß sie

sich an die Bewegungsgesetze der Physik halten. Vernunftbegabte Wesen sollten weiterhin ein Interesse an einer Kontaktaufnahme mit uns haben, selbst wenn wir nach ihren Maßstäben eine sehr niedrige Stufe der Zivilisationsentwicklung einnehmen. Generell müssen wir jedoch der Aufklärung ungewöhnlicher Beobachtungen, also der echten UFO-Forschung, eine gewisse Bedeutung beimessen. Sollten wir nämlich jemals auf Raumschiffe echter Planetarier stoßen, dann werden sie für uns äußerst ungewöhnliche fliegende Objekte sein!

Archäologische Rätsel und Gäste aus dem Kosmos

Es ist keineswegs notwendig, sich vorzustellen, daß Besucher aus fernen Planetensystemen gerade in unserer Zeit im Sonnensystem aufkreuzen müßten. Daß wir uns heute intensiv mit solchen Gedanken beschäftigen, hängt ja ursächlich nicht mit dem Zeitpunkt *ihrer* Besuches, sondern mit dem Stand *unserer* Entwicklung zusammen. Die Menschheit ist eben jetzt so weit, um uralte Träume wie den Flug zu anderen Himmelskörpern realisieren zu können. Im Banne dieser neuen Möglichkeiten besteht natürlich ein starker Reiz, uns mit solchen Gedanken, wie denen an Besucher aus dem Kosmos, anzufreunden.

Es ist durchaus *denkbar* (wir legen besonderen Nachdruck auf dieses »denkbar«, denn die folgenden Betrachtungen sind weiter nichts als Gedankenexperimente!), daß hochleistungsfähige Roboter oder sogar Angehörige einer fortgeschrittenen Zivilisation bereits früher die Erde inspizierten.

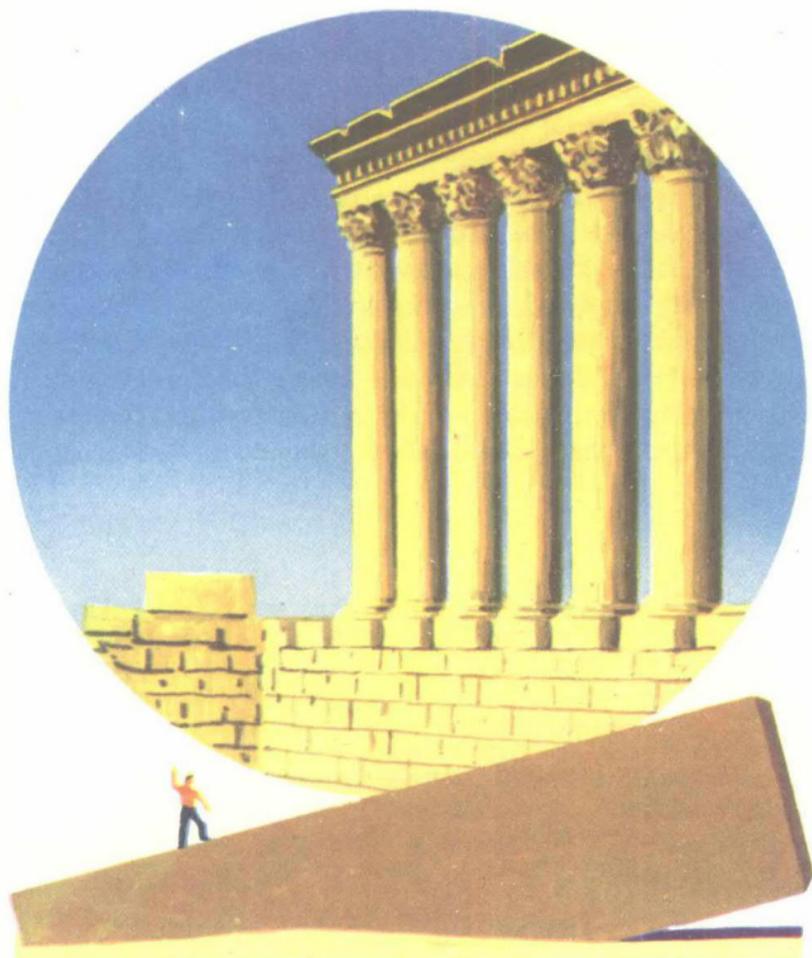
Auf unsere Vorfahren dürfte eine Begegnung mit außerirdischen Wesen – wir setzen in unserem Gedankenexperiment voraus, daß es ein solches Ereignis überhaupt gab – einen unerhört starken Eindruck gemacht haben. Wir vermuten, daß sie die vom »Himmel« unter außergewöhnlichen Begleitumständen »anreisenden« Wesen für Götter hielten, denn sie hatten keine anderen Vergleichsmaßstäbe. Es ist sogar zu erwarten, daß sich ein solches Ereignis künstlerisch widerspiegelte. Allerdings

dürfte die Szenerie so viel Ähnlichkeit mit einer mythologischen Darstellung haben, daß selbst erfahrene Archäologen die abgebildeten Wesen eher für Götter als für die berühmten LGM halten werden. Schließlich war ja in den Köpfen der gestaltenden Künstler beides identisch.

Denkbar ist weiterhin, daß die technisch hochentwickelten Besucher den Menschen alles mögliche beibrachten und daß sie sie auch Anlagen bauen ließen, die den Zwecken der »Götter« dienten. Genau an dieser Stelle unseres Gedankenexperiments setzen die Überlegungen einer Reihe von Autoren ein. Wir nennen einige Beispiele. Der sowjetische Schriftsteller Alexander P. Kasanzew

Am 30. Juni 1908 ereignete sich in der sibirischen Taiga an der Steinigen Tunguska, einem Nebenfluß des Jenissei, eine gigantische Explosion. Zwanzig Jahre später stieß eine sowjetische Expedition in diesem Gebiet auf ein noch immer unerhört eindrucksvolles Ausmaß von Verwüstungen. Viele Quadratkilometer Wald waren umgelegt oder geköpft. Da weder ein Einschlagskrater noch größere Mengen meteoritischen Materials gefunden wurden, konnten zunächst Spekulationen nicht widerlegt werden, daß hier das Raumschiff einer Superzivilisation explodiert sei. Viele Astronomen nehmen heute an, daß der abgestürzte Körper aus eisartigem Material bestand, das – im Gegensatz zu den Meteoriten – restlos verdampfte.





Die Terrasse von Baalbek (Libanon). Auf einem Unterbau unbekanntes Alters befinden sich großartige Bauten der Römerzeit.

machte z. B. auf die rätselhafte Terrasse von Baalbek im Libanon aufmerksam, zu der behauene Steinquader mit Massen von rund 1000 Tonnen (!) benutzt wurden. Waren hier Wesen aus einer anderen Welt am Werk?

In dieser Terrasse fand man drei Quader von je 20 m Länge und 4 m Breite und Höhe. Ein weiterer, noch größerer Block befindet sich in halbfertigem Zustand in einem nahegelegenen Steinbruch. Zweck dieser Terrasse sowie Gewinnung und Transport dieser Quader sind noch unbekannt. Die Zuhilfenahme »extraterrestrischer Technik« ist nicht zwingend, denn es gibt zahlreiche Schwer-

lasttransporte im Altertum, die wir für undurchführbar halten würden, wenn wir nicht aus zeitgenössischen Berichten wüßten, wie manche von ihnen bewältigt wurden. Leider kann die Terrasse von Baalbek nicht so gründlich untersucht werden, wie das wünschenswert scheint, weil sonst die darauf stehenden, später errichteten Tempelanlagen gefährdet würden.

Robert Charroux in Frankreich hält die dünnen Metallüberzüge auf Vasen, Schalen, Bechern und Lanzenspitzen der alten Ägypter für galvanoplastische (!) Arbeiten nach Rezepten von »Extraterrestriern«.

Felsenbild eines »Besuchers der Erde«. Der französische Archäologe H. Lhote nannte diese an einen Menschen im Raumanzug erinnernde etwa 6 m hohe Gestalt aus den Höhlen im Tassili-Massiv in der algerischen Sahara den »Großen Marsgott« und löste damit eine Welle von Spekulationen aus. Was der »Helm« dieser Gestalt im einzelnen sein soll – angenommen wurde beispielsweise, daß es sich um eine Tanzmaske für kultische Zwecke handelt –, muß die Archäologie erforschen.





Der »Maya-Astronaut«. Unter dem »Tempel der Inschriften« in der Maya-Stadt Palenque fand 1952 der mexikanische Archäologe A. Ruiz einen steinernen Sarkophag, dessen Deckel die Abmes-

Den zweifellos umfangreichsten Vorstoß in diese Richtung hat Erich von Däniken unternommen. Die zahlreichen seltsamen Gestalten auf den Höhlenbildern im Tassili-Massiv in der algerischen Sahara deutete von Däniken als fremde Kosmonauten. Auf der Grabplatte im »Tempel der Inschriften« in Palenque, einem bekannten Mayakunstwerk, sieht er einen Kosmonauten am Kontrollpult seines Raumschiffes. Alte japanische Bronzefiguren, deren plumpes Aussehen an Kosmonauten im Raumanzug erinnert, werden analog interpretiert. Die rätselhaften Anlagen der altperuanischen Kultur, z. B. die Ruinen von Sacsayhuaman und Tiahuanaco, das 250 m hohe dreizackige Zeichen an der Steilküste von Pisco, die riesigen »Zeichnungen« im Wüstenboden der Ebene von Nazca u. a. werden als »Zweckanlagen« gedeutet, die im Auftrag der »Götter« und mit ihrer Hilfe errichtet wurden.

Bei all diesen »Deutungen« geht von Däniken weitgehend ohne Rücksicht auf die Meinungen der Facharchäologen vor, »um ohne die Belastung des Expertenwissens seiner Phantasie freien Lauf zu lassen«, wie er sich selbst ausdrückt.

Mit Phantasie allein löst man jedoch keine wissenschaftlichen Probleme, und wir haben in dieser Schrift – das sei in aller Deutlichkeit hervorgehoben – die Suche intelligenten Lebens im Weltall als ein *wissenschaftliches* Problem betrachtet. Dazu benötigt man Sachkenntnis und kritische Einstellung. Man kann es nicht hinnehmen, wenn jemand, der gar keine Qualifikation zum Mitreden hat, die Ergebnisse einiger Forschergenerationen mit ein paar interessanten Einfällen vom Tisch fegen will, für die es nicht die Spur eines Beweises gibt.

Wir geben uns nicht damit zufrieden, um nur einen Einwand gegen die Dänikenschen Deutungen zu bringen, daß alle Darstellungen »prähistorischer« und anderer

sungen $3,80 \times 2,20$ m hat. Auf ihm befindet sich dieses Hieroglyphenrelief. Nach von Däniken u. a. ist hier ein Raketenfahrzeug abgebildet, in dem sich ein Astronaut als Pilot betätigt. Die mit den Stilmitteln der Mayakunst vertrauten Archäologen halten die abgebildete Gestalt für eine Darstellung des dort begrabenen Priesterfürsten. Nach dem neuesten Deutungsversuch der Hieroglyphen von H.-H. Pantel soll der Fürst den sogenannten Föhntod gestorben sein.

»Kosmonauten« menschliche Anatomie besitzen. Es widerspricht völlig unseren Vorstellungen über biologische Evolution, daß das Wechselspiel Mutation–Selektion überall intelligente Vierbeiner erzeugt, die aufrecht gehen, einen runden Kopf mit zwei Augen, zwei Ohren, Nase und Mund besitzen.

Auch die Tendenz, alle technisch verblüffenden Leistungen vergangener Kulturepochen auf »kosmische Entwicklungshilfe« abzubuchen, nehmen wir nicht kritiklos hin. Wenn eine Kultur heute noch so wenig erforscht ist, daß wir ihre Monumentalbauten weder von der technischen Seite noch vom Verwendungszweck her verstehen, dann sind Urteile, die von vornherein auf eine Erklärung durch menschliche Mittel verzichten und gleich zur Einflußnahme von »außen« Zuflucht nehmen, zumindest verfrüht. Das voreilige und unkritische Vorgehen bei der Deutung rätselhafter archäologischer Funde durch die Annahme von Besuchern aus dem Kosmos kann dann manches mit der Haltung unserer Vorfahren gemein haben, rätselhafte Naturerscheinungen durch Geister oder Götter zu »erklären«. Wir wollen damit die Suche von Spuren außerirdischer Intelligenzen auf der Erde natürlich nicht von vornherein zu einer neuen Sorte von Religion stempeln. Wir wollen sie nur in den Händen kompetenter Fachleute wissen, die sie nach wissenschaftlichen Grundsätzen betreiben.

Schließlich sei noch am Rande vermerkt, daß Besucher der Erde nicht nur »steinerne Spuren« hinterlassen zu haben brauchen. So wie man schon mehrmals Eisenmeteorite oder aus Meteoreisen gefertigte Gegenstände in Steinzeitgräbern fand – Grabbeigaben aus einer Zeit, in der Eisen noch das vom Himmel fallende Göttergeschenk war, weil man es auf der Erde noch nicht gewinnen konnte –, so könnte man z. B. eines Tages eine Plakette aus nichtkorrodierendem Metall als Grabbeigabe finden, auf der eine Botschaft früherer Besucher unseres Planeten enthalten ist.

Denkbar wäre auch die folgende Begebenheit: Die Besatzung eines Raumtransporters der Zukunft birgt einen Metallkörper aus einer 24-Stunden-Bahn um die Erde. Er enthält eine Botschaft an die Menschheit, geschrieben in

solidem Akkadisch, aber mit eingestreuten fremdartigen Symbolen und Skizzen. Die Menschheit wird darin über bestimmte Gefahren der Zivilisationsentwicklung belehrt. Zur »Beglaubigung« liegt ein Tontäfelchen mit einer Erklärung des Königs Hammurabi von Babylon bei, in dem die Rede von zwölf Göttern ist, die ihm in seinem 12. Regierungsjahr im Auftrag des obersten Gottes Marduk besuchten ... Sicherlich ebenso beeindruckend wäre, wenn man im Mondstaub Spuren oder Ausrüstungsgegenstände fände, die nicht von den Apollo-Astronauten oder von Luna-Sonden herrührten, aber eindeutig künstlichen Ursprungs sind ...

Moderne Ideen in alten Büchern

Wenn vernunftbegabte Lebewesen von einem fernen Planeten in historischer Zeit die Erde besuchten, dann besteht die Möglichkeit, daß schriftliche Berichte über dieses Ereignis existieren. Die Suche nach solchen Berichten wird sich vor allem auf die ältesten Literaturdokumente konzentrieren müssen, die wir besitzen. Wenn nämlich ein Besuch in den letzten 2000 Jahren stattgefunden hätte, dann wüßten wir etwas von diesem außergewöhnlichen Ereignis, selbst wenn das ursprüngliche Dokument verlorengegangen wäre. Den Inhalt zahlreicher verlorengegangener Werke antiker Schriftsteller kennen wir auch nur aus den Berichten der Zeitgenossen!

Von den eingangs erwähnten *Denkmöglichkeiten* ausgehend, wurden bestimmte Stellen in alten Werken der Weltliteratur, z. B. im Alten Testament der Bibel, im sumerischen Gilgamesch-Epos oder in den indischen Veden, neu gedeutet. Bereits 1959 äußerte der sowjetische Wissenschaftler M. M. Agrest, daß manchen Berichten in der Bibel durchaus ein reales, allerdings sehr ungewöhnliches Ereignis zugrunde liegen könnte, nämlich der Kontakt mit Vertretern einer außerirdischen Zivilisation. In seinem berühmten Buch »Weltall, Leben, Verstand«, das 1963 erschien und in zahlreiche Sprachen übersetzt wurde, griff der schon mehrfach erwähnte sowjetische Astronom I. S. Schklowski diesen Problembereich gleichfalls auf. In der stark erweiterten amerikani-

schen Fassung dieses Buches, die 1966 von I. S. Schklowski und C. Sagan unter dem Titel »Intelligentes Leben im Universum« erschien, wurden diese Überlegungen in einem eigenen Kapitel unter der Überschrift »Mögliche Folgen des direkten Kontakts« abgehandelt.

Voraussetzung für ein solches Herangehen ist die Annahme, daß sich die Kontaktaufnahme zwischen Menschen und außerirdischen Besuchern in der Literatur ebenso wie in der bildenden Kunst als Mythos niederschlagen sollte. Wie könnte ein derartiger »Kontaktmythos« aussehen? Wahrscheinlich enthält er einige der folgenden Elemente:

1. Höhere Wesen (Götter, Halbgötter, Engel) kommen vom Himmel herab zu den Menschen.

2. Sie haben ein ungewöhnliches Aussehen, z. B. strahlendes Äußeres (Raumanzug) und starke Abweichungen von der menschlichen Anatomie.

3. Sie vollbringen unvorstellbare Taten und benutzen Fahr- oder Flugzeuge zur Fortbewegung.

4. Sie sind den Menschen wohlgesinnt, verfügen aber über unbekannt, in der Wirkung fürchterliche Waffen.

5. Es bestehen Verständigungsschwierigkeiten.

6. Die Besucher interessieren sich für zahlreiche menschliche Tätigkeiten, besonders für die der Priester.

7. Sie bringen den Menschen handwerkliche Fertigkeiten bei, z. B. die Metallgewinnung.

8. Sie lehren die Menschen Astronomie und erzählen von fernen Welten.

9. Sie erlassen durch die Priester neue moralische und juristische Vorschriften für die Menschen.

10. Sie erzählen, daß sie oder andere »höhere Wesen« vom Himmel her wiederkommen werden.

11. Sie laden gebildete Menschen, etwa Priester, zu Fahrten oder Flügen mit ihren Apparaten ein. Sie geben phantastische Erlebnisschilderungen . . .

Dieser Katalog ist natürlich mit einem gewissen Wunschenken behaftet. Wir können nämlich nicht ausschließen, daß es Vertretern einer »Superzivilisation« nicht auch möglich sein sollte, sich über die Menschheit ein Bild zu verschaffen, ohne mit den einzelnen Menschen direkt in Berührung zu kommen. Der Kontakt könnte an-

dererseits auch Formen haben, die wir heute noch nicht ahnen können. Unserem obigen *Denkmodell* liegt natürlich ein bewußter zweiseitiger Kontakt zugrunde; diese Vorstellung kann aber eben sehr unrealistisch sein!

Beim Studium der Literatur alter Kulturvölker stößt man oft auf Geschichten, in denen einzelne Punkte unseres Katalogs anklingen. Aber selbst wenn alle auftauchen würden, hätten wir noch keinen zwingenden Beweis, daß tatsächlich eine Begegnung mit »Extraterrestriern« stattgefunden hat. Um alle Zweifel zu beseitigen, braucht man materielle Beweisstücke. So war zwar z. B. Heinrich Schliemann durch die Lektüre des Homer überzeugt, daß Troja existiert; wissenschaftlich *beweisen* konnten es jedoch erst seine Ausgrabungen.

Wie im vergangenen Abschnitt wollen wir auch hier nach den allgemeinen Grundsätzen kurz einige Phantasieblüten herausgreifen, die sich heute in den kapitalistischen Ländern großer Beliebtheit erfreuen. In seinem Buch »Zurück zu den Sternen – Argumente für das Unmögliche« kommt von Däniken in seiner bereits charakterisierten Schlußweise u. a. zu dem Ergebnis, daß die wichtigsten Etappen der Menschwerdung vom Kosmos her gesteuert wurden. Die zahlreichen Berichte über die Paarung von Göttern und Menschen in der Literatur alter Kulturen dienen als »Beweis«, daß die heutige Menschheit das Ergebnis von Kreuzungsexperimenten hochentwickelter Lebewesen von »außerhalb« ist. Ohne Zweifel dürfte der Kontakt, wenn er überhaupt stattgefunden hat, für die Entwicklung der Menschheit bedeutsam gewesen sein. Daß der Homo sapiens aber durch Paarung unserer Vorfahren mit LGM hervorgegangen sein soll, ist eine billige Horrorgeschichte, die nur jemand verbreiten kann, der nichts von Biologie versteht. Wenn es schon innerhalb der irdischen Biosphäre so gut wie nicht möglich ist, zwei Arten miteinander zu kreuzen und dabei fruchtbare Kreuzungsprodukte zu erzielen, wie sollen sich dann erst Vertreter einer völlig anderen Biosphäre in die Menschheitsentwicklung »hineinkreuzen«? Wir sind ganz gewiß keine »Mischlinge«, die kosmische »Besitzer« hinterlassen haben. Unsere Intelligenz ist ein irdisches Evolutionsergebnis, kein kosmisches Importprodukt!

Der Flug zu den Sternen

Horchen und Warten kontra Rufen und Fliegen

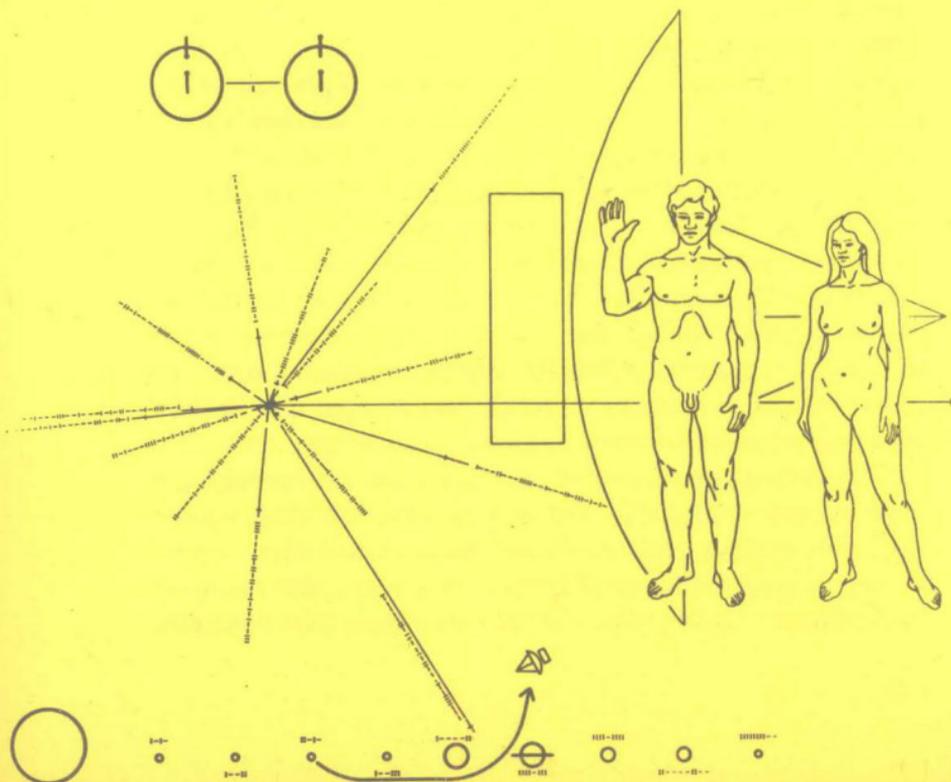
Unsere bisherigen Gedankenexperimente krankten an einer Einseitigkeit. Immer waren es nämlich die *anderen*, die rufen und fliegen mußten, damit *wir* nur zu horchen und zu warten brauchten. Wie fatal, wenn unsere »Verwandten im All« mit der gleichen Einstellung an diese Frage herangingen! Zum Abschluß unserer Betrachtungen wollen wir daher, um eine gewisse gedankliche Abrundung zu erreichen, die Frage diskutieren: Wie schwer ist es eigentlich, die »anderen« zu rufen und zu ihren Sternen zu fliegen?

Die grundsätzliche Problematik des Rufens haben wir bereits im Kapitel »Funksignale aus dem Kosmos« mit behandelt. Wir fassen hier nur noch einmal in einem Beispiel unsere Möglichkeiten zusammen. Wenn wir die stärksten Sender im Mikrowellengebiet (Sendestärke rund 2,5 MW) mit dem größten Radioteleskop (Reflektordurchmesser 300 m) kombinieren, dann könnte unsere »Stimme« bei einer Bandbreite von nur 1 Hz rund 300 Lichtjahre weit »erschallen«. Wenn also eine Zivilisation näher als 300 Lichtjahre ist, vom scharfen Bündel unserer Richtantenne getroffen wird und mit einem ähnlichen großen Antennensystem, ähnlich guten Empfängern, wie wir sie zur Zeit haben, auf unserer Wellenlänge mit 1 Hz Bandbreite in unsere Richtung horcht, dann sollte sie uns hören.

Innerhalb von 300 Lichtjahren befinden sich aber fast 100 000 Sterne, deren Ökosphären bewohnt sein könn-

ten! Um sie alle auch nur ein paar Stunden lang mit unserem »Steckbrief« zu »bestrahlen«, brauchten wir Jahrhunderte. Ebensolange würden wir auch auf die Antwort warten müssen. Das ist die Ursache dafür, daß die irdischen Radioastronomen heute noch nicht sehr »ruf-freudig« sind. Am Ende des Anhangs berichten wir kurz über ein erstes derartiges Experiment aus dem Jahre 1974. Das Abhören der potentiellen Zivilisationsträger kostet

Die »Flaschenpost« von Pioneer 10. An der ersten Raumsonde (Start 1972), die das Sonnensystem verlassen wird, wurde diese vergoldete Aluminiumplakette angebracht. Auf ihr ist eine Bildbotschaft an andere intelligente Bewohner des Milchstraßensystems eingraviert. Sie gibt Auskunft über das Aussehen der Absender (rechts), die Beschaffenheit des Planetensystems, in dem diese Absender leben (unten), die Lage des Sterns Sonne relativ zu den Pulsaren in ihrer Umgebung (die durch ihren Impulsabstand gekennzeichnet sind, links). Die vor allem zu dieser Angabe benötigten Zahlenwerte sind binär dargestellt ($1 = L$, $- = 0$). Die benutzte Zeiteinheit ist die Schwingungsdauer der 21-cm-Strahlung des Wasserstoffs. Diese Einheit wird dem Empfänger links oben beigebracht, wo schematisch ein Wasserstoffatom in den beiden Zuständen, zwischen denen dieser Übergang stattfindet, dargestellt ist.



natürlich genausoviel Zeit, schluckt aber keine 2,5 MW an Energie, und wir haben die Chance, u. U. sofort etwas zu hören, wenn wir den richtigen Stern im Visier haben.

Weit problematischer als die kosmische Funkbrücke ist indessen der Flug zu den Sternen. Natürlich wäre es sehr aufregend, wenn wir mit anderen Zivilisationen elektromagnetische Wellen austauschen könnten. Noch mehr begeistert uns aber doch sicher der Gedanke, als Gäste anderer »Menschen« unter einem fremden »Himmel« eine andersartige »Kultur« mit ihren exotischen Leistungen und dazu eine gänzlich ungewohnte Biosphäre bestaunen zu können. In Anbetracht der langen Flugzeiten erscheint uns eine solche Reise auf den ersten Blick unmöglich. Wir könnten aber spezielle Roboter auf die Reise schicken. Sie könnten in Zukunft vielleicht eine extrem große »Lebenszeit« erreichen. Außerdem benötigen sie nicht jenen gewaltigen »Troß« an Lebenserhaltungssystemen, der den Menschen bei seiner Reise durch den Weltraum begleiten muß.

Der englische Physiker R. Bracewell hat ein solches Projekt studiert. Danach könnte die Menschheit in ferner Zukunft zu allen »verdächtigen« Sternen der Sonnenumgebung Sonden mit langlebigen Funkapparaturen entsenden. Beim Erreichen ihrer Zielsterne schwenken sie auf Planetenbahnen ein und horchen nach schmalbandigen Signalen, etwa auf den »Radiolärm« einer Zivilisation. Sie speichern diese Signale und strahlen sie bei gleichbleibender Wellenlänge mit großer Sendestärke – die Energie entnehmen sie der Strahlung der dortigen »Sonne« – an die Quelle zurück, um dadurch aufzufallen. Wenn die »anderen« sie entdeckt haben, strahlen die Sonden ein Informationsprogramm über »Terra« und die »Terraner« ab. Es ist dies sicher die wirkungsvollste Weise, einen Kontakt herzustellen! Die Kosten des Projekts sind sehr hoch, erreichen aber vermutlich längst nicht die Größenordnung eines bemannten interstellaren Fluges.

Wenn Menschen interstellare Entfernungen zurücklegen wollen, dann sind die langen Reisezeiten das Hauptproblem. Selbst mit der Geschwindigkeit des Lichts würden wir zum nächsten Stern über 4 Jahre, zur nächsten Zivilisation nach den Abschätzungen im Kapitel

»Planetensysteme und Zivilisationen« aber einige Jahrhunderte lang unterwegs sein. Nach der Erkenntnis des genialen Physikers Albert Einstein ist die Lichtgeschwindigkeit $c = 300\,000\text{ km/s}$ die absolute Grenze für die Schnelligkeit, mit der eine Portion Energie oder auch eine Information weitergegeben werden kann. Mit genau dieser Geschwindigkeit können sich nur elektromagnetische Felder und Schwerfelder bewegen. Alle Körper, die im Ruhezustand eine Masse besitzen, können sich ihr nur bestenfalls auf 99,999 . . . % nähern. Diese Erkenntnis ist ein Fundament der modernen Physik und hat eine Reihe von Konsequenzen, die den Inhalt der speziellen Relativitätstheorie bestimmen.

Bevor wir diese für unser Problem interessanten Konsequenzen studieren, wollen wir erst einen »Umweg« über eine weniger kompliziert scheinende und sehr populäre Idee machen. *Denkbar* wäre, daß man das menschliche Leben dadurch verlängert, daß man die chemischen Prozesse in den Zellen verlangsamt. Bei primitiven Lebewesen gelingt das durch Einfrieren, höher organisierte Lebewesen erleiden dabei jedoch tödliche Schäden. Wasser, der Hauptbestandteil jeder Zelle, hat nämlich die unangenehme Eigenschaft, sich beim Gefrieren auszudehnen. Dadurch platzen nicht nur die Milchflaschen, die wir im Winter auf dem Balkon vergaßen, sondern auch die Protoplasmaabehälter, die Zellen. Ob es daher gelingen wird, Menschen heil über einen jahrhundertlangen Tiefkühlschlaf hinwegzubringen, ist äußerst zweifelhaft.

Es lohnt sich auch nicht, auf einige andere »Vorschläge« zum Überbrücken der langen Reisezeit einzugehen, z. B. auf den von M. Clynès und N. Kline erfundenen »Kyborg«, ein Monster, das aus einem menschlichen Gehirn besteht, das ein Roboter am Leben erhält. Vorgeschlagen wurde auch eine Gebärmachine, in der sich eine menschliche Samenzelle und eine Eizelle befinden, die kurz vor Erreichen des interstellaren Flugziels vereinigt werden und aus denen, versorgt und erzogen von einer »Roboteramme«, der eigentliche Pilot des Fluges hervorgeht. Hierbei handelt es sich offensichtlich um Produkte aus den gewissenlosen Denkfabriken einer untergehenden Gesellschaftsordnung, die als Stoffe für Hor-

rorfilme geeignet sind, aber nicht als Gegenstand für Spekulationen auf wissenschaftlicher Basis und unter Achtung der Würde des Menschen.

Relativistische Raumflüge und Besiedlung des Kosmos

Einen interessanten Trick, die Lebensprozesse drastisch zu bremsen, hält die spezielle Relativitätstheorie bereit. Bei Geschwindigkeiten dicht unter c tritt nämlich die berühmte Zeitdehnung ein. Alle Prozesse, vom Uhrenlauf bis zu den chemischen Vorgängen im lebenden Organismus, verlangsamen sich um so mehr, je näher die Geschwindigkeit des Raumschiffes an c herankommt. Dabei geht es übrigens um keine Hypothese, sondern die Zeitdehnung in schnell bewegten Systemen ist ein experimentell gesichertes Faktum! In einem »Einstein-Raumschiff« entsteht also die unheimlich anmutende Situation, daß nach einer Flugzeit von Jahrtausenden (beurteilt von der Erde aus), also nach einigen tausend Lichtjahren zurückgelegter Strecke, die Besatzung nur wenige Jahre gealtert ist.

Wir wollen hier nicht die Formeln der speziellen Relativitätstheorie aufmarschieren lassen, um dieses verblüffende Ergebnis zu belegen. Diese grundlegenden Beziehungen der modernen Naturwissenschaften findet man in entsprechenden Physikbüchern. Betrachtet werden soll nur ein Beispiel. Eine Antriebsrakete (wir werden uns später noch genauer darüber zu unterhalten haben) beschleunige das »Einstein-Raumschiff« kontinuierlich bis zur Hälfte des Weges mit $1g$, d. h. mit der Beschleunigung, die wir auf der Erde durch die Schwerkraft erleiden. Das Raumschiff wird bald in die Nähe der Lichtgeschwindigkeit kommen. Es ist eine Eigenschaft der relativistischen Formeln, daß die Geschwindigkeit bei der Annäherung an c trotz gleichbleibender Beschleunigung immer weniger zunimmt, also an den Grenzwert der Lichtgeschwindigkeit »herankriecht«, ihn aber stets unterschreitet. Die zweite Hälfte der Wegstrecke wird das Raumschiff mit $1g$ abgebremst. Die Besatzung ist also während des gesamten Fluges der gleichen Beschleunigung wie auf der Erde aus-

gesetzt, so daß Schwerelosigkeit und Überbelastung vermieden werden. Unter diesen Bedingungen würde ein Flug zu den Nachbarsternen einige Jahre dauern! Mit größer werdenden Entfernungen macht sich jedoch die Zeitdehnung immer stärker bemerkbar, weil die Spitzengeschwindigkeit immer dichter an c »herankriecht«. So würde beispielsweise das 30 000 Lichtjahre entfernte Zentrum des Milchstraßensystems nach 21 Jahren Raumschiffzeit erreicht. Wenn die Borduhr 28 Jahre anzeigt, würde sich das »Einstein-Raumschiff« bereits im nächsten Sternsystem, im Andromedanebel, befinden, der 2 Millionen Lichtjahre entfernt ist. Auf der Erde wären inzwischen allerdings 2 Jahrmillionen verflossen, in denen die Menschheit sogar schon ausgestorben sein könnte, wenn die Pessimisten unter den »Exosozialisten« Recht haben.

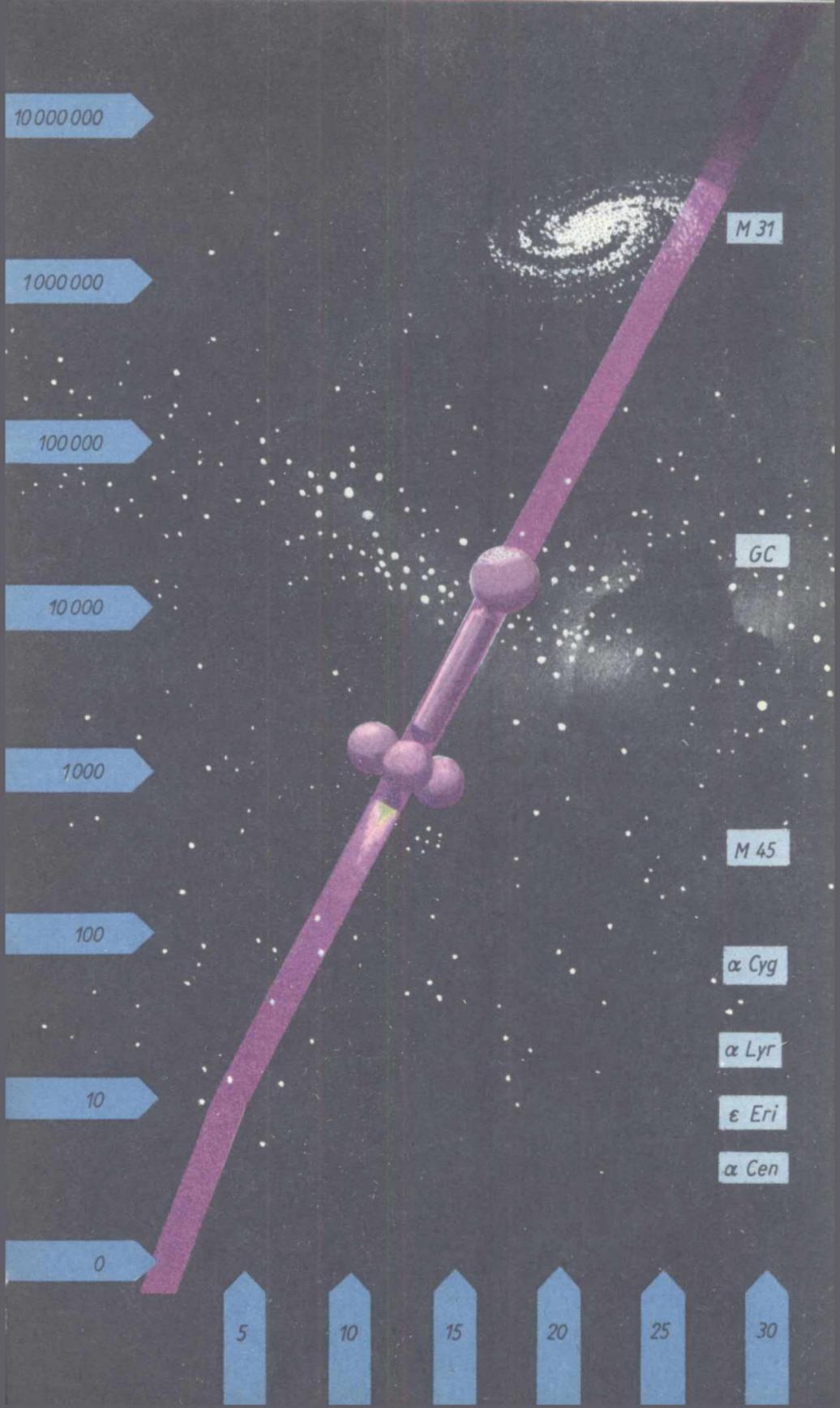
Die Sache hat aber einen Haken. So phantastisch uns nämlich die Konsequenzen der Relativitätstheorie in puncto Zeitproblem entgegenkommen, so sehr verderben sie uns die Realisierbarkeit der Antriebsrakete. Um zum Andromedanebel zu fliegen, müßte nämlich als Spitzengeschwindigkeit der Wert 99,999% der Lichtgeschwindigkeit erreicht werden. Dazu ist ein Massenverhältnis der Rakete 1 : 200 000 erforderlich. Auf jedes Kilogramm leere Rakete einschließlich Nutzmasse kämen 200 Tonnen Startmasse. Bereits bei diesem Wert schlägt es jedem Raketenkonstrukteur sofort die Sprache. Das ist aber erst der Anfang.

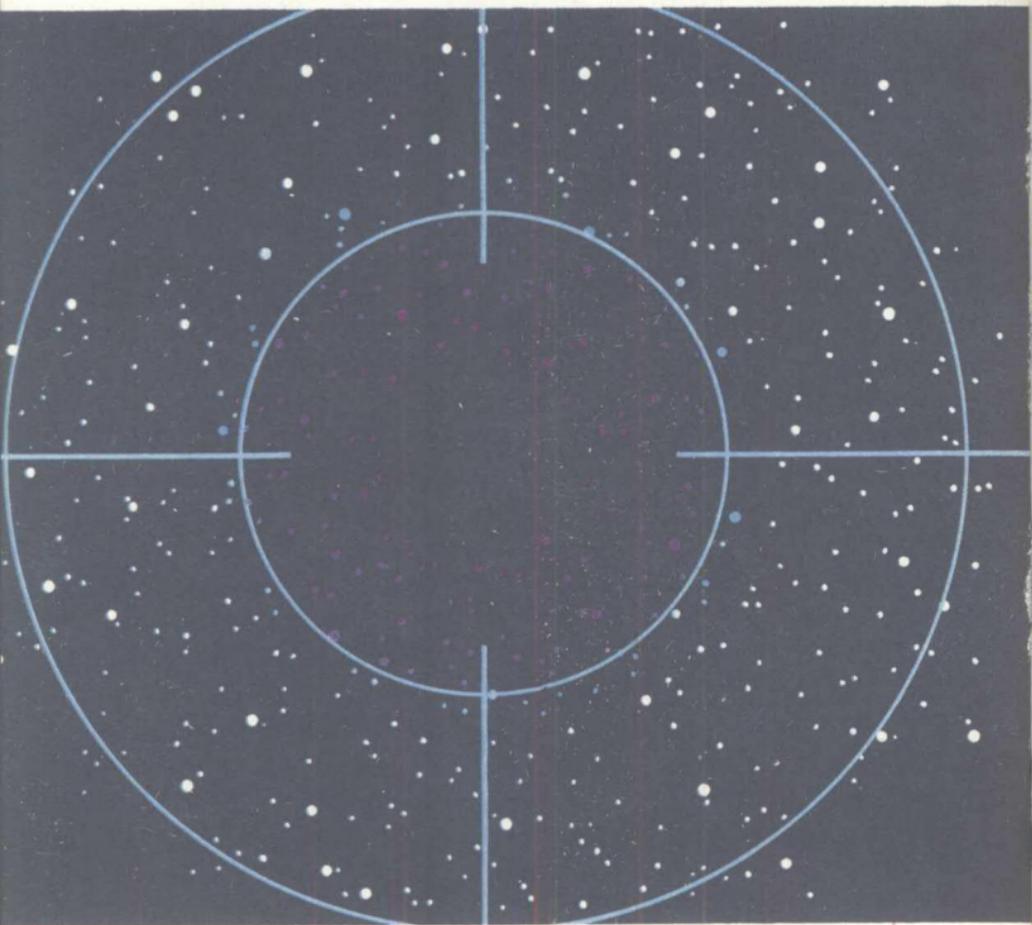
Es kommt nämlich noch dazu, daß wir als Arbeitsmedium für den Raketenmotor Gammastrahlung nehmen müßten, die bei der Elementarteilchenumwandlung mit der größten Energiefreisetzung, der Zerstrahlung von Teilchen und Antiteilchen, entsteht. Nach unserem jetzigen Wissen ist das die absolute Spitzenklasse unter den *denkbaren* Raketentreibstoffen. Wie man dieses Nonplusultra allerdings technisch »bändigen« soll, darüber gibt es nur vage Vermutungen. Raketen, bei denen elektromagnetische Strahlung als »Arbeitsgas« ausgestoßen wird, nennt man übrigens »Photonenraketen«. Über Photonenraketen gibt es sehr viele wissenschaftliche Untersuchungen, aber keinerlei konkrete Vorstellung zur praktischen Realisierung.

Um den niederschmetternden Konsequenzen auf dem Gebiet des Antriebes für die »Einstein-Raumschiffe«, wie wir sie bei unserem obigen Gedankenexperiment benutzten, zu entgehen, machte der amerikanische Physiker R. W. Bussard einen interessanten Vorschlag, der »realisierbarer« als die Photonenrakete aussieht, aber immer noch utopisch genug anmutet. Bussard schlägt vor, den Treibstoff nicht mitzuführen, sondern erst während des Fluges im interstellaren Raum »aufzulesen«. Benötigt wird dazu ein Kollektor mit einer Fläche von mehreren Millionen Quadratkilometern, der während des Fluges interstellares Gas aufammelt. Wegen der winzigen Gasdichte im interstellaren Raum muß natürlich die Kollektorfläche entsprechend groß sein. Ein Teil des aufgesammelten Gases wird in einem thermonuklearen Reaktor zur Energiegewinnung »verbrannt«. Mit dieser Energie wird der restliche Teil des Gases mit hoher Geschwindigkeit ausgestoßen, um den Schub zu erzeugen. Bussards Antriebsvorschlag arbeitet also nach dem Staustrahlprinzip. Wieviel Jahrhunderte Entwicklungsarbeit zu seiner Realisierung notwendig sind, läßt sich natürlich nicht absehen.

Übrigens macht uns nicht nur der Antrieb des »Einstein-Raumschiffes« Sorgen. Da gibt es beispielsweise ein Strahlungsproblem ungeahnten Ausmaßes zu bewältigen. Wegen der riesigen Geschwindigkeiten eines solchen Fluggerätes prallen die Atome und Staubpartikeln aus dem interstellaren Raum mit so großen Energien auf die Wandungen auf, daß sie eine tödliche Röntgen- und Gammastrahlung oder sogar Kernumwandlungen auslösen. Man würde daher einen unerhörten Aufwand an Abschirmung zu treiben haben.

Der Fahrplan für den interstellaren »Einstein-Express«. Über der im Raumschiff verflissenen Zeit in Jahren ist die erreichte Entfernung in Lichtjahren aufgetragen. Der Photonenantrieb schiebt und bremst jeweils mit $1g$ Beschleunigung. Rechts findet man bestimmte Reiseziele angegeben: Die Sterne Alpha Centauri, Epsilon Eridani, Alpha Lyrae, Alpha Cygni, das Siebengestirn (M 45), das Zentrum des Milchstraßensystems (GC) und den Andromedanebel (M 31).





Ein Blick aus dem Fenster des »Einstein-Raumschiffes«. Alle Sterne sind in Flugrichtung verschoben, ihre Strahlung wird um so mehr »verbläut«, je näher sie dem Zielpunkt der Flugrichtung stehen. Direkt in Flugrichtung ist in Form von Licht nichts mehr zu finden. Aus dem Licht ist durch die Frequenzverschiebung unsichtbare Ultraviolett- und Röntgenstrahlung geworden. Die Reisenden haben daher den Eindruck, sie fliegen in ein dunkles Loch hinein.

Bisher haben wir jedoch nur physikalisch-technische Aspekte verfolgt. Das Problem hat natürlich auch eine biologische Seite. Der Mensch kann nicht losgelöst von jeglicher Umwelt auf die Reise gehen; er benötigt zumindest einen Komplex lebenserhaltender Apparaturen, die ihm die irdische Umwelt im Weltraum ersetzen. Sie müssen völlig störfrei und nahezu unbegrenzt lange

arbeiten. Dieses ökologische System »Mensch—künstliche Umwelt« muß dabei so ökonomisch wie möglich angelegt sein. Es müßte daher stofflich völlig abgeschlossen sein und sollte seinen gesamten Energiebedarf von außerhalb beziehen. Es wird damit also nichts Geringeres als die Schaffung einer Erde im kleinen gefordert. Masse und Volumen dieser »Miniatuererde« werden auch bei fortgeschrittener Technik riesig sein, und dieser Umstand versetzt den Antriebsexperten die nächste kalte Dusche. Da das Massenverhältnis der »Einstein-Rakete« von der Reisegeschwindigkeit her festgelegt ist, bestimmt gerade dieses ökologische System die Raketendimensionen, die daher durchaus astronomisch ausfallen können.

Hinzu kommen völlig neuartige psychologische Probleme für die Besatzung. Bis zu ihrer Rückkehr sind auf der Erde Jahrtausende vergangen. Es ist fraglich, ob unter diesen Umständen der Rückflug überhaupt sinnvoll ist. Aus diesem Grunde wird der Flug zu einer anderen Zivilisation, wenn er in sehr ferner Zukunft einmal realisierbar sein sollte, wohl eher einer kosmischen »Auswanderung« gleichen als einer Forschungsexpedition im herkömmlichen Sinne.

Der Gedanke an interstellare Raumflüge ist deswegen unmittelbar mit der Vorstellung gekoppelt, daß sich die Menschheit in kosmischen Dimensionen ausbreiten wird, daß sie das Milchstraßensystem besiedelt. Es ist dies sicher die kühnste und grandioseste Perspektive, die wir uns für die Bewohner unseres kleinen Planeten *ausdenken* können. »Die Haupttätigkeit der höchstentwickelten Lebewesen im Universum kann die Besiedlung anderer Welten sein«, schrieb 1934 der »Vater der Kosmonautik«, Konstantin E. Ziolkowski.

Anhang

Das Drakesche Kosmogramm

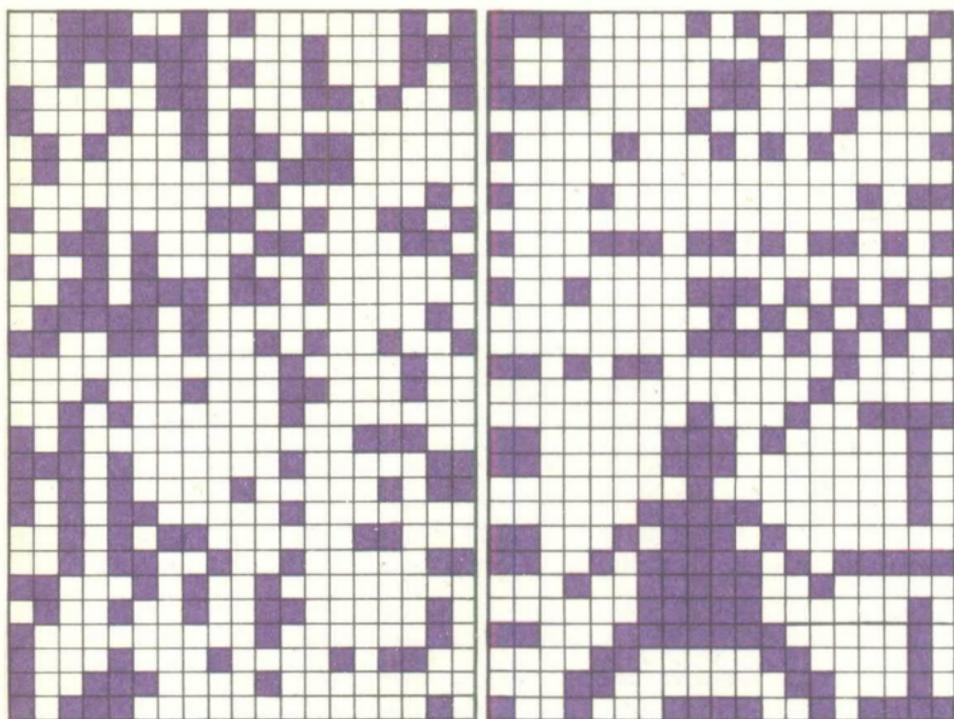
Das Kosmogramm besteht aus 551 Zeichen. Die Zahl 551 ist das Produkt der beiden Primzahlen 19 und 29. Wir vermuten daher eine zweidimensionale Anordnung, ein »Bild«, kein »Telegramm«. Wir ordnen L den schwarzen und 0 den weißen Bildpunkten zu. Es geht natürlich genauso umgekehrt. Die erste Möglichkeit, 19 Zeilen zu je 29 Rasterpunkten, gibt keine erkennbaren Punktkombinationen, während die zweite, 29 Zeilen zu je 19 Punkten, sofort auffällige Gruppierungen erkennen läßt.

Die menschenähnliche Figur im unteren Teil der Abbildung ist eine Darstellung eines Vertreters der fremden Zivilisation. Es besteht grobe Ähnlichkeit mit uns, Unterschiede in den Proportionen und am Kopf sind erkennbar.

Das große Quadrat in der linken oberen Ecke und die neun kleineren Objekte am linken Bildrand stellen das Planetensystem des betreffenden Wesens dar. Es enthält in der Reihenfolge vom Stern vier kleinere, einen mittelgroßen, zwei große, einen mittelgroßen und einen kleineren Planeten.

Die beiden Punktanordnungen rechts oben stellen stark schematisiert die Elektronenanordnung eines Kohlenstoffatoms (links) und eines Sauerstoffatoms (rechts) dar. Der Absender möchte begreiflich machen, daß sein »Leben« auf Kohlenstoffchemie und Sauerstoff basiert.

Rechts von den fünf innersten Planeten finden wir einige Zeichen, die als spezielle Dualzahlen gedeutet werden können, es sind die Platznummern der Planeten, und sie lauten L, L0, LLL, L00, L0LL (1, 2, 3, 4, 5). Die Be-



Entschlüsselungsversuch des Drakeschen Kosmogramms. Das Bild ist ohne Sinn, weil Zeilen und Spalten vertauscht sind (links). Korrekte Darstellung des Drakeschen Kosmogramms (rechts).

sonderheit an diesem Dualsystem besteht darin, jede Zahl aus einer ungeraden Anzahl von L's bestehen zu lassen. Deshalb mußte an die 3 und die 5 je ein L angehängt werden (wir würden schreiben $3 = LL$ und $5 = L0L!$). Mit diesem Schlüssel kann man die weiter rechts am 2., 3. und 4. Planeten stehenden Punktfolgen als Zahlen lesen. Sie lauten 11 (2. Planet), 2717 (3. Planet) und ungefähr 7 Milliarden (4. Planet) und geben die Zahl der Bewohner an. Die Zivilisation ist also offenbar auf dem 4. Planeten ansässig, besitzt aber bereits eine »Kolonie« auf dem 3. und eine Forschungsstation auf dem 2. Planeten.

Die symmetrische Anordnung von Strichen rechts unten besteht aus einer geraden Anzahl von L's, stellt also keine Zahl dar; das gilt aber nicht für die zwischen den vertikalen Strichen stehende Folge, die sich als duale 31 lesen läßt. Die beiden Striche dienen der Größenangabe des Wesens,

das 31mal so groß ist wie die Wellenlänge, auf der die Botschaft abgestrahlt wurde (das ist die einzige gemeinsame Länge, die Absender und Empfänger kennen).

Die Anordnung der vier L's zwischen den Beinen des Wesens, die nicht als Zahl interpretierbar ist, stellt wahrscheinlich ein Schlüsselwort aus der Sprache des Wesens dar, auf das man bei zukünftigen Sendungen achten muß.

Interessanterweise konnte jeder der Wissenschaftler den Teil der Botschaft enträtseln, der sein Fachgebiet betraf, so daß das gesamte Gremium, das Frank Drake mit diesem Kosmogramm testete, ungefähr hinter den Sinn kam. Wir sind ziemlich sicher, daß eine echte Botschaft von »außerhalb« nicht so aussehen wird. Die Art der Darstellung ist nämlich viel zu störanfällig. Wenn nur ein einziges Bit verlorenggeht, wird das Bild nämlich zur Unkenntlichkeit verzerrt.

Im November 1974 wurde nach dem Vorbild des Drakeschen Kosmogramms eine erste Informationssendung über die Erdbewohner mit dem 300-m-Radioteleskop von Arecibo (Puerto Rico) abgestrahlt. Das Bild bestand aus 23 mal 73 Punkten (Primzahlen!) und wurde mit dem zu radarastronomischen Untersuchungen eingesetzten Sender (Spitzenleistung 2,5 MW) bei 12,6 cm Wellenlänge gesendet. Um möglichst viele Sterne mit einem genügend großen Alter erreichen zu können, strahlte man die Sendung in Richtung auf den Kugelsternhaufen M 13, der gerade in die Hauptkeule der Richtungscharakteristik des Teleskops paßt. Abgebildet wurden zunächst die Zahlen 1 bis 7 in dualer und die Zahlen 8, 9 und 10 in oktaler (Basis 8) Darstellung. Mit den Zahlen 1, 6, 7, 8 und 15 charakterisierte man sodann die Elemente H, C, N, O und P und benutzte sie zur Wiedergabe der chemischen Formeln der DNS-Bestandteile. Schematisch abgebildet wurden weiterhin die Doppelhelix der DNS als das wesentliche Charakteristikum der irdischen Lebewesen, die Gestalt des Menschen, das Sonnensystem mit besonders hervorgehobener Erde und schließlich das sendende Teleskop. Die einzelnen Bilder wurden durch entsprechende Zahlenangaben (in Einheiten der Wellenlänge) charakterisiert.

»akzent« – die Taschenbuchreihe
mit vielseitiger Thematik:
Mensch und Gesellschaft,
Leben und Umwelt, Naturwissenschaft
und Technik. – Lebendiges Wissen
für jedermann, anregend und aktuell,
konkret und bildhaft.

Weitere Bände:

Peters, Mensch und Tierwelt

Rast, Aus dem Tagebuch der Erde

Lindner, Der Sternhimmel

Dorschner, Planeten -

Geschwister der Erde?

Freytag, Vom Wasser - zum Landleben

Kehnscherper, Auf der Suche nach Atlantis

Friedemann, Leben wir unter

kosmischen Einflüssen?