



Planeten und Raumfahrt

BAND 16



Tessloff Verlag





Fortschritte in der Raumfahrt haben unsere Kenntnisse über das Weltall revolutioniert. Einprägsam gibt **Dr. Erich Übelacker** einen Überblick über unser heutiges Wissen. Das Buch beschreibt die wichtigsten Planeten unseres Sonnensystems und erklärt die Grundlagen der Raumfahrt. Im Mittelpunkt steht jedoch die Erforschung der Planeten und ihrer Monde in den letzten Jahrzehnten. Ein kurzer Blick auf die Zukunft der Raumfahrt rundet das Thema ab.

In dieser Reihe sind bisher erschienen:

- | | | |
|--|-----------------------------------|--|
| Band 1 Unsere Erde | Band 32 Meereskunde | Band 66 Berühmte Ärzte |
| Band 2 Der Mensch | Band 33 Pilze, Moose und Farne | Band 67 Die Völkerwanderung |
| Band 3 Atomenergie | Band 34 Wüsten | Band 68 Natur |
| Band 4 Chemie | Band 35 Erfindungen | Band 69 Fossilien |
| Band 5 Entdecker | Band 36 Polargebiete | Band 70 Das Alte Ägypten |
| Band 6 Die Sterne | Band 37 Computer und Roboter | Band 71 Seeräuber |
| Band 7 Das Wetter | Band 38 Prähistorische Säugetiere | Band 72 Heimtiere |
| Band 8 Das Mikroskop | Band 39 Magnetismus | Band 73 Spinnen |
| Band 9 Der Urmensch | Band 40 Vögel | Band 74 Naturkatastrophen |
| Band 10 Fliegerei und Luftfahrt | Band 41 Fische | Band 75 Fahnen und Flaggen |
| Band 11 Hunde | Band 42 Indianer | Band 76 Die Sonne |
| Band 12 Mathematik | Band 43 Schmetterlinge | Band 77 Tierwanderungen |
| Band 13 Wilde Tiere | Band 44 Das Alte Testament | Band 78 Münzen und Geld |
| Band 14 Versunkene Städte | Band 45 Mineralien und Gesteine | Band 79 Moderne Physik |
| Band 15 Dinosaurier | Band 46 Mechanik | Band 80 Tiere - wie sie sehen,
hören und fühlen |
| Band 16 Planeten und Raumfahrt | Band 47 Elektronik | Band 81 Die Sieben Weltwunder |
| Band 17 Licht und Farbe | Band 48 Luft und Wasser | Band 82 Gladiatoren |
| Band 18 Der Wilde Westen | Band 49 Leichtathletik | Band 83 Höhlen |
| Band 19 Bienen und Ameisen | Band 50 Unser Körper | Band 84 Mumien |
| Band 20 Reptilien und Amphibien | Band 51 Muscheln und Schnecken | Band 85 Wale und Delphine |
| Band 21 Der Mond | Band 52 Briefmarken | Band 86 Elefanten |
| Band 22 Die Zeit | Band 53 Das Auto | Band 87 Türme |
| Band 23 Von der Höhle bis
zum Wolkenkratzer | Band 54 Die Eisenbahn | Band 88 Ritter |
| Band 24 Elektrizität | Band 55 Das Alte Rom | Band 89 Menschenaffen |
| Band 25 Vom Einbaum zum
Atomschiff | Band 56 Ausgestorbene Tiere | Band 90 Der Regenwald |
| Band 26 Wilde Blumen | Band 57 Vulkane | Band 91 Brücken |
| Band 27 Pferde | Band 58 Die Wikinger | Band 92 Papageien und Sittiche |
| Band 28 Die Welt des Schalls | Band 59 Katzen | Band 93 Olympia |
| Band 29 Berühmte Wissenschaftler | Band 60 Die Kreuzzüge | Band 94 Samurai |
| Band 30 Insekten | Band 61 Pyramiden | Band 95 Haie und Rochen |
| Band 31 Bäume | Band 62 Die Germanen | Band 96 Schatzsuche |
| | Band 63 Foto und Film | Band 97 Hexen und Hexenwahn |
| | Band 64 Die Alten Griechen | |
| | Band 65 Die Eiszeit | |

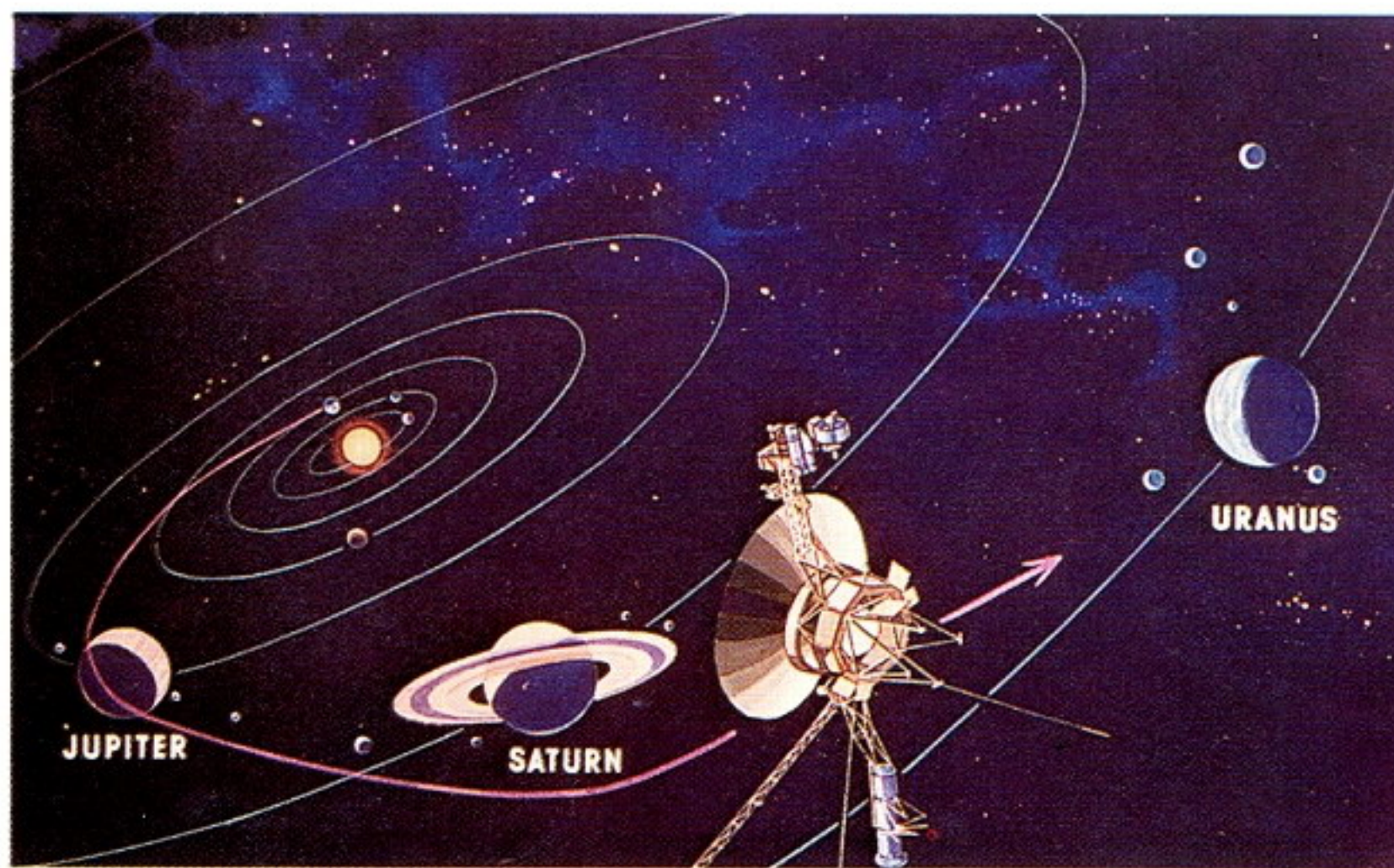
Tessloff  Verlag

Ein **WAS
S
WAS** Buch

Planeten und Raumfahrt

Von Dr. Erich Übelacker

Illustriert von Frank Kliemt
und Manfred Kostka



Voyager und Planeten.

Tessloff  **Verlag**

Vorwort

Seit Jahrtausenden beobachten wir Menschen aufmerksam die Planeten, seit Jahrhunderten träumt man davon, diese Nachbarwelten zu besuchen. Am 4. 10. 1957 startete die Sowjetunion den ersten künstlichen Satelliten. Dieses Datum wird oft als Beginn des Raumfahrtzeitalters bezeichnet, auch wenn das Ereignis ohne die Vorarbeit vieler Forschergenerationen nicht möglich gewesen wäre. Bisherige Höhepunkte dieses neuen Zeitalters waren die erste Mondlandung der amerikanischen Apolloastronauten und die Reise der Raumsonde Voyager 2 zu den äußeren Planeten. Aber auch unsere Nachbarn im Sonnensystem Merkur, Venus und Mars wurden uns durch die Raumfahrt zum Greifen nahe gebracht. Selbst in den besten Fernrohren erscheinen die Planeten nur als verwaschene Scheibchen oder Sichel mit wenigen Oberflächendetails. Heute besitzen wir herrliche Aufnahmen von Dünenlandschaften auf dem Mars und der bizarren Kraterwelt des Merkur. Radaraugen blicken durch die dichten Venuswolken, selbst von den fernsten Monden des Uranus und Neptun besitzen wir genaue Landkarten. Hauptforschungsobjekt der Raumfahrt ist jedoch unser eigener, von Umweltzerstörung und Artentod bedrohter blauer Planet. Satelliten aller Art beobachten das Wettergeschehen sowie Meeresströmungen und ökologische Veränderungen. Die moderne Telekommunikation wäre ohne Raumfahrt

undenkbar. Viele wissenschaftliche Experimente und Produktionsverfahren können nur in Raumstationen im Zustand der Schwerelosigkeit durchgeführt werden. Trotz großer anfänglicher Zweifel der Mediziner scheint der Mensch in der Lage zu sein, auch mehrjährige Raumreisen zu unternehmen. So ist es durchaus möglich, daß ein junger Leser dieses Buches einmal zum Mars fliegen wird. Eine Besiedlung des Planeten wird jedoch wohl immer eine Utopie bleiben. Dies gilt auch für Flüge zu anderen Sonnensystemen, die oft in Science-fiction-Büchern beschrieben werden.

Dieses Buch beschreibt zunächst die wichtigsten Mitglieder unseres Sonnensystems, wobei Sonne und Mond etwas zu kurz kommen, da ihnen eigene WAS IST WAS-Bände gewidmet sind. Danach werden zum Verständnis der Raumfahrt nötige Begriffe wie Rakete, Fluchtgeschwindigkeit, Raumsonde und Synchronbahn erklärt. Im Mittelpunkt soll jedoch die Erforschung der Planeten und ihrer Monde in den letzten Jahrzehnten stehen. In der kurzen Zeit zwischen 1960 und heute haben wir dank der Raumfahrt zehnmal mehr von ihnen erfahren, als alle früheren Forschergenerationen mit ihren Fernrohren auf ihnen beobachten konnten. Ein kurzer Blick auf die Zukunft der Raumfahrt soll das Buch abrunden.

Erich Übelacker

WAS IST WAS, Band 16

■ Dieses Buch ist auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

Bildquellennachweis:

ESA: 26, 41

Don Dixon: 23u

Hansen Planetarium Salt Lake City: 6, 13

NASA: 20ol und or, 21, 22, 23o, 24, 25, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40

Planetarium Hamburg: 11, 12l und r, 17ul, 22u, 46

Okapia: 17, 21

Copyright © 1993 Tessloff Verlag, Nürnberg

Die Verbreitung dieses Buches oder von Teilen daraus durch Film, Funk oder Fernsehen, der Nachdruck oder die fotomechanische Wiedergabe sind nur mit Genehmigung des Tessloff Verlages gestattet.

ISBN 3-7886-0256-2

Inhalt

Das Sonnensystem – unsere Heimat im Weltall

Was ist ein Planet?	4
Liegt die Sonne im Mittelpunkt des Weltalls?	5
Seit wann beobachtet man die Planeten?	5
Warum umkreisen die Planeten die Sonne?	7
Wie bewegt sich unsere Erde?	8
Wer entdeckte Uranus, Neptun und Pluto?	9
Warum wurde die Erde zum Planeten des Lebens?	9
Was sind Monde?	11
Was versteht man unter einem Planetoiden?	12
Was sind Kometen?	12
Was kann ich mit Feldstecher und Fernrohr auf den Planeten beobachten?	13

Raketen und Satelliten

Wie funktioniert eine Rakete?	14
Warum sind Raketen für die Raumfahrt geeignet?	15
Was ist ein Satellit?	17
Warum umkreist ein Satellit die Erde?	17
Gibt es besonders günstige Satellitenbahnen?	19
Was ist eine Raumsonde?	20
Was ist eine Raumstation?	20
Hat die Raumfahrt einen wirtschaftlichen Nutzen?	21
Wie hilft die Raumfahrt den Astronomen?	23
Was ist eine Raumfähre?	24
Wie lange kann ein Mensch im Weltraum leben?	25
Macht Weltraummüll die Raumfahrt bald unmöglich?	26

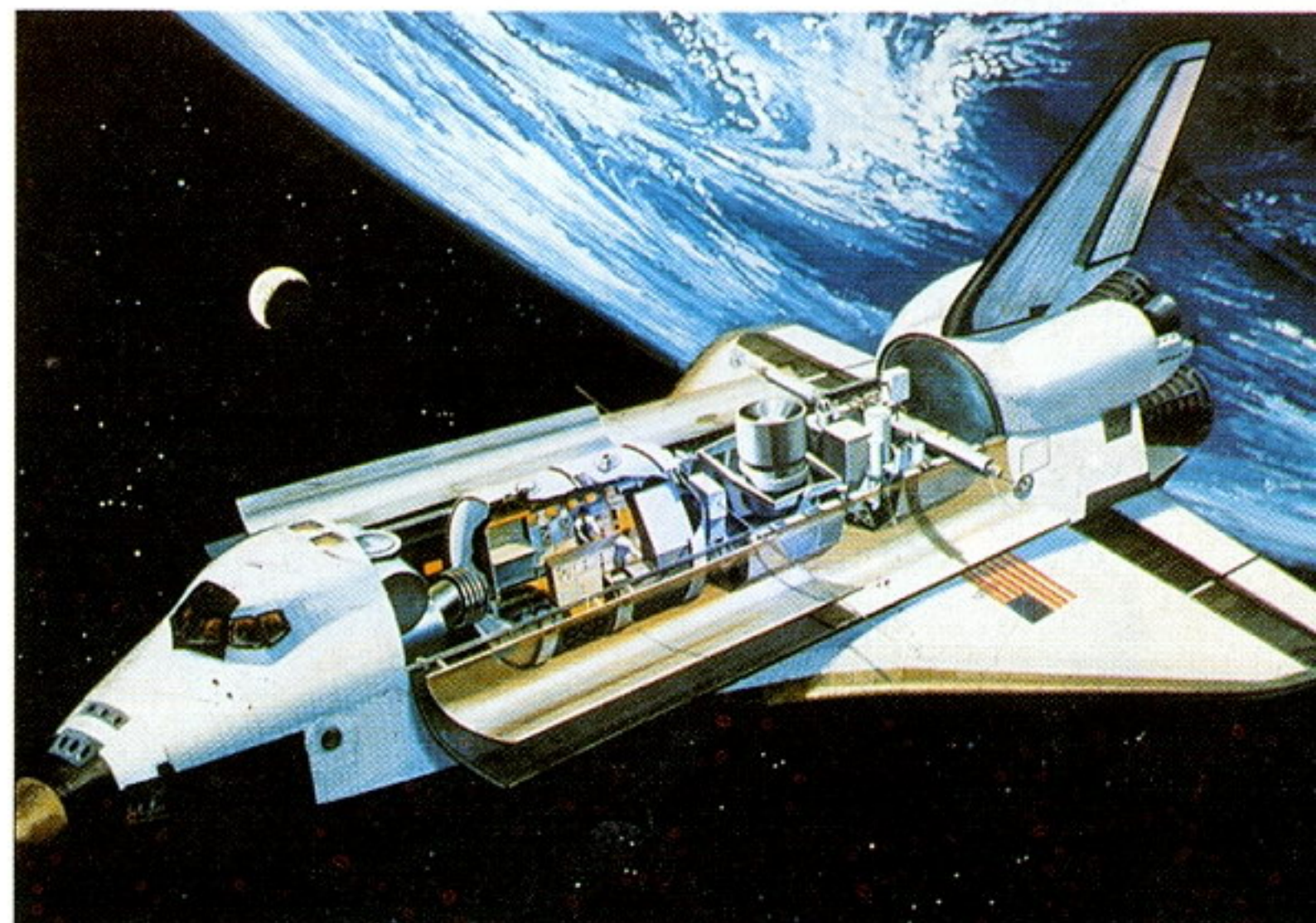
*Der US-Weltraumtransporter
„Space Shuttle“ mit dem
in Bremen gebauten europäischen
Weltraumlabor „Spacelab“.
Beide Systeme können
wiederverwendet werden.*

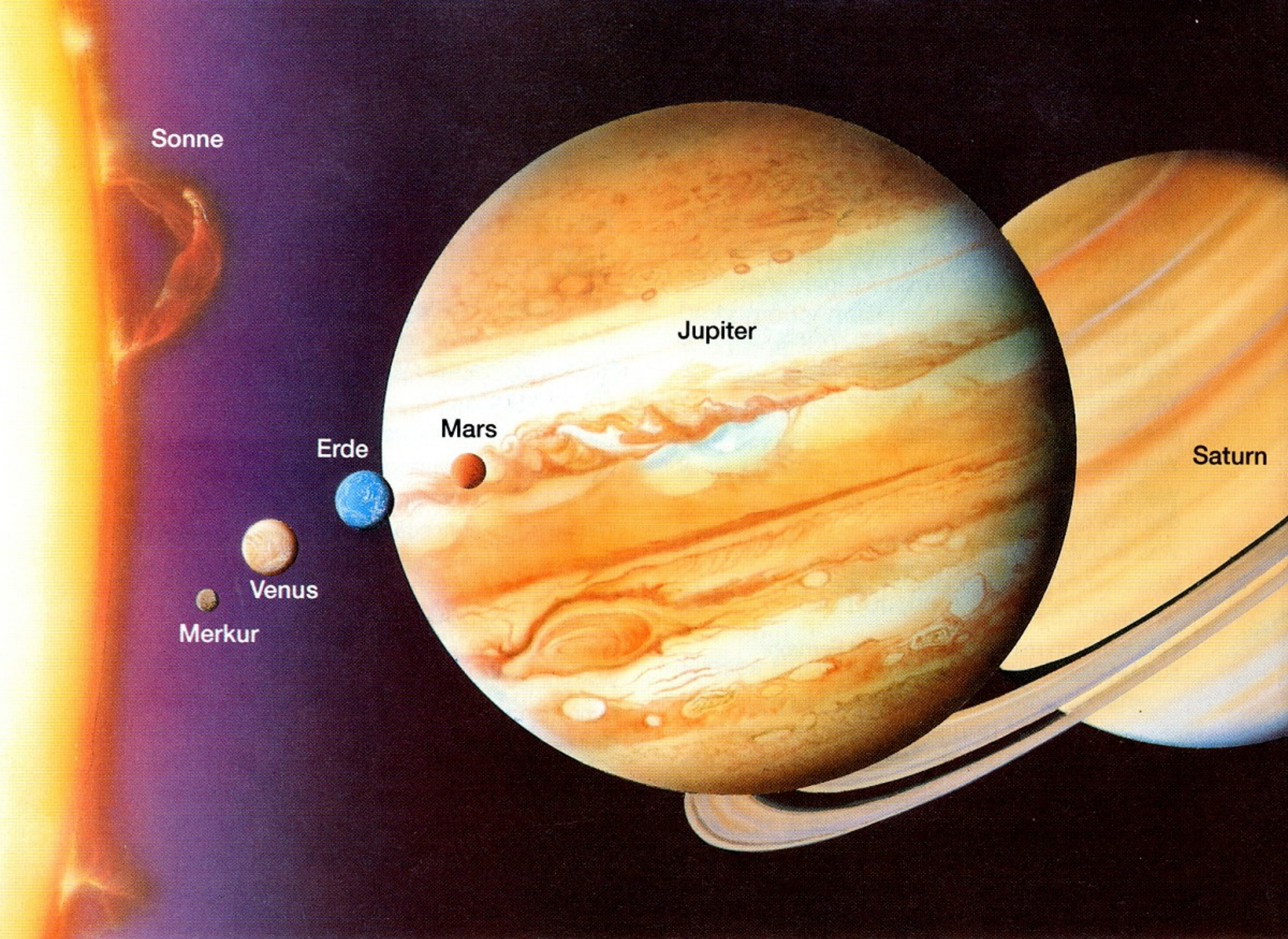
Raumsonden erforschen das Sonnensystem

Kann man zur Sonne fliegen?	28
Wie sieht es auf Merkur aus?	29
Gibt es Leben auf der Venus?	30
Wie alt ist der Mond?	32
Gab es früher Marsbewohner?	33
Umkreisen Raumstationen den Mars?	35
Wie lange fliegt man zu Jupiter?	35
Wie viele Jupitermonde gibt es?	36
Sind die Saturnringe Bruchstücke zertrümmerter Welten?	37
Können Monde eine Atmosphäre haben?	38
Warum ist Uranus grün?	38
Was entdeckte Voyager 2 im Neptunsystem?	39
Kann man zu Pluto fliegen?	40
Gibt es noch weitere Planeten?	41
Gibt es auch Kometensonden?	41

Die Zukunft der Raumfahrt

Werden Menschen einmal zum Mars fliegen?	43
Haben andere Sonnen auch Planeten?	44
Wird man einmal zu Sirius fliegen?	45
Ist eine Reise zum Andromedanebel möglich?	45
Kann man Kontakte zu anderen Zivilisationen aufnehmen?	47
Gibt es Ufos?	47
Wann stirbt die Sonne?	48





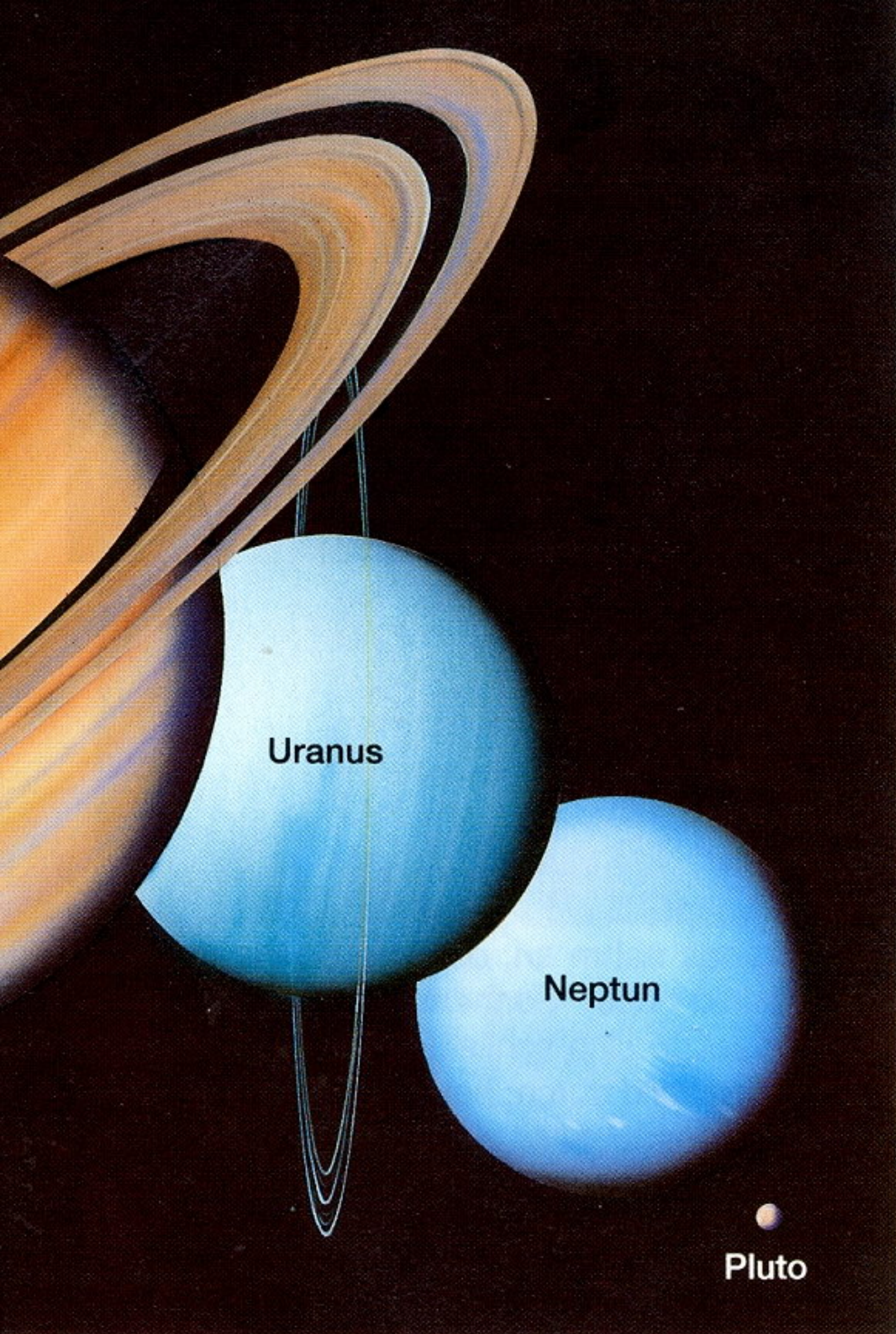
Das Sonnensystem – unsere Heimat im Weltall

Was ist ein Planet?

Wenn man in einer klaren Nacht den Himmel beobachtet, so erkennt man mit bloßem Auge etwa 3000 Sterne. Fast alle diese Lichtpunkte sind in Wirklichkeit ferne Sonnen, die man Fixsterne nennt. Sie sind so weit entfernt, daß ein ganzes Menschenleben nicht ausreicht, zu erkennen, wie sie sich untereinander bewegen. Sie bilden daher immer dieselben Figuren, die Sternbilder. Schon vor Jahrtausenden fiel den Menschen jedoch auf, daß es einige wenige Sterne gibt, die gegenüber dem immer gleichen Himmelshintergrund ihren

Standort ändern. Diese oft auffallend hellen Gestirne nannte man Wandelsterne oder Planeten.

Heute wissen wir, daß unsere Sonne ein ganz normaler Fixstern ist, der in seinem Inneren Kernenergie erzeugt, die er unter anderem in Form von Licht und Wärme abstrahlt. Um die selbst leuchtende Sonne kreisen kleinere Gestirne, die Planeten. Sie erzeugen kein eigenes Licht, sondern werden von der Sonne angestrahlt. Auch unsere Erde ist ein solcher Planet. Innerhalb der Erdbahn umkreisen Merkur und Venus die Sonne, außerhalb der Erdbahn Mars, die „Riesenplaneten“ Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun, sowie der



Die Sonne und ihre neun großen Planeten im Größenvergleich: Erde, Venus und Mars sind gemessen an den Riesenplaneten Jupiter und Saturn verhältnismäßig kleine Himmelskörper.

kleine Pluto. Die meisten Planeten werden von Monden begleitet. Auch unzählige Kleinplaneten und Kometen gehören zur Familie unserer Sonne, die man „das Sonnensystem“ nennt.

Früher nahmen die Menschen an, unsere

Liegt die Sonne im Mittelpunkt des Weltalls?

Erde sei das Zentrum des Weltalls. Später glaubte man, die Sonne stehe im Mittelpunkt des Universums. Heute wissen wir, daß die Sonne nur einer von rund 200 Milliarden Sternen einer riesigen Weltinsel ist, die man Milchstraßensystem

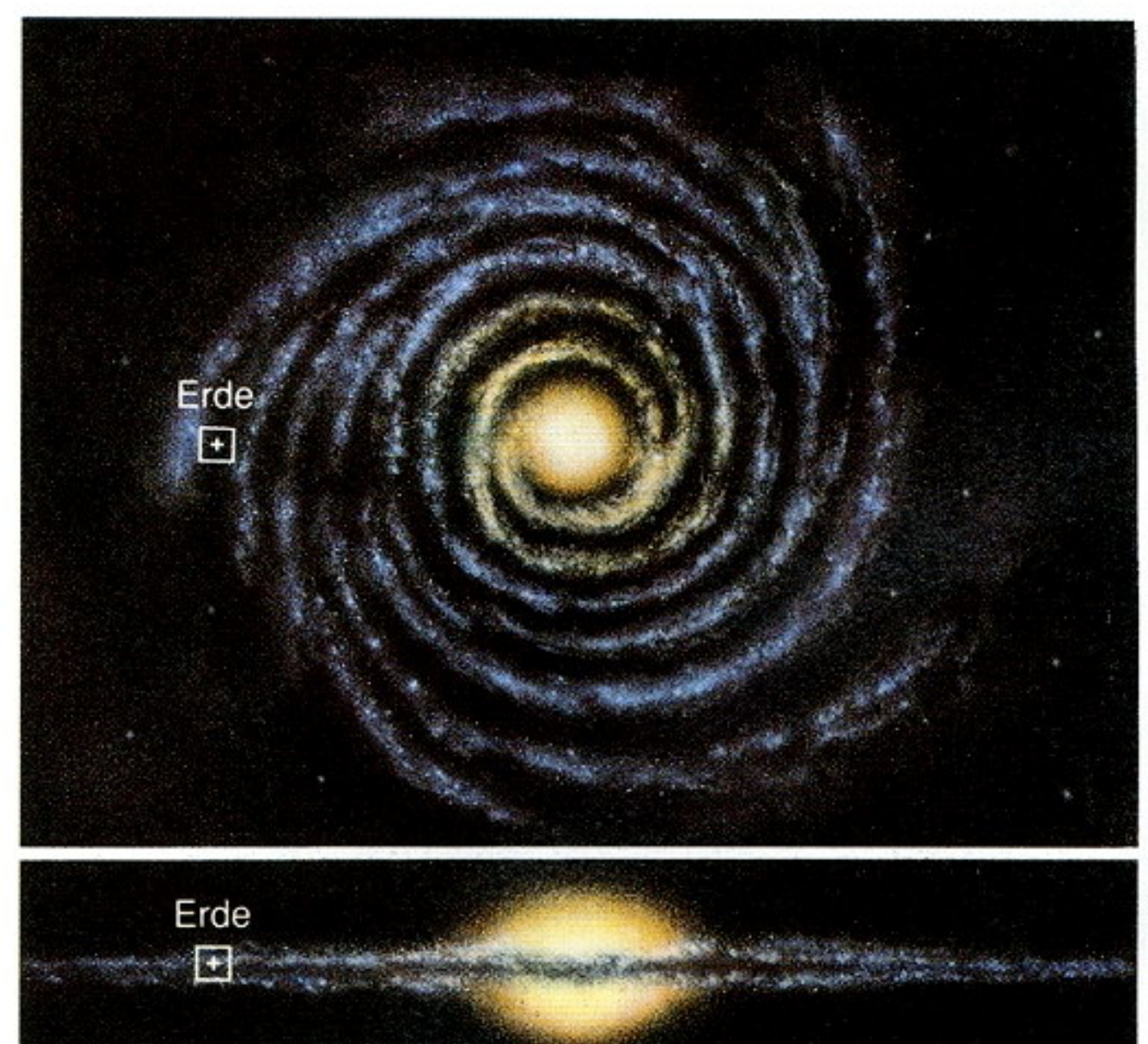
nennt. Man muß sich darunter eine große Scheibe aus Sternen, Gas und Staub vorstellen. Unser Sonnensystem befindet sich nicht etwa in der Mitte dieser Scheibe, sondern eher am Rand. Ähnlich wie die Planeten die Sonne umkreisen, dreht sich unser ganzes Sonnensystem einmal in 220 Millionen Jahren um das Zentrum der Galaxis, wie man das Milchstraßensystem auch nennt. Dieses hat übrigens auch keine Sonderstellung im Weltall, sondern ist nur eine von vielen Milliarden Galaxien im uns bekannten Teil des Universums. Die Astronomen nehmen an, daß alle Orte des Weltalls gleichberechtigt sind, so daß es wohl überhaupt keinen echten Mittelpunkt gibt.

Schon in grauer Vorzeit beschäftigten sich unsere Vorfahren mit den Planeten, zu denen man früher auch Sonne und Mond zählte. Viele alte Völker sahen in den Wandelsternen Gottheiten, und die Priester versuchten, die Gesetze des Plane-

Seit wann beobachtet man die Planeten?

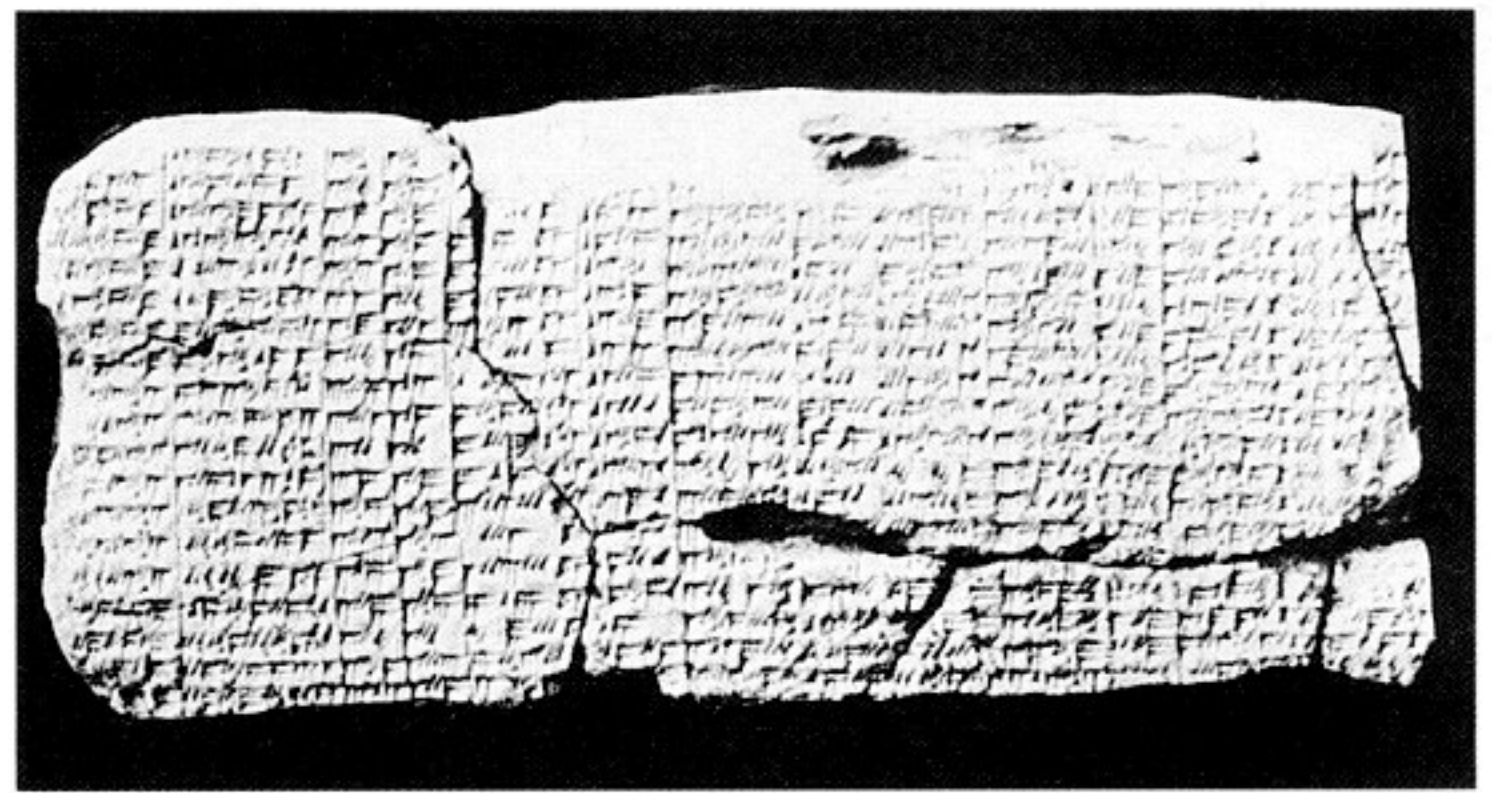
Unsere Sonne ist nur einer von 200 Milliarden Sternen des Milchstraßensystems. Wir befinden uns in den Außenbezirken dieser großen Weltinsel (von oben und von der Seite) und umkreisen ihr Zentrum.

Erde



tenlaufs zu ergründen, um das Verhalten dieser Götter deuten zu können. In Babylon stellte man schon vor rund 4000 Jahren Tafeln auf, in denen Planetenstellungen und gleichzeitig eingetretene irdische Ereignisse gegenübergestellt wurden. Diese Tafeln wurden später bei ähnlichen Konstellationen dazu benutzt, Dürreperioden, Kriege und Seuchen vorherzusagen. So entstand der Sternenglaube, die Astrologie. Um das Jahr 600 v. Chr. hatten die Babylonier bereits erstaunliche astronomische Kenntnisse. Sie bestimmten den mittleren Abstand zwischen zwei Vollmondstellungen, den synodischen Monat, zu 29,530641 Tagen. Der heutige Wert ist ganz ähnlich, nämlich 29,530589 Tage! Den Zeitraum zwischen zwei ähnlichen Stellungen der Venus zur Erde gaben die Babylonier mit 583,91 Tagen an. Heute, im Computerzeitalter, gilt der Wert 583,92 Tage.

Die Inkas in Südamerika erreichten ähnliche Genauigkeiten, die alten Griechen erkannten wohl als Erste die Kugelgestalt

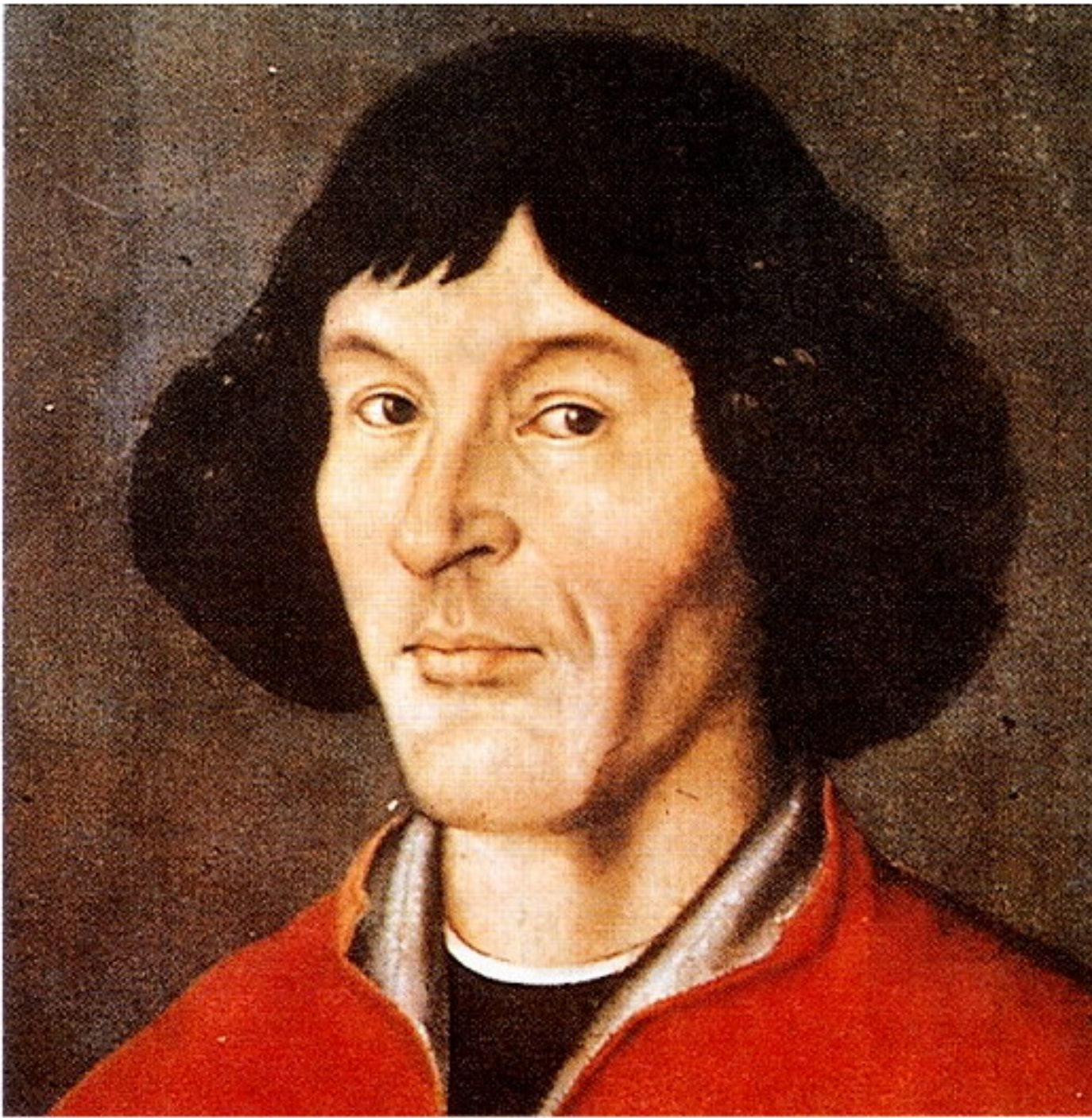


Schon die alten Babylonier hatten, wie diese Tafel zeigt, erstaunliche astronomische Kenntnisse.

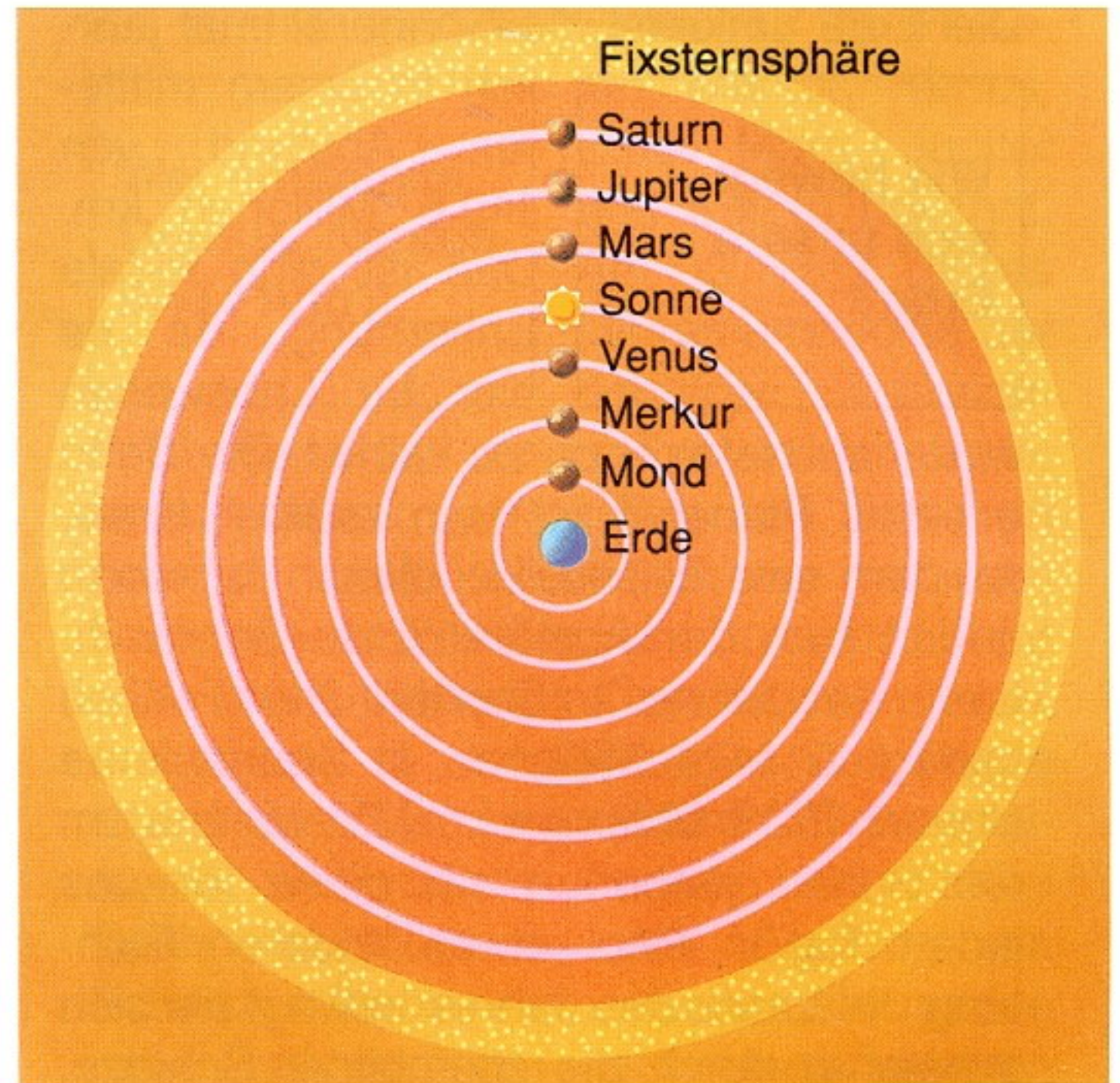
der Erde. Eratosthenes, der etwa von 276 bis 194 v. Chr. lebte, bestimmte den Erdumfang. Er kam auf umgerechnet 39 690 km, was sehr genau dem heutigen Wert von 40 000 km entspricht. Aristarch von Samos nahm an, daß die Sonne den Mittelpunkt des Sonnensystems bildet, jedoch setzte sich schließlich das geozentrische Weltbild durch, bei dem die Erde im Zentrum des Weltalls stand. Erst Nikolaus Kopernikus, der von 1473–1543 n. Chr. lebte, verhalf der Wahrheit zum Durchbruch und setzte die Sonne endgültig in den Mittelpunkt.

Die wichtigsten Daten der 9 Planeten : Sie werden mit dem Fortschritt der Raumfahrt immer genauer.

	Astronomisches Zeichen	Durchmesser (km)	Umlaufzeit um Sonne rund	Mittlere Entf. von Sonne (Mill. km)	Dauer einer Rotation	Temperatur an Oberfl. (°C)	Bisher bekannte Monde
MERKUR	☿	4 840	88 Tage	58	58,6 Tage	−183° bis +467°	–
VENUS	♀	12 200	225 Tage	108	243,1 Tage	+480°	–
ERDE	♂	12 756	1 Jahr	149,6	23 Std. 56 Min.	−70° bis +56°	1
MARS	♂	6 770	1,88 Jahre	228	24 Std. 37 Min.	−150° bis + 20°	2
JUPITER	♃	140 720	11,86 Jahre	778	9 Std. 55 Min.	−130°	16
SATURN	♄	120 000	29,46 Jahre	1 426	10 Std. 14 Min.	−150°	23
URANUS	♅	51 800	84,02 Jahre	2 868	16 Std. 50 Min.	−183°	15
NEPTUN	♆	49 500	164,8 Jahre	4 494	16 Std. 3 Min.	−160°	8
PLUTO	♇	2 300	247,6 Jahre	5 899	6,39 Tage		1



Nikolaus Kopernikus, der Schöpfer des heliozentrischen Weltbildes. Er zeigte, daß die Erde nicht im Zentrum des Universums steht.



Das geozentrische Weltbild: Jahrtausende glaubten die Menschen, daß die Erde der Mittelpunkt des Weltalls sei.

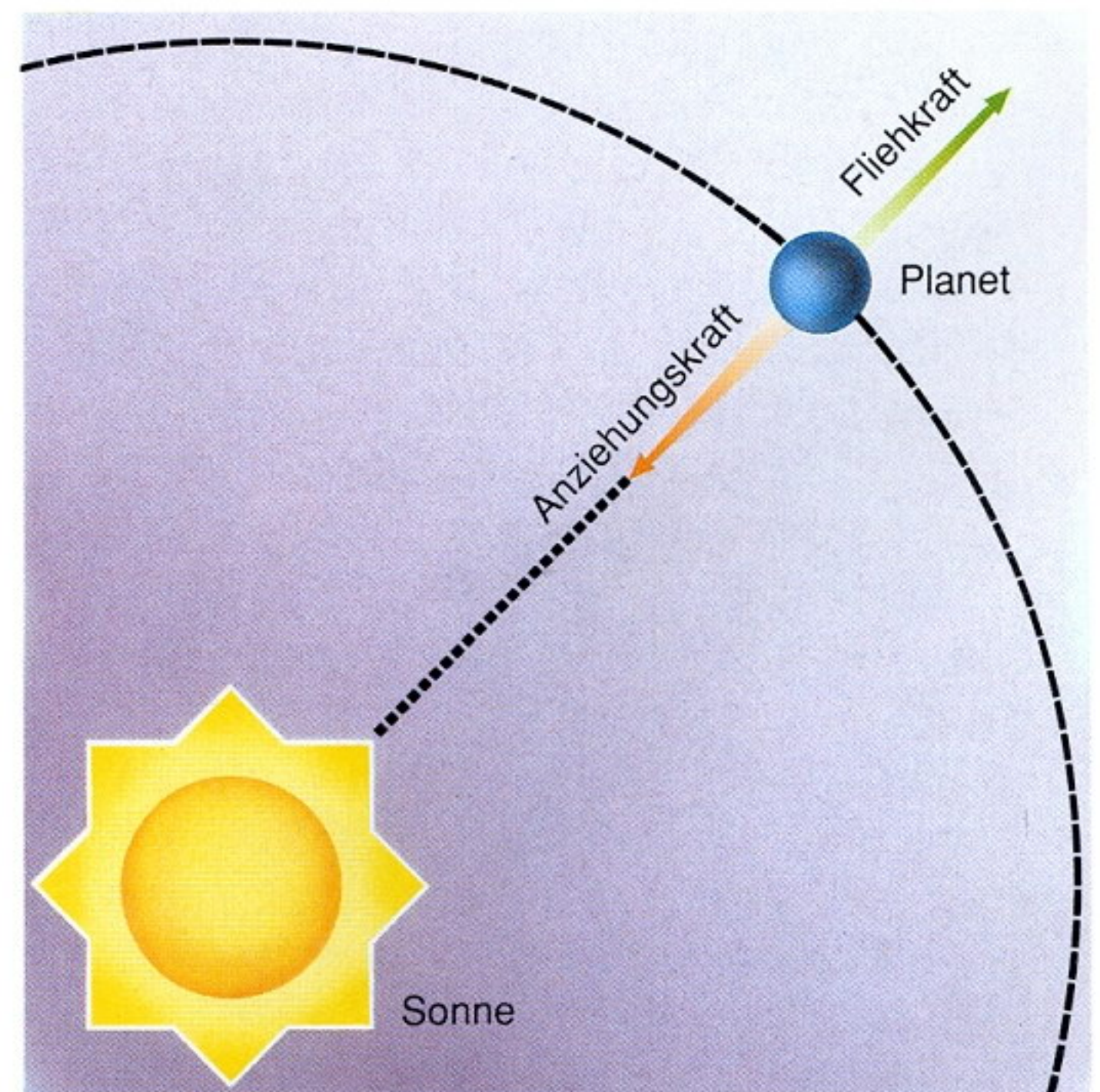
Kopernikus nahm an, daß alle Planeten auf Kreisbahnen um die Sonne laufen. Der große deutsche Astronom Johannes Kepler (1571–1630) fand jedoch heraus,

**Warum
umkreisen
die Planeten
die Sonne?**

daß die Planetenbahnen streng genommen Ellipsen sind, auch wenn sie fast wie Kreise aussehen. Er stellte die Keplerschen Gesetze auf, nach denen sich alle Satelliten, Monde und Planeten bewegen. Der englische Physiker Isaac Newton (1634–1727) fand das Gravitationsgesetz, welches unter anderem besagt, daß sich alle Körper gegenseitig anziehen. Diese Anziehungskraft ist um so größer, je massereicher die Körper sind, und verringert sich sehr schnell, wenn der Abstand zwischen ihnen vergrößert wird. Auch die Sonne zieht ihre Planeten an. Sie würden auf die Sonne stürzen, wenn sie diese nicht umkreisen würden. Bei der Umkreisung tritt eine Fliehkraft auf, welche die Planeten nach außen ziehen will. Die nach innen gerichtete Anziehungskraft und die nach

außen gerichtete Fliehkraft halten sich die Waage, so daß der Planet weder auf die Sonne zufliegt, noch in die Tiefen des Alls geschleudert wird, sondern auf seiner Bahn bleibt.

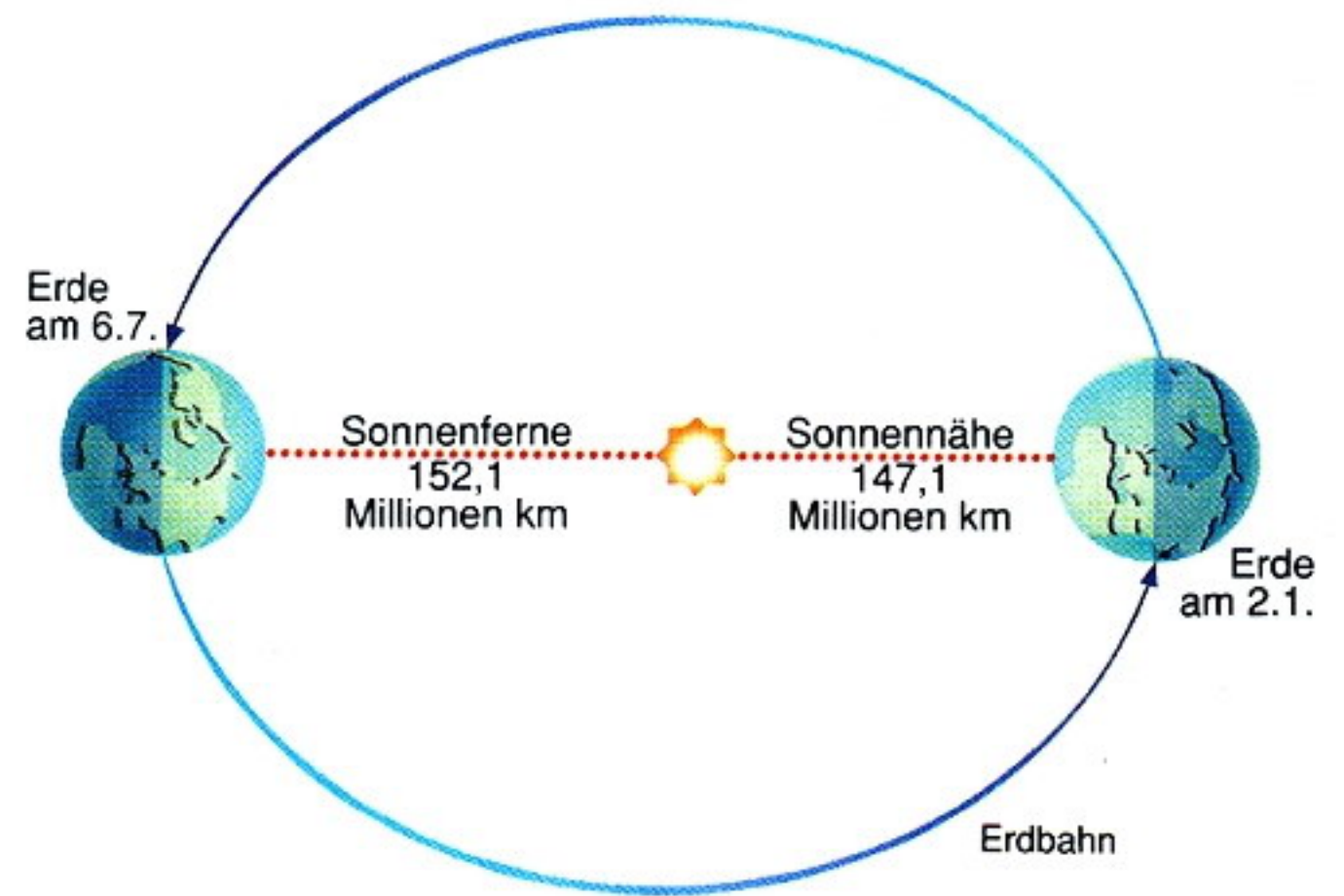
Anziehungskraft und Fliehkraft halten sich die Waage, so daß der Planet auf seiner Bahn bleibt.



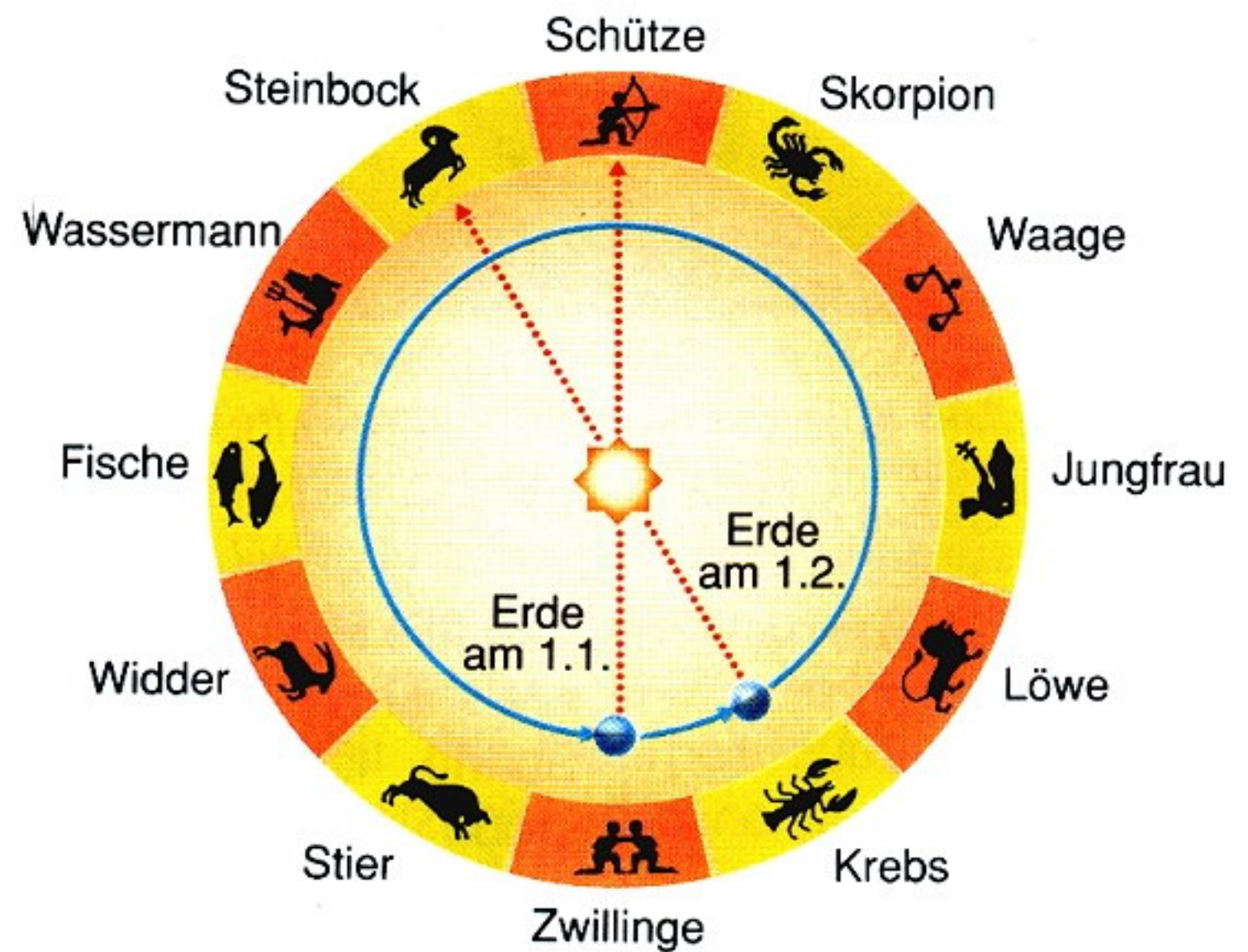
Die Erde umkreist die Sonne einmal jährlich in einem mittleren Abstand von 149,6 Millionen km. Das ist eine ideale Entfernung, da es hier für Lebewesen

Wie bewegt sich unsere Erde?

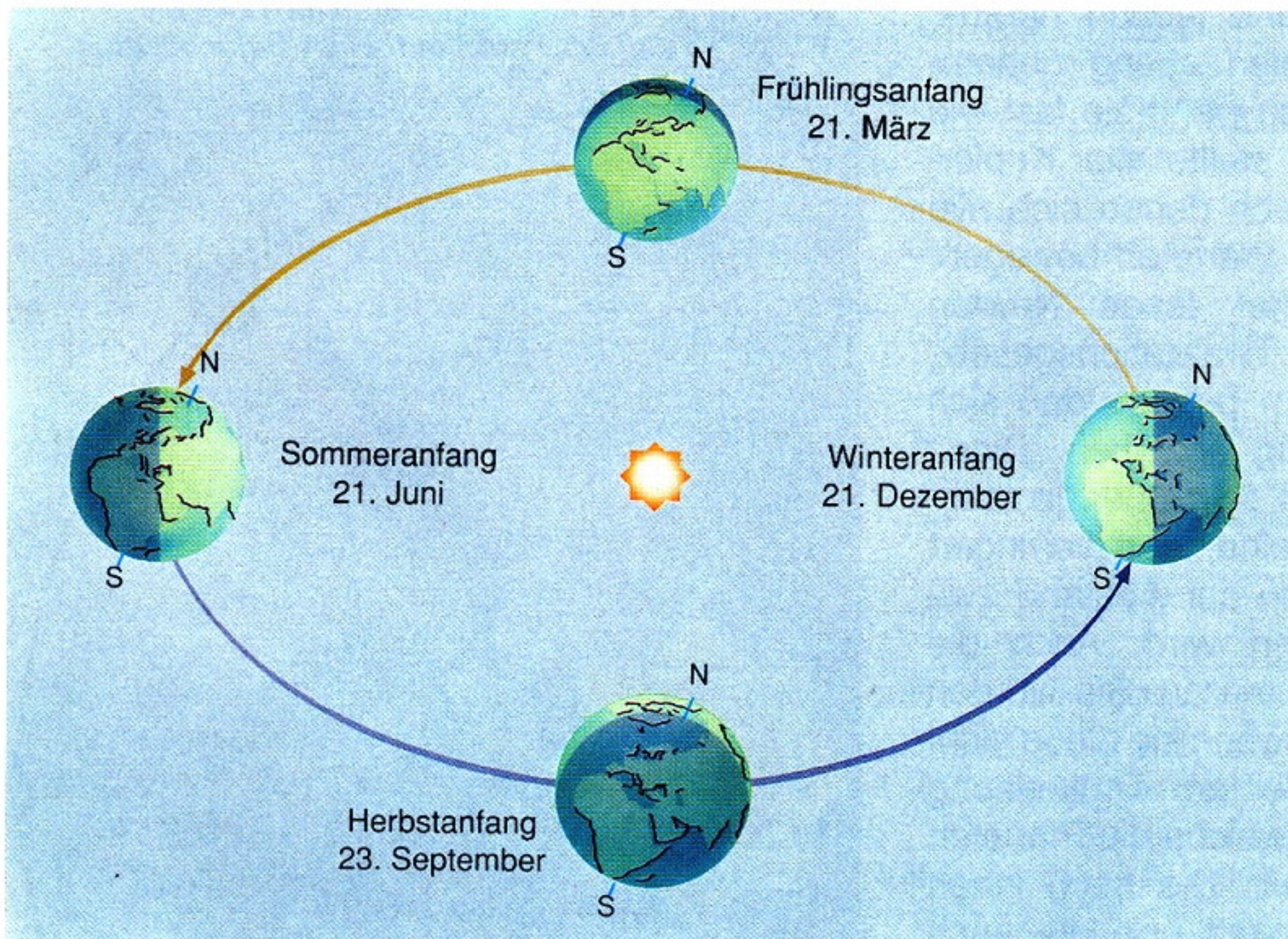
weder zu warm noch zu kalt ist. Die Bahn unseres Planeten ist kein exakter Kreis, sondern eine Ellipse. Bei dieser Bahnform ändert sich der Abstand Erde–Sonne im Laufe des Jahres. In Sonnennähe (Perihel) beträgt er 147,1 Millionen, in Sonnenferne (Aphel) 152,1 Millionen km. Da wir uns um die Sonne drehen, steht diese für uns jeden Tag in einer etwas anderen Richtung. Im Laufe des Jahres bewegt sie sich scheinbar durch die Sternbilder Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische, Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Waage, Skorpion und Schlangenträger. Die scheinbare Sonnenbahn am Himmel nennt man Ekliptik. Am 1. Januar steht die Sonne im Schützen, den man dann nicht sehen kann, da das Sternbild mit der Sonne zusammen am Tageshimmel ist und von dieser überstrahlt wird. Die Erde dreht sich außerdem in knapp 24 Stunden



Die Erdbahn ist kein genauer Kreis, sondern eine Ellipse. Ähnlich ist es bei den anderen Planeten.



Die scheinbare Wanderung der Sonne durch die Tierkreissternbilder.

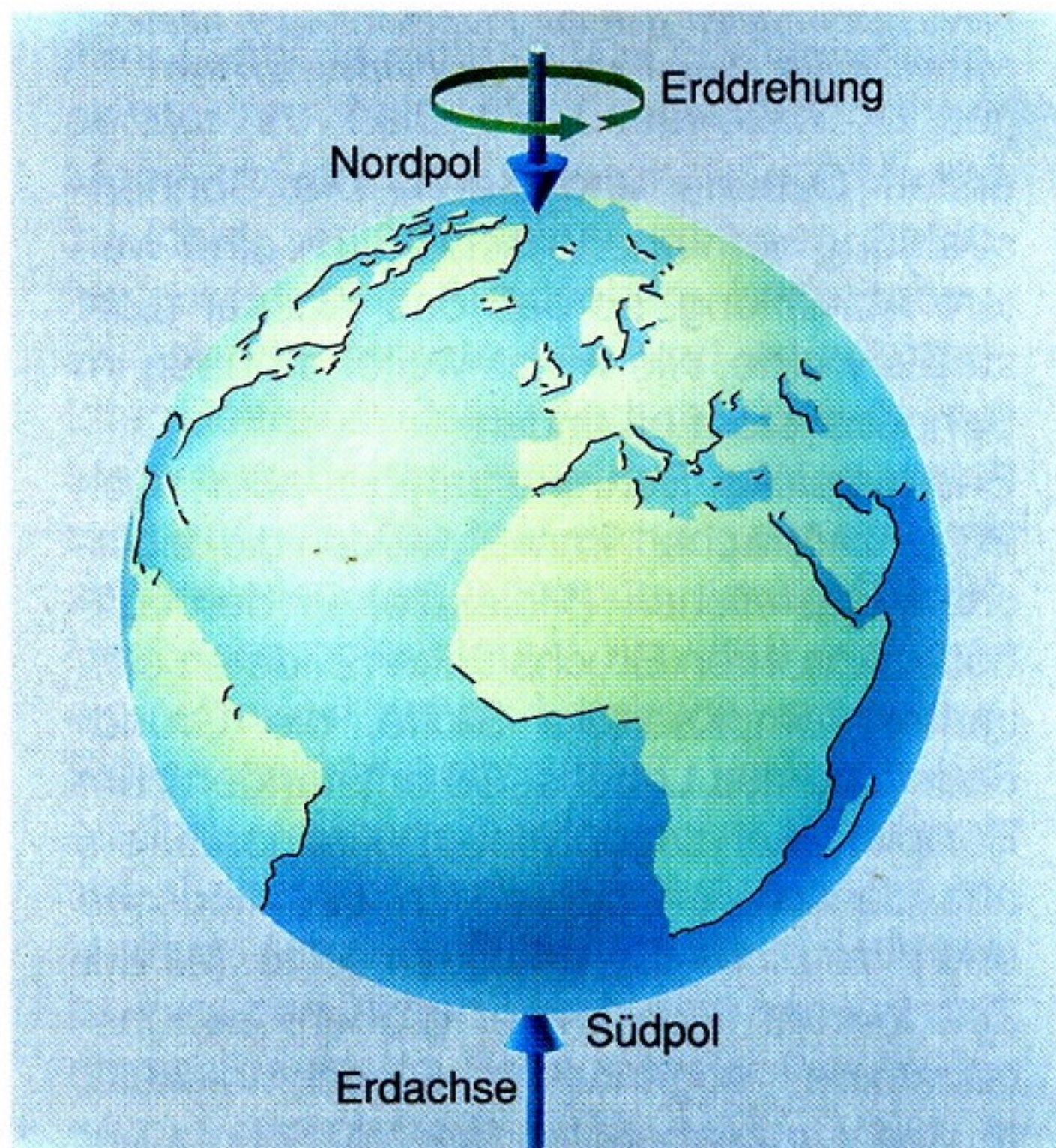


Die Erdachse ist geneigt. Dadurch kommen die Jahreszeiten zustande.

um ihre Achse, die Linie zwischen Nord- und Südpol. Diese Bewegung nennt man Rotation. Wenn unser Land zur Sonne hingedreht wird, so ist es bei uns hell. Drehen wir uns von der Sonne weg, so wird es dunkel. Auf diese Weise entstehen Tag und Nacht.

Die Erdachse steht nicht senkrecht auf der Erdbahn, sondern schräg. Im nördlichen Sommer ist die Nordhalbkugel, auf der wir wohnen, zur Sonne hin geneigt. Wir bekommen viel Licht und Wärme, die Sonne steht mittags hoch am Himmel, und die Tage sind lang. Im Winter wenden wir uns von der Sonne ab und erhalten wenig Licht und Wärme. Die Tage sind dann kurz und die Sonne steht auch mittags sehr niedrig. Die Jahreszeiten kommen also durch die Neigung der Erdachse und nicht etwa durch verschiedene Sonnenentfernungen zustande. Im tiefsten Winter, Anfang Januar, steht uns die Sonne am nächsten, was jedoch, gemessen an ihrer geringen Mittagshöhe, kaum ins Gewicht fällt. Im Nordsommer ist die Sonne in Erdferne.

Die Erde dreht sich um ihre Achse, die Linie zwischen Nord- und Südpol. Durch diese Rotation kommen Tag und Nacht zustande.



Bis zum Jahre 1781 waren nur die Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn bekannt. Am 13. März dieses Jahres entdeckte der deutsche Astronom

Wer entdeckte Uranus, Neptun und Pluto?

F. W. Herschel, der in England arbeitete, einen weiteren großen Planeten, den man Uranus nannte. Dieser ist nur mit dem Feldstecher oder Fernrohr zu sehen, und war daher früheren Generationen nicht aufgefallen. In der damaligen Zeit sorgte das neue Mitglied unseres Sonnensystems für große Aufregung, da Saturn seine Jahrtausende alte Stellung als äußerster Planet verlor. Sehr bald merkte man, daß es sogar noch einen weiteren Wandelstern geben müsse, der durch seine Anziehungskraft die Bahn des Uranus störte. Auf Grund der Newtonschen Gesetze berechnete man, wo sich der Himmelskörper ungefähr befinden mußte. Am 23.9.1846 fand der Astronom J. G. Galle in Berlin den gesuchten Planeten nahe der vorhergesagten Position. Man nannte ihn nach dem Meeresgott Neptun. Während Uranus leicht mit dem Fernglas zu finden ist, wenn man ungefähr seine Lage am Himmel kennt, bereitet die Beobachtung von Neptun schon größere Schwierigkeiten. Für den äußersten Planeten Pluto, der 1930 von C. W. Tombaugh in den USA entdeckt wurde, braucht man sogar ein großes Fernrohr. Die Astronomen nehmen an, daß es jenseits der Plutobahn noch weitere Planeten gibt, die jedoch wegen ihrer geringen Helligkeit schwer zu entdecken sein werden.

Unser Sonnensystem entstand vor rund 4,6 Milliarden Jahren aus einer großen Gas- und Staubwolke. Diese zog sich immer mehr zusammen. Ihre zuerst langsame Drehung wurde dabei immer

Warum wurde die Erde zum Planeten des Lebens?



Urnebel



Scheibe



Ursonne mit Ringen



Planetenentstehung

schneller. Durch die dabei auftretenden Fliehkräfte plattete sich das ganze Gebilde zu einer Scheibe ab. In der Mitte dieser Scheibe bildete sich eine große Verdichtung, aus der die Sonne entstand. Aus dem Material der Randbereiche formten sich die Planeten und Monde. Auch wenn wir viele Einzelheiten dieses Entstehungsprozesses nicht verstehen, können wir doch sagen, daß unsere Erde sich aus vielen kleinen Brocken und Staubteilchen bildete. Sie war zuerst völlig unbewohnbar. Ihre Oberfläche war glutflüssig, es gab keine Lufthülle. Ganz langsam kühlte sich unser Planet ab und erhielt eine feste Kruste. Aus unzähligen Vulkanen und Erdspalten strömten Gase und bildeten die erste Atmosphäre, in der sich Wasserdampf, Methan und Ammoniak befanden. Später, nach weiterer Abkühlung, begannen sintflutartige Regenfälle. Es entstanden die

Die Entstehung des Sonnensystems: In der Mitte der Urscheibe entstand die Sonne, in den Randbereichen bildeten sich die Planeten. Auch heute entstehen auf diese Weise noch Planetensysteme.

ersten Ozeane und Seen. Die Sonnenstrahlung verhinderte schließlich eine weitere Abkühlung, so daß das Wasser nicht zu Eis wurde, wie wir es weiter draußen im Sonnensystem oft finden.

Energiereiche Sonnenstrahlen, aber auch Blitze zerbrachen immer wieder die einfachen Gasteilchen (Moleküle) in der Lufthülle. Aus ihren Bruchstücken bildeten sich immer kompliziertere Stoffe, die Grundbausteine des Lebens. So entstanden zum Beispiel die sogenannten Aminosäuren, aus denen sich schließlich das tierische und pflanzliche Eiweiß bilden sollte. Mit der Zeit formten sich immer größere Lebensbausteine, sogenannte Riesenmoleküle. In den Urozeanen fanden sie Schutz vor

den gefährlichen Strahlen aus dem Weltall und gleichmäßige Temperaturen. Schließlich bildeten sich aus den Großmolekülen die ersten Kleinstlebewesen, primitive Einzeller. Auch wenn wir noch nicht ganz verstehen, wie diese entstanden, sind sich die meisten Wissenschaftler doch einig, daß sich das Leben auf unserem Planeten bildete und nicht in irgend einer Form aus dem Weltall kam. Zunächst waren Lebewesen nur im Wasser zu finden, erst vor rund 500 Millionen Jahren eroberten erste „Pioniere“ das Land. Der freie Sauerstoff, den wir heute einatmen, war nicht von Anfang an da. Er wurde erst von den Pflanzen erzeugt, die ja bekanntlich Sauerstoff freisetzen. Auch das Ozon ist eine Form des Sauerstoffs. Erst nach Bildung der Ozonschutzschicht war es dem Leben möglich, die Ozeane zu verlassen und das Land zu besiedeln. Diese Schicht hält lebensgefährliche Ultraviolettstrahlen von uns fern und ist zur Zeit durch Umweltgifte stark bedroht. Unsere Nachbarplaneten und der Mond hatten ein anderes Schicksal. Merkur, der innerste Planet, hatte nie eine nennenswerte Atmosphäre, in der sich hätte Leben entwickeln können. Venus ist durch einen „Treibhauseffekt“ ihrer Lufthülle mit 480 °C Oberflächentemperatur zu heiß für Lebewesen. Unser Mond, obwohl ideal gelegen, ist wie Merkur zu klein, um mit seiner geringen Anziehungskraft eine Atmosphäre festzuhalten. Er war immer eine luft- und wasserlose, tote Gesteinswüste. Anders sieht es bei Mars aus. Dieser Planet hat zwar in unserer heutigen Zeit fast seine ganze Atmosphäre verloren. Jedoch weisen viele Beobachtungen darauf hin, daß er früher einmal einen hohen Luftdruck und riesige Flüsse gehabt haben muß. Vielleicht gab es dort vor Jahrmilliarden sogar irgendwelche Lebensformen. Auf Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, Pluto und ihren Monden ist dagegen Leben kaum denkbar, so daß unser Planet im Sonnensystem wohl die einzige bewohnte Welt ist.



Galileo Galilei beobachtete als erster Mensch die Gestirne mit dem Fernrohr. Er entdeckte die vier großen Jupitermonde und die Mondgebirge.

Seit Urzeiten beobachten die Menschen

Was sind Monde?

den Begleiter unseres Planeten, den Mond. Dieser umkreist die Erde etwa einmal im Monat und ist dabei von uns aus

gesehen manchmal voll, dann wieder halb oder nur zu einem kleinen Teil von der Sonne beleuchtet. Aus diesem Grund erscheint er uns je nach seiner Position als Sichel, Halb- oder Vollmond. Im Jahre 1609 richtete der italienische Astronom und Physiker Galileo Galilei als erster Mensch ein Fernrohr auf Mond, Planeten und Fixsterne. Er entdeckte, daß Jupiter von vier Sternchen umkreist wird, ähnlich wie unser Mond um die Erde läuft. Die 4 neuen Mitglieder unseres Sonnensystems nannte man die „Jupitermonde“. Ganz allgemein sind Monde kleine oder mittelgroße Himmelskörper, die sich um einen Planeten drehen. Die kleinsten bekannten Monde sind nur etwa 10 km groß, der größte hat einen Durchmesser von 5225 km. Es handelt sich um den Jupitermond Ganymed. Insgesamt kennen wir 66 Monde, und zwar einen bei der Erde, 2 bei Mars und 16 bei Jupiter. Die größte Mondfamilie hat Saturn mit 23 Begleitern. Ura-

nus hat 15, Neptun 8 und Pluto einen Mond. Aber sicher gibt es viele Planetenbegleiter, die noch nicht entdeckt wurden. Die Ringe um Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun bestehen übrigens aus Milliarden von Kleinmonden; auch unsere künstlichen Erdsatelliten sind streng genommen Monde.

Neben den 9 großen Planeten kennt man

Was versteht man unter einem Planetoiden?

Tausende von Kleinplaneten, die man auch Asteroiden oder Planetoiden nennt. Die meisten von ihnen umkreisen

die Sonne in einem engen Bereich zwischen der Mars- und der Jupiterbahn, einige jedoch können auch der Erde nahe kommen und in seltenen Fällen mit ihr zusammenstoßen. Der größte Planetoid Ceres wurde 1801 entdeckt und hat immerhin einen Durchmesser von rund 1000 km. Die meisten Kleinplaneten sind jedoch viel kleiner und auch gar nicht kugelförmig, sondern fliegende Felsbrocken. Früher nahm man an, die Planetoiden seien Bruchstücke eines großen Planeten, der durch eine kosmische Katastrophe zer-

Planetoiden oder Kleinplaneten sind in der Regel nur fliegende Felsbrocken von wenigen Kilometern Durchmesser.

schlagen wurde. Heute dagegen glaubt man, daß die Kleinplaneten einen Materiering bilden, aus dem nie ein größerer Himmelskörper werden konnte. Immer wieder stoßen Planetoiden zusammen und zerstören sich gegenseitig. Teile dieser zerschmetterten Himmelskörper können als Meteorite auf die Erde stürzen. Vor rund 14,9 Millionen Jahren traf im heutigen Süddeutschland sogar ein ganzer Planetoid die Erde. Noch vor dem Einschlag zerbrach er in zwei Teile, die zwei gewaltige Krater schlugen, das Steinheimer Becken und das Nördlinger Ries. Dieses hat einen Durchmesser von 25 km! Würde sich so ein Zusammenstoß heute ereignen, so würden alle Städte in Bayern und Württemberg zerstört und über 10 Millionen Menschen getötet werden.

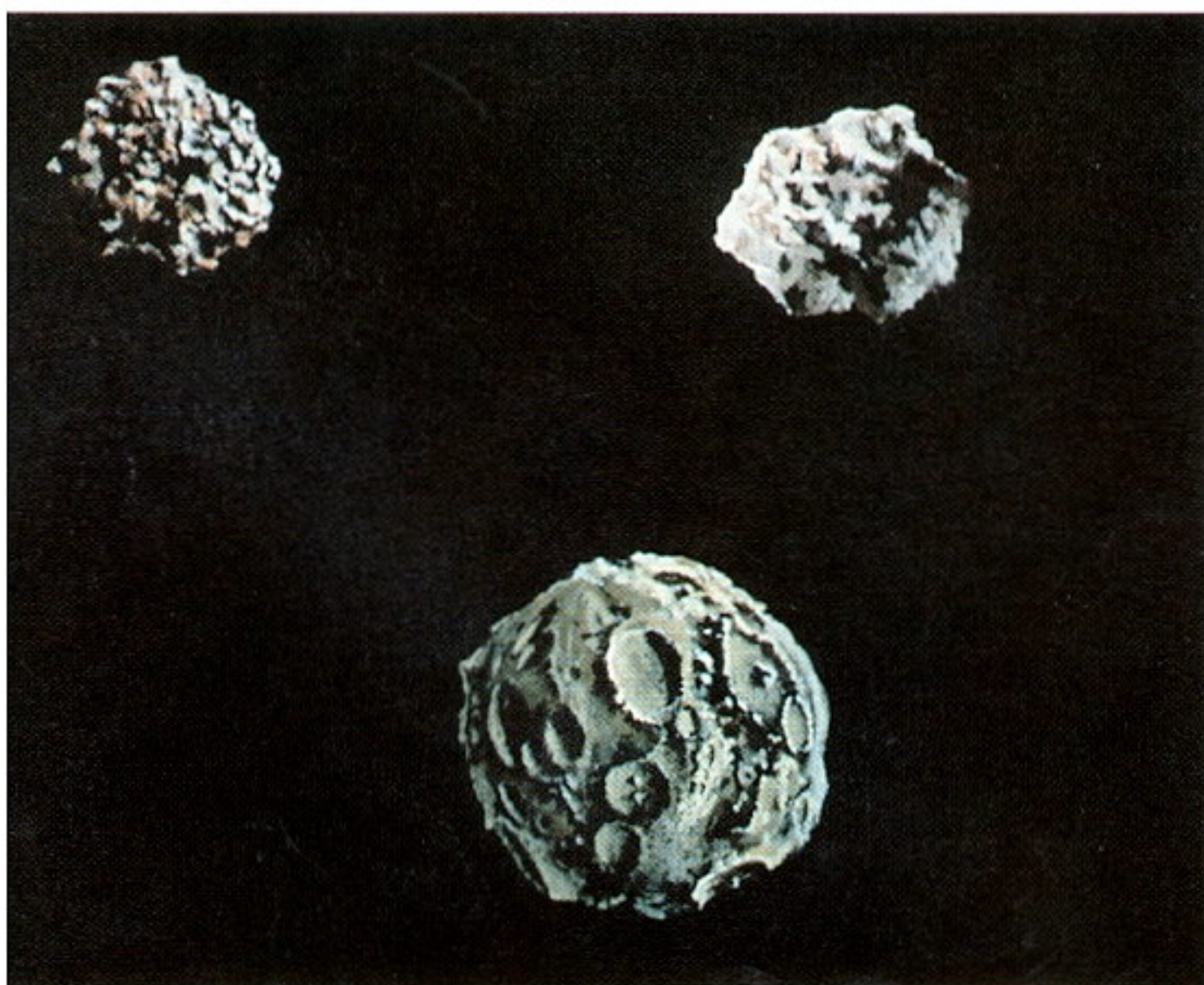
Neben den großen Planeten, Monden und

Was sind Kometen?

Planetoiden umkreisen auch Milliarden von Kometen unsere Sonne. Sie befinden sich normalerweise weit außerhalb der

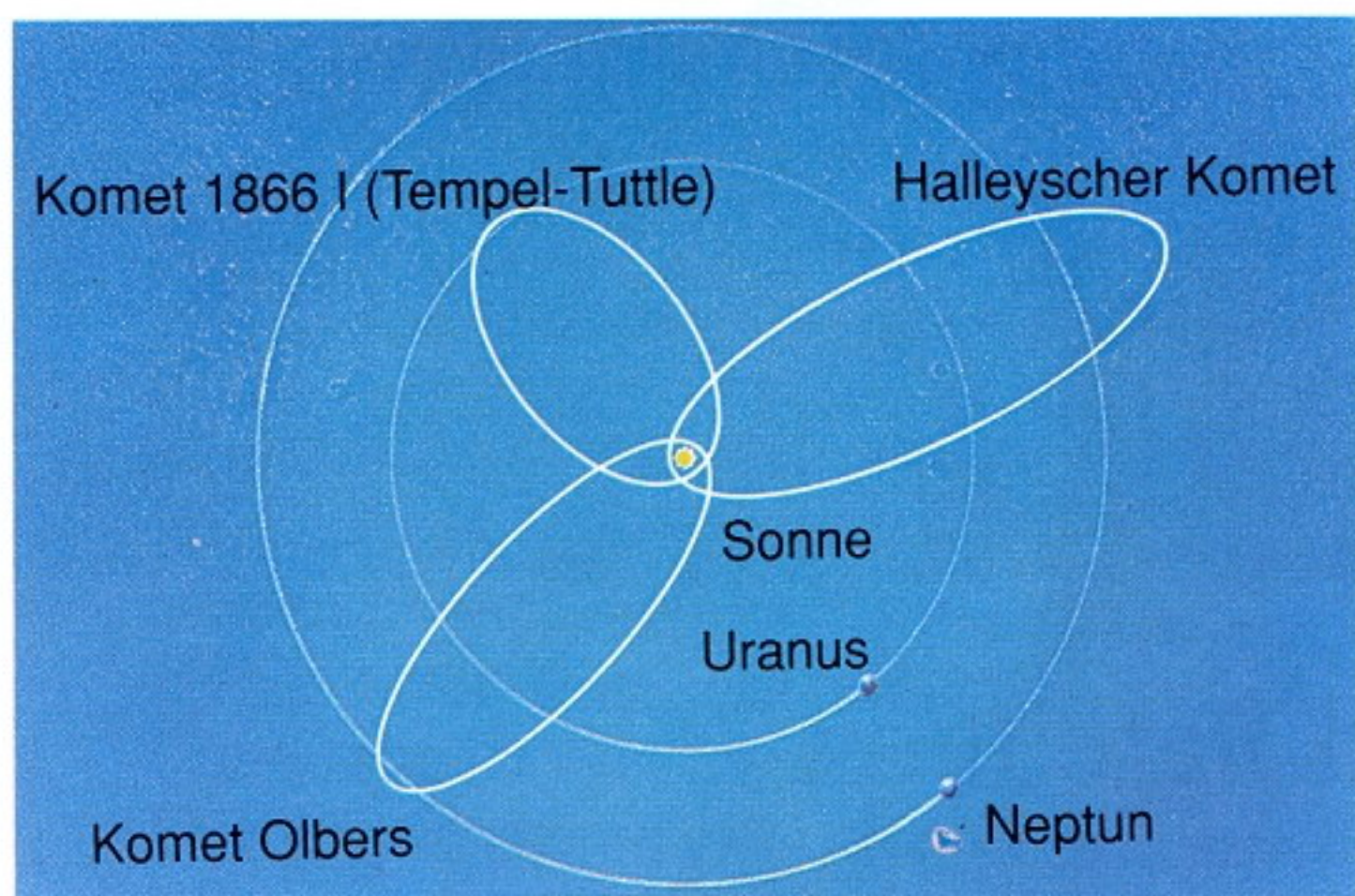
Plutobahn in der sogenannten Oortschen Wolke und sind zunächst nichts anderes

Dieser Krater in Arizona mit 1,2 km Durchmesser entstand durch den Einschlag eines Kleinplaneten oder Riesenmeteoriten.





Oben: ein Komet. Unten: die Bahnen einiger kurzperiodischer Kometen. Der Halleysche Komet umkreist die Sonne in 76 Jahren.



als große, leicht gefügte Eisbrocken, in denen sich Steine und Staubteilchen befinden. Man bezeichnet sie daher als „schmutzige Schneebälle“. Immer wieder werden solche Kometenkerne durch andere Gestirne in Richtung Sonne abgelenkt, der sie sich auf einer langgestreckten Bahn nähern. In Sonnennähe verdampft etwas Eis, Staub tritt aus dem Kern aus, und der Sonnenwind, ein Teilchenstrom von der Sonne, reißt das Material vom Kometenkern weg. Es bildet sich ein oft Millionen Kilometer langer Schweif. Viele Kometen verschwinden wieder in den Tiefen des Alls, einige aber werden durch Planeten wie Jupiter und Saturn auf andere Bahnen, nämlich kleine Ellipsen, umgelenkt. Dadurch kommen sie von diesem Zeitpunkt an in regelmäßigen Abständen an der heißen Sonne vorbei, die sie

langsam zerstört. Der berühmte Halleysche Komet ist zum Beispiel alle 76 Jahre in Sonnennähe. Rast die Erde durch die Bahn eines aufgelösten Kometen, so stößt sie mit unzähligen Staubteilchen und Steinchen zusammen, die einmal Bestandteil des Kometenkerns waren. Diese Partikel dringen in die Atmosphäre ein und erzeugen in großer Höhe Leuchtspuren, die man Sternschnuppen oder Meteore nennt.

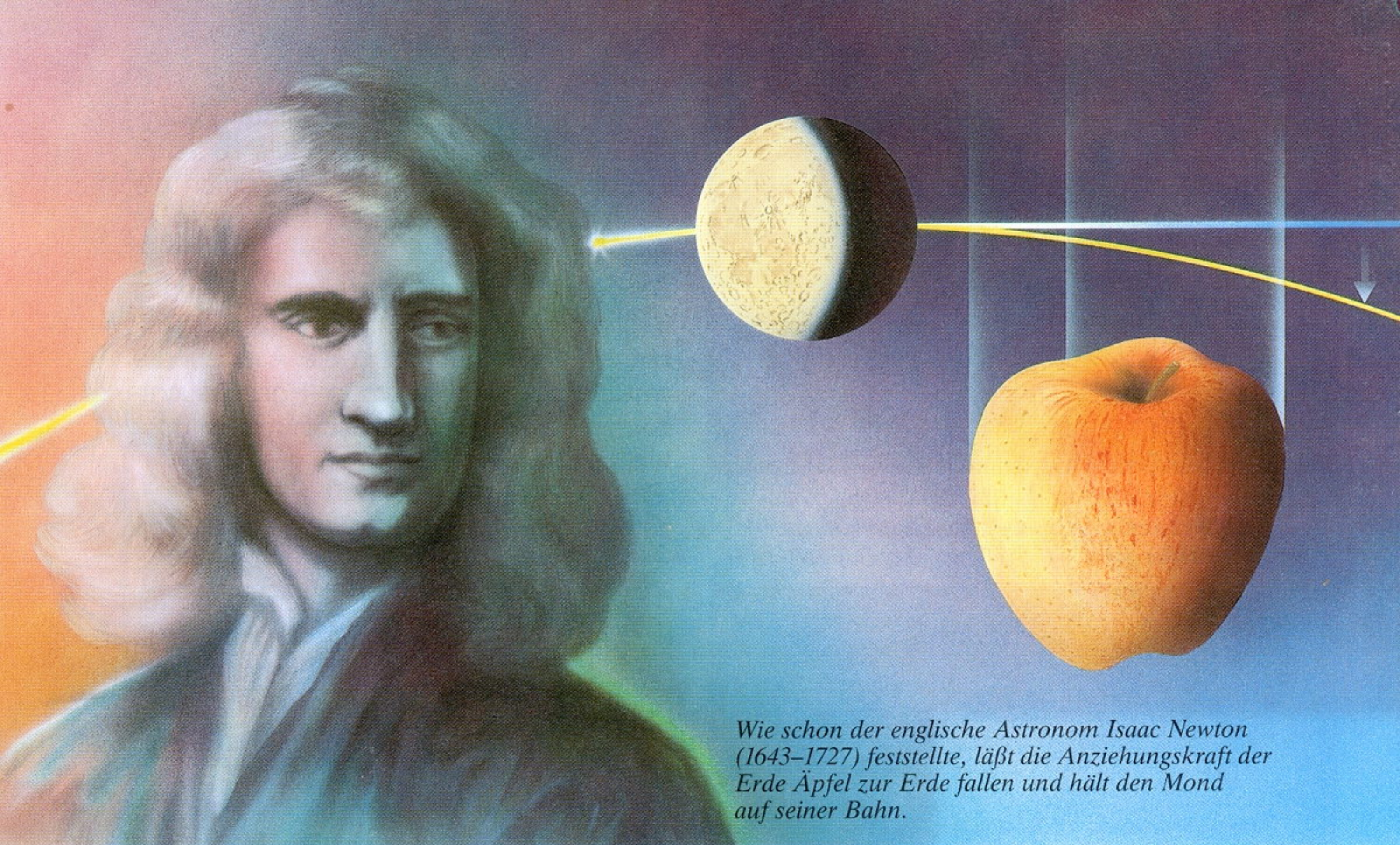
Junge Sternfreunde können heute im

Was kann ich mit Feldstecher und Fernrohr auf den Planeten beobachten?

Gegensatz zu früheren Zeiten schon für wenig Geld bescheidene Fernrohre erwerben. Mit einem solchen Gerät er-

kennt man zum Beispiel leicht, daß Venus manchmal wie eine Mondsichel oder ein kleiner Halbmond aussieht. Auf Mars kann man, wenn er sich in Erdnähe befindet, dunkle und helle Flecken sowie vereiste Polkappen beobachten. Während dafür eine rund 50fache Vergrößerung erforderlich ist, kann man neben Jupiter schon mit dem Fernglas die 4 größten Monde des Planeten erkennen. Bei 40- bis 100facher Vergrößerung sieht man auf Jupiter einige helle und dunkle Wolkenstreifen und bei Saturn die schon erwähnten Ringe.

Uranus erscheint im Kleinfernrohr als grünliches Scheibchen, Neptun als bläulicher Stern. Viele Kometen, die mit dem bloßen Auge nicht gesehen werden können, erscheinen im Fernglas oder Fernrohr als helle Flecken. Manchmal erkennt man auch Schweife. Auf dem Mond kann man schon bei 8- bis 10facher Vergrößerung neben den dunklen „Mondmeeren“ einige Krater entdecken. Bei 20- bis 40facher Vergrößerung sieht der Sternfreund viele große und kleinere Krater, aber auch Rillen, Täler und Berge auf dem Erdtrabanten. Die Positionen, Auf- und Untergänge der Planeten kann man Jahrbüchern wie dem „Himmelsjahr“ entnehmen.



Wie schon der englische Astronom Isaac Newton (1643–1727) feststellte, läßt die Anziehungskraft der Erde Äpfel zur Erde fallen und hält den Mond auf seiner Bahn.

Raketen und Satelliten

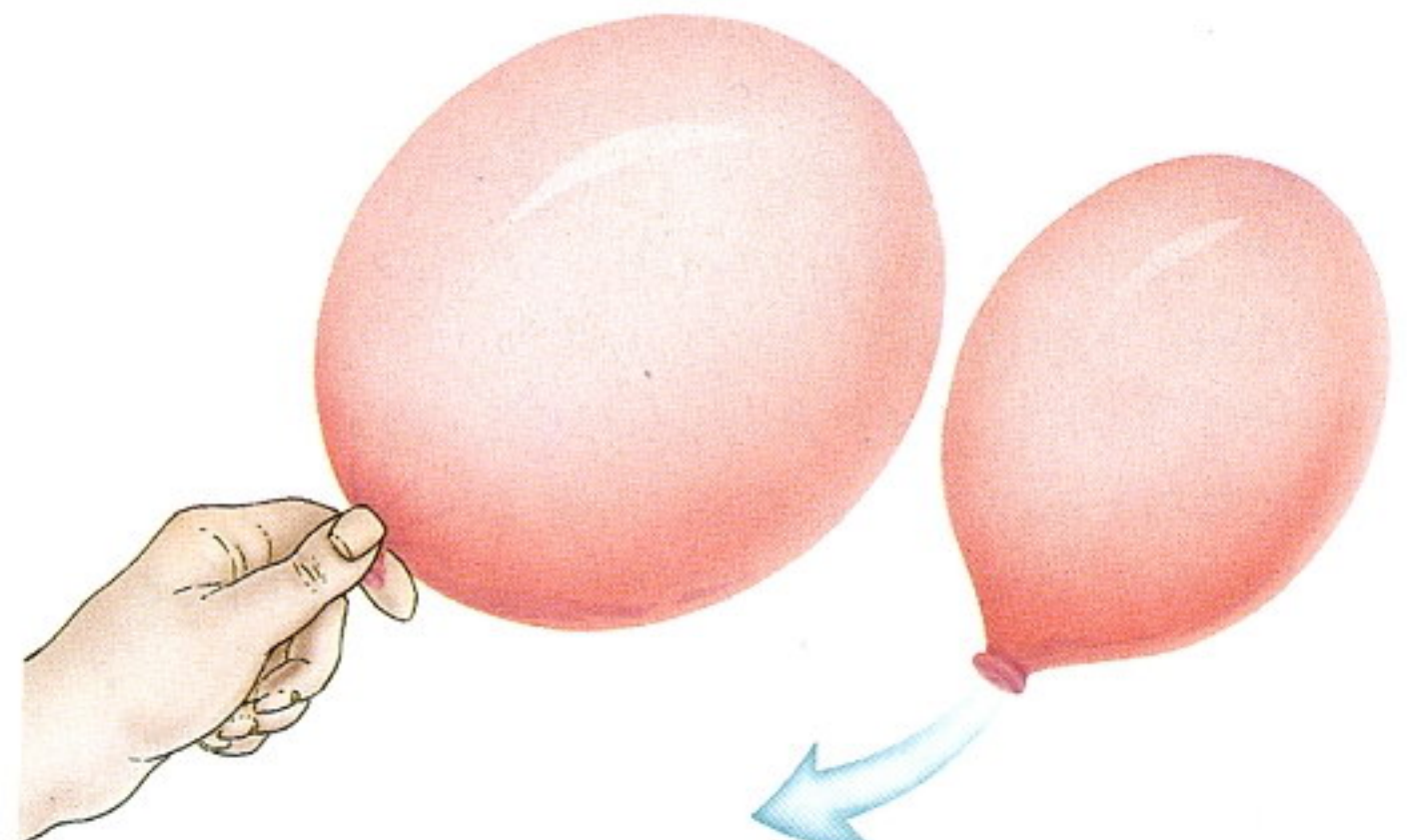
Seit Jahrtausenden träumen die Menschen von der Raumfahrt. Schon im alten Rom gab es Vorschläge, wie man zu den Sternen fliegen könne, der französische Schriftsteller Jules Verne beschrieb im letzten Jahrhundert kommende Mondexpeditionen. Heute kann jeder im Fernsehen verfolgen, wie Raumsonden und Satelliten mit Raketen ins Weltall transportiert werden.

Die ersten Raketen wurden vor Jahrhunderten in China hergestellt und bald auch als Waffe eingesetzt, zum Beispiel gegen die Mongolen, die 1232 die chinesische Stadt Keifeng erobert hatten. Im 14. und 15. Jahrhundert gelangten die Raketen nach Europa. Man beschoß mit ihnen feindliche Städte, später benutzte man sie nur noch für Feuerwerkszwecke, bis sie im

20. Jahrhundert wieder als Waffe und schließlich für die Raumfahrt eingesetzt wurden.

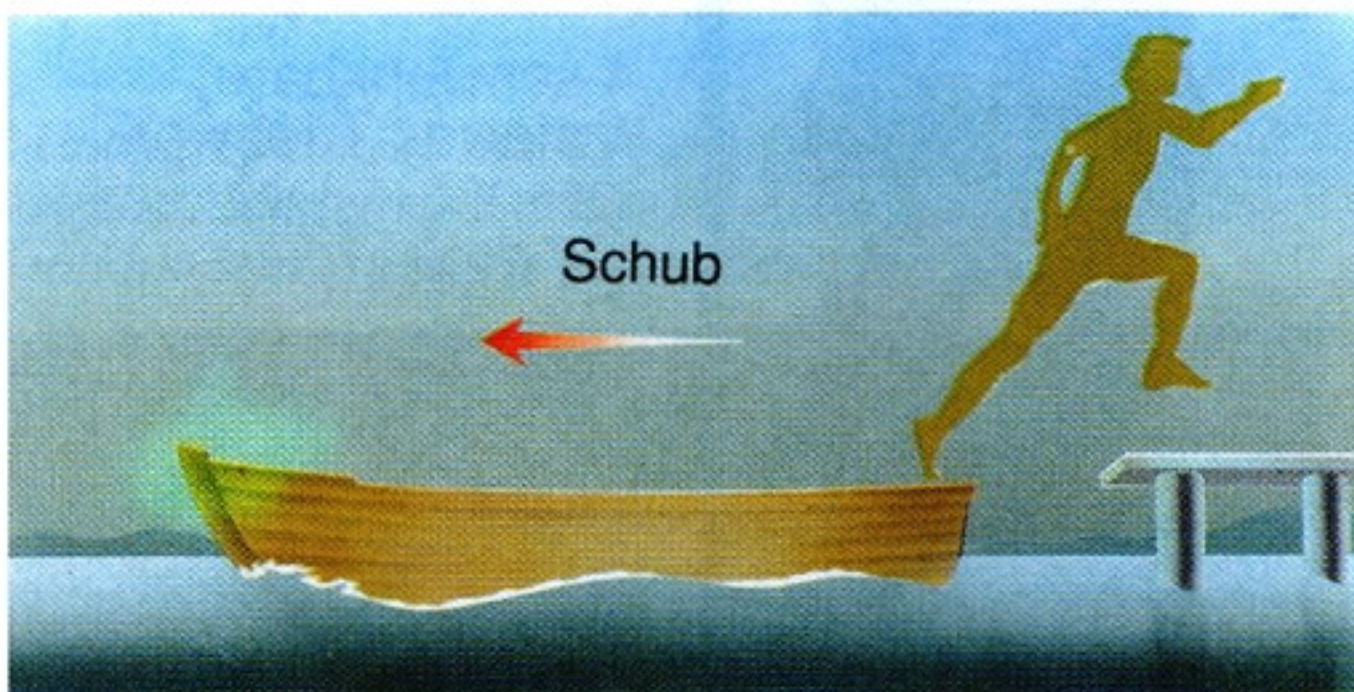
Wie funktioniert nun eine Rakete? Einige alltägliche Erfahrungen sollen es uns erläutern: Jeder Schütze weiß, daß er einen Rückstoß zu erwarten hat, wenn er mit seinem Gewehr eine Kugel abfeuert.

Ein aufgeblasener Ballon, den man öffnet, fliegt durch den Rückstoß der ausströmenden Gase wie eine kleine Rakete davon.

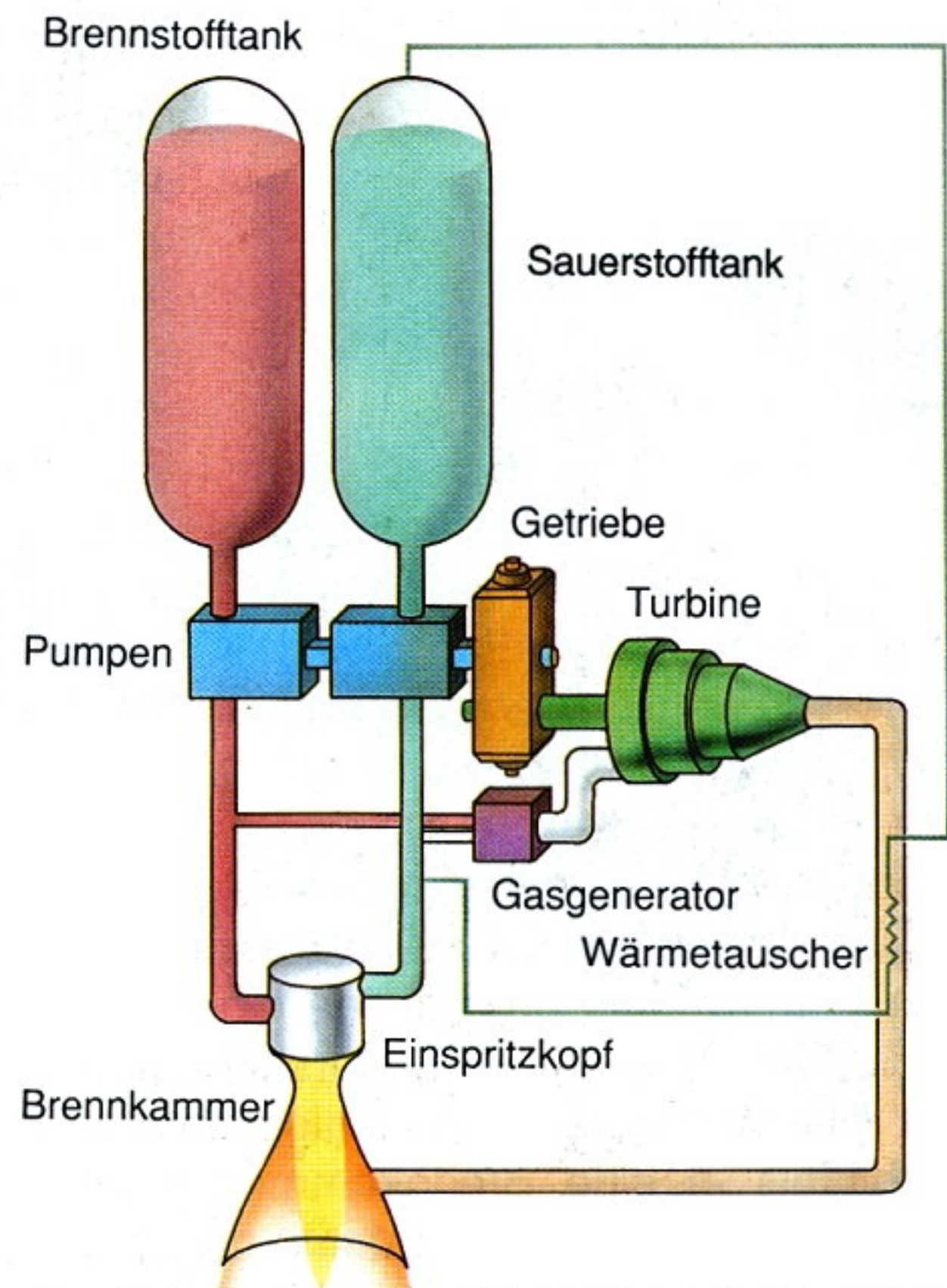
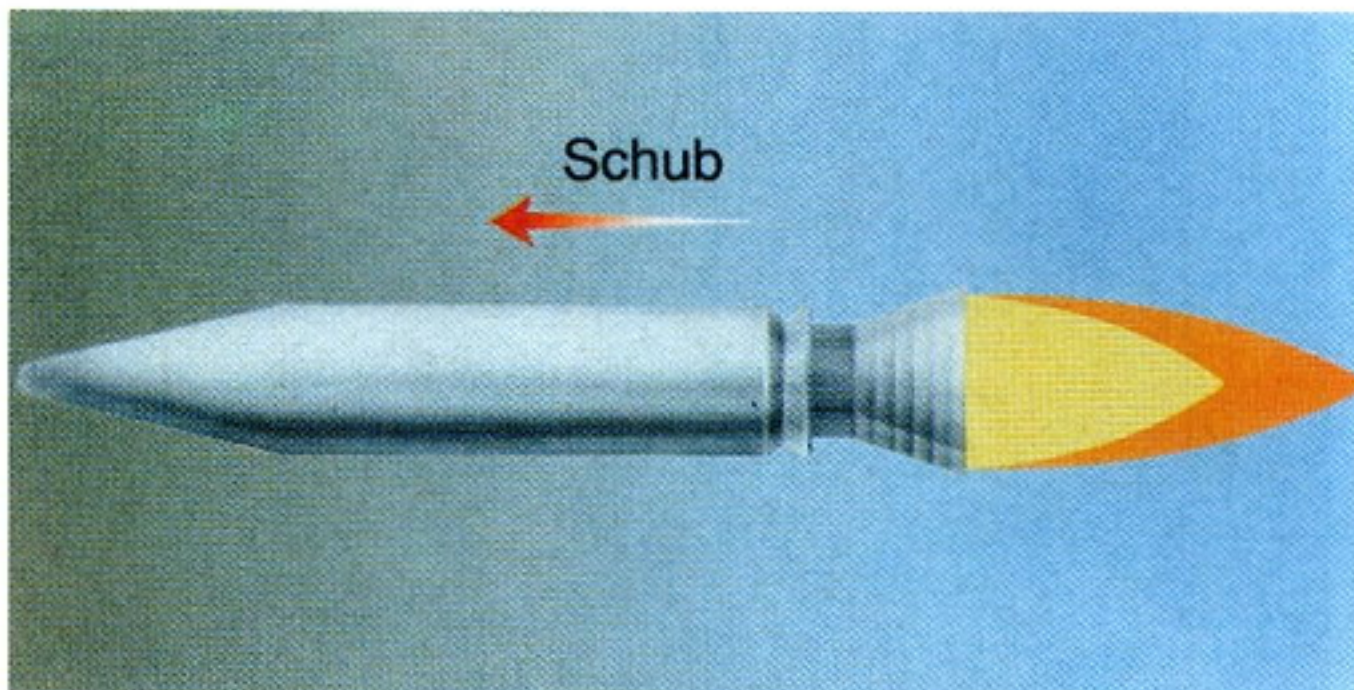


Ein aufgepumpter Ballon fliegt davon, wenn man ihn hinten öffnet und das Füllgas mit großer Geschwindigkeit ausströmt. Ein Kahn setzt sich nach vorne in Bewegung, wenn ich nach hinten von ihm abspringe. Alle diese Erscheinungen kann man mit dem sogenannten Rückstoßprinzip erklären:

Stößt ein Gegenstand irgend etwas ab, zum Beispiel Gasteilchen oder Gewehrkugeln, so bekommt er einen Schub in die Gegenrichtung und setzt sich, wenn er nicht befestigt ist, in Bewegung. Nach diesem einfachen Prinzip funktioniert jede Rakete. Sie stößt hinten meist hoch erhitzte Gase aus und setzt sich dadurch nach vorne in Bewegung. Die für die Raumfahrt benutzten Raketen benötigen einen Treibstoff wie Wasserstoff, Kerosin oder Hydrazin sowie Sauerstoff. Wenn sich Treib- und Sauerstoff verbinden, wird eine enorme Energie freigesetzt. Diesen Vorgang nennt man Verbrennung. Es entstehen heiße Gase, die durch eine hintere Düse abgestoßen werden, so daß die Rakete nach vorne einen Schub bekommt.



Das Rückstoßprinzip: Der Kahn setzt sich in Bewegung, wenn ich von ihm abspringe. Die Rakete wird durch den Ausstoß heißer Gase beschleunigt.



Das Prinzip einer Flüssigkeitsrakete. Treib- und Sauerstoff werden in der Brennkammer verbrannt.

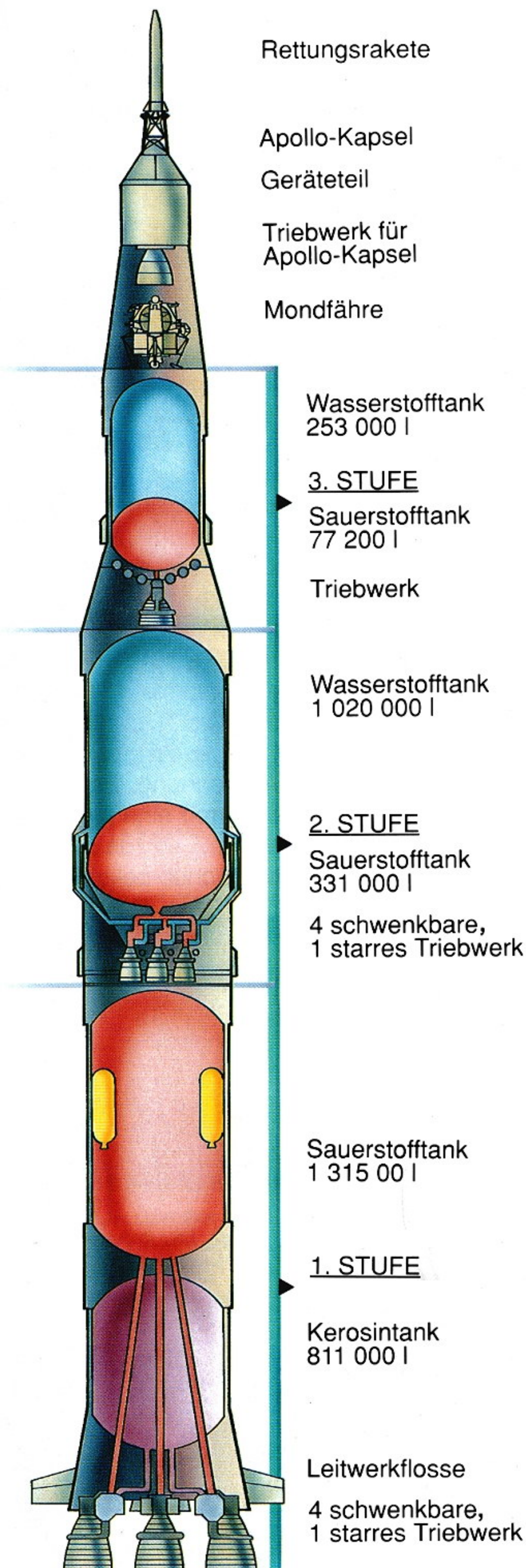
Bevor Raumfahrtpioniere wie Hermann

Warum sind Raketen für die Raumfahrt geeignet?

Oberth und Robert Goddard am Anfang des 20. Jahrhunderts mit Raketen zu experimentieren begannen, glaubte man, daß eine Rakete nur deshalb fliegen könne, weil ihre schnell ausströmenden Gasteilchen gegen die Luft stoßen. Das ist aber falsch! Das Rückstoßprinzip funktioniert auch im luftleeren Raum, also zum Beispiel im Weltall. Daher sind Raketen im Gegensatz zu Propellerflugzeugen für die Raumfahrt geeignet. Sie können überall im Universum eingesetzt werden. Stoßen sie nach hinten heiße Verbrennungsgase aus, so werden sie nach vorne beschleunigt. Je größer die Masse und die Geschwindigkeit dieser Gase ist, desto größer ist der Schub, mit dem die Rakete von der Erde abhebt oder irgendwo im Sonnensystem beschleunigt wird. Sehr einfach aufgebaut sind sogenannte Feststoffraketen. In ihnen

sind Treibstoff und der zur Verbrennung nötige Sauerstoff bereits fertig gemischt. Dieser „Treibsatz“ wird in dickflüssiger Form eingefüllt und erstarrt dann zu einer festen Masse, welche durch einen Funken gezündet wird. Eine solche Rakete kann nicht mehr abgestellt und gestoppt werden, wenn die Verbrennung erst einmal läuft und die heißen Gase erzeugt, welche die Schubkraft hervorrufen. Raketen mit flüssigen Treibstoffen haben zwei getrennte Tanks. Der eine enthält den zur Verbrennung nötigen Sauerstoff oder Sauerstoffverbindungen in flüssiger Form. Im Gegensatz zu Flugzeugen müssen Raumflugkörper ja ihren Sauerstoff mitführen. Der andere Tank enthält den eigentlichen Treibstoff. Treib- und Sauerstoff werden mit Hilfe von Pumpen im richtigen Massenverhältnis in eine Brennkammer geleitet, wo die Verbrennung und damit die Erzeugung der Rückstoßgase stattfindet.

Fast alle Raketen, die für die Raumfahrt eingesetzt werden, benutzen flüssigen Treibstoff. Sie können leicht reguliert werden, und man kann im Gegensatz zu Feststoffraketen die Verbrennung jederzeit abbrechen. Um Raumstationen oder Satelliten ins All zu befördern, benötigt man fast immer mehrstufige Raketen. Die gewaltige Saturn V, welche die amerikanischen Astronauten zum Mond brachte, hatte 3 Stufen. Die erste war 42 m hoch und lieferte den Hauptanteil des Schubs. Sie wurde zuerst gezündet und bei einer Fluggeschwindigkeit von 7500 km/h und einer Höhe von 60 km abgestoßen. Stufe 2 beschleunigte die restliche Saturn-Rakete auf 27 000 km/h und wurde dann ebenfalls abgeworfen. Danach zündete die dritte Stufe. Sie brachte die Rakete auf eine Geschwindigkeit von 28 600 km/h und damit auf eine Erdumlaufbahn. Eine erneute Zündung der noch nicht ausgebrannten Stufe 3 schließlich beschleunigte das Raumschiff auf 40 000 km/h und brachte es auf den Weg zum Mond.



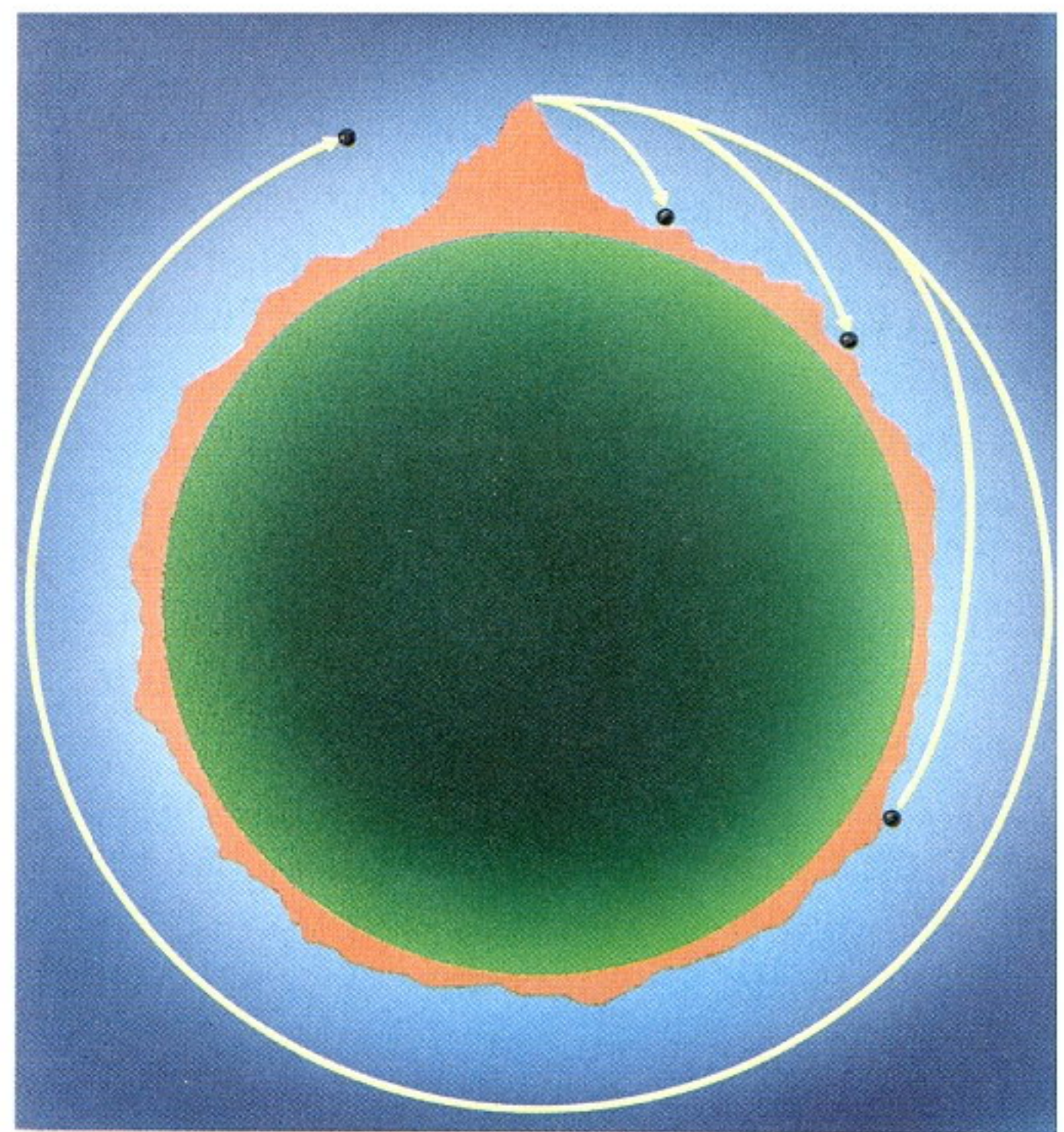
Das lateinische Wort Satellit bedeutete ursprünglich Leibwächter oder Trabant. Für die Astronomen ist ein Satellit ein Himmelskörper, der einen größeren umkreist.

Was ist ein Satellit?

Die Erde ist ein Satellit der Sonne, der Mond ein Satellit der Erde. Er umrundet unseren Planeten mit einer Geschwindigkeit von rund 1 km/s.

Am 4.10.1957 startete die Sowjetunion mit Sputnik 1 den ersten künstlichen Erdsatelliten. In unmittelbarer Nähe unseres Planeten muß ein Satellit eine sehr hohe Geschwindigkeit, nämlich rund 7,8 km/s haben, um die große Erdanziehungskraft durch eine entsprechend hohe Fliehkraft oder Zentrifugalkraft auszugleichen. Seine Höhe sollte mindestens 200 km sein, damit der Luftwiderstand ihn nicht zu früh abbremst. Da im Satelliten die Erdanziehungskraft, die für unser Gewicht verantwortlich ist, durch eine gleich große Fliehkraft ausgeglichen wird, fühlt sich ein Astronaut auf der Erdumlaufbahn „schwerelos“.

Unten: Sputnik 1 war der erste künstliche Erdsatellit. Rechts: Moderner Satellit. Viele Satelliten kann man mit bloßem Auge wie helle Sterne sehen.



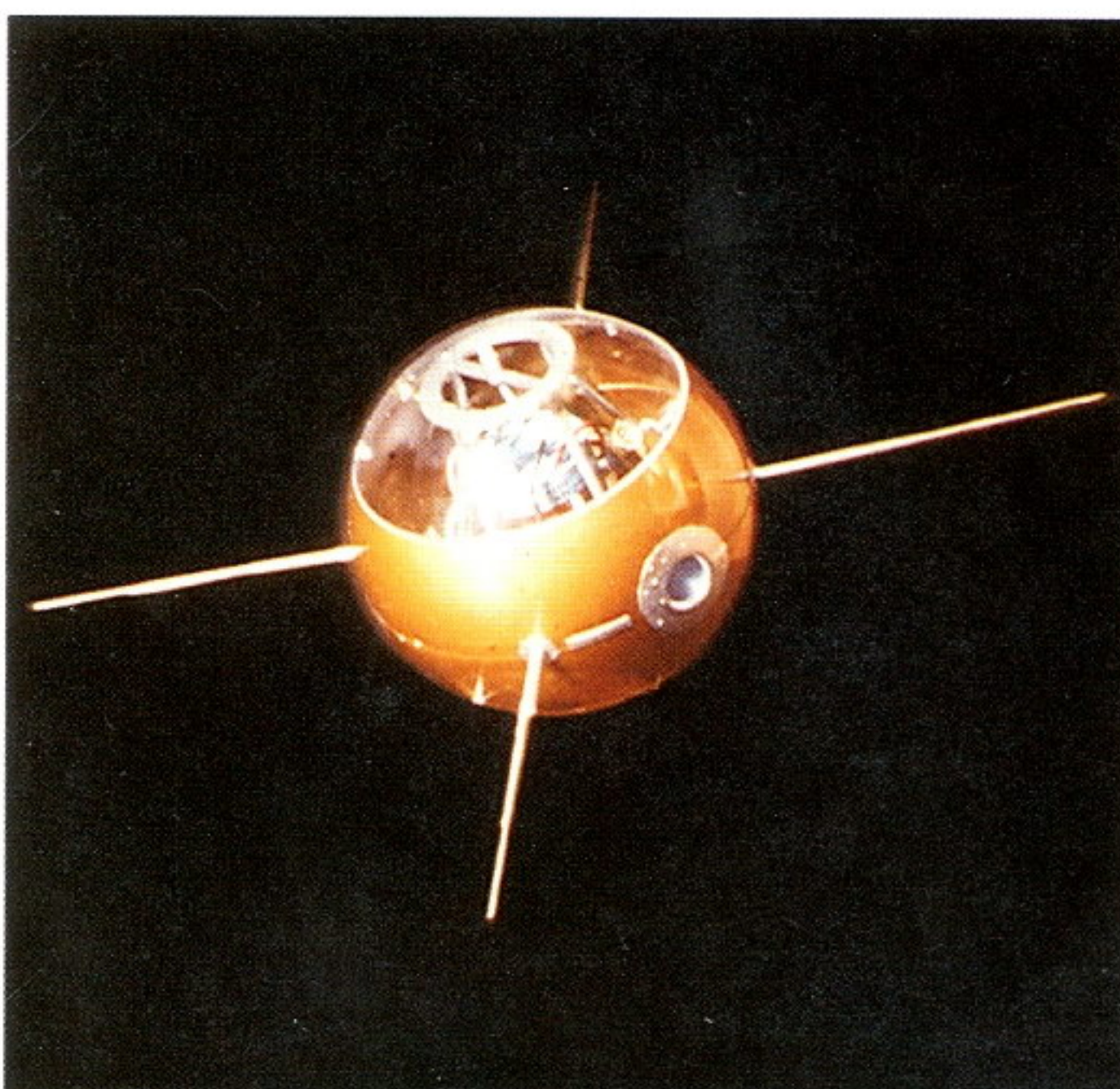
Je schneller eine Kugel von einer Kanone auf einem gedachten hohen Berg abgefeuert wird, um so weiter fliegt sie und umkreist schließlich die Erde.

Auch ohne physikalische Formeln kann

Warum umkreist ein Satellit die Erde?

man sich mit einfachen Gedankenexperimenten klarmachen, warum ein Satellit die Erde umkreisen muß. Nehmen

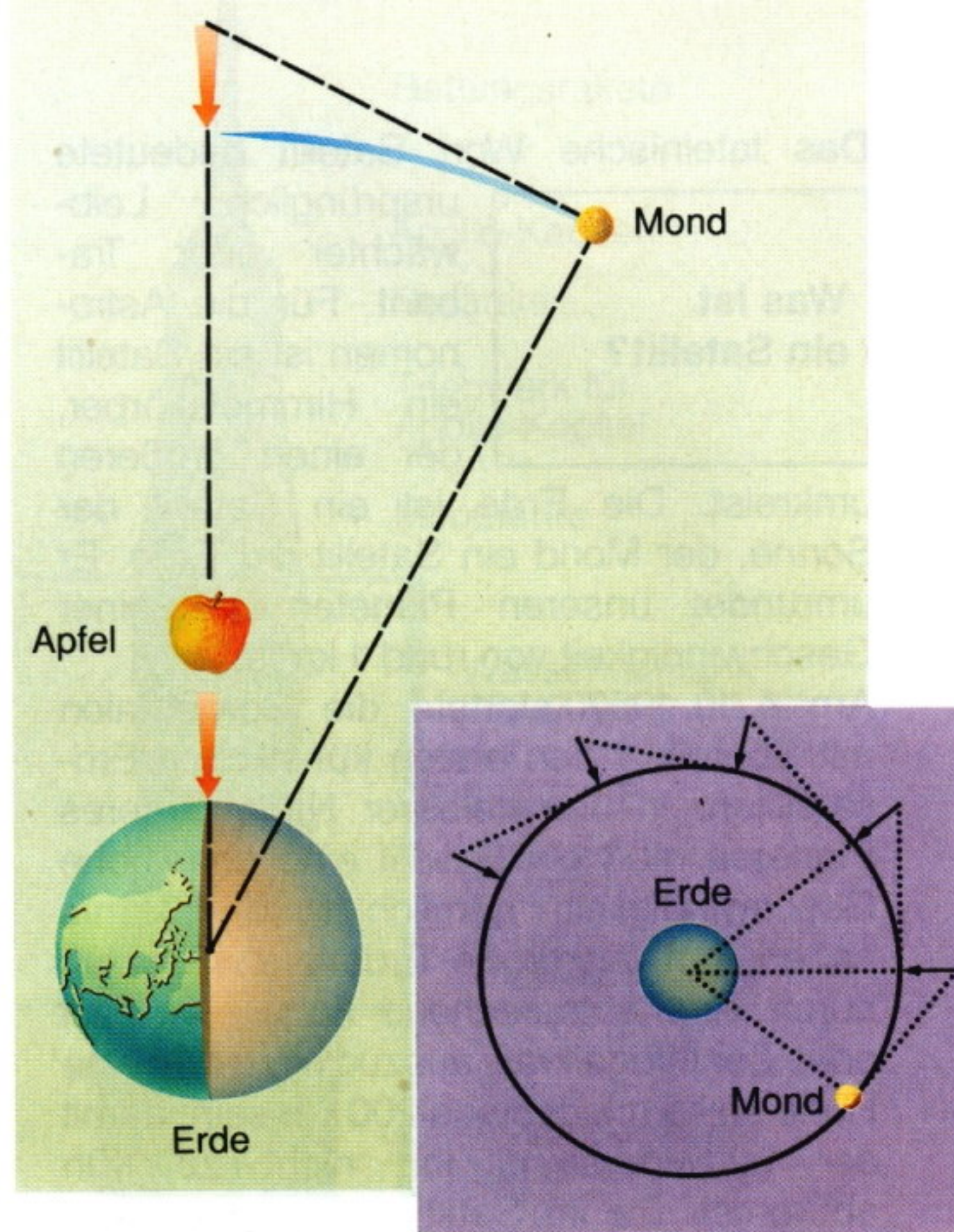
wir an, es gäbe einen hohen Berg, der aus der Erdatmosphäre in den fast luftleeren Raum in 200 km Höhe emporragt. Auf dem



Gipfel des Berges soll eine Kanone stehen und in waagerechter Richtung Kugeln abschießen. Eine langsame Kugel wird am Fuße des Berges aufschlagen, eine schnellere vielleicht in ein fernes Land fliegen. Erreicht das Geschöß eine Geschwindigkeit von $7,6 \text{ km/s}$, so wird es um die halbe Erde herumrasen, um schließlich irgendwo bei den Antipoden einzuschlagen. Bei $7,8 \text{ km/s}$ ist die Kugel zwar auch noch bestrebt, auf unseren Planeten zu stürzen, aber durch die Erdkrümmung bleibt ihr Abstand vom Boden immer gleich. Sie umkreist die Erde und ist zu einem Satelliten geworden! Schon der große englische Physiker Newton soll dieses Beispiel benutzt haben, um seinen jungen Studenten Mondbahnen zu erklären. Unmittelbar über dem Erdboden müßte ein Satellit sogar eine Umlaufgeschwindigkeit von $7,91 \text{ km/s}$ haben. Eine so erdnahe Bahn ist jedoch wegen des Luftwiderstands unmöglich. Selbst in 150 km Höhe würde der Satellit sehr schnell abgebremst. Er würde abstürzen und verglühen.

Einer anderen Legende nach fiel Newton eines Tages ein Apfel auf den Kopf, als er unter einem Baum lag und nachdachte. In diesem schmerzhaften Augenblick soll er erkannt haben, daß die Schwerkraft, welche den Apfel vom Baum fallen läßt, auch den Mond und spätere künstliche Satelliten auf ihrer Bahn hält. Ein solcher Erdtrabant bewegt sich etwa parallel zur Erdoberfläche. Würde keine Kraft auf ihn einwirken, so würde er geradeaus ins Weltall davonfliegen. In einer Sekunde käme ein erdnahe Satellit bei diesem „Fluchtversuch“ etwa $7,8 \text{ km}$ weit. Die Schwerkraft zieht ihn jedoch in dieser Sekunde so weit zur Erde herunter, daß sich sein Abstand zu unserem Planeten nicht vergrößert, und er leicht seine Richtung ändert. Dieses Spiel setzt sich fort. Anstatt davonzufliegen, umkreist der Satellit die Erde.

Die meisten Satellitenbahnen sind keine genauen Kreise, sondern Ellipsen, bei



Die Anziehungskraft der Erde läßt einen Apfel zu Boden fallen. Sie hält aber auch den Mond und alle künstlichen Satelliten auf ihrer Bahn.

denen es einen erdnächsten Punkt, das Perigäum, gibt. An dieser Stelle ist die Bahngeschwindigkeit höher als im erdfernten Punkt, dem Apogäum. Kommen wir noch einmal zu unserer Versuchskanone zurück. Stünde sie auf dem Erdboden und würde Kugeln senkrecht nach oben schießen, so würden diese um so höher fliegen, je größer die Abschußgeschwindigkeit wäre. Vernachlässigt man den Luftwiderstand, der ein solches Experiment natürlich unmöglich machen würde, so käme das Geschöß bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 2 km/s 190 km hoch. Hätte die Kugel beim Start 10 km/s , so würde sie erst $25\,000 \text{ km}$ über dem Erdboden zum Stillstand kommen. Bei einer Abschußgeschwindigkeit von $11,2 \text{ km/s}$ schließlich würde das Geschöß überhaupt nicht mehr zurückfallen, sondern endgültig die Erdanziehung überwinden. Diesen Grenzwert nennt man die Fluchtgeschwindigkeit.

Natürlich kann man in Wirklichkeit Satelliten und Raumsonden nicht mit Kanonen abschießen. Sie würden bei einem solchen Start zerstört und aufgrund der hohen Anfangsgeschwindigkeit durch den Luftwiderstand zu stark erhitzt werden. Nur eine langsame Energiezufuhr durch Raketenantriebe macht einen Flug ins Weltall möglich.

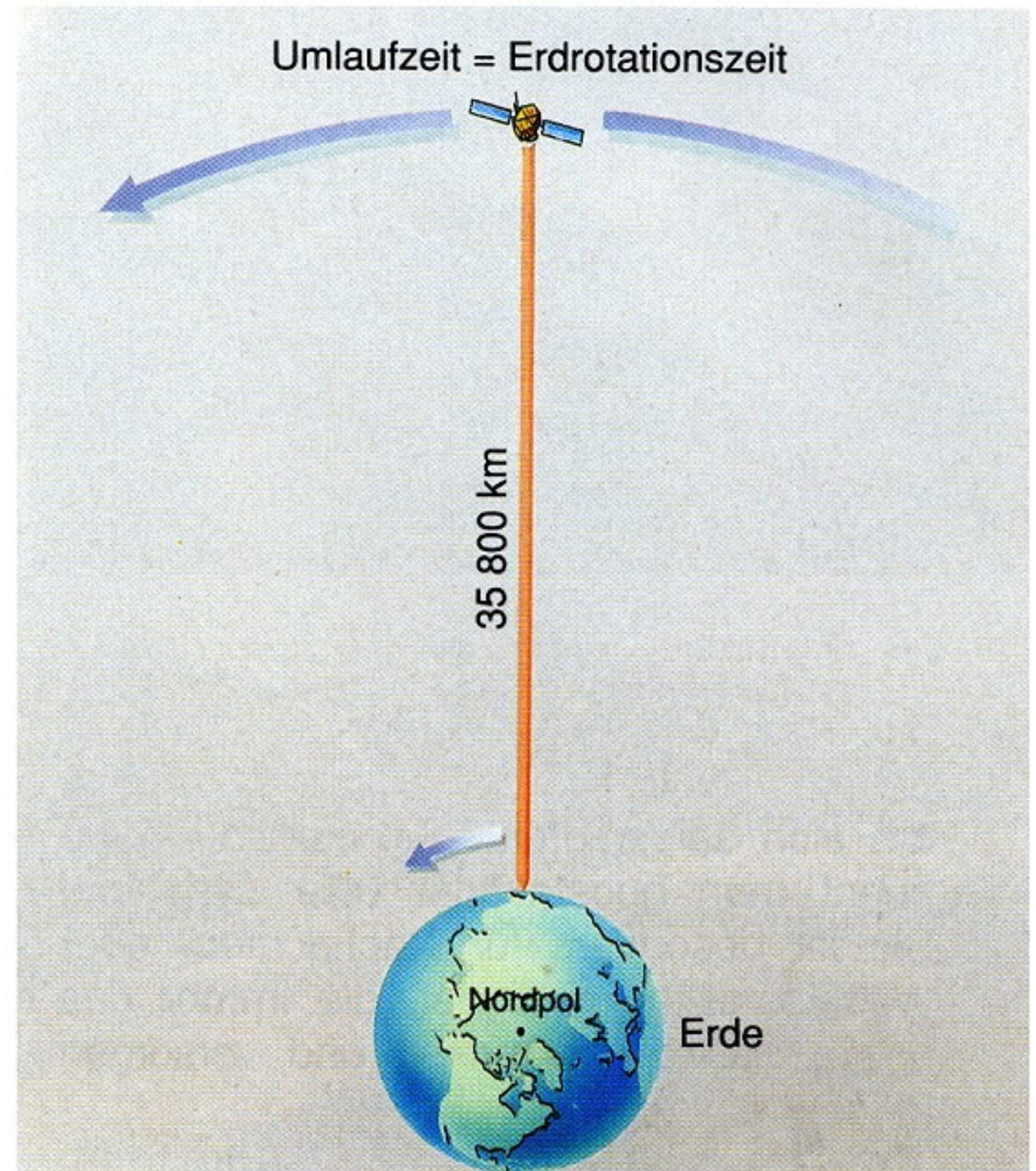
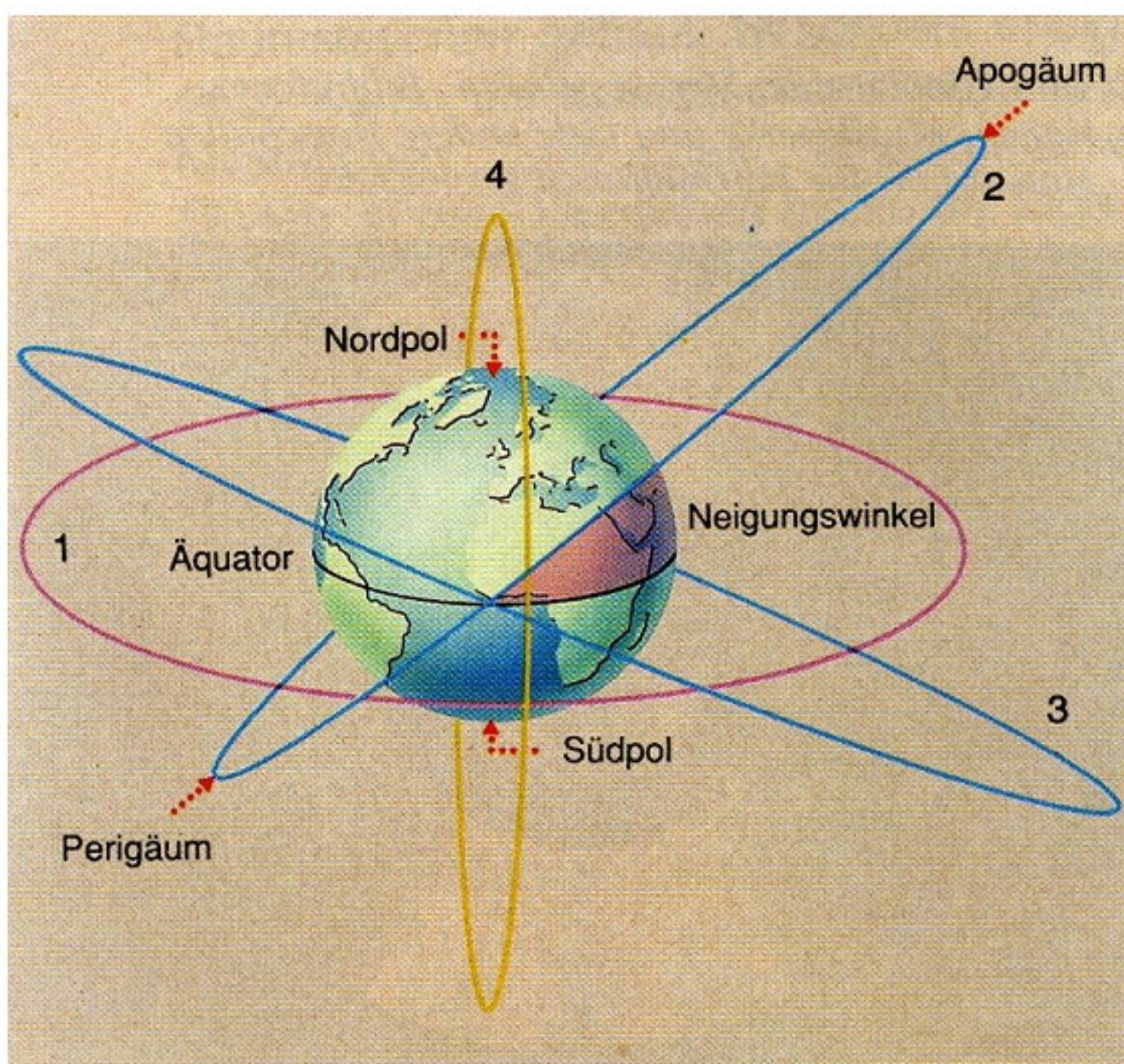
Die meisten Satelliten umkreisen die Erde

Gibt es besonders günstige Satellitenbahnen?

in geringer Höhe zwischen 200 km und 600 km. Es gibt dort zwar noch Atmosphärenteilchen, jedoch ist der Luftwiderstand so gering, daß der Satellit lange auf seiner Bahn bleiben kann. Große Erdnähe bedeutet geringe Transportkosten, gute Beobachtungsmöglichkeit und optimale Auflösung der vom Satelliten aufgenommenen Bilder. Die Bahn kann entweder genau den Äquator umgeben oder mehr oder weniger gegen den Äquator geneigt sein.

Die Bahn kann entweder genau den Äquator umgeben oder mehr oder weniger gegen den Äquator geneigt sein.

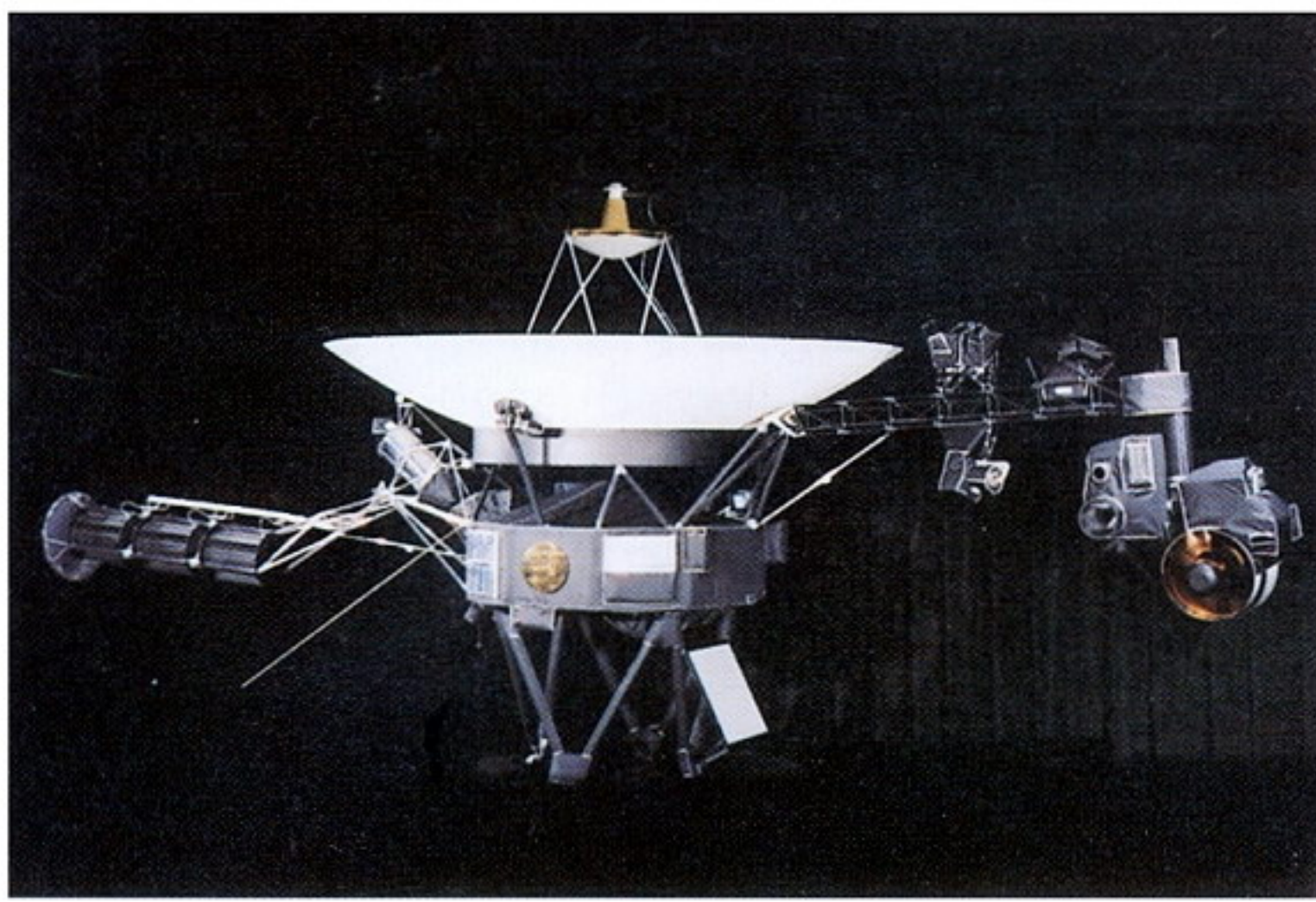
Erdnahe Satellitenbahnen. Sie umgeben entweder den Äquator (1) oder sind gegen ihn geneigt (2, 3). Besonders wichtig sind die polaren Bahnen (4).



Die geostationären oder synchronen Satelliten scheinen immer über demselben Punkt der Erde stehen zu bleiben.

Besonders günstig sind Bahnen, die über die Pole der Erde laufen. Der erdnahe Satellit umkreist unseren Planeten in etwa 95 Minuten. Da sich dieser unter der Satellitenbahn langsam weiterdreht, können nach und nach alle Punkte der Erde beobachtet werden.

Je weiter ein Satellit von der Erde entfernt ist, um so langsamer umkreist er unseren Planeten, und um so länger dauert ein Umlauf. In 400 km Höhe beträgt bei kreisförmiger Bahn die Geschwindigkeit 7,67 km/s und die Umlaufzeit 92,57 Minuten. In 1200 km Höhe liegen diese Werte bei 7,25 km/s und 109,45 Minuten. In 35 800 km Höhe schließlich beträgt die Umlaufzeit 23 Stunden, 56 Minuten und 4 Sekunden. Befindet sich ein Satellit in dieser Höhe über dem Äquator und läuft im Sinne der Erdrotation, so bleibt er immer über demselben Land „stehen“, da sich die Erde ja unter ihm in knapp 24 Stunden



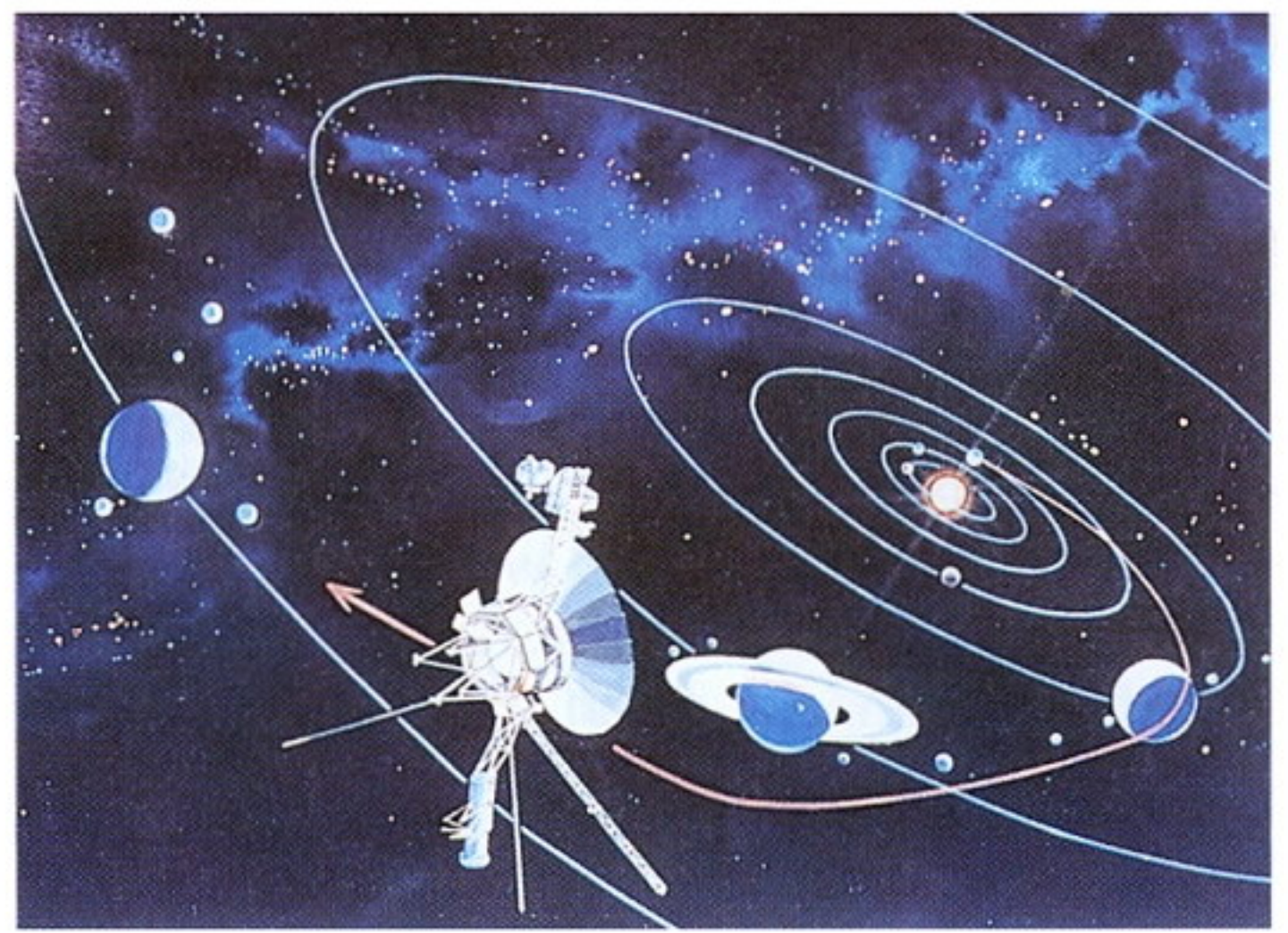
Die Raumsonde Voyager 2 war das bisher erfolgreichste Raumfahrzeug aller Zeiten. Sie funkte faszinierende Bilder der vier Riesenplaneten zur Erde.

um sich selbst dreht. Eine solche Bahn nennt man geostationär oder synchron. Sie ist besonders für Nachrichten- oder Wettersatelliten geeignet, die immer das selbe Gebiet überblicken und versorgen müssen.

Neben den künstlichen Satelliten, die von einer erdnahen Bahn aus das Universum oder unseren Planeten erforschen, werden häufig sogenannte Raumson-

Was ist eine Raumsonde?

den ins All geschossen, die zu den Nachbarplaneten, Kometen oder in die Nähe der Sonne fliegen und in der Regel nicht zurückkehren. Sie haben Kameras und Meßgeräte aller Art an Bord. Einige von ihnen haben bereits das Planetensystem verlassen und sind auf dem Weg in die Tiefen des Alls. Die bisher erfolgreichste Raumsonde war Voyager 2. Dieses kleine amerikanische Raumschiff funkte uns unzählige herrliche Bilder von Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun zur Erde. Nach Erfüllung ihrer Aufgaben rast sie zusammen mit ihrer Schwestersonde Voyager 1 und ihren Vorgängern Pioneer 10 und 11 in die Tiefen des Alls. An Bord der Voyager-Sonden sind Bild-Ton-Platten, auf denen viele Musikstücke, aber auch Grußworte in verschiedenen Sprachen, typische Geräu-



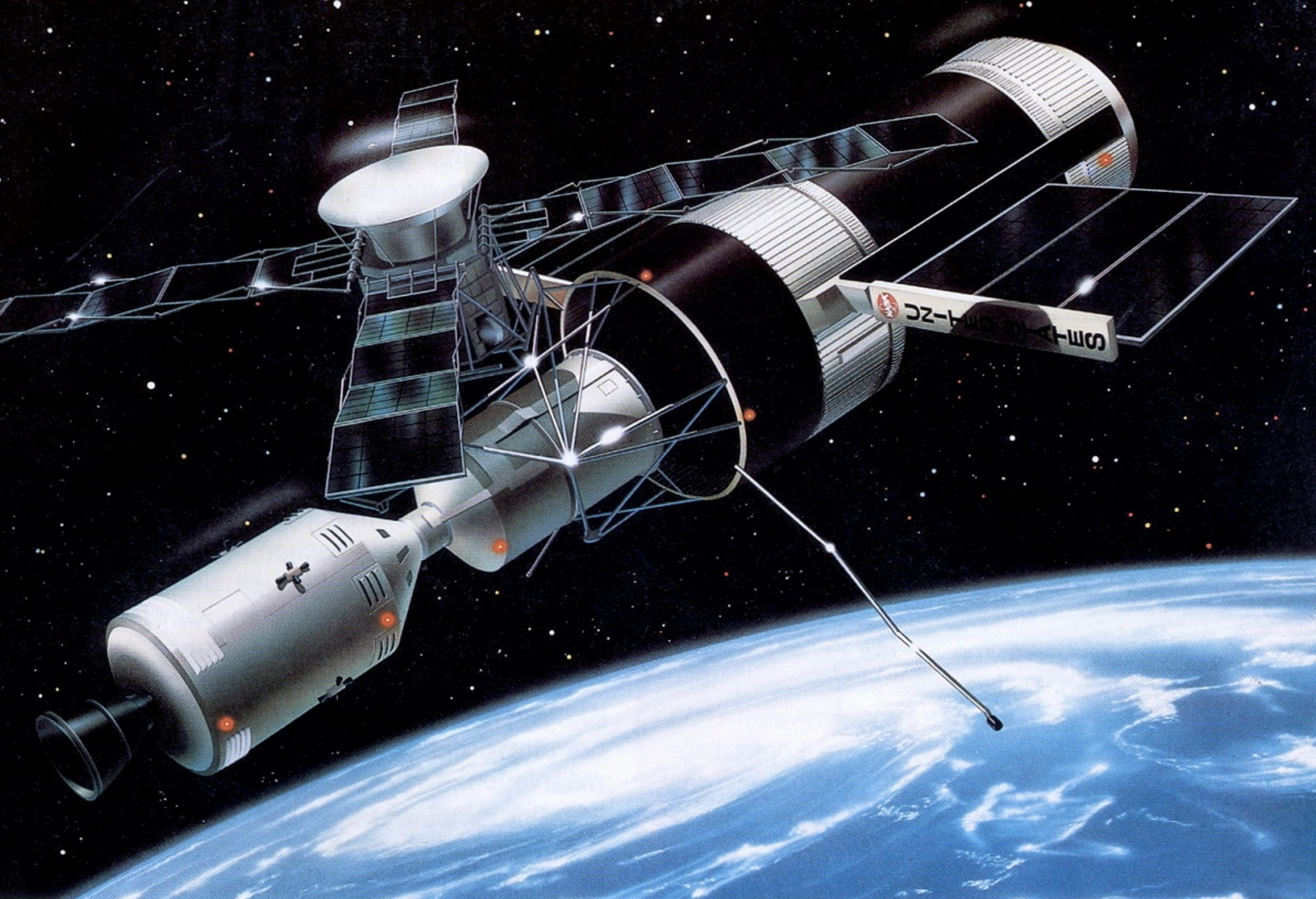
sche der Erde und diverse Bildinformationen gespeichert sind. Allerdings sind die Aussichten sehr gering, daß diese „Flaschenpost“ je gefunden und verstanden wird. Auf jeden Fall werden die Raumsonden der Pioneer- und Voyagerfamilie die letzten Zeugen unserer Kultur sein, wenn die Menschheit und die Erde längst untergegangen sind!

Schon der Weltraumpionier Wernher von Braun (1912–1977) hatte vorgeschlagen, große bewohnte Satelliten zu bauen, die er Raumstationen nannte. Er stellte sich darunter eine Mikrowelt mit 50 Mann

Was ist eine Raumstation?

Bild-Tonplatte der Voyagersonden. Bildinformationen, Musikwerke und viele andere Botschaften sind auf ihr für Jahrtausende gespeichert.





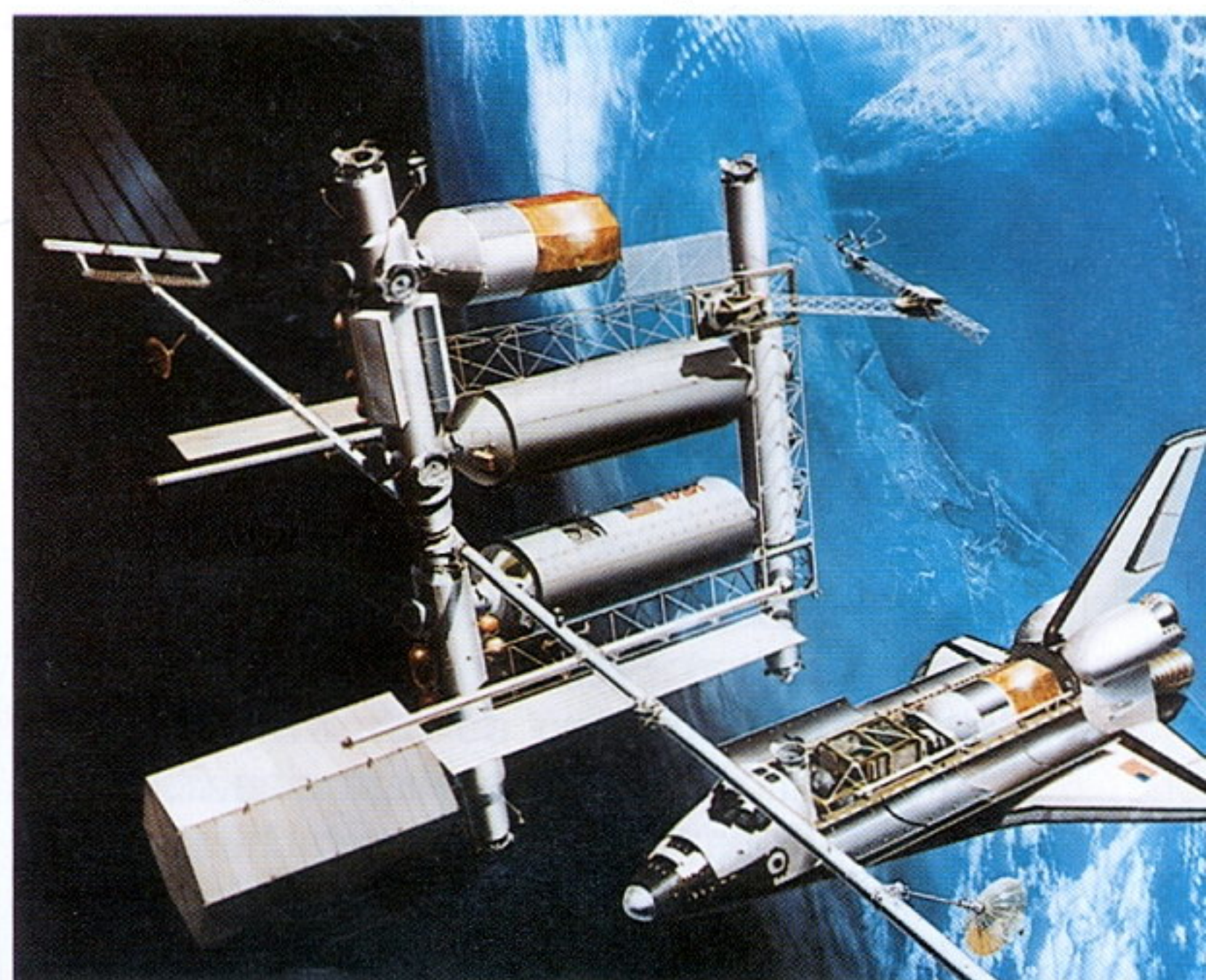
Besatzung vor, die von Nachschub weitgehend unabhängig sein sollte. Auch wenn es solche Riesensatelliten noch nicht gibt, so wurden doch inzwischen kleinere Raumstationen gebaut. Besonders erfolgreich waren die sowjetischen Saljut- und Mirstationen und das amerikanische Skylab, in dem Menschen bis zu 84 Tagen lebten und arbeiteten. In sowjetischen Raumstationen verbrachten einige Besatzungsmitglieder bis zu einem Jahr und sammelten wertvolle medizinische Erfahrungen für eine später Reise zum Mars.

Ohne künstliche Erdsatelliten kann man sich die moderne Welt gar nicht mehr vorstellen. Wetter-satelliten wie der europäische Meteosat verfolgen mit ihren Kameras Hoch- und Tiefdruckgebiete

Hat die Raumfahrt einen wirtschaftlichen Nutzen?

In der amerikanischen Raumstation Skylab lebten Menschen bis zu 84 Tage lang. Sie waren völlig gewichtslos und hielten sich mit Gymnastik fit.

Im nächsten Jahrhundert könnten riesige Raumstationen unseren Planeten umkreisen, in denen nicht nur geforscht, sondern auch produziert wird.





Aufnahme eines Wettersatelliten. Mit ihrer Hilfe konnten die Wettervorhersagen wesentlich verbessert und Wirbelstürme früh erkannt werden.

sowie Wirbelstürme auf der Erde. Mit ihren Prognosen helfen sie, in der Landwirtschaft Millionenwerte vor Unwettern zu schützen. Selbst in der Nacht können sie mit sogenannten Infrarotbildern das Geschehen in unserer rastlosen Atmosphäre verfolgen.

Nachrichtensatelliten vermitteln Telefongespräche von Kontinent zu Kontinent und bringen uns Fernsehbilder aus fernen Ländern ins Haus. Auch für die Meeresforschung, die Geologie und bei der Suche nach Bodenschätzen sind Erdsatelliten heute unentbehrlich. Die Raumstation Skylab, die insgesamt 2,4 Milliarden Dollar gekostet hatte, entdeckte zum Beispiel in den USA Bodenschätze im Wert von 15 Milliarden Dollar. Öltanker sparen Millionenbeträge ein, da sie mit Hilfe von Satellitenfotos von Meeresströmungen energiesparender gesteuert werden können. Weitere Einsparungen verdanken wir der genauen Satellitennavigation, die Kollisionen zwischen Schiffen und Eisbergen stark reduziert hat.

Beim größten Problem des 21. Jahrhunderts, der Erhaltung der Umwelt, werden Raumstationen und Satelliten eine überragende Rolle bei der Überwachung der Atmosphäre und der Gewässer spielen. Schon heute zeigen Infrarotbilder, die aus

200 km Höhe aufgenommen werden, ob Bäume erkrankt sind und Felder optimal genutzt werden. Viele Umweltsünder, die mit ihren Abwässern illegal Flüsse, Seen und Meere verschmutzen, wurden durch Satellitenbilder gestellt und konnten zur Rechenschaft gezogen werden. Auch militärisch werden Satelliten genutzt. Sie können kleinste Details bei Truppenbewegungen oder Raketenversuche des jeweiligen Gegners bei wolkenlosem Himmel beobachten. In späteren Raumstationen sollen Produkte hergestellt werden, die nur im Zustand der Schwerelosigkeit entstehen können. Viele unserer schon heute benutzten Werkstoffe verdanken wir der Raumfahrt, insbesondere auf dem Kunststoffsektor. Zu den Nebenprodukten der Weltraumfahrt zählen so bekannte Dinge wie Klettverschlüsse, Glasfaseroptiken, Sonnenzellen, Herzschrittmacher und Klimaanlage. Diese Liste ließe sich noch beliebig lange fortsetzen. Skeptisch könnte man allerdings bei Reisen zum Mars werden. Man darf jedoch nicht vergessen, daß sich Grundlagenforschung oft erst nach Jahrzehnten oder Jahrhunderten auszahlt. Auch die ersten Versuche mit Elektrizität oder mit Halbleitern erscheinen vielen Zeitgenossen als sinnlose Spielerei und Geldverschwendung.

Infrarotaufnahmen aus dem Weltall wie diese von Schleswig-Holstein mit der Insel Sylt. Sie werden in sichtbares Licht „übersetzt“.



Bei der Erforschung des Weltalls benutzen

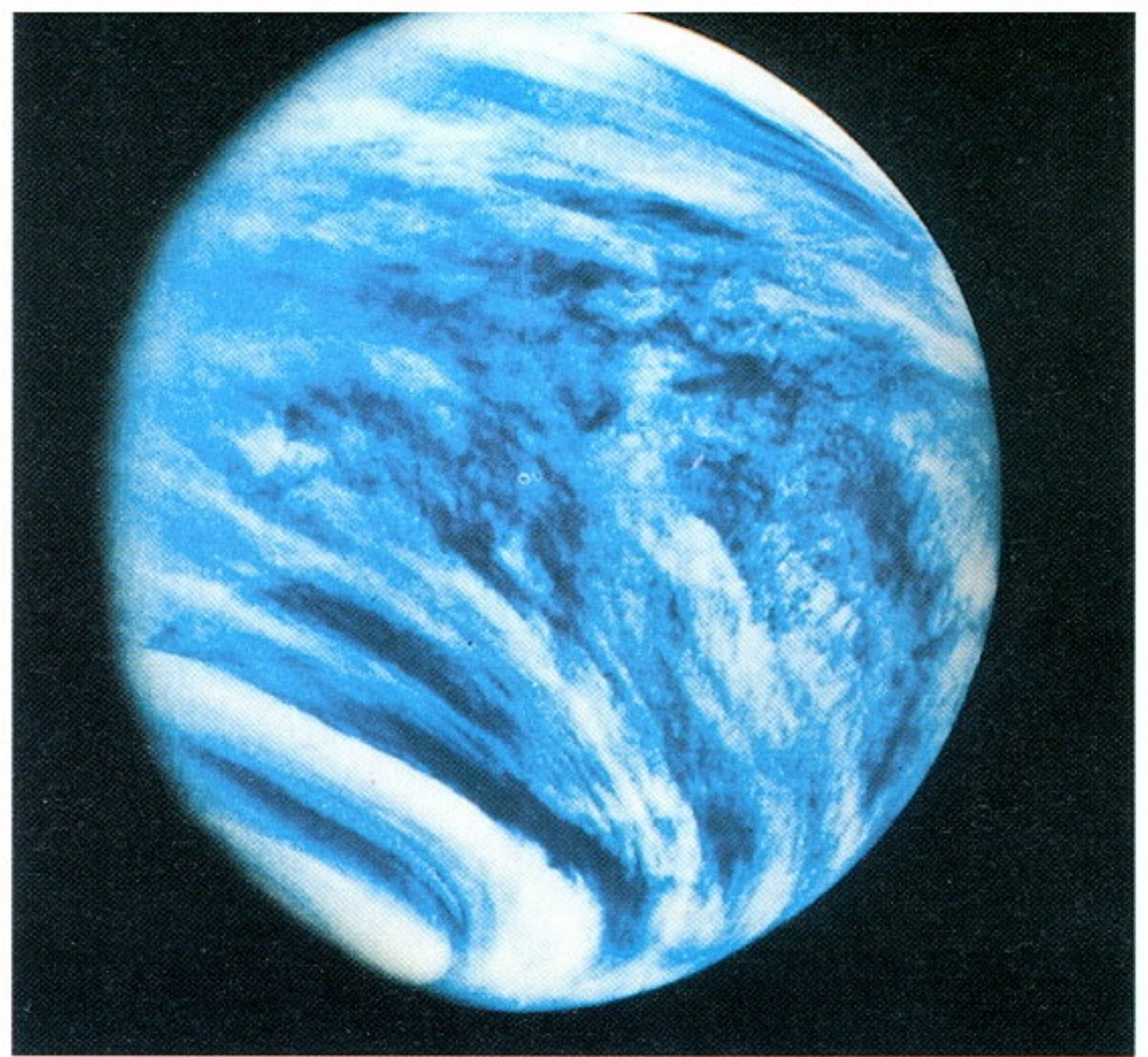
Wie hilft die Raumfahrt den Astronomen?

die Wissenschaftler seit langer Zeit erdgebundene Fernrohre für das sichtbare Licht und Riesenantennen für Radiowellen aus dem Kosmos. Es gibt aber viele

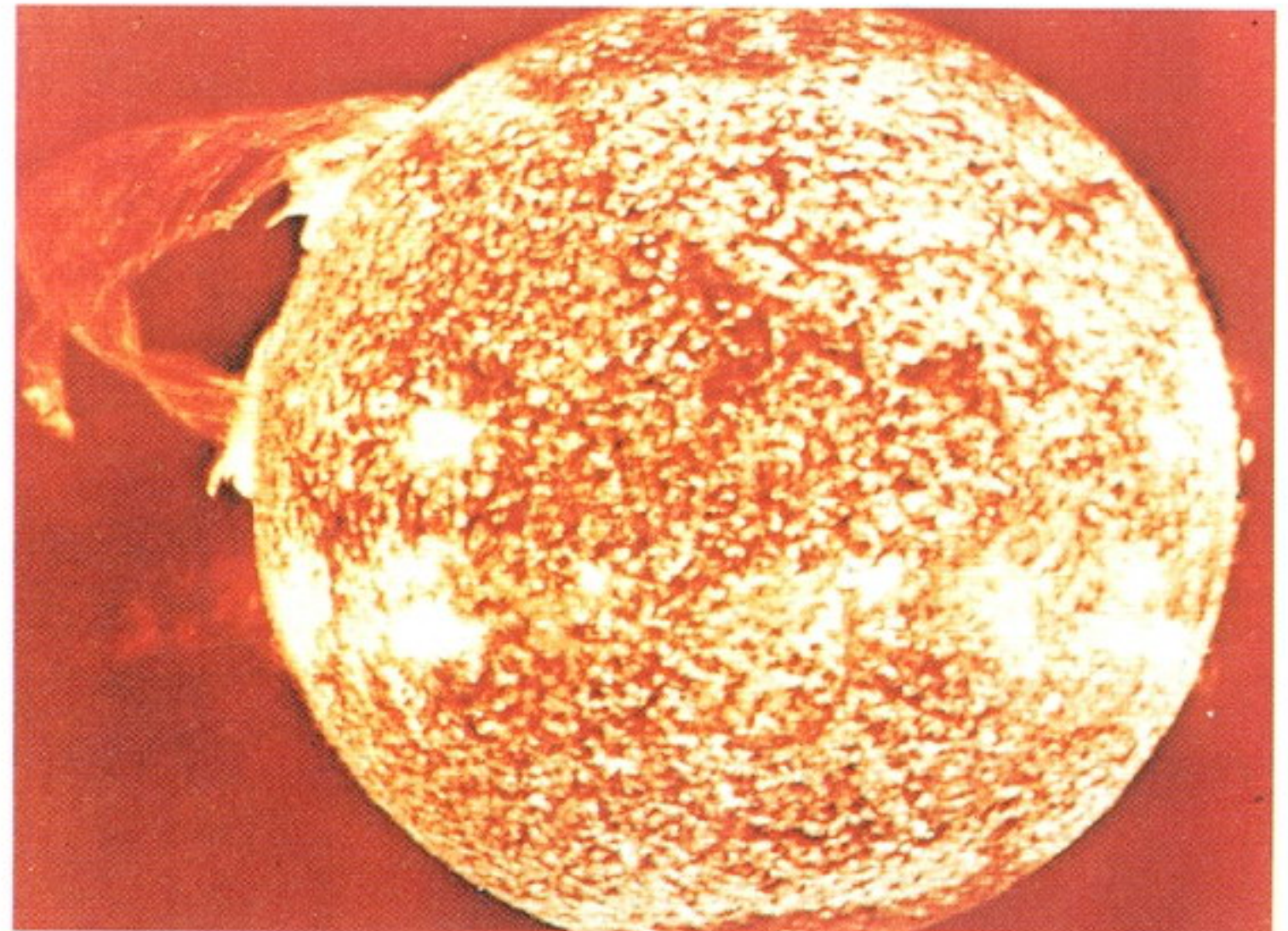
Strahlungsarten, die man nur oberhalb unserer Atmosphäre von Satelliten oder Raumstationen aus beobachten kann, da diese Strahlen von der Lufthülle absorbiert oder verschluckt werden. Dazu gehören zum Beispiel fast alle Ultraviolettbereiche, die Röntgen- und die Gammastrahlen, für die es heute Spezialteleskope gibt, welche uns ganz neue Erkenntnisse vermitteln.

Im für uns unsichtbaren ultravioletten Licht kann man zum Beispiel deutlich die Wolkenbewegungen der Venus und ganz neue Strukturen auf der Sonne erkennen. Röntgenbilder der Sonne zeigen, daß es in ihrer äußeren Atmosphäre Temperaturunterschiede von 600 000 bis 5 000 000 Grad gibt. Auch auf der Suche nach den geheimnisvollen Schwarzen Löchern sind Röntgenteleskope im All sehr hilfreich. Wenn ein Schwarzes Loch aus einem anderen Stern Materie heraussaugt, so erhitzt sich diese vor dem Verschwinden stark und sendet Röntgenstrahlen aus.

Wenn Materie in ein Schwarzes Loch stürzt, sendet sie Röntgenstrahlung aus, die man den „Todesschrei der Materie“ nennt.



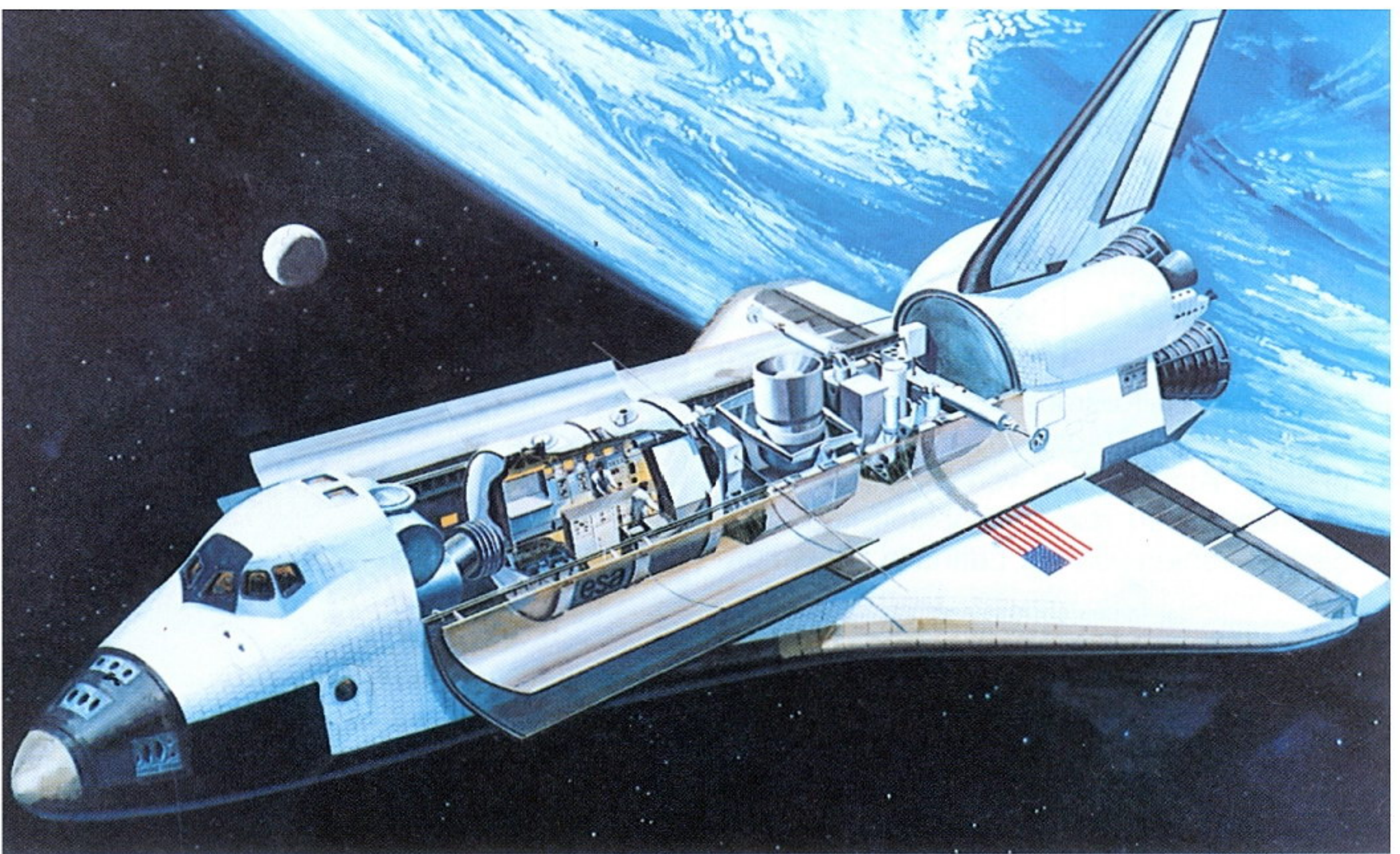
Im ultravioletten Licht kann man die Wolkenstrukturen der Venus deutlich erkennen.



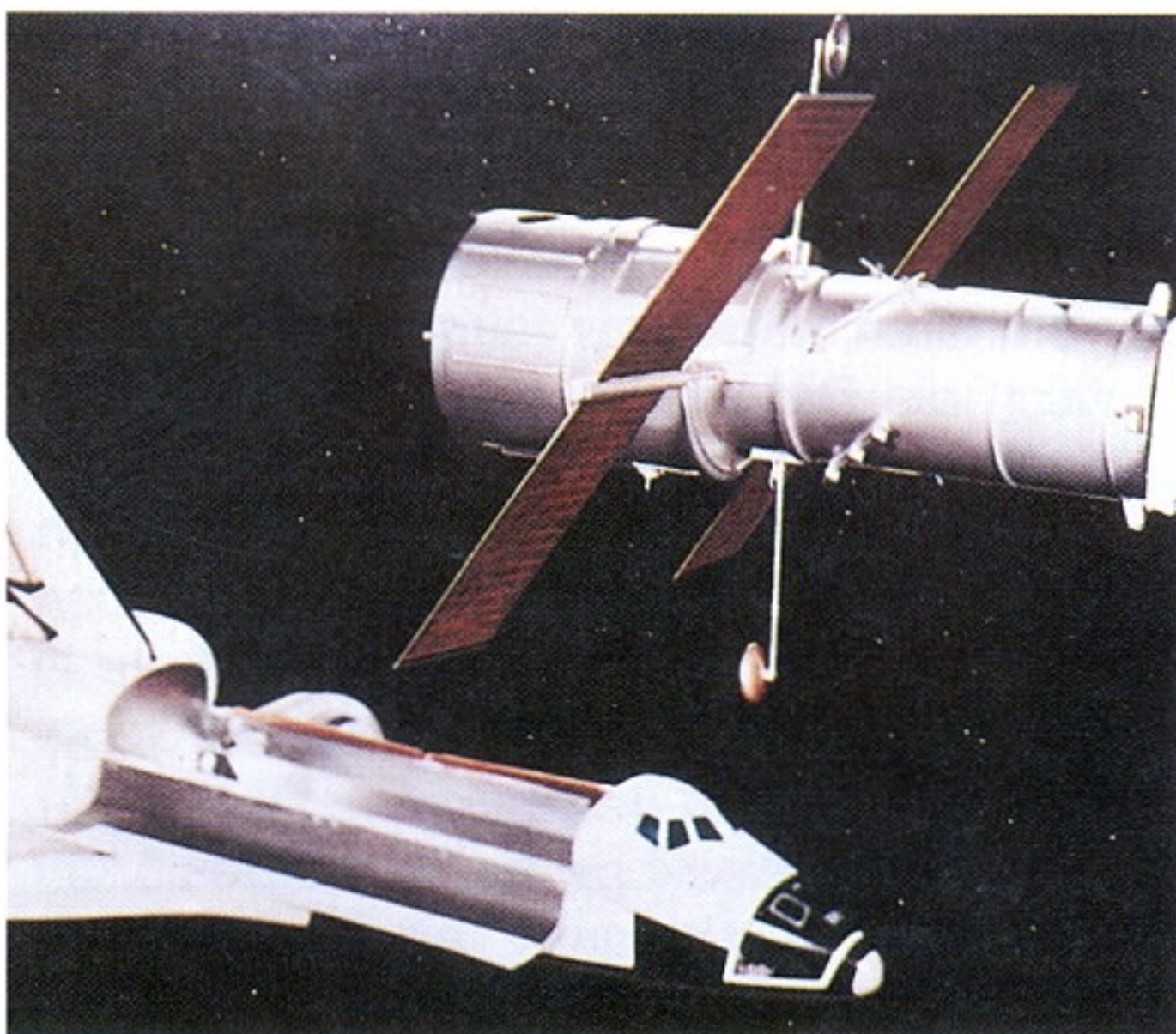
Ultravioletaufnahme der Sonne. Man kann bisher unsichtbare Strukturen erkennen. Auch im „Röntgenlicht“ wurde die Sonne untersucht.

Mit Infrarotsatelliten erforscht man die Entstehung neuer Sonnen, lange bevor sie im sichtbaren Licht zu strahlen beginnen. Auch die Bildung neuer Planetensysteme aus großen Staubscheiben, welche viele Sterne umgeben, ist im Infrarotbereich beobachtbar. Radarsatelliten umrunden die Venus und durchdringen mit ihren Strahlen die dichte Wolkenhülle unseres Nachbarplaneten.

Aber auch Teleskope für sichtbares Licht werden im Weltraum eingesetzt. Das bekannteste Weltraumteleskop ist das



Hubble Space Telescope. Man kann oberhalb der verschmutzten und unruhigen Lufthülle viel schärfere Bilder bekommen als von noch so günstig gelegenen Sternwarten aus. In einigen Jahrzehnten wird es sicher ein Observatorium auf dem Mond geben, der ja keine Lufthülle besitzt. Junge Wissenschaftler werden dann dort genau so ihre Beobachtungen durchführen, wie sie es heute auf den großen Observatorien in Südspanien, Australien, Kalifornien oder Südamerika tun.



Die amerikanische Raumfähre Space Shuttle kann wiederverwendet werden und reduziert die Kosten für bemannte Raumflüge sehr stark.

Die riesigen Saturn-Raketen, welche ab 1969 Menschen zum Mond beförderten, aber auch die Apollo-Raumschiffe, konnten nur einmal verwendet werden.

Was ist eine Raumfähre?

Dasselbe gilt für fast alle anderen Raketen, Satelliten und Raumstationen, die bisher gestartet wurden. Eine Raumfähre wie das amerikanische Space Shuttle kann dagegen wiederverwendet werden, was natürlich eine gewaltige Kosteneinsparung bedeutet.

Die eigentliche Raumfähre, auch Orbiter genannt, ist 37,24 m lang und wiegt rund 70 Tonnen. An ihr ist beim Start ein riesiger, 47 m langer Treibstofftank befestigt, der über 100 Tonnen Wasserstoff enthält und nach Gebrauch abgestoßen wird. Das ganze Raumschiff wird am Anfang des Fluges zusätzlich von zwei wiederver-

Das Riesenfernrohr Space Telescope umkreist die Erde. Oberhalb der Lufthülle hat es ganz andere Möglichkeiten als Fernrohre auf dem Erdboden.

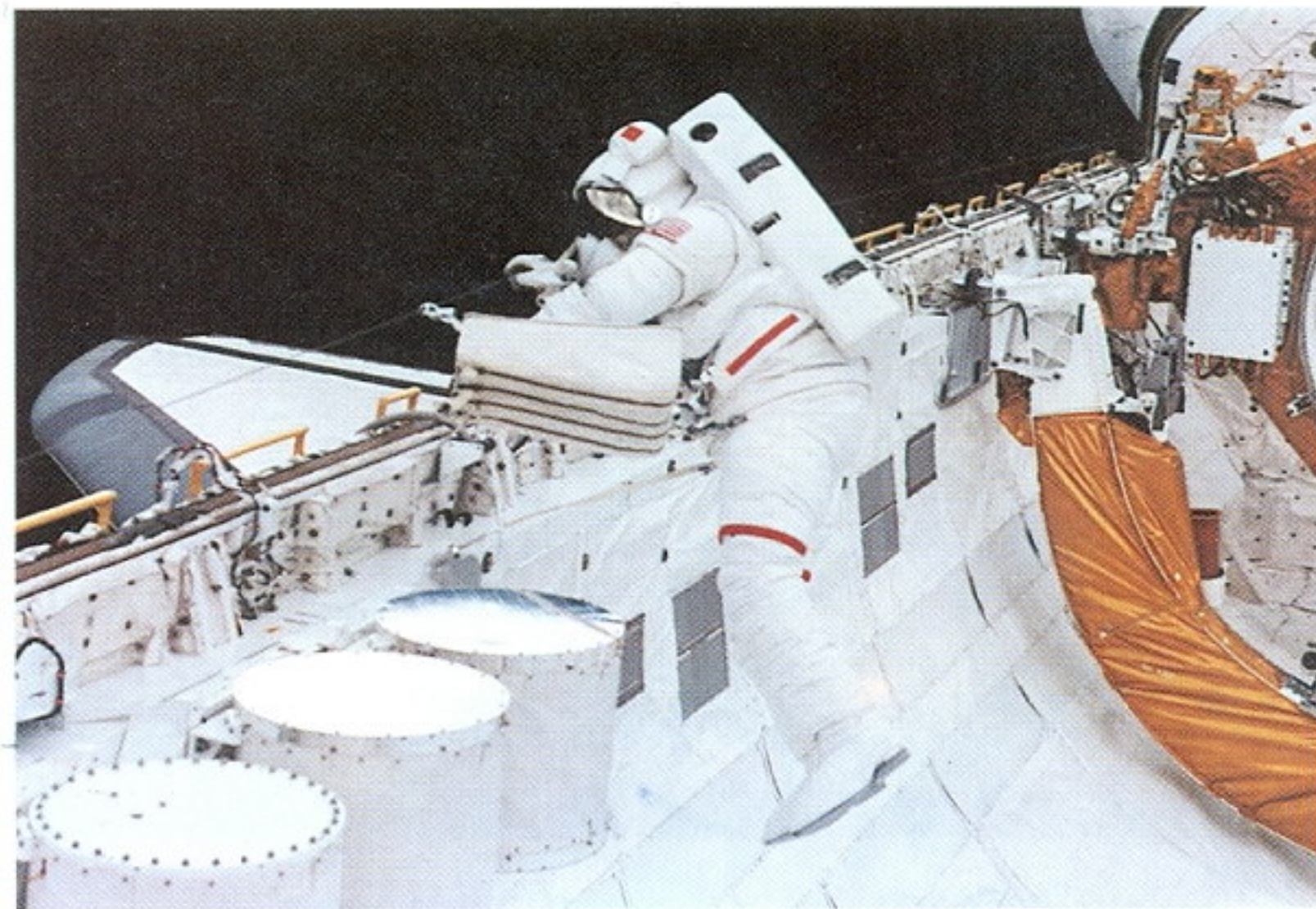
wendbaren Feststoffraketen angetrieben, die nach 127 Sekunden Brenndauer abgeworfen werden und an Fallschirmen ins Meer schweben, wo sie geborgen werden. Nur der Orbiter gelangt also auf eine Erdumlaufbahn, wo ein Astronautenteam wissenschaftliche oder militärische Aufgaben erledigt. Auch wertvolle Satelliten können ausgesetzt, aber auch angeflogen, geborgen oder repariert werden. Die Raumfähre startet wie ein Raumschiff und landet wie ein Flugzeug. Sie kann bis zu 100mal wiederverwendet werden.

Die Gesamtmasse beträgt bei einem typischen Space-Shuttle-Flug 2036 Tonnen, der Startschub liegt bei 2960 Tonnen. Die Nutzlast ist mit 28 Tonnen vergleichsweise klein. Beim Aufstieg müssen die Astronauten eine Beschleunigung von maximal „3g“ aushalten. Sie werden mit dem 4fachen ihres Gewichts in ihre Sitze gepreßt, bevor sie bei der Erdumkreisung das Gefühl der Schwerelosigkeit genießen können.

Ähnlich wie im letzten Jahrhundert vor

Wie lange kann ein Mensch im Weltraum leben?

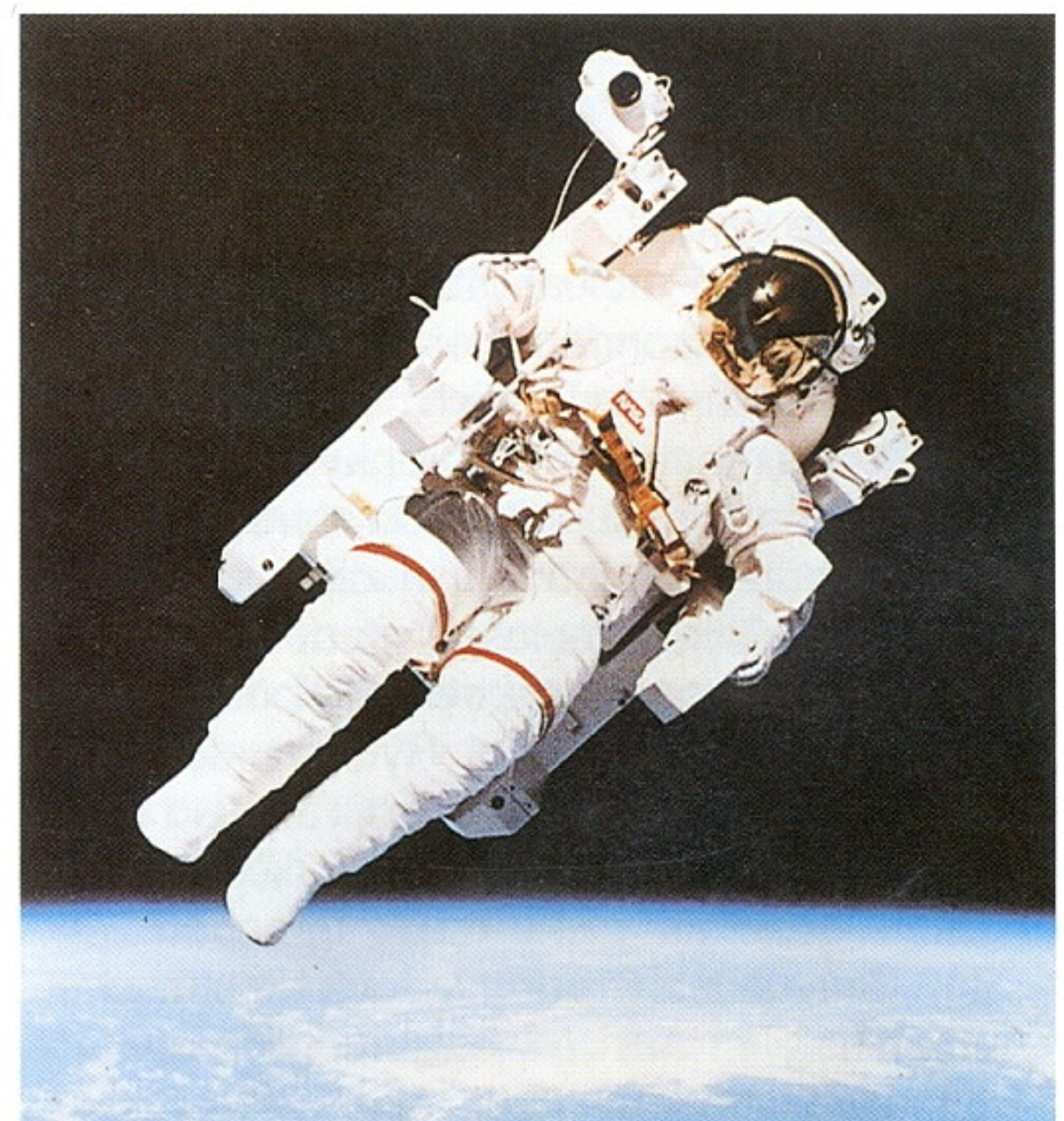
Fahrten mit der neu erfundenen Eisenbahn gewarnt wurde, hielten 1950 viele Fachleute einen Raumflug aus medizinischen Gründen für unmöglich. So gab es eine Theorie, nach welcher der Blutkreislauf des Menschen unter Weltraumbedingungen zusammenbrechen sollte, was natürlich den sicheren Tod des Astronauten bedeutet hätte. In der Tat haben viele Raumfahrer zunächst große Anpassungsschwierigkeiten, wenn sie sich im Zustand der Schwerelosigkeit befinden. Sie leiden unter Unwohlsein und müssen sich übergeben. Man darf ja nicht vergessen, daß das Gleichgewichtsorgan im Ohr, das normalerweise auf die Richtung der Schwerkraft eingestellt ist, frei schwebt und dem Hirn falsche Informationen übermittelt. Glücklicherweise stellt sich unser



Außenbordmanöver eines US-Astronauten. Satelliten müssen ausgesetzt oder repariert, wissenschaftliche Experimente im All durchgeführt werden.

Gehirn jedoch bald auf die veränderten Bedingungen ein. Wichtige Organe wie Herz und Magen verschieben sich bei Schwerelosigkeit, was ebenfalls zu Beschwerden führen kann. Bei längerem Aufenthalt im All verändern sich Blutzusammensetzung, Muskeln, Knochen, das

Der Mensch im Weltall. Er muß immer einen Raumanzug tragen.





Die Mannschaft des europäischen Spacelab 1. Dieser Flug diente ausnahmslos der Wissenschaft und brachte viele neue Erkenntnisse.

Immunsystem, die Verdauung und die Herzleistung. Bei gutem Gesundheitszustand des Astronauten, körperlicher Fitneß, der Einnahme geeigneter Medikamente und regelmäßigem Training sind jedoch mehrmonatige, wahrscheinlich auch mehrjährige Raumflüge im Zustand der Schwerelosigkeit möglich, ohne daß der Raumfahrer bleibende Gesundheitsschäden davonträgt. So könnte ein Flug zum Mars einmal Wirklichkeit werden, ebenso ein längerer Forschungsaufenthalt auf dem Mond, wo man nur $\frac{1}{6}$ seines irdischen Gewichts hat, jedoch immer einen Raumanzug benötigt, wenn man die Gebäude verläßt.

Ein anderes Problem ist die Strahlenbelastung, die besonders bei gewaltigen Sonneneruptionen gefährlich werden kann. Allein die kosmische Strahlung aus den Tiefen des Alls ist jedoch so stark, daß ein ungeschützter Astronaut durch sie täglich mit 200 Millirem belastet wird, also rund 150mal stärker als auf dem Erdboden. Der sowjetische Kosmonaut Ryumin, der sich etwa 1 Jahr im All aufhielt, dürfte also eine Dosis aufgenommen haben, die medizinisch gesehen nicht mehr unbedenklich ist. Eine Abschirmung gegen kosmische Strahlung ist nur teilweise möglich. Jeder Langzeitastronaut geht also das Risiko

einer hohen Strahlenbelastung ein, was die Wahrscheinlichkeit, später Krebs zu bekommen, erhöht.

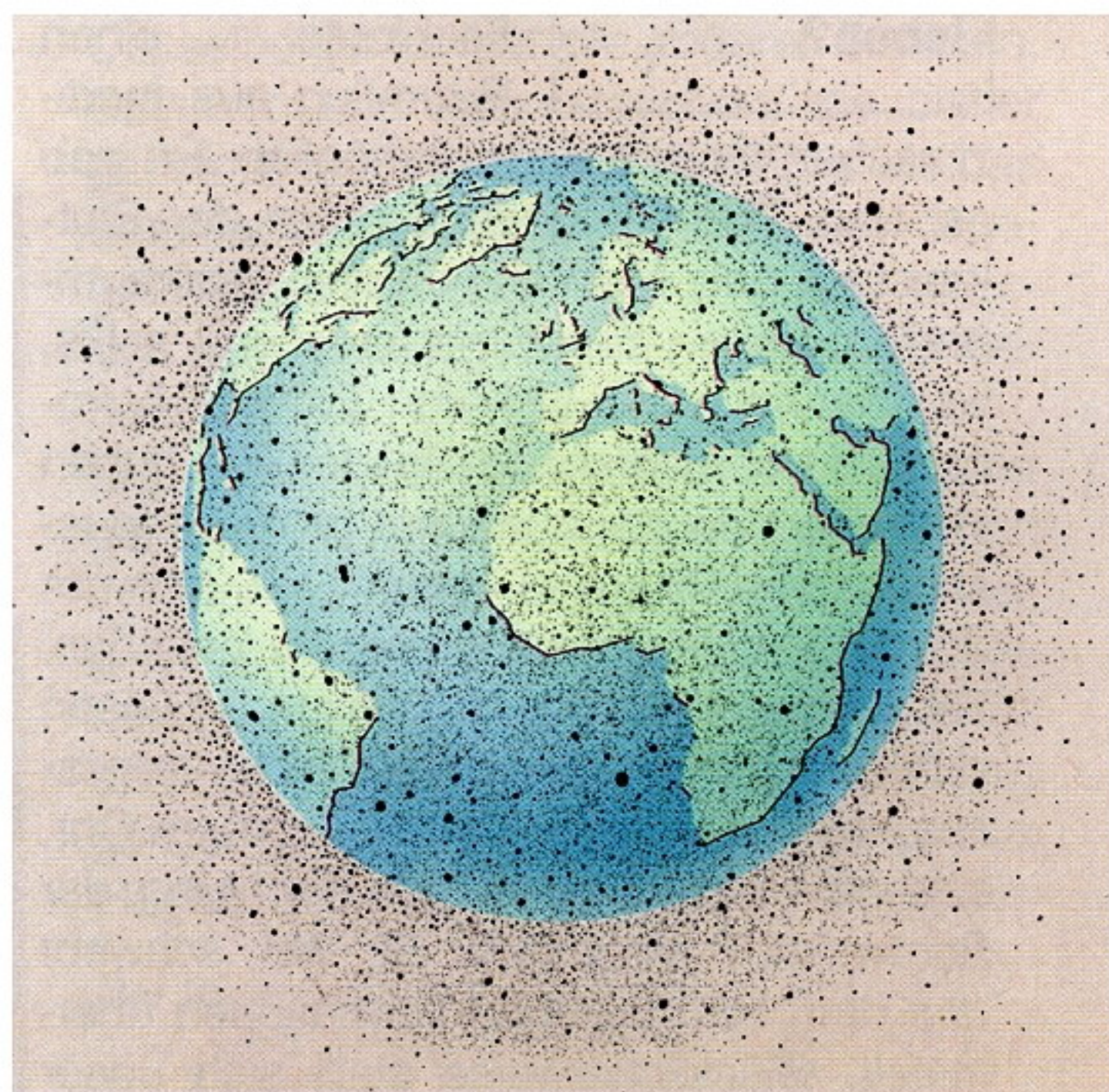
Seit 1957 wurden rund 20 000 Objekte in

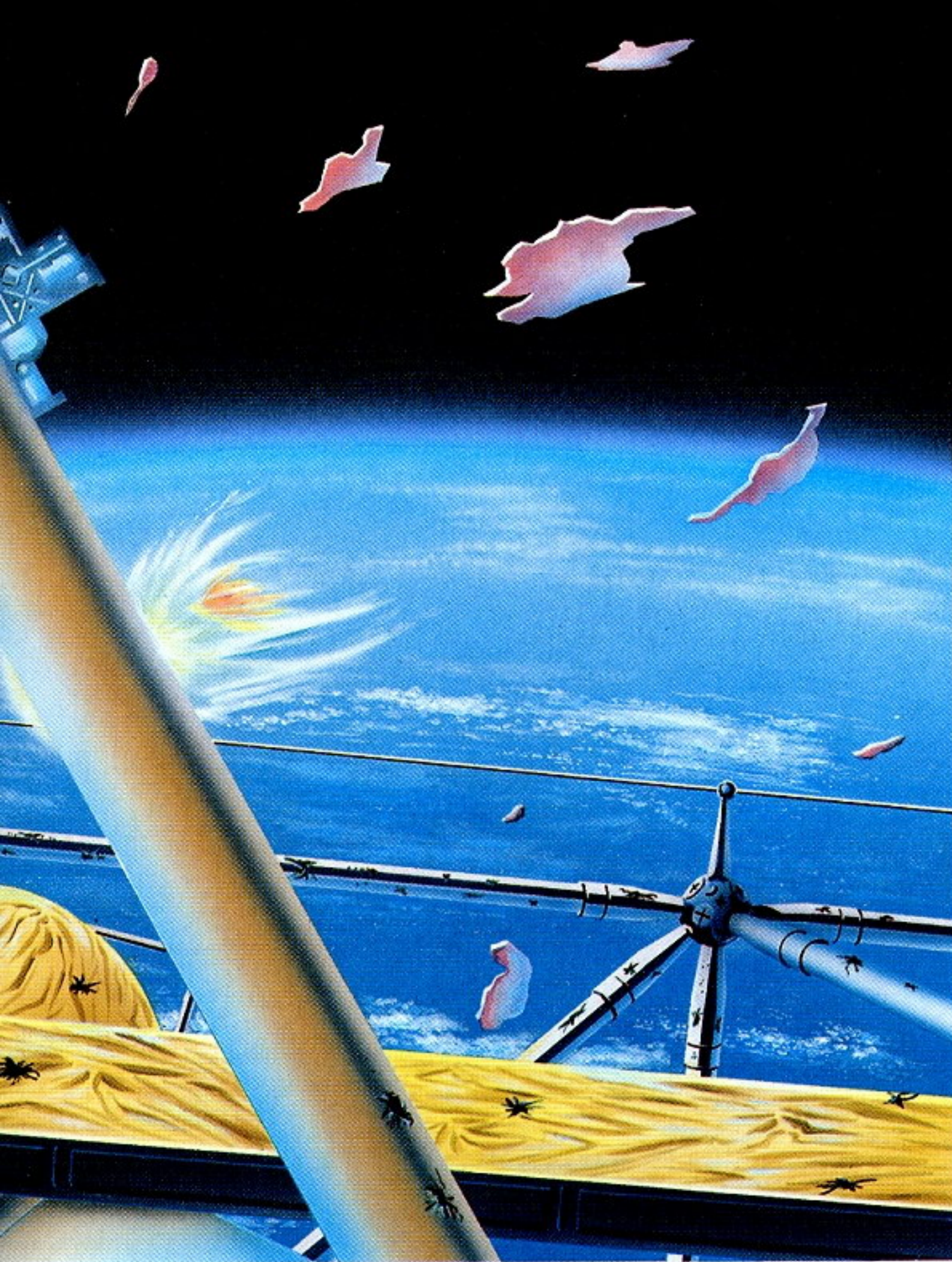
Macht Weltraummüll die Raumfahrt bald unmöglich?

den erdnahen Welt-
raum befördert, von
denen 1991 noch et-
wa 8000 die Erde
umkreisten. Über
viele von ihnen hat

man die Kontrolle verloren, so daß Kollisionen mit neuen Raumflugkörpern möglich sind. Viel schlimmer sind jedoch unzählige kleine und kleinste Trümmer und Farbsplitter, die zum Beispiel von explodierten Raketenstufen stammen. Als der Satellit Solar Max von einer Space-Shuttle-Besatzung repariert wurde, stellte man Hunderte von winzigen Einschlagkratern auf seiner Oberfläche fest, die fast alle von sehr schnell fliegenden kleinen Raketensplittern herrührten. Auch die Forschungsplattform LDEF war nach ihrer Bergung durch eine Raumfähre von Einschlägen übersät. Das später verunglückte Space Shuttle

Unser Planet ist inzwischen von unzähligen Satelliten und Raketentrümmern umgeben. Kollisionen werden immer wahrscheinlicher.

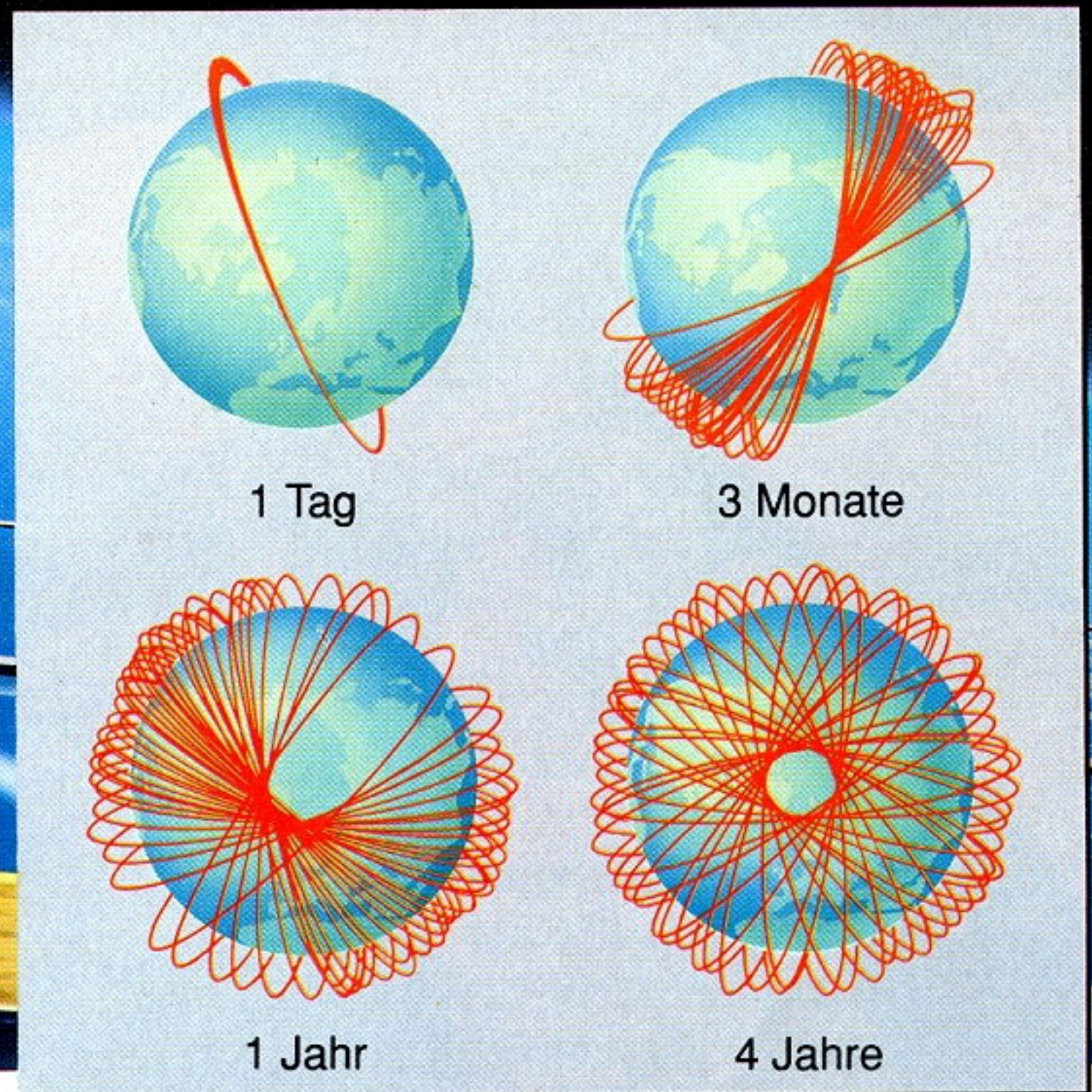




Ein Schwarm von Trümmern breitet sich sehr schnell aus und wird zu einer großen Gefahr für alle Satelliten und Raumfahrer. Die Umweltverschmutzung im All wird immer bedrohlicher.

Challenger wurde 1983 von einem Trümmerteil getroffen, welches fast das Cockpitfenster durchschlagen hätte. Die meisten dieser gefährlichen Partikel befinden sich zwischen 200 und 2000 km Höhe, also gerade dort, wo auch die meisten Satelliten und Raumstationen kreisen.

Man ist zwar bestrebt, die Entstehung weiterer Trümmer zu vermeiden, jedoch stellen die schon vorhandenen Splitter ein erhebliches Risiko für weitere Raumfahrtmissionen dar. Während in geringer Höhe kreisende Teilchen langsam durch den Luftwiderstand abgebremst werden und schließlich in der Atmosphäre verglühen, verbleiben 800 km hohe Trümmerstücke Jahrzehnte bis Jahrhunderte, 1200 km hohe Splitter auch Jahrtausende auf ihrer



Umlaufbahn. Jeder Raumfahrer, der zum Mond oder Mars will, muß also nicht nur die Strahlungsgürtel der Erde, sondern auch lebensbedrohende Trümmerwolken durchfliegen. Dieses Risiko hätte bei größerer Sorgfalt weitgehend vermieden werden können.

Auch die rund 400 Satelliten auf den dichtbesetzten geostationären Bahnen sind durch Weltraummüll gefährdet, jedoch auch durch gegenseitige Zusammenstöße bedroht. Die dabei entstehenden Trümmer würden weitere Satelliten zerstören, wodurch unser ganzes internationales Kommunikationssystem zusammenbrechen könnte.

Der Weltraummüll stellt also eine große Gefahr für die Raumfahrt dar, die sich selbst durch ihre Abfälle zum Stillstand bringen könnte, wenn nicht mit absehbarer Frist radikale „Umweltschutzmaßnahmen“ getroffen werden.



Raumsonden erforschen das Sonnensystem

Die Sonnenoberfläche ist etwa 5700 Grad

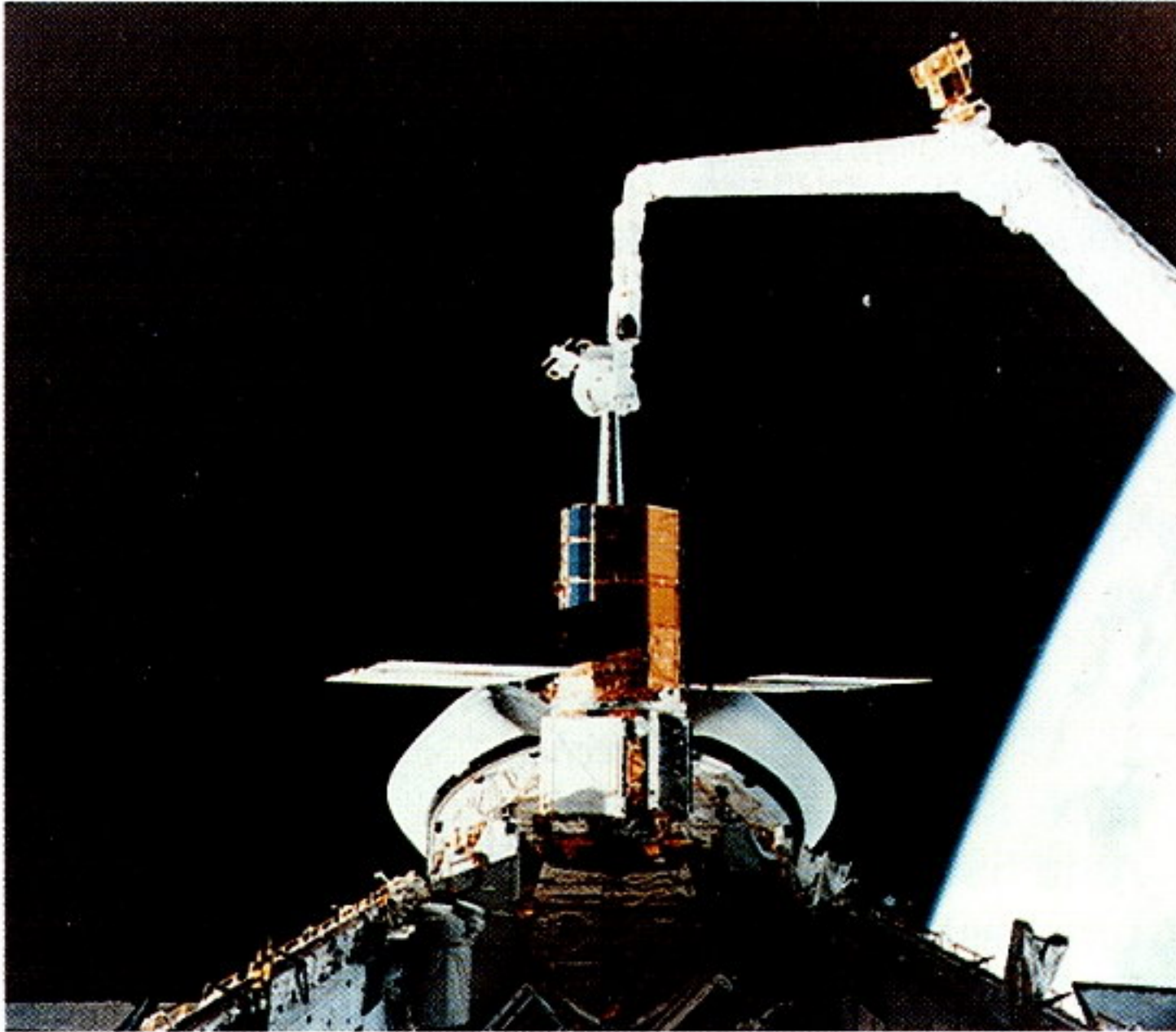
Kann man zur Sonne fliegen?

Celsius heiß, so daß in ihrer Nähe alle Raumsonden schmelzen und verdampfen würden.

Man wird also nie dort landen können. Die Raumfahrt ist jedoch trotzdem für die Erforschung der Sonne sehr wichtig, da man im Weltall alle von ihr ausgehenden Strahlungsarten untersuchen kann, was am Erdboden unmöglich ist. Schon von der Raumstation Skylab aus wurden viele Sonnenbeobachtungen durchgeführt, besonders erfolgreich war jedoch die amerikanische „Solar Maximum Mission“. Der am 14.2.1980

gestartete 2,5 Tonnen schwere Satellit Solmax 1 umkreiste in 560 km Höhe die Erde und lieferte uns herrliche Aufnahmen der Sonnenkorona, der äußeren, bis zu 5 Millionen Grad heißen Atmosphäre unseres Tagesgestirns. Auch stellte er fest, daß die Sonne sehr gleichmäßig leuchtet. In einem Zeitraum von 18 Monaten maß der Satellit nur Schwankungen der Gesamtsonnenstrahlung von 0,01 Prozent.

Die deutsch-amerikanischen Helios-Sonden näherten sich der Sonne auf 46 beziehungsweise 43 Millionen km. Das ist etwa ein Drittel des Abstands Erde–Sonne. Dort herrscht bereits eine enorme Strahlung. Damit die Sonde nicht einseitig zu stark erhitzt wurde, ließ man sie einmal pro



Der amerikanische Satellit Solar Max lieferte uns Aufnahmen der äußeren Sonnenatmosphäre und untersuchte die Gesamtsonnenstrahlung.

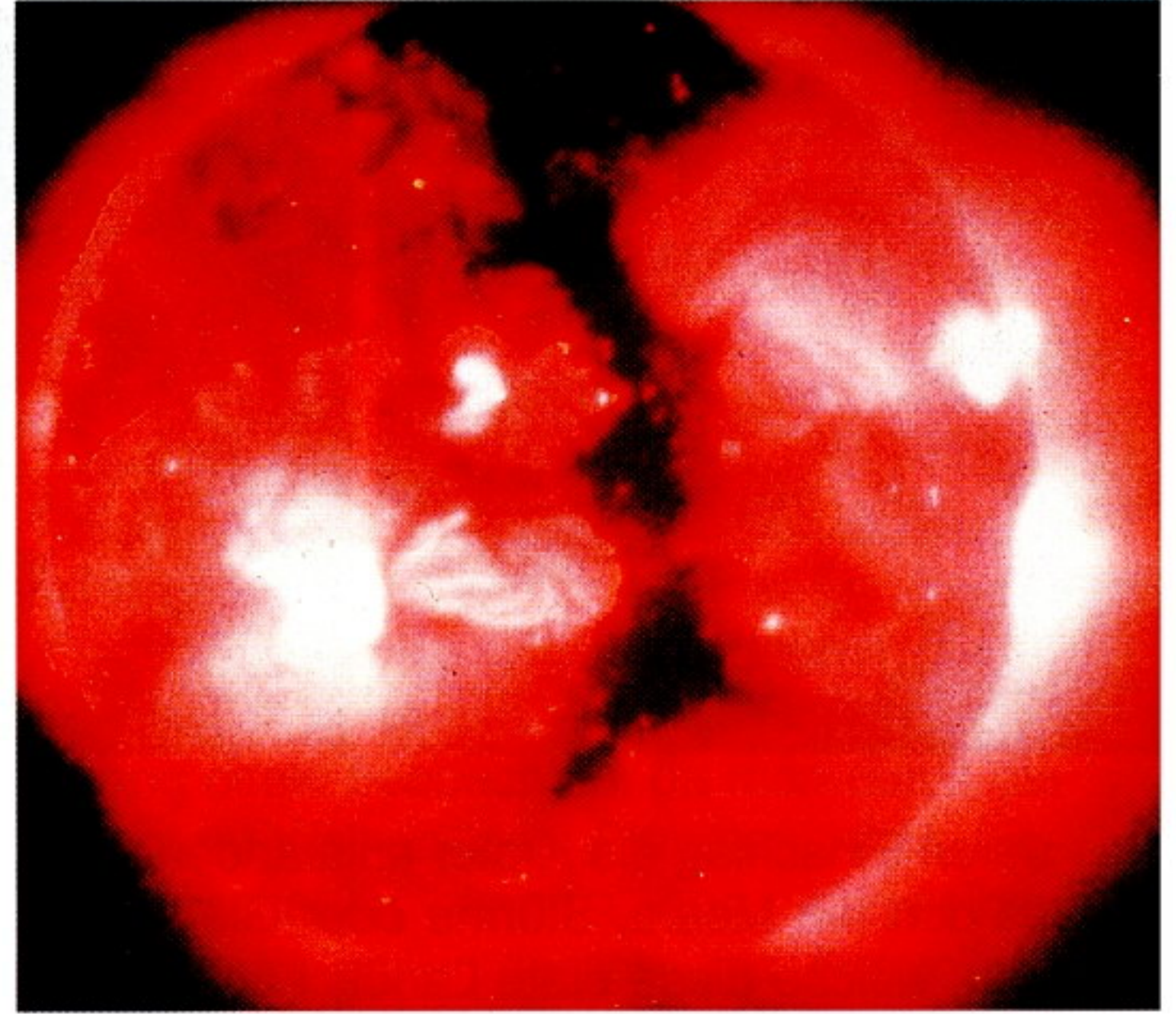
Sekunde um ihre Längsachse rotieren. Die Oberfläche des kleinen Raumschiffs reflektierte das Sonnenlicht so gut, daß im Inneren der Sonde eine Temperatur von 20°C aufrecht erhalten werden konnte, so daß die Meßinstrumente nicht zu stark erhitzt wurden. Nie zuvor war ein Flugkörper so nahe an die Sonne herangekommen! Die Helios-Sonden stellten fest, daß in großer Sonnennähe die Meteoritendichte extrem hoch ist, so daß auch aus diesem Grunde ein Flug dorthin mit großen Gefahren verbunden ist. Näher als 20 Millionen km wird man wohl nie an das heiße Zentralgestirn unseres Sonnensystems herankommen. Bei den Planeten, den wir uns nun zuwenden wollen, gelten solche Beschränkungen glücklicherweise nicht.

Schon lange ist bekannt, daß Merkur, der

Wie sieht es auf Merkur aus?

innerste und sonnennächste Planet, keine schützende Atmosphäre hat. Die intensiven Sonnenstrahlen treffen den

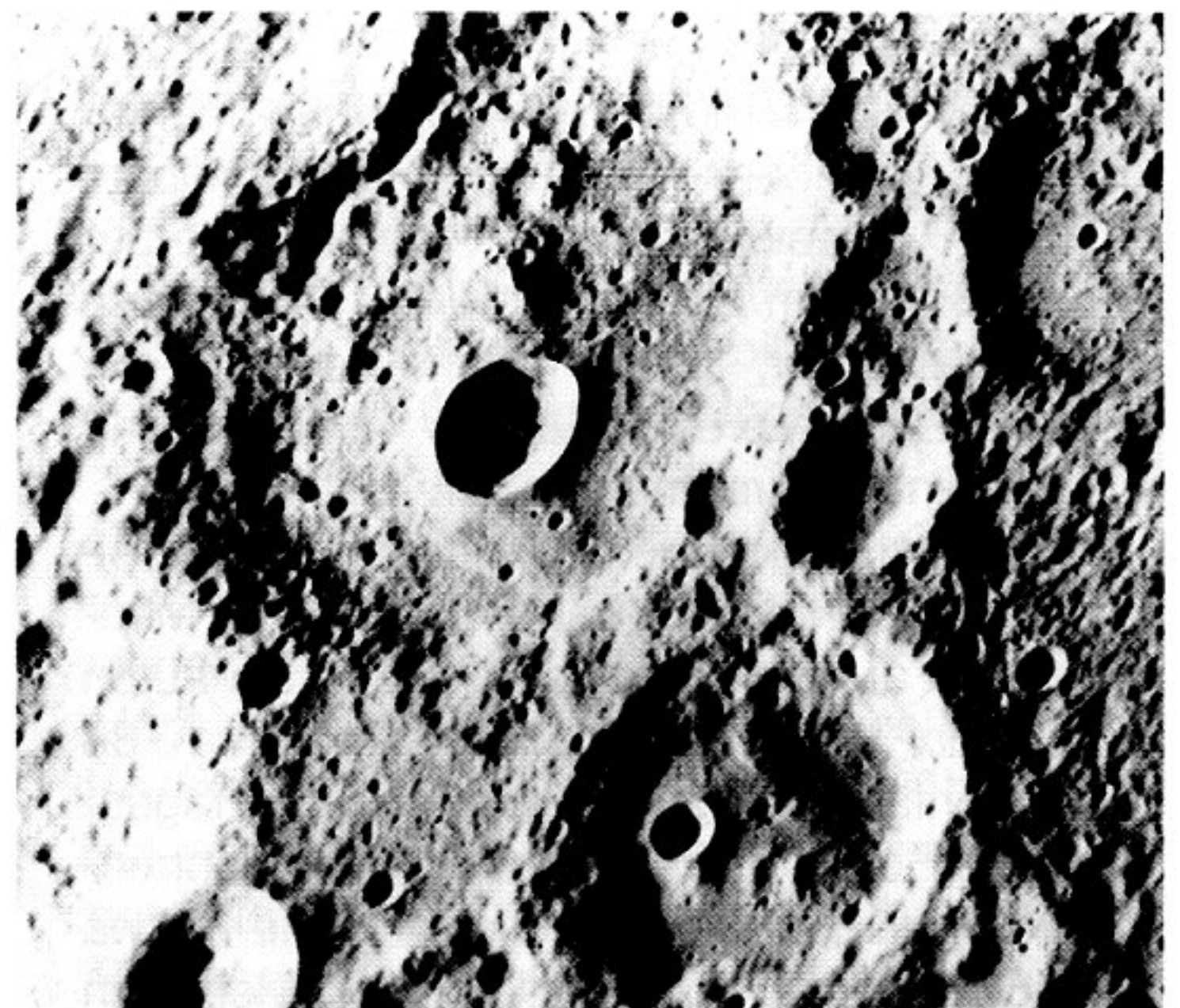
kleinen Nachbarn unserer Erde ungefiltert mit voller Wucht, so daß sich sein Gestein

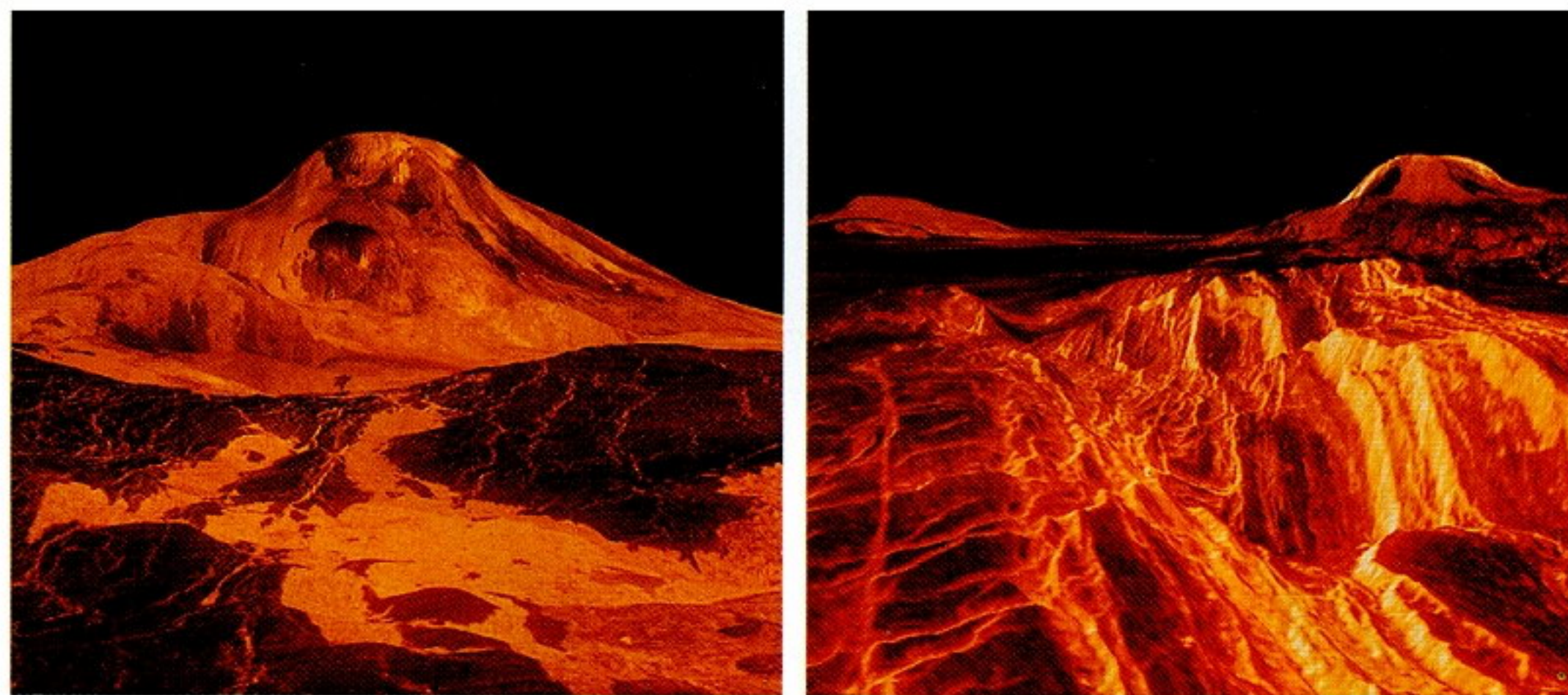


Die Sonne im Röntgenlicht. Man kann mit dieser Methode die Korona untersuchen. Die hell dargestellten Gebiete sind besonders heiß.

auf 467°C erhitzen kann, während es sich nachts auf -183°C abkühlt. Die amerikanische Raumsonde Mariner 10 hat uns Merkur zum Greifen nahe gebracht. Wie unser Mond ist er mit Kratern übersät. Als Merkur vor über 4 Milliarden Jahren eine feste Kruste bekam, wurde er von Millionen großer und kleiner Brocken getroffen, bei

Merkur ist wie unser Mond eine luft- und wasserlose, sonnendurchglühete Kraterwelt. Leben konnte auf diesem Planeten nie Fuß fassen.





*Vulkane auf der Venus.
Diese computerbearbeiteten Radar-Aufnahmen der amerikanischen Magellan-Sonde zeigen den Vulkan Maat Mons (links) und gewaltige Lavaströme (rechts).*

deren Einschlag die Krater entstanden. Da es dort nie Meere, Stürme oder Gletscher gab, welche diese erste Landschaft hätten zerstören können, blieb Merkur im großen und ganzen so, wie er kurz nach der Einschlagperiode war. Er ist eine luft- und wasserlose, öde Gesteinswelt, die einer gnadenlosen Sonnenstrahlung ausgesetzt ist und keine Chance für Leben bietet.

Allerdings gab es früher auf Merkur Vulkanismus, welcher zum Teil die Landschaft veränderte. Man findet dort nämlich auch glatte Ebenen, die wahrscheinlich erstarrte Lavaseen sind. Auch gibt es die sogenannten Zwischenkraterebenen, ausgedehnte Flächen mit kleinen Kratern. Auch sie sind wohl erkaltete Lavaseen, unter denen frühere Großkrater teilweise verschwunden sind, bevor neue Einschläge einige kleine Krater bildeten.

Vor vielen Milliarden Jahren muß Merkur eine furchtbare Katastrophe erlebt haben. Ein planetoidengroßer Himmelskörper stieß mit ihm zusammen und schlug einen Riesenkrater, das Caloris-Becken. Es besitzt mehrere Ringe aus Gebirgen und hat einen Durchmesser von 1300 km.

Wahrscheinlich werden wegen der intensiven Strahlung der nahen Sonne nie Menschen auf Merkur landen. Die Astronauten hätten nach Sonnenaufgang rund 88 Erdentage lang ununterbrochen Tageslicht. So viel Zeit vergeht bis zum Sonnenuntergang. Danach folgt eine etwa 88tägige Nacht. Zwar dreht sich Merkur in

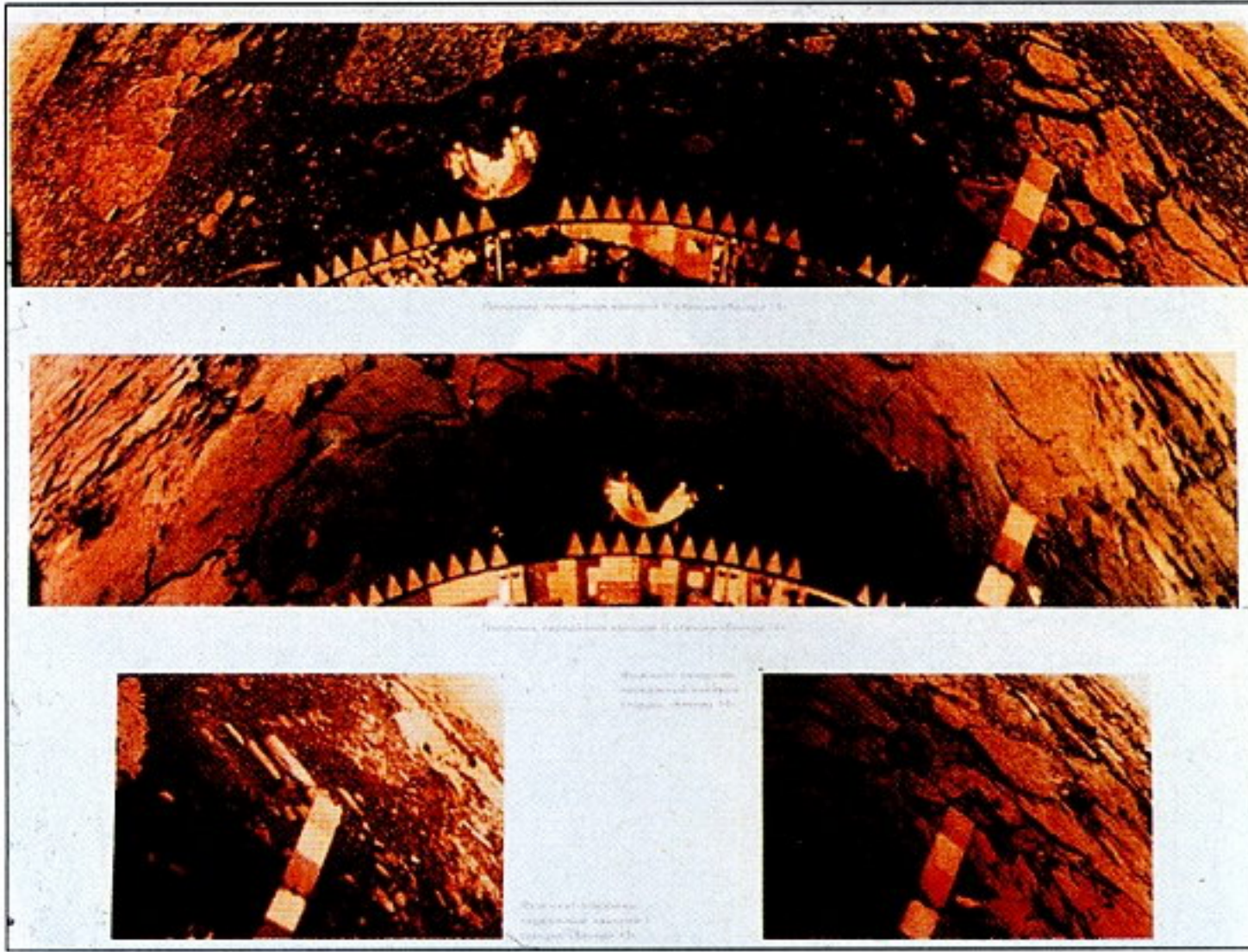
rund 59 Erdentagen um sich selbst, jedoch umkreist er auch die Sonne, welche von ihm aus gesehen so über den Himmel wandert, daß sie nur etwa alle 176 Tage die Mittagsstellung erreicht. Von der Erde aus ist Merkur schwer zu beobachten. Er entfernt sich nie weit von der Sonne und ist, wenn überhaupt, nur kurz am Abend- oder Morgenhimmel zu sehen. Im Fernrohr erscheint Merkur als kleines Scheibchen oder als verschwommene Sichel, von seinen herrlichen Landschaften ist nichts zu sehen. Sie wurden erst durch die Vorbeiflüge von Mariner 10 bekannt.

Seit Jahrtausenden beobachtet man die Venus, den strahlenden Morgen- und Abendstern, der manchmal sogar am Tage zu sehen ist. Da der Planet eine

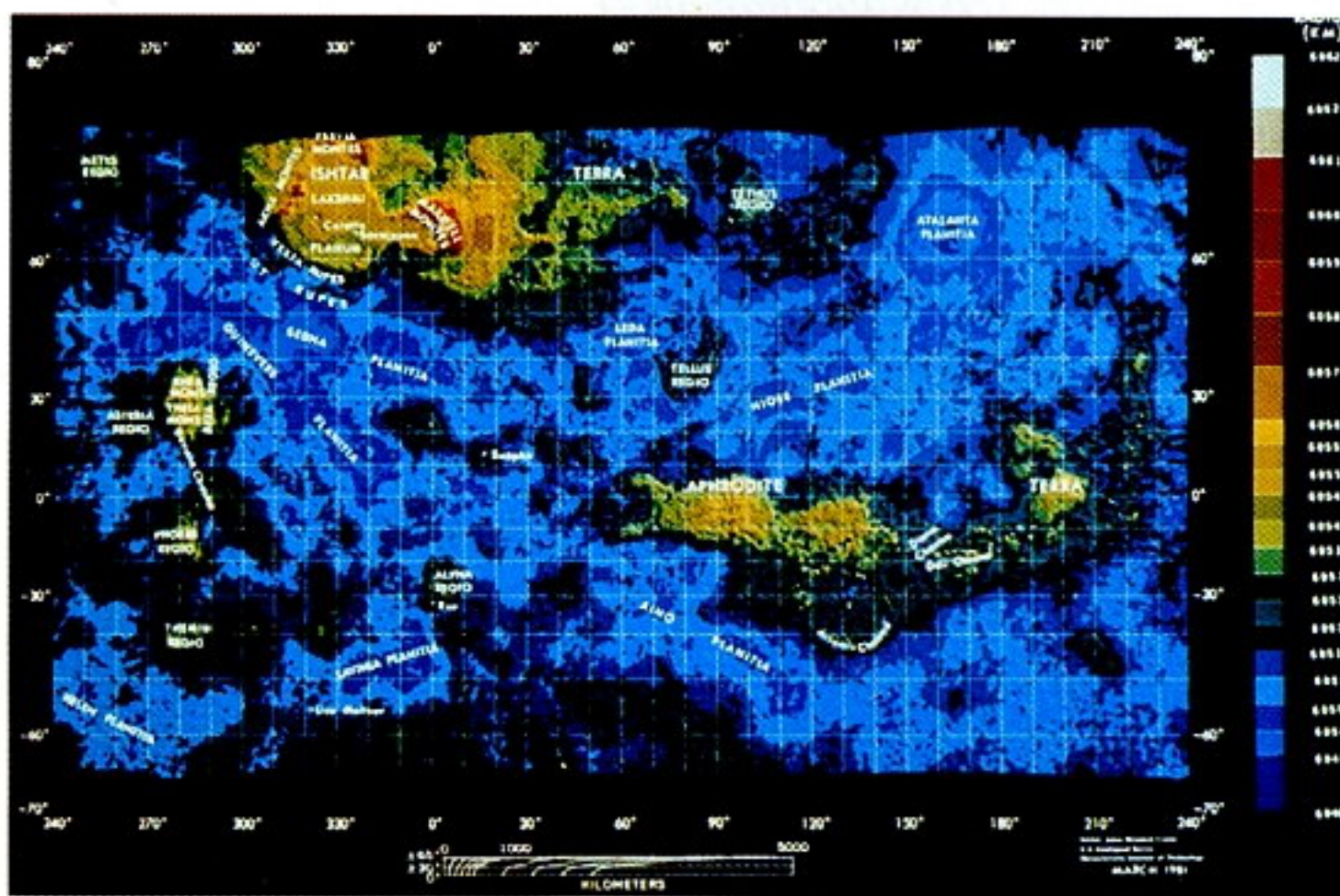
Gibt es Leben auf der Venus?

dichte Atmosphäre besitzt und etwa die Größe der Erde, aber auch einen günstigen Abstand von der Sonne hat, war man früher überzeugt, daß es dort üppiges Leben gibt. Geschäftstüchtige Zeitgenossen verkauften sogar Schutzbriefe, welche vor angriffslustigen Venusiern schützen sollten.

Dank der intensiven Forschungsarbeit vieler amerikanischer und sowjetischer Raumsonden wissen wir heute, daß es auf der Venusoberfläche rund 480 °C heiß ist. Die dichte, fast ganz aus Kohlendioxid



Nahaufnahme der Venusoberfläche. Wegen des großen Treibhauseffektes herrschen auf dem Planeten Temperaturen um 480 °C.



Diese Venus-Landkarte mit Hochländern und blau gezeichneten Tiefebene wurde mit Radarmethoden gewonnen.

Der Venuskontinent Ishtar Terra ist etwa so groß wie die USA. Die Höhe des Kontinents ist übertrieben dargestellt.



bestehende Atmosphäre sorgt für einen starken „Treibhauseffekt“. Jede Lebensform ist also auf Venus ausgeschlossen. Genauso überraschend ist die Tatsache, daß sich Venus in 243,1 Erdentagen, also extrem langsam, einmal um ihre Achse dreht, und das auch noch „verkehrt herum“, so daß die Sonne im Westen aufgeht. Das ist allerdings nur etwa alle 117 Erdentage der Fall. Könnte ein Raumfahrer auf Venus landen, so würde er von der Oberfläche aus nie einen Sonnenaufgang direkt beobachten, da man durch die dichten Wolken des Planeten nicht hindurchschauen kann. Aus demselben Grund ist es unmöglich, mit Fernrohren von außen die Venusoberfläche zu betrachten. Die Wolken umhüllen die Gluthölle unseres Nachbarplaneten völlig. Trotzdem wissen wir, wie es dort aussieht. Neben einigen Nahaufnahmen der Oberfläche, die wir den sowjetischen Venera-Sonden verdanken, besitzen wir durch Radarmessungen gewonnene Landkarten der Venus.

Besonders der amerikanischen Sonde Pioneer Venus 1 verdanken wir eine komplette „Weltkarte“ unseres Nachbarplaneten. Er besitzt riesige Kontinente, die sich bis zu 10 000 m über weite Tiefebene erheben. Ishtar Terra, der höchste und größte Kontinent, hat etwa die Ausmaße der USA. Vor sehr langer Zeit gab es auf Venus wahrscheinlich gewaltige Ozeane, aus denen nur die hohen Kontinente hervorrugten. Später verdampfte das Wasser und ging zum größten Teil verloren.

Besonders genaue Radarbilder wurden von der amerikanischen Magellan-Sonde zur Erde gefunkt. Bis zu 100 m große Details sind darauf sichtbar. Man erkennt viele Krater und Spuren vulkanischer Aktivitäten.

Menschen werden auf Venus wohl nie landen. Neben der schon erwähnten hohen Temperatur herrscht dort auch ein gewaltiger Luftdruck, der alle normalen Raumanzüge zerquetschen würde.

Absoluter Höhepunkt des Raumfahrtzeital-

Wie alt ist der Mond?

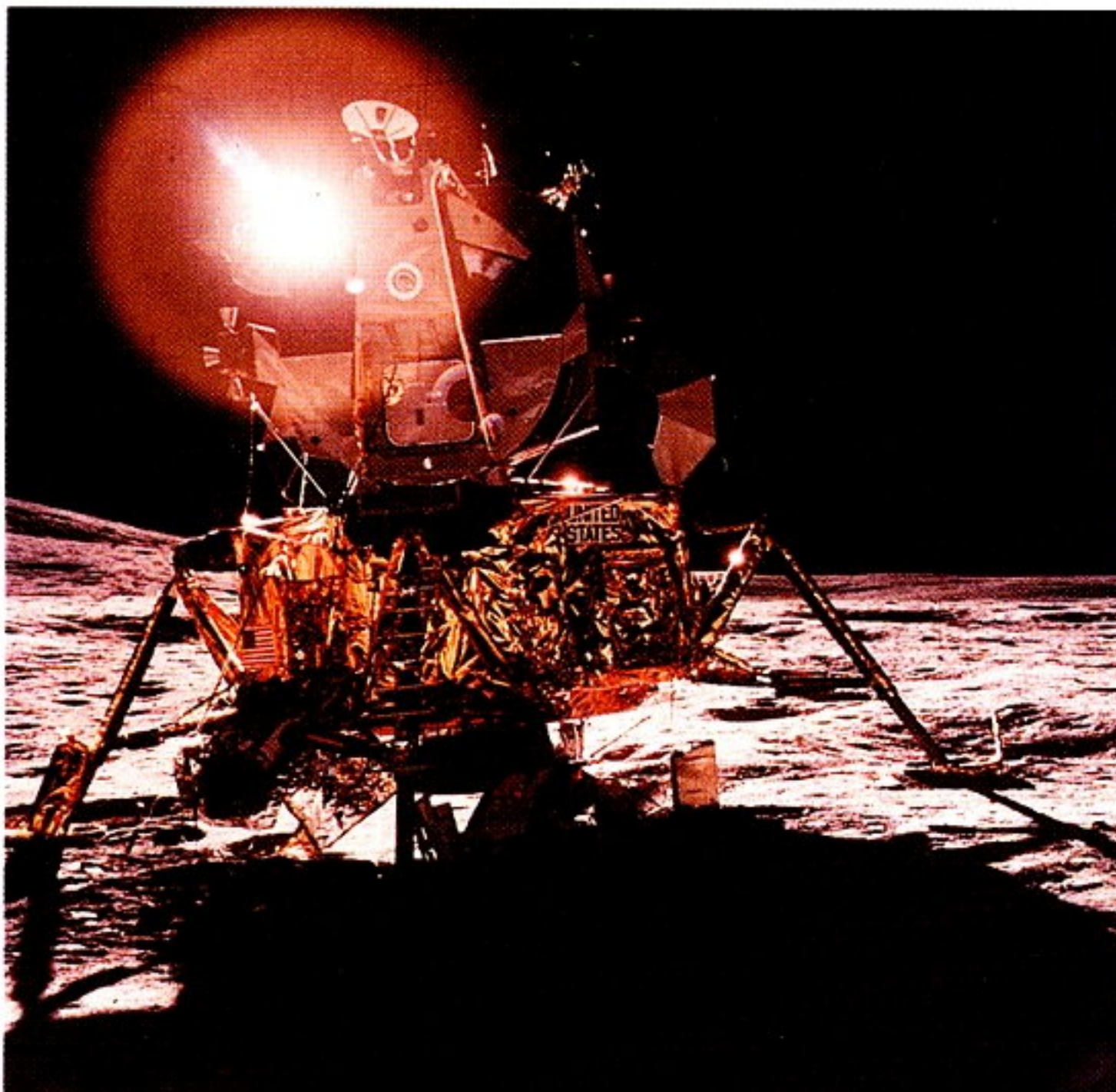
ters war das amerikanische Apolloprogramm, der bemannte Flug zum Mond. Am 21. Juli 1969 betrat der Astronaut

Neil Armstrong als erster Mensch einen fremden Himmelskörper. Sein Landegerät „Eagle“ (Apollo 11) hatte im sogenannten Meer der Ruhe, einer großen Ebene auf dem Mond, sicher aufgesetzt.

Später besuchten noch 5 weitere amerikanische Astronautenteams den Erdtrabanten, nämlich die Mannschaften von Apollo 12, 14, 15, 16 und 17. Immer länger wurden die Aufenthalte, immer gewagter die Expeditionen, bei denen ab Apollo 15 auch elektrisch angetriebene Mondautos eingesetzt wurden.

Unzählige wissenschaftliche Messungen konnten durchgeführt werden, die Raumfahrer brachten zentnerweise Mondgestein zur Erde. Dieses war für die Astronomen und Geologen sehr wichtig. Schon lange hatte man angenommen, daß alle

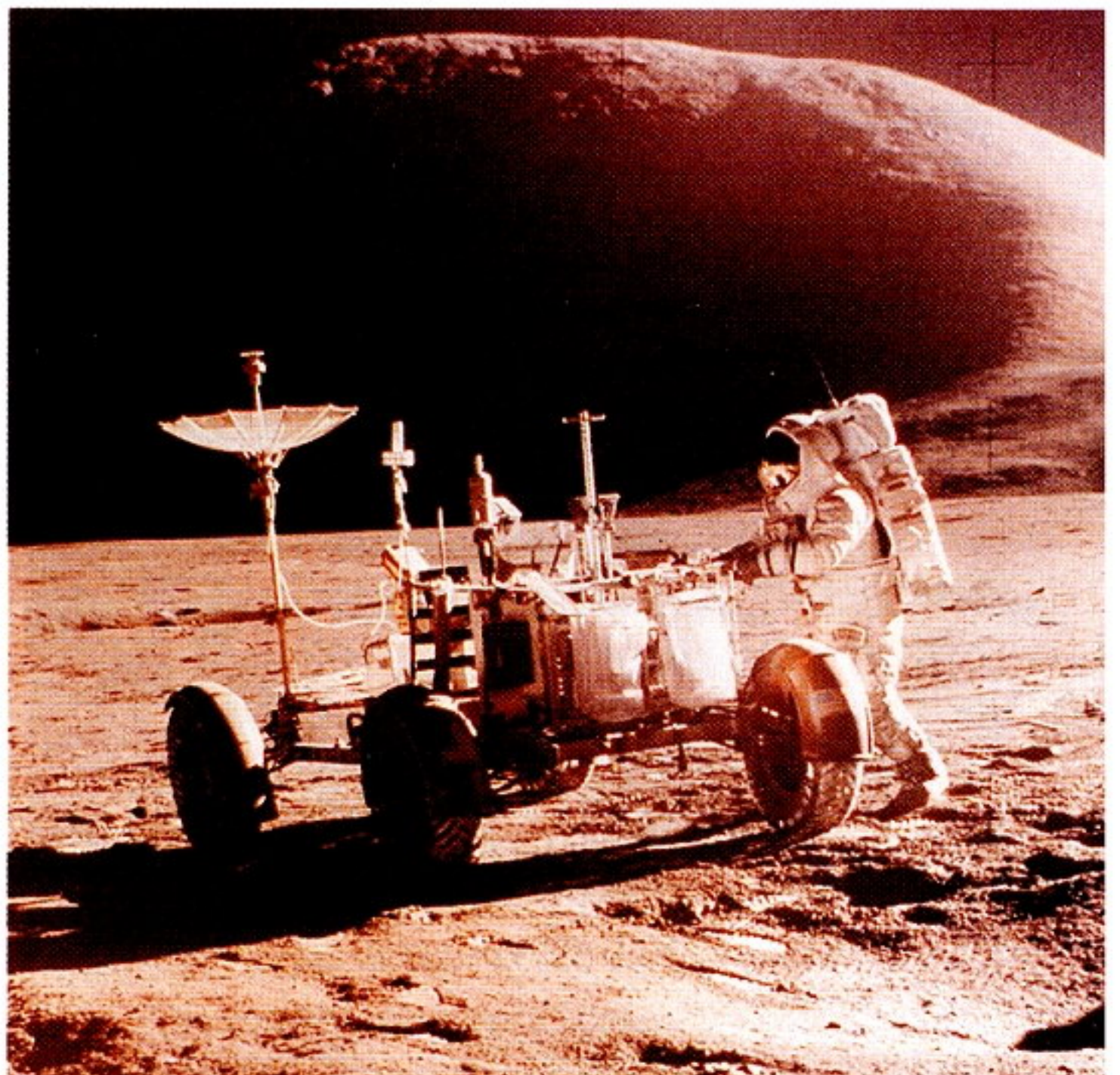
Apollo 14 ist auf dem Mond gelandet. Der obere Teil des Raumschiffs ist für den Rückstart vorgesehen, der untere bleibt auf dem Mond zurück.



Für die mondkreisenden Apollo 10-Astronauten geht die Erde auf. Sie ist nur halb beleuchtet und zum größten Teil wolkenbedeckt.

Mitglieder des Sonnensystems etwa gleich alt sind. Sie sollen ja, wie schon angedeutet, vor rund 4,6 Milliarden Jahren zusammen aus einer großen Gas- und Staubscheibe entstanden sein. Zur großen Freude aller Wissenschaftler stellte man fest, daß sich die ältesten Mondsteine vor

Apollo 15. Astronaut Irwin beim ersten „Mondauto“, einem geländegängigen Elektrokarren. Im Hintergrund der rund 4000 m hohe Mount Hadley.



über 4 Milliarden Jahren gebildet haben müssen, also dem Alter der Urgesteine unserer Erde entsprechen. Inzwischen hat man auch sichere Werte für das Alter von Meteoriten und Marssteinen, die alle auf eine etwa gleichzeitige Bildung der Planeten und Monde hinweisen. Unser Mond ist also so alt wie Erde und Sonne. Er ist wie diese vor rund 4,6 Milliarden Jahren entstanden. Zunächst war der Mond wie die Erde glutflüssig. Nach Bildung einer festen Kruste entstanden die Einschlagkrater, von denen viele später, wie wir es bei Merkur kennengelernt haben, von Lava überflutet wurden. Die dunklen „Mondmeere“ sind erkaltete Lavaseen.

Alle diese Vermutungen und Theorien wurden durch die Untersuchung der Mondsteine glänzend bestätigt.

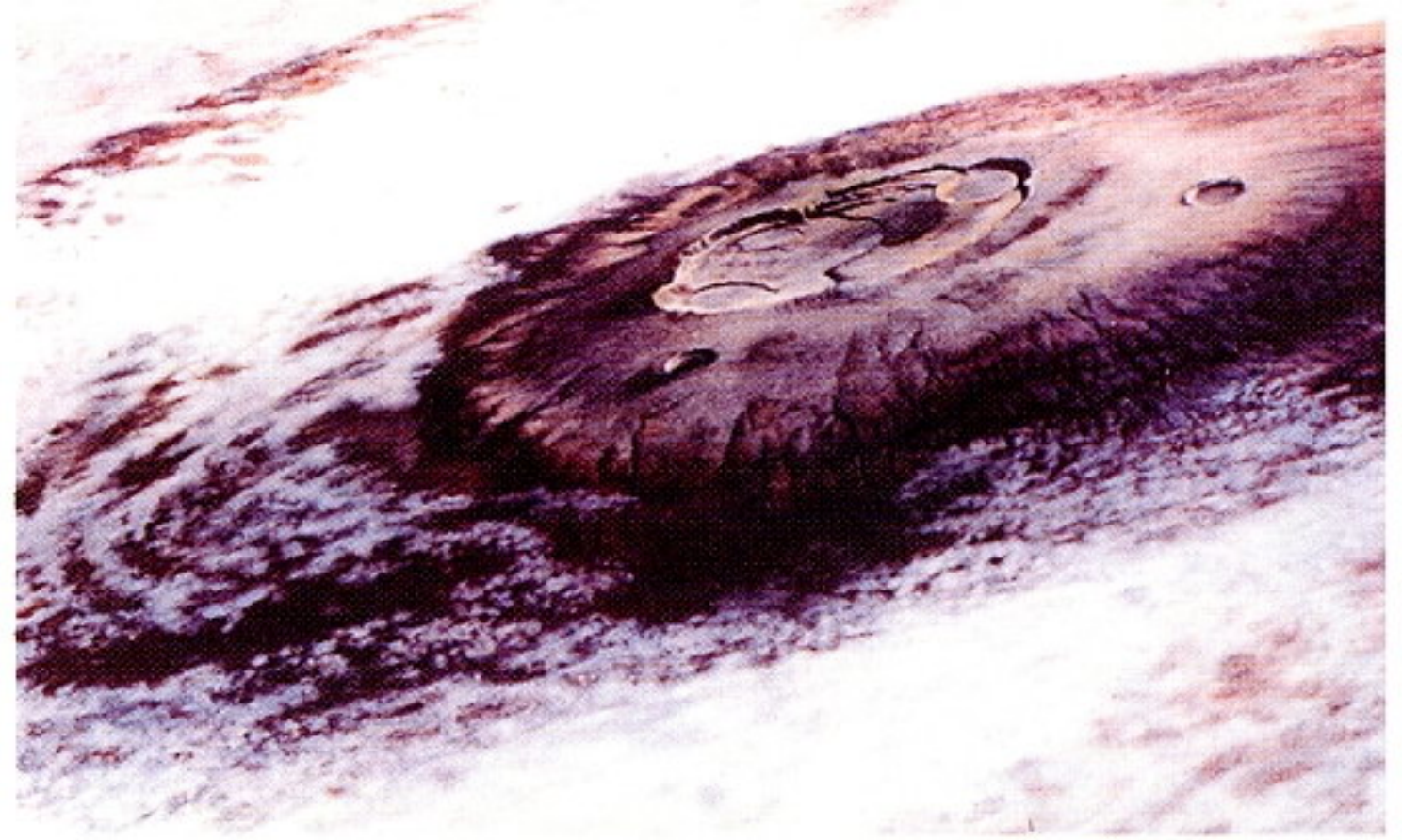
Mars, der rote Nachbarplanet der Erde,

Gab es früher Marsbewohner?

galt früher als sicherer Kandidat für außerirdisches Leben. Im Jahre 1877 glaubte der italienische Astronom Schiaparelli,

Kanäle auf Mars entdeckt zu haben, die sich allerdings später als optische Täuschung herausstellten. Schnell war die Theorie geboren, daß menschenähnliche Marsbewohner Wasser in Kanälen sammeln und ihren Feldern zuführen sollten. Noch heute werden ab und zu Oberflächengebilde auf Mars als Bauwerke einer hohen Zivilisation gedeutet. Man denke nur an die „Marsgesichter“, die um 1988 in allen Zeitungen zu sehen waren.

Die Raumfahrt zerstörte alle Illusionen über technisch hochstehende Wesen auf dem roten Planeten. Er besitzt zwar eine Atmosphäre, die hauptsächlich aus Kohlendioxid besteht, jedoch ist diese sehr dünn, so daß fast alle gefährlichen Strahlen aus dem All auf die Oberfläche gelangen. Wegen des geringen Luftdrucks gibt es kein flüssiges Wasser, nur Eis und Wasserdampf. Die mittlere Temperatur

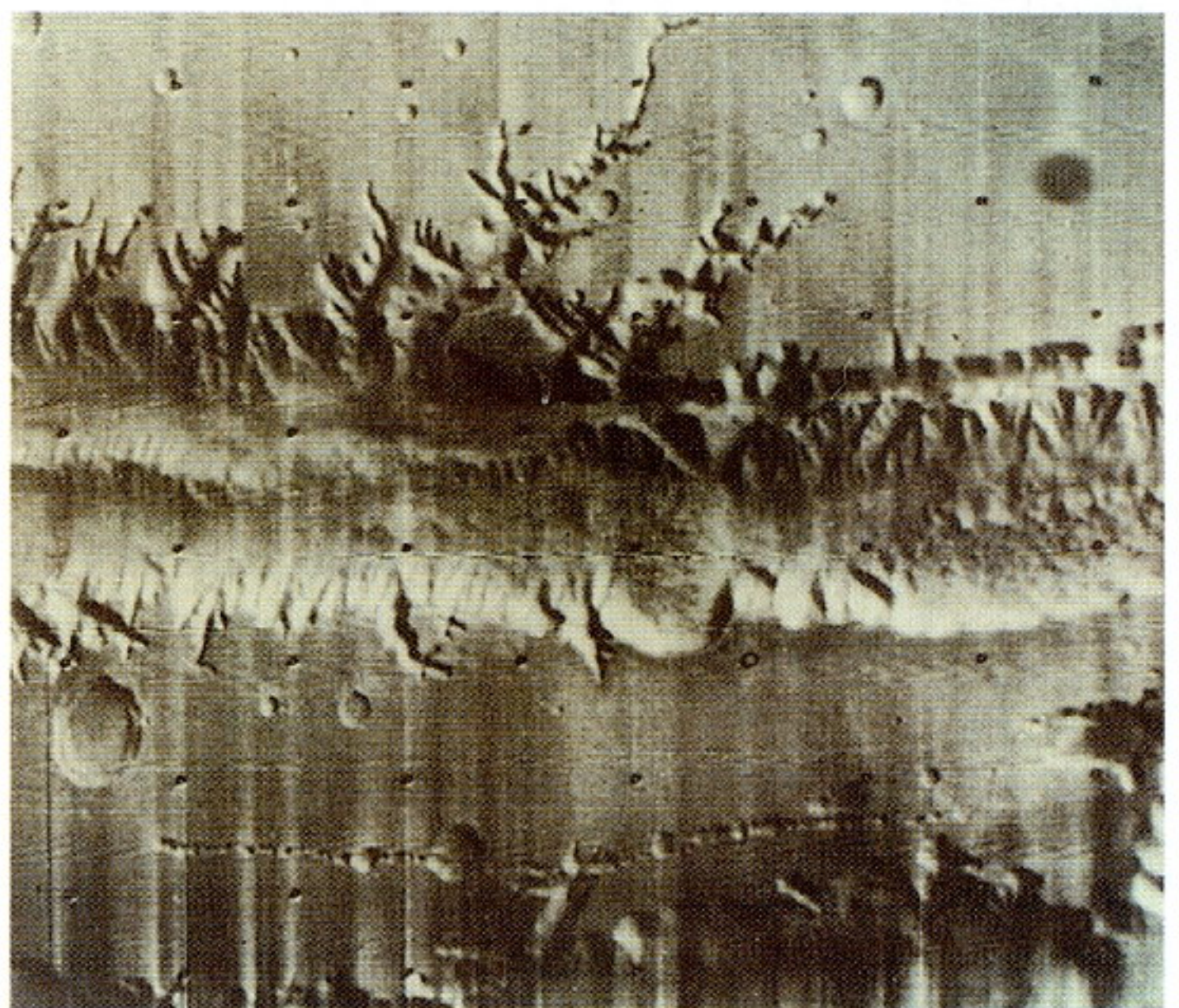


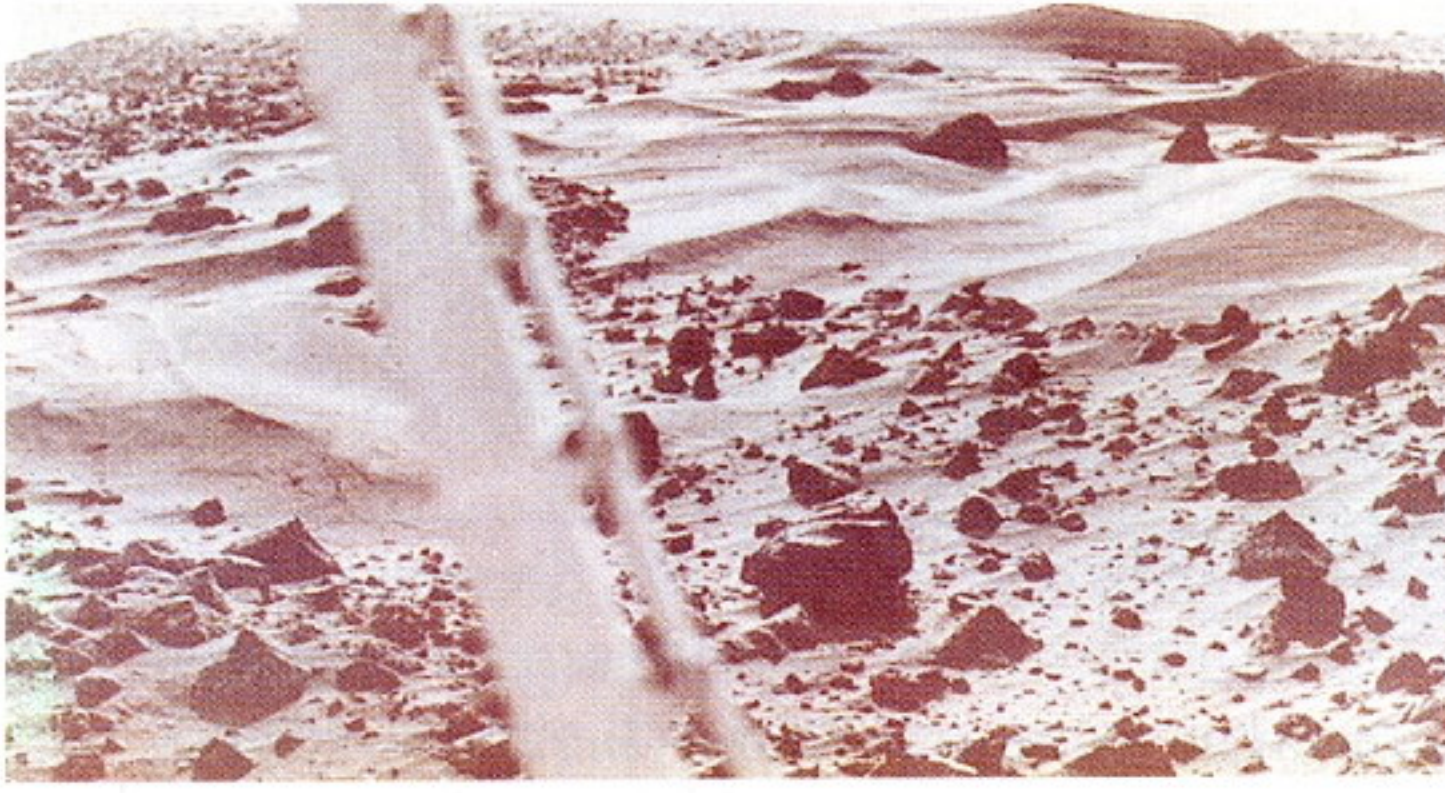
Der Mons Olympus auf Mars – mit 25 000 m Höhe der höchste bekannte Berg des Sonnensystems.



In diesem ausgetrockneten Flußbett auf dem Mars muß früher einmal Wasser geflossen sein.

Eine gewaltige Schlucht auf dem Mars. Sie erinnert an den Grand Canyon in den USA.

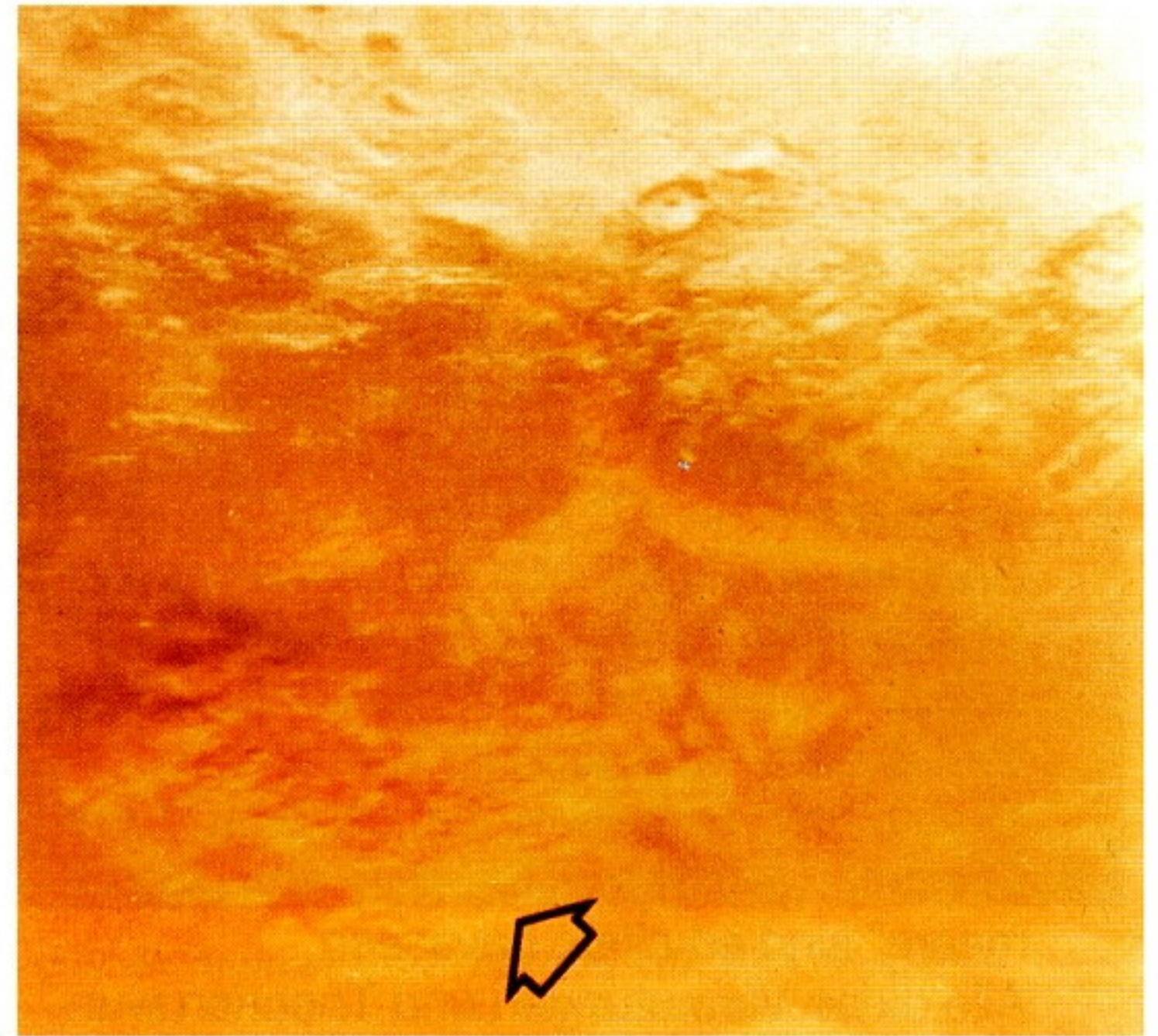
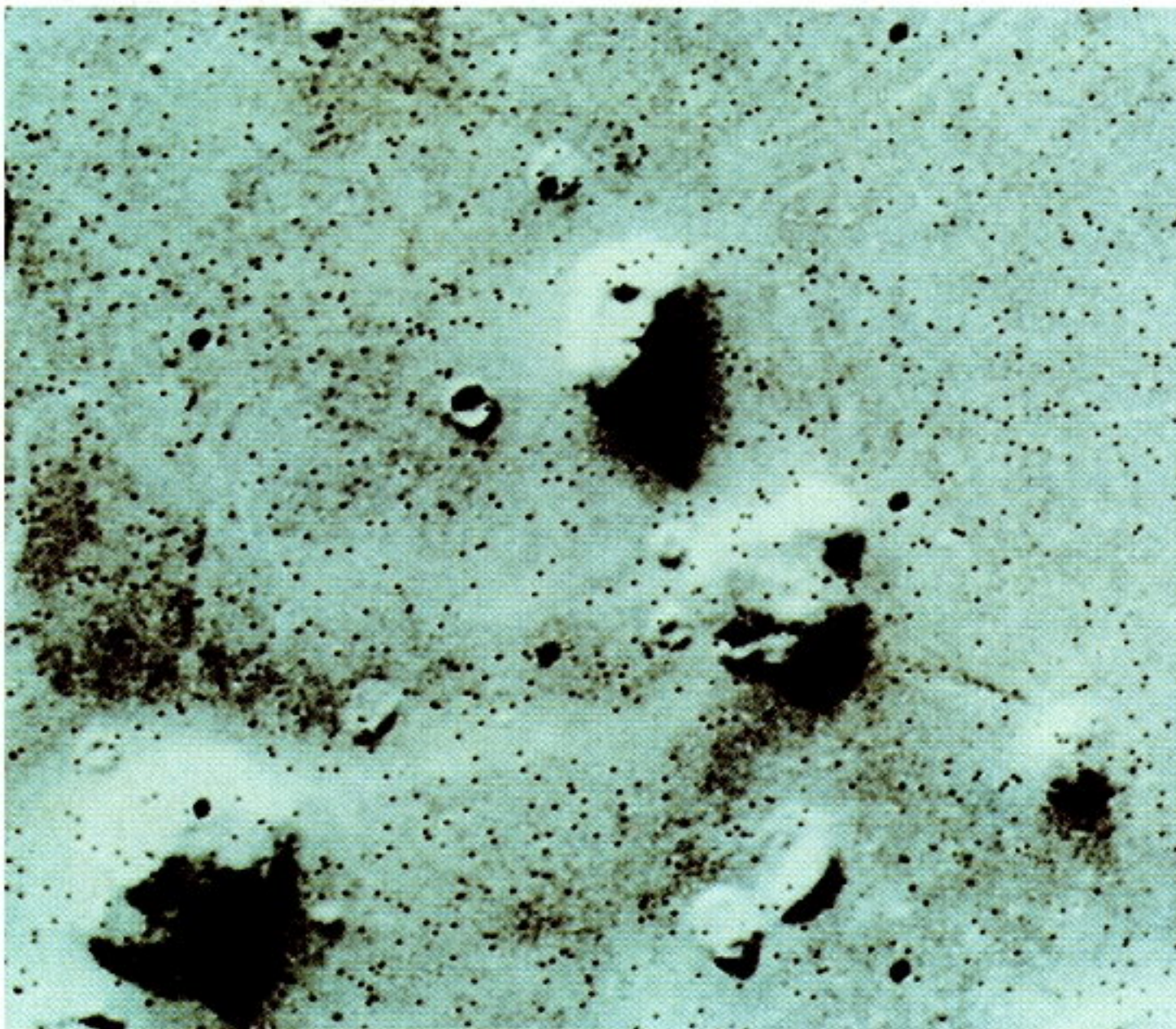
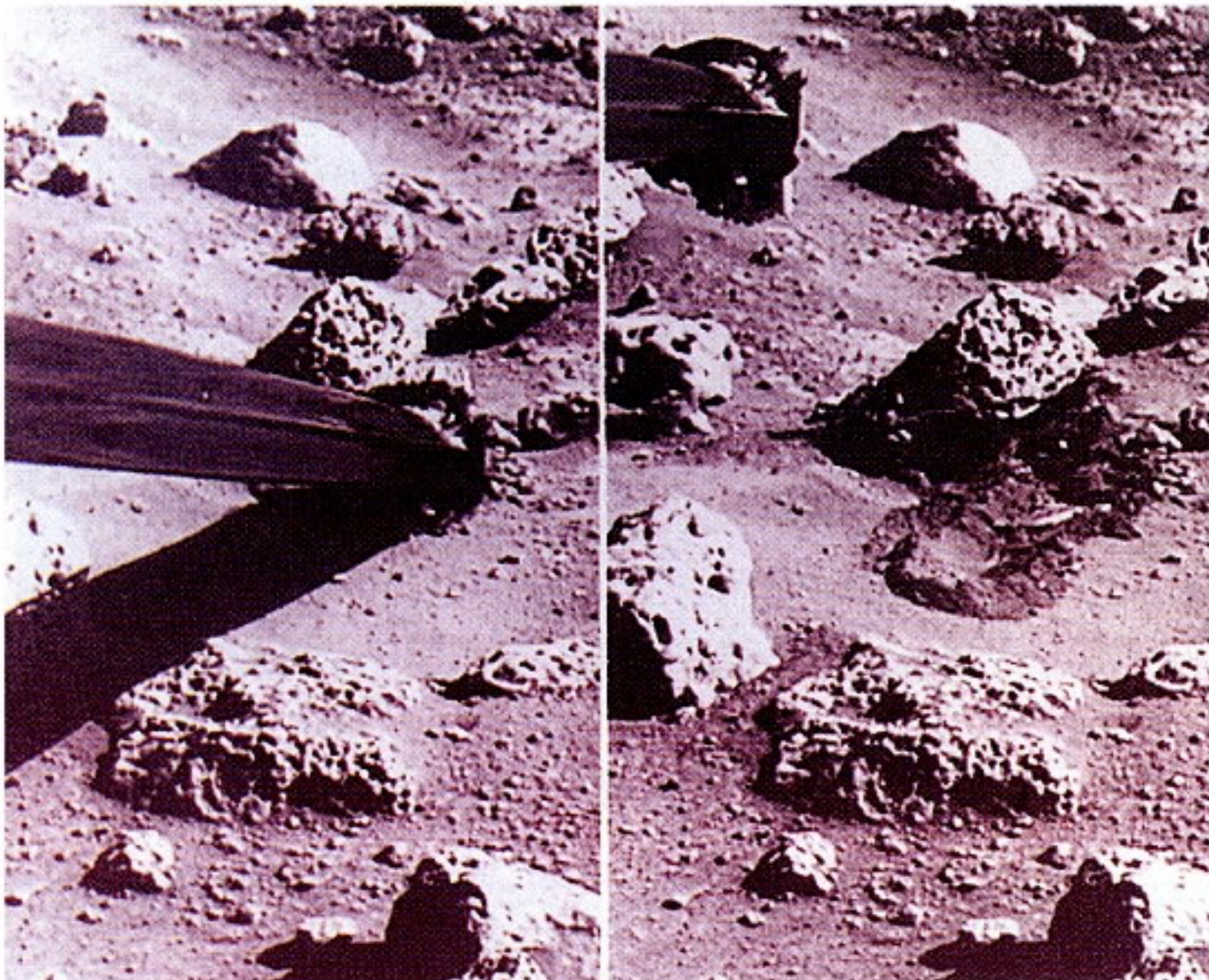




Oben: Wo es Wind und Sand gibt, da bilden sich wie hier auf dem Mars Dünen.

Mitte: Greifarm der Vikingsonde.

Unten: Marsgesichter sind keine Bauwerke, sondern eine Laune der Natur.



Oben: Frühling auf dem Mars. Man erkennt die Schneegrenze und gewaltige Sandstürme (Pfeil).

liegt bei -23°C , jedoch kommen Nachtwerte von weit unter -100°C vor.

Bereits die amerikanischen Sonden Mariner 4 und 7 funkten herrliche Bilder vom Mars zur Erde. Mariner 9, der erste künstliche Marssatellit, stellte eine komplette Landkarte unseres Nachbarplaneten auf. Wir wissen heute, daß es auf Mars bis zu 25 km hohe Vulkane, riesige Schluchten und ausgetrocknete Flußbetten gibt, in denen früher bei günstigeren Atmosphärenbedingungen vielleicht einmal Wasser sprudelte. Auf der Südhalbkugel des Planeten findet man viele Einschlagkrater. Die vereisten Polkappen vergrößern sich im Winter und schrumpfen im Sommer, wobei das Wasser- und Kohlendioxid direkt verdunstet, also nicht schmilzt. Wie die Erde besitzt Mars nämlich eine schiefe Achse und damit Jahreszeiten.

Höhepunkt des amerikanischen Marsprogramms war die Landung der Sonden Viking 1 und 2. Ein Greifarm entnahm Bodenproben, in denen man jedoch keinerlei Lebensspuren oder organische Substanzen fand. Dagegen stellte man einen hohen Eisengehalt des Marsbodens fest. Eisenoxid, also Rost, bedeckt als Bestand-

teil eines feinen Staubs weite Flächen des Planeten und verleiht ihm seine typische braunrote Färbung.

Man nimmt an, daß Mars heute völlig unbewohnt ist, ja selbst einzellige Kleinlebewesen finden keine Existenzgrundlage auf dem unwirtlichen Planeten. Früher könnte das anders gewesen sein. Viele Beobachtungen weisen darauf hin, daß die Marsatmosphäre vor Jahrmilliarden viel dichter als heute war. Wahrscheinlich sorgte damals ein stärkerer Treibhauseffekt für höhere Temperaturen, auch flüssiges Wasser füllte wohl die heute ausgetrockneten Flußbetten und Seen. Vielleicht gab es früher Leben auf unserem roten Nachbarn, der heute eine völlig tote Gesteinswelt ist, die ihre beste Zeit schon lange hinter sich hat.

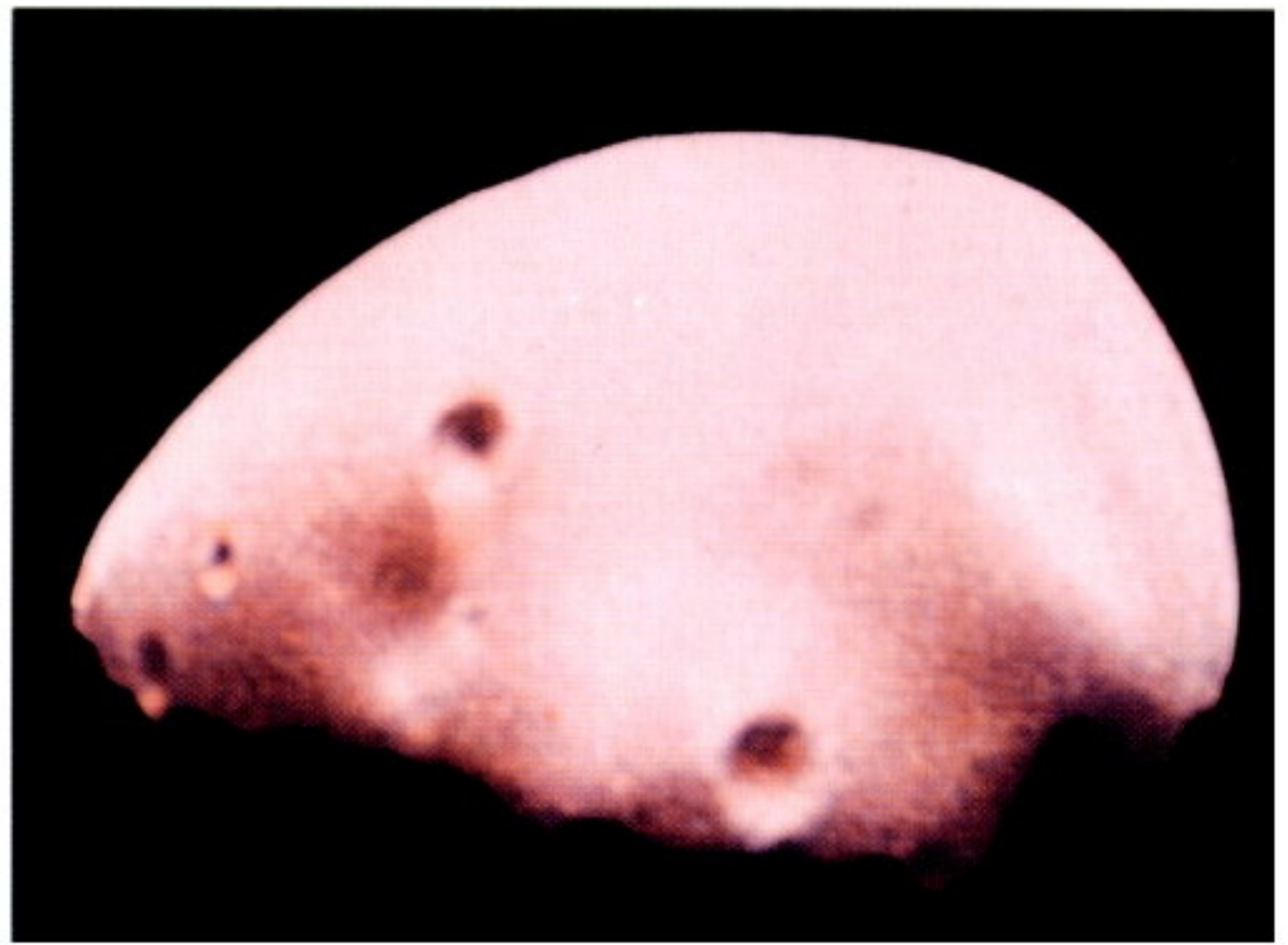
Der rote Planet Mars besitzt zwei winzige

Umkreisen Raumstationen den Mars?

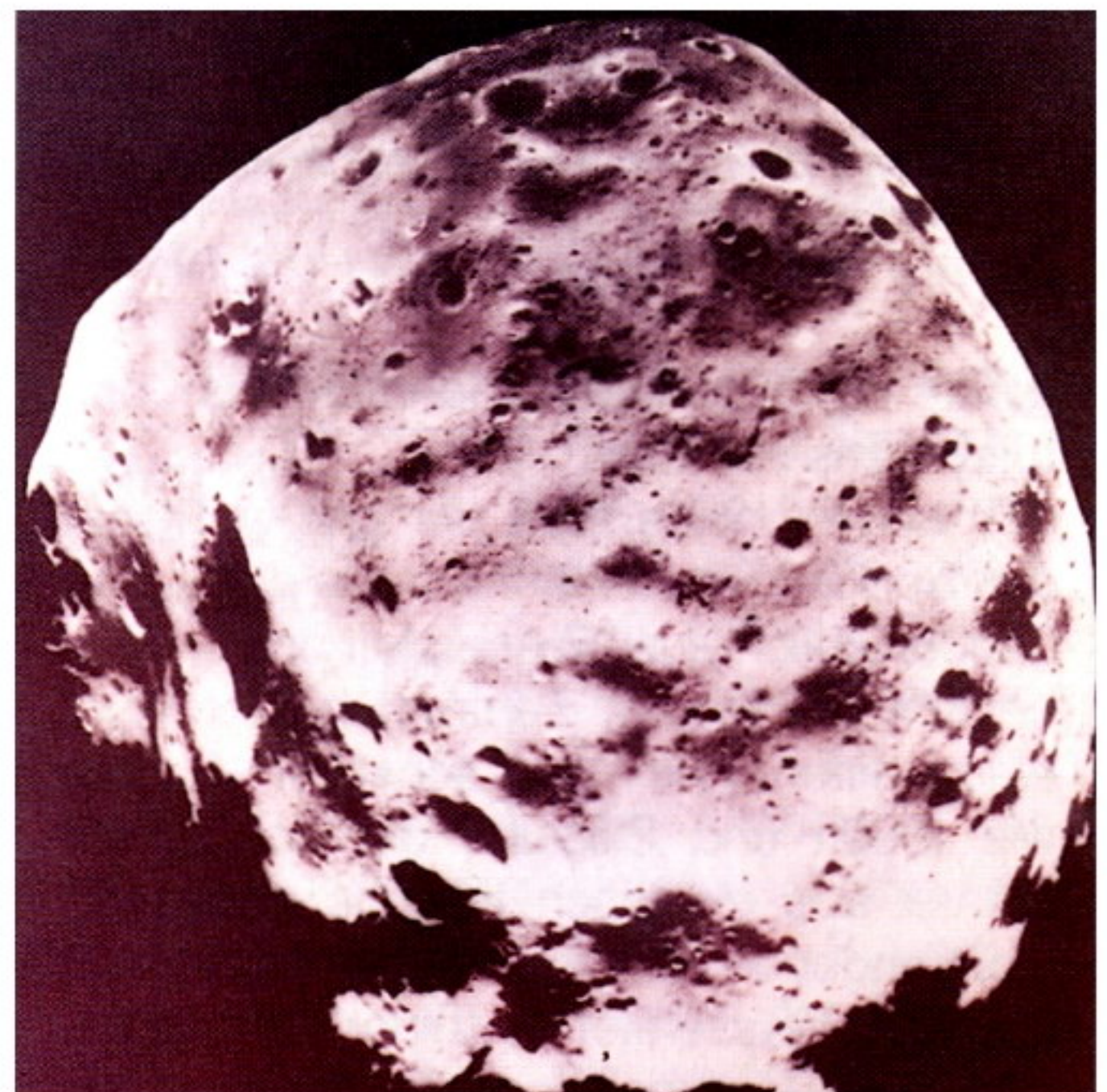
Monde. Sie heißen Phobos und Deimos und sind kraterübersäte fliegende Felsbrocken von 27 bzw. 15 km Länge. Im

Fernrohr sieht man von den beiden Trabanten nur winzige Lichtpunkte. Früher hielt man sie für Raumstationen der kanalbauenden Marsbewohner. Die beiden Monde umkreisen ihren Planeten nämlich in kleinen Abständen und kurzen Zeiten, ähnlich wie es unsere Raumstationen tun. Phobos braucht für einen Umlauf 7 h 39 min, Deimos 30 h 18 min, die Entfernungen der Trabanten vom Marsmittelpunkt betragen 9380 bzw. 23 460 km, während unser Mond rund 384 000 km von der Erde entfernt ist und diese in knapp einem Monat umrundet. Wahrscheinlich sind Phobos und Deimos eingefangene Kleinplaneten, mit Sicherheit stellen sie keine Bauwerke früherer Marsmenschen dar.

Allerdings, im nächsten Jahrhundert werden vielleicht wirklich Raumstationen den roten Planeten umkreisen, die dann allerdings von der Erde kommen.



Die beiden Marsmonde Phobos (unten) und Deimos (oben) wurden früher für Raumstationen gehalten, sind jedoch fliegende Felsbrocken, die den Mars in geringen Abständen umkreisen.



Im Jahre 1972 wurden die beiden Sonden

Wie lange fliegt man zu Jupiter?

Pioneer 10 und 11 gestartet, welche die äußeren Planeten erforschen sollten. Sie waren 641 bzw. 606 Tage zu Jupiter unterwegs. Ähnliche Flugzeiten benötigten die Raumsonden Voyager 1 und 2, welche 1977 gestartet wurden und den Riesenplaneten 1979 überflogen. Besonders Voyager 2, die bisher erfolgreichste Raumsonde der Wissenschaftsgeschichte,



Der Riesenplanet Jupiter mit seinem Mond Io. Er besteht ähnlich wie die Sonne fast ganz aus Wasserstoff und Helium, hat also keine feste Oberfläche.



Der Große Rote Fleck auf Jupiter. Dieser große Wirbelsturm wird seit Jahrhunderten beobachtet. Seine lange Lebensdauer ist noch nicht erklärbar.

funkte herrliche Nahaufnahmen des Jupitersystems zur Erde.

Wir wissen heute, daß der größte Planet des Sonnensystems ähnlich wie die Sonne hauptsächlich aus Wasserstoff und Helium besteht. In seinem Zentrum hat er allerdings einen Kern aus schweren Stoffen wie Eisen und Silicium, der von einem Mantel aus elektrisch leitendem Wasserstoff umgeben ist. Weiter außen findet man flüssigen Wasserstoff in seiner nicht leitenden Form, darüber liegt die Atmosphäre. Der Kern ist mit rund 30 000 °C sehr heiß. Der riesige Planet dreht sich in knapp 10 Stunden um sich selbst und wird durch die dabei auftretenden enormen Fliehkräfte stark abgeplattet, so daß er im Fernrohr oval erscheint. Schon von der Erde aus erkennt man helle und dunkle Wolkenstreifen und den großen roten Fleck, einen gewaltigen Wirbelsturm. Die Pioneer- und Voyagersonden entdeckten unzählige Details der Jupiteratmosphäre, deren Meteorologie weniger durch die ferne Sonne, sondern durch die innere Hitze des Planeten beeinflusst wird.

Der Riesenplanet Jupiter hat eine große

Wie viele Jupitermonde gibt es?

Mondfamilie. Die vier größten Trabanten Io, Europa, Ganimed und Kallisto sind schon seit 1609 bekannt, als der große

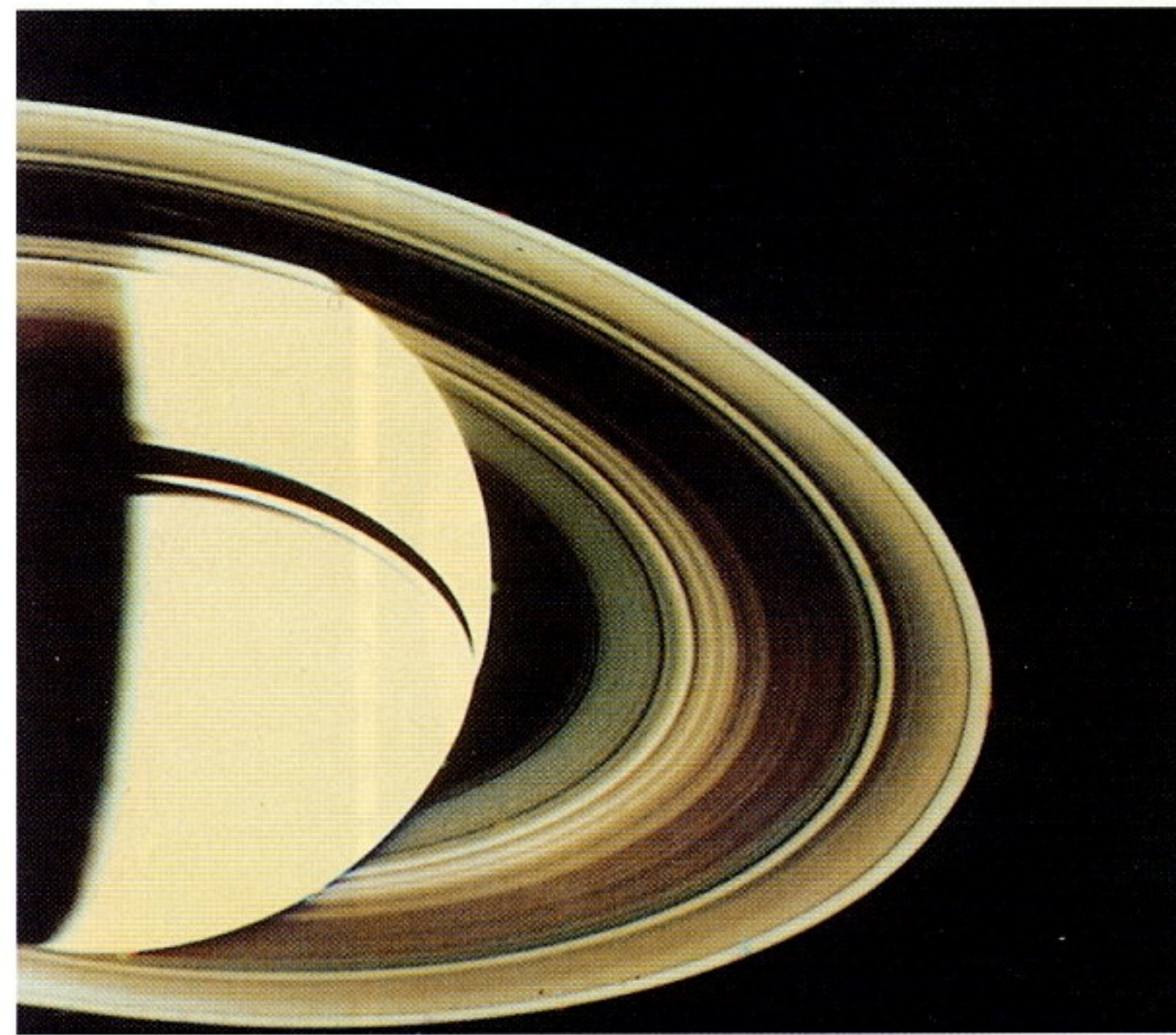
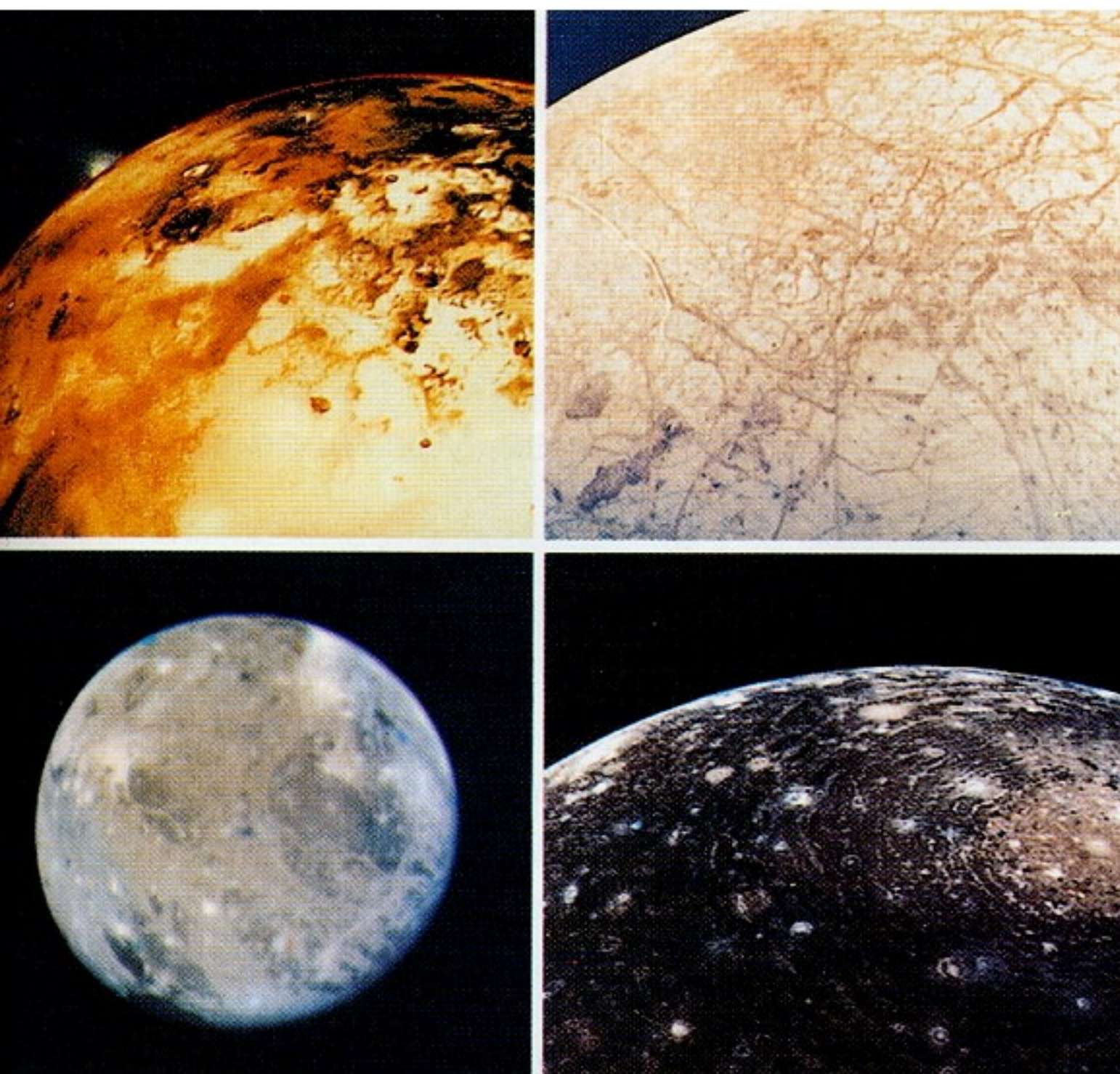
italienische Astronom Galilei sie zum ersten Mal mit einem einfachen Fernrohr beobachtete. Inzwischen kennen wir 16 Jupitermonde, aber wahrscheinlich gibt es noch viel mehr. Die meisten von ihnen sind ähnlich wie die beiden Marsbegleiter nur fliegende Felsbrocken von 20–200 km Durchmesser. Nur die vier großen Monde sind mit unserem Erdmond vergleichbar und haben Durchmesser von 3066 bis 5225 km.

Zur Überraschung der Wissenschaftler wurde durch die Raumsonden bei Jupiter ein Ringsystem entdeckt, das ähnlich wie die Saturnringe aus Milliarden von Kleinmonden aufgebaut ist. Noch erstaunlicher ist die Tatsache, daß es auf dem Mond Io aktive Vulkane gibt. Der Himmelskörper ist gewaltigen Kräften ausgesetzt, die sich

durch Einflüsse der äußeren Trabanten ununterbrochen ändern. Io wird dauernd gestaucht und gestreckt. Dadurch entsteht Reibungswärme, die den Mond innen so erhitzt, daß es zu Vulkaneruptionen kommt. Schwefelhaltige Lava tritt aus Kratern, Spalten und Rissen aus. Bis zu 250 km hoch wird das Auswurfmaterial geschleudert.

Der zweite große Mond, Europa, ist ganz mit Eis bedeckt, das von langen Rissen durchzogen ist. Ganymed, der größte Mond im Sonnensystem, besteht wahrscheinlich aus einem Gemisch von Eis und Gestein, das von einer dünnen dunklen Kruste bedeckt ist. Diese Schicht wurde oft von Meteoriten durchschlagen, und aus den Kratern trat das unter ihr liegende Eis aus.

Kallisto, der äußerste der vier großen Monde, ist ähnlich aufgebaut wie Ganymed, zeigt jedoch ein riesiges Einschlagbecken, welches von vielen Gebirgsringen umgeben ist und an das Caloris-Becken auf Merkur erinnert. Wir sehen hier eine Momentaufnahme einer kosmischen Kollision, bei der vor Jahrmilliarden der Mond Kallisto fast zertrümmert worden wäre.



Saturn mit seinem Ringsystem. Es besteht aus Milliarden kleiner Monde, Brocken aus Fels und Eis, und sieht wie eine große Schallplatte aus.

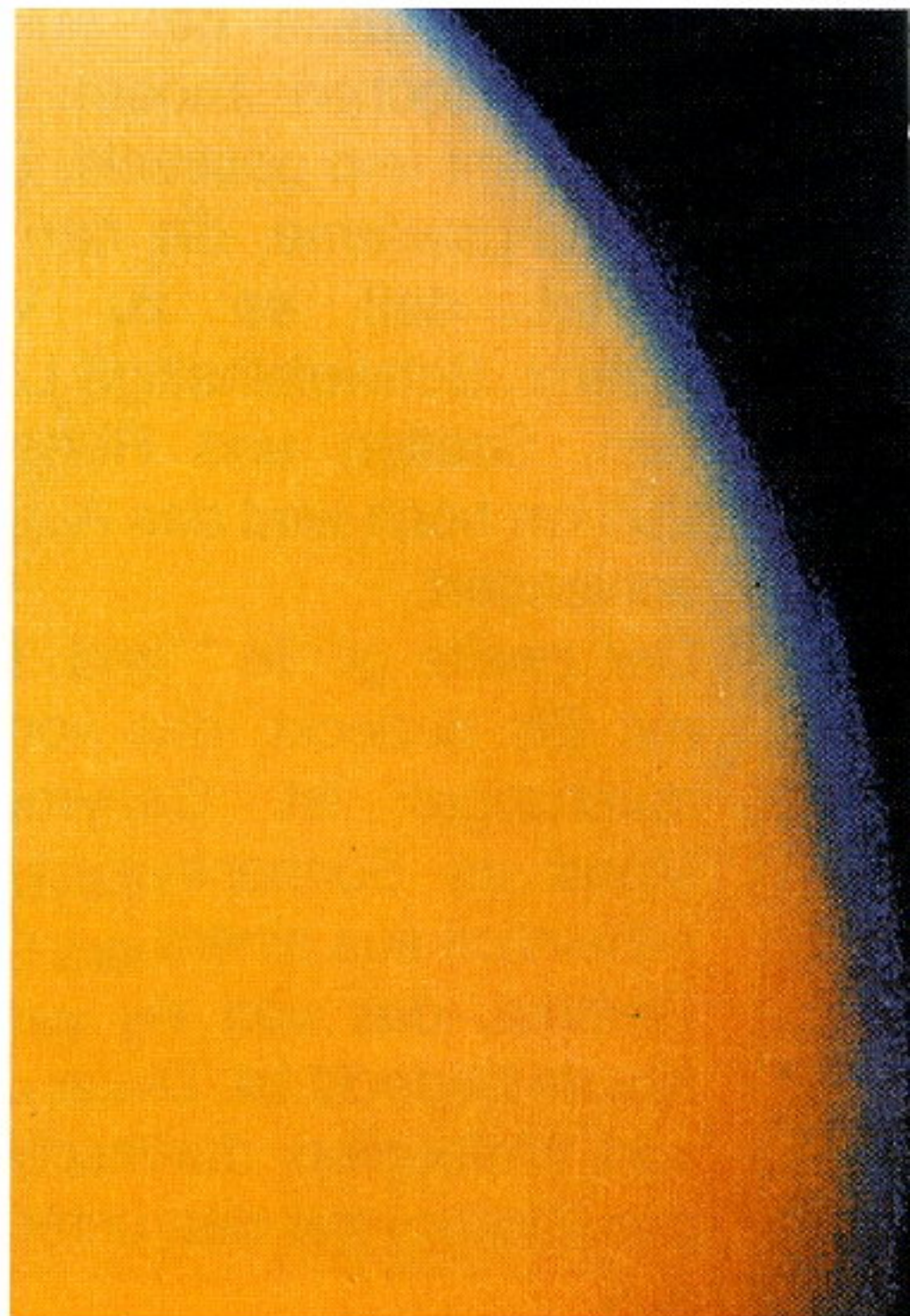
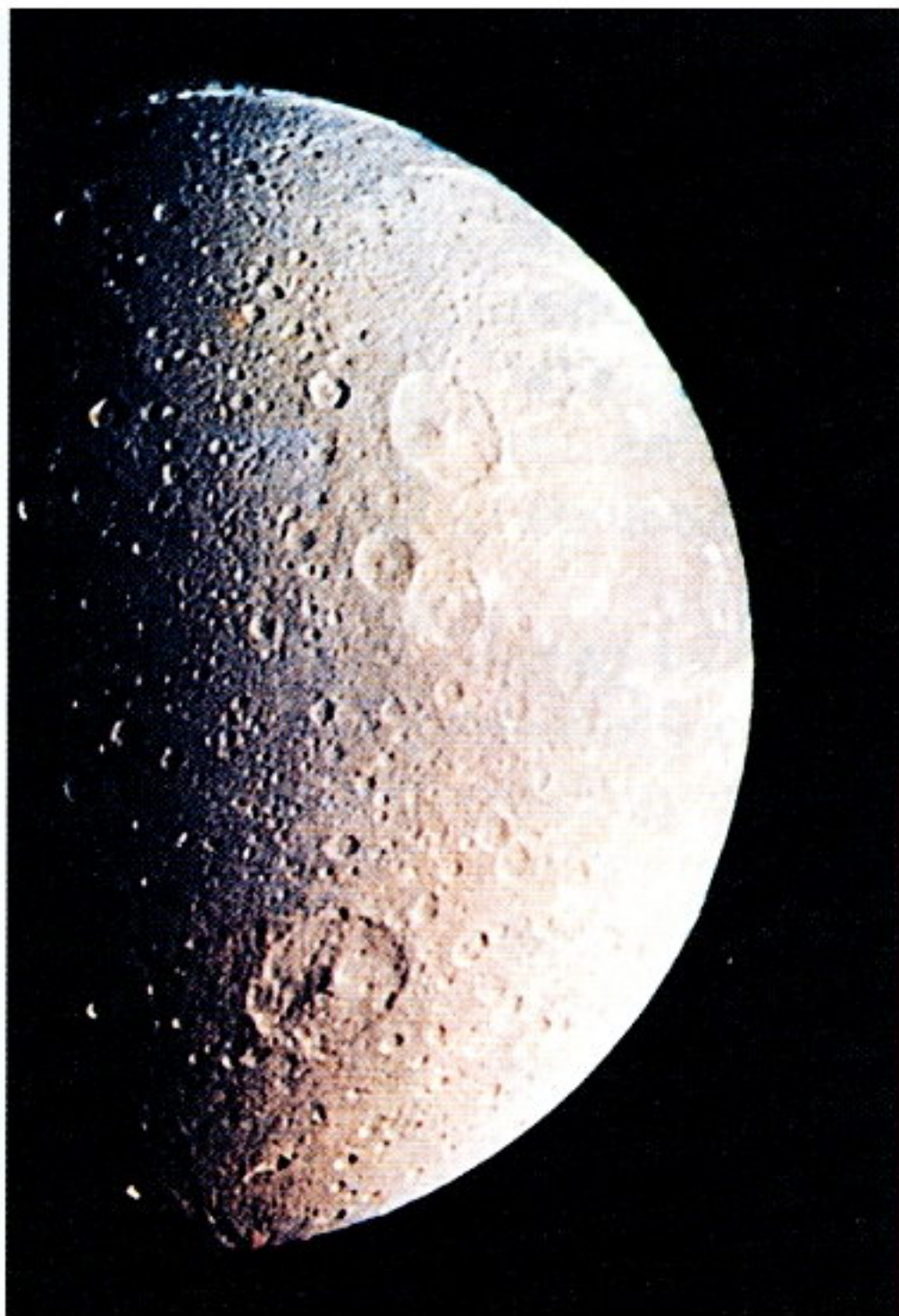
Seit Jahrhunderten beobachten die Astro-

**Sind die
Saturnringe
Bruchstücke
zertrümmerter
Welten?**

nomen die Saturnringe, von denen man seit langem weiß, daß sie aus Milliarden kleinen Monden, Brocken aus Fels und Eis, bestehen. Man unterteilte das Ringsystem in drei Unterabschnitte, die man mit den Buchstaben A, B und C bezeichnete. Zum Erstaunen der Astronomen entdeckten die amerikanischen Raumsonden, daß es nicht drei, sondern Tausende von Einzelringen gibt! Das Ringsystem hat das Aussehen einer großen kosmischen Schallplatte mit dicken und dünnen Rillen.

Früher glaubte man, daß die Ringteilchen Reste eines zertrümmerten Mondes sind, heute nimmt man an, daß die Ringe wohl schon immer da waren. Ihre Bestandteile konnten sich wegen der großen Saturnnähe nie zu einem ausgedehnten Him-

Die vier großen Jupitermonde Io (links oben), Europa (rechts oben), Ganymed (links unten) und Kallisto (rechts unten).



Die Saturnmonde Mimas, Dione und Titan (von links nach rechts). Titan hat eine dichte Atmosphäre, man kann also seine Oberfläche nicht sehen. Mimas und Dione haben Krater wie unser Mond.

melskörper zusammenfügen. Wie groß sind nun die Ringteilchen? Die Voyager-Sonden maßen nach ihrer vierjährigen Reise zum Saturn Durchmesser der Ringbestandteile von 0,005 mm–10 m. Die größten Brocken haben also immerhin die Ausmaße eines Hauses.

Saturn ist ähnlich aufgebaut wie Jupiter. Er besteht hauptsächlich aus Wasserstoff und Helium und hat einen Kern aus schweren Stoffen. Der Planet ist noch stärker abgeplattet als Jupiter, so daß man schon im kleinen Amateurfernrohr leicht seine ovale Form erkennt.

Kein Planet des Sonnensystems hat so

**Können
Monde eine
Atmosphäre
haben?**

viele bekannte Monde wie Saturn. Neben den Milliarden Kleinstmonden, welche die herrlichen Ringe bilden, umkreisen nach dem heutigen Stand der Wissenschaft 23 größere Trabanten den Ringplaneten. Der kleinste von ihnen hat einen Durchmesser von etwa 10 km, der größte,

Titan, ist mit einem Durchmesser von 5150 km der zweitgrößte Mond des Sonnensystems. Im Gegensatz zu allen anderen Planetenbegleitern besitzt Titan eine dichte Atmosphäre, welche hauptsächlich aus Stickstoff besteht und am Boden für einen Luftdruck sorgt, der den irdischen Wert übertrifft. Die Oberflächentemperatur von -200°C läßt allerdings kein Leben zu. Die meisten anderen der großen Monde bestehen wie Ganymed aus einem Fels-Eis-Gemisch und zeigen zum Teil sehr viele Einschlagkrater. Die kleineren Saturntrabanten sind fliegende Felsbrocken und sehen den beiden Marsmonden und den Planetoiden sehr ähnlich.

Ähnlich wie Jupiter und Saturn ist Uranus

**Warum ist
Uranus grün?**

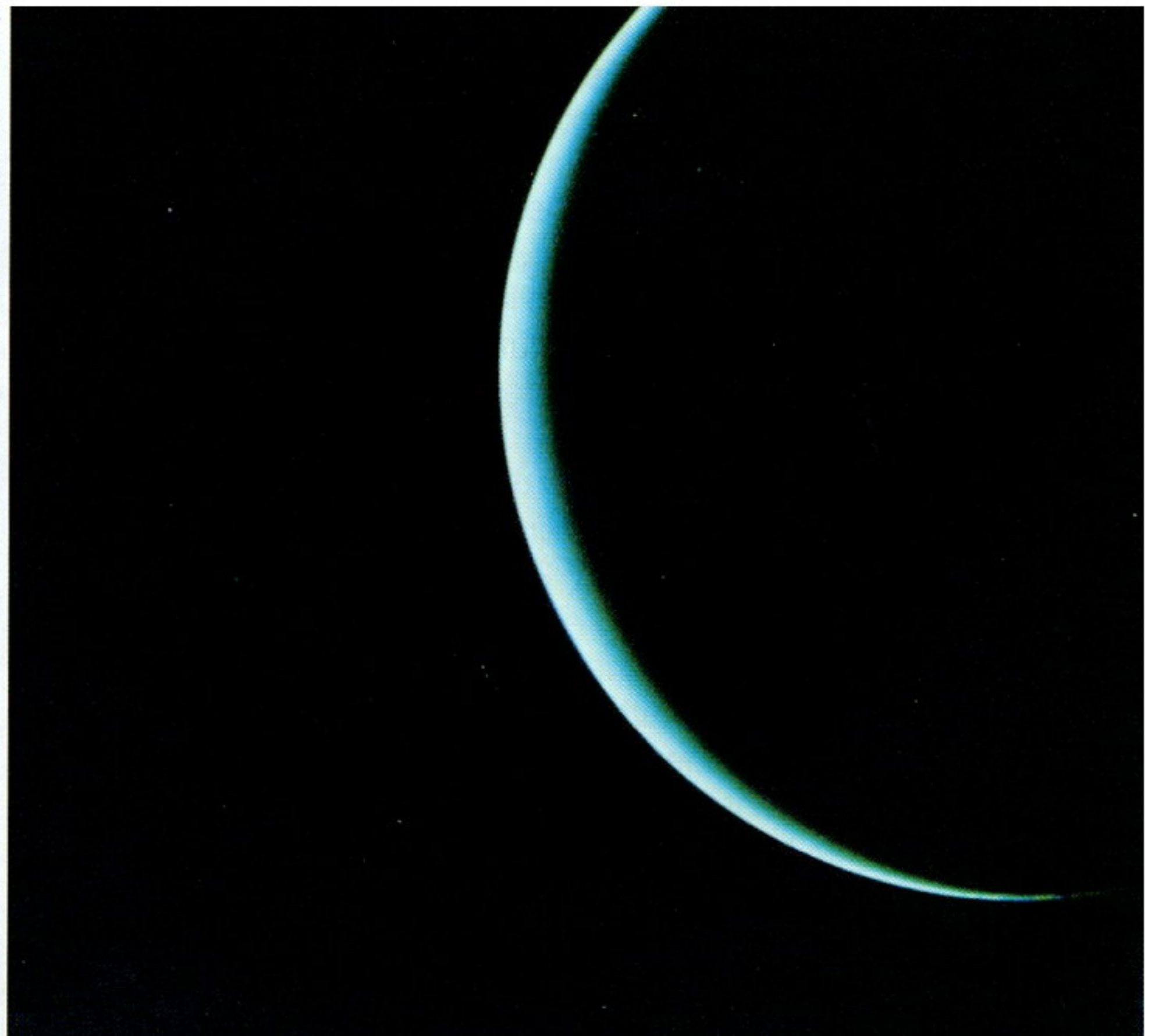
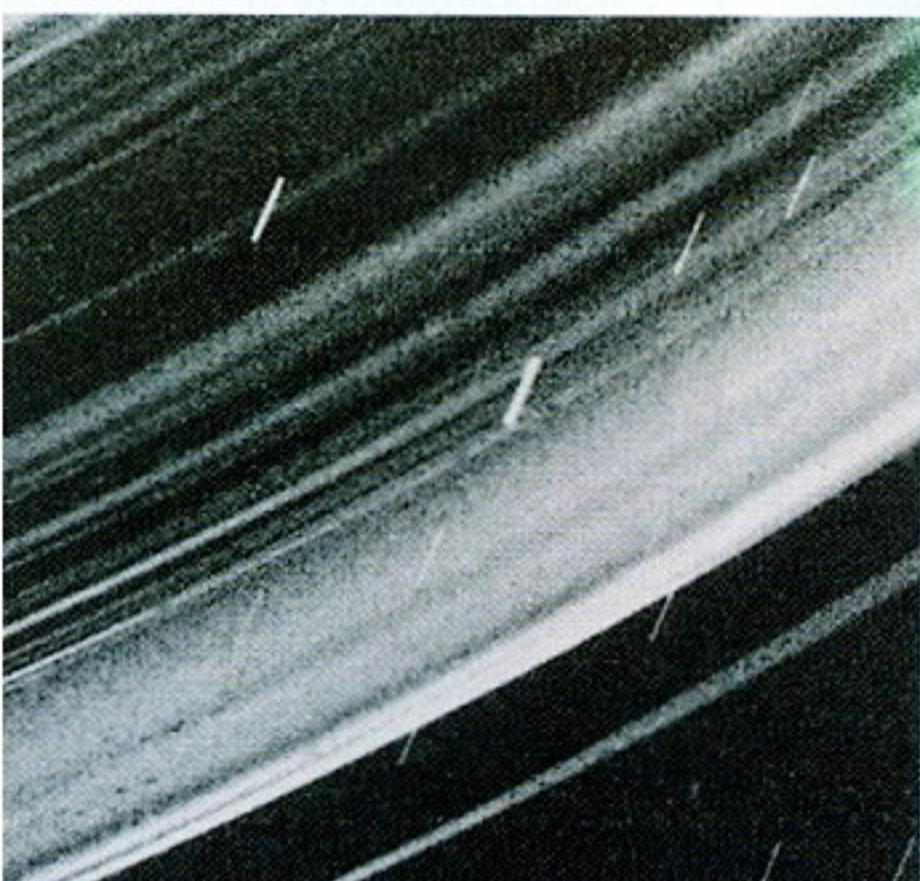
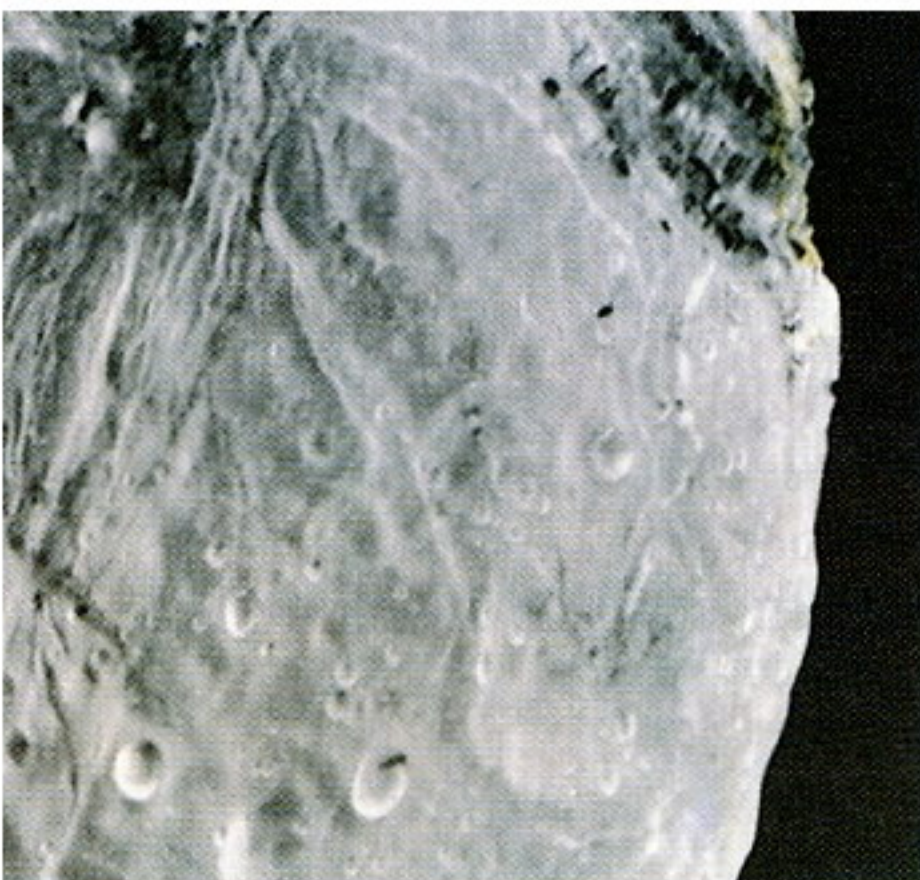
ein Riesenplanet, der hauptsächlich aus Wasserstoff und Helium besteht. Im Januar 1986 flog Voyager 2 an Uranus vorbei. Der Planet erscheint schon im Fernrohr grünlich. Diese Farbe wird durch

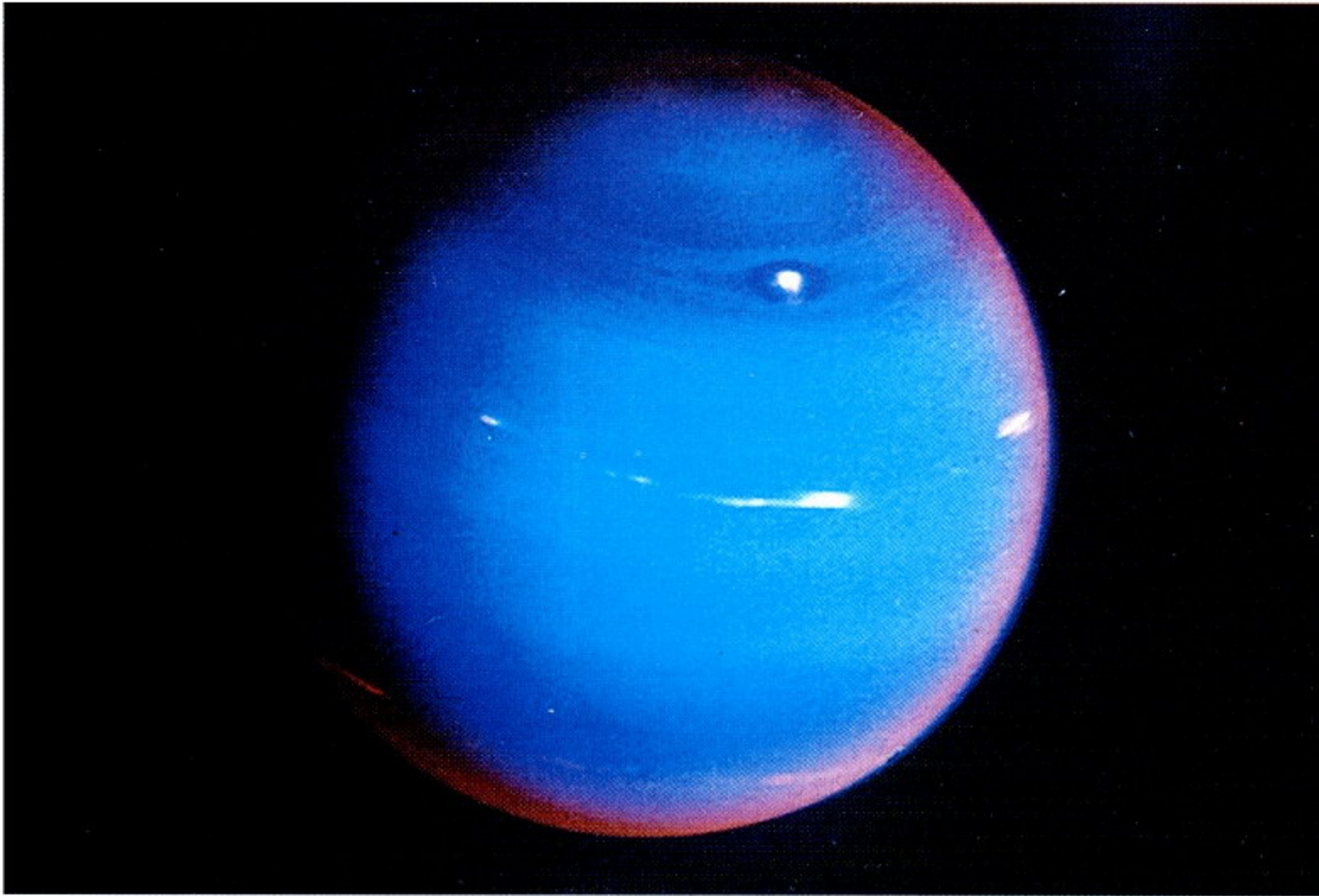
das Gas Methan hervorgerufen, welches sich in der Uranusatmosphäre befindet. Seit langem ist bekannt, daß die Uranusachse ungefähr in der Bahnebene des Planeten liegt, also nicht wie bei den anderen Planeten auf dieser mehr oder weniger senkrecht steht. Das bedeutet, daß ein bestimmtes Gebiet auf Uranus 42 Jahre lang von der Sonne beschienen wird. Danach folgt trotz der schnellen Rotation des grünen Planeten eine 42jährige Nacht. Voyager 2 entdeckte bei Uranus ein System von mindestens 11 schmalen Ringen sowie 10 Monde, so daß heute 15 Uranustrabanten bekannt sind. Besonders vom nur rund 500 km großen Mond Miranda gelangen geradezu phantastische Nahaufnahmen, die eine unerwartete Landschaftsvielfalt zeigten. Diese wird so gedeutet, daß der Mond durch Kollisionen mehrmals zertrümmert und danach wieder zusammengefügt wurde.

Im August 1989 erreichte Voyager 2 Neptun, den äußersten der Riesenplaneten. Die Raumsonde entdeckte auf seiner Wolkenoberfläche einen großen dunklen Fleck, ein Gegenstück zu dem schon erwähnten Wirbelsturm auf Jupiter, sowie mehrere kleine runde Strukturen. Auch Neptun ist von dünnen Ringen umgeben und hat eine ansehnliche Mondfamilie. 2 Trabanten sind schon lange bekannt, 6 weitere wurden von Voyager 2 entdeckt. Besonders der größte Mond Triton konnte genau untersucht werden. Er besitzt eine extrem dünne Atmosphäre aus Methan und Stickstoff und eine außerordentlich vielfältige Oberfläche. Die Südpolregion ist sehr hell und rosa. Wahrscheinlich ist sie mit gefrorenem Stickstoff und Methan bedeckt. Neben Kratern, die durch aus

Was entdeckte Voyager 2 im Neptunsystem?

Uranus (rechts), hier als schmale Sichel aufgenommen, hat 15 Monde. Miranda (links oben) wurde von Voyager 2 besonders gut untersucht. Uranus besitzt ein Ringsystem von mindestens 11 schmalen Ringen (links unten).





Neptun, aufgenommen von Voyager 2 im Jahr 1989.

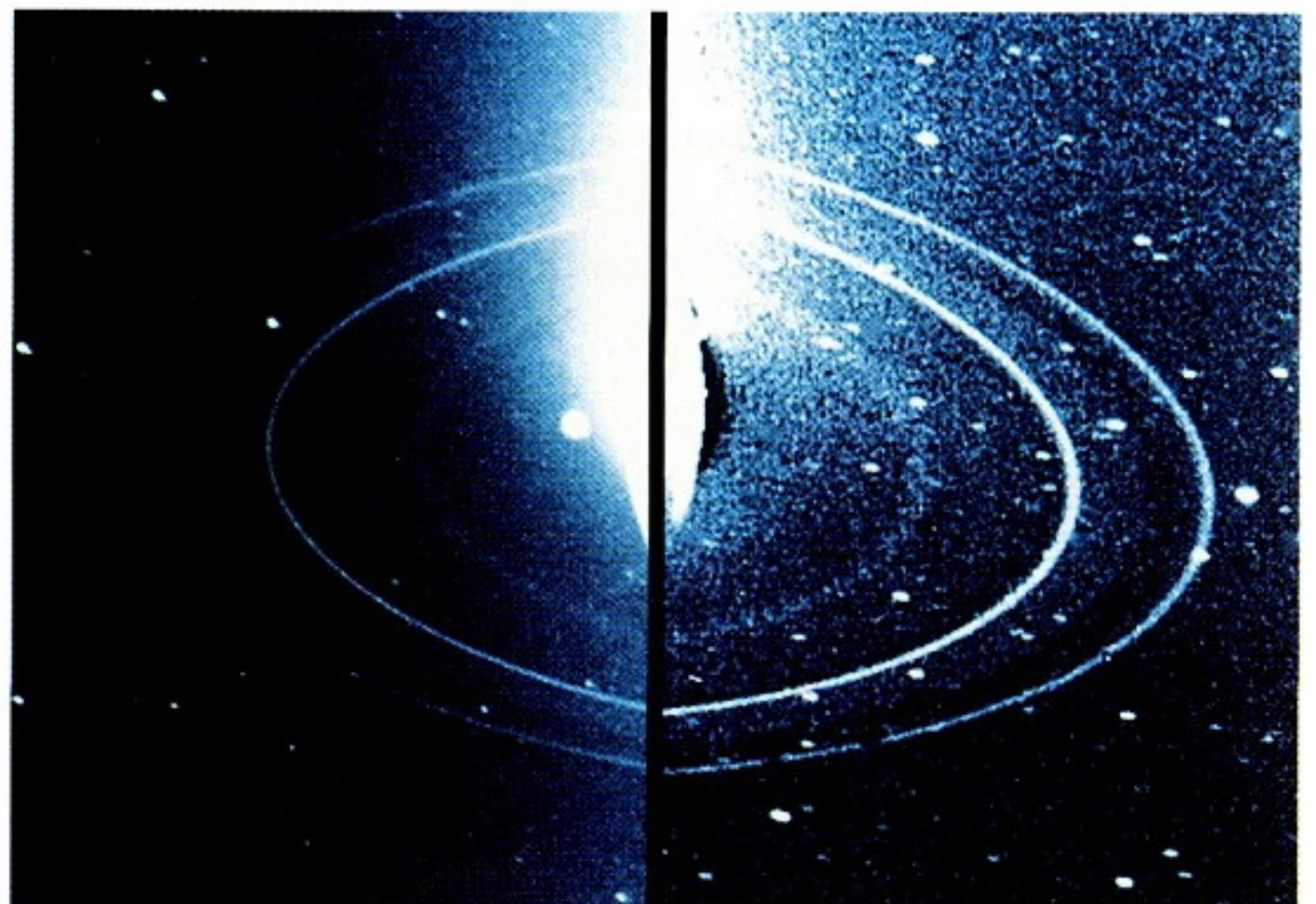
dem Inneren aufsteigendes Material teilweise aufgefüllt wurden, findet man dunkle Regionen mit hellen Säumen. Auch gibt es geiser- oder vulkanartige Eruptionen, bei denen flüssiger Stickstoff dunkles Material mitreißt. Die Oberflächentemperatur des Mondes ist mit -236°C die niedrigste, die je auf einem Mitglied des Sonnensystems gemessen wurde.

Jenseits der vier Riesenplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun kreist der kleine Pluto in rund 248 Jahren um die Sonne. Er besitzt einen Mond, der ihn in 6,39 Erdentagen umkreist. Der Durchmesser von Pluto beträgt rund 2300 km, der seines Mondes Charon etwa 1200 km. Pluto ist der einzige Planet, der noch nie Besuch von der Erde hatte. Es gibt zur Zeit auch keine Pläne, eine Raumsonde zu ihm zu senden. Jedoch besitzen wir immer bessere Teleskope, so daß man Pluto auch von der Erde aus wissenschaftlich untersuchen kann. So hat man herausgefunden, daß Charon und Pluto sich gegenseitig immer dasselbe Gesicht zeigen, so,

Kann man auch zu Pluto fliegen?



Der Neptunmond Triton hat eine einmalige Landschaftsvielfalt (oben). Auch Neptun hat Ringe, die wie bei Uranus eng gebündelt sind (unten). Das Planetenbild ist hier abgeblendet.



als wären sie durch eine Stange miteinander verbunden. Die meisten Monde des Sonnensystems zeigen ihrem Planeten immer dieselbe Seite, auch unser Mond. Pluto ist aber der einzige Planet, der auch seinem Mond immer dieselbe Hälfte zuwendet. Man weiß heute, daß Pluto eine sehr dünne Atmosphäre besitzt, die hauptsächlich aus dem Gas Methan besteht.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß es noch ein

Gibt es noch weitere Planeten?

bis zwei weitere Planeten gibt, die jenseits der Plutobahn um die Sonne kreisen. Sie sind schwer zu entdecken,

da sie nur schwach von der fernen Sonne bestrahlt werden und dazu noch sehr weit entfernt sind.

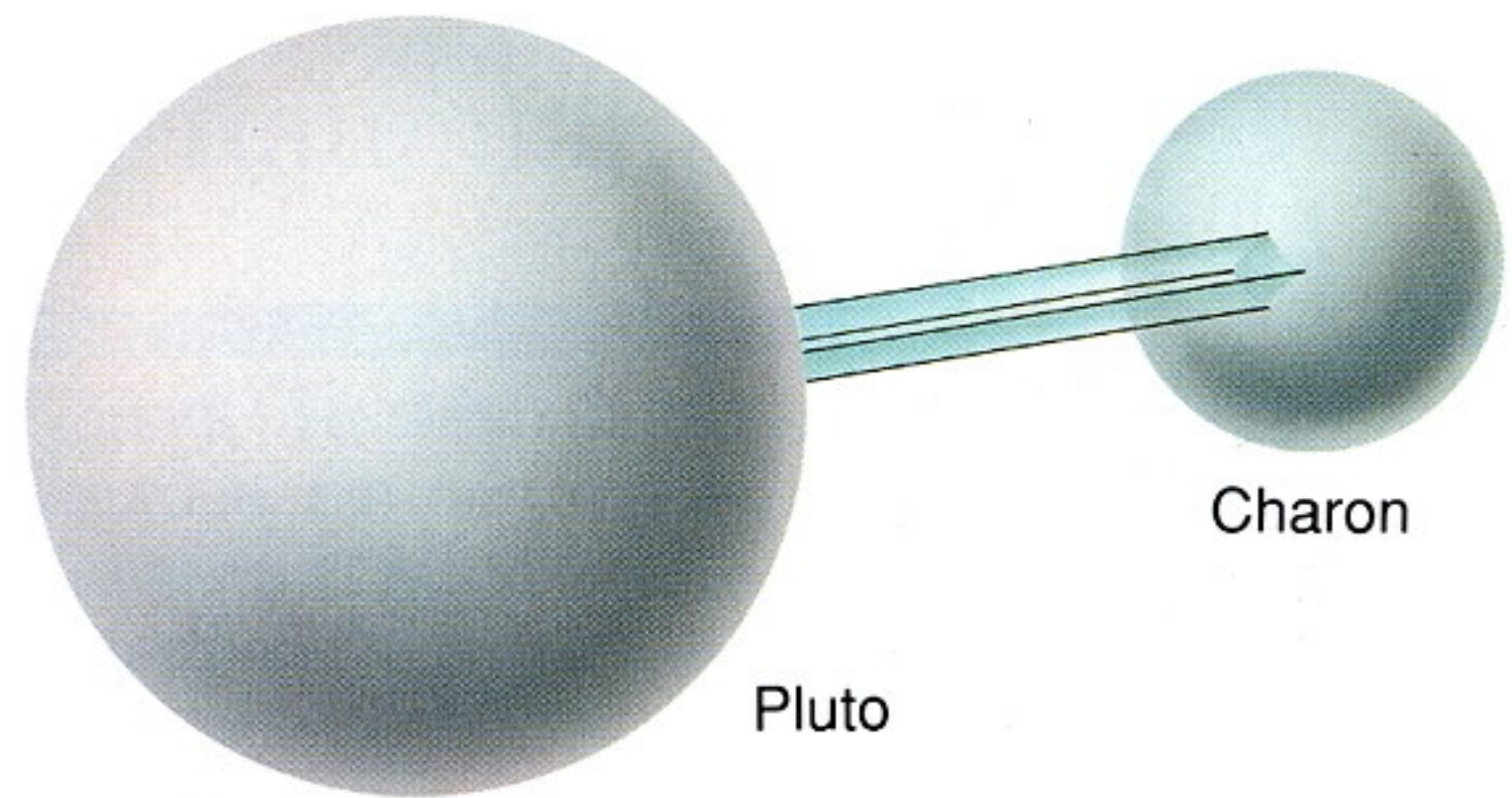
Einige Kometenbahnen weisen jedoch auf diese „transplutonischen“ Planeten hin. Man kann nämlich nachweisen, daß die Kometen durch jenseits der Plutobahn gelegene massereiche Himmelskörper von ihrer ursprünglichen Bahn abgelenkt wurden. Auch hier hoffen die Astronomen auf die neuen Riesenteleskope, die zur Zeit in Entwicklung sind. Mit ihnen könnte man die fernen Planeten entdecken. Früher glaubte man, innerhalb der Merkurbahn noch einen „intramerkuriiellen“ Planeten gefunden zu haben, dessen Spuren sich aber wieder verloren. Zur Zeit sind also nur die 9 großen Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun und Pluto bekannt.

Im Jahre 1986 wurde eine ganze Armada

Gibt es auch Kometensonden?

von Raumsonden zum bekanntesten aller Kometen „Halley“ gesandt. Besonders erfolgreich war die europäische

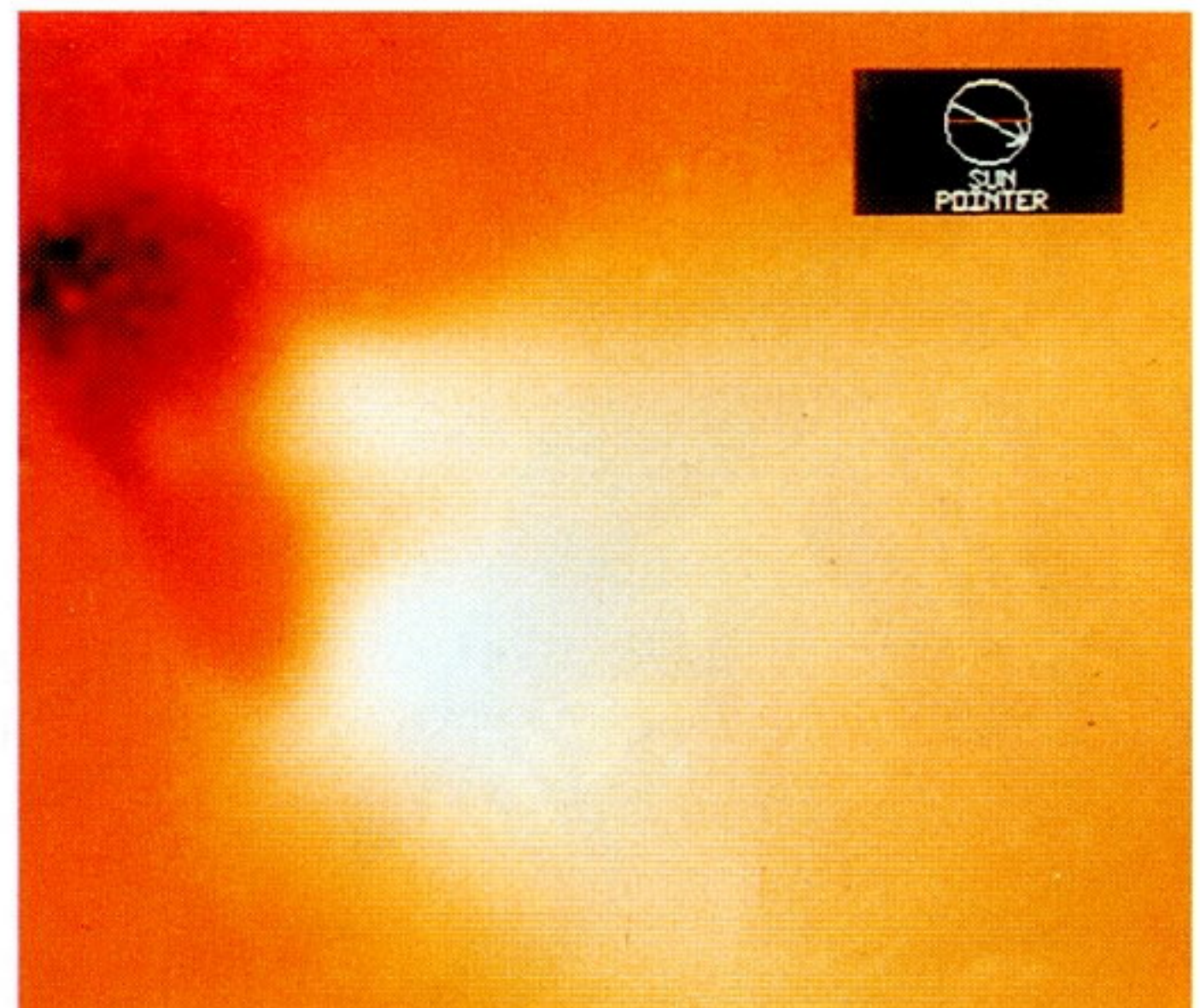
Giotto-Sonde. Sie konnte vor ihrer teilweisen Zerstörung durch Kometenpartikel viele Messungen durchführen und Bilder



Pluto hat einen Riesenmond: Charon. Beide Himmelskörper zeigen sich immer dieselbe Seite, scheinen also durch eine Stange verbunden zu sein.

des Kometenkerns zur Erde funken. Dieser ist ein birnenförmiger Körper mit den Maßen $15 \times 8 \times 8$ km und fast ganz von einer schwarzen Kruste bedeckt. Aus Lücken und Kratern in dieser Schicht brechen bei Sonneneinstrahlung Staub- und Gasjets hervor, die das Material für den Schweif liefern. Halley verliert bei jeder Annäherung an die Sonne 250 Millionen Tonnen. In 200 000 Jahren wird er sich ganz aufgelöst haben. Schon heute befinden sich auf seiner Bahn viele Staubteilchen und Steine, die einmal zum Halleykern gehört haben. Rast die Erde durch diese kosmische Staubwolke, so gibt es schöne Sternschnuppenschauer.

Der Kern des Halleyschen Kometen. In Sonnennähe treten aus diesem „schmutzigen Schneeball“ Gase und Staubteilchen aus.





Die Zukunft der Raumfahrt

Nach dem unvergeßlichen Abenteuer des

**Werden
Menschen
einmal
zum Mars
fliegen?**

Mondflugs wäre eine Reise zum Mars der nächste große Schritt des Menschen auf dem Weg zur kosmischen Zivi-

lisation. Schon 1952 zeigte Wernher von Braun, daß eine Expedition zum roten Planeten durchaus machbar wäre. Die sowjetischen Langzeitflüge um die Erde bewiesen, daß nicht nur die Technik, sondern auch der Mensch diese vielleicht größte aller Bewährungsproben bestehen könnte.

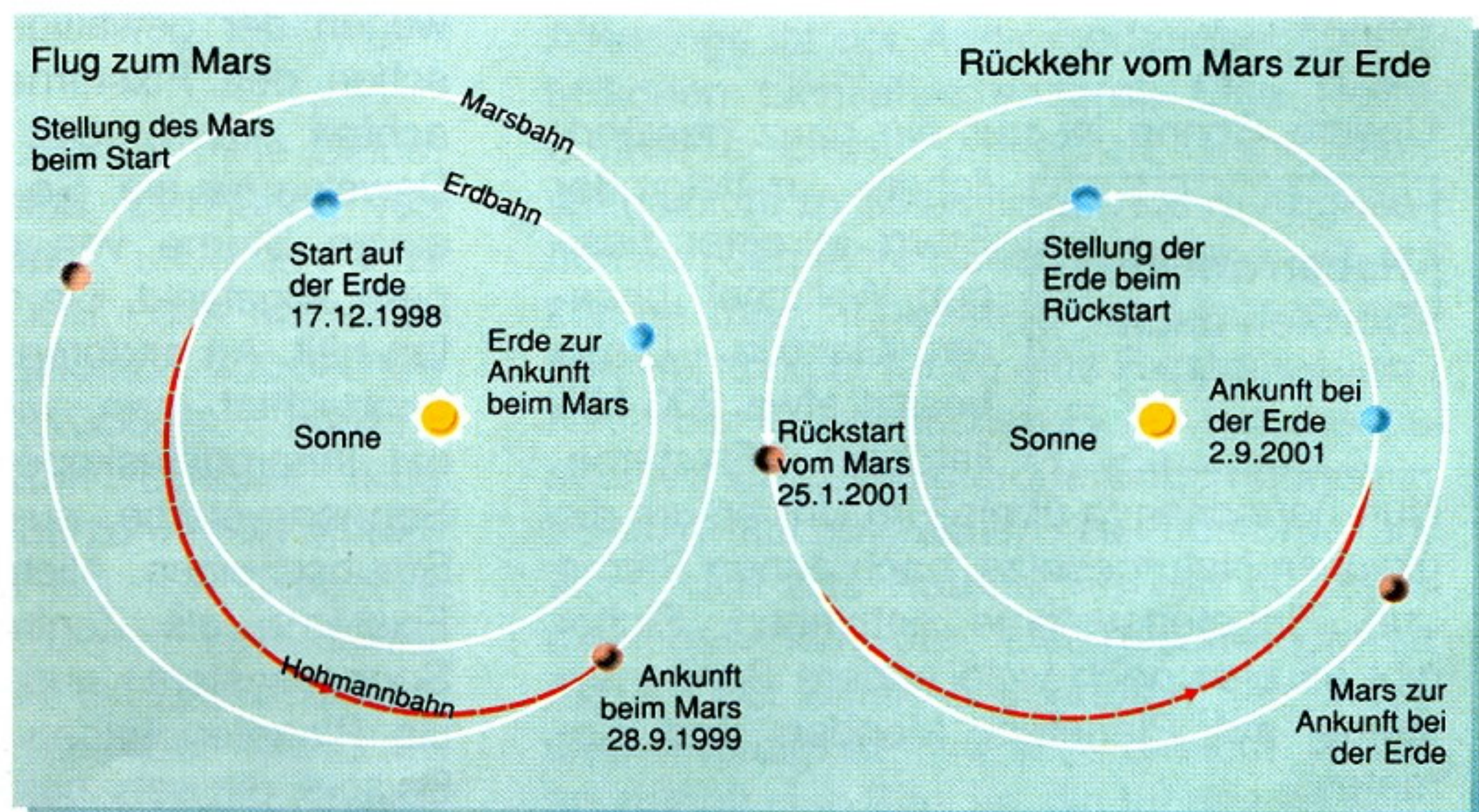
Die Marsfähre, in der die Astronauten ihren neunmonatigen Flug antreten sollen, wird nach den meisten Projektstudien auf einer Erdumlaufbahn zusammengebaut und startklar gemacht. Die Raumfahrer fliegen mit einem Space Shuttle zur Fähre, die ähnlich wie bei den Apolloflügen durch Zündung eines Raketenmotors auf Zielkurs gebracht wird. Das Raumschiff wird zunächst auf eine Marsumlaufbahn gelenkt. Von dort erfolgt der Abstieg zur

Oberfläche mit einem „Lander“. Dieser bringt die Astronauten später zur Fähre zurück, die nun wieder unseren Planeten ansteuert. Sie schwenkt in eine Erdumlaufbahn ein. Von dort werden die Raumfahrer per Space Shuttle in die Heimat zurücktransportiert.

Nun kann man natürlich nicht auf dem kürzesten Weg zum Mars fliegen, da für eine solche Reise der Energieaufwand enorm wäre. Schon der Ingenieur E. F. W. Hohmann, einer der großen Raumfahrtpioniere, zeigte 1925 einen treibstoffsparenden Weg zum roten Planeten, die nach ihm benannte „Hohmann-Bahn“. Diese schmiegt sich beim Start der Erdbahn, bei der Ankunft der Marsbahn an. Nun muß Mars bei Ankunft des Raumschiffs bei seiner Bahn natürlich auch angetroffen werden. Man kann also nur ganz bestimmte Startzeiten wählen, bei Abflug müssen Mars und Erde so zueinander stehen, daß nach der neunmonatigen Reise der rote Planet auch erreicht wird. Der enge Zeitraum, in dem der Aufbruch möglich ist, wird „Startfenster“ genannt. Ein solches ist

Im nächsten Jahrhundert werden vielleicht Menschen auf dem Mars landen. Zu fernen Sonnensystemen werden wir wohl nie fliegen.

Ein günstiges Startfenster zum Mars öffnet sich Ende des 20. Jahrhunderts. Wahrscheinlich werden aber erst um 2020 Menschen zum Mars fliegen.



natürlich auch für den Rückflug abzuwarten und öffnet sich etwa 16 Monate nach der Ankunft. Die Rückreise dauert dann noch einmal 9 Monate. Die gesamte Marsmission benötigt also rund 2½ Jahre, wahrlich eine schwere Prüfung für die Helden des 21. Jahrhunderts! Vergessen wir aber nicht, daß auch die großen Abenteurer und Forscher früherer Zeiten oft mehrere Jahre unterwegs waren, bevor sie, wenn überhaupt, zurückkehrten.

Ein günstiges Startfenster ergibt sich um den 16. 12. 1998. Das Raumschiff würde dann am 28. 9. 99 bei Mars eintreffen. Ein Rückstart wäre am 25. 1. 2001 möglich, am 2. 9. desselben Jahres wäre die Marsfähre wieder in Erdnähe. Wahrscheinlich wird es einen bemannten Flug zu unserem Nachbarplaneten erst um 2020 geben, falls dies die immer bedrückender werdenden Weltprobleme wie Umweltkatastrophe und Überbevölkerung überhaupt zulassen. Viele Wissenschaftler sind darüber hinaus der Ansicht, daß man sich wie bisher bei der Planetenforschung auf unbemannte Sonden beschränken sollte.

Wie die Apolloastronauten müßten die Marsfahrer immer einen Raumanzug tragen, wenn sie den Lander verlassen. Die Marsatmosphäre besitzt keinen freien Sauerstoff, der Luftdruck ist für Menschen viel zu niedrig, und die Strahlenbelastung wäre ebenfalls ohne Schutzkleidung untragbar.

Unsere Sonne ist nur ein ganz gewöhnlicher, mittelgroßer Stern in einer riesigen Weltinsel, unserer Galaxie. Diese besitzt etwa 200 Milliarden Fixsterne.

Haben andere Sonnen auch Planeten?

Nun herrschen ja überall im Universum die gleichen Naturgesetze, nach denen Sterne und Planetensysteme entstehen. Sicher gibt es also noch viele andere Sonnensysteme mit Planeten, Monden und Kometen.



Es gibt Sonnensysteme mit zwei oder mehr Sonnen. So ein Sternenpaar könnte auch Planeten haben, auf deren Oberfläche zwei Sonnen scheinen würden.

Auch wenn man Planeten anderer Sonnen wegen der gewaltigen Entfernungen zwischen den Fixsternen nicht direkt beobachten kann, gibt es doch indirekte Beweise für sie. So werden zum Beispiel einige Sterne von dunklen Himmelskörpern abgelenkt, die man für große Planeten hält. An anderen Stellen des Himmels beobachtet man, wie schon angedeutet, mit Infrarotteleskopen die Bildung neuer Sonnensysteme aus großen Gas- und Staubscheiben. Allerdings muß man viele Fixsterne als Zentralgestirne bewohnter Sonnensysteme ausschließen, auch wenn sie Planeten haben. Dazu gehören zum Beispiel die sehr großen kurzlebigen, aber



auch die kleinsten und lichtschwächsten Sterne. Aber unsere Galaxie bietet immer noch millionenfache Chancen für außerirdisches Leben.

Die Fixsterne, also auch der helle Sirius,

**Wird man
einmal zu
Sirius fliegen?**

sind Lichtjahre von uns entfernt. Das Licht, das in einer Sekunde 300 000 km zurücklegt, braucht zum Beispiel rund

8,7 Jahre, um von Sirius zu uns zu laufen. Man sagt, der Stern sei 8,7 Lichtjahre entfernt. Die Strecken, die wir mit unserer „Raumfahrt“ überbrückt haben, sind vergleichsweise bescheiden. Der Mond ist rund 1,3 Lichtsekunden, Mars im günstig-

sten Fall einige Lichtminuten entfernt. Raumsonden wie Voyager 2 werden Hunderttausende von Jahren brauchen, bevor sie in die Nähe von Nachbarsonnen kommen. Selbst bei großen technischen Fortschritten wird es also dem Menschen kaum möglich sein, unser eigenes Planetensystem zu verlassen und nach Science-fiction-Art von Fixstern zu Fixstern zu fliegen. Das, was wir stolz Raumfahrt nennen, wird wahrscheinlich immer ein S-Bahnverkehr in unserer engeren Heimat, dem Sonnensystem, bleiben. Der Intercity zu Sirius wird wegen unserer kurzen Lebensdauer, den begrenzten technischen Möglichkeiten und den wahrhaft astronomischen Kosten einer solchen Expedition wohl auch im 22. Jahrhundert nicht starten können.

Wie schon erwähnt, ist unser Milchstra-

**Ist eine
Reise zum
Andromeda-
nebel möglich?**

ßensystem nur eine ganz normale Galaxie. Es gehört zu einem Galaxienhaufen, der Lokalen Gruppe, die unge-

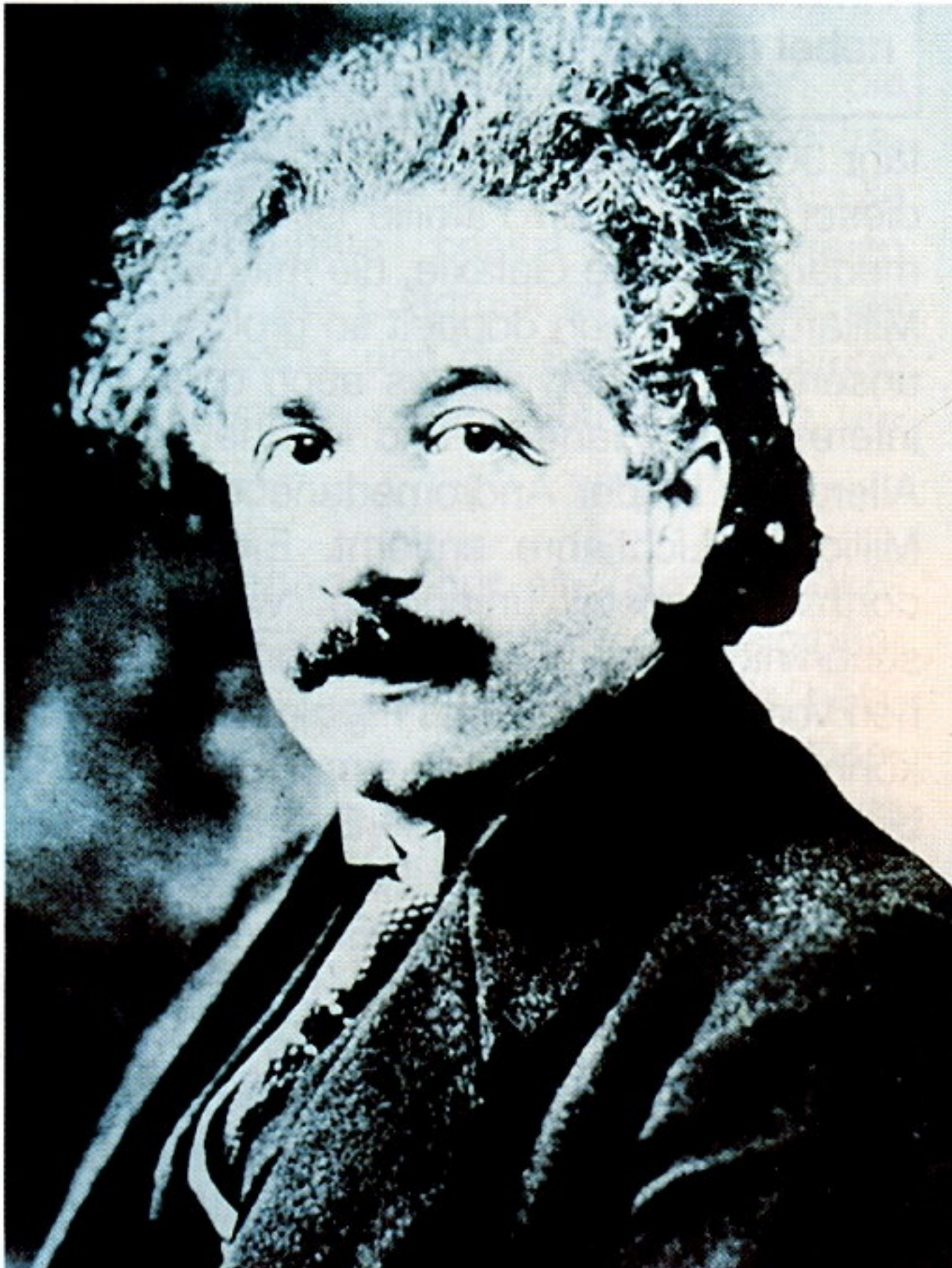
fähr 30 Mitglieder hat. Das größte System dieser kosmischen Familie ist der Andromedanebel, eine Galaxie, die mit rund 400 Milliarden Sonnen doppelt so groß wie die unsere ist. Sicher wird es auch dort viele interessante Planeten und Monde geben. Allerdings ist der Andromedanebel über 2 Millionen Lichtjahre entfernt. Eine Reise dorthin erscheint unmöglich, wenn man schon nicht zu Sirius fliegen kann. Abgesehen von den technischen Problemen ist, so könnte man annehmen, ein Menschenleben viel zu kurz für so eine Expedition.

Nach der Einsteinschen Relativitätstheorie sind jedoch beliebig große Entfernungen in beliebig kurzen Zeiten zu überbrücken, wenn sich das Raumschiff von der Erde aus gesehen der Lichtgeschwindigkeit nähert. Für einen Astronauten, der diese Geschwindigkeit fast erreicht hat, schrumpft eine Strecke, die für uns 2 Millio-



Der Andromedanebel ist eine Galaxie mit rund 400 Milliarden Sternen. Er ist über 2 Millionen Lichtjahre entfernt und mit bloßem Auge zu sehen.

Albert Einstein zeigte mit seiner Relativitätstheorie, daß Reisen zu fernen Sonnen grundsätzlich möglich wären. Sie sind jedoch praktisch undurchführbar.



nen Lichtjahre beträgt, auf einige wenige Lichtjahre zusammen. Für ihn vergehen je nach Geschwindigkeit 5–10 Jahre, wenn auf der Erde 2 Millionen Jahre ablaufen! Vorausgesetzt, alle technischen Probleme wären gelöst, könnte ein Raumschiff also wirklich in einem Menschenleben zum Andromedanebel und zurück fliegen. Aber Vorsicht! Es ist hier die Bordzeit gemeint. Während im Raumschiff 20 Jahre vergehen, wird unser Planet 4 Millionen Jahre älter. Niemand würde die Heimkehrer erkennen, wahrscheinlich wäre zum Zeitpunkt der Landung die Menschheit längst ausgestorben. Im günstigsten Fall würde man unsere wackeren Astronauten in einen Zoo sperren. Gegen Raumschiffe, die sich mit fast Lichtgeschwindigkeit bewegen, sprechen auch praktische Gründe. Wenn man in 1,4 Sekunden die Strecke Erde–Mond zurücklegen würde, dann gäbe es zu viele Zusammenstöße mit großen und kleinen Meteoriten und Staubkörnern. Das Raumschiff würde sich stark erhitzen und schließlich verdampfen. Auch wenn eine Reise zum Andromedanebel theoretisch möglich ist, sie wird wohl immer Science fiction bleiben.

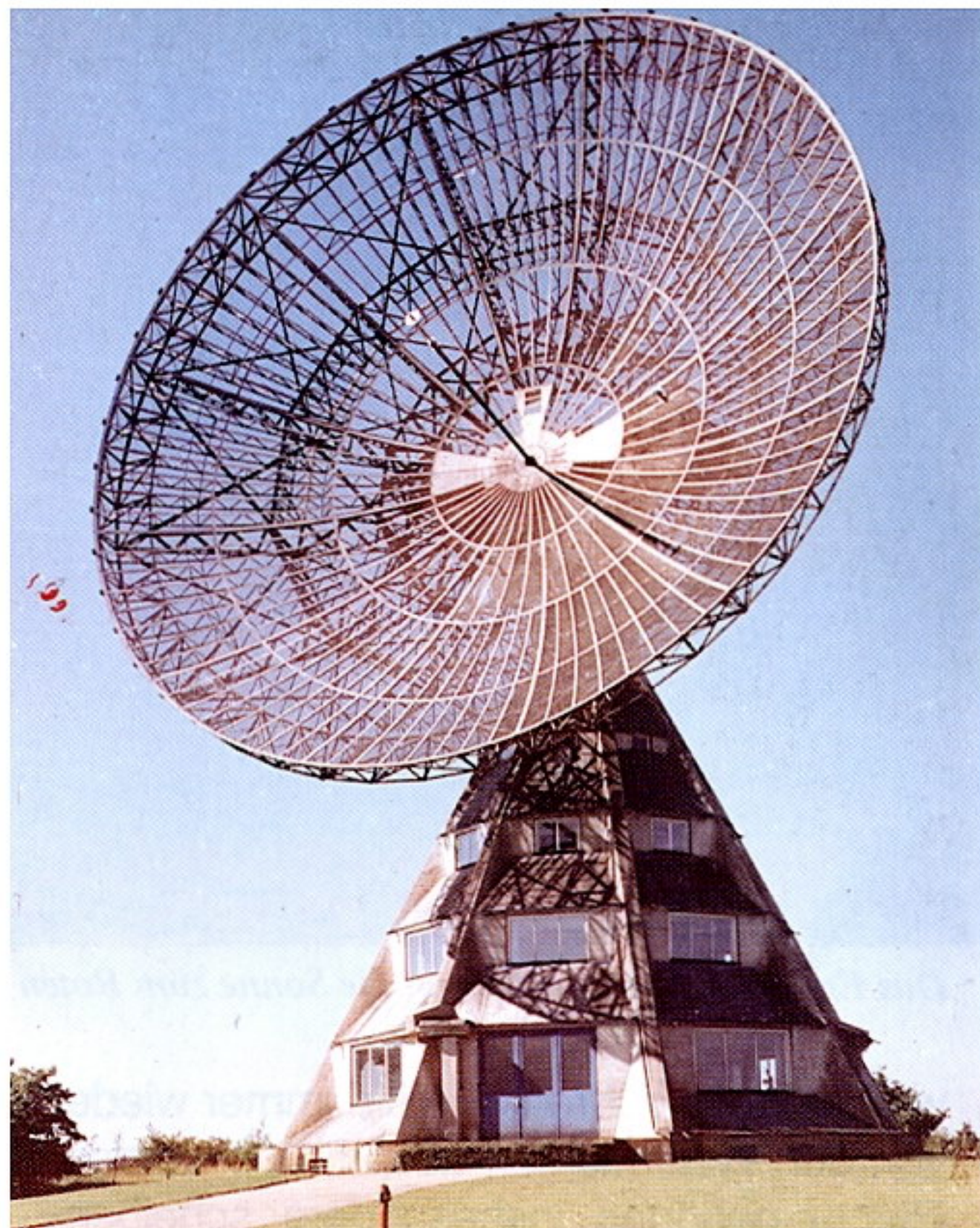
In der näheren Umgebung unserer Sonne

**Kann man
Kontakte zu
anderen
Zivilisationen
aufnehmen?**

gibt es einige Fixsterne, die erdähnliche bewohnte Planeten haben könnten. Allerdings ist es sehr unwahrscheinlich,

daß auf diesen fernen Welten, falls sie wirklich Leben tragen, gerade jetzt auch eine technische Zivilisation ist. Unsere Erde existiert seit 4,6 Milliarden Jahren. Das technische Zeitalter ist dagegen erst einige Jahrzehnte alt, und alles spricht dafür, daß es nach 100 oder 1000 Jahren der Vergangenheit angehört. Auf jeden Fall ist es kurz, gemessen am Alter unseres Planeten. Wenn das auf anderen Welten auch so ist, dann werden auf den erdähnlichen Planeten unserer Nachbarsonnen wohl kaum gerade jetzt Fernrohre, Atomreaktoren und Raketen stehen. Es ist viel wahrscheinlicher, daß dort saurierähnliche Wesen herumlaufen, die in „nur“ 50 Millionen Jahren intelligente Nachkommen haben werden, oder daß dort vor 8 Millionen Jahren eine Zivilisation war, die sich durch Kriege oder Umweltzerstörung selbst ausgelöscht hat.

Immerhin wären intelligente Brüder im All denkbar, die nicht zu weit entfernt sind. Wie beschrieben, wird man wohl nie zu ihnen reisen können. Mit unseren großen Radioteleskopen jedoch könnte man durchaus ihre Kontaktsignale empfangen, wenn ihre Technologie genau so weit wie die unsere wäre. Natürlich hat es an Versuchen nicht gefehlt, solche Funkbotschaften aus dem Universum nachzuweisen. Wie eigentlich nicht anders zu erwarten, war das Ergebnis immer negativ. Auch Kontaktsignale, die wir Menschen ins All schickten, blieben bisher ohne Antwort. Wahrscheinlich ist die nächste Nachbarzivilisation so weit entfernt, daß sie räumlich und zeitlich außerhalb unserer Reichweite liegt. Viele Biologen nehmen darüber hinaus an, daß es überhaupt keine weiteren bewohnten Planeten gibt, da ihrer Mei-



Mit unseren großen Radioteleskopen könnten wir Botschaften von anderen Sonnensystemen empfangen und beantworten.

nung nach die Entstehung von Leben so unwahrscheinlich sein soll, daß sie sich nur einmal, nämlich auf der Erde, ereignet haben könnte.

Das aus dem Englischen kommende Wort

**Gibt es
Ufos?**

Ufo bedeutet nicht unbedingt „außerirdisches Raumschiff“, sondern „unidentifizierbares Flugobjekt“. In die-

sem Sinne gibt es natürlich Ufos. Die meisten von ihnen kann man mit einiger Mühe allerdings natürlich erklären. Oft handelt es sich um helle Planeten, Meteore, Satelliten, Ballone, Drachen oder abstürzende Satellitenbruchstücke. Selbst Vogelschwärme, bestimmte Wolkenformationen oder Spiegelungen von Autoscheinwerfern werden oft für Raumschiffe von fernen Zivilisationen gehalten. Viele Ufos sind in Wirklichkeit Leuchterscheinungen in der Nähe geologischer Anomalien wie Verwerfungen, andere lassen sich auf Geheim-



Das Ende der Erde naht, wenn die Sonne zum Roten Riesen wird.

waffen zurückführen, wie sie immer wieder von den Weltmächten ausprobiert werden. Hierzu gehörten insbesondere scheibenförmige Flugzeuge, die wirklich wie die oft erwähnten „Fliegenden Untertassen“ aussahen.

Andere Ufos kommen aus der Tiefe der menschlichen Seele. Man kann nämlich zeigen, daß sehr erregte Zeitgenossen einzeln oder in der Gruppe Scheiben am Himmel sehen, die gar nicht wirklich existieren.

Es gibt allerdings auch Ufoerscheinungen, die man nicht so einfach erklären kann. Zu ihnen gehören leuchtende Scheiben, welche die Elektronik von Flugzeugen stören oder Ufos, die runde Abdrücke in Getreidefeldern hinterlassen. Aber auch hier muß man mit vorschnellen Erklärungen als Wissenschaftler vorsichtig sein. Es muß sich nicht gleich um eine Hinterlassenschaft intelligenter Außerirdischer handeln. Hier können vielleicht Naturerscheinungen im Spiel sein, die wir noch nicht erklären können. Auch Magnetfelder und Röntgenstrahlen existierten schon zu einer Zeit, als unsere Vorfahren noch nichts von ihnen wußten. Leider gibt es auch viele Schwindler, die Ufoerscheinungen erfinden oder simulieren, um sich wichtig zu machen oder mit sensationellen Pressefotos leichtes Geld zu verdienen. Nach Abzug

aller natürlich erklärbaren Phänomene bleiben sicher einige echte „Ufos“ übrig, wenn man darunter unidentifizierbare Flugobjekte versteht. Daß es sich dabei allerdings um Produkte fremder Zivilisationen handelt, ist sehr unwahrscheinlich.

Unsere Sonne kann nicht ewig scheinen,

Wann stirbt die Sonne?

da sie nur einen begrenzten Energievorrat besitzt. Allerdings wird sie noch rund 5 Milliarden Jahre lang ziemlich

gleichmäßig strahlen, wobei allerdings ihre Energieproduktion zunächst unmerklich langsam, dann aber immer schneller ansteigt. Schließlich wird sich die Sonne zu einem gewaltigen „Roten Riesen“ aufblähen, der seine inneren Planeten verschlingen wird. Schon lange vorher wird es auf der nunmehr unrettbar verlorenen Erde so heiß sein, daß für unsere eventuellen Nachfahren die Raumfahrt die einzige Überlebenschance bietet. Ob es allerdings in 1–2 Milliarden Jahren menschenähnliche Wesen oder andere intelligente Bewohner auf unserem Planeten geben wird, kann heute niemand sagen. Auf jeden Fall könnten ihnen Raumschiffe oder Raumstationen helfen, zu neuen Welten aufzubrechen und damit ihre Zivilisation zu retten.