



TASCHENBUCH

H. MIELKE



VON
PLANET
ZU
PLANET



TASCHENBUCH · BAND 22

HEINZ MIELKE

VON PLANET ZU PLANET

VEB VERLAG ENZYKLOPADIE
LEIPZIG

1. Auflage · 1. bis 10. Tausend

1962 · Alle Rechte vorbehalten · Verlagslizenz 434 130/52/62 · ES 18 D 1

Gesamtherstellung: Sächsische Zeitung, Dresden (III/9/1)

INHALTSVERZEICHNIS

1. Das große Abenteuer	7
2. Eine Brücke aus Licht	18
3. Der Weg zu den Planeten-Raumschiffen	35
4. Die Sonne — Achtung, Abstand halten!	51
5. Merkur und Venus — Zwischen Höllenglut und Tropen- klima?	60
6. Mars — Immer noch voller Rätsel	70
7. Planetoiden, Kometen, Meteorite — Die Welt der Kleinen und Kleinsten	86
8. Jupiter und Saturn — Im Banne zweier Giganten	100
9. Bis zur Grenze	114
Anhang	125
Sachregister	128

1. DAS GROSSE ABENTEUER

„In 42 Stunden Start zum Mars!“

„Besatzung von TRANSLUNA in Mondstation Kepler eingetroffen!“

„Arbeiten auf AS-3 abgeschlossen — Mondstationen Triesnecker und Plato beginnen mit Probeschaltungen des Führungssystems.“

„In 16 Stunden Start!“

So und ähnlich lauteten nun schon seit Tagen die beherrschenden Schlagzeilen der Weltpresse.

Mit von Stunde zu Stunde steigender Spannung verfolgten die Menschen in allen Ländern das Geschehen auf den astronautischen Stationen der Erde, in den bemannten wissenschaftlichen Großsatelliten zwischen Erde und Mond sowie auf den drei großen bemannten Mondstationen.

Immer neue Meldungen trafen in den Nachrichtenzentralen der Erde ein, und in fettgedruckten Überschriften und spaltenlangen Kommentaren spiegelten sich die einzelnen Etappen der Vorbereitung des wohl bisher abenteuerlichsten Unternehmens der Menschheitsgeschichte packend wider.

In jahrzehntelangem und hartem wissenschaftlichem Ringen auf der Basis breitester internationaler Zusammenarbeit war es den Raumfahrtspezialisten endlich gelungen, alle Voraussetzungen für die Durchführung des ersten bemannten Raumfluges zu einem fremden Planeten zu schaffen.

Als Ziel dieser Expedition war der äußere Nachbarplanet der Erde, der Mars, ausersehen.

Mit phantastischer Präzision liefen nun schon seit Monaten die letzten entscheidenden Vorbereitungen dieses epochalen Unternehmens. Sie waren für die beteiligten Wissenschaftler, Techniker und Spezialarbeiter mit angespannter Tätigkeit und so manchem Beispiel stillen Heldentums verbunden.

Höchste Bewunderung fanden vor allem immer wieder die Leistungen der Männer auf den Mondstationen und der Besatzungen in den Großsatelliten. Unter den gefahr-

drohenden Bedingungen eines mehrwöchigen Aufenthaltes im kosmischen Raum erfüllten sie mit hervorragender Präzision ihre komplizierten wissenschaftlichen und technischen Aufgaben.

Einer der bemannten Großsatelliten (AS-3) hatte für das Lenkprogramm des bevorstehenden Marsfluges besonders wichtige Aufgaben. Gemeinsam mit der Führungszentrale auf der Erde, in Baikonur, und mit den Mondstationen Triesnecker und Plato sollte er eine gewaltige funktechnische Meß- und Leitbasis bilden. Seine große Entfernung von der Erde (88 000 km) schuf dabei allerdings recht schwierige Probleme im Zubringerdienst. Der für das Funkleitsystem zu installierende Aufwand war immerhin beträchtlich gewesen, und es dauerte Monate, ehe die großen Anlagen mit der nötigen Präzision im Raum „aufgebaut“ waren. Automatische Einrichtungen allein hätten die dabei auftauchenden Schwierigkeiten niemals überwinden können, und nur dem Erfindungsreichtum und Wagemut des menschlichen Geistes war es also am Ende zu danken, wenn alle Arbeiten doch noch termingemäß bewältigt werden konnten.

Die Meldung vom Abschluß der Arbeiten auf AS-3 war durch alle Zeitungen der Erde gegangen; und inzwischen war auch die letzte der in 14tägigem Wechsel erfolgenden Mannschaftsablösungen ausgeführt worden. Jetzt befanden sich allein zehn Spezialisten für kosmische Nachrichtenverbindungen unter der achtzehnköpfigen Besatzung von AS-3.

Als schließlich die Probeschaltungen des Führungssystems auf dem Mond begannen, fanden sich auch alle Funk- und Navigationsspezialisten von AS-3 in der Zentrale des hantelförmig aufgebauten Satelliten ein. Der Kommandant der Station, ein in allen astronautischen Fragen erfahrener Praktiker, legte noch einmal die Aufgaben der Station in allen Einzelheiten dar und begann dann mit der Überprüfung der Einsatzbereitschaft jeder einzelnen Untergruppe. Besondere Aufmerksamkeit widmete er dabei vor allem den Anlagen zur Energieversorgung in AS-3, denn deren Ausfall nach dem Start der TRANSLUNA würde für die Marsexpedition unter Umständen große zusätzliche Schwierigkeiten bringen.

Darum hatte man auch zwei getrennt voneinander arbeitende Anlagen eingebaut, ein System zur Erzeugung des benötigten elektrischen Stromes durch Kernenergie und ein anderes, in dem die Energie der Sonnenstrahlung für diesen Zweck ausgenutzt wird.

Um zu der Sonnenenergieanlage zu kommen, mußten der Kommandant und die entsprechenden Techniker den Aufzug im zylindrischen Verbindungsstück der beiden Hantelkugeln benutzen, da sich die Anlage in und über einem ebenfalls zylindrischen Ausbau in der Mitte der Verbindungsachse befand. Anschließend ließen sie sich in der Aufzugkabine durch die Fliehkraft der Satellitenrotation in die der Zentrale gegenüberliegende Hantelkugel befördern, in der die Kernenergieanlage untergebracht war. Beide Anlagen befanden sich in vorzüglichem Zustand und arbeiteten einwandfrei.

Befriedigt kehrten die Männer wieder in die Zentrale zurück. Dort lag nun schon inzwischen die Anweisung aus Baikonur vor, AS-3 solle sich nach dem vorgesehenen Programm in die Probeschaltungen des Führungssystems eingliedern. Der Kommandant gab sofort entsprechende Anweisungen.

Durch Fernsteuerung erhielten nun die frei im kosmischen Raum „aufgebauten“ Antennenanlagen der AS-3 ein geheimnisvolles Leben. Sie bewegten sich wie unter den Händen eines Zauberers und richteten sich abwechselnd auf die Erde oder auf den Mond aus. Signale flogen zwischen den Stationen hin und her, und auf den Skalen der Meßgeräte und den Bildschirmen erschienen Werte und Kurven, die es den Spezialisten möglich machten, alle Teile ihres Systems sorgfältig zu eichen und mit höchster Präzision aufeinander abzustimmen.

Aufmerksam verfolgte man in der Zentrale Baikonur das Zusammenspiel der Anlagen des komplizierten Führungssystems.

Von hier aus hatte man auch Verbindung zu den vier unbemannten Funksonden, die im Raum zwischen Erde und Mars um die Sonne kreisten. Diese Raumflugkörper würden ebenfalls eine wichtige Rolle für das geplante Unternehmen

spielen, denn da ihre Bahnen und jeweiligen Positionen durch mehrjährige Beobachtungsreihen mit hervorragender Genauigkeit bekannt waren, ließ sich mit ihrer Hilfe das Netz des Führungssystems bis nahe an die Marsbahn erweitern.

Die Marsexpedition würde damit sozusagen eine ganze Trasse von Funkbaken im Raum vorfinden, die ihr einen präzisen Anflug des Planeten sowie eine jederzeit genaue Ortsbestimmung für die wissenschaftlichen Untersuchungen während des Fluges ermöglichen sollten.

Eine der vier Funksonden bereitete den Spezialisten der Leitzentrale allerdings in zunehmendem Maße Sorgen. Offenbar war ihre Anlage zur räumlichen Ausrichtung des Antennensystems gestört.

Immer wieder versuchte man durch Funkkommandos die entsprechenden Geräte in FRS-2 zum Ansprechen zu bringen, aber nach längeren Bemühungen entschloß man sich dann doch, diese Funksonde aus dem Leitprogramm herauszunehmen und das Programm ausschließlich auf die verbleibenden drei umzustellen.

Es war überhaupt eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Gesamtplanung des Unternehmens, daß man weitgehendst Vorsorge getroffen hatte, bei möglichen Ausfällen jederzeit und ohne Zeitverlust auf Programmänderungen eingehen zu können, ohne die Sicherheit der Expedition zu gefährden.

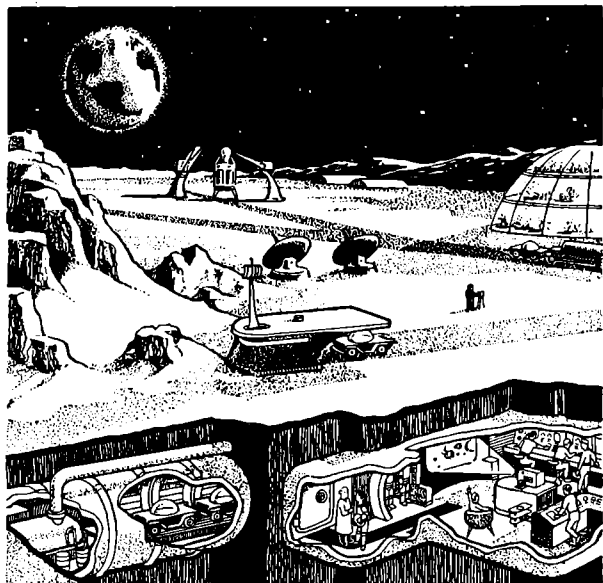
Von der beschlossenen Änderung machte die Zentrale natürlich sofort allen anderen beteiligten Einrichtungen und Stationen Mitteilung. Überall wurden daraufhin die vorprogrammierten Magnetbänder in den elektronischen Steuerungsanlagen entsprechend ausgetauscht.

„Noch sieben Stunden bis zum Start!“

Die unmittelbaren Startvorbereitungen auf der Mondstation Kepler liefen inzwischen auf vollen Touren.

Von hier aus sollte sich also das Raumschiff *Transluna* auf seine Reise zum Mars begeben.

Der Plan, als Startort der *Transluna* eine der bestehenden Stationen auf dem Mond zu wählen, war das wohlbegründete Resultat langwieriger scharfsinniger Untersuchungen, denen besonders die Forderung nach maximaler Sicherheit der



Interplanetare Raumflugstation auf dem Mond

Expeditionsteilnehmer zugrunde gelegt wurde. Da andererseits aus Gründen der wissenschaftlichen Ökonomik der Teilnehmerkreis mindestens acht Personen umfassen sollte, ergaben sich für die Ausmaße des Raumschiffes Werte, die einen Start ab Erde grundsätzlich unmöglich machten.

Der Gedanke, das Raumschiff von einer der bemannten Außenstationen vom Typ AS-3 starten zu lassen, erwies sich ebenfalls als wenig günstig. Der beträchtliche konstruktive Aufwand bei dem Aufbau des Raumschiffes sowie seines

Startantriebssystems hätte im freien Raum enorme technische Schwierigkeiten bereitet.

Als sinnvollste Lösung ergab sich schließlich der Mond als Startplattform, weil dort die weitaus besten Voraussetzungen auch für die Entwicklung großer Raumflugkörper gegeben sind, jedenfalls wenn man dabei im Auge behielt, daß Entwicklung, Bau und Einsatz des ganzen projektierten Raumflugsystems eine möglichst ökonomische Gesamtlösung finden sollten. Dabei sollten natürlich Entwurf und Teilentwicklungen auch weiterhin möglichst in den astronautischen Zentren der Erde erfolgen. Raumschiff und Antriebssystem aber dort bis zur Einsatzreife zu bringen, war praktisch unmöglich, vor allem weil für bestimmte Antriebsaufgaben spezielle Raumtriebwerke vorgesehen waren.

Man entschloß sich also, die Mondstation Kepler als interplanetaren Raumflughafen mit eigenen Entwicklungs- und Erprobungseinrichtungen auszubauen. Die dort bestehende Abteilung für Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Raumtriebwerke bildete den Grundstein für diese Erweiterung.

Wenn man heute, nach fast fünfjährigem Bestehen des Zentrums auf der Station Kepler, den großen Lageplan und die Teilpläne seines Aufbaus studierte, so mußte man höchste Bewunderung den Männern zollen, die dieses Wunderwerk modernster technischer Anlagen geschaffen hatten.

Reizvoll war es besonders, den großen Plan mit dem zu vergleichen, was man von der oberen Plattform der Stationszentrale aus von den vielfältigen Einrichtungen der Gesamtanlage erkennen konnte. Die Stationszentrale war ein relativ dickwandiger Bau von quadratischem Grundriß, der sich bis zu einer Höhe von rund hundert Metern über die Mondoberfläche erhob. Die Zentrale lag am Fuße der äußeren Wallböschung des Kraters Kepler und enthielt in ihren zahlreichen Stockwerken neben den Einrichtungen zur optischen und funktechnischen Überwachung des Betriebs an der Mondoberfläche im Bereich der Station das Navigations- und Rechenzentrum sowie verschiedene

Räume voller automatischer Instrumente zur Beobachtung und Registrierung der kosmischen Strahlungen.

Wenn man nun auf der obersten Plattform dieses Gebäudes stand und seine Blicke über das umgebende Gelände schweifen ließ, sah man nur einen winzigen Bruchteil von den ausgedehnten und vielseitigen Einrichtungen der Station. Neben dem Turm der Stationszentrale selbst konnte man lediglich nur noch vereinzelt im Gelände verteilte und auf dem Mondboden aufliegende Kuppeldächer aus transparentem Material erkennen sowie Sockel mit verschiedenen Antennenanlagen und schließlich ein größeres Gebiet planierter fester Oberfläche mit großen kranartigen Gerüsten, die auf Schienenbahnen beweglich waren. Von dem zuletzt genannten Objekt führten mehrere Fahrstuhlschächte unter die Mondoberfläche.

Mit diesen großen Fahrstuhlschächten war auch die Lösung des Rätsels gegeben, warum man nur so wenig von der Gesamtanlage auf der Mondoberfläche sehen konnte. Fast 90% aller Einrichtungen lagen unter der Mondoberfläche!

Die bemannten Stationen sozusagen in den Mond hinein zu bauen war im Hinblick auf den Schutz der Besatzung gegen Strahlungen und Meteoriten die einfachste Lösung gewesen, und so hatte man alle Räume, die nicht unbedingt aus wissenschaftlichen oder technischen Gründen an der Oberfläche liegen mußten, möglichst unter Ausnutzung der natürlichen Struktur der Mondoberfläche in den Mond hinein verlegt. Das zwar relativ weiche, aber doch hinreichend feste Material der Mondoberfläche hatte die immerhin ziemlich ausgedehnten Bauvorhaben wesentlich erleichtert.

Die an der Oberfläche verbliebenen Kuppeln bildeten Teile der hermetisch gegen die Umwelt abgeschlossenen tieferliegenden Anlagen und dienten entweder der wissenschaftlichen Beobachtungsarbeit oder umschlossen die botanischen Versuchs- und Versorgungsanlagen. Zu den weitverzweigten Antennenanlagen führten teilweise Fahrstuhlschächte empor, oder man mußte geländegängige Fahrzeuge benutzen, um zu ihnen zu gelangen. Ihre Bedienung erfolgte im übrigen durch Fernsteuerung.

Das große geplante Gebiet mit seinen Krananlagen, Schienenwegen und Schächten war der Raumflughafen. Aber nur die Einrichtungen für gewisse letzte Vorbereitungs- und Montagearbeiten lagen über der Mondoberfläche; die Werkräume für Entwicklungsbau und Wartung lagen ebenso wie die riesigen Tanklager unter ihr. Die Raumraketen wurden jeweils dort unten weitgehend startfertig gemacht, dann über die großen Fahrstuhlschächte an die Oberfläche gehoben und schließlich mit Hilfe der Krananlagen auf die Startplattformen gesetzt.

Selbstverständlich wickelte sich der Verkehr mit der freien Mondoberfläche sowohl für Mannschaft wie Gerät nur unter Zwischenschaltung entsprechender Luftscheunen ab.

Für alle technischen Arbeiten erwies es sich immer wieder als allergrößter Vorteil, daß die Schwerkraft an der Mondoberfläche nur ein Sechstel der Schwerkraft an der Erdoberfläche ausmacht.

„Noch zwei Stunden bis zum Start!“

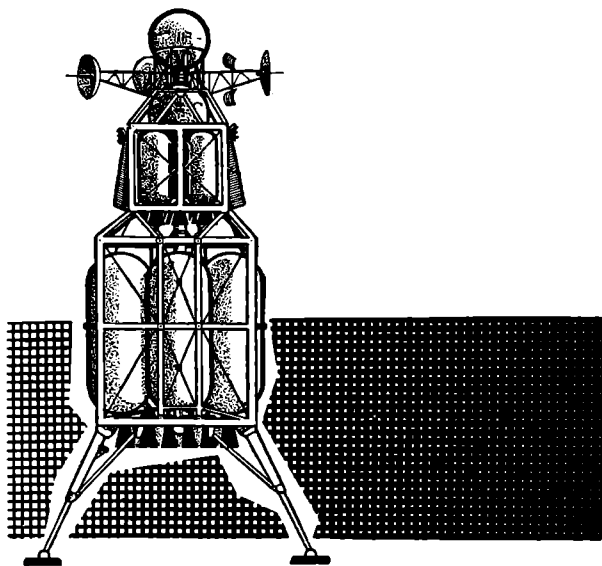
Wie ein Ungeheuer aus einer anderen Welt erhob sich das bizarre Gerüst der TRANSLUNA mit seinen verschiedenen Treibstoffbehälter- und Triebwerksbaugruppen über der neuen Startplattform 8.

Wie bei allen Raumflügen, die ausschließlich im freien kosmischen Raum verlaufen, hatte man auch hier auf jegliche aerodynamische Verkleidung des Gesamtsystems verzichten können.

An der Spitze der gewaltigen Trägerkonstruktion befand sich die zylinderförmige Raumkabine für die Besatzung. Der Zylinder ging an beiden Enden in Halbkugeln über, in denen sich die Einrichtungen für optische Beobachtungen während des Fluges befanden. Er hatte die respektable Höhe von etwa zwanzig Metern, einen Durchmesser von rund acht Metern und war in mehrere übereinanderliegende Abteilungen unterteilt, für die die Orientierung nach „oben“

und „unten“ auch während des Fluges bestehen bleiben würde, weil die Dauerbeschleunigung durch die Raumtriebwerke ständig einen zwar nicht allzu großen, aber doch wichtigen Gewichtsandruck aufrechterhalten sollte.

Von der Kommandozentrale des Mond-Raumflughafens aus verfolgte man die letzten Vorbereitungen mit angespann-



Für den Flug im kosmischen Raum konnte man auf aerodynamische Verkleidungen verzichten

tester Aufmerksamkeit. Deutlich war durch den mit strahlungsundurchlässigem Glas geschützten Sehschlitz des Flugleitungsraumes das Geschehen auf der Startplattform 8 zu verfolgen.

Aus dem Mannschaftsfahrstuhlschacht tauchte jetzt gerade die zehnköpfige Besatzung der TRANSLUNA auf. Die Männer waren durch das charakteristische Orange ihrer Schutzhelme deutlich von dem Bodenpersonal zu unterscheiden. Langsam gingen sie dann zu dem Aufzug im großen Mon-

tagekran hinüber, der sie anschließend auf die Einstiegsplattform ihres Raumschiffes emporhob. Einer nach dem anderen der kühnen Raumfahrer verschwand in der Luftschleuse des Kabinenteils.

Da inzwischen die letzten 30 Minuten vor dem Start angebrochen waren, begab sich jeder sofort auf seine Einsatzstation und widmete sich dort den letzten Überprüfungen seiner Geräte. In kurzer Folge erhielten der Raumschiffkommandant und mit ihm auch die Kommandanten des Raumflughafens und der Leitzentrale in Baikonur die Fertigmeldungen jedes einzelnen Besatzungsmitgliedes. An Bord war alles klar!

„Noch acht Minuten bis zum Start der TRANSLUNA!“

Die Programmsteuerungseinrichtungen der Zentrale schluckten die letzten Magnetbänder, und das bunte Spiel der kleinen Kontrollämpchen zeigte den Spezialisten an, daß die Datenverarbeitungsmaschine auch die allerletzten Korrekturen mit peinlichster Genauigkeit berücksichtigte. Auf den Großbildschirmen in Baikonur hob sich in plastischer Deutlichkeit die imposante Konstruktion der TRANSLUNA von dem dunklen Mondhimmel ab. Man sah, wie der über einhundert Meter hohe Montagekran langsam zurückfuhr und schließlich in sicherer Entfernung von der Startplattform stehen blieb.

Andere Bildschirme zeigten die Wissenschaftler und Techniker in den einzelnen am Leitsystem beteiligten Stationen der Erde, der Großsatelliten und des Mondes. Überall herrschte gespannteste Aufmerksamkeit.

Wie die von den in die TRANSLUNA eingebauten Fernsehkameras übertragenen Bilder erkennen ließen, waren auch dort programmgemäß alle Vorbereitungen getroffen. Die Männer lagen angeschnallt in ihren Spezialsesseln und gaben über Sprechfunk ihre letzten Klarmeldungen an ihren Kommandanten und an die Zentrale auf der Erde. Keinerlei

Nervosität war spürbar, denn alle zählten zu den erprobtesten Kräften des Raumfahrtzentrums.

Das unaufhaltsame Vorrücken der Uhrzeiger meldete in allen Stationen den Anbruch der letzten Minute.

In das Tacken der Sekundenschläge hinein kamen in der Zentrale noch einmal kurze Zurufe einzelner Spezialisten an den Kommandanten, die ihm den programmgemäßen Verlauf der Anlaßvorbereitungen in den Triebwerksanlagen von TRANSLUNA meldeten.

Dann zählte eine Stimme laut die letzten zwanzig Sekunden aus.

Gebannt hingen die Blicke der Männer jetzt an dem Bild der TRANSLUNA.

Etwa fünf Sekunden vor der eigentlichen Startzeit erschienen die ersten Feuergasstrahlen vor den Düsenmündungen der Starttriebwerke. Die Kontrollgeräte zeigten den programmgemäßen Anstieg des Schubes, und auf die Sekunde genau löste sich TRANSLUNA von der Startplattform.

Erst langsam, dann allmählich immer schneller werdend stieg der gewaltige Flugkörper empor, gesteuert und gelenkt von feinfühligem Geräten und präzisen Anlagen auf seinem Weg zu einem fremden Planeten,

Zum erstenmal sollten Menschen in die Welt eines fernen Gestirnes eindringen.

Das große Abenteuer hatte begonnen!

2. EINE BRÜCKE AUS LICHT

Sicher erwarten Sie, liebe Leser, nun in diesem Kapitel die Fortsetzung der Geschichte der *TRANSLUNA*-Expedition mit sensationellen Erlebnissen während des Raumfluges und spannenden Abenteuern auf dem Zielplaneten Mars. Doch mit dieser Erwartung bringen Sie mich in arge Verlegenheit. Mit der Geschichte am Anfang des nun folgenden kleinen Reiseführers zu den Planeten hat es nämlich eine ganz andere Bewandnis als mit einer Einleitung zu einer ausführlichen Raumfahrtterzählung. Mit ihr sollte lediglich in knappen Umrissen ein Bild von zukünftigen Wegen der wissenschaftlichen Erschließung des kosmischen Raumes entworfen werden. Einer Zukunft, die heute gar nicht einmal so fern zu liegen scheint und in der der Mensch selbst als Forscher den Boden fremder Himmelskörper betritt. Da wir uns nun im weiteren mit den Himmelskörpern des Planetensystems beschäftigen wollen, ist der als Auftakt gewählte Blick nach vorn sicher gerechtfertigt.

Noch wissen wir nicht exakt, was die Teilnehmer einer solchen Expedition im kosmischen Raum und beispielsweise auf dem Mars erleben würden. Es ist also wirklich so, als wäre die *TRANSLUNA*-Expedition eben in diesem Augenblick gestartet, und wir müßten nun bescheiden abwarten, welche Meldungen uns vom Verlauf der Expedition erreichen und welche Informationen die kühnen Männer des Raumschiffs nach ihrer Rückkehr auf die Erde über unseren Nachbarplaneten zu bieten hätten. Solange nun aber diese Meldungen noch nicht vorliegen und wir uns trotzdem über Planeten, Planetoiden, Planetenmonde, Kometen und Meteorite unterhalten wollen, bleibt uns als einziger Weg der Information nur die Brücke, deren sich die Wissenschaft von den Sternen, die Astronomie, schon von Anbeginn an als der Verbindung zu fernen und fernsten Himmelskörpern bedient: das Licht.

Eine schnurgerade Brücke aus Licht, wie sie uns ja auch sonst einen der vielfältigen Kontakte mit der objektiven

Wirklichkeit unserer Umwelt verschafft. Hinzu kommen dann noch die dem sichtbaren Licht verwandten Strahlungsarten, die wir mit dem Auge nicht mehr wahrnehmen können, denen wir aber auch im Bereich des Alltagsgeschehens oft genug begegnen. Denken wir nur an die Röntgenstrahlung sowie an Ultraviolett- und Infrarotstrahlungen in der medizinischen Praxis, nicht zuletzt auch an das weite Feld der Radiostrahlungen. Mit diesen Bausteinen der Brücke zu den Gestirnen müssen wir uns nun näher beschäftigen, denn ihnen allein verdanken wir ja mehr oder weniger alles bisherige Wissen über die Welt der kosmischen Körper.

Unser Wunsch nach einem speziellen Reiseführer zu den Planeten schafft dabei dem Licht und seinen Verwandten gegenüber eine Situation, die sich in übertragenem Sinne etwa folgendermaßen charakterisieren läßt. In unser Reisebüro, das an der Schaffung von Verkehrsverbindungen nach einem noch völlig unberührten Land interessiert ist, kommen Vertreter dieses fernen Landes. Sie sprechen selbstverständlich eine eigene und dabei recht schwierige Sprache, und nur aus den Beschreibungen dieser Botschafter lassen sich Hinweise über die Verhältnisse in ihrem Heimatland herleiten. Natürlich muß man nun versuchen, Dolmetscher zu gewinnen, die das Reisebüro bei der Auswertung der Informationen unterstützen. In unserem Fall wird man die Dolmetscherabteilung mit Wissenschaftlern aus den Bereichen der Physik, der Astronomie und der Astrophysik besetzen müssen, denn sie allein verstehen die komplizierte Sprache des Lichtes zu deuten.

Fragen wir zunächst die Physiker nach den Grundeigenschaften des Lichts und seiner Verwandten. Die freundlichen Berater aus dieser Abteilung versichern uns, daß sie es möglichst einfach und kurz machen wollen, obwohl es sich ja eigentlich um recht knifflige Dinge handelt. Also was ist das Gemeinsame in der Familie der Lichtstrahlen? In jedem Fall handelt es sich um die Ausstrahlung von Energie aus dem Inneren der Atome und der Molekülverbände, die bekanntlich die stoffliche Substanz unserer Welt bilden.

Wenn wir also von irgendwoher Licht oder eine verwandte Strahlungsart empfangen, so ist das gleichbedeutend mit der Meldung: Hier ist zumindest ein Atom oder Molekül vorhanden! Zunächst bezieht sich diese Meldung natürlich nur auf den Fall, daß das Materieteilchen selbst strahlt; bekanntlich kann aber die stoffliche Substanz unserer Umwelt auch fremde Strahlungen reflektieren, so daß wir mehr Körper „sehen“, als uns eigentlich sonst als „Eigenstrahler“ zugänglich wären. Im weiteren wollen wir uns zunächst nur mit der Eigenstrahlung der Körper beschäftigen.

Bei der Entstehung von Licht und ähnlicher Strahlung spielen vor allem temperaturerzeugende Prozesse, von denen die Atome und Moleküle zur Aussendung der Strahlung „angeregt“ werden, eine entscheidende Rolle. Der Vollständigkeit halber sei jedoch erwähnt, daß die Atome auch auf „kaltem“ Wege, nämlich durch elektrische Kräfte, und durch Zusammenstöße mit anderen Materieteilchen zum Strahlen angeregt werden können.

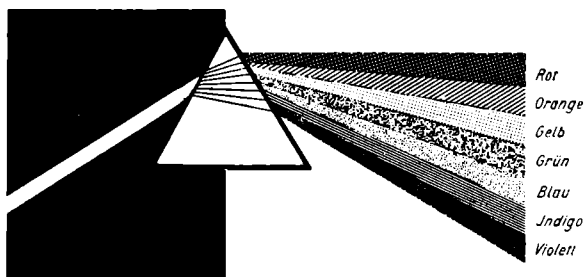
Die ausgesandte Strahlung selbst verhält sich einerseits wie ein Vorgang mit allseitiger wellenförmiger Ausbreitung, bei dem die Strahlungsquelle im Zentrum steht, also etwa ähnlich der Wellenausbreitung bei einem Steinwurf ins Wasser. Daneben verhält sich das Licht bei bestimmten Experimenten aber auch wie ein fortlaufender Strom einzelner Teilchen, die man dann als „Quanten“ bezeichnet. Diese Doppelnatur des Lichts ist eine der reizvollsten Erscheinungen im Kreis der Probleme der modernen Physik. Wir wollen ihr hier aber nicht weiter nachspüren, sondern uns einfach mit den wichtigsten allgemeinen Folgerungen abfinden, die sich in der Praxis aus dem Wellencharakter des Lichts und seiner Verwandten ergeben.

In dieser Betrachtungsweise faßt man alle Vertreter der großen Familie unter der gemeinsamen Bezeichnung „elektromagnetische Wellenstrahlungen“ zusammen, weil bei ihrer Erzeugung elektrische und magnetische Kräfte Pate stehen. Der Einfachheit halber wollen wir weiterhin nur einfach immer von „Wellenstrahlung“ sprechen. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist für alle Strahlungsarten

gleich und beträgt rund 300 000 km/s. Es ist die größte Geschwindigkeit, die in der Natur vorkommt und die man in den Formeln der Physik allgemein mit dem Buchstaben c kennzeichnet. Wie bei jeder anderen sich wellenförmig ausbreitenden Erscheinung kann man nun natürlich auch beim Licht nach der „Wellenlänge“ fragen.

Ehe uns die Physiker aber diese Frage beantworten, machen sie uns noch auf eine sehr wichtige Erscheinung aufmerksam. Wenn unser Auge nämlich von einer Lichtquelle, sagen wir von der Sonne, sozusagen „weißes“ Licht aufnimmt, dann ist dieses „weiße“ Licht eigentlich gar nicht etwas durch und durch Einheitliches. In Wirklichkeit ist es ein Gemisch, das sich mit einer relativ einfachen Vorrichtung zur genauen Untersuchung auseinandersortieren läßt.

Man nehme einen dreikantig geschliffenen Glasstab, ein sogenanntes „Prisma“, und bringe ihn in ein durch einen schmalen Spalt begrenztes Bündel Sonnenlicht. Dreht man nun das Prisma in dem Lichtbündel, so kann man, abgelenkt



„Weißes“ Sonnenlicht wird beim Durchgang durch ein Prisma in ein buntfarbiges „Spektrum“ zerlegt

vom normalen geraden Weg des Lichtbündels, im Zimmer herrlich bunte Farbbänder herumgeistern sehen. Auf dem Experimentiertisch des Physikers sieht die Anlage zu diesem Versuch natürlich viel ordentlicher aus. Er nennt die vollständige Anlage mit regulierbarer Spaltbreite und verschiedenen Linsensystemen zur Verbesserung der optischen Abbildungen ein „Spektroskop“, abgeleitet von

dem bei der Zerlegung des Lichts im Prisma entstehenden buntfarbigen „Spektrum“.

Im Spektrum des „weißen“ Sonnenlichtes lassen sich nun insgesamt sieben grobe Farbstufen erkennen: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett. Es sind das die sieben sogenannten „Regenbogenfarben“. Der Zusammenhang ist leicht einzusehen, wenn man weiß, daß der Regenbogen ebenfalls durch Zerlegung des weißen Sonnenlichtes beim Auftreffen auf fallende Regentropfen entsteht. Untersucht man nun das farbige Licht des Spektrums näher, so stellt man fest, daß man es hier wirklich mit der reinen Grundform der Lichtstrahlung zu tun hat. Es läßt sich nicht weiter zerlegen und liefert für jeden einzelnen Punkt innerhalb der Farbskala einen festen und eindeutigen Wert für die Wellenlänge der Lichtstrahlung, die in unserem Auge gerade diesen Farbeindruck hervorruft.

Damit läßt sich nun ganz allgemein die Frage nach der Wellenlänge des Lichts beantworten. Das weiße Sonnenlicht umfaßt eigentlich einen ganzen Wellenlängenbereich, für den die Messungen im vom Auge wahrnehmbaren Spektrum als untere Grenze etwa 400 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-6} \text{ mm}$) für das äußerste Violett und als obere Grenze im Rot etwa 800 nm ergeben. An diesen Bereich des sichtbaren Lichtes schließt sich nun nach beiden Seiten die übrige Familie der elektromagnetischen Wellenstrahlungen an. Mit noch kürzeren Wellenlängen als das Violett folgt zunächst der Bereich der Ultraviolettstrahlung, dann das Gebiet der Röntgenstrahlung, das seinerseits schließlich in den Bereich der noch kurzwelligeren Gammastrahlung übergeht. Nach der anderen Seite hin kommt nach dem äußersten noch sichtbaren Rot das Gebiet der Infrarotstrahlung, das sich dann zu noch längeren Wellen hin mit den kurzwelligsten Strahlungen aus dem Bereich der funkttechnisch zu erzeugenden elektromagnetischen Schwingungen überlappt. Die längsten Radiowellen bilden also nach dieser Richtung den Grenzbereich des „elektromagnetischen Schwingungsspektrums“, wie alle Strahlungsarten zusammenfassend auch genannt werden können.

Die Eigenschaften der einzelnen Strahlungsarten brauchen uns hier nicht weiter zu interessieren; aber das Verstehen der eben besprochenen allgemeinen Einzelheiten ist von größter Bedeutung für das Verständnis vieler astrophysikalischer Methoden zur Erforschung der Himmelskörper. Im Vordergrund steht dabei ein Verfahren, das auch sonst in vielen Zweigen von Wissenschaft und Technik eine hervorragende Rolle spielt, nämlich die „Spektralanalyse“. Wie der Name schon sagt, beschäftigt sich diese Methode mit Untersuchungen, die sich auf dem Spektrum der Wellenstrahlung eines Körpers aufbauen. Betrachtet man nämlich im einfachsten Fall das sichtbare Spektrum eines selbststrahlenden Körpers (z. B. die Sonne), und zwar mit den verbesserten Methoden eines wirklichen Spektroskops, so kann man feststellen, daß es durchaus nicht einfach nur eine durchlaufende (kontinuierliche) Folge der erwähnten Farben darstellt.

Im Spektrum der Sonne findet man beispielsweise, in dieses „Kontinuum“ sozusagen „eingebettet“, zahllose mehr oder weniger schmale dunkle Linien, die man nach dem genialen deutschen Optiker Joseph FRAUNHOFER (1787—1826) auch als „Fraunhofersche Linien“ bezeichnet. In einem anderen Fall — zum Beispiel wenn man das Element Natrium als leuchtenden Dampf mit dem Spektroskop beobachtet — ist überhaupt kein Kontinuum vorhanden, und an Stelle des bunten Farbbandes sieht man lediglich zwei dicht beieinander liegende schmale gelbe Linien. Ähnlich sieht es aus, wenn wir andere Elemente verdampfen und zum Leuchten anregen, nur daß dann jeweils ganz bestimmte helle Einzellinien aus anderen Bereichen des bunten Farbbandes auftreten. Da dies sehr wichtig ist, wollen uns die liebenswürdigen Dolmetscher unseres Reisebüros auch darüber noch in kurzen Zügen aufklären.

Sie erinnern uns zunächst noch einmal daran, daß das Licht aus dem Inneren der Atome und Moleküle kommt. Eingehendere Untersuchungen haben nun gezeigt, daß die Aussendung der Lichtstrahlung auf bestimmte Vorgänge in der Elektronenhülle, von der der Atomkern umgeben ist,

zurückgeführt werden muß. Ein Elektron kann nämlich in verschiedenen, aber für ein bestimmtes Element eindeutig festliegenden Entfernungen um den Atomkern laufen. Man spricht dabei von einzelnen Energieniveaus. Verläßt nun ein Elektron sein ursprüngliches Energieniveau und wechselt (sprunghaft) auf ein niederes Niveau über, so ist dieser Vorgang mit der Aussendung eines Lichtblitzes von ganz bestimmter Wellenlänge verbunden. Es entsteht im Spektroskop das Bild einer einzelnen hellen Linie auf dunklem Grunde, die man daher auch als „Emissionslinie“ (Emission = Aussendung von Strahlung) bezeichnet.

Da sich aber andererseits alle vorkommenden Elemente in ihren chemischen und sonstigen Eigenschaften ausschließlich durch die Zahl der Elektronen in ihren Atomhüllen und durch deren spezielle Struktur unterscheiden, müssen auch die möglichen Elektronensprünge zu jeweils charakteristischen Kombinationen von Emissionslinien für jedes einzelne Element führen. Mit anderen Worten: aus den in einem solchen Emissionsspektrum auftretenden Linien kann man auf die unbekannte Zusammensetzung eines selbstleuchtenden Körpers Schlüsse ziehen. Wenn also im Spektrum eines dampfförmigen leuchtenden Körpers die oben erwähnte gelbe Doppellinie auftritt, dann zeigt dies die Anwesenheit von Natrium an.

Darüber hinaus hat es aber seinen guten Grund, daß eben von einem glühend gasförmigen Körper die Rede war. Betrachtet man nämlich das Spektrum eines glühend festen Körpers, so sieht man wieder das bekannte vollständige Farbband ohne jegliche Einzelheiten. Diese Feststellung gilt für jeden leuchtenden Festkörper (z. B. Faden einer Glühbirne). Seine chemische Zusammensetzung läßt sich also auf diesem Wege nicht ermitteln.

Was ist nun aber, wenn wir bei der Sonne ein Spektrum beobachten, das aus dem Kontinuum des vollständigen Farbbandes besteht, in dem aber auch die dunklen Fraunhoferschen Linien zu sehen sind? Die Lösung des Rätsels ist relativ einfach. Immer dann, wenn das Licht eines heißen, aber trotzdem glühend festen Körpers durch eine kühlere

Gasschicht hindurchtritt, erscheinen in dem Kontinuum des Festkörpers genau an den Stellen dunkle Linien, an denen im Emissionsspektrum der Gasschicht allein helle Linien zu finden waren. Das liegt daran, daß die Atome der Gasschicht aus dem Wellenlängengemisch des Festkörpers die Wellenlängen verschlucken (absorbieren), die sie selbst auszusenden in der Lage sind. Man spricht daher in diesem Fall von einem „Absorptionsspektrum“ und von „Absorptionslinien“. Auch auf dem Wege einer solchen „Durchleuchtung“ kann man also die chemische Zusammensetzung eines gasförmigen Körpers feststellen. Das geht sogar so weit, daß das Gas gar nicht einmal so heiß zu sein braucht, um selbst zu leuchten.

Auch kalte Gase können beim Durchtritt von Licht ein Absorptionsspektrum ergeben. Diese wichtige Feststellung wird uns später noch sehr nützlich sein.

Unsere Berater schließen ihren Kurzlehrgang über die Sprache des Lichtes mit einem weiteren sehr wesentlichen Hinweis. Aus dem Spektrum einer Lichtquelle läßt sich nämlich, natürlich nur unter den genannten Voraussetzungen, nicht nur ihre chemische Zusammensetzung, sondern auch ihre Temperatur ermitteln. Eine der Möglichkeiten dazu beruht darauf, daß die Intensität der Strahlung in einem eventuell vorhandenen Kontinuum nicht gleichmäßig über den Gesamtbereich verteilt ist. Es gibt vielmehr ein deutliches Intensitätsmaximum innerhalb des Farbbandes. Aus der Lage dieses Intensitätsmaximums läßt sich die Temperatur der Lichtquelle ermitteln. Dabei ist die Temperatur um so höher, je näher das Maximum dem kurzwelligen Teil des Spektrums, dem blauen Ende zu liegt.

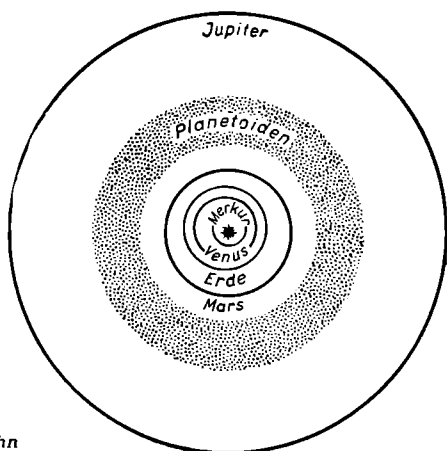
Mit diesen Informationen entlassen uns die Physiker vorläufig. Ergänzungen dazu werden wir später noch von Fall zu Fall erhalten. Fassen wir noch einmal kurz zusammen: Aus dem Spektrum einer Lichtquelle kann man sowohl über ihre chemische Zusammensetzung als auch über ihre Struktur und Temperatur wichtige Angaben erhalten. — Mit freundlichen Empfehlungen weist man uns nun an die Astronomen und Astrophysiker weiter. Sie können uns

darüber informieren, was ganz speziell das Licht der Sterne auszusagen vermag. Sie werden also die Brücke weiter ausbauen, zu der uns die Physiker die ersten Schritte gebnet haben und die bis zum Beginn der Epoche des wissenschaftlichen Weltraumfluges die einzige Verbindung zu fernen Himmelskörpern darstellt.

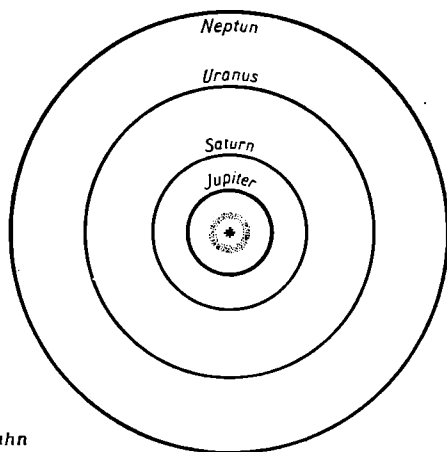
Wir begeben uns daher jetzt in die astronomisch-astrophysikalische Abteilung unseres Reisebüros, die sich als modernes Astroobservatorium, deutsch einfach Sternwarte genannt, präsentiert. Da sich unser Interesse weiterhin ausschließlich auf einen Reiseführer zu den Planeten konzentriert, brauchen wir uns auch nur mit den Spezialisten für diesen Teil des Weltraums zu unterhalten. Die Astronomen geben uns die erste allgemeine Übersicht. Für ihre Erläuterungen ist zunächst ein Verständnis der Sprachfeinheiten des Lichts nicht notwendig, da sie sich nur auf Fragen beziehen, die ganz allgemein die Himmelskörper als kosmische, im unzerlegten Licht beobachtete Objekte betreffen. Mit anderen Worten: die ersten Angaben beziehen sich auf die räumliche Stellung der Planeten unter der Gesamtheit der Sterne (Entfernungen, Bewegungen) sowie auf ihr äußeres Erscheinungsbild (Größe, Masse usw.). Auf die zuletzt genannten Einzelheiten einschließlich aller zusätzlichen Informationen über einen bestimmten Planeten wollen wir in den späteren Zusammenfassungen eingehen.

In knappen Strichen entsteht vor uns das Bild von der Familie der Himmelskörper, die wir als Planeten bezeichnen. Sie umfaßt nach unseren heutigen Kenntnissen insgesamt neun Objekte, zu denen bekanntlich (jedenfalls sollte es von der Schule her bekannt sein, wie unsere Berater augenzwinkernd feststellen) auch unsere Erde zählt. Wenn man von einigen recht interessanten Unterschieden absieht, sind auch die übrigen Planeten weitgehend erdähnlich, das heißt, es sind feste und nicht selbstleuchtende sowie teilweise von Gashüllen (Atmosphären) umgebene Körper. Auch hinsichtlich ihrer Größe unterscheiden sie sich nicht allzusehr von der Erde, wenn es auch ausgesprochene „Riesen“ unter ihnen gibt.

Diese neun Himmelskörper können nun aber keinesfalls



*Planetensystem
bis zur Jupiterbahn*



*Planetensystem
von der Jupiter-
bis zur Neptunbahn*

allein für sich betrachtet werden, denn sie sind eigentlich nur Teile eines großen Ganzen. Diese übergeordnete Einheit entsteht, wenn man noch die Beziehungen der Planeten zu einem weiteren Himmelskörper, der Sonne, hinzunimmt. Dann wird aus der Planetenfamilie das Gerüst des Sonnen- oder Planeten-

systems. Sein Aufbau ist denkbar einfach. Um die als Zentralkörper wirkende Sonne bewegen sich in verschiedenen Entfernungen und auf elliptischen, nahezu kreisförmigen Umlaufbahnen die Planeten (in der Reihenfolge von innen nach außen): Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun und Pluto. Die Namengebung für die Planeten nach Göttergestalten stammt noch aus ferner Vergangenheit, in der die Himmelsbeobachtung starken mythologischen Einflüssen unterlag. Dies trifft allerdings nur für die Planeten bis zum Saturn zu, denn Uranus, Neptun und Pluto wurden erst verhältnismäßig spät mit Hilfe optischer Instrumente entdeckt, und nur aus Gründen der Einheitlichkeit, vielleicht auch aus einer gewissen Pietät blieb man dann beim ursprünglichen Prinzip der Namengebung.

An dieser Stelle drängt sich uns nun gleich eine Frage an die Astronomen auf: Wodurch läßt sich denn überhaupt ein Planet aus der Fülle der übrigen Gestirne herausfinden, da sie doch alle mit Ausnahme von Sonne und Mond nur als leuchtende Punkte an unserem Himmel erscheinen? Das Unterscheidungsmerkmal ist ganz einfach — ihre Bewegung. Gemeint ist natürlich nicht die sogenannte „scheinbare tägliche Bewegung“ zwischen Auf- und Untergang eines Gestirns, an der alle Himmelskörper teilnehmen und die ja in Wirklichkeit nichts anderes ist als die Widerspiegelung der Erdrotation, sondern die jeweilige tatsächliche „Eigenbewegung“ des betreffenden Planeten.

Wenn man es in den Anfängen der Astronomie zunächst auch noch nicht zu deuten wußte, so stellte man doch sehr bald fest, daß die überwiegende Mehrzahl der nächtlichen Sternpunkte ihre Stellung zueinander nicht verändert. Man nannte diese Objekte daher „Fixsterne“ (von lat. fix = feststehend) und faßte sie zu den sogenannten „Sternbildern“ (z. B. Orion, Großer und Kleiner Bär) zusammen. Heute wissen wir, daß es sich dabei um Himmelskörper handelt, die weitgehend sonnenähnlich sind und die sich so ungeheuer weit von uns entfernt im Weltraum befinden, daß ihre Bewegungen gegeneinander nicht merklich in Erscheinung treten können. So erfahren wir von den Astro-

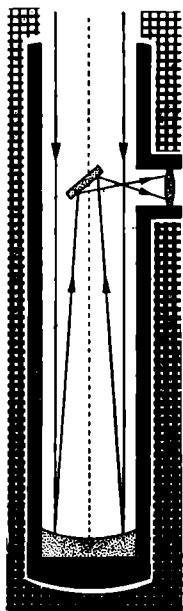
nomen, daß beispielsweise die allernächsten Fixsternsonnen noch immer rund 30000mal weiter von uns entfernt sind als der Planet Saturn. Die Bewegung der so viel näheren Planeten um die Sonne spielt sich daher sozusagen vor einem Hintergrund unbeweglicher Fixsterne ab, vor dem sie gewissermaßen „vorbeiwandern“, wodurch ihr Weg sehr gut zu beobachten ist.

Der Weg, auf dem die Wissenschaft zu diesen elementaren Kenntnissen gelangte, war weit. Er führte durch viele Jahrhunderte wissenschaftlicher Auseinandersetzungen, und auf den Meilensteinen, die zu den heutigen Vorstellungen vom Aufbau des Sonnensystems führten, sind Namen wie Nikolaus KOPERNIKUS, Giordano BRUNO, Johannes KEPLER, Galileo GALILEI und Isaac NEWTON verzeichnet. Ihre Leistungen im einzelnen zu würdigen, würde weit über den Zweck unseres kleinen Reiseführers hinausgehen. Wir wollen uns daher mit der allgemeinen schematischen Übersicht über das Planetensystem und mit den dazu gehörigen tabellarischen Daten begnügen, die man uns im Reisebüro zur Verfügung stellt und die ja eigentlich so etwas wie eine krönende Zusammenfassung der Arbeiten der oben genannten Gelehrten darstellen.

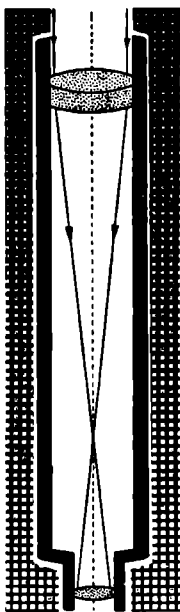
Auf eine Einzelheit macht man uns aber doch noch besonders aufmerksam. In den Tabellen über die Entfernungen der Planeten von der Sonne taucht nämlich der Begriff „Astronomische Einheit (AE)“ auf. Dahinter verbirgt sich nun nichts anderes als ein besonderer astronomischer Grundmaßstab, der innerhalb des Planetensystems bessere Übersichts- und Rechenmöglichkeiten schafft, als es die recht unhandlichen Kilometerangaben gestatten. Die allgemeine Definition setzt dabei die Astronomische Einheit mit der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne gleich. Ihr zahlenmäßiger Wert beträgt 149,6 Millionen Kilometer. Wie wir noch hören werden, spielt die Genauigkeit, mit der diese Größe bekannt ist, bei allen Berechnungen von Bewegungen im Planetensystem eine entscheidende Rolle.

Damit wir die heutige Auffassung von der Natur der Planeten besser beurteilen können, wollen uns die Astronomen

und Astrophysiker noch schnell mit den wichtigsten ihrer Beobachtungshilfsmittel bekannt machen. Es ist leicht einzusehen, daß das bloße Auge allein bei einem aus der Fülle der übrigen Sterne herausgefundenen Planeten kaum mehr als grobe Bestimmungen seines Ortes und seiner Bewegung gestattet. Erst die lichtsammelnde und vergrößernde Kraft der Fernrohre ermöglicht sowohl exakte Bahnbestimmungen



Links:
Strahlengang im Reflektor (Spiegelteleskop)
Rechts:
Strahlengang im Refraktor (Linsenfernrohr)



wie auch die Auflösung des kleinen Sternpunktes in ein mehr oder weniger detailreiches Bild eines Körpers mit meßbarer Ausdehnung. Ohne uns allzuweit in Einzelheiten verlieren zu wollen, lassen wir uns noch kurz darüber aufklären, daß es zwei verschiedene Typen von Fernrohren für astronomische Beobachtungen gibt. Der eine Typ heißt „Refraktor“ oder „Linsenfernrohr“, weil in ihm eine Optik aus Glaslinsen eingebaut ist. Der andere Typ

wird als „Reflektor“ oder „Spiegelteleskop“ bezeichnet, weil sein Hauptabbildungssystem ein hohlgeschliffener Reflexionsspiegel ist. Auf unsere Frage nach der höchstmöglichen Vergrößerung, mit der man einen Planeten im Fernrohr betrachten kann, geben uns die Wissenschaftler nun eine sehr

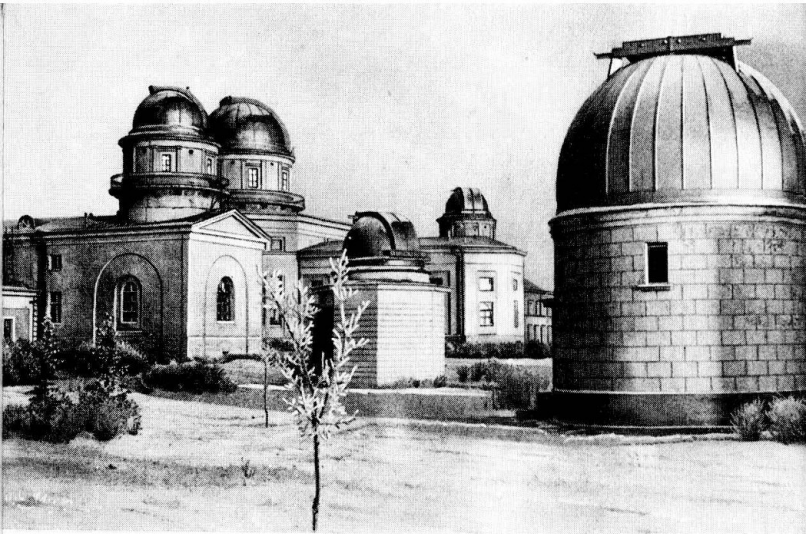
wichtige Antwort, an die sie uns auch für später immer wieder zu denken bitten: Für die vergrößernde und damit auch detailauflösende Wirkung eines Fernrohres, selbst des größten, gibt es eine obere Grenze! Ursachen dafür sind gewisse Erscheinungen, die mit der Natur des Lichtes in Zusammenhang stehen und als „Beugung“ und „Interferenz“ bezeichnet werden. Praktisch wirkt sich das so aus, daß eigentlich die sogenannte „freie Öffnung“ des Fernrohrs, also der Durchmesser des lichtsammelnden Objektivs, das Auflösungsvermögen bestimmt. Mit anderen Worten: große Durchmesser der Objektivlinsen oder Sammelspiegel sind eine Grundvoraussetzung für detailreiche Planetenbilder, jedenfalls theoretisch, meinen sarkastisch unsere freundlichen Berater. Denn selbst wenn ihnen ein sehr großes und entsprechend teures Fernrohr für Planetenbeobachtungen zur Verfügung stünde, besteht kaum jemals die Aussicht, dessen theoretische optische Leistungsgrenze erreichen zu können, zumindest wenn man damit auf der Erdoberfläche bleibt, wie man der Exaktheit halber gleich hinzufügen sollte. Schuld daran ist ein für die Menschen allerdings sehr lebenswichtiger Umstand, nämlich die Existenz der Erdatmosphäre. In einem anschaulichen Beispiel ist die Situation des astronomischen Beobachters an der Erdoberfläche etwa mit dem Bemühen zu vergleichen, vom Grunde eines nicht allzu klaren Teiches Details in den Wipfeln der Bäume am Ufer zu erkennen.

Wie uns die Wissenschaftler also noch einmal nachdrücklichst versichern, ist ihr ärgster Feind bei allen Untersuchungen außerirdischer Objekte die Lufthülle der Erde. Sie verhindert, daß das Licht der Sterne ungeschwächt und unverfälscht das Auge des Astronomen oder die stellvertretenden Registrierapparate erreicht. Die Verzerrung des ankommenden Lichts kann manchmal so weit gehen, daß der Planetenbeobachter gar nicht erst mit seiner Arbeit beginnt. Das ist vor allem in Nächten der Fall, in denen die Sterne „so schön funkeln“. Dieses Funkeln — der Astronom spricht von „Szintillieren“ — ist ein Zeichen dafür, daß die Luft nicht wie ein gleichförmig-durchsichtiger Körper zwi-

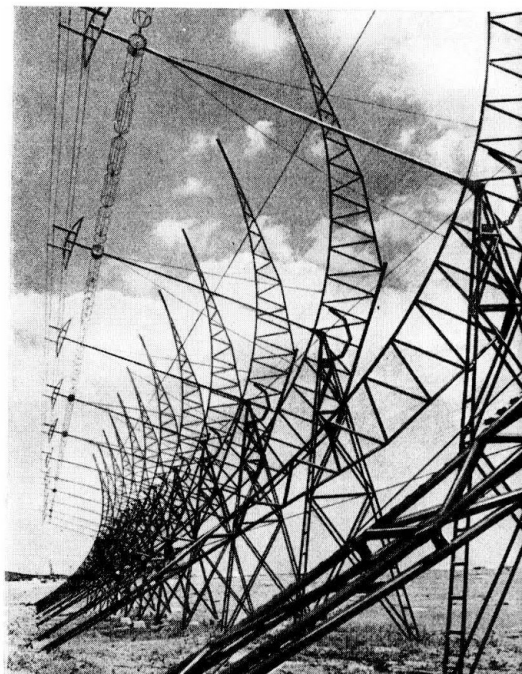
schen uns und dem Gestirn liegt, sondern daß sich Gebiete kühlerer und wärmerer Luft vermischen und dabei eine „Luftunruhe“ erzeugen, wie sie ähnlich auch an einem heißen Sommertag über einer Asphaltstraße zu beobachten ist.

Das ankommende Sternenlicht muß also durch die meist mehr oder weniger unruhige Erdatmosphäre wie durch eine endlose Folge von reflektierenden Spiegeln und lichtbrechenden Prismen hindurch. Das Ergebnis ist dann ein hin- und herzuckender Lichtstrahl, der sogar Spektralfarben zeigt und darum für eine exakte optische Abbildung völlig ungeeignet ist. Wie die Erfahrung gezeigt hat, gibt es auf der Erde durchaus Gebiete, die sich durch eine relativ große nächtliche Luftruhe auszeichnen (z. B. Randgebirge süd-afrikanischer Steppen und Wüstengebiete). Die einfachste Lösung ist es jedoch, mit den Fernrohren so weit als möglich über die dichteren und trüberen Schichten der Erdatmosphäre hinauszugehen. Darum findet man zahlreiche Sternwarten in aller Welt auf hohen Bergen. Das vielleicht berühmteste Bergobservatorium, an dem auch immer wieder hervorragende Untersuchungen über die Natur der Planeten durchgeführt werden, liegt auf dem Pic du Midi in den Pyrenäen.

Das Ausweichen auf hohe Berge hat für die astronomischen Beobachtungen auch noch andere Verbesserungen der optischen Leistung des Fernrohrs zur Folge. Erstens kommt man damit ganz allgemein aus dem stark lichtschwächenden Dunst und den Staubtrübungen der tiefer gelegenen Gebiete heraus, zweitens verringert sich auch die lichtabsorbierende Wirkung, die von den am Aufbau der Atmosphäre beteiligten Atomen und Molekülen ausgeht. Wir haben ja schon gehört, daß die Atome eines Gases ganz bestimmte Wellenlängen aus einer hindurchtretenden Lichtstrahlung verschlucken können. Somit entstellt die Erdatmosphäre auch in dieser Hinsicht die Botschaft des Sternenlichtes. Diese Tatsache macht sich besonders dann unangenehm bemerkbar, wenn man spektralanalytische Untersuchungen der Planeten durchführen will. Die Filterwirkung der Erd-



Die Sternwarte in Pulkowo bei Leningrad zählt zu den berühmtesten der Welt. Auch zahlreiche Planetenforscher waren an ihr tätig

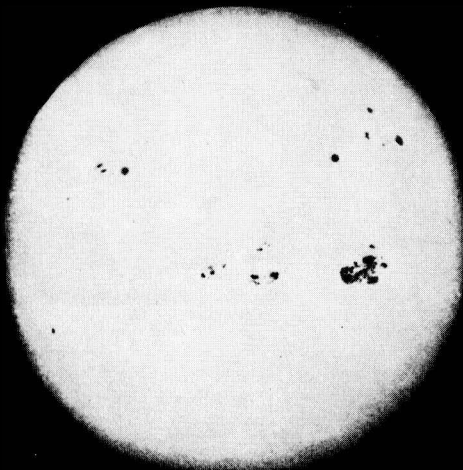


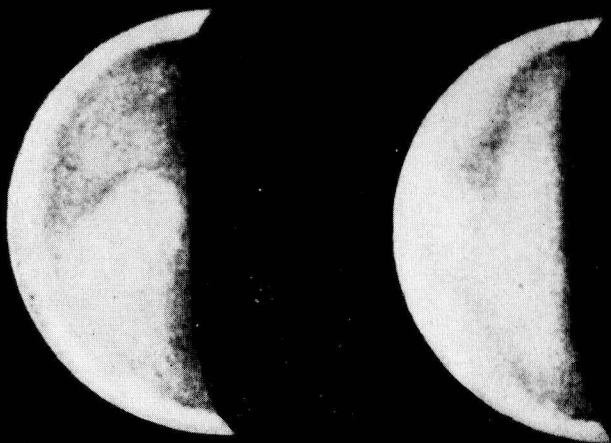
*Die modernen Radio-
teleskope erinnern in
nichts mehr an das
„klassische“ Fernrohr
des Astronomen*



*Nikolaus Kopernikus
(1473 bis 1543) schuf
die Grundlage für un-
sere heutigen Vor-
stellungen vom Auf-
bau des Sonnen-
systems*

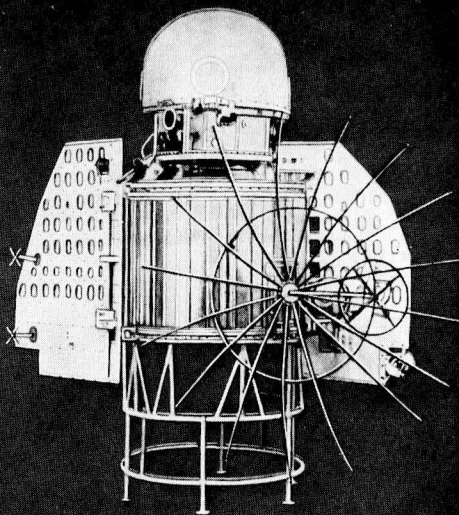
*Zu Zeiten erhöhter Sonnentätigkeit erscheinen zahlreiche und
große Sonnenflecke auf der Sonnenoberfläche*

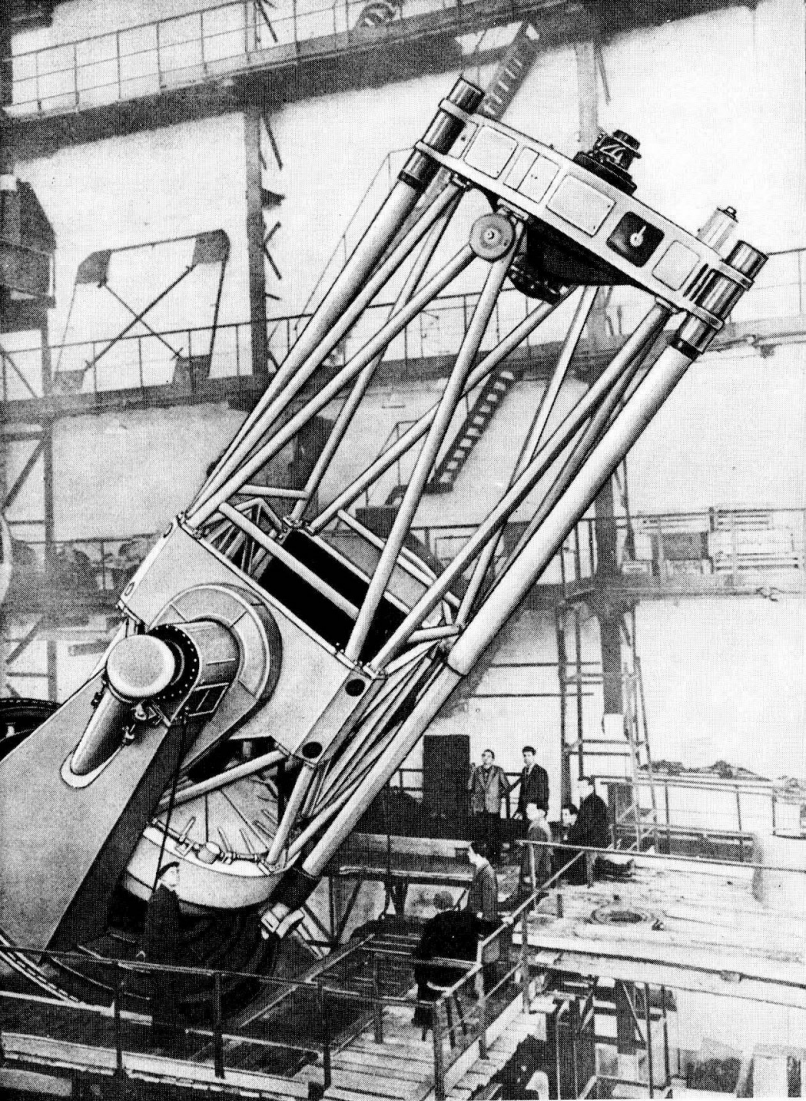




Venus im Fernrohr. Die von einigen Beobachtern wahrgenommenen Schattierungen in der Wolkenhülle boten bisher noch keine Möglichkeit für eine sichere Rotationsbestimmung

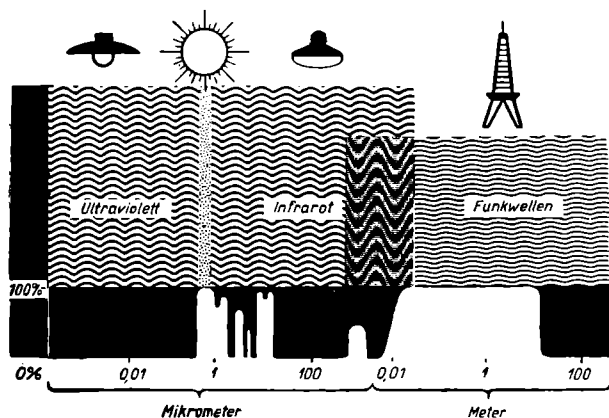
Die am 12. Februar 1961 von der Sowjetunion gestartete Venussonde stellte den Prototyp kommender „Planeten-aufklärer“ dar





*Eines der neuen großen Spiegelteleskope der Sowjetunion bei der
Fertigmontage*

atmosphäre geht sogar so weit, daß sie den Durchgang ganzer Wellenlängenbereiche verhindert, die sich zwar außerhalb der Wellenlängen des sichtbaren Lichtes befinden, aber dennoch die Untersuchung der aus dem außerirdischen Raum kommenden Wellenstrahlung ganz empfindlich einengen. In einem Diagramm der Durchlässigkeit



Die Erdatmosphäre ist in verschiedenen Wellenlängenbereichen praktisch undurchsichtig

der Erdatmosphäre zeigt sich dieser Effekt sehr deutlich. Es ist praktisch so, als könne man kosmische Objekte nur durch zwei „Fenster“ in der Atmosphäre beobachten. Das eine nennen die Wissenschaftler das „optische“ Fenster (hier tritt vornehmlich das sichtbare Licht hindurch), das andere wird als „Radiofenster“ bezeichnet, weil es den Bereich der Wellenstrahlungen umfaßt, die man mit Hilfe funktechnischer Mittel empfangen und aussenden kann. Damit ist in unseren vorbereitenden Informationen ein weiteres und letztes Stichwort gefallen. Die Entwicklung funktechnischer Hilfsmittel in den letzten Jahrzehnten hat nämlich dazu geführt, daß man auch auf diesem Wege Untersuchungen kosmischer Objekte durchführen kann.

An die Seite der technischen Hilfsmittel der „klassischen“ astronomischen Beobachtungskunst (Fernrohre und optische Zusatzgeräte) sind die funktechnischen Geräte der „Radioastronomie“ getreten. Letztere erinnern nur noch in der Form von „Radioteleskopen“ mit hohlspiegelartigen Empfangsantennen entfernt an die Geräte der optisch beobachtenden Astronomie, während zahllose Spezialantennenanlagen diese Beziehung kaum noch ahnen lassen. Wie wir später hören werden, haben aber gerade die durch die Radioastronomie gewonnenen Beobachtungsergebnisse auch für unser Wissen von den Planeten in den letzten Jahren wichtige Beiträge geliefert.

So viel also zu den Methoden, die man von der Erdoberfläche aus zur Erforschung des kosmischen Raumes und der in ihm anzutreffenden Himmelskörper anwenden kann. Unsere Berater weisen aber nochmals darauf hin, daß es sich dabei nur um einen stark vereinfachten Abriß der Gesamtprobleme handeln konnte, denn eine gründliche Behandlung des Stoffes würde aus unseren harmlosen Erkundigungen zu einem Planeten-Reiseführer immerhin ein ausgewachsenes wissenschaftliches Vorlesungsprogramm machen. Für das Verständnis der allgemeinen Grundlagen eines solchen Reiseführers dürften wir nun aber doch hinreichend gerüstet sein. Als wesentlichste Erkenntnis können wir dabei die Feststellung werten, daß die Wissenschaftler über die Lichtbrücke allein niemals zu einem hinreichend abgeschlossenen und voll befriedigenden Wissen um die Natur anderer Planeten gelangen können.

Aus diesem Grunde, und da wir uns gegenwärtig doch schon auf dem Wege in die im ersten Kapitel angedeutete Zukunft befinden, ist es sicher nützlich, auch den erst im Aufbau befindlichen Abteilungen unseres Reisebüros, so weit sie sich nämlich mit den Problemen des direkten Vorstoßes zu den Planeten beschäftigen, einen Besuch abzustatten. Sicher werden uns die Spezialisten der Raumfluggtechnik helfen, die Grundlagen der von ihnen zu bauenden neuen Brücke zu den Planeten zu verstehen und die große Bedeutung ihrer Bemühungen zu erkennen.

3. DER WEG ZU DEN PLANETEN- RAUMSCHIFFEN

Konstruktive Einzelheiten zu Raumflugunternehmungen im Stile unserer TRANSLUNA-Marsexpedition kann man uns in den Raumfahrtforschungszentren natürlich noch nicht bieten. Wie man uns dort mit Nachdruck versichert, sind vorläufig immerhin noch ganze Serien anderer, wesentlich einfacherer Raumflugexperimente notwendig, um die Voraussetzungen für spätere bemannte Planetenflüge zu schaffen. Die wesentlichste Rolle spielt dabei die Aufgabe, den an einem solchen Unternehmen beteiligten Menschen die Gewißheit maximaler Sicherheit mit auf die Reise geben zu können. Die Fülle der zu lösenden Probleme und der zu überwindenden Schwierigkeiten ist gerade aus diesem Grund für die zukünftigen Arbeiten in der Raumfahrtforschung so groß, wie wohl in kaum einem anderen Gebiet moderner Wissenschaft und Technik.

Es wäre schon sehr schön, wenn wir unseren Reiseführer auf den Erfahrungen bemannter Raumflüge zu fremden Planeten aufbauen könnten, aber der Weg dorthin muß erst noch bereitet werden. Immerhin können uns die Raumfahrtspezialisten schon die Grundlagen erläutern und sogar die ersten bescheidenen Erfolge melden. Hören wir ihnen bei ihren Erläuterungen kurz zu.

Als selbstverständlich wird dabei vorausgesetzt, daß uns das Prinzip des Rückstoßantriebes als der praktisch einzigen Antriebsmöglichkeit für Weltraumflugkörper wenigstens in seinen Grundzügen bekannt ist. Es würde ja auch wirklich sehr weit vom Thema abführen, wollten wir uns erst noch einmal die Prinzipien der Raketenantriebstechnik erläutern lassen. Das Wesentlichste darüber gehört ja heute wirklich schon fast zum Allgemeinwissen, und die Folge praktischer Raumflugunternehmungen seit dem 4. Oktober 1957 dürfte wohl kaum noch Zweifel an der Gültigkeit und Zuverlässigkeit der technischen Grundlagen des Weltraumfluges gelassen haben.

Viel wichtiger sind dagegen einige Bemerkungen der Raumfahrtexperten, die sich allgemein mit heute schon erkennbaren Konsequenzen der Antriebstechnik für anspruchsvollere zukünftige Raumflugunternehmen beschäftigen. An verschiedenen Diagrammen und Modellen zeigen sie uns, in welchem Maße der antriebsseitige Aufwand (Triebwerke, Treibstoffe und Zubehör) bereits bei verhältnismäßig geringen Steigerungen der reinen Nutzmasse (Raumflugkörper) anwächst. Da erfahren wir dann, daß schon für bemannte Flüge (1 bis 3 Mann Besatzung) in den Raum des Mondes Trägerraketen mit Startmassen zwischen 500 000 und 1 000 000 kg und Antriebskräfte (beim Start) im Bereich von 700 000 kp bis 1 200 000 kp benötigt werden. Diese Trägersysteme sind dann Giganten von 60, 80 und mehr Meter Höhe. Dabei machen die Treibstoffe allein etwa 90%, der Startmasse aus. Und wie bescheiden nehmen sich doch derartige Mondflugprojekte noch neben dem Nutzmasseaufwand für Planetenflüge aus!

Allerdings, so fügen unsere Berater sofort hinzu, gelten diese Darstellungen zunächst nur unter zwei bestimmten Voraussetzungen: 1. der Start des Trägersystems erfolgt ab Erdoberfläche mit unmittelbar anschließendem Übergang in die endgültige astronautische Freiflugbahn; 2. der Antrieb erfolgt unter Verwendung der Verbrennungsreaktion chemischer Treibstoffe. Unter „Freiflugbahn“ versteht man dabei den Teil der Gesamtflugbahn des Raumflugkörpers, der sich an die sogenannte „Antriebsstrecke“ anschließt und nach Abschaltung der Triebwerke von dem Flugkörper in antrieblosem Flug zurückgelegt wird. Die Unterteilung in Antriebsbahn und Freiflugbahn ist ein Charakteristikum des Antriebs mit chemischen Treibstoffen, deren wirtschaftlichste Ausnutzung nur bei einer möglichst kurzen Gesamtbrennzeit der Triebwerke gegeben ist. Ein Dauerantrieb mit chemischen Treibstoffreaktionen ist daher für astronautische Aufgabenstellungen praktisch kaum denkbar.

Wenn man nun die Schlußfolgerungen aus diesen Tatbeständen zieht, so ergeben sich zwangsläufig die schon angedeuteten Konsequenzen für die weitere Entwicklung der

Antriebssysteme in der Raumfahrt. Einerseits wird man auch bei weiteren Verbesserungen für Starts chemisch angetriebener Raumraketen ab Erdoberfläche gewisse Nutzmassegrenzen erreichen, die aus konstruktiven und ökonomischen Gründen nicht zu überschreiten sind. Andererseits werden aber bemannte Planetenexpeditionen einen Nutzmasseaufwand erfordern, der weit über dieser von einem einzelnen Trägersystem (auch mehrstufig!) erreichbaren Grenze liegt.

Zur Überwindung dieser Schwierigkeiten könnte man zunächst leistungsfähigere Antriebe für den Start ab Erdoberfläche fordern. Wie sich aber gezeigt hat, wird es hierbei aus prinzipiellen Gründen kaum Möglichkeiten geben, die über die Leistung bester chemischer Triebwerke entsprechend weit hinausgehen. Das gilt vor allem für die häufig zitierten und überschätzten Atomtriebwerke auf Kernspaltungsbasis.

Weiterhin könnte man ein Verfahren entwickeln, die Gesamtkonstruktion des zukünftigen großen Raumflugkörpers in entsprechende Teile zu zerlegen, diese dann in den erdnahen Raum auf eine Umlaufbahn zu befördern — wozu ja die Leistungsfähigkeit der chemischen Träger raketen ausreichen würde — und schließlich die Teile im Raum zu vereinen. Die fertige große Raumflugeinheit könnte dann, aus einem Teil der Zubringerraketen frisch betankt, von ihrer erdnahen Umlaufbahn mittels einer weiteren Antriebsperiode in den interplanetaren Flug übergehen. Dieser Weg über Montagestationen im Raum, die man sich im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium auch auf dem Mond als natürlicher „Außenstation“ der Erde vorstellen kann, bietet derzeitig überhaupt die einzigen Ansatzpunkte für die Lösung anspruchsvollerer Raumfahrtprogramme.

Hinzu kommt, daß dieses Verfahren mit Zwischenstationen im freien Weltraum noch ganz andere und in ihrer Bedeutung sehr weitreichende Möglichkeiten zur Verbesserung des Antriebs schafft. Von derartigen Zwischenstationen aus könnten dann auch Antriebssysteme ein-

gesetzt werden, die entweder in ihren Rückwirkungen auf der Erdoberfläche gefährliche Folgen haben würden (Strahlungsverseuchung) oder die zu ihrem Betrieb das Vorhandensein eines angenäherten Vakuums voraussetzen. Von Antrieben der ersten Gruppe (Kernfusionstriebwerke, Photonenantriebe) sind wir zwar heute noch recht weit entfernt, aber die zweite Gruppe dürfte schon in allernächster Zeit zu größerer Bedeutung gelangen. Aus diesem Grunde wollen wir uns von den Antriebsspezialisten wenigstens in den Grundzügen über das Prinzip derartiger „Raumtriebwerke“ aufklären lassen.

Von den chemischen Raketentriebwerken her wissen wir, daß die Anziehungskraft (der Schub) abhängig ist von dem Produkt „Ausströmgeschwindigkeit der Verbrennungsgase mal Masse der pro Sekunde ausgestoßenen Verbrennungsgase“. Man kann also den Schub eines Raketentriebwerkes sowohl durch die Erhöhung der Ausströmgeschwindigkeit wie auch durch Vergrößerung des „Durchsatzes“ steigern. Aus energetischen und thermodynamischen Gründen gibt es nun für chemische Treibstoffreaktionen eine obere Grenze der Ausströmgeschwindigkeit. Die Forderung nach größerem Schub läßt sich dann nur noch durch Steigerung des Durchsatzes erfüllen. Mit anderen Worten: konstruktive Lösungen für überdimensionale Triebwerke, Treibstoffmengen und damit natürlich auch Gesamtkonstruktion bestimmen den weiteren Weg. Hier liegen also die Ursachen für die oben angedeuteten Grenzen chemischer Trägerraketen.

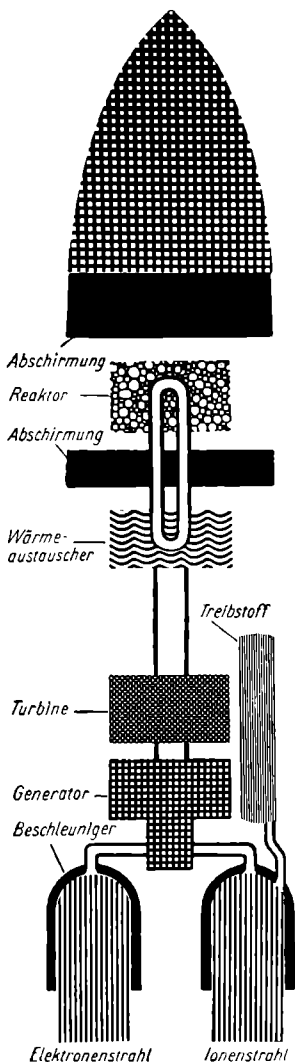
Bei den „elektrischen Raumtriebwerken“ macht man sich nun die Möglichkeit zunutze, mit Hilfe physikalischer Methoden Antriebsstrahlen aus elektrisch geladenen Atomen und Elektronen zu erzeugen, deren „Ausströmgeschwindigkeit“ aus der Triebwerkanlage vielfach größer ist als die von Verbrennungsgasen. Liegt die äußerste praktische Grenze für letztere etwa bei 4000 m/s, so lassen sich bei der elektrischen Beschleunigung von Ionen (elektrisch geladene Atome) Geschwindigkeiten von 10000 km/s bis über 100000 km/s erreichen. Man beachte den Unterschied

„Meter pro Sekunde“ und „Kilometer pro Sekunde“!

Im einzelnen verfährt man dabei etwa nach folgendem Verfahren: Aus einem Vorratsbehälter fließen ständig Atome eines Elementes, das sich leicht ionisieren läßt (z. B. Cäsium), in eine Vorbereitungskammer. Dort werden aus den neutralen Atomen positiv elektrische Ionen, indem aus den Atomhüllen Elektronen herausgelöst werden. Die so entstandenen Ionen treten dann in die Beschleunigungskammer ein, in der sie durch elektrische und magnetische Kräfte sowohl auf die erwähnten hohen Geschwindigkeiten gebracht, zugleich aber auch zu einem gebündelten Antriebsstrahl gerichtet werden. Soweit das stark vereinfachte Prinzip.

Leider liegt es aber nun in der Natur der Sache, daß bei diesem Verfahren immer nur ein verhältnismäßig winziger Durchsatz an ionisierten Atomen möglich ist. Somit ist es hier gerade umgekehrt wie bei den chemischen Triebwerken. Der erzielbare „effektive Schub“ ist dadurch so

Aufbauschema eines elektrischen Antriebssystems



gering, daß damit weder die Triebwerkanlage, geschweige denn eine ganze Raumrakete von der Erdoberfläche abgehoben werden könnten. Also nicht nur die Forderung nach einem Vakuum für die nach außen offene Beschleunigungskammer läßt die elektrischen Triebwerke nicht zu echten „Raumtriebwerken“ werden; sie können auch grundsätzlich nicht von der Oberfläche eines Weltkörpers starten, sofern dessen Anziehungskraft das Triebwerksgewicht größer als den erzielbaren effektiven Schub werden läßt. Wenn ein elektrisches Triebwerk also trotzdem für astronautische Zwecke eingesetzt werden soll, muß man es vor der Inbetriebnahme erst in den Raum hinausbefördern. Im Prinzip könnte dies auch weiterhin einem Startantrieb mit chemischen Triebwerken vorbehalten bleiben.

Denken wir noch einmal an die Konzeption der Zwischenstationen. Für die dort zusammenzubauende große Raumflugeinheit brauchte man nun nicht mehr nur an chemische Triebwerke für die weitere Beschleunigung auf interplanetare Fluggeschwindigkeiten zu denken. Man könnte vielmehr ab Zwischenstation auch elektrische Triebwerke einsetzen, jedenfalls soweit es sich um Zwischenstationen handelt, die als Satelliten um die Erde kreisen. Dann würde selbst der geringe Schub der Raumtriebwerke ausreichen, um aus der schon vorhandenen astronautischen Freiflugbahn (Umlaufbahn) herauszukommen und in eine interplanetare Bahn überzugehen. Bei einem Start ab Mondoberfläche müßte man allerdings noch einmal chemische Triebwerke sozusagen „vorschalten“.

Bleiben wir aber der Einfachheit halber beim Start ab Satelliten-Zwischenstation. Die geringe Schubwirkung der elektrischen Triebwerke würde natürlich niemals einen so „rasanten“ Abflug ergeben, wie er beim weiteren Einsatz chemischer Triebwerke zwangsläufig die Folge wäre. Dafür würden jedoch derartige Raumtriebwerke einen anderen, für astronautische Zwecke geradezu unschätzbaren Vorteil bieten. Sie lassen sich nämlich im Dauerbetrieb einsetzen! — Während also bei chemischen Triebwerken die jeweiligen Antriebszeiten so kurz wie möglich gehalten sein müssen

und der Hauptteil des Fluges antriebslos zurückgelegt wird, können Raumtriebwerke dauernd in Betrieb sein, weil der „Treibstoffverbrauch“ ja nur sehr gering ist. Die notwendige elektrische Energie könnte dazu einer Kernenergieanlage entnommen werden, die auch sonst für die allgemeine Energieversorgung des Raumschiffes die günstigsten Voraussetzungen bieten würde. Auf Grund des Dauerbetriebes würden sich jedoch trotz der geringen effektiven Beschleunigung über Wochen und vielleicht sogar Monate hinweg Fluggeschwindigkeiten erzielen lassen, die alle Vorstellungen zu sprengen drohen. In diesem Fall gäbe es auch dann den Begriff „Freiflugbahn“ im klassischen Sinne nicht mehr, und der gesamte Flugverlauf würde völlig anders aussehen, als es auf der Basis chemischer Triebwerke allein möglich wäre. Diese Perspektiven künftiger Antriebstechnik sind so revolutionierend, vor allem im Hinblick auf Flugverlauf und Flugzeiten, daß wir ohne diese Aussichten überhaupt keine Möglichkeit hätten, Vorstöße zu den äußeren Planeten des Sonnensystems als denkbar zu bezeichnen. Die Gründe dafür lernen wir am besten kennen, wenn wir noch einmal kurz zu den Astronomen zurückgehen und uns von ihnen das Wichtigste aus der Bahnmechanik natürlicher und künstlicher Himmelskörper erläutern lassen. Die ersten Erklärungen beziehen sich zunächst nur auf die Bewegung der Planeten selbst. Wir haben ja schon früher erfahren, daß sich die Planeten in kreisähnlichen Ellipsen um die Sonne bewegen. Die Gesetze, nach denen sich diese Umlaufbewegungen vollziehen, fand der deutsche Mathematiker und Astronom Johannes KEPLER (1571—1630) in den Jahren von 1600 bis 1619. Sie werden nach ihm die „Keplerschen Gesetze“ genannt und sagen folgendes aus:

Erstens: Die Bahnen der Planeten um die Sonne sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.

Zweitens: Die Verbindungslinie Planet-Sonne (Radiusvektor) überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen. Das heißt, der Planet bewegt sich in Sonnennähe (Perihel) schneller als in Sonnenferne (Aphel). Man nennt dieses Gesetz auch den Keplerschen „Flächensatz“.

Drittens: Die Quadratzahlen der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich zueinander wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne. Dieses Gesetz bietet die Möglichkeit, die Entfernungen aller anderen Planeten aus ihren sehr genau beobachtbaren Umlaufzeiten zu bestimmen, wenn die Entfernung der Erde von der Sonne als Einheit („Astronomische Einheit“) bekannt ist.

Ihre Ergänzung erfuhren diese Gesetze dann durch die Entdeckung des englischen Physikers Isaac NEWTON (1643 bis 1727), der die Ursache für diese Gesetzmäßigkeiten in der Anziehungskraft der Sonne erkannte. Sein allgemein gültiges „Gravitationsgesetz“ wurde fortan die Grundlage aller Bahnrechnungen von Himmelskörpern. Es lautet:

Jeder Körper zieht jeden anderen mit einer Kraft an, die dem Produkt ihrer Massen direkt verhältnismäßig (proportional) ist und mit dem Quadrat des gegenseitigen Abstandes abnimmt.

Diese von KEPLER und NEWTON geschaffenen mathematischen Grundlagen gelten selbstverständlich für alle Fälle, in denen sich Körper im kosmischen Raum umeinander bewegen. Wir sind ihnen daher auch schon bei Erläuterungen der Bahnen künstlicher Satelliten um die Erde begegnet. Ebenso gelten sie uneingeschränkt für die Bewegungen von Raumflugkörpern, die sich antriebslos im interplanetaren Raum auf Reisen befinden. Wenn man einmal von den Vorgängen bis zum Erreichen des antriebslosen interplanetaren Fluges und von den Einwirkungen der Anziehungskraft der Planeten absieht, werden sie ebenso wie diese elliptische Bahnen um die Sonne durchlaufen müssen.

Betrachten wir nun, mit einigen Vereinfachungen, die Aufgabe, einen Raumflugkörper ausschließlich unter Verwendung chemischer Antriebe auf die Reise zu einem anderen Planeten zu schicken. Ausgangspunkt dieses Unternehmens ist natürlich zunächst die Erdoberfläche. Als erstes hat dann der Antrieb des Trägersystems die Aufgabe, die Raumsonde auf die berühmte „Entweichgeschwindigkeit“ (2. astronautische Geschwindigkeit) von rund 11,2 km/s zu

bringen, damit sie die Wirkungssphäre der Erdanziehung verlassen kann. Damit kann aber die Raumsonde noch nicht den Raum zwischen Erde und Planet überwinden. Um dies zu erreichen, muß ihre Geschwindigkeit am Ende der Antriebsperiode noch höher liegen als die erwähnte Fluchtgeschwindigkeit. Da nämlich die „Startplattform“ Erde selbst wie eine „Außenstation“ die Sonne umkreist (mittlere Geschwindigkeit rund 30 km/s), würde sich die Raumsonde bei rund 11,2 km/s Brennschlußgeschwindigkeit zwar — wenn auch mit allmählich immer kleiner werdender Geschwindigkeit — von der Erde entfernen, aber dennoch auch weiterhin etwa in Erdentfernung die Sonne umkreisen. Vielleicht liefe sie vor der Erde oder hinter oder seitlich von ihr, aber sie wäre praktisch nicht mehr als ein „abgeschleudertes“ Stück Erde und müßte ebenso wie diese in etwa der gleichen Bahn um die Sonne laufen.

Um nun die Erdbahn verlassen zu können, ist ein weiterer Geschwindigkeitsaufwand nötig. Addiert sich dabei der Geschwindigkeitsüberschuß (über die erwähnten 11,2 km/s hinaus) zu den von der Erdbewegung her mitbekommenen 30 km/s, so kann die Raumsonde die Erdbahn verlassen und wird dann je nach der Größe des Geschwindigkeitsüberschusses mehr oder weniger weit auf einer elliptischen Bahn in den Raum hinausgetragen. Käme der Geschwindigkeitsüberschuß in Abzug von den 30 km/s, so müßte die Raumsonde auf einer elliptischen Bahn näher zur Sonne „heranfallen“. Im ersten Fall käme eine endgültige Raumsondenbahn zustande, deren Aphel (sonnenfernster Bahnpunkt) weit außerhalb der Erdbahn liegt, während das Perihel (sonnennächster Bahnpunkt) entweder in der Erdbahn oder aber noch näher bei der Sonne liegt. Im zweiten Fall liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt. Eine elliptische Raumflugbahn, die von der Erdbahn ausgeht und die Bahn eines anderen Planeten entweder streifend berührt oder in mehr oder weniger steilem Winkel schneidet, bezeichnet man als „Übergangsbahn“ oder „Übergangsellipse“. Es käme dann also darauf an, die Raumsonde so in die Übergangsellipse hineinzubringen, daß sie schließlich

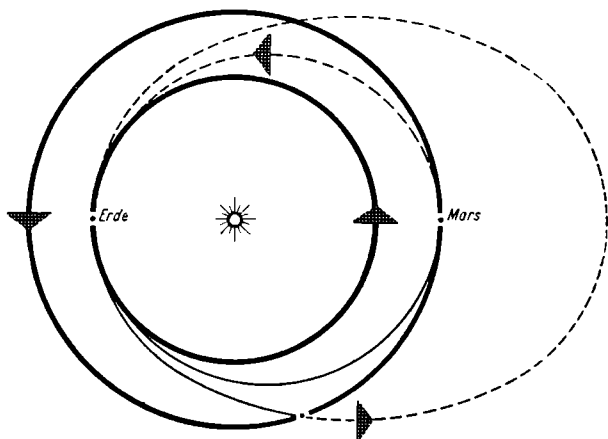
genau zu der Zeit an dem Berührungspunkt von Raumflugbahn und Planetenbahn ankommt, zu der der Planet auch dort eintrifft.

Doch schnell noch einmal zu dem sicher nicht leicht einzusehenden Problem der Addition oder Subtraktion des Geschwindigkeitsüberschusses zurück. Wie sieht dieser Zusammenhang denn nun in der Praxis aus? Eigentlich ist die Sache sehr einfach. Verläßt die Raumsonde beispielsweise die Wirkungssphäre der Erde (Radius etwa 900 000 km) mit einem Geschwindigkeitsüberschuß von 4 km/s und bewegt sich zu diesem Zeitpunkt gerade in der Richtung von der Erde weg, in der diese um die Sonne läuft, dann addieren sich zwangsläufig die 4 km/s zu den 30 km/s der Erdbewegung. Fliegt die Raumsonde aber sozusagen nach „rückwärts“, also entgegengesetzt zur Umlaufrichtung der Erde aus der Wirkungssphäre heraus, so kommen die 4 km/s in Abzug. Es kommt somit nur auf die Abflugrichtung an, ob man näher zur Sonne gelangt (Start rückwärts) oder sich weiter hinaustragen läßt (Start vorwärts).

Auf eine sehr wesentliche Konsequenz aus der eben erläuterten Bahnmechanik (Grundlage: kurze Antriebsstrecke, lange elliptische Freiflugbahn) kommen unsere astronautischen Berater abschließend zu sprechen. Sie betrifft die Frage der Flugzeiten von der Erde zum Zielplaneten. Wenn man sich daran erinnert, daß die Erde zu einem Umlauf um die Sonne rund 365 Tage benötigt, dann zeigt schon ein Blick auf die einfache Skizze, in der beispielsweise die Übergangsbahn zwischen Erde und Mars, und zwar als „Berührungsellipse“, dargestellt ist, daß der auf der einen Halbellipse zu absolvierende Hinweg merklich länger sein muß als ein halber Erdumfang. Genauere Rechnungen zeigen, daß es rund 250 Tage sein würden! Und das noch bei dem so relativ „nahen“ Mars!

Wir lernen damit ein sehr wichtiges Problem des interplanetaren Fluges kennen, das „Zeitproblem“. Bleibt man zunächst bei Berührungsellipsen als Übergangsbahnen (sie gestalten die einfachste mathematische Behandlung), so zeigt eine Tabelle der Flugzeiten zu den jenseits der Mars-

bahn befindlichen Planeten, daß es unter diesen Voraussetzungen kaum sinnvoll erscheint, jemals an bemannten Raumflug in diese Regionen zu denken. Lediglich eine Fahrt zum Mars und zur Venus erscheinen nicht ausgeschlossen. Eine Verbesserung des Zeitproblems wäre möglich, wenn

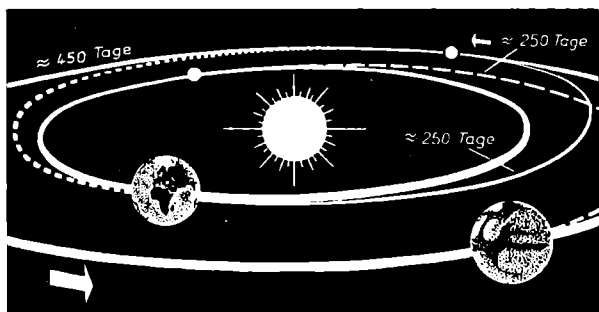


Die Flugdauer einer interplanetaren Expedition kann durch Wahl der Freiflugbahn (Berührungs- oder schnittige Ellipsen) wesentlich beeinflußt werden

man die Übergangsbahnen als „schnittige“ Ellipsen wählen und damit zu kürzeren Bahnstücken kommen würde. Aber auch hier wachsen die Bäume nicht in den Himmel. Je kürzer nämlich auf diesem Wege das Bahnstück zwischen Erdbahn und Marsbahn wird, um so gewaltiger steigt der Geschwindigkeitsbedarf beim Abflug. Geschwindigkeitsbedarf heißt aber Antriebsbedarf oder noch einfacher Treibstoffbedarf. Mit chemischen Antrieben ist man hier daher schon sehr bald am Ende.

Selbst wenn wir nun voraussetzen, daß eine bemannte Marsexpedition auf einer schnittigen Ellipse nur noch 180 bis 200 Tage Hinflugzeit benötigt, dann ist das ja noch längst nicht die Gesamtdauer der Expedition. Zumindest muß

noch die reine Rückflugzeit berücksichtigt werden zusätzlich einer gewissen Aufenthaltszeit in der Nähe des Zielplaneten. Diese Aufenthaltszeit wäre schon aus wissenschaftlichen Gründen nützlich, sie kann aber sogar zu einer Zwangsläufigkeit werden. Da sich nämlich das Raumschiff auch weiterhin voraussetzungsgemäß nur auf elliptischen Bahnstücken bewegen kann, muß auch für den Rückflug der richtige Startzeitpunkt abgewartet werden, um auch die Erde wieder zu erreichen. Bei einem vollständig auf Berührungselipsen beruhenden Marsflugprogramm müßte



Eine Marsexpedition auf Berührungselipsen würde fast 1000 Tage dauern

sich die Expedition z. B. gezwungenermaßen etwa 450 Tage in der Nähe des Mars aufhalten, mit ihm also so lange um die Sonne kreisen, ehe der 250tägige Rückflug angetreten werden kann. Unter diesen Voraussetzungen wäre wohl das Problem der Versorgung der Expedition kaum mit den gegenwärtigen Hilfsmitteln der Raumflugtechnik zu lösen. Alles in allem läßt sich also sagen, daß chemische Antriebe allein kaum Aussicht auf die Durchführbarkeit ausgedehnter Planetenexpeditionen bieten.

Kehren wir jedoch wieder zu den für Dauerbeschleunigungen eingerichteten Raumantrieben zurück, so ergibt sich ein völlig neues Bild. Die Loslösung von der Erdoberfläche oder zusätzlich vom Mond müßte zwar auch

weiterhin Trägersystemen mit chemischen Antrieben überlassen bleiben; aber nach dem Einschalten der Raumtriebwerke verläuft der Flug erheblich anders. Beim Abflug aus einer erdnahen Satellitenbahn beispielsweise würde sich zunächst das Raumschiff kaum merklich aus dieser Bahn herausbewegen. Der schwache Schub der Raumtriebwerke ergibt anfangs für das Raumschiff nur den Effekt, daß es sich auf einer Spiralbahn weiter um die Erde bewegt, wobei die Windungen der Spirale von Umlauf zu Umlauf immer größer werden. Der ständige Geschwindigkeitszuwachs hat schließlich zur Folge, daß sich die Abflugspirale in ihrer letzten Windung sehr schnell öffnet und daß die Raumflugbahn in einen sich immer stärker streckenden Bahnteil übergeht, der dann als die eigentliche interplanetare Verbindungsbahn bezeichnet werden kann.

Auf dieser Verbindungsbahn steigert sich die Fluggeschwindigkeit ständig, so daß nach dem Verlassen der Wirkungssphäre der Erde schon innerhalb kurzer Zeit enorme Geschwindigkeiten erzielt werden können. Betrachten wir ein Beispiel: Das Raumschiff soll zunächst so weit beschleunigt worden sein, daß es die Grenze der Wirkungssphäre der Erde etwa mit der Geschwindigkeit Null (relativ zur Erde) überschreitet. Seine Bewegung zielt dabei in Richtung des Umlaufes der Erde um die Sonne. Damit hat es dann relativ zur Sonne die schon erwähnten 30 km/s Geschwindigkeit. Die Raumtriebwerke sollen lediglich eine Geschwindigkeitszunahme von 0,01 m/s (1 Zentimeter pro Sekunde!) in jeder Sekunde ermöglichen. Dann nimmt die Geschwindigkeit des Raumschiffes innerhalb von 24 Stunden um jeweils 0,864 km/s zu. Das heißt, nach 10 Tagen hätte das Raumschiff schon eine Geschwindigkeit von etwa 38,5 km/s relativ zur Sonne. Nach weiteren 5 Tagen würden 42 km/s überschritten, das ist die „Fluchtgeschwindigkeit“ für die Wirkungssphäre der Sonne (analog zu den 11,2 km/s in bezug auf die Erde), und das Raumschiff würde auch ohne weitere Beschleunigung das Sonnensystem verlassen können.

Wenn man nun einmal von den zuletzt angedeuteten

extremen Möglichkeiten absieht, so läßt sich doch erkennen, daß der Einsatz von Raumtriebwerken für die Projekte bemannter Planetenexpeditionen ganz neue und sehr aussichtsreiche Verhältnisse schaffen wird. Allerdings kommen die Vorteile dieser Raumflugtechnik erst bei Zielen jenseits des Mars voll zur Geltung, das heißt unter der Voraussetzung, daß man die beschriebene Abflugspirale in Kauf nimmt. Denn dann wird allein der Zeitraum, um vom Startsatelliten in Erdnähe an die Grenze der Erdwirkungssphäre zu gelangen, unter Umständen mehrere Monate (!) umspannen. Als vorteilhafteste Endlösung wäre also ein Mischantrieb anzusehen, bei dem chemische oder ihnen leistungsmäßig ähnliche Antriebe die erste Beschleunigungsphase ab Startsatellit übernehmen und das Raumschiff mit geringem Geschwindigkeitsüberschuß über die Grenze der Erdwirkungssphäre hinaustragen. Anschließend könnten Raumtriebwerke eingesetzt werden, die eine sehr gestreckte und darum kurze Verbindungsbahn ermöglichen.

Bei diesen Betrachtungen über verbesserte Antriebsmöglichkeiten für interplanetare Expeditionen haben wir jedoch außer acht gelassen, daß sich zwangsläufig auch neue Probleme für den Anflug auf den Zielplaneten ergeben. Man denke nur an die Notwendigkeit, die zuvor mühsam aufgebaute Fluggeschwindigkeit so weit wieder abzubremsen, daß man nicht über das Ziel hinausschießt. Unsere astronautischen Berater im Reisebüro verweisen darauf, daß mit der Diskussion dieser Probleme ganze Bände gefüllt werden könnten. Den Rahmen unserer Gespräche mit ihnen würden wir damit beträchtlich überschreiten. Hinzu kommt ja noch, daß wir uns um die Besatzung der TRANSLUNA keine Sorgen zu machen brauchen, weil sie schließlich nur in unserer Phantasie auf die große Reise gegangen ist. Außerdem haben unsere bisherigen Betrachtungen wohl ganz allgemein gezeigt, wie groß die Fülle der Probleme für bemannte Planetenflüge gegenwärtig noch ist und daß es noch zahlreicher und langwieriger Vorversuche bedarf, ehe man das letzte große Wagnis eingehen kann. Es wird auch zu vielen neuen Gesichtspunkten in dieser Entwicklung

kommen, so daß es heute müßig erscheint, sich allzu intensiv mit solchen Einzelproblemen zu befassen.

Dennoch brauchen wir nicht gleich zu resignieren, wenn wir von den Raumfahrtspezialisten hören, daß es bis zur Planetenerforschung im Stile unserer erdachten TRANSLUNA-Expedition immerhin noch einige Jahre, vielleicht sogar Jahrzehnte dauern wird. Sie trösten uns mit dem Hinweis, daß die Raumflugtechnik auch schon vorher bedeutsame Beiträge zur Erkundung des Planetensystems leisten wird.

Günstige Starttermine für Venus- und Marssonden auf Berührungselipsen mit minimalem Antriebsbedarf

Jahr	Venus	Mars
1962	August	Sept./Nov.
1963	—	—
1964	März	Nov./Dez.
1965	Okt./Nov.	Januar
1966	—	Dezember
1967	Juni	Jan./Febr.
1968	—	—
1969	Januar	Jan./März
1970	—	—
1971	August	Febr./April

Für die Entsendung unbemannter Raum- und Planetensonden mit hochentwickelten automatischen Meß- und Beobachtungseinrichtungen sowie leistungsfähigen Übertragungseinrichtungen auf funktechnischer Basis reichen die gegenwärtig verfügbaren chemischen Antriebssysteme ja schon völlig aus. Bei ihnen entfällt der gesteigerte Nutzmasseaufwand zur Versorgung und sonstigen Sicherung des Lebens einer Besatzung ebenso, wie alle Fragen des davon berührten Zeitproblems sich erledigen.

Die ersten Schritte in dieser Richtung wurden immerhin schon zu Beginn des Jahres 1959 eingeleitet, als die erste sowjetische Raumsonde Lunik I nach einem dichten Vorbeiflug am Mond in eine Umlaufbahn um die Sonne einschwenkte. Der 2. Januar 1959 wurde damit zum ersten Datum in der Liste zukünftiger interplanetarer Raumflug-

unternehmungen. Als Ziel dieses ersten Experiments war allerdings noch nicht der Anflug auf einen anderen Planeten gesetzt. Es ging zunächst lediglich darum, die Möglichkeiten zur funktechnischen Nachrichtenübermittlung über große kosmische Entfernungen hinweg zu untersuchen. Die gleiche Aufgabenstellung hatten dann auch die später gestarteten amerikanischen Raumsonden der Pioneer-Serie. Immerhin konnte auf diesem Wege bewiesen werden, daß Funkverbindungen auf eine Entfernung von mindestens 35 000 000 km hin möglich sind. Auf die Geschichte der ersten gezielten Planetensonde, die am 12. Februar 1961 in der Sowjetunion zur Venus gestartet wurde, werden wir an anderer Stelle noch eingehen.

So etwa sieht es gegenwärtig auf dem Sektor des Brückenbaus zu den Planeten mit Mitteln der Raumflugtechnik aus. Schon in allernächster Zeit werden neue Pfeiler errichtet und weitspannende Träger in dieses zukunftssträchtige Bauwerk eingefügt werden. Weitere unbemannte automatische Raumsonden und Planetenaufklärer wird man auf die Reise schicken, und da wir vielleicht immer noch ein etwas unglückliches Gesicht über die gegenwärtig noch fehlende Möglichkeit zur persönlichen Teilnahme an einer Planetenexpedition machen, stellen es uns die Astronautiker unseres Reisebüros anheim, wenigstens in Gedanken mit diesen unbemannten Geräten mitzufliegen und uns die Planeten und die anderen Körper des Sonnensystems etwas aus der Nähe zu betrachten.

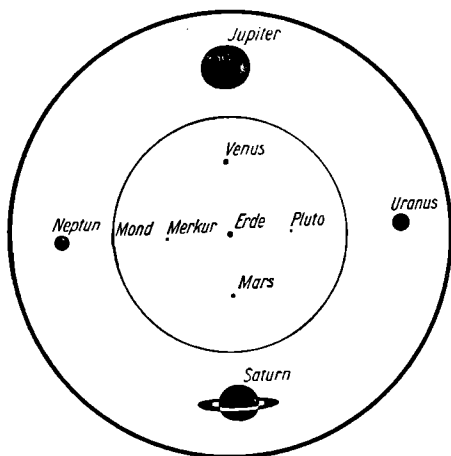
4. DIE SONNE — *Achtung, Abstand halten!*

Wir staunen nicht schlecht, als uns auf der ersten Seite unseres Reiseprospektes durch die Welt der Planeten die Aufforderung entgegentritt, zunächst einen Abstecher in Richtung Sonne zu machen. Dort wollen wir doch gar nicht hin! Die Sonne ist schließlich ihrer physikalischen Natur nach ein so völlig anderes Gestirn als die Planeten, daß Einblicke in ihr „Innenleben“ doch sicher kaum etwas zum Verständnis über die Verhältnisse auf erdähnlichen Himmelskörpern beitragen können. — Falsch! Mit dieser Ansicht würden wir wirklich einen groben Fehler begehen. Die Sonne ist nicht nur im Hinblick auf die Bewegung der Planeten durch ihre gewaltige Anziehungskraft der Motor des Planetensystems. Sie ist darüber hinaus auch für die physikalischen Verhältnisse an den Planetenoberflächen ein weitgehend mitentscheidender Faktor. Wir brauchen ja dabei nur an die vielfältigen Erscheinungen an der Erdoberfläche zu denken, die ihre Ursache ausschließlich dem Einfluß der Sonne verdanken (Entwicklung des Lebens, Wettergeschehen usw.). Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, daß die Planeten auch in Fragen ihrer Entstehung und Entwicklung nicht ohne den Zusammenhang mit der Sonne verstanden werden können.

Soviel zunächst zum allgemeinen wissenschaftlichen Interesse an der Sonne. Für uns als blinde Passagiere in unbemannten Raumsonden kommt dem Geschehen in und auf dem Zentralkörper des Planetensystems noch in anderer Hinsicht eine besondere Bedeutung zu. Wir vertreten ja in Gedanken spätere wirkliche Raumpiloten. Nun ist es aber gerade die Sonne, die für bestimmte physikalische Erscheinungen im kosmischen Raum verantwortlich zeichnet, vor denen sich zukünftige Raumfahrer unbedingt und stärkstens in acht zu nehmen hätten. Es ist also schon ganz in Ordnung, wenn wir uns zunächst mit den wesentlichsten Eigenschaften der Sonne vertraut machen.

Wie schon früher kurz angedeutet, gehört die Sonne zur

riesigen Familie der Fixsterne innerhalb des Sternsystems, das die Astronomen als „Milchstraßensystem“ (griech. „Galaxis“) bezeichnen. Sie ist wie ihre Geschwister eine Licht- und unsichtbare Strahlungen aussendende Gaskugel mit einem Durchmesser von rund 1 390 000 km. Von der ungeheuren Größe der Sonne läßt sich am besten eine Vor-



Größenvergleich der Sonne mit den Großen Planeten

stellung gewinnen, wenn man sie mit der Erde vergleicht. Nicht weniger als rund 109 Erdkugeln könnte man auf dem Durchmesser der Sonne aneinanderreihen! — Die gewaltige Menge Materie, die an ihrem Aufbau beteiligt ist (man könnte aus ihr 333 000 Körper von der Masse der Erde formen!), wird durch die Kraft der Massenanziehung (I. NEWTONS Gesetz) zusammengehalten. Diese Anziehungskraft ist so enorm, daß wir auf der Sonnenoberfläche rund 28mal so schwer wären wie auf der Erde. Mit einer solchen Vergleichsmöglichkeit brauchen wir in der Praxis jedoch niemals zu rechnen, denn eine feste Sonnenoberfläche gibt es gar nicht, nur wirbelnde heiße Gase und Strahlungen der verschiedensten Arten.

Obwohl es also eigentlich keine richtige Sonnenoberfläche

gibt, nennen uns die Sonnenphysiker doch rund 6000°K ($\text{K} = \text{Kelvintemperaturskala}$, ihr Nullpunkt liegt bei -273°C) als „Oberflächentemperatur“. Um diesen scheinbaren Widerspruch zu verstehen, müssen wir uns noch etwas mit dem komplizierten Aufbau des Sonnenkörpers beschäftigen.

Wenn wir die Sonne durch ein Schutzfilter in einem Fernrohr betrachten, so können wir mit Erstaunen feststellen, daß die riesige Gaskugel immerhin eine scharfe Begrenzung zeigt, ganz wie bei einem festen Körper. Die Sonnenphysiker belehren uns jedoch, daß das, was wir von der Sonne als leuchtende Oberfläche sehen, in Wirklichkeit eine 400 bis 500 km dicke Gasschicht ist; der Astronom bezeichnet sie als „Photosphäre“ („Lichthülle“), aus der praktisch das ganze in den Weltraum gestrahlte Sonnenlicht kommt. Aus der großen Entfernung der Erde von der Sonne (rund 150 000 000 km) erscheint diese Gasschicht praktisch als so schmales Gebiet am Sonnenrand, daß dieser dadurch als absolut scharf begrenzt wirkt. An der Untergrenze dieser 500 km dicken „Sonnenoberfläche“ beläuft sich die Temperatur nun auf etwa 7000°K , an der Obergrenze auf etwa 4000°K , so daß die erwähnten 6000°K ein brauchbares abgerundetes Mittel ergeben.

In die tiefer gelegenen Regionen der Sonne hat man also keinen unmittelbaren Einblick. Man kann jedoch aus der Beobachtung der in der Photosphäre und in den noch weiter außen liegenden Gebieten auftretenden Erscheinungen Rückschlüsse auf den Aufbau des Sonneninneren ziehen. Die auf diesem Wege entwickelten Modellvorstellungen werden noch durch Erkenntnisse ergänzt, die man allgemein aus den Untersuchungen anderer Fixsterne abgeleitet hat. So weiß man heute beispielsweise mit Sicherheit, daß Temperatur, Druck und Dichte der Gase nach dem Sonnenmittelpunkt ganz extrem zunehmen. Für das Zentralgebiet ergeben sich dabei Temperaturen um 15 bis 20 000 000 $^{\circ}\text{K}$, die Dichte steigt auf etwa 100fache Dichte des Wassers, und der Druck nimmt Werte um 100 000 000 000 at an!

Dieses Zentralgebiet ist aber auch zugleich der Sitz der Energieerzeugung in der Sonne. Immerhin strahlt die Sonne laufend eine Energie von rund $4 \cdot 10^{23}$ kW (in der ausgeschriebenen Zahl kommen 23 Nullen hinter der 4!) in den kosmischen Raum. Der Masseverlust, den die Sonne durch die Strahlung dauernd erfährt, beläuft sich in jeder Sekunde immerhin auf etwa 4300000000 kg. Doch keine Angst, die Masse der Sonne ist so ungeheuer groß, daß dagegen auch dieser scheinbar gewaltige Masseverlust kaum in Erscheinung tritt. Erst in 10000000000 Jahren verringert sich auf diesem Wege die Sonnenmasse um ganze 0,07 %. Der ständige Nachschub an Strahlungsenergie erfolgt, wie gesagt, aus dem Kerngebiet der Sonne. Bei den dort herrschenden extremen Temperaturen laufen kernphysikalische Prozesse ab, die auf dem Wege der Verschmelzung von Wasserstoff-Atomkernen zu Helium gewaltige Energiemengen frei machen. Die Sonne ist somit ein einziger gigantischer „Atomofen“.

Da wir nun keine Sonnenspezialisten werden wollen, brauchen wir uns auch nicht in allen Einzelheiten mit den vielfältigen Erscheinungen und Vorgängen in ihren verschiedenen Schichten zu befassen. Erwähnt werden soll jedoch, daß bei den einschlägigen Untersuchungen vor allem die Verfahren der Spektralanalyse die Hauptrolle spielen. So kann man unter anderem bei Sonnenfinsternissen mit Hilfe eines kurz vor der Totalität auf den Sonnenrand gerichteten Spektroskops noch eine weitere Gashülle der Sonne beobachten. Sie ist sonst nicht zu erkennen und wird von den Astronomen als „Chromosphäre“ („Farbhülle“) bezeichnet, weil sie für das bloße Auge eine charakteristische Rotfärbung zeigt. Sie ist mit 10000 km Höhe zwar viel dicker als die Photosphäre, aber ihre wesentlich geringere Dichte läßt sie unter Normalbedingungen unsichtbar bleiben.

Die Chromosphäre bildet dann das Übergangsgebiet zur sogenannten „Sonnenkorona“, die als eindrucksvoller silberschimmernder Strahlenkranz (daher „Korona“ == Krone) in ihrer vollen Schönheit ebenfalls nur bei Sonnen-

finsternissen zu beobachten ist. In ihr liegen die Dichten ganz extrem niedrig, mit einem allmählichen Übergang zum interplanetaren Gas. Charakteristisch für die Korona ist ihre Zusammensetzung aus einem Gemisch elektrisch geladener Elementarteilchen (Elektronen, Atomreste, Kernbausteine), das vom Physiker als „Plasma“ bezeichnet wird. Die Teilchen dieses Korona-Plasmas befinden sich in einem Anregungszustand, der einer Temperatur von rund 1000000 °K entspricht. Die Anregungsenergie wird von der aus dem Sonneninneren kommenden Strahlung und von in tiefer gelegenen Gebieten erzeugten Stoßwellen geliefert. Die Erforschung der Sonnenkorona ist wegen des außerordentlichen Interesses, das man heute allgemein der Plasmaphysik entgegenbringt, ein sehr wichtiges Teilgebiet der modernen physikalischen Forschung. Besonders zu den Fragen einer Energieerzeugung durch Kernfusionsprozesse werden auf dem Weg über die Sonnenkorona zahlreiche bedeutsame Antworten zu gewinnen sein.

Wenn wir hier einmal für einen Augenblick abschweifen und daran denken, daß ja schließlich die vollendete Lösung des Energieproblems auf der Erde mit absoluter Sicherheit nur über die Beherrschung gesteuerter Kernfusionsprozesse gefunden werden kann, so läßt sich für unsere Betrachtungen noch eine ganz besondere Konsequenz daraus ableiten. Die genaue Erforschung eines jeden auf der Sonne ablaufenden Prozesses, also auch der Vorgänge in der Korona, bildet voraussetzungsgemäß einen wichtigen Beitrag zur Lösung des Energieproblems auf der Erde. Immerhin ist ja die Sonne ein „Atomofen“, wie ihn die Physiker sicher gern im Kleinstmaßstab zur Verfügung hätten. Andererseits stoßen aber die Sonnenphysiker bei ihren Untersuchungen immer wieder auf Hindernisse, die auf die Filterwirkung der Erdatmosphäre zurückgehen. Es wäre also zweifellos von allergrößtem Wert, Beobachtungs- und Meßgeräte der Sonnenforschung über die Atmosphäre hinauszutragen. Die ersten Ansätze dazu mit Höhenraketen und Meßsatelliten liegen schon vor, und zwar vornehmlich auf dem Gebiet der Strahlungsmessung.

Daneben erwachsen durch die Möglichkeiten der Astronautik aber noch ganz andere, für die Sonnenforschung geradezu sensationelle Perspektiven. Wenn man auch kaum jemals wird daran denken können, bemannte Raumlaboratorien bis in den Bereich der Sonnenkorona hinein zu entsenden, so steht einem solchen Verfahren mit unbemannten und zweckentsprechend ausgerüsteten Raumsonden absolut nichts im Wege. Schwierig wird es natürlich in jedem Fall sein, die eingebauten Meßgeräte gegen unerwünschte Temperatur- und anderweitige Strahlungseinflüsse so lange zu schützen, bis sie ihren Meßraum erreicht haben. Dieser würde in Gestalt der Sonnenkorona nur einige Millionen Kilometer über der photosphärischen Oberfläche der Sonne liegen, wo allein schon die Temperaturstrahlung so ungeheuer stark wäre, daß man sich gegenwärtig kaum einen hinreichenden Schutz für technische Geräte vorstellen kann. Aber die Wissenschaftler sind ja außerordentlich erfinderisch, so daß sie es eines Tages auch fertigbekommen werden, direkt in der Sonnenkorona oder zumindest im extrem sonnennahen Raum Messungen vorzunehmen.

Neben der Wellenstrahlung im Bereich des Lichts und aus den anschließenden Gebieten des Ultraviolett, der Röntgenstrahlung sowie des Infrarot sendet die Sonne auch noch eine radiofrequente Wellenstrahlung, allgemein als „Radiostrahlung“ bezeichnet, aus. Der Wellenlängenbereich dieser erstmalig 1942 beobachteten Strahlung reicht von etwa 0,01 bis rund 20 m. Die Intensität der Radiostrahlung ist gegenüber der optischen Strahlung nur sehr gering, aber mit modernen, hochempfindlichen Empfangsanlagen (Radioteleskope) läßt sie sich trotzdem sehr genau untersuchen. Die interessanteste Feststellung bei der Beobachtung der solaren Radiostrahlung war die, daß sie gegenüber der praktisch konstanten optischen Strahlung recht starken Schwankungen unterworfen ist. Wie man inzwischen festgestellt hat, spiegelt sich gerade in diesen Schwankungen das turbulente Geschehen in dem „Atomofen“ Sonne besonders ausgeprägt wider. Die Beobachtung der solaren

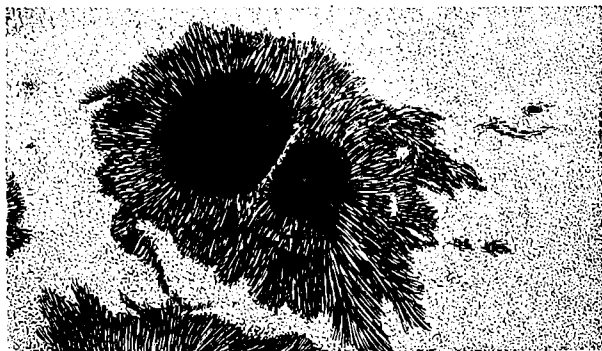
Radiostrahlung ist damit zu einem wichtigen Hilfsmittel der Sonnenphysiker geworden. Allerdings sind zur Zeit noch viele Probleme auf diesem so jungen astrophysikalischen Gebiet ungeklärt, so daß wir Einzelheiten nicht weiter nachzuspüren brauchen.

Außer der Strahlung des elektromagnetischen Spektrums ist aber noch eine andere Art von solarer Strahlung zu beobachten. Es handelt sich dabei um eine „Teilchenstrahlung“, so genannt, weil sie aus einem Strom mehr oder weniger schnell fliegender Atomteilchen besteht. Die solare Teilchenstrahlung setzt sich zum überwiegenden Teil aus Elektronen und Protonen (Kerne des Wasserstoffatoms) zusammen. Interessant ist nun, daß diese Teilchenstrahlungen in Wolken oder ziemlich stark gebündelten Strömen von der Sonne ausgestoßen werden, die dann mit Geschwindigkeiten zwischen 100 bis 2000 m/s weiter durch den Raum eilen. Die Herkunftsgebiete dieser Strahlungsausbrüche lassen sich zur Zeit noch nicht exakt festlegen. Es steht jedoch fest, daß auch sie ein Ausdruck der allgemeinen stürmischen Vorgänge in der Sonne sind, deren vielfältige äußere Erscheinungsformen man unter dem Begriff „Sonnenaktivität“ zusammenfaßt. Die Rückwirkungen solarer Teilchenausbrüche lassen sich besonders gut auf der Erde beobachten. Trifft ein solcher Teilchenstrom die Erde, so ruft er stürmische Änderungen des Erdmagnetfeldes hervor und erzeugt in der Hochatmosphäre Polarlichter. Diese Einflüsse sind dann auch auf das engste mit Veränderungen in den sogenannten „Strahlungsgürteln“ der Erde verbunden, die erst durch den Einsatz von Meßsatelliten und Raumsonden vor wenigen Jahren entdeckt wurden. Wir sehen also wenigstens in einigen Andeutungen, wie weit die Verknüpfungen zwischen der Sonnenphysik und dem Geschehen im interplanetaren Raum sowie auf den Planeten gehen.

Wenn wir uns nun noch weiterhin darüber belehren lassen, daß es auch spontane Teilchenausbrüche aus der Sonne gibt, bei denen die ausgestoßenen Partikel Energien erhalten, die mit denen stärkster radioaktiver Strahlungen

vergleichbar sind, dann sehen wir jetzt auch ein, warum man nicht an Flüge zu den Planeten denken kann, ohne die Sonne zu beachten. Die Strahlungswirkung eines solchen Ausbruchs ist so intensiv, daß vorläufig kaum an einen hinreichenden Schutz für eine Raumschiffbesatzung zu denken ist. Man müßte also diesen Ausbrüchen aus dem Wege gehen können. Da man aber vorläufig noch nicht tief genug in die Geheimnisse der Sonnenphysik eingedrungen ist, um exakt sagen zu können, wann und wo auf der Sonne ein Strahlungsausbruch erfolgen wird, muß man auch aus diesen Gründen die Sonnenforschung stärkstens vorantreiben.

So ganz hilflos ist man heute in diesen Fragen jedoch nicht mehr. Die jahrzehntelangen modernen sonnenphysikalischen Arbeiten haben doch schon zahlreiche Früchte getragen. So schälen sich vor allem immer deutlicher einige grundlegende Elemente des vorhin schon erwähnten Begriffs „Sonnenaktivität“ heraus. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Entdeckung gewisser Periodizitäten im Ablauf einzelner Erscheinungen der Sonnenaktivität. Am längsten und sichersten bekannt ist die rund 11jährige Periode der berühmten „Sonnenflecken“. Wie man heute allgemein annimmt, handelt es



Sonnenfleck sind ein Ausdruck der allgemeinen Sonnenaktivität

sich dabei um Erscheinungen in der Photosphäre, bei deren Entstehung die von Störungen aus dem Sonneninneren erzeugten Magnetfelder die wesentlichste Rolle spielen. Die von den Sonnenflecken und anderen solaren Erscheinungen (Protuberanzen, Fackeln, Eruptionen usw.) widergespiegelten Periodizitäten im Sonnengeschehen lassen nun wenigstens in groben Zügen die Vorhersage von Zeiträumen zu, in denen die Gefährdung von Raumfahrern durch spontane Strahlungsausbrüche aus der Sonne am geringsten wäre. Es wird sich also für alle zukünftigen bemannten interplanetaren, aber auch schon für alle anderen Raumflüge als unbedingt notwendig erweisen, zumindest die Zeiten maximaler Sonnenaktivität zu meiden.

5. MERKUR UND VENUS —

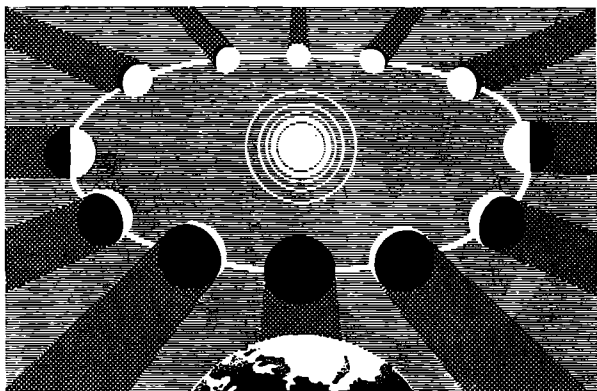
Zwischen Höllenglut und Tropenklima?

Vor einer allzu großen Annäherung an die Sonne hat man uns also hinreichend gewarnt. Aber wie steht es nun mit dem sonnennächsten Planeten, dem Merkur? — Kann man daran denken, sich einmal mit einem Raumschiff dorthin zu begeben? — Ehe wir uns auf ein so kühnes Wagnis einlassen, sollten wir wohl doch lieber erst einen Blick in unseren Planeten-Reiseprospekt werfen.

Da erfahren wir zunächst, daß der Merkur mit rund 58 Millionen Kilometer mittlerer Sonnenentfernung nur etwa ein Drittel des Abstandes Sonne–Erde von dem gewaltigen „Atomofen“ entfernt ist. Da seine Umlaufbahn, die er in rund 88 Tagen einmal durchläuft, verhältnismäßig stark elliptisch ist, schwankt seine Entfernung von der Sonne zwischen 0,307 AE (Astronomische Einheiten) und 0,466 AE. Seine mittlere Bahngeschwindigkeit beträgt 47,9 km/s und ist die größte aller Planeten. Die Ebene seiner Umlaufbahn ist gegen die Erdbahnebene (Ekliptik) um 7° geneigt.

Die Bedingungen für die Beobachtung des Merkur von der Erde aus sind nicht sehr günstig. Da er innerhalb der Erdbahn um die Sonne läuft und außerdem einen so geringen Sonnenabstand besitzt, kann er sich, von der Erde aus gesehen, nur höchstens 27° westlich oder östlich von der Sonne entfernen. Zwischen diesen beiden „Elongationen“ liegen dann die „obere“ und die „untere Konjunktion“. Die obere Konjunktion erreicht der Merkur, indem er sozusagen „hinter“ der Sonne durchläuft, während er bei der unteren Konjunktion den Raum zwischen Sonne und Erde passiert. Durch diesen Bewegungsablauf und weil der Merkur ja ein an sich dunkler Körper ist, zeigt er im Fernrohr Lichtgestalten oder „Phasen“ wie der Mond. Leider erreicht er also gerade dann seinen größten scheinbaren Durchmesser, wenn er uns seine unbeleuchtete Hälfte zuwendet, während er als vollbeleuchtete Scheibe nur jenseits der Sonne zu sehen ist, wobei sein Durchmesser auf ein

Drittel zurückgegangen ist, die im Vordergrund stehende hellstrahlende Sonne aber sowieso kaum eine Beobachtung ermöglicht. Selbst in den Elongationen, wo er also kurz nach Sonnenuntergang oder kurz vor Sonnenaufgang am



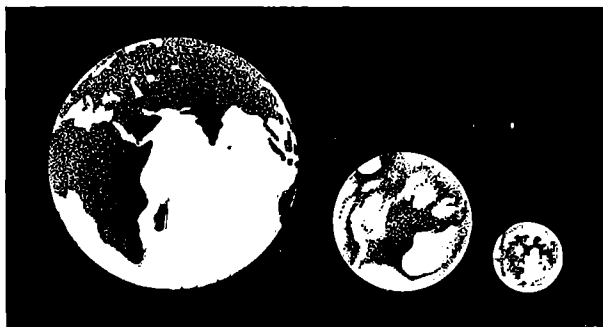
Ein „innerer“ Planet zeigt ähnliche Beleuchtungsphasen wie der Mond

Dämmerungshimmel zu sehen sein müßte, wird man ihn in unseren dunstgeschwängerten Horizontbereichen immer nur mit Mühe und mit wenig Aussicht auf wissenschaftlichen Erfolg beobachten können.

Übrigens noch schnell eine Bemerkung zum Prinzip der Umlaufbewegungen im Planetensystem. Da alle großen Planeten und auch die überwiegende Mehrzahl der außerdem vorhandenen Kleinkörper die gleiche Umlaufrichtung um die Sonne haben, nennt man diese Bewegungsrichtung „rechtläufig“. Vereinbarungsgemäß blickt man für alle diesbezüglichen Beschreibungen vom Nordhimmel auf die Ebenen der Planetenbahnen herunter. Dann erscheint diese rechtläufige Bewegung als Umlaufrichtung entgegengesetzt zur Bewegung der Uhrzeiger. Die Umlaufrichtung im Uhrzeigersinn wird dann als „rückläufig“ bezeichnet. Diese Hinweise sind wichtig zum Verständnis aller zeich-

nerischen Darstellungen von Umlaufbewegungen um die Erde oder die Sonne.

Wegen der großen Schwierigkeiten bei der Beobachtung des Merkur sind auch die Angaben über seine wahre Größe und Masse immer noch ziemlich unsicher. Als besten Wert für seinen Durchmesser hat man 4840 km erhalten,



Größenvergleich von Erde, Merkur und Mond

das ist etwas mehr als ein Drittel des Äquatordurchmessers der Erde. Merkur ist somit ein recht kleiner Weltkörper. Das prägt sich auch in seiner Masse aus, die kaum mehr als 5% der Erdmasse erreicht, obwohl seine Dichte mit $5,3 \text{ g/cm}^3$ nach der Erde die zweitgrößte aller Planeten ist. Astronautisch wäre natürlich sehr interessant, daß die Schwerkraft an seiner Oberfläche ebenfalls nur den dritten Teil der Schwerkraft an der Erdoberfläche beträgt. Aus anderen Gründen dürfte jedoch ein Besuch des Merkur kaum zu empfehlen sein.

Wenn wir auch nicht zu befürchten brauchen, daß uns die Temperatur- und Strahlungseinflüsse der Sonne schon auf dem Wege zum Merkur eine unüberwindbare Grenze entgegenzusetzen würden -- auf dem Merkur selbst liegen die Verhältnisse dafür um so ungünstiger. Wie die Beobachtung einiger mühsam auf seiner Oberfläche erkennbarer grober Einzelheiten vermuten läßt, zeigt Merkur eine sogenannte

„gebundene“ Rotation. Das heißt, er wendet bei seinem Umlauf der Sonne immer die gleiche Seite zu, ähnlich wie der Mond der Erde gegenüber auch eine gebundene Rotation zeigt. Die andauernde starke Sonneneinstrahlung heizt nun die „Tagseite“ des Merkur ganz enorm auf. Einige Untersuchungen haben gezeigt, daß die Temperatur auf dieser Hälfte des Planeten etwa bei 350 bis 400 °C liegen dürfte. Metalle wie Zinn und Blei wären bei diesen Temperaturen dauernd flüssig, und Quecksilber würde verdampfen! — Also eine recht wenig einladende Gegend. Auf der „Nachtseite“ des Merkur ist es aber auch nicht viel angenehmer. Dort hat die dauernde Ausstrahlung in den Weltraum zu Temperaturen unterhalb von — 200 °C geführt.

Diese einmaligen Temperaturverhältnisse an einer Planetenoberfläche werden noch dadurch beeinflußt, daß Merkur keine dichtere Atmosphäre besitzt. Wie A. DOLLEUSS auf dem Pic-du-Midi-Observatorium festgestellt hat, würde die Merkuratmosphäre bei ähnlicher Zusammensetzung nur 0,003 der Dichte der Erdatmosphäre haben können. Die Bildung einer dichteren Atmosphäre wird einmal durch die geringe Schwerkraft an der Merkuroberfläche, zum anderen aber auch durch die einseitig hohe Temperatur verhindert. Trotzdem man also, fast wie beim Mond, die Merkuroberfläche ohne zusätzliche Atmosphärentrübungen beobachten kann, ist die Ausbeute bisher denkbar gering. Abgesehen von dem schon erwähnten groben Detail einiger dunkler und hellerer Gebiete ist nicht viel mehr herausgekommen. Da auch die Rückstrahlungsfähigkeit der Merkuroberfläche im sichtbaren Bereich, der Astronom nennt dies die „Albedo“, nur etwa 6% im Mittel beträgt, läßt dies den Schluß zu, daß Merkur eine Oberflächenbeschaffenheit wie der Mond (Albedo 0,07) haben dürfte.

Während so auf dem sonnennächsten Planeten, genauer auf seiner sonnenbeschienenen Seite noch geradezu „höllische“ Temperaturen herrschen, lassen sich die Verhältnisse auf dem nachfolgenden Planeten Venus offensichtlich doch schon etwas günstiger an. Seine mittlere Entfernung von

der Sonne beläuft sich auf rund 108 Millionen Kilometer (0,723 AE) und ergibt schon deswegen eine viel geringere Strahlungsaufnahme von der Sonne. Seine Bahn ist die kreisähnlichste von allen Planeten und um etwa $3,4^\circ$ gegen die Erdbahnebene geneigt. Einen Umlauf um die Sonne vollzieht er in 224,7 Tagen mit einer mittleren Geschwindigkeit von 35,05 km/s.

In ihrer unteren Konjunktion kann sich die Venus der Erde so weit nähern wie kein anderer großer Planet des Sonnensystems, nämlich bis auf etwa 40 Millionen Kilometer. Leider gilt dann aber auch für sie das schon beim Merkur Gesagte: sie wendet uns ihre dunkle Hälfte zu. In den Elongationen kann die Venus dafür bis zu 47° westlichen oder östlichen Abstand von der Sonne erreichen und überstrahlt dann als heller „Morgen“- bzw. „Abendstern“, mit Ausnahme von Sonne und Mond natürlich, alle anderen Gestirne unseres Himmels. Unter günstigen atmosphärischen Bedingungen und bei genauer Kenntnis ihres Ortes am Himmel kann man die Venus zu diesen Zeiten sogar mit bloßem Auge am Tageshimmel finden. Genau wie Merkur zeigt auch Venus bei ihrem Bewegungsspiel einen Phasenwechsel.

Übrigens spielten die Venusphasen im Kampf um die Anerkennung des heliozentrischen Weltbildes (KOPERNIKUS) eine wichtige Rolle. Da nach KOPERNIKUS alle Planeten als dunkle Körper um die im Zentrum des Systems stehende Sonne laufen sollten, sagte er als logische Folgerung für die „inneren“ Planeten Venus und Merkur auch einen Phasenwechsel voraus. Die Richtigkeit dieser Vorhersage konnte aber erst GALILEI bestätigen, der als erster ein Fernrohr auf die Venus richtete.

Im Fernrohr bietet Venus zwischen unterer Konjunktion und den beiden Elongationen einen immer wieder reizvollen Anblick. Die in diesem Zeitraum besonders geringe Entfernung Venus–Erde läßt, in Verbindung mit dem relativ großen wahren Durchmesser der Venus von 12400 km (Erde = 12 756 km), ein auch in kleineren Fernrohren außerordentlich eindrucksvolles Bild der sichelförmigen

Phasen des Planeten entstehen. Erde und Venus sind sich aber nicht nur hinsichtlich des Durchmessers einigermaßen ähnlich, auch Masse und Dichte unterscheiden sich nicht allzu stark. So beträgt die Venusmasse 0,815 Erdmassen, während die mittlere Dichte mit $4,95 \text{ g/cm}^3$ auch nur um $0,57 \text{ g/cm}^3$ kleiner ist als die der Erde. In astronautischer Hinsicht wären damit die Verhältnisse an der Venusoberfläche weitgehend mit der Erde vergleichbar, denn die Schwerkraft beträgt ungefähr 86% der Schwerewirkung an der Erdoberfläche. Damit ergibt sich für die Venus die „1. astronautische Geschwindigkeit“ (Kreisbahngeschwindigkeit in Oberflächennähe; Erde = $7,9 \text{ km/s}$) zu $7,3 \text{ km/s}$ und die „Fluchtgeschwindigkeit“ (Erde = $11,2 \text{ km/s}$) zu $10,33 \text{ km/s}$.

Sicher kann man schon heute die Venus als den vielleicht interessantesten und wichtigsten Zielplaneten für zukünftige bemannte Raumflüge bezeichnen. Zwei Gründe greifen dabei ineinander. Einmal ist sie der einzige Planet mit so erdähnlichen physikalischen Daten und einem so günstigen Platz im Strahlungsfeld der Sonne; die Einstrahlung ist zwar stärker als auf der Erde, aber längst noch nicht als extrem zu bezeichnen. Zum anderen sind die Geheimnisse ihrer Oberfläche bis zum heutigen Tage in einen nahezu undurchdringlichen Schleier der Verborgenheit gehüllt. Dieser Schleier ist sogar wörtlich zu nehmen, denn die Venus besitzt nicht nur wie die Erde eine dichte Atmosphäre (Lomonossow beschrieb sie als erster); diese Atmosphäre ist vielmehr so stark mit dichten Wolken angereichert, daß es bisher noch keinem einzigen Astronomen gelang, Teile der eigentlichen Venusoberfläche zu sehen. Im Fernrohr sieht man also nur die oberen Schichten der Venus-Wolkenhülle, die das Sonnenlicht außerordentlich stark reflektieren (Albedo 0,61) und so zu der großen Helligkeit des Morgen- und Abendsterns wesentlich beitragen.

Über die chemische Zusammensetzung der Venusatmosphäre ergeben die bisherigen Untersuchungen auch nur ein wenig befriedigendes Bild. Zwar konnte man aus zusätzlichen Absorptionslinien, die im Spektrum des re-

flektierten Sonnenlichtes zu beobachten sind und die nur von den Gasen oberhalb der dichten Venuswolken stammen können, auf einen außerordentlich starken Anteil an Kohlendioxyd (CO_2) schließen. Ob aber auch Sauerstoff und Wasserdampf vorhanden sind, konnte auf diesem Wege noch nicht hinreichend geklärt werden. Über die Zusammensetzung der dichten Wolken gibt es dagegen vorläufig nur Vermutungen. Ältere Ansichten wollten in ihnen Gebilde aus CO_2 -Kristallen sehen, während man sie später auch für aufgewirbelten Venusstaub hielt, was dann allerdings schon zu konkreten Vorstellungen über die Struktur der Venusoberfläche zwang, für die es eigentlich nicht die geringsten Anhaltspunkte gibt. Daneben machte auch eine andere Hypothese viel von sich reden, die in den Wolken Kondensationen aus komplizierten chemischen Verbindungen (Formaldehyd) sah. In neuerer Zeit scheint sich jedoch auf Grund weiter spezialisierter Analysemethoden die Meinung durchzusetzen, daß die Venuswolken ebenso aus kondensiertem Wasser bestehen wie die Wolken auf der Erde.

Neben diesem eigentlich recht mageren Befund über die Venusatmosphäre erscheinen in den Fachberichten noch andere Hinweise, die zweifellos interessant sind. So beobachtete man schon seit längerem immer wieder, wenn die Venus in der Nähe der unteren Konjunktion stand, auf ihrer „Nachtseite“ eine ähnliche Erscheinung, wie wir sie vom Mond her kennen. Der dunkle Teil der Venuskugel erschien nämlich deutlich aufgehellt, so wie wir es manchmal an der schmalen Mondsichel vor oder nach Neumond erkennen können. Während aber das „aschfarbene“ Licht des Mondes seine Entstehung dem von der beleuchteten Erde reflektierten Sonnenlicht verdankt, scheinen die Verhältnisse für die Venus doch anders zu liegen. 1954 photographierte der sowjetische Astronom Kosyrew das Spektrum der Venus-Nachtseite. Er fand darin Spektrallinien, die er zum größten Teil dem Stickstoff (N_2) zuschrieb. Seine Feststellungen konnten inzwischen bestätigt werden. Ob es sich nun bei diesen Aufhellungen der dunklen Venus-

atmosphäre um ähnliche Erscheinungen wie die Polarlichter in der Erdatmosphäre oder um sogenanntes normales „Nachthimmelleuchten“ handelt, mußte bisher offen bleiben.

Wie schon angedeutet, befindet man sich mit den Antworten auf die Frage nach der Struktur der Venusoberfläche heute noch weitgehend im Bereich der Spekulation. Ob also künftige Raumfahrer auf der Venus neben dem Festland auch große Ozeane oder nur eine trockene wüstenartige Oberfläche vorfinden oder ob es dort eine Urweltvegetation in einem Super-Tropenklima gibt oder ob beides



Auch eine „Karbonwelt“ mit Sauriern gehört schon zu den vielfältigen Spekulationen über die Verhältnisse auf der Venus

anzutreffen ist, bleibt vorläufig noch im Dunkel kosmischer Geheimnisse. Als sicher darf jedoch gelten, daß eine Klärung dieser Fragen von epochaler Bedeutung für das Problem der Entwicklung im Weltall sein wird. Immerhin besteht die nicht unbegründete Ansicht, daß sich auf der Venus vielleicht doch einige Voraussetzungen für die Entstehung organischen Lebens ergeben haben. Hier könnte also die

Wissenschaft tief in zahllose Rätsel des Naturgeschehens eindringen.

Die Spekulationen über die Verhältnisse an der Venusoberfläche erhalten nun noch eine bescheidene Untermauerung durch Untersuchungen, die sich einmal mit der Frage nach der Rotationsdauer des Planeten und zum anderen mit den Temperaturen an seiner Oberfläche beschäftigen. Es ist leicht einzusehen, daß beide Fragen miteinander verknüpft sind, denn von der Rotationsdauer hängt auch das Verhältnis von Einstrahlung (Sonne) und Ausstrahlung weitgehend ab. Hinzu käme noch ein gewisser „Treibhauseffekt“ durch den starken CO_2 -Gehalt der Atmosphäre, der die Ausstrahlung von Wärme erheblich unterdrückt.

Aber in der Praxis ergeben sich auch hier wieder zahlreiche Widersprüche. Nach einigen Untersuchungen (Infrarotstrahlung der Venus) ergeben sich Maximaltemperaturen bis zu etwa 150°C , während Messungen der Radiostrahlung des Planeten zu Temperaturen um 300°C führten. Würden die zuletzt genannten Werte für die Oberfläche der Venus gelten, was sehr wahrscheinlich ist, so würde dies natürlich so mancher allzu optimistischen Spekulation über die Verhältnisse auf der Venus ein Ende bereiten. Leider läßt die Strukturarmut der Venuswolken keine Ergänzung dieser Ergebnisse durch genaue Bestimmung der Rotationsverhältnisse zu. Neuerdings scheinen einige Untersuchungen dafür zu sprechen, daß die Venus zumindest langsamer als die Erde rotiert, mit einer Rotationsperiode von vielleicht einigen wenigen Wochen. Als Neigung des Venusäquators gegen die Venusbahn glaubt man mit 32° einen der Wirklichkeit vielleicht nahekommenden Wert gefunden zu haben.

Alles in allem läßt sich also sagen, daß der Planet Venus zweifellos als Ziel astronautischer Unternehmungen eine hervorragende Rolle spielen dürfte. Einmal, weil die bisherigen Methoden zu seiner Erforschung kaum noch Aussichten auf eine Erweiterung der Erkenntnisse eröffnen. Darüber hinaus jedoch verspricht gerade die Venus zahlreiche neue und bis zu einem gewissen Grade vielleicht sogar sensationelle Einsichten in das Naturgeschehen.

Einen ersten tastenden Schritt zur Venus hat die Astronautik schon getan. Am 12. Februar 1961 starteten sowjetische Raumfahrtspezialisten zum erstenmal eine gezielte Planeten-sonde, die den Nahbereich der Venus zum Ziel hatte. Die größte Annäherung zwischen Sonde und Planet fand dann, nach den Berechnungen aus den Bahnpositionen nach dem Abflug von einem Startsatelliten, in der Zeit vom 19./20. Mai statt und brachte die automatische Raumsonde dem Planeten bis auf etwa 100000 km nahe. In Anbetracht der enormen steuerungs- und lenktechnischen Schwierigkeiten eines solchen Unternehmens ist das ein großartiges Ergebnis. Dabei betrug die wissenschaftliche Nutzmasse der Venus-sonde immerhin 643,5 kg und umfaßte ein recht umfangreiches wissenschaftliches Instrumentarium, chemische Stromquellen und ein kompliziertes funktechnisches Übertragungssystem. Leider ließ eine später eingetretene Störung, deren Ursache bisher unbekannt blieb, die Funkverbindung mit der Raumsonde abreißen, so daß dieses hochinteressante Experiment nicht zum vorgesehenen Abschluß gebracht werden konnte. Aber in dieser sowjetischen Venussonde haben wir doch immerhin den Prototyp zukünftiger Planetenaufklärer vor uns, die uns nun weiter in Gedanken durch das Planetensystem führen sollen.

6. MARS — *Immer noch voller Rätsel*

Sicher waren die Anregungen, die schon von den spärlichen Informationen unseres kleinen Reiseführers zu phantasievollen Spekulationen über die Beschaffenheit der Welt der Venus ausgingen, nicht gering. Schmunzelnd zeigen uns die freundlichen Berater in unserem „Reisebüro“ auch noch so manches Büchlein aus ihrer reichhaltigen Bibliothek, in dem sich besonders phantasiebegabte Autoren auf mehr oder weniger wissenschaftlicher Grundlage mit ausführlichen Schilderungen der Verhältnisse auf unserem sonnennäheren Nachbarplaneten beschäftigen. Aber gleich an diese spezielle Schriftenreihe schließt sich nun eine andere an, die an Länge ihre Nachbarin um ein Mehrfaches übertrifft und in deren Titeln oder Inhalt ein Planet die Hauptrolle spielt, der schon seit Jahrzehnten geradezu zum Inbegriff aller abenteuerlichen Entdeckungen und Erlebnisse auf einem fremden Himmelskörper geworden ist. Es ist der rötlich leuchtende Planet Mars, der durch die Rätsel, die er in vielen Punkten der Wissenschaft auch heute noch aufgibt, immer wieder besonderen Anlaß bietet, die Phantasie zu strapazieren. Wenn man sich etwas eingehender vom wissenschaftlichen Standpunkt aus mit diesem interessanten Himmelskörper beschäftigt, muß man schon zugeben, daß er wirklich nicht wenig Anlaß zu phantasievollen Spekulationen gibt.

Sehen wir uns zunächst einmal seinen „Steckbrief“ in unserem Reiseprospekt näher an. Da erfahren wir, daß der Mars als der erste der sogenannten „äußeren“ Planeten eine mittlere Sonnenentfernung von 228 Millionen Kilometer (1,52 AE) besitzt. Eine wichtige Schlußfolgerung wollen wir daraus sofort ziehen. Die Intensität der solaren Licht- und Wärmestrahlung muß natürlich auf Grund des rund 50% größeren Sonnenabstandes für Mars wesentlich geringer als für die Erde sein. Da die Marsbahn verhältnismäßig stark elliptisch ist, kann sich der Planet im Perihel der Sonne bis auf etwa 1,38 AE nähern, während er im Aphel

bis auf etwa 1,67 AE von der Sonne fortrückt. Damit ändern sich also auch die Einstrahlungsverhältnisse für Mars innerhalb eines Umlaufes um die Sonne in merklichen Grenzen. Seine Umlaufzeit beträgt 1,88 Erdjahre und die mittlere Bahngeschwindigkeit 24,14 km/s.

Wenn man Mars von der Erde aus beobachtet, so besteht zunächst der Unterschied zu Venus und Merkur vor allem darin, daß er auch am dunklen Nachthimmel zu sehen ist. Das tritt immer dann ein, wenn die Erde sozusagen zwischen Sonne und Mars auf der „Innenbahn“ durchläuft. Dabei gibt es einen Zeitpunkt, an dem die Erde (von der Bahnneigung abgesehen) die Verbindungslinie Sonne-Mars passiert.

Von der Erde aus betrachtet steht dann der Mars der Sonne am Himmel gegenüber, das heißt in „Opposition“. Es ist leicht einzusehen, daß die Beobachtungsbedingungen in der Nähe der Oppositionsstellung besonders günstig sind, weil Mars zu dieser Zeit seine größte Höhe über dem Horizont etwa um Mitternacht erreicht und weil die Entfernung Erde-Mars auf einen Minimalwert absinkt. Diese Zusammenhänge sind selbstverständlich für alle äußeren Planeten gültig.

Für Mars ergeben sich jedoch aus der schon erwähnten stark elliptischen Form seiner Umlaufbahn noch ganz besondere Verhältnisse für die Beobachtungsbedingungen in verschiedenen Oppositionen. So kann sich einmal die Entfernung Erde-Mars während einer sogenannten „Perihel-Opposition“, wenn sich Mars also gerade etwa in der Nähe des sonnennächsten Punktes seiner Bahn befindet, auf rund 55 Millionen Kilometer reduzieren. Fällt aber die Opposition gerade auf eine Zeit, in der sich der Planet im sonnenfernsten Abschnitt seiner Bahn bewegt, so verbleiben immerhin noch rund 100 Millionen Kilometer zwischen Erde und Mars. Es ist klar, daß die Marsspezialisten unter den Astronomen immer wieder mit besonderer Spannung auf die nächste Perihel-Opposition warten, da dann der Mars im Fernrohr fast doppelt so groß erscheint als zu Zeiten der ungünstigsten Oppositionen. Leider folgen

aber die günstigsten Oppositionen in einem Abstand von 16 Jahren aufeinander, so daß sich die Wissenschaftler viele Jahre auch mit weniger guten Voraussetzungen in der Beobachtung des Mars zufrieden geben müssen. Die letzte angenäherte Perihel-*Opposition* fand übrigens 1956 statt, während die nächste nun erst 1971 zu erwarten ist. Aus einer Tabelle unseres Reiseprospektes können wir die Änderungen des Abstandes Erde-Mars für die dazwischenliegenden *Oppositionen* ersehen.

Bei diesen Erläuterungen zu den Erscheinungen des Marsumlaufes ist uns auch längst klargeworden, daß der Hauptvorteil bei der Beobachtung der äußeren Planeten einfach darin besteht, sie immer dann als vollbeleuchtete Scheibe im Fernrohr zu sehen, wenn sie den größten scheinbaren Durchmesser besitzen. Einen so krassen Phasenwechsel wie die inneren Planeten vermögen sie ja gar nicht zu zeigen; lediglich wenn der Winkel Sonne-Planet-Erde seine größten Werte erreicht, sieht die Planetenscheibe etwa so aus, wie der Mond kurz vor oder nach der Phase des Vollmondes.

Wie wir nun dem „Steckbrief“ des Mars weiter entnehmen können, ist dieser Planet beträchtlich kleiner als die Erde. Sein Durchmesser beträgt am Äquator nur 6800 km, während der Polardurchmesser noch 35 km kürzer ist. Die Ab-



Größenvergleich von Erde, Mars und Mond

plattung des Mars ist damit größer als die der Erde. Dafür ist aber die mittlere Dichte des Marskörpers mit $3,95 \text{ g/cm}^3$ merklich kleiner als die mittlere Erddichte. Selbstverständlich kann dann auch die Masse des Mars nicht im entferntesten die Erdmasse erreichen. Erst aus der Substanz von etwa 10 Marskugeln könnte man einen Körper von der Masse der Erde aufbauen. Natürlich interessieren uns im Hinblick auf kommende Marsexpeditionen auch hier wieder die Schwerkraftverhältnisse an der Marsoberfläche. Sie liegen außerordentlich günstig und würden für künftige Raumfahrer nur knapp mehr als ein Drittel ihres irdischen Gewichts spürbar werden lassen. Als Kreisbahn- und Fluchtgeschwindigkeit ergeben sich so erfreuliche Werte wie $3,6 \text{ km/s}$ bzw. $5,0 \text{ km/s}$. Der Energieaufwand für einen Rückflug ab Marsoberfläche wird damit so niedrig, wie für keinen anderen „lohnenden“ Zielplaneten des Sonnensystems.

Die Rotationsdauer des Mars ist mit außerordentlich großer Genauigkeit bekannt. Sie beträgt 24 Stunden 37 Minuten und 23 Sekunden und ist damit nur rund 41 Minuten länger als die Rotationsperiode der Erde. Eine weitere große Ähnlichkeit zur Erde ergibt sich dadurch, daß die Rotationsachse des Mars in einem Winkel von $25^\circ,2$ zur Senkrechten auf seiner Bahn steht. Für unsere Erde beträgt dieser Winkel bekanntlich $23^\circ,5$. Auch hier wollen wir wieder gleich eine wichtige Schlußfolgerung aus diesem Tatbestand ziehen. Wenn wir uns nämlich daran erinnern, daß es ja diese schräge Stellung der Erdachse ist, der wir die Erscheinung der „Jahreszeiten“ verdanken, dann wird uns nun auch klar, daß es auch auf dem Mars eine Folge von Zeiten mit starker und schwacher Sonneneinstrahlung für seine beiden Halbkugeln geben muß. Dabei hat die Nordhalbkugel immer dann „Sommer“ (hoher Sonnenstand über dem Horizont, starke Einstrahlung), wenn auf der Südhalbkugel „Winter“ (niedriger Sonnenstand, geringste Einstrahlung) herrscht und umgekehrt. Erinnern wir uns daran, daß das „Marsjahr“ (ein voller Umlauf um die Sonne) etwa doppelt so lang ist wie ein Erdjahr, dann sind natür-

lich auch die einzelnen „Jahreszeiten“ auf dem Mars jeweils etwa doppelt so lang wie die äquivalenten Erscheinungen auf der Erde. Mit dem Wechselspiel der Marsjahreszeiten werden wir noch in einem anderen, hochinteressanten Zusammenhang zu tun bekommen.

Daß man heute schon, also ohne auf dem Mars gewesen zu sein, so gut über die Rotationsverhältnisse des Planeten orientiert ist, verdanken wir der außerordentlichen Durchsichtigkeit seiner Atmosphäre. Auf seiner festen Oberfläche lassen sich nämlich mit großer Deutlichkeit und damit auch Sicherheit festumrissene Gebilde beobachten, deren wiederholte Passage durch die Mitte der Planetenscheibe die Dauer der Rotation abzuleiten gestattet. Da wir nun um die Bedeutung einer Planetenatmosphäre von unseren Erfahrungen auf der Erde her wissen, wollen wir uns auch etwas näher mit der Marsatmosphäre befassen.

Wie wir schon erfahren haben, ist die Marsatmosphäre sehr durchsichtig. Der Hauptgrund dafür liegt in ihrer geringen Dichte. Vergessen wir nicht, daß der Mars eine viel kleinere Anziehungskraft hat als die Erde. Er kann somit die beweglichen Moleküle und Atome einer Gashülle nicht so gut festhalten und an seiner Oberfläche zusammendrücken wie unser Heimatplanet. Daher erreicht die Dichte der Marsatmosphäre an der Planetenoberfläche nur rund 8% der Atmosphärendichte an der Erdoberfläche. Ein auf dem Mars aufgestelltes Barometer würde also etwa Werte um 60 Torr anzeigen, gegen 760 Torr unter Normalbedingungen auf der Erde. Trotz des großen Unterschiedes in den bodennahen Regionen ist die Marsatmosphäre in ihrer Höhenausdehnung mit der der Erde vergleichbar. Das kommt daher, daß beim Mars wegen der geringen Anziehungskraft die Luftdichte mit der Höhe langsamer abnimmt als bei uns. Nach neueren Untersuchungen ist die Dichte der Marsatmosphäre unterhalb von etwa 30 km Höhe kleiner, darüber aber größer als die der Erdatmosphäre.

Ein Eindruck von der Gesamthöhe der Marsatmosphäre läßt sich auf photographischem Wege gewinnen. Man

braucht dazu nur zwei Aufnahmen des Planeten zu vergleichen, die mit dem gleichen Fernrohr, aber unter jeweiliger Zwischenschaltung eines Blau- oder Rotfilters gewonnen wurden. Das Blaufilter läßt dabei aus dem Gesamtlicht des Planeten nur die kurzwellige Strahlung auf der Photoschicht zur Wirkung kommen, das Rotfilter dagegen nur das langwellige Licht. Es liegt nun in der physikalischen Natur atmosphärischer Gase, daß sie die kurzwelligen Anteile des auffallenden Sonnenlichtes verhältnismäßig stark reflektieren und streuen (daher auch der „blaue“ Taghimmel auf der Erde), während die langwelligen (roten) Anteile fast ungehindert bis zur Planetenoberfläche durchdringen. Dieser Effekt gilt also auch dann, wenn die Atmosphäre im Grunde „durchsichtig“ ist und keine zusätzlichen Kondensationen (Wolken) vorhanden sind. Das nun vom Mars kommende reflektierte Sonnenlicht ergibt somit hinter einem Blaufilter das Bild der vornehmlich seine Blauanteile zurückwerfenden hohen Atmosphärenschichten. Das Bild hinter dem Rotfilter rührt von der Reflexion an der tiefer liegenden festen Oberfläche her. Der Mars erhält damit auf der Blauaufnahme einen deutlich größeren Durchmesser (fester Körper plus Atmosphärenhöhe) als auf der Rotaufnahme (fester Körper allein). Aus dieser Durchmesserdiffereenz läßt sich dann die angenäherte Gesamthöhe der Marsatmosphäre bestimmen.

Über die Zusammensetzung der Atmosphäre unseres Nachbarplaneten ist man wesentlich besser informiert als bei der Venus. So weiß man, daß freier Sauerstoff offenbar nur in geringen Mengen vorhanden ist, während der Gehalt an Kohlendioxyd (CO_2) etwa doppelt so groß ist wie in unserer Erdatmosphäre. Auch das Vorhandensein geringer Mengen Wasserdampf hat sich aus dem Spektrum des Mars nachweisen lassen. Der Hauptanteil der Marsatmosphäre dürfte jedoch, wie heute die allgemeinen Ansichten lauten, ähnlich wie in der Erdatmosphäre von Stickstoff gebildet werden. Allerdings konnte bisher die Existenz dieses Gases über der Marsoberfläche spektroskopisch nicht nachgewiesen werden.

An dieser Stelle machen uns unsere astronomischen Berater noch einmal nachdrücklichst auf die Schwierigkeiten aufmerksam, die für ihre wissenschaftlichen Arbeiten allein dadurch entstehen, daß ihre Instrumente bisher immer noch am Grunde des filternden trüben Luftozeans stehen. Wir wissen ja schon, daß beim Durchgang des Sonnenlichtes durch die Erdatmosphäre zusätzliche Absorptionslinien im Sonnenspektrum entstehen müssen, die von den Gasen in unserer Atmosphäre herrühren. Das gestattet den Wissenschaftlern, die chemische Zusammensetzung der Erdatmosphäre zu bestimmen. Was geschieht aber, wenn man nun das Spektrum einer außerirdischen Lichtquelle auf die Zusammensetzung ihrer Atmosphäre hin untersuchen will und diese Zusammensetzung weitgehend der der Erdatmosphäre gleicht? Dann entstehen doch die Absorptionslinien der fremden Atmosphäre genau an den Stellen des Spektrums, an denen schon die Linien der Erdatmosphäre liegen. In der Praxis gelingt es den Wissenschaftlern dann nur unter Anwendung raffinierter Tricks, die Auswirkungen der hindernden Erdatmosphäre wenigstens etwas zu mildern, so daß eine einigermaßen brauchbare Analyse der fremden Atmosphäre möglich wird. Ganz hoffnungslos ist der Fall aber, wenn Gase nachgewiesen werden sollen, deren Absorptionslinien in einem Teil des Spektrums liegen, das von der Filterwirkung der Erdatmosphäre total „abgeschnitten“ wird (Ultraviolett, Gebiete des Infrarot). Musterbeispiel für derartige Schwierigkeiten ist also der Nachweis von Stickstoff in der Marsatmosphäre. Ein Durchbruch zu neuen Erkenntnissen in dieser Richtung wäre somit nur noch unter Einsatz astronautischer Hilfsmittel zu erwarten.

Wenn bisher die Rede davon war, daß die Marsatmosphäre hervorragend durchsichtig ist, so trifft dies doch nicht hundertprozentig zu. Die Marsspezialisten beobachten nämlich immer wieder von Zeit zu Zeit deutlich bläulich-weiße Trübungen oder gelbliche Verschleierungen. Für die zuerst genannten Trübungen ist es charakteristisch, daß sie jeweils nur von kurzer Dauer sind und bevorzugt in den

Gegenden der Marsoberfläche auftreten, die sich gerade von der Nachtseite auf die Tagseite herüberdrehen, in denen also die Tageszeit „Morgen“ gilt. Mit Annäherung an die „Mittagszeit“ und mit demzufolge stärkerer Sonneneinstrahlung lösen sie sich dann allmählich auf. Es scheint somit nahezuliegen, diese Erscheinungen als Nebelbildungen oder Eisnadelwolken nach Art des irdischen Zirkus zu deuten. In welchem Umfange dabei Kondensationen von Kohlendioxyd beteiligt sind, läßt sich zur Zeit noch nicht sagen. Für die länger anhaltenden Verschleierungen durch gelbliches Material glaubt man eine Deutung als Staubstürme auf der Marsoberfläche gefunden zu haben.

Diese an sich schon recht interessanten Einzelheiten weitgehend erdähnlicher atmosphärischer Erscheinungen werden nun in ihrem Anreiz zu mancherlei Spekulationen noch erheblich durch den Eindruck verstärkt, der sich bei der Beobachtung der Einzelheiten auf der Marsoberfläche ergibt. Trotz vereinzelter, allerdings recht unsicherer Beobachtungen von Unregelmäßigkeiten am Rand der Marscheibe ist man heute allgemein der Meinung, daß es auf dem Mars größere Erhebungen kaum geben kann. Dafür tritt jedoch eine durch verschiedene Farblönungen gegebene Struktur der Marsoberfläche um so deutlicher in Erscheinung. Obwohl es kühnen Interpreten zunächst als durchaus plausibel erschien, die hellen Gebiete einfach als Kontinente und die dunklen Gebilde als Meere anzusprechen, ließ sich diese Hypothese später doch nicht halten. So konnte der sowjetische Astronom FESSENKOW beispielsweise nachweisen, daß es auf dem Mars keine offenen Wasserflächen mit einem Durchmesser von mehr als 300 m geben kann. Wäre dies nämlich der Fall, so müßten die Wasseroberflächen gegebenenfalls Reflexbilder der Sonne liefern, die von der Erde aus zu beobachten wären. Selbst bei größter Aufmerksamkeit der Marsbeobachter konnte bisher aber eine solche Erscheinung noch niemals festgestellt werden.

Über die Natur der Oberflächengebiete des Mars, die hell

und in einer charakteristischen rosa-gelben Färbung in Erscheinung treten, ist man heute allgemein einer Meinung. Man spricht sie übereinstimmend als Wüstengebiete an, die von den dunklen Gebieten wahrscheinlich noch durch einen Hochebenencharakter unterschieden sind. Die Territorien mit wüstenartigem Charakter bedecken rund zwei Drittel der Marsoberfläche. Das restliche Drittel der dunkel getönten Gebiete umschließt zweifellos eines der reizvollsten und bedeutsamsten Probleme der modernen Welt-raumforschung, nämlich die Frage nach der Existenz außerirdischen Lebens.

Besonders nach den scharfsinnigen Untersuchungen des sowjetischen Astronomen G. A. TICHOW und seiner Schüler kann heute kaum noch daran gezweifelt werden, daß es auf dem Mars eine den dortigen „harten“ Verhältnissen angepaßte niedere Vegetation gibt. Schon seit langem war bekannt, daß die Färbung dieser Dunkelgebiete im Rhythmus der Marsjahreszeiten wechselt. So erscheinen sie für die Zeit des Marssommers der betreffenden Halbkugel deutlich mattgrün gefärbt, während sie im Marswinter bräunliche und graue Töne zeigen. TICHOW gelang nun auf spektroskopischem Wege der Nachweis, daß das von den Dunkelgebieten reflektierte Sonnenlicht größte Ähnlichkeiten mit dem von irdischen Pflanzen zurückgeworfenen Sonnenlicht hat, die unter besonders „harten“ Bedingungen (hohe polare Breiten, große Trockenheit) existieren müssen. Die Ähnlichkeiten in den Spektren sind besonders für einige irdische Moos- und Flechtenarten sehr groß. Diese aufsehenerregenden Feststellungen konnten neuerdings auch von anderen Forschern eindeutig bestätigt werden.

Wenn sich also einmal ein Raumschiff auf den Weg zum Mars machen wird, um dort zu landen, dann wird die Wissenschaft mit wahrhaft sensationellen Entdeckungen rechnen können. Allerdings ergeben sich aus diesen Möglichkeiten zur Untersuchung außerirdischen Lebens auch beachtenswerte Konsequenzen für die Vorbereitung eines solchen Unternehmens. Zunächst müßte in aller Strenge darauf geachtet werden, daß jedes in die Marsatmosphäre

eindringende oder auf dem Mars landende Raumschiff auf keinen Fall Mikroorganismen der Erde auf unseren Nachbarplaneten übertragen kann. Die dort anzutreffende Lebenswelt würde nämlich nicht nur durch eine derartige „Infektion“ für die wissenschaftlichen Untersuchungen entsteht, sie könnte sogar, und zwar sehr wahrscheinlich, durch negative Einwirkungen der Erdmikroorganismen gefährdet werden. Das gleiche gilt auch, wenn ein Raumschiff oder seine Besatzung vom Mars zur Erde zurückkehrt. Das Einschleppen von eventuell vorhandenen Marsmikroben auf die Erde könnte recht unangenehme Folgen haben, da die Lebensformen auf der Erde nicht auf die Einwirkungen erdfremder Organismen eingestellt sein können. Hier macht man uns also in unserem Reisebüro auf sehr beachtenswerte Konsequenzen für zukünftige Planetenexpeditionen aufmerksam.

Allerdings darf im Hinblick auf die Annahme einer Pflanzenvegetation auf dem Mars nicht übersehen werden, daß es doch noch verschiedene Erscheinungen auf dem Planeten gibt, die in diesem Zusammenhang der Klärung bedürfen. Dazu gehört vor allem die Frage, warum der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre nur so gering ist. Unsere irdischen Pflanzen liefern doch bei ihrem Stoffwechsel unter Verwendung der diesbezüglichen Eigenschaften des Chlorophylls (Blattgrün) ständig Sauerstoff in die Atmosphäre nach. Ein Erklärungsversuch TICHOVS geht dahin, daß die Marspflanzen den frei werdenden Sauerstoff nicht in die Atmosphäre, sondern über ihre Wurzeln in den Boden abgeben, wo er dann in Form chemischer Verbindungen gespeichert wird. Völlig anders müßte man aber dieses Problem sehen, wenn der Stoffwechselvorgang in der Marsflora gänzlich verschieden verläuft von dem unserer irdischen Pflanzen. Ein Hinweis auf derartige Möglichkeiten ließe sich daraus ableiten, daß bisher der Nachweis für das Vorhandensein von Chlorophyll im Marsspektrum noch nicht gelungen ist. Abgesehen davon, daß die Existenz höher organisierten Lebens auf dem Mars nach allem bisher Bekannten nicht angenommen werden kann, ver-

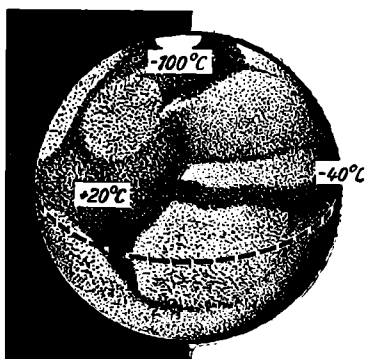
bleibt doch im Bereich des eben angedeuteten Problemkreises genug Spannung für die weitere Erforschung des Planeten.

Eng gekoppelt mit diesen Fragen erscheint nun vielleicht noch ein anderes, auch dem Laien nicht ganz unbekanntes Problem in Gestalt der sogenannten „Marskanäle“. Der italienische Astronom SCHIAPARELLI beobachtete im Jahre 1877 auf dem Mars ein strukturreiches System dunkler Linien, das sich im Bereich der hellen Oberflächengebiete ausbreitete. In Anlehnung an die alten Bezeichnungen „Meere“ und „Kontinente“ für die Oberflächengebilde des Mars gab er den neuen Objekten die Bezeichnung „Kanäle“, ohne ihnen allerdings besondere Spekulationen über die Existenz intelligenter Marsbewohner, die aus den „Kanälen“ ein Bewässerungssystem für ihren wasserarmen Planetenboden aufgebaut hätten, zu unterlegen. Letzteres blieb dann erst phantasiebegabten Interpreten der Schiaparellischen Entdeckung vorbehalten, die damit den Mars in den Rang des zweifellos populärsten Planeten erhoben. Die inzwischen am Mars durchgeführten wissenschaftlichen Arbeiten haben jedoch von dieser „Kanalhypothese“ kaum noch etwas übriggelassen. Ein sehr wesentlicher Einwand allein schon gegen den optischen Befund kam dabei von den Beobachtern selbst. Es stellte sich nämlich heraus, daß man eigentlich von dem feinen Netz strichartiger Objekte um so weniger sah, je größer und damit auflösungskräftiger die benutzten Fernrohre waren. Unter besten optischen und atmosphärischen Bedingungen erschien an ihrer Stelle eine verwirrende Fülle kleiner dunkler Einzelflecken.

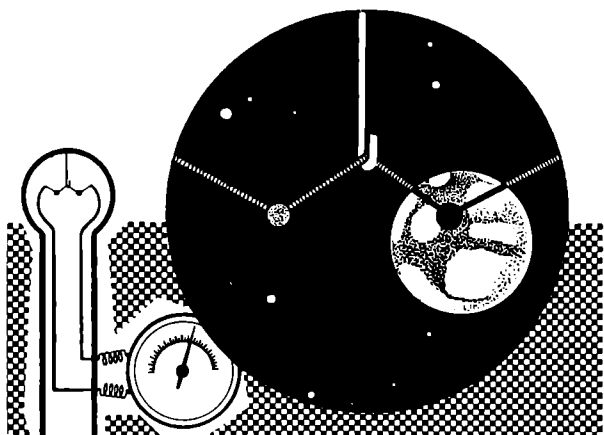
Es scheint also eine andere Deutung vielleicht näher zu liegen, wenn man den Gedankengängen TICHOWS folgt. Danach würden die einförmigen wüstenartigen Gebiete sozusagen von „Oasen“ unterbrochen sein, in denen sich noch eine Vegetation halten kann. Für ungünstige Beobachtungsbedingungen entsteht dann nicht der Eindruck einzelner Flecke, sondern fortlaufender Linien unterschiedlicher Breite. Eine gewisse Bevorzugung der Oasenbildung im Bereich bruchartiger Senken der Marsober-

fläche könnte dabei das Zustandekommen des Scheineffektes der „Marskanäle“ zweifellos unterstützen.

Wir sind nun schon des öfteren der Feststellung begegnet, daß auf dem Mars in klimatischer Hinsicht „harte“ Bedingungen herrschen. Unser Bild dieses rätselvollen Nachbarplaneten wäre nicht vollständig, wollten wir uns nicht zu dieser Frage das Wichtigste in Kürze sagen lassen. Wenn wir uns dabei zunächst noch einmal daran erinnern, daß der Mars etwa um die Hälfte weiter von der Sonne entfernt ist als die Erde und daß seine sehr dünne Atmosphäre kaum die Ein- und Ausstrahlungen abzuschwächen vermag, was besonders im Fall der Ausstrahlung von Bodenwärme zu weitreichenden Konsequenzen führt, dann wird es uns auch nicht weiter wundern, wenn wir hören, daß das Jahresmittel der Temperatur auf Mars mit -15°C um 19 Grad niedriger liegt als auf der Erde. Nur im Bereich des Äquators und innerhalb der Dunkelgebiete steigt die Temperatur mittags auf etwa 20 bis 25°C an. Durch die ungehinderte nächtliche Ausstrahlung sinkt die Temperatur in den gleichen Gebieten bei Sonnenaufgang auf etwa -40°C ab. An den Polen des Mars hat man Temperaturen um -100°C gefunden. Die Temperaturmessungen erfolgen dabei mit hochempfindlichen Thermoelementen, von denen man die eine Lötstelle im Fernrohrgesichtsfeld mit der zu messenden Stelle des Marsbildes zur Deckung bringt, während die zweite Lötstelle vor dem dunklen und strahlungsfreien Himmelshintergrund liegt.



*Temperaturen an verschiedenen
Punkten der Marsoberfläche*



Bei der Messung von Planetentemperaturen bringt man empfindliche Thermoelemente in das Gesichtsfeld des Fernrohrs

In diesem Zusammenhang machen uns die Astronomen noch mit einer interessanten Erscheinung an den Marspolen bekannt, die man sogar schon mit relativ kleinen Fernrohren deutlich beobachten kann. Beide Marspole zeigen nämlich sehr helle weiße „Polkappen“, ähnlich wie sie die Erde auch in Gestalt der polaren Eis- und Schneeregionen aufweist. Die Ausdehnung der Marspolkappen wechselt mit der Jahreszeit außerordentlich stark, wobei der Rückgang zum Sommer hin so rapid erfolgt, daß unmöglich anzunehmen ist, die Polkappen bestünden aus beachtlich dicken Auflagen von Eis oder Schnee. Längere Zeit schien es überhaupt fraglich, ob diese Gebilde aus Wasserkondensaten bestehen können, da sich allmählich die allgemeine Wasserarmut des Planeten herausstellte. Man plädierte daher bei den Polkappen für Kohlendioxyd-Schnee. Inzwischen ist man sich aber so ziemlich darüber einig geworden, daß es sich doch um allerdings sehr dünne Eis- und Schneeschichten handeln dürfte. Eine Marslandungsexpedition wird sich also in jedem Fall atmosphärischen und damit klimatischen Bedingungen gegen-

übersehen, die es vorläufig gewagt erscheinen lassen, die Marsoberfläche ohne angemessene Schutzkleidung zu betreten.

So viel zur Natur unseres wohl erdähnlichsten Nachbarplaneten selbst. Es gibt aber noch ein anderes Rätsel zu lösen, das nicht den Planeten unmittelbar, sondern seine Nachbarschaft betrifft. Das Jahr 1877 spielt in diesem Zusammenhang eine entscheidende Rolle. Damals entdeckte nämlich der amerikanische Astronom Asaph HALL mit dem seinerzeit größten Linsenfernrohr der Erde nahe beim Mars zwei winzige Sternpünktchen, die sich in der Folgezeit schließlich als Monde des Mars herausstellten. Der Entdecker gab ihnen die Namen der Söhne des Kriegsgottes, „Phobos“ (Furcht) und „Deimos“ (Schrecken). Diese beiden winzigen Planetenbegleiter — man nimmt für Phobos einen Durchmesser von nur 16 km und für Deimos einen solchen von 58 km an — zählen bis zum heutigen Tage zu den schwierigsten Beobachtungsobjekten der Astronomie. Über ihre Masse oder Dichte konnte daher bislang keine sichere Aussage gemacht werden. Einzig ihre Bewegungsverhältnisse konnten einigermaßen geklärt werden. Verblüffend ist zunächst die relativ große Nähe des inneren Mondes, Phobos, am Planeten. Ihn trennen nur 5900 km von der Marsoberfläche, und seine Umlaufzeit beträgt daher auch nur 7^h39^m. Für Deimos betragen die entsprechenden Zahlen 23200 km und 30^h18^m. Es ergibt sich nun für einen Beobachter auf der Marsoberfläche hinsichtlich der Marsmonde ein ganz eigenartiges Schauspiel. Der innere Mond geht nämlich nicht — wie unser Mond für einen Beobachter auf der Erde — im Osten auf und im Westen unter, sondern gerade umgekehrt. Außerdem läuft er so schnell über den Marshimmel, daß er während eines Marstages etwas mehr als drei Umläufe ausführt, bei denen er jedesmal den vollständigen Wechsel aller Beleuchtungsphasen zeigt. Für Deimos liegen die Verhältnisse in anderer Richtung ebenfalls recht originell. Da seine Umlaufzeit nur etwa 6 Stunden länger ist als eine Rotationsperiode des Mars, geht er zwar für einen bestimmten Marsort im Osten auf und im Westen

unter, aber er bleibt dabei mehr als zwei Tage ununterbrochen über dem Horizont. Die Beobachtung dieses ungewöhnlichen Bewegungsspiels vom Mars aus dürfte sicher von großem Reiz sein.

Der Marsmond Phobos ist aber noch von ganz besonderem Interesse. Es deutet nämlich alles darauf hin, daß seine Bahngeschwindigkeit laufend zu- und sein Abstand vom Planeten damit ständig abnimmt. Diese aufsehererregende Feststellung könnte nur so gedeutet werden, daß Phobos einer fortlaufenden Bremswirkung unterliegt. Diese Schlußfolgerung hat nun weiterhin zu einer ebenso sensationellen wie allerdings auch zweifelhaften Hypothese geführt. Ihre Interpreten gingen davon aus, die Ursache für die Bremswirkung allein in den alleräußersten hochverdünnten Atmosphäreschichten des Mars zu suchen. Um aber einen hinreichenden Bremseffekt erwarten zu können, waren sie dann darauf angewiesen, dem Phobos eine ganz ungewöhnliche Konstitution zuzumuten. Er sollte nämlich — hohl sein. Denn nur ein Körper mit minimaler Dichte konnte nach ihrer Meinung so stark abgebremst werden. Von dieser Ansicht war es dann nur noch ein Schritt zu der reichlich phantastischen Schlußfolgerung, Phobos sei ein künstlicher Körper oder genauer gesagt ein künstlicher Satellit des Mars, erbaut von irgendwelchen sagenhaften Raumfahrern eines fremden Gestirns.

Vom exakt wissenschaftlichen Standpunkt aus gibt es jedoch nicht den geringsten Grund für eine derart extreme Ausdeutung der Bahnschrumpfung von Phobos. Mehrere namhafte Astronomen haben sich inzwischen gründlich mit dieser Frage beschäftigt und sind zu dem Schluß gekommen, daß es sogar mehrere plausible Ursachen für die Bahnänderung des inneren Marsmondes geben kann, die auf „natürlichem“ Wege zustande kommt. In diesen Betrachtungen spielen vor allem himmelsmechanische Effekte (Gezeitenwirkungen, Bahnstörungen) und der Hinweis auf die sehr wahrscheinliche Existenz eines sonst nicht wahrnehmbaren Staub- und Teilchenringes im Bereich der Phobosbahn die wesentlichste Rolle. Darüber hinaus ver-

weisen zahlreiche andere Wissenschaftler noch auf die allgemeine Unsicherheit, mit der die bisherigen Annahmen über Größe, Masse und Dichte des Phobos belastet sind. Wenn also auch künftige Raumflüge zum Mars, sei es zunächst unbemannt und später mit Besatzung, wohl kaum die sensationelle Bestätigung außerirdischer Raumfahrtbestrebungen bringen werden, wird die Lösung des Phobosproblems zweifellos doch die Wissenschaft um einige bedeutsame Erkenntnisse bereichern. Die Welt des Mars bietet der Wissenschaft ganz allgemein noch so viele offene Fragen, daß wir mit allergrößter Spannung jeden einzelnen Versuch, ihr mit den Mitteln der Raumflugtechnik näher zu kommen, verfolgen sollten.

7. PLANETOIDEN, KOMETEN, METEORITE — *Die Welt der Kleinen und Kleinsten*

Obwohl wir ja unser astronautisches Reisebüro eigentlich nur aufgesucht haben, um uns über die wirklich „repräsentativen“ Ziele des interplanetaren Fluges zu den großen Planetengeschwistern der Erde Aufklärung zu verschaffen, weisen uns seine Mitarbeiter darauf hin, daß unser Bild unvollständig, ja vielleicht sogar gefährlich unvollständig bleiben würde, wollten wir dabei die Welt des „Kleinzeugs“ im Planetensystem außer acht lassen. Deshalb können wir nun tatsächlich nicht umhin, uns auch in dieser Richtung zu orientieren. Der Anlaß dazu, die entsprechenden Betrachtungen nun gerade zwischen die Großplaneten Mars und Jupiter einzuschieben, ist dadurch gegeben, daß in dem Raum zwischen diesen beiden Planeten ein Teil dieser Kleinkörper in maximaler Häufigkeit auftritt.

Nachdem sich die Ansicht vom Aufbau des Planetensystems nach KOPERNIKUS durchzusetzen begann und KEPLER mit seinen Planetengesetzen die Grundlage für die Berechnung der Entfernungen von der Sonne zu den einzelnen Planeten geschaffen hatte, fiel den Astronomen sofort eine merkwürdige Lücke zwischen Mars und Jupiter auf. Besonders augenfällig wurde diese Lücke durch das von J. K. TITUS im Jahre 1766 aufgestellte Abstandsgesetz. Dieses Gesetz stellt die mittleren Sonnenentfernungen a (in AE) der Planeten in folgender einfachen Form dar:

$$a = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n.$$

Dabei ist dann für Merkur $n = -\infty$, für Venus $n = 0$, für die Erde $n = 1$, für Mars $n = 2$ usw. Der Planet mit $n = 3$ fehlte aber, denn für Jupiter kam nur $n = 4$ in Frage.

Erst am 1. Januar 1801 konnte das Problem dieser Lücke der Lösung um einen Schritt nähergebracht werden. Der italienische Astronom PIAZZI fand nämlich bei Durchmusterungsarbeiten von Sternfeldern mit seinem Fernrohr ein Sternpünktchen, das zwar ebenso aussah wie ein Fixstern, das sich aber doch durch seine starke Eigenbewegung

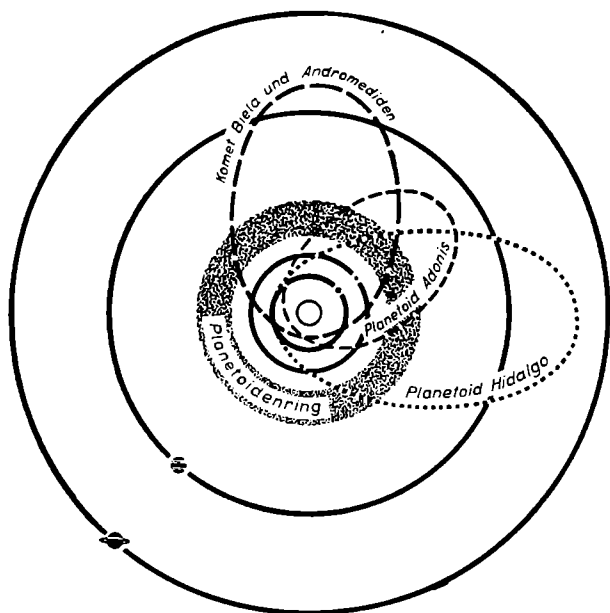
als Planet verriet. Diese Entdeckung erregte selbstverständlich großes Aufsehen, denn endlich schien der Lückenplanet gefunden zu sein. Außerdem verblüffte aber seine ungewöhnlich geringe Größe. Es gelang später, mit Hilfe sehr großer Fernrohre, den Durchmesser der Ceres, diesen Namen erhielt der Planet, zu messen. Dabei ergaben sich Werte um 750 bis 800 km, also noch nicht einmal ein Viertel des Monddurchmessers!

Dieses sensationelle Objekt der astronomischen Forschung wäre nun um ein Haar durch ungünstige Witterungs-umstände der Beobachtung wieder verlorengegangen, da anfänglich nur sehr wenige Positionsbestimmungen für eine Bahnrechnung vorlagen. Dem Genie des berühmten deutschen Mathematikers Carl Friedrich GAUSS ist es schließlich zu verdanken, daß die Ceres später doch wieder aufgefunden werden konnte. Wer beschreibt aber die Verblüffung der Fachwelt, als im Jahre 1802 der Bremer Arzt OLBERS die Entdeckung eines weiteren Objektes meldete, das der Ceres weitgehend ähnlich war! Es schien sich hier also die Existenz einer Familie von „Planetoiden“ (Kleinen Planeten, Asteroiden) anzudeuten. Und richtig, nach der von OLBERS entdeckten Pallas fand HARDING 1804 die Juno und noch einmal OLBERS im Jahre 1807 die Vesta. Diese vier Objekte blieben dann auch bis zum heutigen Tage die größten unter den Kleinen Planeten, mit Durchmessern von einigen hundert Kilometern.

Die Gesamtzahl der Planetoiden hat sich allerdings seither geradezu „astronomisch“ erhöht. Vor allem dem Einsatz der Himmelsphotographie ist es zu danken, daß bisher etwa 4000 Kleine Planeten entdeckt werden konnten, von denen jedoch bis 1958 erst für 1626 genau bestimmte Bahnen vorlagen. Die Gesamtzahl aller im Sonnensystem vorhandenen Planetoiden schätzt man jedoch auf 40000 bis 50000. Hier müssen wir uns aber nun gleich noch etwas zu den Größen dieser Körper allgemein sagen lassen.

Abgesehen von den vier zuerst entdeckten Planetoiden ließ die geringe Größe aller übrigen bisher keine direkte Durchmesserbestimmung mehr zu. Lediglich aus ihrer schein-

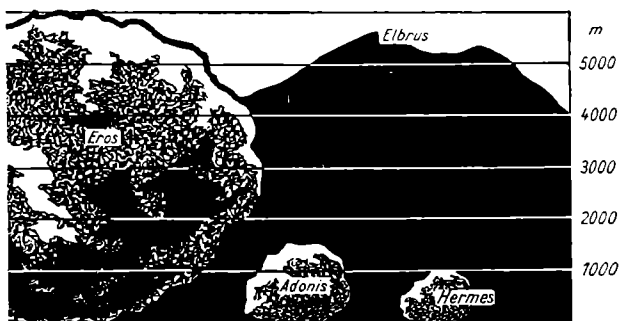
baren Helligkeit und einem angenommenen mittleren Albedowert von etwa 0,2 waren gewisse Rückschlüsse möglich. Es zeigte sich, daß sogar schon Körper mit Durchmessern um einige zehn Kilometer nicht allzu häufig vorkommen und daß ihre Zahl bei Objekten mit Durchmessern von einem Kilometer und darunter rapide ansteigt. Das heißt, der weitaus überwiegende Teil aus der geschätzten Gesamtzahl ist so winzig, daß man ihn niemals von der Erde aus wird beobachten können. Zugleich deutet sich hier aber auch ein Übergang zu den Kleinstkörpern des Sonnensystems, den Meteoriten und Mikrometeoriten an. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß für zahlreiche Planetoiden aus Veränderungen ihrer Helligkeit auf



Bahnen zweier Planetoiden-„Sonderlinge“, des Kometen Biela und des mit ihm zusammenhängenden Andromediden-Stromes

eine unregelmäßige trümmerartige Gestalt geschlossen werden konnte.

In dem gleichen Maße, wie sich nun die Zahl der entdeckten Kleinen Planeten erhöhte, wandelte sich das Bild ihrer Bahnverteilung. Zwar konzentrierte sich die Mehrzahl auch weiterhin auf einen gürtelartigen Bereich zwischen Mars und Jupiter mit einem Mittelwert um 2,9 AE, daneben traten aber immer mehr „Sonderlinge“ in Erscheinung. So durchläuft beispielsweise der Planetoid Hidalgo eine so weit gestreckte elliptische Bahn, daß er aus dem Raum nahe Mars bis hinaus zur Saturnbahn fliegen kann. Sein Gegenspieler sozusagen ist der Planetoid Icarus, der sich, ebenfalls aus dem Bereich der Marsbahn kommend, der Sonne bis auf 0,18 AE (27 000 000 km) nähern kann. Damit macht Icarus seinem Namen alle Ehre, denn er dringt in wahrhaft gefährliche Nähe des Atomofens Sonne vor. Ein weiterer sehr interessanter Fall ist der 1937 entdeckte Hermes.



Größenvergleich zwischen dem Elbrus (Kaukasus) und den Planetoiden Eros, Adonis und Hermes

Dieser im Durchmesser nur etwa 700 m große Kleinplanet kann sich nämlich der Erde bis auf rund 600 000 km nähern, das ist weniger als die doppelte Mondentfernung. Damit kommt er mit Ausnahme des natürlichen Erdtrabanten unserer Erde so nahe wie kein anderer Himmelskörper! Für astronautische Unternehmungen der Zukunft erscheint

es nun wenig wahrscheinlich, daß die Kleinen Planeten eine wesentliche Rolle als Zielobjekte spielen könnten. Man wird sich sicher mit einer gründlichen Untersuchung der interessantesten Objekte begnügen, um vor allem die außerordentlich bedeutsame Frage nach der Entstehung dieser Welt von Kleinkörpern beantworten zu können. Bisher gibt es keine Theorie, die dies in vollem Umfange zu leisten vermag. Am hartnäckigsten behauptete sich immer wieder die Ansicht, daß das Volk der Planetoiden seine Existenz der Zerstörung eines größeren Körpers auf dem Katastrophenwege verdankt. Wie neuere Untersuchungen gezeigt haben, dürfte dann aber die Masse des Ursprungsplaneten kaum die des Mars erreicht haben. Diese interessante Frage bleibt also vorläufig noch offen.

In anderer Hinsicht wird man den Planetoiden jedoch ständig Aufmerksamkeit schenken müssen. Erinnern wir uns nur daran, daß die Zahl der Kleinkörper mit abnehmendem Durchmesser offensichtlich rapide ansteigt. Wenn es auch nicht schwer sein dürfte, den größeren Planetoiden wegen ihrer guten Beobachtbarkeit und relativen Seltenheit bei interplanetaren Flügen aus dem Wege zu gehen, so wird dies gegenüber den kleineren und kleinsten schon immer schwieriger, zumindest wenn es sich um Raumflugbahnen handelt, die durch das Gebiet maximaler Planetoidenhäufigkeit führen. Wir haben ja schon gehört, daß man die gerade in besonders großer Zahl vorkommenden kleinsten Kleinplaneten von der Erde aus gar nicht auffinden kann, und Körper von etwa 100 m Ausdehnung abwärts mögen zwar kosmisch gesehen unbedeutendes „Kleinstzeug“ sein, aber für ein Raumschiff würde ein Zusammentreffen mit ihnen katastrophale Folgen haben. Unsere bedenklichen Gesichter veranlassen unsere astronautischen Berater sofort zu der beruhigenden Bemerkung, daß trotz dieser Zusammenhänge aus einer allgemeinen statistischen Betrachtung eine ganz außerordentlich geringe Wahrscheinlichkeit für ein solches Zusammentreffen besteht. Wohlgedenkt, wenn wir dabei noch im Bereich der Planetoiden bis herunter zu einigen wenigen Metern Durchmesser bleiben. Ob über-

haupt noch der Begriff „Planetoid“ für derartige Kleinkörper zweckmäßig ist, soll hier nicht untersucht werden. Es gibt nämlich noch eine andere Bezeichnungsmöglichkeit für kosmische Trümmerkörper, deren Größe von einigen Metern Durchmesser dann allerdings herunterreicht bis zu solchen von Millimetergröße. Man bezeichnet sie als „Meteorite“ und könnte sie sich also als Fortsetzung der Planetoidenfamilie bis zu geringsten Größen hin vorstellen. Ihre Bezeichnung hat diese Gruppe nach der Art und Weise erhalten, mit der ihre Mitglieder für einen irdischen Beobachter in Erscheinung treten. Im freien kosmischen Raum bleiben sie für uns unsichtbar, und nur dadurch, daß das eine oder andere Objekt bei seinem Umlauf um die Sonne die Erdbahn kreuzt und dann bei dieser Gelegenheit sozusagen mit der Erde „zusammenstoßen“ kann, erhalten wir überhaupt von ihrer Existenz Kenntnis. Daß ein Meteorit bis auf die Erdoberfläche gelangt, ist allerdings eine Seltenheit. Er muß dann schon ziemlich groß sein; denn da er zunächst mit kosmischer Geschwindigkeit (zwischen 15 und 70 km/s relativ zur Erde) in die Erdatmosphäre hineinschießt, wird er dort durch aerodynamische Effekte (Stau- und Reibungswirkungen) enorm aufgeheizt, wobei er von seiner Oberfläche her zu verdampfen beginnt. Die Temperaturen erreichen etwa 3000 Grad und mehr. Dieser Vorgang ist mit einer Leuchterscheinung in der Hochatmosphäre verbunden, die der Astronom als „Meteor“ (Lufterscheinung), „Feuerkugel“ oder im volkstümlichen Sprachgebrauch als „Sternschnuppe“ bezeichnet. Der Leuchtvorgang setzt etwa in Höhen von 110 bis 120 km ein und ist für kleinere Meteorite (Sternschnuppen) in rund 80 bis 90 km Höhe beendet, da der Körper dann restlos verdampft ist. Größere Meteorite (Feuerkugeln) kommen entsprechend tiefer herunter, eventuell also auch zur Erdoberfläche. Der Einschuß eines etwa 10 cm großen Meteoriten in die Atmosphäre ergibt eine Leuchterscheinung, die so hell wie der Vollmond ist. Bei großen Meteoren hat man auch häufig Explosionen und Teilungen des Körpers in der Luft beobachten können, wobei die Erscheinung einer helleren

Feuerkugel ganz allgemein meist von donnerartigen Lufterschütterungen begleitet ist. Welcher Art aber die Folgen des Aufschlages eines so riesigen Meteoriten wären, wie er in vorgeschichtlicher Zeit im heutigen Arizona (USA) niedergegangen ist, vermag man sich nur schwer auszumalen. Die heute noch sichtbare Spur dieses Meteoritenfalls ist der berühmte „Arizona-Krater“ mit einem Durchmesser von 1 260 m und einer Tiefe von 175 m. Daher kann man es auch als großes Glück bezeichnen, daß ein anderer Zusammenstoß der Erde mit einem kosmischen Körper am 30. Juni 1908 in einem praktisch unbewohnten Gebiet des damaligen Rußland erfolgte. Die von dem Katastrophenherd in der Steinigen Tunguska (Sibirien) ausgehenden Bodenerschütterungen und Luftdruckwellen konnten noch in Mitteleuropa nachgewiesen werden.

Übrigens, für uns Raumfahrtbeflissene haben die Spezialisten unseres Reisebüros im Hinblick gerade auf diesen Sibirischen Meteoriten noch ein nettes Histörchen zu bieten. Sie zeigen uns eine Sammlung von Zeitungsausschnitten, in denen in sensationeller Aufmachung der Sibirische Meteorit allen Ernstes als geplatztes außerirdisches Raumschiff mit Atomantrieb diskutiert wird. Diese wissenschaftlich mehr als zweifelhafte Hypothese gründete sich hauptsächlich auf die Feststellung, daß die am Katastrophenort aufgefundenen Spuren nicht so recht zu der Vorstellung eines aufgestürzten meteoritischen Körpers zu passen schienen. Inzwischen hat die Akademie der Wissenschaften der UdSSR den Fall durch mehrere Erkundungsexpeditionen bearbeiten lassen, was dann zu der offiziellen Verlautbarung führte, daß keinerlei Anlaß besteht, zur Erklärung der Erscheinung vom 30. Juni 1908 etwas anderes als den Aufsturz eines kosmischen Kleinkörpers anzunehmen. Dabei sollte aber nicht an einen Einzelkörper gedacht werden, sondern wahrscheinlicher ist, daß es sich um eine ganze Wolke kleiner und kleinster Meteoriten gehandelt hat, deren beim Einschuß frei werdende Gesamtaufheizungsenergie eine Explosion des noch nicht verdampften Materials dicht über der Erdoberfläche zur Folge hatte.

Auf unsere Frage hin, woraus denn nun eigentlich solche meteoritischen Körper bestehen, zeigt man uns Tabellen der chemischen Analyse von Meteoriten, die nach ihrem Aufsturz gefunden werden konnten. Etwas mehr als 90% gehören in die Gruppe der „Steinmeteoriten“. Sie enthalten im Mittel 42% Sauerstoff, 20,6% Silizium, 15,8% Magnesium, 15,6% Eisen, und der Rest von sonstigen Elementen liegt unter 2%. Eine zweite Gruppe umschließt die sogenannten „Eisenmeteorite“ mit einem Häufigkeitsanteil von 5%. Der Rest entfällt dann auf gewisse Zwischenformen. Die Eisenmeteoriten bestehen im Mittel zu 91% aus Eisen, daneben enthalten sie noch 8% Nickel und 0,6% Kobalt sowie einen verschwindenden Rest anderer Elemente. Die Zugehörigkeit einer hin und wieder aufzufindenden Gesteinssorte, der „Tektite“, zur meteoritischen Materie ist noch umstritten. Es kann also sein, daß diese dunkelgrünen bis schwärzlichen „Glasmeteorite“ diese Bezeichnung zu unrecht tragen. Immerhin konnte noch nie ein Fall derartiger Körper zur Erde zweifelsfrei beobachtet werden.

Das vielfältige Erscheinungsbild der Welt interplanetarer Kleinkörper wird nun dadurch weiter bereichert, aber auch kompliziert, daß es außer den auf mehr oder weniger weitgestreckten Ellipsen um die Sonne laufenden „Einzeltägern“ der Meteoritenfamilie regelrechte „Meteoritenströme“ gibt. Die Mitglieder eines solchen Stroms bewegen sich mit gewissen Streuungen auf nahezu der gleichen mittleren Bahn um die Sonne; sie können dabei sowohl über die ganze Bahn fast gleichförmig verteilt sein, man hat aber auch schon Ströme mit regelrechten Verdichtungsknoten beobachten können. Passiert die Erde auf ihrem Umlauf um die Sonne das Gebiet eines Meteoritenstromes, so wird dies kenntlich durch ein Ansteigen der nächtlich beobachtbaren Meteoranzahl, wobei die zum Strom gehörenden Meteore aus Gründen der optischen Perspektive strahlenartig von dem gleichen kleinen Gebiet am Himmel auszugehen scheinen (Radiationspunkt eines „Sternschnuppenschwarms“). Da Erdbahn und Strombahn ihre

Lage zueinander kaum verändern, kann man dann eine periodische Wiederholung der Strombeobachtung im Jahresrhythmus erleben. Der bekannteste Meteorstrom tritt jedes Jahr in der Zeit vom 1. bis 20. August auf und wird nach der Lage seines Radiationspunktes im Sternbild Perseus als „Perseiden-Strom“ bezeichnet.

Wir wollen uns nun von unseren Beratern nicht zu weit in dieses sehr komplizierte Spezialgebiet der astronomischen Forschung hineinführen lassen. Noch zahllose interessante Fakten wären eigentlich zu erwähnen, aber für uns genügt es ja, den allgemeinen Rahmen dieser Zusammenhänge für astronautisch wichtige Schlußfolgerungen kennenzulernen. Da wird uns dann natürlich auch klar, daß es mehr als heikel sein dürfte, mit einem Raumschiff das Gebiet eines relativ dichten Meteoritenstromes zu durchfliegen. Die Wahrscheinlichkeit von Treffern wäre immerhin so hoch, daß man tunlichst lieber eine Raumflugbahn wählen sollte, die derartigen Kollisionen möglichst aus dem Wege geht. Aber auch hier wieder das große Problem: Von der Gesamtzahl der wirklich vorhandenen Kleinkörper-Ströme werden wir von der Erde aus immer nur einen Bruchteil entdecken und erfassen können. In dieser Hinsicht werden also vor allem Flüge mit unbemannten „Aufklärern“ für die weitere Vorbereitung bemannter interplanetarer Expeditionen erhebliche Vorarbeiten zu leisten haben.

Aber eine Frage können wir nun wirklich nicht mehr länger zurückhalten. Ist denn das Zusammentreffen mit einem Meteoriten für ein Raumschiff im einzelnen wirklich so gefährlich, daß damit auch die in der Fachliteratur immer wieder zitierte „Meteoritengefahr“ im allgemeinen sehr groß wird? — Die Antwort unserer Experten zum ersten Teil der Frage ist nun wirklich sehr wenig erfreulich. Gewiß, uns war auch so schon klar, daß der Aufprall eines Körpers von einigen Kilogramm Masse und mit einer Geschwindigkeit von vielleicht 20, 30 oder gar 40 km/s wohl von keinem Raumschiff „verdaut“ werden könnte. Aber bei Körpern dieser Größe könnten wir hinreichenden Trost in der Wahrscheinlichkeitsrechnung finden, die uns nach-

zuweisen vermag, daß ein Zusammenstoß auf Grund der großen Seltenheit so großer Meteorite noch unwahrscheinlicher ist als die Möglichkeit, beim Verlassen eines Hauses einen sich zufällig lösenden Dachziegel auf den Kopf zu bekommen. Trotzdem soll aber ein solcher Fall schon vorgekommen sein, und dem Betroffenen dürfte es dann ziemlich gleichgültig gewesen sein, daß er nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung erst noch 10000 Jahre hätte leben müssen, ehe dieses Ereignis hätte eintreten dürfen. Mit diesem Vergleich will man uns vor voreiligen Rückschlüssen schützen, denn immerhin wird in der Anfangsphase des interplanetaren Fluges vielleicht doch der eine oder andere Verlust durch Meteoritentreffer eintreten, der den Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen Hohn zu sprechen scheint. Diese Überlegungen gelten natürlich auch für das gesamte Häufigkeitsverteilungsgesetz der meteoritischen Materie.

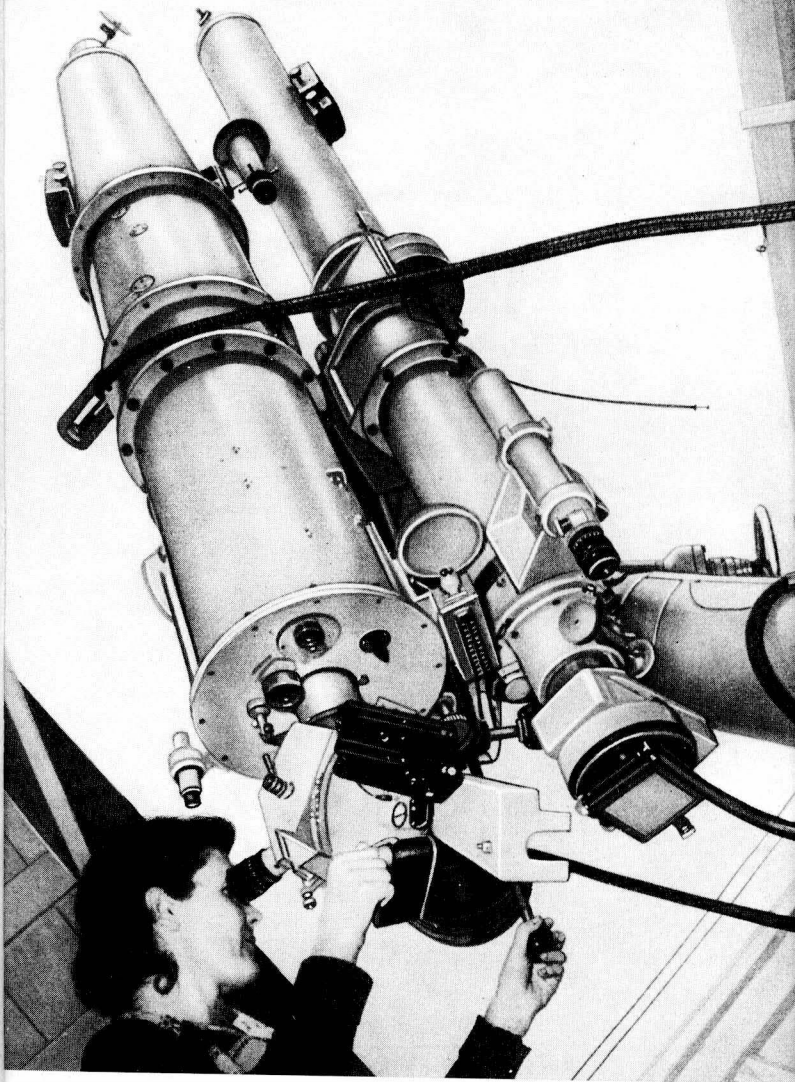
Wir erfahren nun weiterhin, daß sogar schon ein winziger Eisen-Nickel-Meteorit von nur 32 Milligramm, der noch nicht einmal eine Sternschnuppe mittlerer Helligkeit erzeugen würde, daß also ein solcher Knirps bei einer Auftreffgeschwindigkeit von 40 km/s auf die Außenhaut eines Raumschiffes so wirken müßte, als kämen dort 5 Gramm Dynamit zur Entzündung. Die frei werdende Energie würde ausreichen, um 30 Gramm Aluminium zum Schmelzen oder 8 Gramm Aluminium zum Verdampfen zu bringen. Schon ein solcher Meteorit könnte also eine dünnwandige Raumschiffzelle durchlöchern. Als Schutz gegen Körper dieser Größenordnung und darunter — man spricht dann meist von „Mikrometeoriten“ — wird von den Raumflugtechnikern eine doppelwandige Bauweise mit relativ dünner Außenhaut als ausreichend angesehen. Die auftreffenden Körper könnten so noch außerhalb der empfindlichen hermetischen Raumschiffzelle zum Zerplatzen gebracht werden. Beruhigend wirkt dann die Erklärung unserer astronomischen Reisebüromitarbeiter, daß man auf diesem Wege zukünftige Raumfahrer vor der überwiegenden Masse der meteoritischen Materie wird zuverlässig schützen

können, jedenfalls soweit es deren „Normalverteilung“ im Raum betrifft. Gegen größere Körper wird es dagegen wohl kaum jemals einen hinreichenden Schutz geben. Die in einigen Raumfahrtromanen immer wieder auftauchenden radargesteuerten „Ausweichmanöver“ sind wissenschaftlich ein Nonsens.

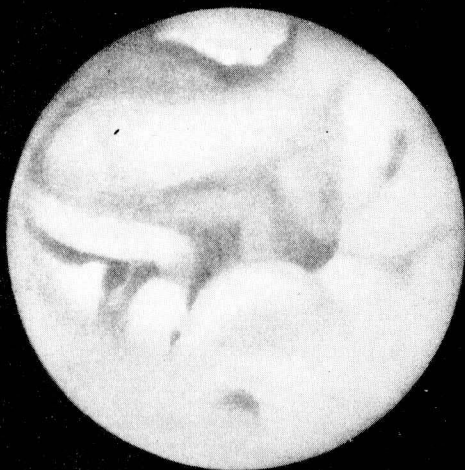
Das hier in groben Zügen entworfene Bild der interplanetaren Kleinkörper rundet sich schließlich ab, wenn man zuletzt noch einen Blick auf die sogenannten „Kometen“ („Haar“- oder „Schweifsterne“) wirft. Eindrucksvollere, hellere Erscheinungen aus dieser Gruppe kosmischer Körper sind in den letzten Jahrzehnten außerordentlich selten gewesen, so daß es unseren Beratern schwerfällt, an unsere eigene Anschauung zu appellieren und anzuschließen. Als Ersatz müssen daher einige Photographien von Kometen dienen. Noch eindrucksvoller sind jedoch zweifellos Originalgemälde, die in der Vergangenheit von Künstlern von den berühmtesten Kometenerscheinungen (z. B. Komet Halley 1910) angefertigt wurden. Wir sehen auf ihnen leuchtende Gebilde von teilweise beträchtlicher Flächenausdehnung, die so gar nicht in das sonstige Bild kompakter, meist punktförmiger „Sterne“ passen. Man unterscheidet an ihnen, deren Bild eindeutig auf leuchtende Gasmassen hinweist, einen sogenannten „Kopf“ und den „Schweif“. Im Kopf eines Kometen kann man mit dem Fernrohr zumeist eine sehr starke Verdichtung beobachten, die man als „Kern“ bezeichnet.

Diese ungewöhnliche Erscheinungsform sowie das häufig unvorhersehbare sporadische Auftreten der Kometen umgab sie besonders im Mittelalter mit einem stark mystischen Nimbus. Kometenfurcht und Kometenaberglaube nistete in den Köpfen der Menschen, die Kriege, Hungersnöte und Seuchen als „Strafen Gottes“ ansahen, deren Ankündigungen eben die Kometen sein sollten. Aus dieser Zeit sind noch zahlreiche „Kometenflugblätter“ erhalten, auf denen vor einem neuerschienenen Kometen gewarnt wurde und besondere Verhaltensmaßregeln zu finden waren.

Heute weiß die Wissenschaft natürlich längst die wahre

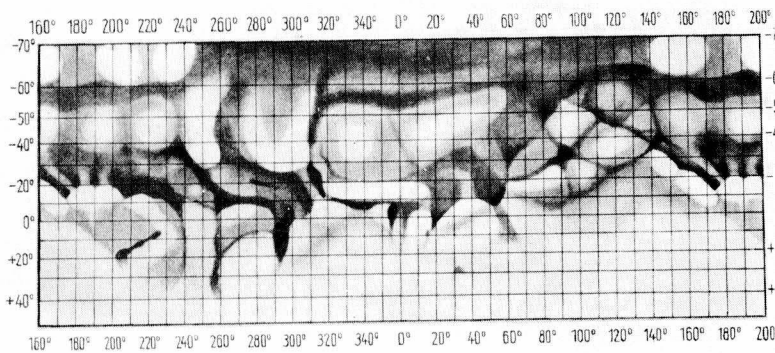


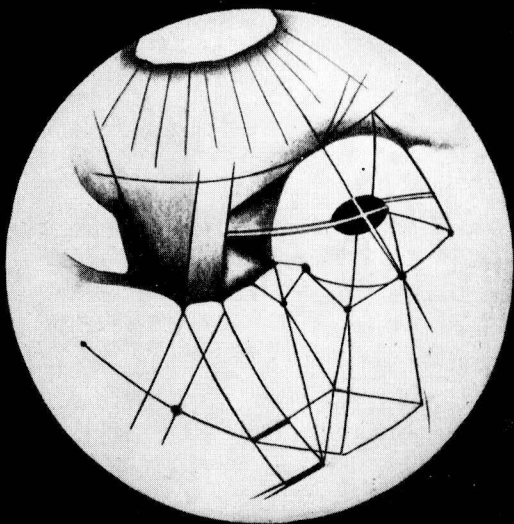
Die Arbeit des astronomischen Beobachters erfordert äußerste Sorgfalt und viel Erfahrung in der Bedienung der technischen Hilfsmittel



Die von dem
deutschen
Astronomen
K. Graff
veröffent-
lichten Mars-
zeichnungen
zählen
zu den besten
Dokumenten
der
Marsforschung

Das Ergebnis der Einzelbeobachtungen des Mars kann man zu
ganzen Karten der Marsoberfläche zusammenstellen

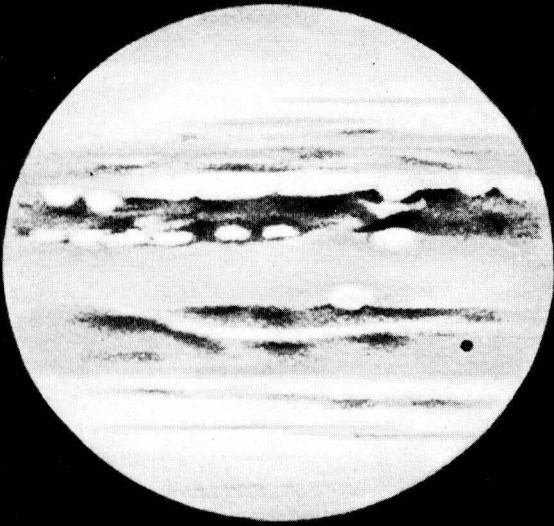




Die von einigen Marsbeobachtern aufgezeichneten „Marskanäle“ konnten in dieser extremen Form von Beobachtern an sehr großen Fernrohren nicht bestätigt werden

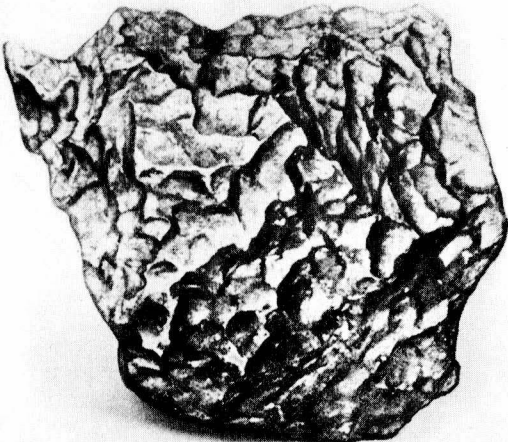
Die eindrucksvolle Erscheinung der Kometen führte im Mittelalter zu Kometenfurcht und Aberglauben





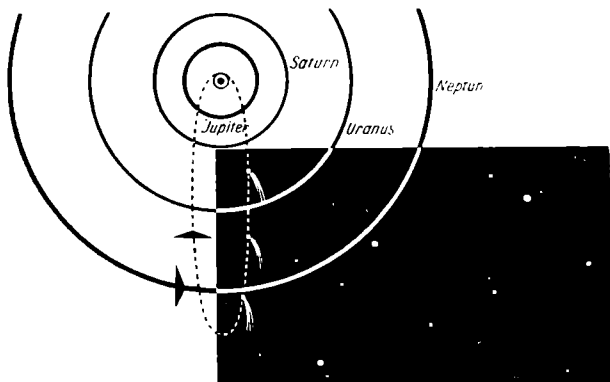
Der Planetenriese Jupiter zeigt eine charakteristische Streifenbildung seiner Wolkenhülle. Rechts unten einer der großen Jupitermonde, auf der Planetenscheibe sein Schatten

Zur meteoritischen Materie im interplanetaren Raum zählen auch Nickel-Eisen-Massen, wie dieser berühmte Meteorit von Treysa



Natur der Kometen zu deuten. Für unsere Zwecke kommen wir dabei wieder mit einem vereinfachten Anschauungsmodell aus, während es für die Astronomen noch zahllose weitere interessante Probleme gibt, die sogar zum Teil noch ungelöst sind. Nahezu die gesamte Masse eines Kometen ist in dem kleinen unscheinbaren Kern innerhalb des Kometenkopfes konzentriert. Sein Durchmesser ließ sich für einige Kometen zwischen 1 und 100 km finden. Da außerdem die mittlere Dichte eines Kometenkerns nicht viel größer als 1 g/cm^3 sein dürfte, würde ein Komet von etwa 10 km Kerndurchmesser nur ein Zehnmilliardstel der Erdmasse aufbringen. Nach neueren Ansichten setzt sich der Kometenkern aus festen meteoritischen Teilchen zusammen, die sozusagen in eine kompakte Masse gefrorener Gase (Ammoniak, Methan, Kohlendioxyd, Dizyan) „eingebettet“ sind.

Es ist nun praktisch dieser Kern, der auf einer meist sehr langgestreckten Ellipse um die Sonne läuft. Es gibt Objekte, die im Perihel der Sonne näherkommen als die Erde und die sich im Aphel weit über die Bahn des Pluto hinausbewegen. Nähert sich nun ein solcher Kometenkern, der bis dahin von der Erde aus unsichtbar war, allmählich der



Die Bahn des Kometen Halley führt noch über die Neptunbahn hinaus

Sonne, so bringt deren Strahlung die Gase zum Verdampfen, und es bildet sich die Gashölle des Kopfes (auch „Koma“ genannt). Das Objekt kann dann unter Umständen schon von der Erde aus als schwaches, verwaschenes Nebelfleckchen am Nachthimmel entdeckt werden. Neigt der Komet zu besonders starker Gasproduktion und nähert er sich dabei der Sonne weiter auf etwa 1,5 bis 2 AE, so kommt es zur Ausbildung des Gasschweifes, der bei sehr großen Kometen eine Länge von über 100 Millionen Kilometer erreichen kann. Die Richtung, in der sich der Schweif dann in den Raum hinaus erstreckt, ist meist der Richtung zur Sonne entgegengesetzt. Als Ursache dafür sieht man zu einem kleineren Teil den Strahlungsdruck des Sonnenlichtes an, während die Hauptkraft zur Fortbewegung der Moleküle des Gasschweifes wohl allein auf den Druck des von der solaren Teilchenstrahlung erzeugten „Windes“ zurückgeführt werden muß.

Besonders interessant ist nun, daß sich ein Komet bei seinen periodischen Umläufen um die Sonne sowohl unter deren Strahlungswirkungen als auch unter dem Einfluß der Anziehungskraft von Sonne und Großen Planeten allmählich auflösen kann. Als Restprodukt ergibt sich aus den ehemaligen festen Bestandteilen des Kometenkerns ein Meteoritenstrom. Derartige „kometarische“ Ströme sind in der Astronomie seit 1866 bekannt, als es dem Italiener SCHIAPARELLI erstmalig gelang, den Nachweis zu führen, daß die Bahnen des Kometen „1862 III“ und des schon früher erwähnten „Perseiden-Stromes“ praktisch miteinander übereinstimmen. Auf unsere Frage nach Ursprung und Entwicklungsgeschichte der Kometen kann man uns allerdings nur so viel sagen, daß dieses Problem bisher als absolut ungeklärt angesehen werden muß. Übrigens gilt dies auch für den Gesamtkomplex der Kleinkörper des Sonnensystems. Zahlreiche Hypothesen stehen zur Zeit noch nebeneinander, und wir dürfen hoffen, daß der Einsatz unbemannter Aufklärungs sonden die wissenschaftliche Erkenntnis bald auch in dieser Richtung wieder einige Schritte voranführen wird. Für den bemannten

Raumflug wird aber gerade von dieser Welt der Kleinkörper immer eine beachtliche reale Gefahr ausgehen, selbst wenn man zunächst einmal davon absehen wollte, sich zwecks Aufklärung mitten in das dichteste Getümmel zu wagen. Mit Maßnahmen zur Einschränkung dieser Gefahr werden sich die Raumflugspezialisten noch eingehend beschäftigen müssen.

8. JUPITER UND SATURN —

Im Banne zweier Giganten

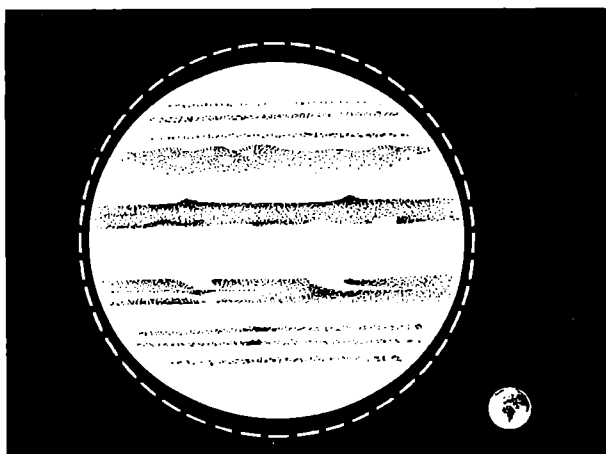
Ehe wir nun die nächsten Seiten in unserem interessanten Reiseprospekt aufschlagen, beginnen wir schon so langsam zu ahnen, daß wir uns mit dem Wunsch zur Teilnahme an interplanetaren Expeditionen wohl doch in ein ungewöhnlich großes, wenn auch äußerst interessantes Abenteuer einlassen würden. Der Vorschlag der uns beratenden Spezialisten, zunächst doch lieber erst die Aufklärungsergebnisse unbemannter Planetensonden abzuwarten und dann entsprechende Schlüsse zu ziehen, erscheint uns allmählich wirklich in einem besseren Licht. Schließlich haben wir bisher noch keinen Planeten oder sonstigen Körper des Planetensystems kennengelernt, der uns Erdbewohnern wenigstens einigermaßen gewohnte Umweltverhältnisse zu bieten vermag. Doch in so ausgeprägter Form haben wir dies ja eigentlich auch gar nicht erwartet. Immerhin bleibt die Tatsache bestehen, daß die Teilnehmer von Planetenexpeditionen die Auseinandersetzung mit den ungewöhnlichen und teilweise sogar gefahrgeschwängerten Umweltbedingungen anderer Planeten nicht sozusagen „vor der Tür“ des sicheren Hafens Erde zu führen hätten, in den man sich beliebig schnell bei gefährlichen Situationen zurückziehen könnte. Das Wagnis eines solchen Unternehmens wird also in jedem Fall dementsprechend groß sein und zu der Vorausüberlegung zwingen, ob es in einem realen Verhältnis zur Bedeutung der auf irgendeinem fremden Planeten zu erringenden Erkenntnisse steht.

Bisher haben wir also erfahren, daß es auf dem einen Planeten wahrscheinlich viel zu heiß und auf dem anderen im Mittel schon viel zu kalt ist, um sich ohne größeren technischen Daueraufwand auf seiner Oberfläche halten zu können. Hinzu kommen die jeweiligen atmosphärischen Verhältnisse, die es in keinem Fall zulassen, den Planeten ohne strengste Vorsorge in Form von hermetisch abgeschlossenen Schutzanlagen (Anzüge bzw. Fahrzeuge) zu

betreten. Dieses Bild, in dem also die reinen raumflugtechnischen Gefahren und Schwierigkeiten enthalten sind, wurde außerdem nicht gerade verschönert durch die entsprechenden Betrachtungen zur Welt der Kleinkörper. Dennoch befanden wir uns aber bisher noch in einem Bereich des Sonnensystems, in dem es zahllose Rechtfertigungen auch für die Durchführung bemannter Raumflüge gibt. Selbst in der Fachsprache des Astronomen läßt sich dafür ein Anhaltspunkt finden, da er die Planeten bis zum Mars als „erdähnliche“ Planeten im engeren Sinn bezeichnet. Dabei wurde allerdings noch nicht an die Belange des Raumfluges gedacht. Lediglich die allgemeinen physischen Zustandsgrößen der Planeten gaben zu dieser Einteilung Anlaß. Was aber erwartet uns dann in astronautischer Hinsicht bei den Planeten ab Jupiter? — Es sind, kurz gesagt, wenig begeisternde Aussichten, zumal wenn man sich noch einmal die durch die Gesamtdauer einer Expedition in diese fernsten Räume des Planetensystems gesteigerten Schwierigkeiten und Probleme vor Augen hält.

Der erste Planet nach der Planetoidenlücke ist der Jupiter. Seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt schon rund 778 Millionen Kilometer (5,2 AE), wobei seine verhältnismäßig wenig elliptische Bahn ihn einmal bis auf 4,95 AE an die Sonne heranführt, während sein größter Sonnenabstand bei 5,45 AE liegt. Seine Umlaufbahn ist nur um etwas mehr als 1° gegen die Ebene der Erdbahn geneigt. Für einen Umlauf um die Sonne benötigt Jupiter schon 11,86 Erdenjahre bei einer mittleren Umlaufgeschwindigkeit von nur 13,06 km/s. Unter den am Nachthimmel sichtbaren sternartigen Himmelskörpern ist Jupiter der weitaus hellste, er übertrifft dabei sogar den hellsten Fixstern Sirius zur Zeit der Opposition beträchtlich. Aus dieser trotz seiner besonders weiten Entfernung sehr großen Helligkeit des Planeten kann man schon in erster Näherung auf eine beträchtliche Größe schließen.

Jupiter ist auch wirklich der Gigant unter den Planeten. Mit seinem Durchmesser von 142800 km übertrifft er die Erde um das 11,2fache. Allerdings fällt sogar schon in



Größenvergleich von Jupiter und Erde

einem kleinen Fernrohr auf, daß sein Poldurchmesser ganz erheblich, nämlich um etwa 8800 km kürzer ist. Beim Betrachten des Jupiter erblickt man einen sehr deutlich abgeplatteten Himmelskörper. Die Ursache für diese außerordentlich starke Abplattung ist in der ungewöhnlich schnellen Rotation des Planeten zu suchen. Man stelle sich vor, daß dieser gewaltige Himmelskörper sich in noch nicht einmal zehn Stunden einmal um seine Achse schwingt, während die Erde ja dazu immerhin etwa 24 Stunden benötigt. Dieser Vergleich wird noch eindrucksvoller, wenn man bedenkt, daß die Jupitermasse rund 318 Erdmassen ausmacht. Damit ist die Masse dieses Riesen unter den Planeten auch mehr als doppelt so groß wie die Masse aller anderen Planeten zusammen. Berechnet man aber aus den eben genannten Werten für Durchmesser und Masse die mittlere Dichte des Jupiter, so kommt man zu der erstaunlichen Zahl $1,33 \text{ g/cm}^3$. Hier deutet sich also der krasse Unterschied unseres neuen „Reisezieles“ zu den „erdähnlichen“ Planeten an, woraus dann natürlich auch entsprechende Konsequenzen für die Vorstellungen über den

inneren Aufbau eines solchen Planeten gegeben sind. Immerhin ist diese Dichte ja nicht viel größer als die des Wassers.

Zweifellos rückt Jupiter damit auch in den Mittelpunkt größten wissenschaftlichen Interesses, denn bis jetzt gibt es noch keine befriedigende Hypothese zu Einzelheiten seines Aufbaus. Die Untersuchungen zu diesen Fragen werden nämlich bei Jupiter ähnlich wie im Fall der Venus durch eine mit außerordentlich dichten Wolken angereicherte Atmosphäre sehr erschwert. Diese Wolkenhülle ist sogar schon in kleinen Fernrohren sehr gut zu sehen, weil sie eine eindrucksvolle kontrastreiche Bänderung parallel zum Jupiteräquator aufweist. Diese Streifenbildungen sind eine logische Folge der schnellen Rotation des Planeten. Dabei zeigt sich noch ein außerordentlich interessantes Phänomen. Ähnlich wie bei der Sonne haben die Teile der Wolkenatmosphäre am Äquator eine deutlich schnellere Rotation als die Gebiete in höheren Breiten. Vielleicht kann man dies schon als Hinweis darauf werten, daß die Gashülle des Planeten, von der wir ja nur die Oberfläche der höchsten Wolkenschichten beobachten können, eine ganz beträchtliche Höhererstreckung haben muß. Die hohe mittlere Albedo der Jupiterwolken von 0,41 (41 % des Sonnenlichtes werden reflektiert) trägt auch wesentlich zur großen Gesamthelligkeit des Jupiter bei.

Die Beobachtungen der Veränderungen in der Wolkenhülle lassen nun deutlich erkennen, daß es dort sehr kräftige Strömungen geben muß. Es wurden schon Strömungsgeschwindigkeiten beobachtet, die um 100 m/s lagen. Es gibt nur sehr wenig Objekte in der Jupiteratmosphäre, die sich über längere Zeit hinweg identifizieren lassen, und bei den meisten von ihnen ist es dann sogar noch zweifelhaft, ob sie wirklich der Atmosphäre oder doch tieferen, vielleicht festeren Gebieten angehören. Das in diesem Zusammenhang wohl interessanteste und berühmteste Objekt auf Jupiter ist der „Große Rote Fleck“, der erstmalig 1878 auf der Südhalbkugel des Planeten bemerkt wurde. Wie der Name schon sagt, zeigte dieses Gebilde lange Zeit hindurch eine

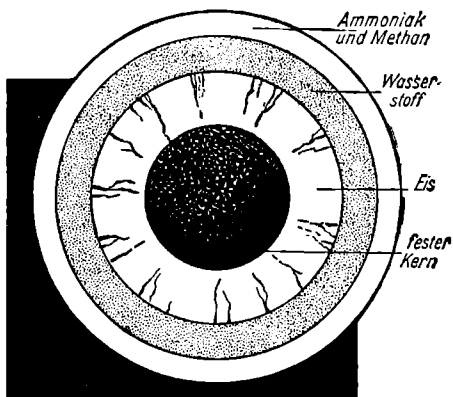
mehr oder weniger intensive Rotfärbung, die heute allerdings hauptsächlich weißen Tönungen gewichen ist. Die Größe des Roten Flecks ist mehr als respektabel mit etwa 40 000 km Längenausdehnung (entspricht etwa einem Erdumfang) und rund 15 000 km Breite.

Wie es noch keine wirklich brauchbare Hypothese über den Aufbau des Jupiter selbst gibt, fehlt bis jetzt auch eine zuverlässige Schlußfolgerung über die Ursache des Großen Roten Flecks. Vom optischen Erscheinungsbild her scheint vielleicht eine der zahlreich geäußerten Ansichten besonders plausibel. Danach sollte an der Stelle des Großen Roten Flecks die Wolkenhülle des Planeten durch enorme Vertikalströmungen aufgerissen sein, wobei ein Durchblick auf ein Gebiet entstand, das durch glühendes Material aus dem Jupiterinnern überflutet wurde. Die späteren Farbänderungen ließen sich dann vielleicht als Abkühlungsvorgänge und allmähliche Überdeckung durch Wolken deuten.

Eine solche Ansicht würde allerdings voraussetzen, daß das Innere des Planeten noch verhältnismäßig heiß ist. Um diesen glühenden Kern könnte dann eine relativ dünne feste Hülle liegen, durch deren Spalten und Risse das Material für die Wolkenbildung geliefert wird. Hypothesen über den Jupiteraufbau in dieser Richtung werden auch ernsthaft diskutiert. Dagegen steht nun eine andere Ansicht, die den Jupiter sozusagen nahezu völlig „kalt“ macht. Ausgehend von der ungewöhnlich geringen Dichte des Planeten und der Tatsache, daß im Bereich seiner Wolkenhülle Temperaturen um -130°C gemessen wurden, entsteht ein recht interessantes Jupiterbild. Hinzufügen muß man allerdings, daß die Spektralanalyse die Jupiteratmosphäre als hauptsächlich aus Methan (CH_4) und Ammoniak (NH_3) bestehend ausgewiesen hat. In einer derartigen Atmosphäre wäre der Mensch verloren, wenn er frei atmen müßte. Neben diesen recht unangenehmen Bestandteilen der Jupiteratmosphäre läßt sich aber auch die Anwesenheit großer Mengen der leichtesten Gase Wasserstoff und Helium vermuten, da der Planet mit seiner enormen Anziehungskraft (im Bereich der Wolkenhülle noch 2,65mal so groß wie die Schwerkraft an

der Erdoberfläche!) auch diese sonst sehr leicht entweichenden Gase festhalten kann. Trifft nun die Annahme von der durchgehend sehr niedrigen Temperatur zu, so könnten diese Gase auch im flüssigen Zustand vorkommen. Es entsteht schließlich das Modell eines Weltkörpers, der nur einen relativ kleinen festen Kern besitzt, aber von mehreren starken Hüllen leichter Gase und feiner Eisteilchen seinen imponierenden optischen Durchmesser erhält.

Wenn es uns nun auch schon längst klargeworden ist, daß der Jupiter als Ziel einer Landungsexpedition zweifellos niemals in Frage kommen dürfte, so verstehen wir andererseits auch den Wunsch der Wissenschaftler, zumindest die Geheim-



Vermutlich besteht der Jupiter nur aus einem relativ kleinen festen Kern, der von mehreren ausgedehnten Hüllen gefrorener und freier Gase sowie feiner Eisteilchen umgeben ist

nisse seines Aufbaus zu entschleiern. Schließlich deutet sich hier eine so auffallende Verschiedenartigkeit zum Aufbau der Erde an, daß man mit der Lösung dieses Problems in der Frage der Entstehung des Planetensystems und damit auch der Erde zweifellos einen großen, vielleicht sogar entscheidenden Schritt weiterkommen könnte. Die Entsendung unbemannter Raumschiff laboratorien in den Bereich des Jupiter, eventuell sogar mit Eintauchsonden für seine Atmosphäre, wird daher auf jeden Fall auf dem Programm der Raumfahrt zu finden sein.

Übrigens ist es nicht ganz uninteressant, daß auch die in-

zwischen angestellten radioastronomischen Untersuchungen des Jupiter bisher für keine der oben erwähnten Hypothesen eindeutig zu entscheiden vermögen, obwohl sie das Bild des Planeten doch schon um einige bemerkenswerte Details bereicherten. So ließ eine der Analysen der Radiostrahlung des Jupiter darauf schließen, daß es in seiner Atmosphäre so etwas wie eine „Ionosphäre“ (Schichten maximaler Häufigkeit von elektrisch geladenen Teilchen, d. h. Elektronen und Ionen) geben müsse und daß Jupiter auch ein Magnetfeld sein eigen nennt. Kurzzeitige Strahlungsausbrüche (z. B. bei 18 MHz) deuten einige Wissenschaftler als Folgen elektrischer Entladungen (Blitze) in der Jupiteratmosphäre. Während einige Meßreihen für das ausstrahlende Gebiet Temperaturen um -100°C andeuteten, ergaben sich in anderen Wellenlängenbereichen ungewöhnlich hohe Werte mit 130 und sogar 600°C . Alles in allem präsentiert sich Jupiter also noch als recht rätselvoller Planet, der der Wissenschaft sicher zahlreiche Entdeckergefreuden bescheren wird.

Als astronautisches „Reiseziel“ hat jedenfalls der Jupiter seine Tücken; aber wenn wir uns einmal in seiner unmittelbaren Nachbarschaft umsehen, dann schöpfen auch wir eingefleischten Raumfahrer wieder Hoffnung. Der Riesenplanet wird nämlich von einer beachtlich zahlreichen Familie natürlicher Monde umkreist. Bisher gelangen 12 Entdeckungen, davon die ersten schon dem berühmten italienischen Astronomen und Naturforscher Galileo GALILEI im Jahre 1610. Die von ihm aufgefundenen „Galileischen Jupitermonde“, vier an der Zahl und mit Namen Io, Europa, Ganymed und Kallisto, bildeten einen Eckpfeiler der Beweise für die Richtigkeit des Kopernikanischen Weltbildes, weil sie unwiderleglich bewiesen, daß es Bewegungen im All gibt, die nicht um die Erde als Zentrum führen. Die Beobachtung dieser vier hellsten Jupitermonde ist auch schon mit einem guten Feldstecher möglich und bietet mit ihren ständig wechselnden Umlaufpositionen einen interessanten Einblick in das sonst so trockene Gebiet der Himmelsmechanik.

	27. Aug.
	28. Aug.
	29. Aug.
	20. Aug.
	21. Aug.
	22. Aug.

Das Bewegungsspiel der Jupitermonde läßt sich schon von Tag zu Tag sehr gut erkennen

Übrigens verhalten die Jupitermonde der Wissenschaft zum erstenmal zu einer Vorstellung über die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes. Der dänische Astronom Olaf RÖMER fand nämlich eine zeitliche Differenz zwischen dem tatsächlichen Eintritt eines Jupitermondes in den Planetenschatten und den diesbezüglichen Vorausberechnungen. Da diese Differenz nun eindeutig von der jeweiligen Entfernung zwischen Erde und Jupiter abhängig war, schloß RÖMER folgerichtig, daß hierbei die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes mit in die Beobachtung eingeht. Der von ihm für die Lichtgeschwindigkeit gefundene Wert stimmt hinreichend gut mit den neuesten Ableitungen aus Laboratoriumsmessungen (299 790 km/s) überein.

Bleiben wir zunächst noch bei den Galileischen Monden. Ihre außergewöhnliche Helligkeit — sie sind so hell, daß man sie unter günstigen Bedingungen sogar mit bloßem Auge sehen könnte, wenn nicht die Überblendung durch den Planeten dies verhindern würde — kann natürlich wieder als Hinweis auf ihre beträchtliche Größe dienen. In großen Fernrohren kann ihr Scheibenbild gut gemessen werden und liefert Werte etwa zwischen dem Durchmesser des Erdmondes und des Planeten Merkur; die beiden

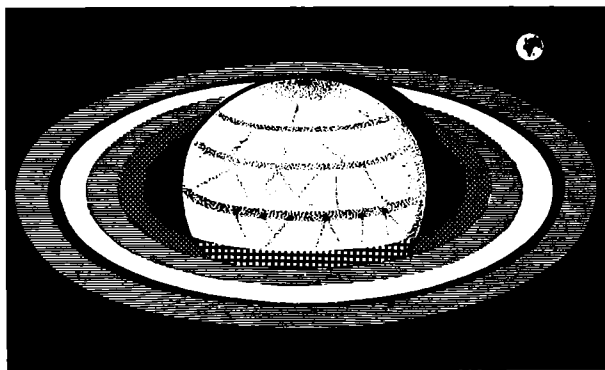
äußeren Monde (Ganymed und Kallisto) übertreffen den Merkur sogar um eine Kleinigkeit. Ebenso interessant ist die Tatsache, daß ihre hohe Albedo (bis 0,4) auf das Vorhandensein von Gashüllen schließen läßt. Spektroskopische Untersuchungen haben diese Ansicht bestätigt, allerdings auch hier wieder auf die „ungenießbaren“ Gase Methan und Ammoniak hingewiesen. Es bleibt nun abzuwarten, ob sich bei der weiteren Aufklärungsarbeit dieser Befund so vertieft, daß es als zu riskant angesehen werden müßte, später einmal den einen oder anderen großen Jupitermond als astronautisches Landungsziel auszuwählen. Sonst wäre es in einer sehr fortgeschrittenen Phase der Raumflugtechnik durchaus denkbar, einen der Jupitermonde auch mit einem bemannten Raumschiff anzuliegen.

Die übrigen Jupitermonde lassen sich mit den vier Galileischen in keiner Weise vergleichen. Wie ihre außerordentlich geringen Helligkeiten schon ahnen lassen — sie sind selbst in großen und größten Fernrohren nur mit äußerster Mühe aufzuspüren —, handelt es sich bei ihnen um Kleinkörper, die etwa mit den im vorigen Kapitel besprochenen verglichen werden können. Mit Ausnahme eines Mondes, der innerhalb der vier großen Monde um den Planeten läuft, sind alle anderen weit außerhalb von deren Bahnen zu finden. Auch die Bahnen dieser Objekte zeigen in jedem Fall ungewöhnliche Verhältnisse (große Elliptizitäten, große Bahnneigungen gegen den Jupiteräquator, 4 Monde sind sogar „rückläufig“), so daß sich die Ansicht durchgesetzt hat, es handele sich hier in der Mehrzahl um Objekte aus der Familie der Kleinen Planeten, die Jupiter dank seiner großen Anziehungskraft sozusagen „einfangen“ konnte. Für unser astronautisches Interesse vermögen diese Jupitermonde also nicht mehr zu geben als die Kleinen Planeten allgemein.

Mit seinen sehr gegensätzlichen Eigenschaften zu den „erdähnlichen“ Planeten steht nun Jupiter absolut nicht allein da. Man kann ihn vielmehr als Prototyp eines ganzen Familienzweiges der Großen Planeten ansehen, dem die ihm nachfolgenden Planeten Saturn, Uranus und Neptun

angehören und die man am besten vielleicht unter dem Begriff „jupiterähnlich“ zusammenfassen kann. Diese Ähnlichkeit bezieht sich also auf Größe, Masse, Dichte und vor allem Zusammensetzung der Atmosphären. Wir bleiben damit auch weiter im Bannkreis der Giganten des Planetensystems, was zum Teil sogar wörtlich genommen werden könnte, weil die beträchtlichen Anziehungskräfte dieser Körper im Verhältnis zu der in ihren Entfernungen nur noch relativ schwachen Anziehungskraft der Sonne für eine antriebslos anfliegende Raumsonde unter Umständen zu recht „fesselnden“ Wirkungen führen müßte.

Der auf Jupiter nun folgende Saturn ist mit 120 800 km Äquatordurchmesser zweifellos ein würdiger Bruder seines sonnennäheren Nachbarn. Er ist damit der zweitgrößte



Größenvergleich von Saturn und Erde

Planet des Sonnensystems. Der Abplattungseffekt ist bei ihm allerdings noch größer als bei Jupiter, denn sein Poldurchmesser erweist sich um 11 600 km kürzer als der Äquatordurchmesser. Nach der Ursache dafür braucht man auch hier nicht lange zu suchen, da die Beobachtung zeigt, daß er ebenso wie Jupiter sehr schnell rotiert. Er führt eine Umdrehung um seine Achse schon in 10 Stunden und 14 Minuten aus. Auch seine stark mit Wolken angereicherte

Atmosphäre zeigt daher das Bild einer allerdings nicht sehr kontrastreichen Streifenbildung. Die Beobachtung feinerer Details wird jedoch durch die immerhin schon sehr große Entfernung zwischen Erde und Saturn erheblich erschwert. Unser „Planetensteckbrief“, den wir ja immer wieder zu Rate ziehen müssen, verrät uns, daß der Riesenplanet schon fast 1,5 Milliarden Kilometer (genauer 9,55 AE) im Mittel von der Sonne entfernt ist. Für einen einzigen Umlauf benötigt er fast 30 Erdenjahre, und mit seiner Bahngeschwindigkeit von nur 9,65 km/s „schleicht“ er griesgrämig um die Sonne, wenn man schon einmal auf seinen Götternamen bildlich eingehen will.

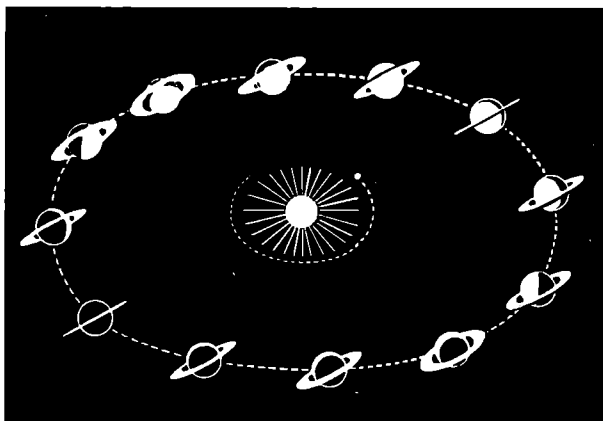
In unserer unbemannten Raumsonde, mit der wir uns als „blinde Passagiere“ ja auf dem Weg durch diese fernsten Räume befinden, berührt uns das Problem des Temperaturhaushaltes nicht sonderlich. In einem bemannten Raumschiff dagegen müßte schon eine vollständige Kernenergieanlage allein für die Zwecke der Temperaturregelung vorhanden sein, weil ja in diesen Entfernungen von der Sonne deren Strahlung auf keinen Fall mehr hinreicht, die für diese und ähnliche Zwecke benötigten Energiemengen über Sonnenbatterien zu liefern, wie es im relativ sonnennahen Raum zum Teil noch der Fall ist. Auch die direkte Erwärmung eines Körpers in Saturnentfernung durch die Sonnenstrahlung ist kaum noch merkbar. So zeigt sich beispielsweise, daß die Temperatur in den Wolkenschichten des Planeten höchstens noch -150°C erreicht.

Die Atmosphäre des Saturn ähnelt der des Jupiter auch sonst außerordentlich stark. Sie hat wie diese eine sehr hohe Reflexionskraft (Albedo 0,42) und setzt sich in den oberen Partien zwar aus wesentlich weniger Ammoniak, dafür aber um so mehr Methan zusammen. Man vermutet, daß die Wolkenbildungen vornehmlich von Ammoniakkristallen herrühren. Außer diesen beiden Verbindungen wird aber in der Saturnatmosphäre hauptsächlich Wasserstoff anzutreffen sein. Der allgemeine Aufbau des Planeten muß dem des Jupiter weitgehend ähnlich sein. Das heißt, ein nur kleiner „fester“ Kern wird von mehreren sehr dicken Hüllen

verflüssigter oder freier Gase umgeben. Bei Saturn müßten die Gashüllen im Verhältnis zum Kern dann aber noch viel mächtiger sein als bei Jupiter, denn die mittlere Dichte ist die niedrigste von allen Planeten, niedriger sogar als die der Sonne. Mit $0,69 \text{ g/cm}^3$ spricht sie eindeutig für das oben skizzierte Bild des Planetenaufbaues. Wenn man also die Schwerkraftverhältnisse an den Oberflächen dieser „jupiter-ähnlichen“ Planeten mit denen an der Oberfläche der Erde vergleicht, so muß man sich immer darüber im klaren sein, daß unter „Oberfläche“ bei Jupiter und Saturn zunächst einmal die Oberfläche der obersten Wolkenhülle zu verstehen ist. Wo die eigentliche feste Oberfläche dieser Planeten liegt, ist ja vorläufig noch nicht bekannt. Demzufolge läßt sich gegenwärtig auch gar nicht der „fesselnde“ Einfluß der Planetenanziehungskräfte für eine Landungsexpedition abschätzen. Sicher wäre er wesentlich größer, als aus den Berechnungen über scheinbaren Durchmesser und Masse bis jetzt zu entnehmen war; aber wir waren uns ja schon bei Jupiter wohl so ziemlich darüber einig geworden, daß ein „Landungsversuch“ auf Planeten derartiger Beschaffenheit besser unterbleiben sollte.

Für unser neugieriges „geistiges“ Auge hinter der scharfen Photooptik einer unbemannten automatischen Raumsonde hätte Saturn allerdings in anderer Hinsicht noch etwas ganz Sensationelles zu bieten. Je näher wir kommen, um so deutlicher sehen wir es: Saturn ist von einem freischwebenden, sehr flachen, aber ausgedehnten Ring umgeben! — Diese Erscheinung hat sich bei der bisherigen Durchforschung des Kosmos als wirklich einmaliges Phänomen erwiesen und macht Saturn für die Beobachtung am Fernrohr zum reizvollsten Objekt.

Wenn wir nun den ringgeschmückten Planeten näher betrachten, so stellen wir als erstes fest, daß der Ring praktisch genau in der Äquatorebene des Saturn liegt. Weil aber die Ebene des Saturnäquators um etwa 28° gegen die Erdbahnebene geneigt ist, muß der Planet mit seinem Ring für einen Beobachter von der Erde aus einen im Laufe seines Weges um die Sonne langsam wechselnden Anblick bieten. So



*Der Anblick der Saturnringe wechselt im Rhythmus seines Sonnen-
umlaufes*

kommt es, daß man zu gewissen Zeiten den Saturnring auch in einem großen Fernrohr überhaupt nicht sehen kann, da man dann gerade auf die „Kante“ des sehr flachen (kaum 20 km dicken!) Ringes blickt. Zu anderen Zeiten sehen wir dafür den Ring wieder weit geöffnet, so daß man sich mit eingehenderen Detailstudien beschäftigen kann.

Wie wir von unserer Raumsonde aus sehr gut sehen können, ist dieser Ring gar kein einheitliches festes Gebilde. Wir sehen, daß es eigentlich mehrere Ringe sind, die zwar dicht aneinandergrenzen, aber doch deutlich unterschieden werden können. Am augenfälligsten ist dabei eine schmale dunkle Trennzone etwa in der Mitte des Ringes, die man nach ihrem Entdecker auch als „Cassinische Teilung“ bezeichnet. Sie ist rund 4 000 km breit und trennt den mit seiner Außenkante etwa 138 000 km vom Saturnzentrum entfernten „A-Ring“ vom „B-Ring“, der mit seiner Innenkante der Saturnoberfläche bis auf etwa 30 000 km nahekommt. Noch weiter innen liegt dann der nur sehr schwer aufzufindende „Floring“, der bis auf $\frac{1}{3}$ des Planetendurchmessers an die Oberfläche des Saturn heranrückt.

Der italienische Astronom CASSINI war übrigens auch der erste, der die wahre Natur des Saturnringes von seinem Aufbau her richtig einschätzte. Der Ring oder seine Teile können nämlich aus himmelsmechanischen Gründen keine durch und durch festen Gebilde sein. CASSINI sprach die Saturnringe daher als riesige und dichte Ansammlungen von kleinen und kleinsten „Satelliten“ des Planeten an. Diese Ansicht ist inzwischen auf verschiedenen Wegen bestätigt worden, wobei sich im einzelnen ergab, daß der Hauptanteil dieser „Monde“ von Partikeln in Staubkorngröße gestellt wird. Die Teilungen innerhalb des ganzen Ringsystems ließen sich dann auch auf himmelsmechanischem Wege erklären. Es handelt sich nämlich dabei um Gebiete, in denen sich die winzigen Kleinstsatelliten nicht lange aufhalten können, weil sie durch Störkräfte dort sehr schnell wieder aus der Bahn geworfen werden. Als ganz natürliche Ursache für dieses Spiel der Naturkräfte wirken die außerhalb des Ringsystems umlaufenden 9 großen „echten“ Saturnmonde. Ihre Anziehungskräfte erzeugen also die Teilungen, von denen es daher noch viel mehr geben muß, als man bisher von der Erde aus entdecken konnte. Um aber diese „Feinstruktur“ des Ringsystems aufzuklären, müßte man eben schon etwas näher an den Planeten heranrücken können. Neben der anderen Aufklärungsarbeit könnte dies somit vielleicht auch einmal zum Forschungsprogramm spezieller „Saturnsonden“ gehören.

Da im übrigen auch die Monde des Saturn keinen überragenden Anziehungspunkt für den bemannten Raumflug abgeben dürften — lediglich der größte, Titan, scheint den vier Galileischen Monden des Jupiter weitgehend zu ähneln —, würde es somit auch für sehr kühne Projekt-schöpfer mit zunehmender Annäherung an die Grenze des Sonnensystems immer schwieriger, die Probleme und das Risiko eines bemannten Raumfluges in diese Gegenden mit dem wissenschaftlichen Effekt eines solchen Unternehmens in Einklang zu bringen. Man wird daher für Flüge in diese „Außenbezirke“ des Sonnensystems wohl besser beim Einsatz unbemannter automatischer Raumsonden bleiben.

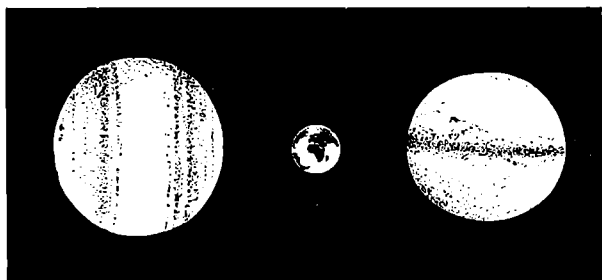
9. BIS ZUR GRENZE

Wenn man sich nun in der astronomischen Forschung nur mit dem für das bloße Auge erkennbaren Teil des Weltalls begnügen müßte, so würde damit auch unser Reiseführer praktisch schon mit der Besprechung des Saturn zu Ende gegangen sein. Weitere Planeten kannte man im Altertum nicht, und auch für KOPERNIKUS und seine Anhänger blieb Saturn zunächst die äußerste Grenze des Sonnensystems. Dessen Dimensionen erweiterten sich jedoch auf rund das Doppelte, als am 13. März 1781 die Entdeckung des Uranus durch Wilhelm HERSCHEL gelang, der es im übrigen vom einfachen Musiker bis zum berühmtesten Astronomen seiner Zeit brachte. Mit selbstgeschliffenen und gebauten Spiegelteleskopen (bis zu 1,22 m Durchmesser!) durchmusterte er den Himmel, und seinem scharfen Beobachterauge entging auch schließlich nicht ein zwar winziges, aber doch deutlich erkennbares Sternscheibchen, das er eines Tages unter den punktförmig leuchtenden Fixsternen fand. Schon bald zeigten dann die Beobachtungen eine deutliche Eigenbewegung des Objektes und damit seine Natur als Planet. Wenn man sehr gute Augen hat, der Himmel sehr klar und dunkel ist und die jeweilige Position des Planeten unter den Sternen bekannt ist, kann man den Uranus auch mit bloßem Auge gerade noch erkennen.

Die mittlere Entfernung des Uranus von der Sonne beträgt schon rund 2,9 Milliarden Kilometer (19,2 AE), und wir können uns leicht vorstellen, daß es in so fernen, von der Licht- und Wärmestrahlung der Sonne kaum noch merklich beeinflussten Tiefen des interplanetaren Raumes schwer wird, an Raumfahrt zu denken. Auf der Basis chemischer Raketenantriebe würden sich Reisezeiten ergeben, die sehr viele Jahre umspannen. Wenn man also überhaupt einmal an bemannte Flüge dorthin wird denken können, dann immer wieder nur auf der Grundlage spezieller Raumtriebwerke für Dauerbeschleunigung. Selbst wenn man auf der Oberfläche des Uranus landen könnte, würde es sich kaum

empfehlen, so lange auf ihm zu verweilen, bis er einen Umlauf um die Sonne vollzogen hat, denn dazu braucht er schon volle 84 Erdenjahre. Seine mittlere Umlaufgeschwindigkeit beträgt nur noch 6,8 km/s.

Wenn er seiner Beschaffenheit nach auch noch zu den „jupiterähnlichen“ Planeten zählt, so ist Uranus doch schon nicht mehr ganz so gigantisch wie seine beiden sonnen-näheren Nachbarn. Immerhin übertrifft er aber mit 47 600 km Äquatordurchmesser die Erde noch um das 3,75fache.



Größenvergleich von Uranus, Erde und Neptun

Durch seine schnelle Rotation (10 Stunden 49 Minuten) zeigt er sich etwa so stark abgeplattet wie Jupiter. Aus seiner niedrigen mittleren Dichte von $1,56 \text{ g/cm}^3$ (Uranusmasse $\approx 14,55$ Erdmassen), der hohen Albedo von 0,45 und dem spektroskopisch nachgewiesenen Vorhandensein einer außerordentlich stark mit Methan angereicherten Atmosphäre, deren Wolken wiederum jeden tieferen Einblick unmöglich machen, läßt sich das typische Bild eines jupiterähnlichen Planeten gewinnen. Das über den Gesamtaufbau dieser Körper schon früher Gesagte muß also auch hier als gültig angesehen werden. Abschließendes Urteil in unserem Raumfahrtprospekt: Es besteht kaum noch die geringste wissenschaftliche Notwendigkeit, Uranus zum Zielplaneten bemannter Raumflüge zu machen, abgesehen von Forschungsflügen unbemannter Meß- und Beobachtungs-sonden.

Für die Spezialisten unter den Astronomen, die sich mit Fragen der Entstehung und Entwicklung des Planetensystems beschäftigen, könnten derartige Erkundungen vielleicht einmal von besonderem Wert sein. Uranus zeigt nämlich eine Eigentümlichkeit, die bei keinem anderen der Großen Planeten zu beobachten ist. Seine Rotationsachse liegt fast in der Bahnebene, und damit steht sein Äquator angenähert senkrecht auf der Bahn. Bei der Erde bilden Äquator und Bahn bekanntlich einen Winkel von nur 23,5 Grad. Da nun auch die fünf bisher entdeckten Monde des Uranus, deren letzter (Miranda) erst 1948 aufgefunden wurde, angenähert in der Äquatorebene um den Planeten laufen, ergibt sich zeitweilig die Möglichkeit, einmal sozusagen „von oben“ auf das Bewegungsspiel umlaufender Satelliten zu blicken. Eine Erklärung für dieses merkwürdige Verhalten des Uranus gibt es bisher noch nicht.

Der nächstfolgende Planet Neptun verdient eigentlich nur noch wegen seiner interessanten Entdeckungsgeschichte und der Vollständigkeit halber Erwähnung, denn was im Hinblick auf Raumflugaspekte ab Jupiter und Saturn angedeutet wurde, läßt ihn praktisch schon vollständig aus der Reihe sinnvoller Projekte ausscheiden. In der ungeheuren Entfernung von 4,5 Milliarden Kilometer (rund 30 AE) liegt sein mittlerer Sonnenabstand. Er braucht dann auch schon etwa 165 Erdenjahre, um einmal, mit 5,43 km/s im Mittel, um die Sonne zu laufen. Unser Zentralgestirn erscheint aus der Entfernung des Neptun praktisch nur noch wie ein allerdings ungewöhnlich heller Stern ohne merkliche Wärmewirkung. Die Temperatur auf dem Neptun liegt daher auch höchstens bei -200°C !

Im Durchmesser ist Neptun fast so groß wie Uranus; dafür zeigt er aber eine wesentlich geringere Abplattung, denn sein Poldurchmesser ist nur um 900 km kürzer (gegen etwa 2 800 km beim Uranus) als der Äquatordurchmesser mit 44 600 km. Da aber seine Masse 17,23mal größer ist als die Erdmasse, ergibt sich für Neptun mit $2,27\text{ g/cm}^3$ die größte mittlere Dichte aller jupiterähnlichen Planeten. Trotzdem dürfte sich sein Aufbau kaum wesentlich von dem der

anderen Mitglieder dieser Gruppe unterscheiden. Dafür sprechen seine hohe Albedo von 0,54, der spektroskopische Nachweis von außerordentlich viel Methan in seiner Atmosphäre und seine relativ schnelle Rotation in 15 Stunden und 40 Minuten. Besonders interessant ist, daß man die Rotationszeit bestimmen konnte, obwohl auf Grund der großen Entfernung Erde-Neptun kein hinreichendes Oberflächendetail mehr beobachtet werden kann. Zur Klärung dieses Sachverhalts müssen wir noch einmal die „Dolmetscher des Lichts“ befragen.

Wie wir wissen, ist Licht eine mit wellenförmiger Ausbreitung verbundene Erscheinung. Bewegen sich nun die Quelle der Ausstrahlung und der Beobachter aufeinander zu, so treffen je Sekunde mehr Wellen beim Beobachter ein. Mehr Wellen je Sekunde ergeben aber andererseits eine kleinere Wellenlänge. Das heißt, wenn die Lichtquelle im „Ruhezustand“ eine Spektrallinie an einer ganz bestimmten Stelle des Spektrums zeigt, dann verschiebt sich die gleiche Spektrallinie bei Annäherung zwischen Lichtquelle und Beobachter um ein der Annäherungsgeschwindigkeit proportionales Stück auf der Wellenlängenskala nach deren violettem Ende hin. Bei Vergrößerung der Entfernung zwischen Lichtquelle und Beobachter ergibt sich analog eine „Rotverschiebung“ im Spektrum. Legt man nun den Spalt eines Spektrographen so über eine rotierende Lichtquelle (z. B. Planetenscheibe), daß man mit dem einen Spaltende die auf uns zu rotierenden Oberflächen Teile erfaßt und mit dem anderen Spaltende die von uns fortdrehenden, so kann man die entsprechenden Verschiebungen nach Rot und Violett an den Enden der Spektrallinien sehr gut gegenüber der „ruhenden“ Mitte messen und damit auch die Rotationszeit bestimmen. Übrigens hat man auf diesem Wege auch den Aufbau des Saturnringes aus separat rotierenden Einzelteilchen einwandfrei nachgewiesen.

Die Entdeckungsgeschichte des Neptun verdient insofern besondere Erwähnung, weil sie ein glänzendes Beispiel für die Richtigkeit und Zuverlässigkeit des Kopernikanischen Weltbildes sowie der von KEPLER und NEWTON gefundenen

Naturgesetze darstellt und damit ganz allgemein das Prinzip der materialistischen Philosophie von der Erkennbarkeit der Welt in glänzender Weise bestätigt. Nachdem man den neuentdeckten Planeten Uranus nämlich einige Jahre lang beobachtet hatte, stellten die Astronomen zunächst mit großem Mißvergnügen fest, daß er deutliche Abweichungen in der Bahnbewegung zu zeigen begann. Bei der Berechnung seiner theoretischen Bahn hatte man alle Störeinflüsse berücksichtigt, die von den Anziehungskräften der damals bekannten Planeten auf seine „Normalbahn“ um die Sonne einwirkten. Es drängte sich dann schließlich der Gedanke auf, daß die Uranusstörungen einem noch unbekannten Planeten zugeschrieben werden könnten. Von dieser Annahme ausgehend, berechnete dann der französische Mathematiker Urban LEVERRIER im Jahre 1846 die Bahn und den derzeitigen Standort des unbekannten Planeten. Seine rein theoretischen Ergebnisse teilte er sofort dem Berliner Astronomen J. G. GALLE mit, der daraufhin die betreffende Himmelsgegend mit dem vorzüglichen großen Fernrohr seiner Sternwarte durchmusterte und schließlich den Planeten auch, noch nicht einmal 1° von der berechneten Stelle entfernt, am 23. September 1846 auffand. Das ursprüngliche Mißvergnügen der Astronomen wandelte sich natürlich nach dieser glänzenden Entdeckung in verständlichen Stolz auf die Exaktheit ihrer theoretischen Grundlagen. Es bliebe vielleicht noch nachzutragen, daß noch im gleichen Jahr ein Neptunsatellit (Triton) aufgefunden werden konnte, dem erst über hundert Jahre später, nämlich 1949, ein zweites, kaum zuverlässig zu beobachtendes Objekt (Nereide) an die Seite trat.

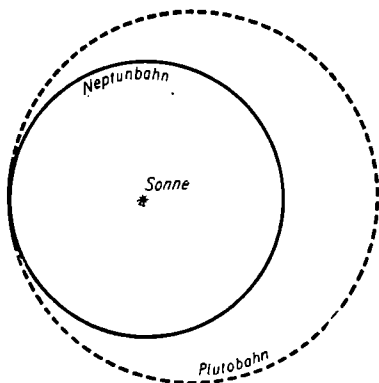
Damit können wir nun auch den Bereich des Neptun verlassen und die letzten Seiten unseres Reiseprospektes aufschlagen. An gesicherten Anhaltspunkten ist es nur noch wenig, was wir dort finden. Einzig in der Hinsicht erwartet uns vielleicht noch eine Überraschung, daß der bis heute „äußerste“ Planet wieder ein Himmelskörper ist, der zur „erdähnlichen“ Gruppe zu zählen wäre. Der am 18. Februar 1930 auf photographischem Wege entdeckte Pluto ist je-

doch in verschiedenen Punkten ein ziemlicher „Sonderling“. Schon mit seiner Entdeckungsgeschichte fängt es an. Aus den nach Abzug der Neptunstörungen in der Uranusbewegung verbleibenden Bahnabweichungen hatte man nämlich geschlossen, daß es noch einen unbekannten Planeten geben müsse. Man berechnete also wieder wie bei Neptun und suchte anschließend eifrig. Aber lange war der Suche kein Erfolg beschieden, und als man dann schließlich doch noch ein planetenähnliches Objekt auffand, stand es einmal viel weiter von seinem berechneten Ort entfernt als seinerzeit Neptun, und zum anderen paßten weder seine Bahndaten noch Größe, Masse und Durchmesser in das Schema, das man bei der Rechnung zugrunde gelegt hatte. Darum ist auch heute noch nicht entschieden, ob Pluto wirklich durch die Berechnungen entdeckt wurde.

Daraus darf man nun allerdings nicht den voreiligen Schluß ziehen, daß die astronomischen Rechner und Mathematiker heute schlechter wären als vor hundert Jahren oder daß an den Gesetzen der Himmelsmechanik vielleicht doch etwas nicht stimmt. Das Problem sieht offensichtlich völlig anders, darum aber nicht weniger interessant aus. Es scheint nämlich so, als müsse dort draußen beim Pluto noch einiges „los sein“, was mit den ursprünglichen Vorstellungen nicht zusammenpaßt. So vermuten einige Wissenschaftler, daß es außer Pluto noch eine ganze Schar weiterer, allerdings kleiner Körper in diesen Bereichen geben kann, vielleicht sogar so etwas wie einen zweiten Planetoidenring. Mit dem Vorhandensein weiterer Körper wäre also der unbefriedigende Ausgang der Berechnungsversuche hinreichend zu erklären. Es gibt in diesem Zusammenhang auch Vermutungen, daß es noch zumindest einen „Transpluto“ (Planeten jenseits der Plutobahn) geben müsse, der die Reihe der Großen Planeten „ordnungsgemäß“ fortsetzt.

Betrachtet man nämlich die Bahn des Pluto und ihre Daten genauer, so sieht man, daß dieser Planet wirklich so ziemlich aus dem Rahmen fällt. Seine Bahn weist die größte Elliptizität (Exzentrizität) unter den Bahnen der Großen Planeten auf, außerdem besitzt sie die extreme Neigung von rund

17° gegen die Erdbahnebene. Sie hat also in der Tat große Ähnlichkeit mit der Bahn eines Planetoiden. Ganz besonders interessant ist aber, daß Pluto im Perihel sogar innerhalb der Neptunbahn um die Sonne läuft. Das hat dazu geführt, daß einige Wissenschaftler in Pluto einen ehemaligen Neptunmond sehen wollen, der sich aus noch ungeklärten



Die Bahn des Pluto fällt völlig aus dem Rahmen der anderen Planetenbahnen heraus

Gründen der fesselnden Anziehungskraft des Neptun entziehen konnte. Alle diese Fragen und Probleme müssen aber vorläufig noch offenbleiben, weil man eben über dieses Grenzgebiet des Sonnensystems noch viel zu wenig weiß. Selbst Durchmesser, Masse und Dichte des Pluto sind nur unbefriedigend bekannt. Einige Untersuchungen besagen, daß er etwa 14 400 km Durchmes-

ser haben könnte, andere führen dagegen nur auf etwa 6 500 km. Man muß sich dabei immer vor Augen halten, daß Pluto selbst in den größten Fernrohren kaum von einem punktförmig abgebildeten Fixstern zu unterscheiden ist.

Wenn wir uns nun also inzwischen darüber einig geworden sind, daß es nur sehr schwer vorstellbar ist, einen wissenschaftlich ernst zu nehmenden Grund für die Anwesenheit des Menschen in diesen mehr als unwirtlichen Tiefen des kosmischen Raumes zu finden, so sehen wir andererseits doch ein, daß es für die Erarbeitung eines vollständigen Bildes von unserer kosmischen Umwelt durchaus notwendig werden kann, mit speziellen Aufklärungsraumsonden

bis in diese Regionen vorzustößen. Ob aber alle Forschungsaufgaben allein von unbemannten automatischen Geräten erledigt werden können, ist andererseits ebenfalls kaum eindeutig zu beantworten. So schauen wir also, nachdem wir die letzten Seiten unseres Planeten-„Prospekts“ verarbeitet haben, etwas skeptisch drein, als uns von den Mitarbeitern des kosmischen „Reisebüros“ schmunzelnd die Frage gestellt wird, für welches Reiseziel wir denn nun Plätze buchen lassen wollen. Vielleicht ist es besser, zunächst noch schnell Bilanz aus den zahlreich erhaltenen Informationen zu ziehen, ehe wir uns endgültig entscheiden?

Geleitet von der „Sprachhilfe“ durch Physiker und Astronomen haben wir den kosmischen Raum in Gedanken bis zu Entfernungen durchmessen, gegen die alle erdgebundenen Maßstäbe verblassen. Einzig und allein die Brücke des Lichtes brachte uns bisher Kunde aus den glutheißen Bereichen der unmittelbaren Sonnennähe sowie aus dem finsternen und extrem kalten Randgebiet des Sonnensystems. Wir haben die Mitglieder der Familie des Sonnensystems kennengelernt und sind mannigfaltigen Problemen und offenen Fragen über die Beschaffenheit fremder Himmelskörper begegnet. Uns ist dabei auch klargeworden, daß die Lösung der meisten dieser Probleme, insbesondere der Sonnenphysik und des Lebens auf anderen Gestirnen, für die Vervollkommnung unserer wissenschaftlichen Erkenntnisse und für deren Anwendung und Nutzung auf der Erde und damit für die menschliche Gesellschaft von erstrangiger Bedeutung sein werden.

Man braucht sich nur noch einmal zu vergegenwärtigen, welche epochalen Einsichten in die Probleme der Entstehung und Entwicklung des Lebens möglich sein würden, wenn man wirklich auf einem anderen Planeten organisches Leben in irgendeiner und zweifellos von irdischen Verhältnissen abweichenden Form entdeckte. Unser Streifzug durch das Planetensystem hat nun allerdings recht wenig Hoffnung gelassen, lebentragende Planeten anzutreffen. Allein bei Mars scheint vieles dafür zu sprechen, während schon bei Venus die Frage noch völlig offen ist und man

bei allen anderen Planeten Zweifel aussprechen muß, auf ihnen lebende Organismen anzutreffen. Ohne die Erde zu verlassen, wird es jedoch niemals möglich sein, die Diskussion darüber mit einer verbindlichen Entscheidung zu beenden. Übrigens wird bei diesen Diskussionen häufig der Fehler begangen, nur danach zu fragen, ob Lebensformen unter den heutigen Bedingungen des betreffenden Planeten existieren können, ohne zu untersuchen, ob die Entwicklungsgeschichte dieses Himmelskörpers auch die Möglichkeit ergeben hat, daß sich das Leben aus der anorganischen Substanz entwickeln konnte. Da man aber andererseits prinzipiell noch sehr wenig über die allgemeinen Grundlagen zur Entwicklung organischen Lebens weiß, muß jeder Fortschritt in diesen Fragen von allergrößter Bedeutung sein. Hinzu kommt, daß sich die Wissenschaft aus allgemeinen Erwägungen heraus ziemlich einhellig zu der Ansicht bekannt hat, daß es außerirdisches Leben geben muß. Im Bereich der Planeten danach zu suchen, wäre also als Nahziel durchaus logisch.

Für die Fertigstellung der modernsten Brücke der Wissenschaft in den kosmischen Raum hinaus, der Raumfahrt-technik, gibt es somit gewichtige Gründe. Bleibt die Frage zu stellen, ob die zahllosen objektiven Schwierigkeiten, die sich derartigen Unternehmungen allein schon durch die räumlichen und zeitlichen Dimensionen bei antriebslosen Flügen auf Kepler-Ellipsen von Planet zu Planet entgegenstellen, die Planung bemannter Expeditionen sinnvoll erscheinen lassen oder ob nicht besser nur mit unbemannten automatischen Raumsonden gearbeitet werden sollte. Nun, vom Standpunkt der höchstmöglichen wissenschaftlichen Produktivität eines solchen Unternehmens aus muß man eindeutig für den bemannten Raumflug plädieren. Die unmittelbare Teilnahme von Wissenschaftlern an den im Raum oder auf anderen Himmelskörpern durchzuführenden Untersuchungen wird niemals durch ein noch so vollkommenes automatisches System zu ersetzen sein. Gewiß lassen sich zahllose physikalische oder sonstige rein meß- oder rechen-technische Arbeiten von automatischen Einrichtungen

ebenso gut durchführen, aber gerade bei überraschenden und darum sicher bedeutungsvollen Tatbeständen werden sinnvolle Untersuchungsverfahren immer nur von der vielseitigen Schöpferkraft der bewußten geistigen Arbeit des Menschen eingeleitet und durchgeführt werden können. Dies würde beispielsweise vor allem bei der Entdeckung außerirdischen Lebens von größter Tragweite sein.

Gegen diese grundlegende Feststellung steht also nur noch das Problem des Risikos eines solchen Unternehmens. Auf der Basis der gegenwärtig noch allein die Raumflugtechnik beherrschenden chemischen Antriebe waren allerdings Expeditionen in den interplanetaren Raum über die Mars- und Venusbahn hinaus kaum vertretbar, da dann schon die Frage der Expeditionsdauer von ausschlaggebender Bedeutung werden würde. Die Randgebiete des Planetensystems mit Uranus, Neptun und Pluto oder noch weiteren Transplutos auf diesem Wege zu erschließen dürfte daher mehr als zweifelhaft sein. Hier könnte nur der Fortschritt zu neuen Antriebssystemen mit Dauerbeschleunigung



Vom Pluto aus gesehen wäre die Sonne nicht mehr als ein sehr heller Stern

einen entscheidenden Wandel herbeiführen, wobei aber trotzdem die Frage nach der wissenschaftlichen Notwendigkeit derartiger Unternehmungen noch offen bliebe. Bei der Erforschung der Räume in extremer Sonnennähe und der äußersten Planeten wird man sich daher zunächst wohl besser auf die Entsendung unbemannter Raumsonden beschränken.

Für die unmittelbaren Nachbarplaneten der Erde, Venus und Mars, läßt sich aber schon heute eine reale Möglichkeit ihrer Erreichbarkeit durch den Menschen abschätzen. Eine Prognose über den Zeitpunkt oder feinere technische Details eines solchen Unternehmens läßt sich allerdings noch nicht geben. Zu zahlreich und kompliziert sind vorläufig noch die zu überwindenden Grundschwierigkeiten des bemannten Raumfluges. Auch hier werden daher viele Versuche mit unbemannten Raum- und Planetensonden vorangehen müssen. Aber das Problem des bemannten Raumfluges hat mit den Satelliten-Raumschiffexperimenten der Sowjetunion (erste Raumpiloten der Erde: J. A. GAGARIN und G. St. TITOW; erster Gruppenflug A. G. NIKOLAJEW und P. R. POPOWITSCH) seine ersten Lösungsschritte schon hinter sich und strebt damit ständig weiter der endgültigen Lösung zu. Wann und wie der Mensch dann einmal seinen Weg zu fremden Planeten antritt, ob im Stile unseres anfangs skizzierten TRANSLUNA-Projektes oder mit etwas anderen technischen Voraussetzungen, läßt sich zwar noch nicht sagen; daß er es aber einmal tun wird, ist gewiß.

ANHANG

Tabelle 1: Bahndaten der neun Großen Planeten des Sonnensystems

Planet	Mittl. AE	Sonnen- entfern. Mill. - km	Um- lauf- zeit Jahre	Mittl. Geschw. km/s	Exzentri- zität	Nei- gung °
Merkur	0,39	57,91	0,24	47,90	0,2056	7,0
Venus	0,72	108,21	0,62	35,05	0,0068	3,4
Erde	1,00	149,60	1,00	29,80	0,0167	—
Mars	1,52	227,9	1,88	24,14	0,0934	1,8
Jupiter	5,20	778,3	11,86	13,06	0,0484	1,3
Saturn	9,55	1428	29,46	9,65	0,0557	2,5
Uranus	19,20	2872	84,02	6,80	0,0471	0,8
Neptun	30,09	4498	164,78	5,43	0,0087	1,8
Pluto	39,5	5910	248,4	4,74	0,247	17,1

Tabelle 2: Physische Daten der neun Großen Planeten des Sonnensystems (1)

Planet	Äquator- durchmesser		Masse Erde — 1	Mittlere Dichte g/cm ³	Schwere- andruck a. d. Oberfläche Erde — 1
	km	Erde — 1			
Merkur	4 840	0,38	0,053	5,3	0,37
Venus	12 400	0,97	0,815	4,95	0,86
Erde	12 756	1,00	1,00	5,52	1,00
Mars	6 800	0,53	0,107	3,95	0,38
Jupiter	142 800	11,20	318,00	1,33	2,65
Saturn	120 800	9,47	95,22	0,69	1,14
Uranus	47 600	3,75	14,55	1,56	0,96
Neptun	44 600	3,50	17,23	2,27	1,53
Pluto ¹	14 400	1,1	0,9	4	0,8

¹ Die Werte für Pluto sind mit großen Unsicherheiten behaftet

Tabelle 3: Physische Daten der neun Großen Planeten des Sonnensystems (II)

Planet	Rotations- dauer h min s	Ab- plattung ¹	Neigung des Äquators gegen Bahnebene °	Albedo	Monde
Merkur	(88 Tage)	0	?	0,06	0
Venus	?	0	32 (?)	0,61	0
Erde	23 56 04	0,0034	23,5	0,34	1
Mars	24 37 23	0,0052	25,2	0,15	2
Jupiter	9 50	0,062	3,1	0,41	12
Saturn	10 14	0,096	26,8	0,42	9
Uranus	10 49	0,06	98 (rückl.)	0,45	5
Neptun	15 40	0,02	29	0,54	2
Pluto	?	?	?	0,16	0

$$^1 \text{ Abplattung} = \frac{\text{Äquatordurchmesser} - \text{Poldurchmesser}}{\text{Äquatordurchmesser}}$$

Tabelle 4: Fallbeschleunigung, Kreisbahn- und Fluchtgeschwindigkeiten an der Oberfläche verschiedener Körper des Planetensystems

Name	Fallbeschleunigung		Kreisbahn- geschw. km/s	Flucht- geschw. km/s
	m/s	Erde = 1		
Sonne	274	27,9	438	618
Merkur	3,60	0,37	3,0	4,2
Venus	8,50	0,86	7,3	10,3
Erde	9,82	1,00	7,9	11,2
Mars	3,76	0,38	3,6	5,0
Jupiter	26,00	2,65	43	61
Saturn	11,20	1,40	26	37
Uranus	9,40	0,96	16	22
Neptun	15,00	1,53	18	25
Erdmond	1,62	0,17	1,7	2,4

Tabelle 5: Die natürlichen Satelliten der Planeten

Planet	Satellit Nr. Name	Entfernung v. Planeten 1 000 km	Umlauf- zeit Tage	Durch- messer km	Ent- deck. Jahr
Erde	1 Luna	384,4	27,32	3 476	—
Mars	1 Phobos	9,4	0,32	16	1877
	2 Deimos	23,5	1,26	8	1877
Jupiter	1 Io	421,8	1,77	3 320	1610
	2 Europa	671,4	3,55	2.880	1610
	3 Ganymed	1 071	7,15	4 940	1610
	4 Kallisto	1 884	16,69	4 680	1610
	5	181	0,50	160	1892
	6	11 500	250,62	120	1904
	7	11 750	259,8	40	1905
	8	23 500	738,9	40	1908
	9	23 700	755	20	1914
	10	11 750	260	20	1938
	11	22 500	696	25	1938
	12	21 000	625	20	1951
Saturn	1 Mimas	185,7	0,94	520	1789
	2 Enceladus	238,2	1,37	600	1789
	3 Tethys	294,8	1,89	1 200	1684
	4 Dione	377,7	2,74	1 300	1684
	5 Rhea	527,5	4,52	1 800	1672
	6 Titan	1 223	15,95	5 000	1655
	7 Hyperion	1 484	21,28	400	1848
	8 Japetus	3 563	79,33	1 200	1671
	9 Phoebe	12 950	550,5	300	1898
Uranus	1 Ariel	191,8	2,52	600	1851
	2 Umbriel	267,3	4,14	400	1851
	3 Titania	438,7	8,71	1 000	1787
	4 Oberon	586,6	13,46	800	1787
	5 Miranda	130,1	1,41	—	1948
Neptun	1 Triton	353,6	5,89	4 000	1846
	2 Nereide	6 000	500	300	1949

SACHREGISTER

- Abendstern 64
Absorptionsspektrum 25
Abstandsgesetz von Titius-Bode 86
Albedo 63
Antriebsstrecke 36
Aphel 43
Arizona-Krater 92
„aschfarbenes“ Venuslicht 66
Asteroiden 87
Astronomische Einheit 29, 42
Atomtriebwerke 37
Außenstation 37
äußere Planeten 70
außerirdisches Leben 122
Ausströmgeschwindigkeit 38
- Beleuchtungsphasen 60
Bergobservatorium Pic du Midi 32
Berührungsellipse 44
Bewegung der Planeten 28
Bruno, G. 29
- Cassini, D. 113
Cassinische Teilung 112
Ceres 87
chemische Antriebe 36f.
Chromosphäre 54
- Dauerantrieb 40f.
Durchsatz 38
- Eisenmeteorite 93
Ellipsen, schnittige 45
Elongationen 60
Emissionsspektrum 24
Energieproblem 55
Entweichgeschwindigkeit 42
erdähnliche Planeten 102
Erdatmosphäre 76
Erdmagnetfeld 57
Europa 106
- Fessenkow, W. G. 77
- Feuerkugel 91
Fixsterne 28
Flächensatz 41
Florring 112
Fluchtgeschwindigkeit (Sonne) 47
Fraunhofersche Linien 23
Freiflugbahn 36
- Gagarin, J. A. 124
Galaxis 52
Galilei, G. 29
Galileische Jupitermonde 106
Galle, J. G. 118
Gammastrahlung 22
Ganymed 106
Gauß, C. F. 87
gebundene Rotation 63
Glasmeteorite 93
Gravitationsgesetz 42
Großer Roter Fleck (Jupiter) 103
- Hall, A. 83
Harding 87
Hermes 89
Herschel, W. 114
Hidalgo 89
- Icarus 89
Infrarotstrahlung 19, 22, 56
innere Planeten 64
- Jo 106
Juno 87
Jupiter 100 ff.
jupiterähnliche Planeten 109
Jupiteratmosphäre 103f.
Jupiteraufbau 104
Jupiter-Ionosphäre 106
- Kallisto 106
Kepler, J. 29, 41
Keplersche Gesetze 41f.
Kernfusionsprozesse 55
Kernfusionstriebwerke 38

Kleine Planeten 87 ff.
Komet 1862 III 98
kometarische Meteoritenströme
98
Kometen 96
Kometenflugblätter 96
Kometenfurcht 96
Kometenkern 96
Kometenkopf 96
Kometenschweif 96
Komet Halley 96
Konjunktion 60
Kopernikus, N. 29

Leverrier, U. 118
Lichtgeschwindigkeit 21, 107
Linienverschiebung, spektrale
117
Linsenfernrohr 30
Luftunruhe 32
Lunik I 49

Mars 70 ff.
Marsatmosphäre 74 f.
Marsexpedition 45
Marsjahreszeiten 74
Marskanäle 80
Marsmonde 83
Marspolkappen 82
Marstemperaturen 81
Marsvegetation 79
Marswüsten 78
Merkur 60 ff.
Merkuratmosphäre 63
Merkurbahn 60
Meteor 91
Meteoriten 88, 91 ff.
Meteoritengefahr 94
Meteoritenströme 93
Mikrometeoriten 88, 95
Milchstraßensystem 52
Montagestationen 37
Morgenstern 64

Neptun 116 f.
Nereide 118
Newton, I. 29, 42

Olbers, W. 87
Opposition 71

Pallas 87
Perihel 43
Perihel-*Opposition* 71
Perseiden-*Strom* 94, 98
Phobos-*Abbremsung* 84
Photonenantriebe 38
Photosphäre 53
Piazzi, G. 86
Pioneer-Raumsonden 50
Planetenexpeditionen 37, 100
Planetenfamilie 27
Planetensonden 50
Planetensystem 27
Planetoiden 87 ff.
Plasma 55
Pluto 118
Polarlichter 57

Radiationspunkt 93
Radiostrahlung der Sonne 56
Radioastronomie 34
Radiofenster 33
Radioteleskope 56
Raumantriebe 38, 46
Raumsonden 50, 56
rechtläufig 61
Reflektor 30
Refraktor 30
Regenbogenfarben 22
Römer, O. 107
Röntgenstrahlung 19, 22, 56
rückläufig 61

Saturn 109 ff.
Saturnatmosphäre 110
Saturnmonde 113
Saturnring 111
Schiaparelli, G. V. 80
Sibirischer Meteorit 92
Sonnenaktivität 57
Sonnendurchmesser 52
Sonnenflecken 58
Sonnenkorona 54, 56
Sonnenmasse 52
Sonnensystem 27

- Sonnentemperatur 53
- Spektralanalyse 23
- Spektroskop 21
- Spektrum 22 f.
- Spiegelteleskop 30
- Steinmeteorite 93
- Sternschnuppe 91
- Sternschnuppenschwarm 93
- Strahlungen 20 ff.
- Strahlungsausbrüche (Sonne) 58
- Strahlungsdruck 98
- Szintillation 31

- Teilchenstrahlung (Sonne) 57
- Tektite 93
- Tichow, G. A. 78
- Titan 113
- Titius, J. K. 86
- Titow, G. St. 124
- Transpluto 119
- Treibhauseffekt 68

- Triebwerke, elektrische 38 f.
- Triton 118

- Übergangsbahn 43
- Ultraviolettstrahlung 19, 22, 56
- Uranus 114 f.
- Uranusmonde 116
- Uranusstörungen 118

- Venus 63 ff.
- Venusatmosphäre 65
- Venussonde 50, 69
- Vesta 87

- Wellenstrahlung, elektro-
magnetische 20 ff.
- Wirkungssphäre 42 f.

- Zeitproblem 44
- Zubringerraketen 37

Bildquellen

Das Foto „Venussonde“ lieferte Zentralbild, Berlin; alle anderen Fotos stammen aus dem Archiv Heinz Mielke

Die Textabbildungen zeichnete H. E. Boche, Berlin



-TASCHENBÜCHER

Die einzelnen Bände umfassen etwa 150 Seiten und sind im allgemeinen mit Fototafeln und zahlreichen Textabbildungen ausgestattet.

Jeder Band broschiert mit farbigem Umschlag 2,- DM, Doppelband 4,- DM

- Band 1* *R. O. Groppe*
Der dialektische Materialismus
(2. Auflage)
- Band 2* *W. Neumann*
Schatzsucher unserer Zeit
- Band 3* *G. Möller*
Deutsch von heute
Kleine Stilkunde (2. Auflage)
- Band 4* *H. Mielke*
Unternehmen Luna
Kleiner Reiseführer zum Mond (2. Auflage)
- Band 5* *W. Kleinfeldt*
Unsere Ostseeküste
- Band 6/7* *J. Hoppe*
Planeten - Sterne - Nebel
- Band 8* *F. Oberdorf*
Rund um den Mais
- Band 9* **Afrika - gestern und heute**
- Band 10* *R. Ogrissek*
Dorf und Flur in der Deutschen Demokratischen Republik
Kleine historische Siedlungskunde
- Band 11* *G. Harig*
Von Adam Ries bis Max Planck
Kurzbiographien von 25 großen deutschen Naturwissenschaftlern (2. Auflage)
- Band 12* *W. Grallert*
Was man von der Briefmarke wissen sollte



-TASCHENBÜCHER

- Band 13* *S. Bolling*
Was ist das für ein Schiff?
- Band 14/15* **Der zweite Weltkrieg**
Chronik und Verlauf
- Band 16* *W. Leipnitz / W. Schwarz*
Petrolchemie
- Band 17* *H. Messing / H. J. Aust*
Was sollte man über Standardisierung wissen?
- Band 18* *W. Sielaff*
Weg zweier Welten
- Band 19* *E. Koelwel / H. Ludwig*
Gepflegtes Deutsch
- Band 20* *J. Scholz / H. U. Barz*
Atomkerne - Isotope - Reaktoren
- Band 21* *O. Kunze*
Deine Augen und Augengläser
Was Du über Deine Augen und Augengläser wissen muß
- Band 22* *H. Mielke*
Von Planet zu Planet
- Band 23/24* *D. Fricke*
Zur Organisation und Tätigkeit der deutschen
Arbeiterbewegung 1890-1914
Dokumente und Materialien

Diese populärwissenschaftliche Reihe wird fortgesetzt!

Durch alle Buchhandlungen und Postzeitungsvertriebsstellen erhältlich

VEB VERLAG ENZYKLOPADIE LEIPZIG

UNSERE NEUE TASCHENBUCHREIHE

- Band 1* *Gropp*
Der dialektische Materialismus
- Band 2* *Neumann*
Schatzsucher unserer Zeit
- Band 3* *Möller*
Deutsch von heute
(Eine kleine Stilkunde)
- Band 4* *Mielke*
Unternehmen Luna
(Kleiner Reiseführer zum Mond)
- Band 5* Unsere Ostseeküste
(Herausgeber: Kleinfeldt)
- Band 6/7* *Hoppe*
Planeten, Sterne, Nebel
(Kleine Astronomie für jedermann)
- Band 8* *Oberdorf*
Rund um den Mais
- Band 9* *Autorenkollektiv*
Afrika - gestern und heute
- Band 10* *Ogrissek*
Dorf und Flur in der Deutschen Demokratischen
Republik
(Kleine historische Siedlungskunde)
- Band 11* *Harig*
Von Adam Ries bis Max Planck
(Kurzbiographien von 25 großen deutschen Naturwissen-
schaftlern)
- Band 12* *Grallert*
Was man von der Briefmarke wissen sollte
- Band 13* *Bolling*
Was ist das für ein Schiff?
(Schiffstypenkunde)

Diese Reihe wird fortgesetzt!

Preis jedes Bandes 2,— DM, Doppelband 4,— DM

VEB VERLAG ENZYKLOPÄDIE LEIPZIG

EVP 2,—