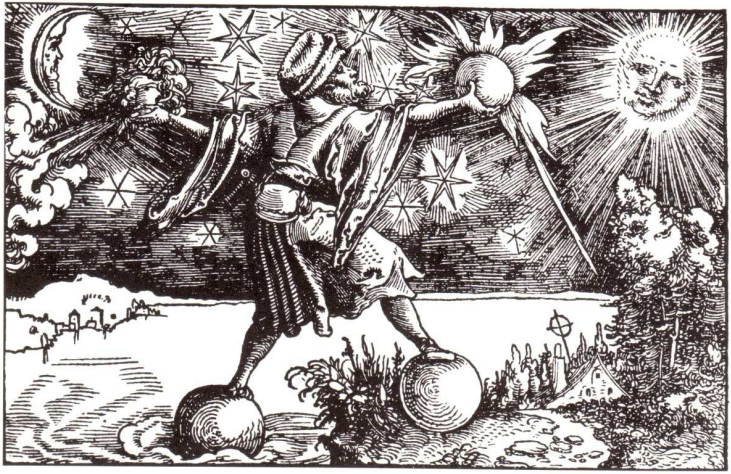
HEINZ MIELKE

# Rund um die Raumfahrt



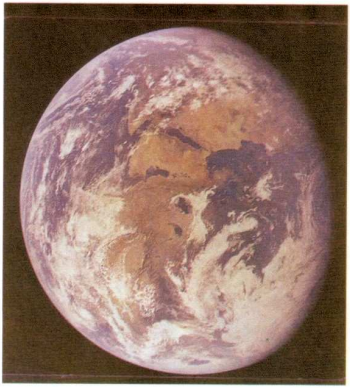
Heinz Mielke

# RUND UM DIE RAUMFAHRT

Der Kinderbuchverlag Berlin

СССР
СССР

# Welt-entdecker auf neuen Wegen



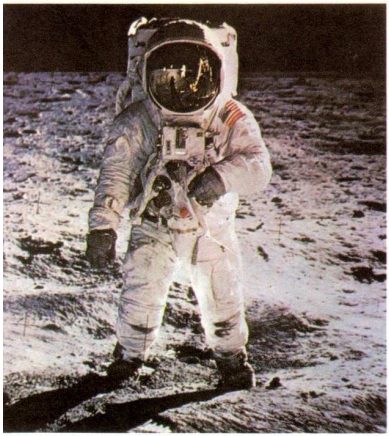
Die Erde im kosmischen Raum. Erst die Raumflugtechnik ermöglichte dem Menschen diesen faszinierenden Anblick. Dieses Foto entstand am 8. August 1969 aus 70 000 km Entfernung, als sich der unbemannte sowjetische Raumflugkörper „Sonde-7", der zuvor um die Rückseite des Mondes geflogen war, auf Erdkurs befand

Es war eine bewegende Sache, als vor zwanzig Jahren die Nachricht vom Start des ersten künstlichen Satelliten um die Erde lief. Unser Heimatplanet hatte einen zweiten Mond erhalten! Für viele Menschen schien dieses Ereignis beinahe unfaßbar. Der unendliche Weltraum, der Mond und die Sterne waren für sie immer etwas unerreichbar Fernes, nur den Teleskopen der Astronomen Zugängliches gewesen. Hinzu kamen die Erfahrungen des Alltags, die ständig zu beweisen schienen, daß wir wie mit unlösbaren Ketten an die Erde gefesselt sind. Jeder emporgeschleuderte Stein fällt zur Erde zurück, kein Vogel und kein Flugzeug kann durch die Leere des Weltraums zum Mond gelangen. Der Gedanke, in den Kosmos hinausfliegen und sogar ferne Weltkörper betreten zu können, mußte daher vielen wie ein ewig unerfüllbarer Traum vorkommen.

Doch schon um die Jahrhundertwende hatten sich Wissenschaftler und Techniker aufgemacht zu untersuchen, welche Möglichkeiten es für den Vorstoß in den Weltraum gab und welche Probleme in der Praxis gelöst werden mußten. Sie erzielten schließlich so beträchtliche Fortschritte, daß ab etwa 1950 die baldige Verwirklichung des Weltraumfluges vorhergesagt werden konnte. Doch nicht jedermann schenkte diesen Vorankündigungen Beachtung, für manchen haftete der Raumfahrt nach wie vor etwas Unwahrscheinliches an. – Und nun stand man vor der überraschenden Wirklichkeit. Der Start des sowjetischen „Sputnik" am 4. Oktober 1957 hatte den eindrucksvollen Beweis erbracht, daß der Mensch tatsächlich in der Lage ist, ein von ihm erdachtes und gebautes wissenschaftliches Gerät in den Weltraum zu befördern. Der erste künstliche Satellit kreiste um die Erde und sandte aus der Umlaufbahn Signale, die auch von Funkamateuren gehört werden konnten. Der jahrhundertealte Traum vom Sternenflug des Menschen begann reale Gestalt anzunehmen.

Seither hat man sich schon fast daran gewöhnt, daß in jedem Jahr zahlreiche unbemannte Raumflugkörper als Kundschafter in den kosmischen Raum vorstoßen oder zur wissenschaftlichen Erkundung der Erde aus dem Weltraum genutzt werden. Begriffe wie Wettersatellit, Mondmobil und Venussonde sind heute jedem geläufig. Für die Wissenschaft gehören die Erforschung des erdnahen Weltraums oder des Mondes ebenso zum Alltag der Raumfahrtpraxis wie Fotoaufnahmen der Erdoberfläche mit einer beim VEB Carl Zeiss Jena gebauten Multispektralkamera aus einem sowjetischen Raumfahrzeug. Selbstverständlich finden vor allem diejenigen Raumfahrtunternehmen das größte Interesse der Öffentlichkeit, an denen Menschen als Raumfahrer beteiligt sind. Große Leistungen sorgten für eine gespannte Anteilnahme in aller Welt. Durch Raumanzüge geschützt, flogen Menschen außerhalb ihrer Raumfahrzeuge im Weltraum. Andere führten auf dem Mond Expeditionen durch, und wieder andere arbeiteten monatelang in erdumkreisenden Raumstationen im Kosmos.

Die schrittweise Erforschung und Erschließung der Erde durch den Menschen findet ihre konsequente Fortsetzung mit seinem Weg in den Weltraum



Wir werden Augenzeuge, wie der Mensch auf der obersten Sprosse jener Stufenleiter immer fester Fuß faßt, die er bei der technischen Erschließung seiner Umwelt nach und nach erklommen hat. Am Anfang dieses Weges stand die Entdeckung ferner Länder und Kontinente mit Hilfe der Seefahrt. Der Mensch nahm die feste Oberfläche seines Planeten nach und nach in Besitz und machte sich deren Naturschätze nutzbar. Er erschloß sich den Luftraum mit Ballon, Luftschiff und Flugzeug. Und wieder gewann der Mensch neue Möglichkeiten für die Gestaltung seines Lebens auf der Erde.

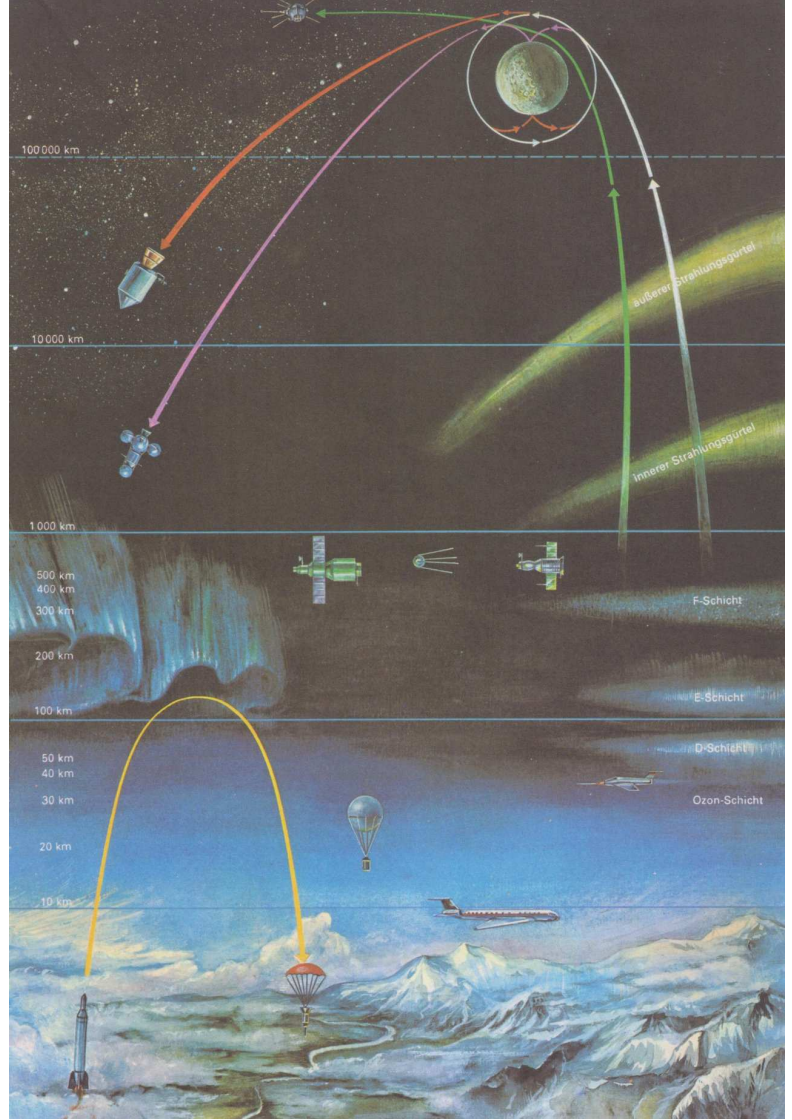
Jetzt erleben wir den Beginn der dritten Etappe, die schrittweise Erkundung des außerirdischen Raumes durch die Raumfahrt. Hierbei muß der Mensch Lösungen für komplizierte wissenschaftliche Probleme und schwierige technische Aufgaben finden. Kann der Mensch aber auch hier damit rechnen, daß die großen Anstrengungen sich lohnen? Wird er im Weltraum etwas gewinnen können, was ihm seine Lebensbedingungen auf der Erde verbessern hilft? Nur das wäre ein vertretbares Motiv für die gewaltigen Aufwendungen.

Nach zwanzig Jahren Raumfahrtpraxis kann man diese Fragen schon etwas genauer beantworten. Unsere gemeinsame Exkursion durch das weite Feld der wissenschaftlichen Raumfahrt wird uns mit vielen Einzelheiten bekannt machen, die Beiträge sind zur Antwort auf die Frage „Warum Raumfahrt?" Fangen wir dort an, wo es begann – bei den phantastischen Träumen vom Sternenflug des Menschen.

Am 20. Juli 1969 betraten Menschen zum ersten Mal den Mond: die amerikanischen Astronauten Neil Armstrong und Edwin Aldrin. Mit der Landefähre von „Apollo-11" gingen sie auf dem Erdtrabanten nieder. Diesem Unternehmen waren umfassende raumfahrtmedizinische Untersuchungen und raumfahrttechnische Entwicklungen in den USA und in der Sowjetunion vorausgegangen

Zusammenarbeit im Weltraum ist ein bedeutendes Anliegen der internationalen Raumfahrtentwicklung. Das „Interkosmos"-Programm der sozialistischen Länder setzt dafür Maßstäbe. Zu dessen Höhepunkten zählen Raumfahrtunternehmen der Serie „Sojus-Salut", an denen seit 1978 außer sowjetischen Kosmonauten auch Besatzungsmitglieder aus den anderen „Interkosmos"-Ländern beteiligt sind. Im August 1978 nahm Forschungskosmonaut Sigmund Jähn als erster Kosmonaut der DDR mit Waleri Bykowski in „Sojus-31" an einem solchen Raumfahrtunternehmen teil

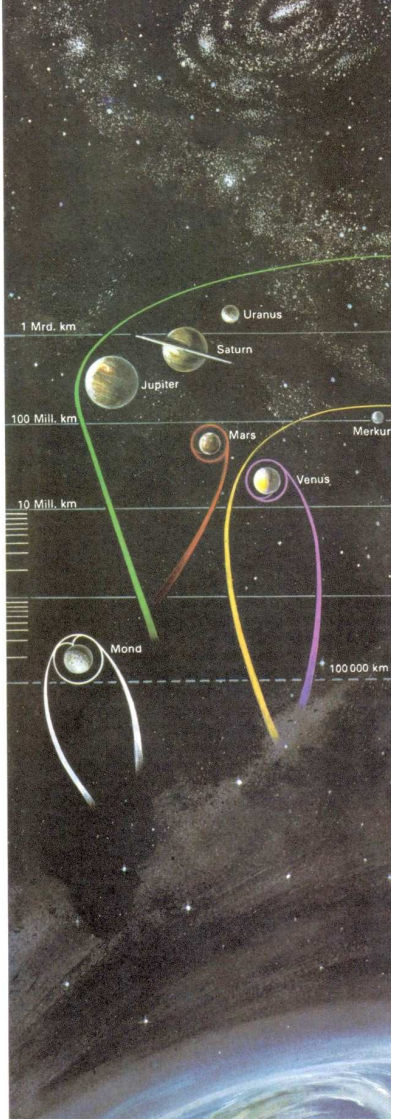
Großraketen bahnen den Weg in den Weltraum. Mit der Rückstoßkraft ihrer Antriebssysteme transportieren sie in jedem Jahr Dutzende von Forschungssatelliten oder andere Raumflugkörper in Erdumlaufbahnen. Auch Raumfahrzeuge mit Menschen an Bord gehören zu ihren Nutzlasten, ebenso automatische Mond- oder Planetensonden. Sorgfältige Startvorbereitungen, wie hier auf dem sowjetischen Kosmodrom Baikonur, bilden eine wesentliche Grundlage aller Raumfahrterfolge


100 000 km
äußerer Strahlungsgürtel
10 000 km
innerer Strahlungsgürtel
1 000 km
500 km
400 km
300 km
F-Schicht
200 km
E-Schicht
100 km
50 km
40 km
D-Schicht
30 km
Ozon-Schicht
20 km
10 km

# Forschungsfeld Weltraum

Mit der Raumfahrt erschloß sich der Mensch völlig neue Wege zur Erkundung und Erforschung der Erde, fremder Weltkörper und des umfassenden Kosmos in seiner Unendlichkeit und Vielfalt materieller Formen.
Forschungsraketen und künstliche Erdsatelliten tragen Meßgeräte in die Hochatmosphäre und in den erdnahen Weltraum. Eines der bleibenden Forschungsziele ist die Klärung des Einflusses der von der Sonne kommenden Strahlungen auf die Vorgänge in der irdischen Ionosphäre und in den erst mit Raumflugkörpern entdeckten Strahlungsgürtel der Erde.
Eine andere Aufgabe von wachsender Bedeutung ist die Erkundung der Erdoberfläche mit Satelliten für geowissenschaftliche und volkswirtschaftliche Zwecke.

Unser Mond wurde zum ersten außerirdischen Forschungsobjekt für die wissenschaftlich angewandte Raumfahrttechnik. Unbemannte Sonden umkreisen ihn auf Satellitenbahnen als Fernerkunder oder bringen automatische Stationen und ferngesteuerte Fahrzeuge auf seine Oberfläche. Die ersten Menschen betraten den Erdtrabanten und kehrten mit Mondmaterial zur Erde zurück.
Vorstöße zu fremden Planeten sind bisher nur mit unbemannten Raumflugkörpern möglich. Eine Reihe dieser Planetensonden flog zur Venus, zum Mars, zum Merkur, und erste Landeapparate gingen auf der Oberfläche von Venus und Mars nieder. Die bisher weitesten Vorstöße in das Planetensystem führten hinaus zu den Riesenplaneten Jupiter und Saturn.
(Den graphischen Darstellungen liegt ein logarithmischer Entfernungsmaßstab zugrunde.)



# Träume vom Sternenflug

Wer als erster die Wunschvorstellung hatte, seine irdische Umwelt zu verlassen und zu den geheimnisvollen Lichtern des Himmels emporzusteigen, wird sicher niemals zu ermitteln sein. Die ältesten Spuren solcher Träume und Sehnsüchte verlieren sich in ferner Vergangenheit, in der Welt der Sagen. Es ist sicher, daß derartige Gedanken die Menschen schon seit sehr langer Zeit bewegen. Weil aber in frühen Epochen die notwendigen naturwissenschaftlichen Erkenntnisse und technischen Möglichkeiten noch fehlten, erwuchsen alle Vorstellungen über den Weg zu den Sternen und die dort zu erwartenden Entdeckungen und Abenteuer dem schillernden Reich der Phantasie. So märchenhaft alles oder vieles an den Sagen und älteren literarischen Darstellungen über Sternenflüge auch klingen mag, in ihnen spiegelt sich insgesamt der allmählich wachsende Einfluß naturwissenschaftlicher Erkenntnisse, gesellschaftlicher Wandlungen und schöpferischer Fähigkeiten des Menschen wider, der schließlich in der Mitte unseres Jahrhunderts die bewegenden Träume der Vergangenheit Wirklichkeit werden ließ.

## Auf den Flügeln der Phantasie

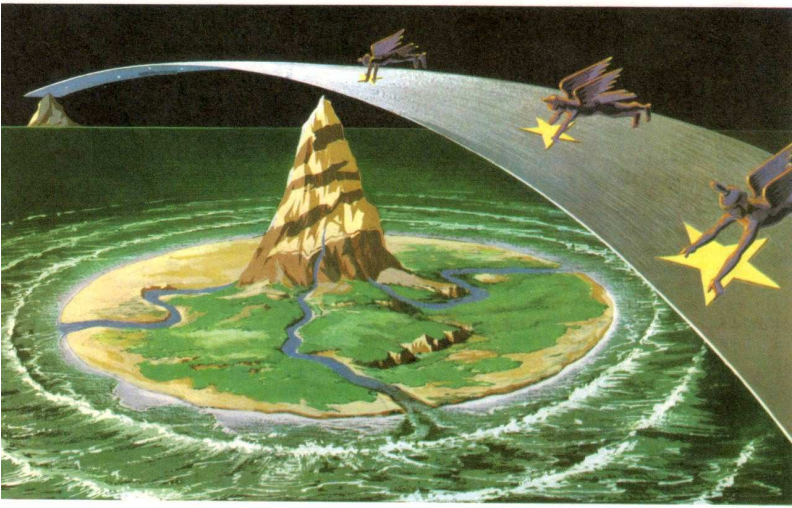
Das wohl älteste Dokument einer Vorstellung vom Himmelsflug stammt aus der Zeit um 2000 v. u. Z. Es wurde bei archäologischen Ausgrabungen in Ninive, der ehemaligen prunkvollen Hauptstadt des Neuassyrischen Großreiches zwischen Euphrat und Tigris, gefunden. In der Bibliothek des Königs Assurbanipal (668–626 v. u. Z.) stieß man auf eine bildliche Darstellung, zu der die Keilschriften berichten, daß sich ein Mensch von einem Adler zu den zwischen den Sternen wohnenden Göttern hinauftragen ließ, um deren Hilfe und Schutz zu erflehen. Diesem Gedanken des Aufstiegs zum Götter- oder Sternenhimmel mit Hilfe von Vögeln oder geflügelten Rossen begegnet man im Sagen- und Märchenschatz der Völker sehr häufig. Eine entscheidende Rolle spielte dabei die damals geltende Ansicht, daß sich die tragende Luft bis hin zu den Gestirnen erstrecke. Auch über die wirklichen Entfernungen bis zum Mond, zur Sonne und zu den anderen Gestirnen hatte man noch keine richtige Vorstellung. Beide Fehleinschätzungen bildeten übrigens auch den Hintergrund für die griechische Sage von Dädalus und Ikarus. Ikarus verlor sein junges Leben, weil er während des Schwingenfluges zu dicht an die Sonne gelangt war.

Die altgriechische Sage von Dädalus und Ikarus blieb bis in unsere Zeit ein Sinnbild für die Sehnsucht des Menschen, von der Erde aufzusteigen und zu fliegen

Es mußte zuerst eine ganze Reihe von Fragen durch die voranschreitende Naturerkenntnis gelöst werden, ehe die Träume vom Flug zu den Sternen wirklichkeitsnahe Züge annehmen konnten. Zunächst ging es um die Erkenntnis, daß die Gestirne körperhafte Gebilde sind. Erst die Erfindung des Fernrohres im Mittelalter brachte hier den entscheidenden Fortschritt. Ferner mußte eine der Wirklichkeit entsprechende Vorstellung über die Erde selbst und die begrenzte Ausdehnung ihrer Atmosphäre gewonnen werden. Auch über ihre Stellung im Kosmos und die räumliche Verteilung der sie umgebenden Weltkörper, vor allem über deren wahre Abstände zur Erde. Und dann war auch noch jene Kraft zu ergründen, die alle Körper so stark an die Erde fesselt.

Im Altertum waren die Gestirne für die Menschen durchaus noch keine Weltkörper; man sah in ihnen nur Quellen von „Licht", deren Beschaffenheit unerklärbar schien. Erst der Grieche Plutarch (um 46–120 u. Z.) beschäftigte sich ernsthafter mit dieser Frage und kam zu der bemerkenswerten Schlußfolgerung, daß der Mond wohl „erdiger" Natur sei. Die anderen Gestirne blieben aber auch bei ihm geheimnisvolle „Lichter". Einem anderen griechischen Gelehrten, Aristarch von Samos, war es bereits um 265 v. u. Z. gelungen, die Entfernung des Mondes mit etwa 30 Erddurchmessern annähernd richtig zu bestimmen. Er hatte damit einen ersten kosmischen Entfernungsmaßstab geschaffen. Sein Versuch, auch den Abstand der Sonne zu erfassen, war allerdings nicht so erfolgreich verlaufen. Er kam auf eine Distanz von etwa 20 Mondweiten. In Wirklichkeit beträgt sie das rund 400fache.

Die bevorzugte himmelskundliche Stellung des Mondes – er ist der Erde nächster Weltkörper – fand unter anderem darin ihren Ausdruck,



Eine der Weltvorstellungen aus der älteren Geschichte der Menschheit. Etwa 2000 v. u. Z. dachten sich die Babylonier die Erde als eine Scheibe, die auf einem Weltozean schwimmt. In ihrer Mitte sollte ein Weltberg stehen, der die Himmelsfeste trägt. Und am Himmelsgewölbe bewegten die dort wohnenden Götter die Sterne

daß die ersten utopischen Erzählungen über Sternenflüge Reisen zum Mond schildern. Etwa 40 Jahre nach Plutarchs Tod schrieb der griechische Schriftsteller Lukian (um 120–180) zwei Mondflugphantasien, die er „Wahre Geschichte" und „Ikaromenippus" nannte. In der „Wahren Geschichte" wird ein Schiff, das vor Gibraltar im Atlantik segelte, durch einen gewaltigen Sturm nach tagelanger Luftfahrt zufällig auf den Mond befördert. Die von der Schiffsbesatzung angetroffenen Mondbewohner sprechen griechisch und treffen unter ihrem König Endymion gerade Vorbereitungen zu einem Krieg mit der Sonne. In der anderen Erzählung erreicht deren Held Ikaromenippus ebenfalls mit Hilfe der tragenden Luft den „erdigen" Mond. Er hat diesen Flug geplant und das Fliegen mit einer Adler- und einer Geierschwinge geübt. Als er sich dann aber erkühnt, den Griff nach den Sternen zu wagen, nehmen ihm die Götter seine Schwingen fort.

Phantastische Reisen zu einem fremden Gestirn, wie sie der Grieche Lukian beschrieben hat, waren noch für lange Zeit das Vorbild anderer Autoren. Bis um das Jahr 1500 folgten der „Wahren Geschichte" zahlreiche ähnliche Werke. In ihnen wiederholte sich jedoch stets das gleiche und daher wenig reizvolle Schema eines Fluges mit Hilfe von Vögeln, Vogelschwingen, Segelschiffen, guten Geistern oder Dämonen. Kein Wunder, daß gegen Ende des Mittelalters solche Geschichten fast ganz in Vergessenheit gerieten.

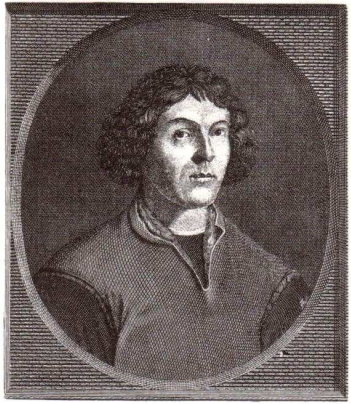
## Aus neuer Sicht

Als der große polnische Gelehrte Nicolaus Copernicus (1473–1543) mit seiner wissenschaftlichen Arbeit einem neuen astronomischen Weltbild zum Durchbruch verhalf, fanden phantastische Weltraumreisen ein neues Interesse. In seinem mehrbändigen Werk „Über die Umläufe der Himmelskörper" (1543) beschreibt Copernicus das heliozentrische Weltbild, bei dem die Sonne (griech.: helios) und nicht – wie zuvor fälschlich behauptet – die

Erde im Mittelpunkt eines ganzen Systems von kleineren Weltkörpern steht. Die Erde ist einer der die Sonne umkreisenden Planeten, und nur der Mond bleibt ihr als Trabant. Der deutsche Mathematiker und Astronom Johannes Kepler (1571–1630) fand bald danach die ersten mathematischen Gesetze für die Bewegung der Planeten um die Sonne.

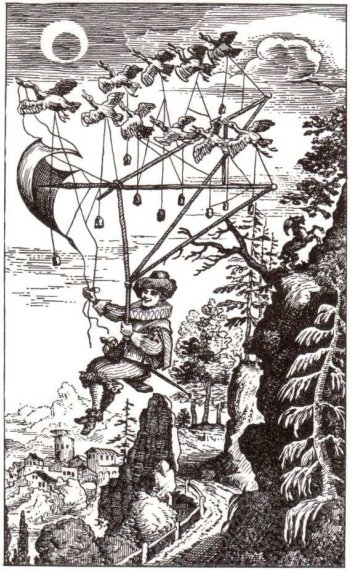
Nicht weniger einflußreich als diese Entdekkungen erwies sich eine technische Erfindung. Um das Jahr 1600 schufen holländische Brillenschleifer durch die Kombination verschiedener Linsen die ersten kleinen Fernrohre. Diese neuen Geräte wurden nach einer Reihe von Verbesserungen zu einem der Zauberschlüssel für die Erforschung des Kosmos.

Nachdem der italienische Physiker und Astronom Galileo Galilei (1564–1642) von der Erfindung des Fernrohrs erfahren hatte, baute



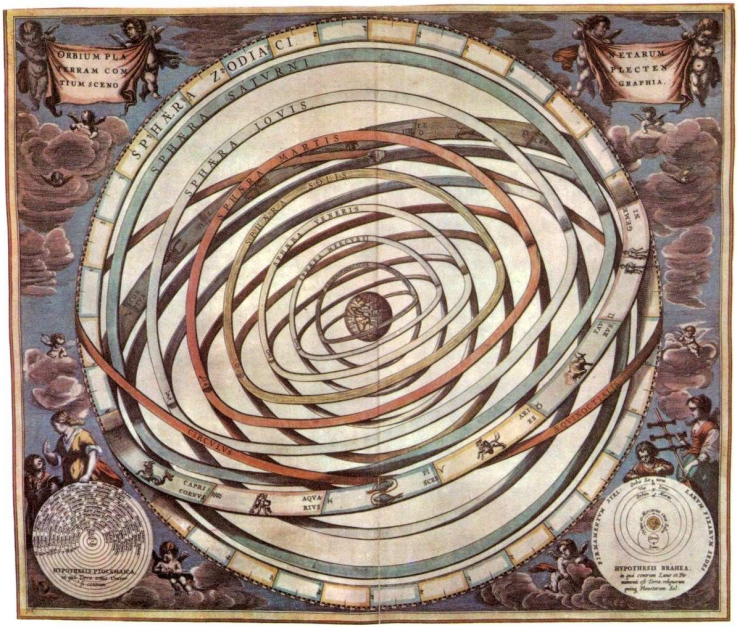
Nicolaus Copernicus, polnischer Domherr, Arzt und Astronom, leitete mit dem von ihm vertretenen heliozentrischen Weltbild die naturwissenschaftliche Erforschung des Kosmos ein

Die Vogelschwingen des Gespanns von Domingo Gonzales gehörten zu den ersten „technischen" Hilfsmitteln, die wenigstens der Phantasie des Menschen zu einem Flug auf den Mond verhalfen



er 1609 selbst ein solches Instrument und richtete es auf die Gestirne. Trotz der anfänglich noch sehr geringen Leistungsfähigkeit seines optischen Gerätes konnte er schon 1610 von erregenden Entdeckungen berichten. Der als Morgen- und Abendstern bekannte Planet Venus zeigte im Fernrohr Beleuchtungsphasen wie unser Erdmond, er war also ebenfalls ein „erdiger", das heißt kugelförmiger Weltkörper, der sein Licht von der Sonne empfing. In der unmittelbaren Nähe des Planeten Jupiter hatte Galilei vier helle Punkte beobachtet, die durch ihre wechselnden Stellungen nur als Monde dieses Weltkörpers zu erklären waren. Und schließlich entschleierte ihm das Fernrohr auch die wahre Beschaffenheit der Oberfläche unseres Mondes: eine bizarre Landschaft mit Ebenen, Bergen und riesigen Kratern. Somit war durch die wissenschaftliche Beobachtung der Beweis für die im Prinzip richtige Ansicht Plutarchs über den Mond erbracht, und der Erdtrabant rückte erneut in den Mittelpunkt phantastischer Reisegeschichten.

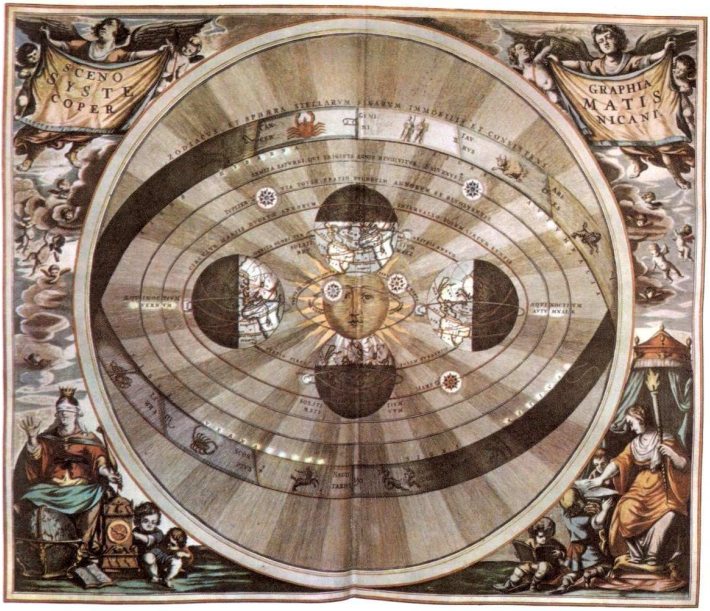
Aus der großen Anzahl von Mondflugerzählungen jener Zeit sollen uns nur die bemerkenswertesten beschäftigen. Johannes Kepler, der Entdecker der Planetengesetze, hinterließ eine Schrift, die erst drei Jahre nach seinem Tode erschien und die er „Traum" genannt hatte.




Das geozentrische Weltbild. Nach Ansicht des griechischen Geographen, Mathematikers und Astronomen Claudius Ptolemäus (nach 83 – nach 161) steht die inzwischen als kugelförmig erkannte Erde im Mittelpunkt, und die Planeten und die Sonne umkreisen sie. (Stich aus: Andreas Cellarius, „Harmonia macrocosmica", Amsterdam 1661)

Darin geht er davon aus, daß der Mond zwar eine eigene Atmosphäre habe, diese aber durch einen leeren Raum von der Erdatmosphäre getrennt sei. Aus diesem Grunde machte er seine Reise zum Mond nur im Traum. Originell ist vor allem die phantasievolle Erläuterung der von Galilei entdeckten Mondkrater. Kepler sieht in ihnen riesige Wallstädte, in denen die Mondbewohner vor den Sonnenstrahlen Schutz suchen. Die dort lebenden Endymioniden beschreibt er als schlangenförmige Wesen von hoher Intelligenz. Damit wird Kepler zum ersten Verfasser einer Weltraumutopie, der außerirdische Wesen von nichtmenschlicher Gestalt erfindet.

Diese Schrift des deutschen Astronomen übte zu seiner Zeit vor allem auf englische Verfasser utopischer Raumfluggeschichten einen großen Einfluß aus. Doch auch sie waren noch recht unbefangen und nahmen eine zumindest bis zum Mond reichende Erdatmosphäre an. So erschien beispielsweise 1638 ein Werk von Francis Godwin (1652 unter dem deutschen Titel „Der fliegende Wandersmann" herausgegeben), in dem der spanische Abenteurer Domingo Gonzales mit Hilfe gezähmter Schwäne zum Mond fliegt und dort eine von Menschen bewohnte paradiesisch schöne Welt findet. Die Schilderungen Godwins machen eines deutlich: Der Anlaß zur Erfindung utopischer Weltraumreisen war damals keinesfalls Ausdruck eines unbefriedigten wissenschaftlichen Erkenntnisdranges, sondern reine Fabulierfreude, oft aber auch die mehr oder weniger ernste Auseinandersetzung mit den gesellschaftlichen Problemen auf der Erde. Vielfach war die Beschreibung einer fremden




In seinem Werk „Über die Umläufe der Himmelskörper" beschreibt Nicolaus Copernicus das heliozentrische Weltsystem. Danach steht die Sonne im Mittelpunkt, und die Planeten umkreisen sie. Das entspricht der Wirklichkeit (Stich aus: Andreas Cellarius, „Harmonia macrocosmica", Amsterdam 1661)

Phantasiewelt irgendwo im Weltraum nichts anderes als eine erträumte Flucht aus den Mißständen des damaligen irdischen Daseins.
Auch in einer anderen, von John Wilkins verfaßten englischen Schrift, die ebenfalls 1638 veröffentlicht wurde, ist dieser Drang spürbar. Diesem Buch kommt in gewisser Hinsicht ein besonderer Wert zu: Wilkins stellt erstmalig Überlegungen zu den verschiedenen Reiseverfahren an, die einem Mondflug zugrunde liegen könnten. Nach seiner Meinung wäre der erste „technische" Weg die Mithilfe von Geistern oder Dämonen, der zweite die Nutzung von Vögeln als Flugmaschinen, und der dritte stünde dem Menschen durch den Selbstbau von Flügeln oder ganzen Flugapparaten offen. Damit sagt Wilkins nichts Neues. Aber als vierten Weg nennt er die Verwendung eines „fliegenden Wagens", der gewiß eines Tages erfunden würde und mit dem der Mensch durch den Weltraum zu den Gestirnen reisen könne. Über das Antriebsprinzip dieses Weltraumfahrzeuges wußte Wilkins allerdings nichts zu sagen. Dennoch war sein Gedanke für die damalige Zeit ungewöhnlich. Heute wissen wir, daß allein dieses vierte Wilkinssche Flugverfahren eine reale Bedeutung hat. Nur mit Hilfe eines besonders angetriebenen „fliegenden Wagens", eines Raumfahrzeugs, kann der Mensch zu anderen Weltkörpern gelangen.
Bald nach Wilkins' Schrift griff ein berühmter Abenteurer und Erzähler des Mittelalters die Idee des „fliegenden Wagens", auf. Der fabulierfreudige Franzose Savigny de Cyrano, besser bekannt unter dem Namen Cyrano de Bergerac, verfaßte 1648 die Geschichte „Flüge zum Mond", und vier Jahre später schrieb er

Mit diesem raketengetriebenen „fliegenden Wagen" wollte der amüsante Abenteurer und Erzähler Cyrano de Bergerac zum Himmel emporgeflogen sein

„Komische Geschichten der Staaten und Reiche der Sonne". In köstlich humorvollen Erzählungen schildert er unter anderem seine verschiedenen Versuche, einen geeigneten Antrieb für Himmelsflüge zu finden. Als er dabei einmal von seiner Arbeit ausruhte, banden ihm Soldaten heimlich Raketen und andere Feuerwerkskörper an seine neueste Maschine, um ihn damit zu necken. Cyrano entdeckte die verruchte Tat rechtzeitig, lief schnell zu seiner Maschine und sprang hinein, gerade als die Raketen zu brennen anfingen. Mit diesem von Feuerwerksraketen angetriebenen „fliegenden Wagen" stieg er dann bis über die Wolken empor... Eine unbewußte, aber wahrhaft phantastische Vorausschau des Franzosen auf die Zukunft!

Allerdings dauerte es noch fast zwei Jahrhunderte, ehe der Raketenantrieb in eine realistische technische Beziehung zur Idee des Weltraumfluges gebracht wurde.

## Die Physiker melden sich zur Sache

Inzwischen machten die Naturwissenschaften, vor allem die Astronomie und die Physik, große Fortschritte. Aus verschiedenen Beobachtungen hatte man immer zuverlässigere Hinweise dafür erhalten, daß die Erdatmosphäre mit zunehmender Höhe dünner wird und mit Sicherheit nur eine beschränkte Ausdehnung hat. Den Astronomen gelang es ferner, die Abstände zwischen der Erde und den anderen Planeten des Sonnensystems einigermaßen genau zu bestimmen. Dabei stellten die Wissenschaftler fest, daß die Entfernungen viel größer sind, als ursprünglich angenommen wurde. Und Fernrohrbeobachtungen ergaben, daß der Erdtrabant eine trostlos öde Gesteinswüste ohne jede Atmosphäre ist.

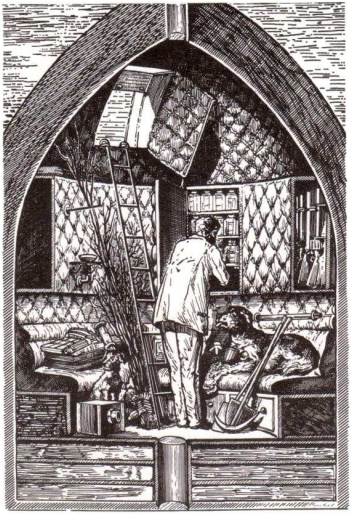
Der große englische Physiker Isaac Newton (1643–1727) kam schließlich jener geheimnisvollen Kraft auf die Spur, die alle Gegenstände an die Erde fesselt. Am anschaulichsten wird sie durch den Fall eines geworfenen Steins zur Erdoberfläche erkennbar. Dieser Anziehungskraft hatte man zuvor bei allen Überlegungen zum Sternenflug überhaupt keine Beachtung geschenkt. Aus der von Newton gemachten Entdeckung folgte nun die Erkenntnis, daß der Aufstieg eines Apparates von der Erdoberfläche zum Flug in den Weltraum einen ganz beträchtlichen Kraftaufwand erfordert, weil die Anziehungskraft der Erde überaus stark ist. Wie das technische Antriebsmittel beschaffen sein müßte, wußte man zunächst nicht zu sagen, denn die Entwicklung der Technik war noch längst nicht genügend fortgeschritten. Daher wagte es fast niemand mehr, sich über die Möglichkeiten des Weltraumfluges ernsthaft zu äußern.

Erst im Jahre 1865 erschien wieder ein Buch zu diesem Thema: „Von der Erde zum Mond". Verfasser ist der geniale französische Romanschriftsteller Jules Verne. Er schuf mit dieser Arbeit eines der aufsehenerregendsten Werke der utopischen Raumfahrtliteratur. Zugleich war es die erste Schrift, in der versucht wurde, die wissenschaftlichen Grundlagen eines Fluges zum Mond zu berücksichtigen.

Eine wichtige Anregung für seine Mondfluggeschichte bekam Verne wahrscheinlich durch die Arbeit „Über Feuer-Meteore" des Physikers Ernst Chladni. Dieser hatte bewiesen, daß die am Nachthimmel zu beobachtenden Stern-

schnuppen (Meteore; griech.: meteoros = „in der Höhe schwebend") keine „Ausdünstungserscheinungen" der Erdatmosphäre sind, wie man zuvor annahm, sondern kleinere Stein- und Eisenbrocken, die aus dem Weltraum kommen und zur Erde herabstürzen. Das von Newton gefundene Gesetz über die Wirkung der Anziehungskraft gestattet es, die Geschwindigkeit zu berechnen, mit der ein aus unendlicher Entfernung herabfallender Körper die Erde erreicht. Er käme mit der riesigen Geschwindigkeit von 11,2 km/s auf der Erdoberfläche an, vorausgesetzt, es gäbe keine bremsende Atmosphäre. Jules Verne kombinierte nun so: Wenn ein Körper durch die Schwerkraft aus dem Weltraum zur Erde gelangen kann, dann muß es umgekehrt auch möglich sein, einen Gegenstand von der Erdoberfläche in den Weltraum zu befördern, wenn man ihm dafür eine Anfangsgeschwindigkeit von 11,2 km/s erteilt. Dieser Wert sprengte in technischer Hinsicht die Vorstellungen der damaligen Zeit.

Raumfahrt im Stil der Jahrhundertwende. Über mangelnde Wohnlichkeit hätte sich die Besatzung des Jules Verneschen „Columbiade"-Geschosses nach dieser Darstellung zeitgenössischer Künstler kaum beklagen können



Der in seinem Gedankenflug immer sehr kühne Franzose ging dennoch von dieser gesetzmäßigen „Fluchtgeschwindigkeit" aus. Als Antriebsmittel für den Mondflug bestimmte er eine entsprechend leistungsfähige Kanone. Kanonen waren zu seiner Zeit die einzigen technischen Geräte, die Körper mit sehr großer Geschwindigkeit fortschleudern konnten. So ließ Verne die Mitglieder des berühmten „Kanonenklubs" das Riesengeschütz „Columbiade" entwerfen und danach auch bauen. Dessen Dimensionen waren so gewaltig, daß das Geschützrohr als senkrechter Schacht in die Erde hineinverlegt werden mußte. Man hatte eine Länge von 270 m als notwendig errechnet und ein Rohrkaliber von 2,70 m. Als Mondflugkörper wurde ein Hohlgeschoß aus Aluminium geschaffen, das eine Masse von 10 000 kg hatte. Um dieser Weltraumgranate die erforderliche Geschwindigkeit verleihen zu können, stopfte man das in den Boden der Halbinsel Florida gegossene Geschützrohr 54 m hoch mit Schießbaumwolle als Treibladung voll. Zum Höhepunkt der phantasievollen Schilderung wurde der Entschluß dreier kühner Männer, am Flug des Geschosses zum Mond teilzunehmen. Daß Abschuß, Mondumrundung und Rückkehr zur Erde gelangen, war bei dem unerschöpflichen Erfindungsreichtum Vernes nicht anders zu erwarten.

Genauere Überlegungen zeigen, daß ein Kanonenschuß zum Mond aus vielerlei Gründen – von denen wir später einige noch kennenlernen werden – prinzipiell unmöglich ist. Der einfallsreiche Franzose zeichnete also mit seiner „Columbiade"-Technik keinen realisierbaren Weg vor, was ihm als Erzähler und Romanautor gewiß auch nicht vorgeschwebt hatte.

## Ein neuer Magnet

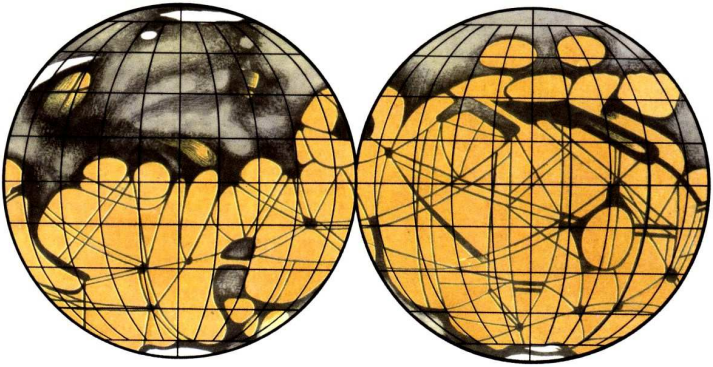
Das Jahr 1877 brachte einen neuen Akzent in die utopische Raumfahrtliteratur. Es wurden zwei interessante wissenschaftliche Entdeckungen gemacht, die den Mars betrafen. Sie hatten unter anderem zur Folge, daß das bevorzugte Interesse nun nicht mehr dem Mond, sondern diesem Planeten galt. Der amerikanische Astronom Asaph Hall fand mit einem großen, leistungsfähigen Fernrohr gleich zwei lichtschwache, kleine Marsmonde auf, die man Phobos und Deimos nannte, was auf deutsch Furcht und Schrecken heißt. Und der italienische Astronom Giovanni Schiaparelli erblickte

im Fernrohr ein sonderbares Netz von Linien, die im weiteren die Bezeichnung „Marskanäle" erhielten. Diese Gebilde erwiesen sich später eindeutig als Folge optischer Täuschungen. Damals jedoch glaubte man, endlich den ersehnten Beweis für die Existenz intelligenter Marsbewohner gefunden zu haben. Über das Vorhandensein von Lebewesen auf dem in manchen Einzelheiten für ziemlich erdähnlich angesehenen Planeten war schon öfter diskutiert worden.

Die neuen Entdeckungen regten auch die Phantasie der Verfasser von Raumfluggeschichten neu an. Ein meisterhaftes Werk, das noch für viele Jahrzehnte der unbestritten beste Raumfahrtroman der Weltliteratur sein sollte, schrieb der Deutsche Kurd Laßwitz. 1897 veröffentlichte er zwei Bände unter dem Titel „Auf zwei Planeten". Darin geht er von dem Gedanken aus, daß auf dem Mars menschenähnliche Wesen, die Numen, existieren, die den Erdbewohnern sowohl in ihrem wissenschaftlichen und technischen Können wie auch in ihrer moralischen Einstellung weit überlegen sind. Die Numen haben mit Hilfe ihrer hochentwickelten Raumflugtechnik die Erde erreicht und sind nun bestrebt, der Menschheit auf friedlichem Wege ihre höhere Kultur zu vermitteln. Die Schilderung entstehender Konflikte und deren Lösung bilden den Hauptteil des Buches. Was aber dem Roman von Laßwitz zu seiner Sonderstellung in der Literatur über Sternenflüge verhalf, sind die außerordentlich interessanten Ideen, die der Autor für technisch-wissenschaftliche Probleme des Flugverkehrs zwischen beiden Planeten entwickelte. Vieles ist zwar utopisch oder zumindest phantastisch, bemerkenswert bleibt aber, wie erstaunlich einfühlsam der Autor einige Grundgedanken der späteren Entwicklung vorausahnt.

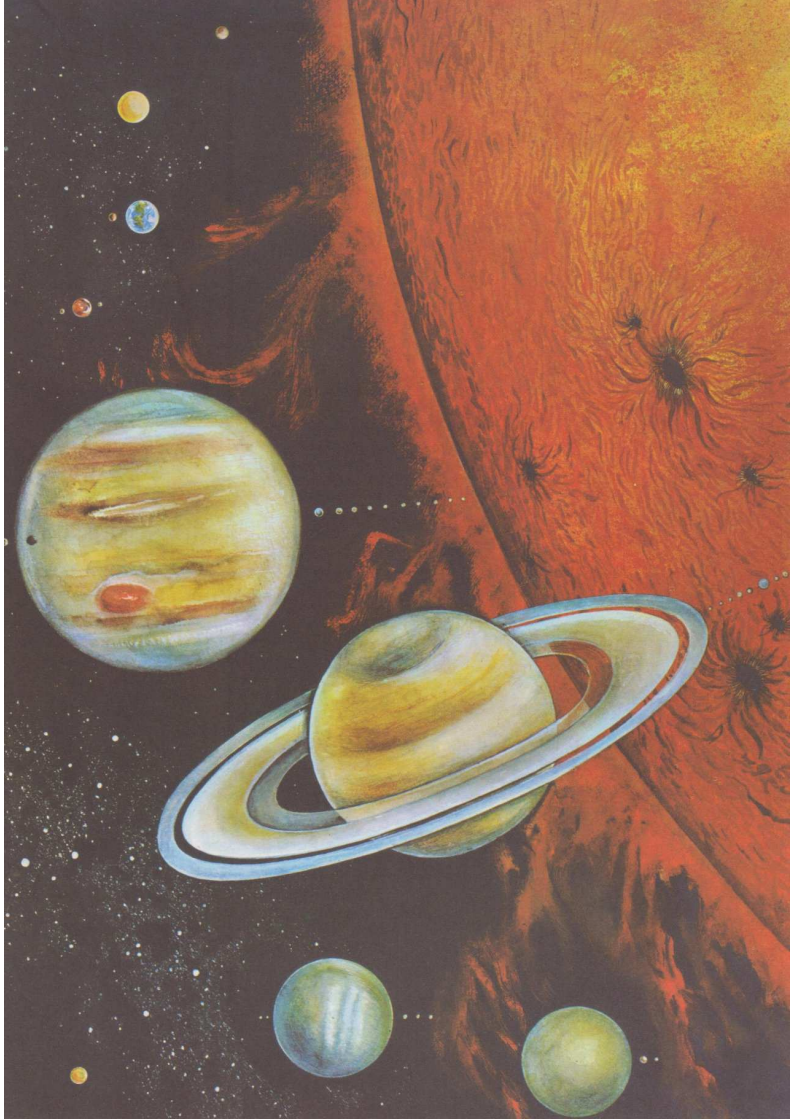
Eine reizvolle (utopische) Idee ist das von den Numen mit Hilfe technischer Anlagen über den Polen der Erde und des Mars erzeugte Kraftfeld. Es wirkt der Schwerkraft entgegen und ermöglicht so in einem engen, schlauchartigen Sektor ein recht müheloses Aufsteigen mit speziellen Raumfluggeräten. Über den Polen schweben – außerhalb der Atmosphären und durch Kraftfelder gestützt – von den Numen geschaffene technische Gebilde, die als „Umsteigebahnhöfe" für den eigentlichen interplanetaren Verkehr dienen. Die Idee solcher „Außenstationen" ist ein besonders bemerkenswerter Vorgriff auf die Zukunft. Denn heute kennen wir ähnliche Raumflugkörper als Raumstationen („Salut", „Skylab") in Erdumlaufbahnen. Sogar die 1929 erstmalig in einem Fachbuch vorgeschlagene Ringform für Außenstationen findet man schon bei Laßwitz. Und die Fortbewegung der Raumschiffe, die zwischen den beiden Planeten verkehren, läßt der technisch geschulte Verfasser durch Rückstoßantrieb erfolgen.

1888 fertigte der Entdecker der „Marskanäle", der italienische Astronom Giovanni Schiaparelli, nach seinen Beobachtungen am Fernrohr diese Karte der Marsoberfläche an. Einige „Kanallinien" erscheinen hier verdoppelt



Die lange Epoche der wissenschaftlich nicht oder kaum ernst zu nehmenden Träume vom Sternenflug begann um die letzte Jahrhundertwende auszuklingen. Weltraumgeschichten, die von reinen Wunschvorstellungen getragen waren, verloren an Interesse. Die Naturwissenschaften machten große Fortschritte, und die Technik erreichte erste Höhepunkte. Der Traum, zum Mond und zu anderen Weltkörpern zu fliegen und dort nach Unbekanntem zu schauen, blieb weiterhin bestehen. Aber er gewann von nun an einen immer klareren wissenschaftlichen und technischen Hintergrund. Aus dem phantasiebeflügelten Traum vom Sternenflug entwickelte sich das erregende Bild der wissenschaftlichen Raumfahrt.

Erdtrabant Mond. Mittlere Entfernung von der Erde: 384 400 km (etwa 30 Erddurchmesser); Durchmesser: 3 476 km (0,27 Erddurchmesser); Volumen: 0,02 Erdvolumen; Masse: 0,012 Erdmassen; mittlere Dichte: 3,34 g/cm$^3$ (0,605 der mittleren Erddichte); Schwerkraft an der Oberfläche: 0,166 der an der Erdoberfläche wirkenden Schwerkraft; Oberflächentemperatur: +130 °C (Tagseite) bis −160 °C (Nachtseite). Seine relative Nähe zur Erde ließ den Mond vom Wunschobjekt utopischer Weltraumreisen auch zum ersten Flugziel der wissenschaftlichen Raumfahrt werden



# Der kosmische Raum und seine Gesetze

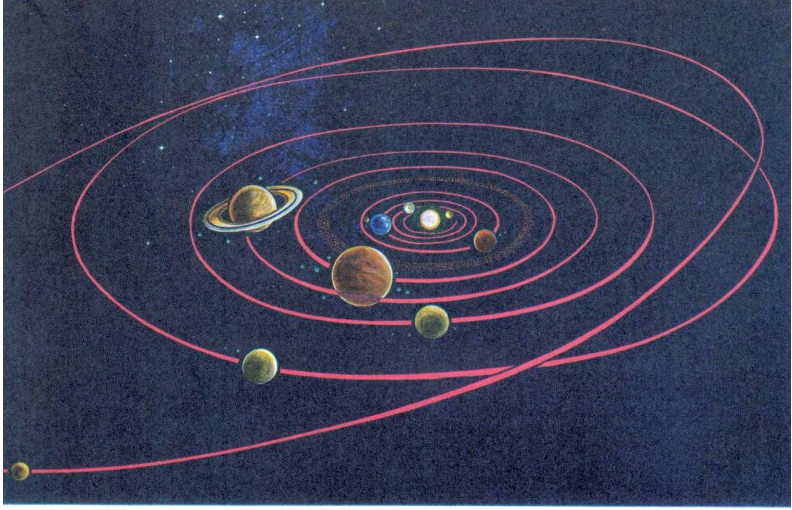
Ehe wir uns eingehender mit den naturgegebenen Gesetzen beschäftigen, die den Flug im Weltraum bestimmen, wollen wir uns den kosmischen „Tummelplatz" der Raumflugkörper einmal anschauen. Viele der später folgenden Erläuterungen werden nämlich nur dann verständlich sein, wenn wir über den räumlichen Aufbau unserer kosmischen Umwelt und die Beschaffenheit der benachbarten Weltkörper Bescheid wissen. Auch läßt sich die Leistung, die für die Verwirklichung eines Raumflugplanes erbracht werden muß, erst dann richtig einschätzen, wenn wir sie vor dem Hintergrund der astronomischen Maßstäbe sehen. Das bedeutet, das astronomische Wissen ist eine der Grundlagen der Raumfahrtwissenschaft.

## Weltraum und Erde

Wie wir schon im vorangegangenen Kapitel erfahren haben, wurde die Vorstellung vom wirklichen Aufbau der kosmischen Umwelt durch das von Nicolaus Copernicus dargelegte heliozentrische Weltbild geprägt. Danach ist die Sonne der Zentralkörper, um den sich die Planeten in geschlossenen Bahnen bewegen. Zunächst war man davon überzeugt, daß die Grundform dieser Bahnen Kreise sind.
Zu den Planeten des Sonnensystems gehört unsere Erde. Sie benötigt 365 Tage, 6 Stunden, 9 Minuten und 9 Sekunden für einen Sonnenumlauf, wobei sie einen mittleren Abstand von rund 149,6 Millionen km zum Zentralgestirn hat. Diese mittlere Entfernung der Erde von der Sonne ist die „Elle" des Sonnensystems; sie wird Astronomische Einheit (Kurzzeichen: AE) genannt. Außer der Erde waren zur Zeit des Copernicus nur die Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn bekannt. Die drei weiter außen um die Sonne laufenden Planeten Uranus, Neptun und Pluto wurden erst später entdeckt. Friedrich Wilhelm Herschel fand den Uranus im Jahre 1781 bei seinen Himmelsdurchmusterungen mit dem Fernrohr zufällig auf. Dem Neptun kam der Rechenstift auf die Spur. Aus Veränderungen der Bahn des Uranus, die man der Anziehungskraft eines noch unbekannten, jenseits der Uranusbahn umlaufenden Planeten zuschrieb, ermittelte der französische Mathematiker Urbain Jean Joseph Leverrier 1846 den mutmaßlichen Ort des Unbekannten am Himmel. Er teilte sein Ergebnis dem Astronomen Gottfried Galle in Berlin mit, der den später Neptun genannten Planeten tatsächlich nahe dem berechneten Ort auffand. Der sonnenfernste Planet Pluto wurde erst 1930 als lichtschwaches Sternchen mit Hilfe der Himmelsfotografie entdeckt.
Mit Ausnahme des Merkurs und des Pluto haben alle Planeten des Sonnensystems einen oder mehrere natürliche Satelliten. Der Mond, der Satellit unserer Erde, ist uns von allen Weltkörpern der nächste und daher für die Raumfahrt ein lohnendes Ziel. Seine mittlere Entfernung beträgt „nur" 384 000 km. Im Verhältnis zur Erde (Durchmesser: 12 756 km) hat er eine beträchtliche Größe (Durchmesser: 3 480 km), was beide im Planetenkreis zu einem Ausnahmepaar macht.
Zwischen den Bahnen von Mars und von Jupiter liegt ein ausgedehnter Gürtel von Kleinen Planeten oder Planetoiden. Das größte Objekt aus dieser Gruppe ist die 1801 entdeckte Ceres; sie hat einen Durchmesser von 770 km. Die überwiegende Mehrheit der nach einigen Tausend zählenden Planetoiden ist sehr viel kleiner. Ihre Durchmesser betragen wahrscheinlich höchstens ein paar hundert Meter, meist aber noch wesentlich weniger. Es gibt unter diesen Kleinen Planeten einige, deren Bahnen bis in den Raum zwischen Erde und Sonne hineinreichen oder über die Jupiterbahn hinausgehen. – Zu den Kleinkörpern unseres Sonnensystems zählen neben den Planetoiden auch die vereinzelt oder in Schwärmen auftretenden Meteorite, die wir als kosmische Stein- oder Eisenbrocken bei Chladni schon

Die Sonne und ihre Großen Planeten (nicht maßstäblich)

| | Äquator-Durchmesser (km) | Masse (Erde = 1) |
|---|---|---|
| Sonne | 1 392 000 | 333 000 |
| Merkur | 4 876 | 2 0,0553 |
| Venus | 12 112 | 0,8148 |
| Erde | 12 756 | 1,00 |
| Mars | 6 787 | 0,107 |
| Jupiter | 143 650 | 317,82 |
| Saturn | 120 670 | 95,11 |
| Uranus | 51 800 | 14,52 |
| Neptun | 49 200 | 17,22 |
| Pluto | 2 700 | 0,0026 |



Aufbauschema des Planetensystems (nicht maßstäblich). Mittlere Entfernung der Planeten von der Sonne: Merkur 0,39 AE, Venus 0,72 AE, Erde 1,00 AE, Mars 1,52 AE, Jupiter 5,20 AE, Saturn 9,54 AE, Uranus 19,18 AE, Neptun 30,06 AE, Pluto 39,7 AE. (1 AE = 149,6 Millionen km)

kennengelernt haben, sowie die Kometen und die meteoritische Staubmaterie (Mikrometeorite).

Jenseits der Umlaufbahn des Pluto, deren sonnenfernster Punkt 49,3 AE (etwa 7,4 Milliarden km) beträgt, beginnt der interstellare Raum, der Raum zwischen den Sternen. Wir sehen diese Sterne als die unterschiedlich hellen Lichtpunkte der Sternbilder des Nachthimmels. Es handelt sich um Weltkörper nach Art unserer Sonne, also um riesige selbstleuchtende Gaskugeln. Viele sind wesentlich heißer, andere kühler als die Sonne. Die einen übertreffen unser Zentralgestirn im Durchmesser um das Hundertfache, und verschiedene Zwergsterne haben eine Größe, die sich mit der eines Planeten unseres Sonnensystems vergleichen läßt. Es kann heute als gesichert angesehen werden, daß eine sehr große Anzahl dieser fernen Sonnen ebenfalls Planetensysteme hat, wenngleich deren Nachweis durch Direktbeobachtung bisher nicht möglich war.

Die Sterne bezeichnet man oftmals auch als Fixsterne (lat.: fixus = fest), wegen ihrer scheinbar unveränderlichen Stellung zueinander. Heute ist bekannt, daß sich auch diese Weltkörper auf eigenen Bahnen durch den Raum bewegen. Weil aber die Entfernungen zu ihnen riesig groß sind, kann man die Ortsveränderungen nur mit Hilfe sehr genauer Messungen erfassen. Als bekanntester Maßstab für die Entfernungen zwischen den Sternen wird das Lichtjahr (Kurzzeichen: Lj) verwendet. Es ist dies also keine Zeiteinheit, sondern eine Längeneinheit. Sie umfaßt die Strecke, die ein Lichtsignal im Vakuum, also im luftleeren Raum, während der Dauer eines Jahres zurücklegt: rund 9,5 Billionen km oder 63 240 AE. Der sonnennächste Stern (Proxima Centauri) ist 4,27 Lj oder rund 40,5 Billionen km entfernt. Vergleicht man diese Entfernung mit der des Pluto von der Erde – 7,4 Milliarden km –, so wird das gewaltige Ausmaß des interstellaren Raumes deutlich. Die Astronomen verwenden als Maß für die Entfernung zwischen den Sternen meist das Parsec (Kurzzeichen: pc), das 3,26 Lj entspricht.

Die Sonne mit ihren Planeten gehört zu einer Schar von etwa 100 Milliarden Sternen, die ein geordnetes und entwicklungsgeschichtlich zusammengehöriges System bilden, das wir als

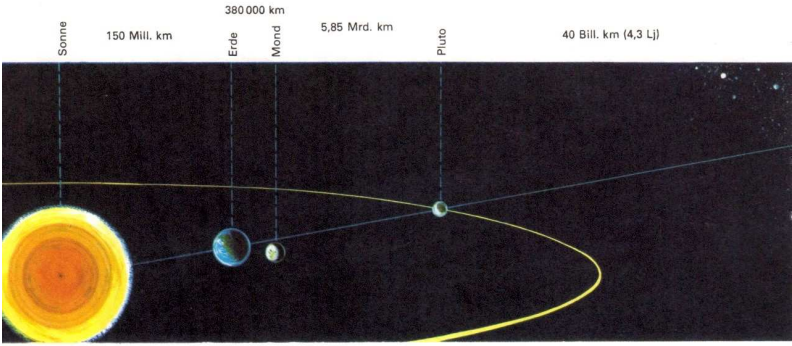
Milchstraßensystem oder Galaxis bezeichnen. Dieses riesige Sternsystem hat die Form eines Diskus, wobei die Sterne außerhalb eines dichteren Kerngebietes in Form von Spiralarmen angeordnet sind. Die Sonne befindet sich rund 30 000 Lj vom Zentrum der Galaxis entfernt, die einen Durchmesser von etwa 100 000 Lj hat. Jenseits des Randgebietes unserer Galaxis erstreckt sich ein mit erdgebundenen Maßstäben nicht mehr zu erfassender gigantischer sternenfreier Raum. Erst in einer Entfernung von etwa 2,2 Millionen Lj trifft man in Richtung des Sternbildes Andromeda auf eine ähnlich große, selbständige Galaxis. Wir nennen sie den Großen Andromedanebel. Außer diesem Sternsystem gibt es in dem heute überschaubaren Raum noch mehrere hundert Milliarden andere Galaxien, die zum Teil über 10 Milliarden Lj von uns entfernt sind.
Mit den genaueren Einzelheiten des Weltaufbaus im Galaxienmaßstab wollen wir uns hier nicht beschäftigen. Aber es ist notwendig, eine ungefähre Vorstellung von den gewaltigen Ausmaßen interstellarer Räume zu haben, um Raumfahrtpläne der Zukunft realistisch einschätzen zu können.

Der Mathematiker und Astronom Johannes Kepler erkannte die Gesetze, nach denen sich die Planeten um die Sonne bewegen. Damit legte er das Fundament zur Berechnung der Bahnen natürlicher und künstlicher Weltkörper

## Die Gesetze der Bahnmechanik

Wenden wir uns nun den naturgegebenen Gesetzen zu, die der Bewegung der Planeten um die Sonne zugrunde liegen und die auch für die Bahnen aller anderen kosmischen Körper unumstößlich gelten. Der Begriff „unumstößlich" kennzeichnet den besonderen Charakter der Naturgesetze. Auch die Flugbahn eines von Menschenhand in den Weltraum gebrachten Gegenstandes (Raumflugkörper, Raumsonde, Raumstation oder anderes) unterliegt diesen Gesetzmäßigkeiten. Die ersten Grundlagen für die mathematische Untersuchung der Sternbewegungen – man nennt dieses astronomische Arbeitsgebiet die Himmelsmechanik – schuf Johannes Kepler. Aus Positionsmessungen des dänischen Astronomen Tycho Brahe (1546–1601) am Planeten Mars leitete Kepler die seither nach ihm benannten Gesetze der Planetenbewegung ab. Die Ergebnisse seiner Arbeiten veröffentlichte er 1609 und 1619. Wegen ihrer grundlegenden Bedeutung seien die berühmten drei Keplerschen Gesetze hier genannt:

Spiralnebel M 33 im Sternbild Dreieck. Er ist ein fernes Sternsystem, ähnlich unserer Galaxis. Die diagonal verlaufende helle Linie ist die Bahnspur eines künstlichen Erdsatelliten




Der Pluto, der sonnenfernste bekannte Große Planet, ist rund 6 Milliarden km von unserem Zentralgestirn entfernt. Das ist die etwa 40fache Entfernung Sonne–Erde. Das Sonnenlicht (Geschwindigkeit: rund 300 000 km/s) braucht 5 Stunden 33 Minuten, um ihn zu erreichen! Die Entfernung zum nächsten sonnenähnlichen Stern beträgt etwa 4,3 Lj, die zu einem benachbarten Sternsystem ähnlich unserer Galaxis 2,2 Millionen Lj

1. *Die Bahn eines Planeten um die Sonne ist eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.*
2. *Der Radiusvektor eines Planeten – das ist die Verbindungslinie zwischen Sonne und Planet – überstreicht bei dessen Bewegung um die Sonne in gleichen Zeitabläufen gleich große Flächen.*
3. *Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten verhalten sich zueinander wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.*

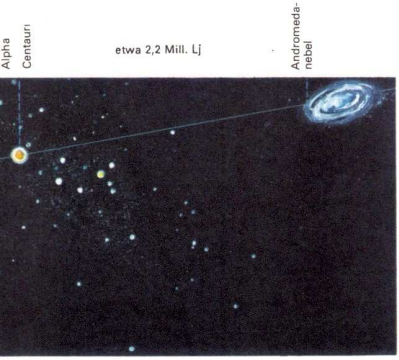
Das zweite Keplersche Gesetz sagt aus, daß sich ein Planet im sonnennächsten Punkt seiner Umlaufbahn (Perihel) schneller bewegt als im sonnenfernsten Bahnpunkt (Aphel). Man bezeichnet diesen gesetzmäßigen Zusammenhang auch als den Keplerschen Flächensatz.

Das dritte 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 (AE) entsprechend genau bekannt ist.

Die von Kepler gefundenen Gesetze zeigten also, *wie* die Bewegung der Himmelskörper erfolgt. Noch ungeklärt blieb zunächst die Frage nach der *Ursache* der Bewegungsvorgänge. Einige Jahrzehnte nach Kepler gelang, wie schon früher angedeutet, dem englischen Physiker Isaac Newton die Lösung dieses für die Naturerkenntnis äußerst bedeutungsvollen Problems. 1687 veröffentlichte er ein Werk, in dem er sowohl die Ursache für die Planetenbewegung als auch das mathematische Gesetz ihrer Wirkung darlegte. Newton hatte festgestellt, daß von jedem Körper – ob groß oder klein, fest, flüssig oder gasförmig – eine Anziehungskraft ausgeht, die in ihren Eigenschaften nicht mit der magnetischen Anziehungskraft vergleichbar ist.

Das von Newton gefundene Gesetz, nach dem diese Anziehungskräfte in der Natur wirksam werden, besagt, daß sich Körper gegenseitig mit einer Kraft anziehen, die von ihrer Masse und von ihrer Entfernung zueinander abhängig ist. Dabei nimmt die Anziehungskraft der aus beliebigem Material bestehenden Körper mit deren Masse zu, und sie verringert sich mit dem Quadrat der Entfernung zwischen den Massezentren dieser Körper. Die Anziehungskraft einer Masse wirkt stets in Richtung auf das Massezentrum – ein Tatbestand, der für die Berechnung von Raumflugbahnen von grundlegender Bedeutung ist. Die Abnahme der Anziehungskraft mit dem Quadrat der Entfernung läßt zum Beispiel die Kraftwirkung eines Körpers auf ein Hundertstel sinken, wenn sich der andere Körper in einem zehnfachen Abstand vom Masseschwerpunkt befindet.

Auf der festen Oberfläche eines Himmelskörpers, wie hier auf der Erde, drückt sich die Anziehungskraft im Gewicht oder in der Schwere aller Gegenstände aus. Aus diesem Grunde bezeichnet man die Anziehungskraft auch als Schwerkraft oder Gravitation (lat.:

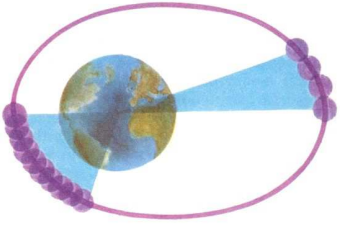



gravitas = Schwere) und den Raum, in dem sich die Wirkung der Gravitation ausbreitet, als Schwere- oder Gravitationsfeld. Das Newtonsche Gesetz wird demzufolge Gravitationsgesetz genannt.
Das Gewicht eines Körpers ist eigentlich der Ausdruck einer verhinderten Fallbewegung. Durch die Anziehungskraft der Erde würde nämlich der betreffende Gegenstand in Richtung auf das Anziehungs-(Gravitations-)zentrum, den Erdmassemittelpunkt, fallen, wenn ihn nicht eine feste Unterlage (Erdoberfläche, Tisch und so weiter) oder eine Aufhängung daran hindern würde. Die Größe der Kraft, mit der er dabei auf die Unterlage drückt oder an der Aufhängung zieht, wird als sein Gewicht bezeichnet. Sie ist – nach Newton – abhängig von der Masse des anziehenden Körpers und von der Entfernung zum Massezentrum. Es besteht somit ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Fallbewegung und Gewichtskraft, die man in der Raumfahrt auch Gewichtsandruck nennt. Die Fallgeschwindigkeit an der Erdoberfläche nimmt in jeder Sekunde um rund 9,81 m/s zu. Die Geschwindigkeitszunahme heißt Beschleunigung. Für den freien Fall an der Erdoberfläche beträgt sie also 9,81 $m/s^2$. Diesen Beschleunigungswert kennzeichnet man mit dem Buchstaben g und verwendet ihn als Einheit. Beschleunigungen beziehungsweise Gewichts- oder Beschleunigungsandrücke kann man daher durch Vielfache oder Teile von g angeben. Nehmen wir als Beispiel die Schwereverhältnisse an der Mondoberfläche. Dort beträgt das Gewicht eines Raumfahrers nur rund ein Sechstel von dem auf der Erdoberfläche, also etwa 0,17 g, ohne daß sich die Masse des Raumfahrers geändert hat. Ursache für die verminderte Schwere ist die gegenüber der Erde wesentlich geringere Masse des Mondes.

## Wie ein künstlicher Satellit entsteht

Wenden wir uns nun wieder unserem eigentlichen Anliegen zu. Wie bringt man einen Gegenstand von der Erdoberfläche in den Weltraum? – Wir wollen dabei das Vorhandensein der Erdatmosphäre zunächst außer acht lassen und die Vorgänge als Bewegungen im leeren Raum (Vakuum) ansehen. Gesucht wird eine Antriebskraft, die den zu befördernden Gegenstand – den Raumflugkörper – entgegen der Anziehungskraft von der Erde weg und in eine Bahn transportiert, auf der er dann wie ein natürlicher Weltkörper durch den Raum fliegt. Daß die erforderliche Antriebsleistung sehr groß sein muß, geht schon aus den Überlegungen Jules Vernes hervor. Er ließ eine gigantische Kanone als Antriebsmaschine einsetzen, weil nach seiner Meinung nur so die notwendige hohe Anfangsgeschwindigkeit von 11,2 km/s zu erreichen wäre. Wenn auch die Kanonenschuß-Idee aus verschiedenen Gründen zu keiner wirklichen Raumfahrt führen kann, so wollen wir dem Grundgedanken einer nur kurzzeitig wirkenden Antriebskraft wegen seiner Anschaulichkeit doch noch etwas weiter folgen.
Die einfachste Form des kurzzeitig wirkenden Antriebs ist der Wurf. Wie schon einfache Ver-

Alle künstlichen Satelliten der Erde bewegen sich – entsprechend dem Keplerschen Flächensatz – im erdnahen Bereich ihrer elliptischen Umlaufbahn schneller als im erdfernen. Je langgestreckter die Bahnellipse, um so größer ist der Geschwindigkeitsunterschied



Isaac Newton fand unter anderen das Gesetz der zwischen physikalischen Massen wirkenden Anziehungskräfte, das Gravitationsgesetz. Es bildet die Grundlage der Himmelsmechanik und damit auch der Astrodynamik, die sich mit der Berechnung der Bahnen von Raumflugkörpern beschäftigt

suche zeigen, hängen die beim Wurf erreichbare Höhe und Weite von der Anfangsgeschwindigkeit ab. Die Schwerkraft verzögert die von der Erdoberfläche nach oben gerichtete Bewegung des geworfenen Körpers ständig. War die Anfangsgeschwindigkeit zu gering, fällt der Körper schon nach kurzer Zeit auf die Erdoberfläche zurück. Das gilt sowohl für den horizontalen als auch für den schrägen und den vertikalen Wurf. Es muß folglich eine Anfangsgeschwindigkeit erreicht werden, die so groß ist, daß die ständig daran zehrende Anziehungskraft der Erde letztlich machtlos bleibt.

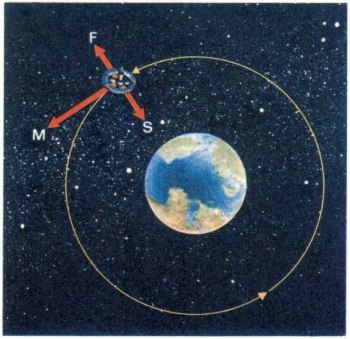
Am Beispiel des horizontalen Wurfs zeigt sich der Einfluß verschieden großer Anfangsgeschwindigkeiten besonders einprägsam. Setzen wir auf die Oberfläche einer ideal kugelförmig gedachten Erde eine kleine Plattform, auf der eine Wurfmaschine steht! Wird der Wurfkörper genau horizontal fortgeschleudert, so würde er – wenn keine Anziehungskraft vorhanden wäre – die geradlinige Fortbewegung für alle Zeiten beibehalten. Während des Fluges zieht ihn aber die Anziehungskraft wie einen frei fallenden Körper in Richtung auf den Erdmittelpunkt. So ergibt sich eine gekrümmte Flugbahn, die irgendwo auf der Erdoberfläche endet.

Mit steigender Abwurfgeschwindigkeit wird die Wurfweite immer größer, und bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 7,92 km/s kommen wir schließlich zu einem überraschenden Resultat: Es gelingt der Anziehungskraft nicht mehr, den Körper auf die Erdoberfläche herabzuziehen. In gleichbleibendem Abstand fliegt er über diese hinweg, und da wir uns die Erde als ideale Kugel gedacht haben, gelangt er in geschlossener Kreisbahn um sie herum – ein Vorgang, der sich ständig wiederholt. Der Wurfkörper ist zu einem künstlichen Satelliten, zu einem Raumflugkörper geworden.

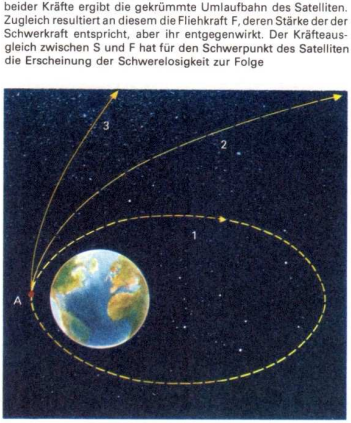
In der Praxis wäre dieser Versuch allerdings nicht ausführbar, unter anderem wegen des Luftwiderstandes. Die hohe Geschwindigkeit zum Einflug in die gewünschte Satelliten-Umlaufbahn muß außerhalb der bremsenden Lufthülle erreicht werden. Die Satellitenbahn liegt dann ebenfalls außerhalb des störenden Einflusses der Atmosphäre. Wenn man aber mit einer Umlaufbahn weiter vom Gravitationszentrum abrückt, so wird nach dem dritten Keplerschen Gesetz die zugehörige Kreisbahngeschwindigkeit geringer. Das heißt, für eine weiter von der Erdoberfläche entfernt liegende Satellitenbahn braucht man eine geringere Einfluggeschwindigkeit. Es gibt also eine gesetzmäßige Folge höhenabhängiger Kreisbahngeschwindigkeiten. In der Raumflugtheorie bezeichnet man die dicht über der ideal kugelförmig gedachten Erdoberfläche verlaufende Satellitenbahn als Minimumkreisbahn und demzufolge den zugehörigen (theoretischen) Geschwindigkeitswert von 7,92 km/s als Minimumkreisbahn-Geschwindigkeit.

Es wäre jedoch falsch anzunehmen, daß ein um so geringerer Antriebsaufwand erforderlich ist, einen Satelliten in eine Umlaufbahn zu bringen, je höher diese liegt. Man muß den Raumflugkörper nämlich nicht nur auf die jeweilige Einfluggeschwindigkeit bringen, sondern ihn zugleich auch gegen die Schwerkraft der Erde in die entsprechende Einflughöhe befördern. Dadurch ergibt sich für hoch liegende Satellitenbahnen stets ein höherer Antriebsaufwand (-bedarf) als für niedriger verlaufende.

Kehren wir noch einmal zu unserem anschaulichen Satelliten-Wurfexperiment zurück. Steigert man die horizontale Abfluggeschwindigkeit auf über 7,92 km/s, so entsteht als Umlaufbahn stets eine Ellipse. Und für diese gelten die Keplerschen Gesetze ebenso wie für die




Kräftespiel am umlaufenden künstlichen Erdsatelliten. Die Massenträgheit M allein würde den Raumflugkörper geradlinig in den Raum hinausfliegen lassen. Die Schwerkraft S zieht ihn in Richtung auf den Massenmittelpunkt der Erde. Das Zusammenwirken beider Kräfte ergibt die gekrümmte Umlaufbahn des Satelliten. Zugleich resultiert an diesem die Fliehkraft F, deren Stärke der der Schwerkraft entspricht, aber ihr entgegenwirkt. Der Kräfteausgleich zwischen S und F hat für den Schwerpunkt des Satelliten die Erscheinung der Schwerelosigkeit zur Folge



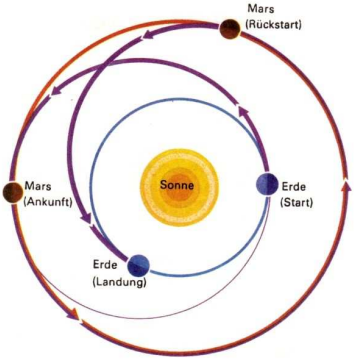

Der Verlauf der Bahn eines Raumflugkörpers ist von der Geschwindigkeit abhängig, die ihm bei horizontalem Abflug im Punkt A erteilt wird. Ab A bewegt sich der Raumflugkörper antriebslos weiter. Je höher die Abfluggeschwindigkeit, um so exzentrischer (gestreckter) wird die elliptische Umlaufbahn (1). Bei Erreichen des unteren Grenzwerts der Fluchtgeschwindigkeit wird die Bahn Ast einer (offenen) Parabel (2), darüber einer Hyperbel (3). In beiden letztgenannten Fällen kehrt der Raumflugkörper zum Gravitationszentrum nicht zurück. Für Kreis- und Ellipsenbahnen gelten die Keplerschen Gesetze

Planetenbahnen. (Elliptische Bahnformen entstehen auch dann, wenn – bei durchaus exakt getroffener Kreisbahngeschwindigkeit – die Einflugrichtung von der Horizontalen abweicht.) In der Praxis sind ideale Kreisbahnen nicht zu erzielen, man kommt lediglich auf mehr oder weniger kreisähnliche Ellipsen. Die elliptischen Bahnen werden um so langgestreckter, je höher die Anfangsgeschwindigkeiten liegen. Bei 11,2 km/s erhält man schließlich keine geschlossene Umlaufbahn mehr; die Bahn des Raumflugkörpers hat jetzt die Form einer offenen Parabel. Man nennt diese Geschwindigkeit deshalb auch parabolische Flucht- oder Entweichgeschwindigkeit. Wir haben sie schon bei Jules Vernes Schuß zum Mond kennengelernt. Weil die Kurve offen ist, fliegt ein Körper auf ihr für immer von der Erde fort. Wird die Geschwindigkeit noch größer als 11,2 km/s, entstehen Flugbahnen in Form einer Hyperbel, die ebenfalls in den Weltraum hinaus und nicht zur Erde zurück führen. Die parabolische Fluchtgeschwindigkeit kann man somit auch als die niedrigstmögliche Entweichgeschwindigkeit bezeichnen. Wie bei der Minimumkreisbahn-Geschwindigkeit von 7,92 km/s gilt die parabolische Fluchtgeschwindigkeit von 11,2 km/s exakt nur für den von uns theoretisch angenommenen Abflug in Minimumkreisbahn-Höhe. Für alle höher gelegenen Abflugpunkte sind die parabolischen Fluchtgeschwindigkeiten wiederum niedriger. Man kann sie aus der für die gleiche Einflughöhe geltende Kreisbahngeschwindigkeit durch Multiplikation mit dem Faktor 1,414 erhalten.

Da alle diese Bahnen nach dem Einflug antriebslos durchlaufen werden, nennt man sie astronautische Freiflugbahnen.

## Flugbahnen zu anderen Himmelskörpern

Bisher haben wir nur die Erde als Gravitationszentrum betrachtet und somit die Bahnen von künstlichen Erdsatelliten sowie von Fluchtkörpern kennengelernt. (Letztere bezeichnet man auch als Raumsonden oder – abhängig vom Ziel des Raumfluges – im einzelnen genauer als Mond-, Planeten- oder Sonnensonden.) Nach Newton und Kepler sind Freiflugbahnen auch in jedem anderen Gravitationsfeld immer Kegelschnittkurven (Kreis, Ellipse und so weiter). Das heißt, auch für den Mond und fremde Planeten



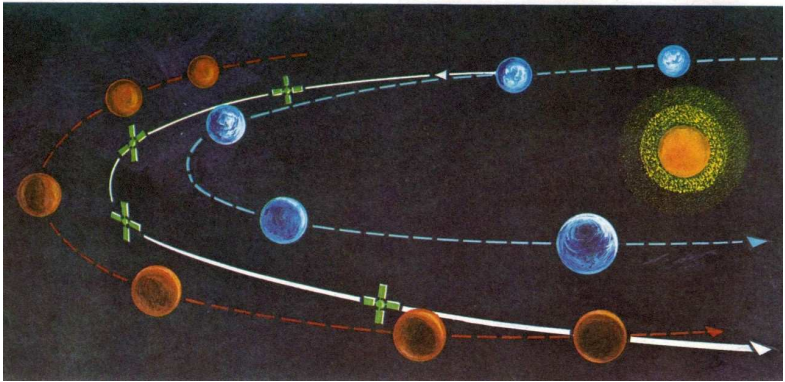

Bahnschema einer Marsexpedition auf Hohmann-Bahnen. Deutlich die lange „Parkpause" am Mars, um die einzig günstige Rückflugposition zu erhalten

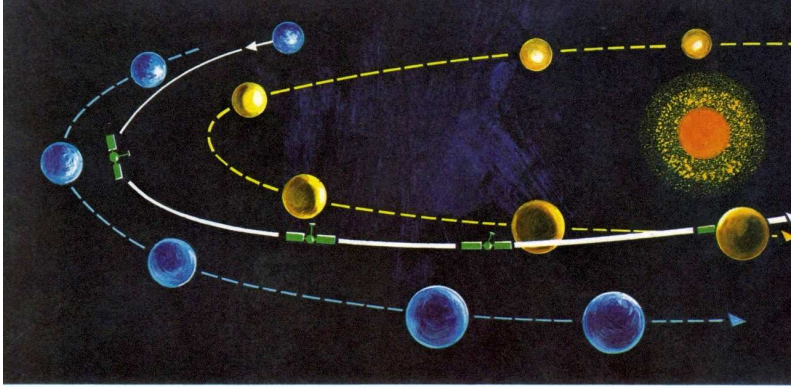
gibt es eigenständige Satelliten- und Fluchtbahnen.

Die Gesetzmäßigkeiten der Bahnform haben noch in einem weiteren Zusammenhang raumflugtechnische Bedeutung. Gelangt ein von der Erde entweichender Raumflugkörper in das beherrschende Gravitationsfeld eines anderen Himmelskörpers (Sonne, Mond, Planet), so ist seine Bahn in bezug auf dessen Massemittelpunkt wieder eine Kegelschnittkurve. Die Bezeichnung „beherrschendes" Gravitationsfeld soll vereinfachend ausdrücken, daß es um jeden Himmelskörper einen gewissen Raum gibt, in dem die Wirkung seiner eigenen Anziehungskraft auf Raumflugkörper stärker ist als die jedes anderen benachbarten Weltkörpers. In der Raumflugtheorie spricht man genauer von der Wirkungssphäre eines Himmelskörpers. Die Art und Form des Bahnverlaufs sind abhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher der Raumflugkörper in die jeweilige Wirkungssphäre eintritt. Zusätzliche Eingriffe während des Fluges (Bahnkorrekturen durch erneuten Antrieb) sollen zunächst unberücksichtigt bleiben.

Betrachten wir nun den Bahnverlauf eines Raumflugkörpers, der in den überwiegend von der Sonnengravitation beherrschten Raum gelangt. In jedem Fall entsteht eine selbständige Sonnenumlaufbahn. Sie läßt sich wie jede andere Umlaufbahn genau vorausberechnen. Will man die Annäherung an einen bestimmten Weltkörper erreichen, geht man von den Positionen aus, welche die Erde und das Zielobjekt zum geplanten Starttermin in ihren Bahnen einnehmen, und bezieht die Flugzeiten des Raumflugkörpers in die Berechnungen ein. Astronautische Bahnen dieser Art nennt man interplanetare Übergangsbahnen oder Kepler-Bahnen. Sie bilden die unsichtbare Brücke von der Erde zu anderen Weltkörpern.

Das geometrisch einfachste Beispiel einer interplanetaren Übergangsbahn ist die Berührungsellipse. Sie nimmt in der Erdbahn ihren Anfang und berührt die Bahn des Zielplaneten streifend. Zahlreiche Beispiele für solche Übergangsbahnen wurden schon 1925 von dem deutschen Ingenieur Walter Hohmann veröffentlicht und zu einem ersten einfachen „Kursbuch" für Planetenflüge zusammengestellt. In der Raumflugpraxis sind Hohmann-Bahnen aber nicht sehr günstig, da sie zwar den geringsten Antriebsaufwand von allen mögli-





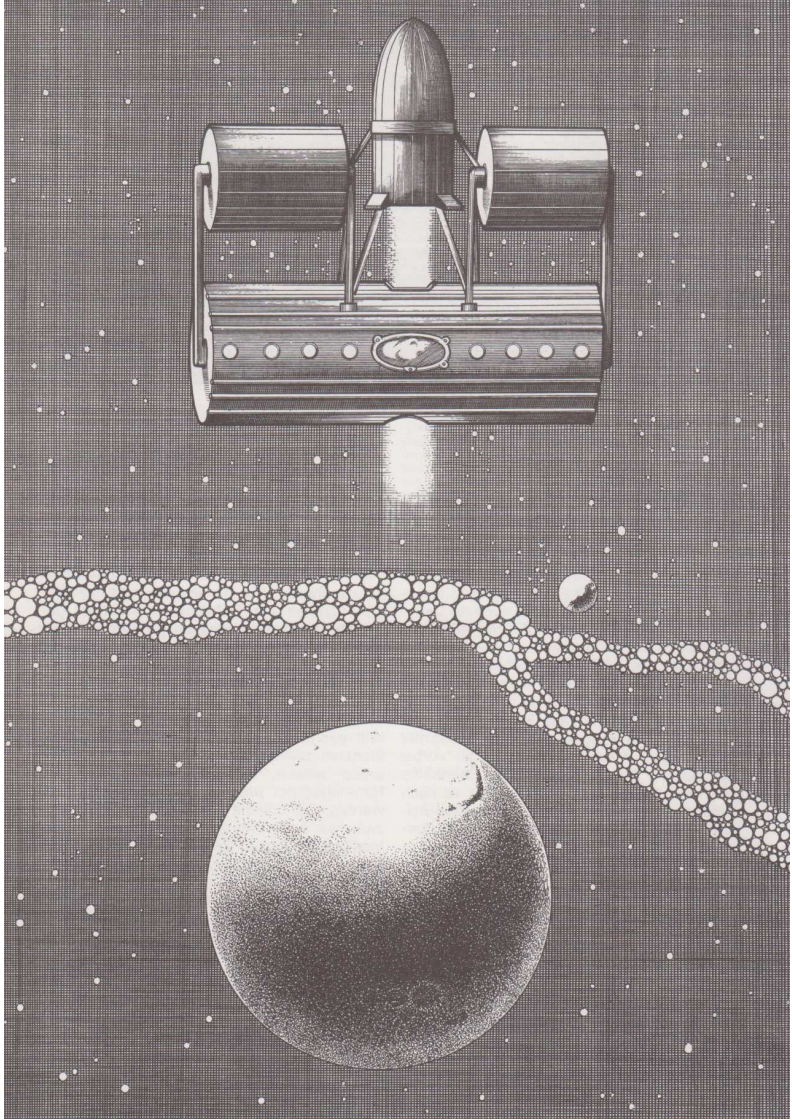
Flüge zu den innerhalb der Erdbahn um die Sonne laufenden Planeten Merkur und Venus sind nur möglich, wenn Abfluggeschwindigkeit und -richtung eine gegenüber der Bewegung der Erde (etwa 30 km/s) geringere Bahngeschwindigkeit relativ zur Sonne ergeben. Dann „fällt" der Raumflugkörper näher zur Sonne heran und erreicht so den Zielplaneten (oben). Für Flüge zu den äußeren Planeten (Mars usw.) ist eine Addition der Bahngeschwindigkeit der Erde und der Abfluggeschwindigkeit des Raumflugkörpers erforderlich (unten)

chen Übergangsbahnen zu einem bestimmten Zielplaneten erfordern, jedoch die längsten Flugzeiten ergeben. Für den Flug zum Nachbarplaneten Mars kommt man auf eine Dauer von rund 260 Tagen allein für den Hinflug.

Will man später einmal Menschen mit Raumflugkörpern zu Planetenerkundungen ausschicken, muß man den Flugzeiten eine besondere Beachtung schenken. Wichtig ist die Überlegung, daß es mit dem Hinflug allein nicht getan ist. Flöge beispielsweise ein bemannter Raumflugkörper nur am Zielplaneten vorbei und auf der elliptischen zweiten Bahnhälfte gleich wieder zur Erde zurück, gäbe es nach nochmals 260 Tagen Flugzeit (Marsflug-Beispiel nach Hohmann) eine ziemlich böse Überraschung. Die Erde wäre in der Zwischenzeit in ihrer Bahn weitergewandert und befände sich nicht dort, wohin der Raumflugkörper jetzt zurückkäme. Die Folgen für eine mitfliegende Besatzung wären katastrophal. Als Lösung böte sich an, beim Mars zunächst eine „Parkpause" einzulegen, indem man in eine Marssatellitenbahn einsteuert. Man bliebe eine bestimmte Zeit in dieser Umlaufbahn und flöge erst dann zurück, wenn man auf der Rückflug-Halbellipse die Erde auch tatsächlich erreichen könnte.

Nach diesem Verfahren bestünde eine Flugmission aus Hin- und Rückflugzeit plus Wartezeit am Mars. Wie ungeeignet dieses Prinzip für zukünftige Planetenexpeditionen wäre, geht daraus hervor, daß schon bei einem so „nahen" planetaren Zielobjekt wie dem Mars eine Gesamtdauer für die Expedition von 950 bis 970 Tagen herauskäme. Das für mitfliegende Besatzungen bedeutsame Zeitproblem ließe sich allerdings durch „schnellere", schnittige Übergangsbahnen und vorteilhaft einkalkulierte Verweilzeiten am Zielplaneten günstiger gestalten. Dennoch würden solche Unternehmen einige hundert Tage in Anspruch nehmen, wenn Mars oder Venus Flugziele wären. Expeditionsflüge zum Jupiter oder noch weiter liegen völlig außerhalb aller heute realisierbaren Möglichkeiten.

Will man die Starttermine für Flüge zu anderen Planeten planen, so müssen dabei, wie wir schon wissen, stets die Bewegungen der Himmelskörper um die Sonne berücksichtigt werden. Die ständig wechselnden Positionen zwischen Erde und Zielplanet lassen nur in bestimmten kurzen Zeiträumen, die man als Startfenster bezeichnet, den Abflug zu. Dieses Startfenster-Prinzip gilt selbstverständlich auch für Planetenflüge unbemannter Forschungssonden. Für Venusflüge folgen die Startfenster in einem mittleren Abstand von etwa 18 Monaten und haben eine „Öffnungszeit" von vier bis sechs Wochen; die Startfenster für Marsunternehmen liegen etwa 23 bis 25 Monate auseinander und stehen jeweils zwei bis drei Monate offen.



# Wegbereiter der Weltraumfahrt

Bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts hatte man zum Thema Sternenflug viele wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen. Die Entfernungen zwischen den Körpern des Planetensystems waren bekannt, ebenso ihre Bahnen, die Bewegungsabläufe, die Ursachen für diese Bewegungen, und man wußte, welche Geschwindigkeiten den Raumflugkörpern erteilt werden müssen, damit diese ihre gewünschten astronautischen Freiflugbahnen erreichen. Eines war aber noch unklar: welches Antriebsmittel für so hohe Geschwindigkeiten geeignet ist.

Unabhängig voneinander fanden in verschiedenen Ländern ideenreiche Männer die Lösung: den Rückstoßantrieb durch Raketen. Bekannt war dieses Verfahren im militärischen Bereich (Brand- und Sprengraketen) und in der Feuerwerkerei schon sehr lange. Warum kam man erst jetzt darauf, seine Tauglichkeit auch für die Raumfahrt zu prüfen? Der Grund dafür lag in den bislang recht bescheidenen Antriebsleistungen der allein üblichen Pulverraketen.

Einer der ersten, die sich mit diesen Problemen befaßten, war der russische Chemiker Nikolai Kibaltschitsch (1854–1881). Seine Überlegungen und fachlichen Kenntnisse brachten ihn um 1880 auf den Gedanken, daß starke Pulverraketen wahrscheinlich sogar bemannte Flugplattformen bis in sehr große Höhen zu befördern vermögen. Die Raketen sollten in Halterungen schwenkbar angebracht werden, um Einfluß auf die Flugrichtung nehmen zu können. Als Mitglied einer revolutionären Gruppe wurde Kibaltschitsch 1881 nach dem Sprengstoffattentat auf Zar Alexander II. inhaftiert und zum Tode verurteilt. Noch während seiner kurzen Haftzeit arbeitete er an den Plänen zu Raketenflugkörpern weiter. Bis 1918 blieb dieses Material jedoch in den Gerichtsarchiven verschlossen.

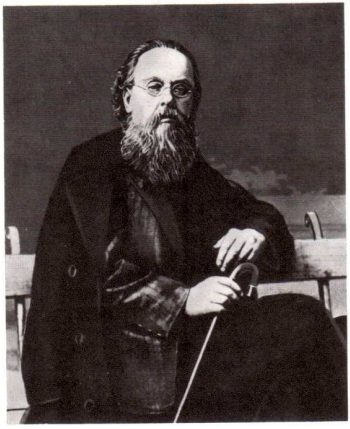
Das von Hermann Ganswindt Ende des vorigen Jahrhunderts beschriebene „Weltenfahrzeug" war der erste detaillierte Entwurf eines durch Rückstoß angetriebenen Raumschiffs. (Zeichnung nach einem von Ganswindt selbst gefertigten Bild)

Eine besondere Variante des Rückstoßantriebes für Flugzwecke fand schon wesentlich früher der Engländer Charles Golightly. Er war durch Versuche mit Pulverraketen für militärische Zwecke zu eigenen Arbeiten angeregt worden. 1841 erhielt er auf den Dampfstrahl-Rückstoßantrieb einer Flugmaschine ein Patent. Die Patentschrift wurde allerdings niemals veröffentlicht, und seine Zeitgenossen, soweit sie von der Erfindung Kenntnis erhielten, verhöhnten und verspotteten ihn.

1891 trat der deutsche Ingenieur Hermann Ganswindt (1856–1934) mit bemerkenswerten Plänen zum Bau eines raketengetriebenen Weltraumschiffes an die Öffentlichkeit. Den Entwurf seines „Weltenfahrzeuges" kann man vielleicht schon, natürlich nur im weitesten Sinne, als das erste etwas eingehender durchdachte Raumschiffprojekt bezeichnen. Als Antrieb war ein Rückstoßapparat vorgesehen, in dem einzelne Pulverladungen in einer Brennkammer mit Ausströmdüse nacheinander zur Entzündung gebracht werden sollten. Ein besonderes Interesse verdient der Vorschlag Ganswindts, die während des antriebslosen Fluges im Raumschiff auftretende Schwerelosigkeit aufzuheben. Zu diesem Zweck wollte er die zylindrische Raumschiffkabine in Rotation versetzen. Die dabei entstehende, nach außen gerichtete Zentrifugalkraft (Fliehkraft) sollte die Schwerkraft ersetzen. Ein Gedanke, der später auch von anderen Pionieren der Raumfahrt wieder aufgegriffen wurde und in der Raumflugtechnik bis heute zur Diskussion steht. Wenn auch viele der bei Ganswindt sonst noch zu findenden raumfahrttechnischen Ideen nicht mehr als erste tastende Versuche waren, denen vor allem die exakten mathematisch-physikalischen Grundlagen fehlten, so gebührt diesem Mann jedoch das Verdienst, erstmals der Öffentlichkeit die Verwendung des Raketenantriebs für Raumfahrtzwecke nahegebracht zu haben.

## Die Geburtsstunde der Raumfahrtwissenschaft

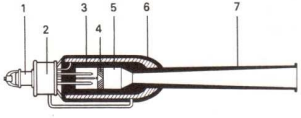
Etwa um das Jahr 1885 begann im zaristischen Rußland der Mathematiker Konstantin Ziolkowski (1857–1935) als erster die Grundlagen des Weltraumfluges streng wissenschaftlich zu untersuchen. Er wurde damit zum Begründer der russisch-sowjetischen Raumfahrtwissen-



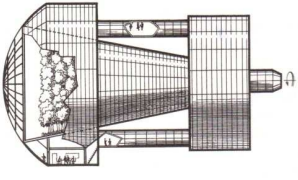
Konstantin Ziolkowski wurde mit seinen zahlreichen grundlegenden Arbeiten über Theorie und Praxis der Raketen- und Raumfahrttechnik zum Begründer der sowjetischen Raumfahrtforschung, der Kosmonautik

schaft, der Kosmonautik. Die Ergebnisse seiner frühen Studien veröffentlichte er 1903 in der russischen Zeitschrift „Wissenschaftliche Rundschau". In dem Beitrag „Erforschung des Weltraumes mittels Reaktionsapparaten" bringt Ziolkowski erstmalig die mathematische Ableitung der Raketengrundgleichung, die für die Raumfahrtantriebstechnik von grundlegender Bedeutung ist. Wir werden diesen wichtigen Schlüssel zur Raketentechnik später näher kennenlernen. – Die Veröffentlichung Ziolkowskis wurde aber von seinen Zeitgenossen entweder nicht ernst genommen oder nicht einmal beachtet. Kaum anders erging es ihm mit weiteren, 1911 bis 1914 veröffentlichten Arbeiten. Ziolkowskis weit vorausschauende und oftmals sehr ins einzelne gehende Vorschläge waren so gründlich durchdacht, daß man sie original oder in abgewandelter Form auch heute noch in der modernen Raketen- und Raumflugtechnik wiederfinden kann. Unter anderem schlug er erstmalig die Verwendung flüssiger Raketentreibstoffe vor, ferner einen Kühlmantel mit durchlaufender Flüssigkeit zum Schutz der durch hohe Temperaturen belasteten Brennkammerwand, die Treibstofförderung mittels Kreiselpumpen sowie die Verwendung von Strahlrudern und Kreiseln für die Raketenlenkung und -steuerung. Er beschäftigte sich weiterhin mit dem Stufenprinzip für Raumfahrtraketen, von dem sich in der Praxis gezeigt hat, daß es einen weiteren wichtigen Schlüssel zum Weltraum darstellt. Ziolkowski befaßte sich auch bereits mit einem Raumfahrtprojekt, das gegenwärtig und auch in Zukunft von großer Bedeutung ist. Er entwarf bemannte wissenschaftliche Raumstationen, die nach seinen Vorstellungen in Umlaufbahnen als außerirdische Forschungsstützpunkte um die Erde kreisen sollten. Der russische Wissenschaftler schlug wie Hermann Ganswindt vor, die Raumstation in Rotation zu versetzen und den dadurch entstehenden Fliehkraftandruck als Schwereersatz zu nutzen sowie eine mit Pflanzen besetzte „Orangerie" als Hilfsmittel für die Klimaregelung einzusetzen.

Erst nach der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution, im jungen Sowjetstaat, fanden die verdienstvollen Arbeiten Ziolkowskis volle Würdigung und Unterstützung. Endlich konnte der Vater der sowjetischen Kosmonautik, wie Ziolkowski heute allgemein ehrenvoll genannt wird, Schüler und Gleichgesinnte um sich sammeln und seine reichen Erkenntnisse und




Aufbauschema eines von Ziolkowski vorgeschlagenen Raketentriebwerks für flüssige Treibstoffe. 1 Elektromotor, 2 Treibstoffpumpen, 3 Einspritzsystem, 4 Zündvorrichtung, 5 Brennkammer, 6 Treibstoffbehälter, 7 Ausströmdüse



Konstantin Ziolkowski ging bei seinem Entwurf für eine Raumstation von zwei grundlegenden Gedanken aus: Erstens, die Station sollte rotieren und durch Fliehkraftandruck für einen Schwereersatz sorgen; zweitens, eine „Orangerie" sollte der Regelung des Klimas und der Versorgung der Besatzung mit Nahrungsmitteln dienen

Erfahrungen an die Generation weitervermitteln, der es nur wenige Jahrzehnte später gelingen sollte, die ersten Flüge in den Weltraum zu verwirklichen.

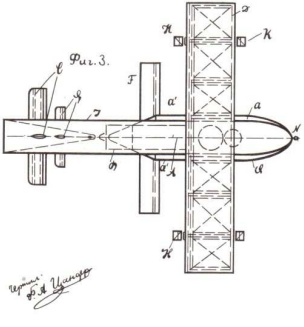
Zu den namhaftesten Pionieren der Raumfahrtforschung gehört auch der französische Motoren- und Flugzeugkonstrukteur Robert Ésnault-Peltérie. Er befaßte sich ab 1905 grundlegend mit dem Raketenantrieb. Durch seine zahlreichen Veröffentlichungen wurde er zu einem weitbekannten Verfechter der Raumfahrtidee in Westeuropa. Seine wissenschaftlichen Werke erschienen allerdings erst 1928 und 1930/35. Mit dem Titel eines seiner Werke führte er übrigens den heute international üblichen Begriff Astronautik (griech.: Sternenschiffahrt) ein.

Um 1908 begann in Moskau der russische Techniker Friedrich Zander (1887–1933) mit ersten Studien zur Raketen- und Raumflugtechnik. Später lernte er die Arbeiten von Ziolkowski kennen, den er sehr verehrte. Zander entwikkelte sich zu einem der aktivsten Raketenpioniere der Sowjetunion. Im Jahre 1920 nahm er an einem Erfinderkongreß in Moskau teil, wo er seine gut durchdachten Pläne zu einem Raketenflugzeug vortrug, dessen Triebwerk mit flüssigem Treibstoff arbeiten sollte. Zander erhielt daraufhin von Lenin, der ebenfalls anwesend war, den staatlichen Auftrag zur intensiven Fortführung seiner Arbeiten. Das war der Anstoß zum Aufbau einer selbständigen sowjetischen Raketen- und Raumfahrtforschung. In anderen Ländern dachte man erst rund ein Dutzend Jahre später an eine staatliche Förderung der Raketen- und Raumfahrtforschung.

Zander baute 1930 sein erstes kleines Versuchstriebwerk, das mit gasförmigem Sauerstoff und Benzin als Treibstoffen arbeitete. Eine verbesserte Konstruktion verhalf dann im November 1933 der zweiten sowjetischen Versuchsrakete zum erfolgreichen Aufstieg.

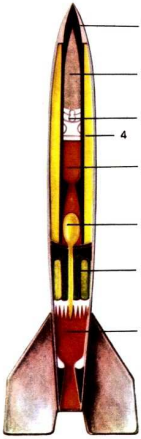
In den USA untersuchte der Physiker und Mathematiker Robert Hutchings Goddard (1882–1945) in der Zurückgezogenheit seines Instituts ab 1912 die Arbeitsweise von Raketen. Dabei ging es ihm anfänglich nicht darum, einen geeigneten Antrieb für Raumflugzwecke zu finden; er wollte ausschließlich physikalische Fragen klären. Praktisches Fernziel war die Entwicklung von Höhen- und Fernflugkörpern. Die gründliche wissenschaftliche Arbeitsweise Goddards brachte zunächst reiche Erkenntnisse und Erfahrungen über die physikalischen und

Friedrich Zander beschäftigte sich seit 1908 mit Problemen der Raketen- und Raumfahrttechnik. Nach 1920 begann er praktische Arbeiten an Raketentriebwerken und vertrat als Flugzeugingenieur besonders die Idee des Raketenflugzeugs

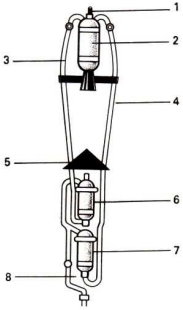



Friedrich Zanders Entwurf eines Raketenflugzeugs

technischen Probleme des Betriebs von Pulverraketen – oder Feststoffraketen, wie man heute allgemein sagt. Die Ergebnisse seiner Arbeit veröffentlichte Goddard 1919 in seiner Schrift „Eine Methode zum Erreichen sehr großer Höhen", die nach ihrem Bekanntwerden




Hermann Oberths Entwurf einer dreistufigen Flüssigkeitsrakete. Er zeigt eine originelle, aber nicht in die Praxis überführte Lösung: das „Ineinanderschachteln" der Raketenstufen. 1 absprengbarer Nasenkegel, 2 dritte Raketenstufe, 3 und 4 Treibstoffe der zweiten Raketenstufe, 5 Brennkammer der zweiten Raketenstufe, 6 und 7 Treibstoffe der ersten Raketenstufe, 8 Brennkammer der ersten Raketenstufe




Aufbauschema des Raketentriebwerks von Robert H. Goddard, das für den Aufstieg der ersten Flüssigkeitsrakete der Erde verwendet wurde. 1 Zündvorrichtung, 2 Brennkammer, 3 Sauerstoffleitung, 4 Brennstoffleitung, 5 Schutzkegel, 6 Sauerstoffbehälter, 7 Brennstoffbehälter, 8 Druckgasleitung

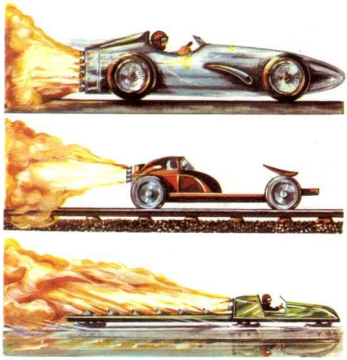
in Europa zu einem ersten Standardwerk der wissenschaftlich begründeten Raumfahrtliteratur wurde.

Ab 1920 begann sich Goddard mit flüssigen Treibstoffen zu beschäftigen. Er entwickelte dazu erstmalig Triebwerke mit Treibstoff-Pumpenförderung, die er dann auch zu Flugversuchen verwendete. Am 16. März 1926 gelang ihm der Start der ersten Flüssigkeitsrakete der Erde, deren Flug allerdings nur 2,5 s dauerte. Bei weiteren Experimenten, die 1929 Steighöhen bis 300 m ergaben, erkannte Goddard zunehmend die entscheidende Bedeutung einer guten Flugstabilisierung der aufsteigenden Raketen. Nach eingehenden Untersuchungen löste er auch dieses Problem, er schuf die erste flugfähige Raketensteuerung. Sie bestand am 19. April 1932 erfolgreich ihre Erprobung. Obwohl Goddard auch später Wertvolles zur Raketentechnik beisteuerte, kam es in den USA bis nach 1945 zu keinen eigenständigen Bemühungen auf dem Gebiet der Raumfahrt.

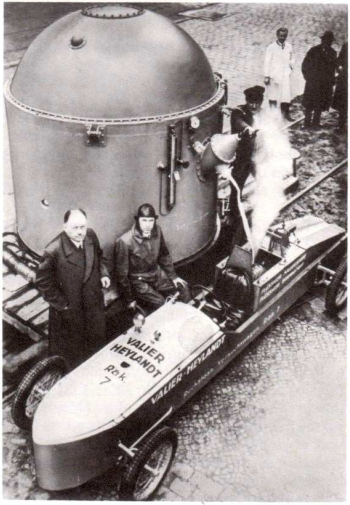
Das dritte Hauptwerk der älteren Raumfahrtgeschichte – nach Ziolkowskis Schrift von 1903 und Goddards Veröffentlichung – entstand in den Jahren 1918 bis 1922. Es war die Dissertation (Doktorarbeit) des jungen deutschen Wissenschaftlers Hermann Oberth (geb. 1894). Sie befaßte sich mit theoretischen Untersuchungen zur Raketen- und Raumflugtechnik. Die vorgelegte Arbeit wurde jedoch abgelehnt, weil sie ihrem Inhalt nach zu phantastisch sei. Unberührt von dieser Kurzsichtigkeit seiner Lehrer, veröffentlichte Oberth sein Material 1923 als Buch unter dem Titel „Die Rakete zu den Planetenräumen". Der Einfluß dieses Werkes auf die weitere Entwicklung des Raumfahrtgedankens in Deutschland und Österreich war beträchtlich. Im „Fahrwasser" von Oberths Untersuchungsergebnissen, Ideen und Projekten beschäftigte sich jetzt eine Vielzahl von begeisterungsfähigen Technikern, Wissenschaftlern, Studenten und Angehörigen anderer Berufe mit den Problemen des Weltraumfluges.

Oberth war sehr bald, wie auch vor ihm Ziolkowski, auf die Verwendung flüssiger Raketentreibstoffe gekommen. In seinen Plänen machte er sehr genaue Angaben zum Bau von Höhenforschungsraketen, und er errechnete schon die theoretischen Grundlagen für den Bau einer Doppelrakete oder, wie man sie heute allgemein nennt, einer zweistufigen Rakete. Diese sollte aus einer größeren Rakete bestehen, deren Triebwerk mit flüssigem Sauer-

stoff und Alkohol arbeitet, und aus einer aufgesetzten kleineren Rakete, die mit flüssigem Sauerstoff und flüssigem Wasserstoff betrieben wird. Die zuletzt genannte Kombination ergibt einen zwar sehr leistungsfähigen, aber auch sehr gefährlichen Raketentreibstoff. Es gelang erst nach 1960, mit diesem sicher umzugehen und ihn in die Raketenpraxis einzuführen.
Eine Neufassung des Oberthschen Standardwerks erschien 1929 unter dem Titel „Wege zur Raumschiffahrt". Bis 1930 arbeitete der Wissenschaftler dann in Deutschland an noch vielen praktischen Versuchen. Die dabei entstandenen Kontakte zu anderen Raketenforschern und Raumfahrttheoretikern trugen wesentlich zur Bildung der ersten organisierten Arbeitsgruppen für Raketenentwicklung auf Vereinsbasis bei. Oberth ist der einzige heute noch lebende Vertreter der ersten Generation von Raumfahrtpionieren. Bis in die vergangenen Jahre trat er immer wieder mit interessanten Gedanken zur Raumfahrt an die Öffentlichkeit.



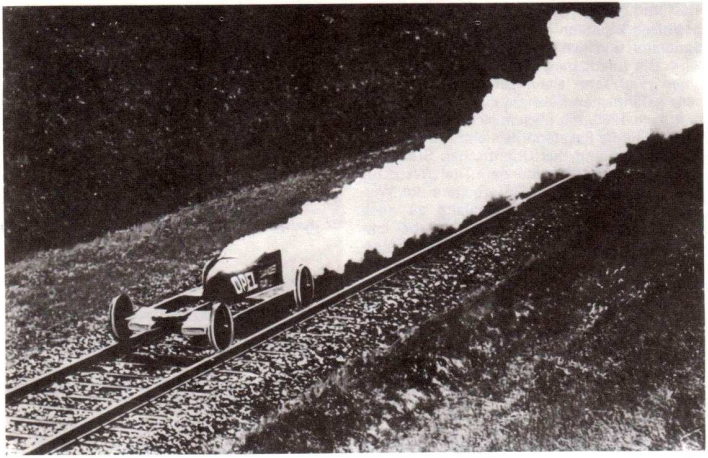
Ende der zwanziger Jahre wurden in Deutschland und Österreich raketengetriebene Autos, Schienenwagen und Schlitten erprobt




Ein Rückstoß-Versuchswagen Max Valiers (links, mit Lederhaube) wird mit flüssigem Sauerstoff betankt. Es war das erste Bodenfahrzeug mit einem Flüssigkeitsraketentriebwerk (1930)

## Raketenexperimente für die Raumfahrt

Zu denen, die durch Oberths Anregungen nach 1923 in Deutschland für die Raketen- und Raumfahrtidee besonders wirksam wurden, zählt der österreichische Techniker Max Valier (1895–1930). Er bemühte sich sehr, die Grundlagen der Raumfahrt allgemeinverständlich darzulegen, und unternahm später auch eigene Raketenversuche sowie teilweise recht eindrucksvolle öffentliche Vorführungen. Valier war davon überzeugt, daß Experimente mit raketengetriebenen Bodenfahrzeugen und Flugzeugen brauchbare Erfahrungen für die Entwicklung von Weltraumraketen liefern könnten. Er arbeitete zunächst mit einem Hersteller von Seenotrettungsraketen und dem Mitinhaber einer Autofirma zusammen, weil er die von ihm angeregten Versuche mit Raketenfahrzeugen auch ausführen wollte. Die Testfahrten der verschiedenen Raketenautos im Jahre 1928 hatten jedoch keinen praktischen Wert für die weitere Entwicklung. Das galt auch für die Fahrten, die Valier mit selbstgebauten Versuchswagen ausführte.
Danach ging der österreichische Techniker zu Versuchen mit unbemannten raketengetriebenen Schienenwagen über. Die Experimente verliefen wenig erfolgreich; es gab zu dieser




Unbemanntes Raketenschienenfahrzeug bei einer Versuchsfahrt (1928, Burgwedel-Celle)

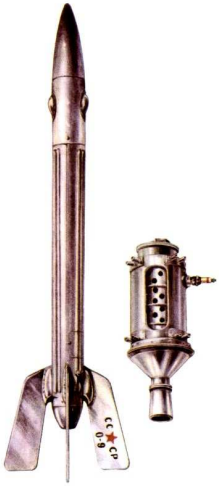
Zeit keine geeigneten technischen Voraussetzungen für derartige Vorhaben. Valier experimentierte dennoch weiter, und zwar mit Raketenschlitten auf der Eisdecke zugefrorener Seen. Ein unbemannter „Valier-Rak-Bob"-Schlitten erreichte dabei eine Höchstgeschwindigkeit von 380 km/h.
Um das Hauptziel seiner Bemühungen, das Raketenflugzeug, zu verwirklichen, hatte Valier schon ab 1927 Flugzeugingenieure zu Versuchen mit raketengetriebenen Modellflugzeugen angeregt. Ein solches Fluggerät erreichte 1928 eine maximale Fluggeschwindigkeit von rund 500 km/h. Als Antriebe wurden Feststoffraketen verwendet. Und es kam auch zum ersten Versuchsflug eines Menschen mit einem raketengetriebenen Segelflugzeug. Die ebenfalls 1928 von Fritz Stamer geführte Maschine wurde allerdings noch mit Seilzug gestartet und der Raketenantrieb erst im Flug gezündet. Am 30. September desselben Jahres gelang Fritz von Opel mit einem Spezialflugzeug der erste volle Flug eines Menschen allein mit Antrieb durch Pulverraketen.
Nachdem Valier eingesehen hatte, daß mit Feststoffraketen keine brauchbaren Erfahrungen für die Raumfahrt zu erhalten waren, ging er 1929 zu Versuchen mit Flüssigkeitstriebwerken über. Er verwendete als Treibstoffe flüssigen Sauerstoff und Alkohol. Die Erprobungen fanden jedoch unter sehr primitiven Voraussetzungen statt. Im Mai 1930 verunglückte Max Valier bei einem seiner Versuche durch die Explosion des Triebwerks tödlich.
Noch ein anderer deutscher Techniker nahm in diesen Jahren Einfluß auf die Entwicklung des Raumfahrtgedankens: Johannes Winkler (1897–1947). Er gründete 1927 den „Verein für Raumschiffahrt" (VfR), in dem sich nach und nach sehr viele Männer sammelten, die der Entwicklung der Raketentechnik entscheidende Impulse erteilten. Winkler gab ab 1927 auch „Die Rakete" heraus, die zum Mitteilungsblatt des „Vereins für Raumschiffahrt" wurde. Er entwarf ab 1928 die ersten Versuchsgeräte für flüssigen Treibstoff, und im März 1931 gelang ihm in Dessau der erste Start einer Flüssigkeitsrakete in Europa. Das Gerät erreichte eine Höhe von etwa 100 m. Mit einer verbesserten Konstruktion setzte er seine Flugversuche dann auf dem 1930 für die Arbeit des VfR geschaffenen Raketenflugplatz Berlin-Reinickendorf fort. Erfolge konnte Winkler dabei allerdings nicht mehr verzeichnen.
Auf dem Raketenflugplatz Berlin fand in den

Jahren bis 1933 noch eine Reihe anderer Experimente mit kleinen Raketentriebwerken sowie Starts von Versuchsraketen statt. 1931 gelangen dabei Aufstiege bis in etwa 1500 m Höhe.
Zu den jüngeren raketen- und raumfahrtbegeisterten Helfern auf dem Raketenflugplatz zählte auch Wernher von Braun (1912–1977). Er trat allerdings schon 1932 in den Dienst der militärischen deutschen Raketenforschung und wurde später Leiter der Entwicklungsarbeiten an der Heeresversuchsanstalt Peenemünde auf der Insel Usedom. Hier entstanden die ersten großen Flüssigkeitsraketen, „A4" genannt, die dann ab 1944 als „V2" für Terrorangriffe gegen die britische und belgische Zivilbevölkerung zum Einsatz kamen. Nach dem Ende des zweiten Weltkrieges ging von Braun als Raketenforscher in die USA, wo er zunächst wieder für militärische Zwecke arbeitete, dann aber schließlich auch einige Verdienste um die amerikanischen Raumfahrtbemühungen erwarb.
In Deutschland wurden die auf rein friedliche Raumfahrtinteressen orientierten privaten Raketenversuche nach 1933 verboten.
Wesentliche Beiträge zu den wissenschaftlichen Grundlagen der Raketentechnik lieferte in Mitteleuropa nach 1930 der österreichische Techniker Eugen Sänger (1905–1964). Er promovierte 1929 mit einer Arbeit auf dem Gebiet der Flugtechnik. 1933 veröffentlichte er das Buch „Raketenflugtechnik", in dem seine ersten Untersuchungen zu Problemen des Raketenantriebes und des Raketenfluges niedergelegt sind. Dieses Werk blieb für lange Zeit das wertvollste deutschsprachige Lehrbuch der Raketentechnik. Sänger setzte seine umfassenden und gründlichen Forschungsarbeiten nach 1936 an verschiedenen deutschen Instituten fort. Dabei entwickelte er unter anderem den Entwurf eines Raketenflugzeuges, das in der Lage sein sollte, mehrere tausend Kilometer Entfernung zu überbrücken. Nach dem Kriege entstanden daraus die ersten Ansätze für die Entwicklung von Raumtransportern. Das sind wiederverwendbare Raketenflugkörper zum Transport von Raumfahrtnutzlasten in Erdumlaufbahnen, deren erste Einsätze um das Jahr 1980 erwartet werden.
Sängers wissenschaftliche Arbeit machte ihn nach 1945 bald weltbekannt. Ein besonders reizvolles Kapitel seiner Gedankenarbeit waren die theoretischen Untersuchungen der Flugmechanik von Raumfahrzeugen, die durch den Rückstoß eines Lichtteilchen(Photonen-)strahls mit annähernd Lichtgeschwindigkeit fliegen sollten. 1951 wurde Sänger bei der Gründung der Internationalen Astronautischen Föderation (IAF) zu deren erstem Präsidenten gewählt.

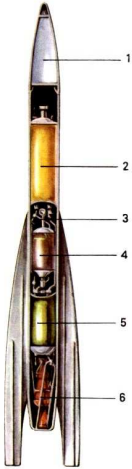
Walentin Gluschko wurde 1929 Mitarbeiter des Gasdynamischen Laboratoriums in Leningrad und dort einer der Begründer des sowjetischen Raketentriebwerkbaus. Später übertrug man ihm die Leitung der Entwicklungsarbeiten an den Antriebssystemen, mit denen alle bisher gestarteten sowjetischen Trägerraketen ausgestattet sind

## Die Fundamente der sowjetischen Raumfahrt entstehen

Kehren wir noch einmal zu den Jahren nach 1920 zurück, um einige wichtige Abschnitte des Weges zu verfolgen, den die Verwirklichung des Raumfahrtgedankens in der Sowjetunion nahm. Es entstanden dort zunächst mehrere öffentliche Interessenten- und Arbeitskreise. Das große Interesse, das die Idee vom Welt-



Die erste in der Sowjetunion gestartete Flüssigkeitsrakete, „GIRD-09", wurde mit den Treibstoffen Flüssigsauerstoff und Hartbenzin (zusammen 5 kg) betrieben. Ihr Triebwerk erzeugte einen Schub von 0,5 kN

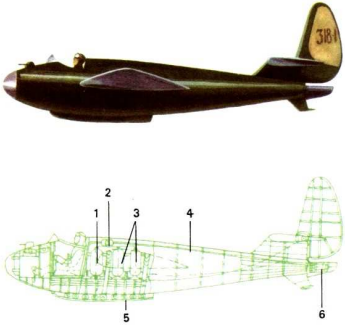



Die zweite geflogene sowjetische Flüssigkeitsrakete, „GIRD-X", hatte Flüssigsauerstoff und Äthylalkohol als Treibstoffe (zusammen 8,3 kg). Das Triebwerk arbeitete mit Druckgasförderung der Treibstoffe und erzeugte einen Schub von 0,7 kN. 1 Nutzlastspitze, 2 Druckgasbehälter, 3 Druckgasleitungen und Ventile, 4 und 5 Treibstoffbehälter, 6 Brennkammer

raumflug bei vielen Menschen fand, kam unter anderem in der Gründung einer „Gesellschaft zur Erforschung des interplanetaren Verkehrs" im Jahre 1924 in Moskau zum Ausdruck. Zu ihren Präsidiumsmitgliedern zählten Ziolkowski und Zander. Etwa zur gleichen Zeit entstand in Moskau eine „Zentrale Forschungsstelle für Raketenprobleme". Junge Leute, die sich für die praktische Versuchsarbeit begeisterten, scharten sich in Arbeitsgruppen um Friedrich Zander und andere erfahrene Techniker oder Wissenschaftler.

1929 begann man sich im Gasdynamischen Laboratorium in Leningrad, also in einem staatlichen Forschungsinstitut, auf exakter wissenschaftlicher Grundlage mit der Entwicklung von Flüssigkeitstriebwerken zu beschäftigen. Das geschah also einige Jahre früher, ehe Vergleichbares in Deutschland seinen Anfang nahm. Die Arbeiten am Gasdynamischen Laboratorium waren außerordentlich fruchtbar. Eine bedeutende Rolle spielte dabei Walentin Gluschko (geb. 1908), der schon 1930 das erste

Das Gleitflugzeug mit Raketenantrieb „RP-318" (Koroljow/Gluschko). Länge: 7,9 m. Spannweite: 17 m. Startmasse: 657 kg (davon 75 kg Treibstoffe). 1 und 3 Treibstoffbehälter, 2 Regelventil, 4 Treibstoffleitungen, 5 Gleitkufe für Landung, 6 Raketentriebwerk



Flüssigkeitstriebwerk der Reihe ORM schuf. Bis 1938 entstanden mit dieser Serienbezeichnung dann noch über 100 verschiedene Triebwerktypen. Die ersten Entwicklungsarbeiten führte Gluschko bis 1933 gemeinsam mit Angehörigen der Arbeitsgruppe LenGIRD durch. In dem genannten Jahr wurden das Leningrader Institut und die GIRD zum „Wissenschaftlichen Institut zur Erforschung des Rückstoßes" mit Sitz in Moskau vereinigt. Damit war die fachliche und organisatorische Basis für alle folgenden Entwicklungen von Raketentriebwerken und Raumfahrtraketen in der UdSSR geschaffen.

Die GIRD (Gruppa Isutschenija Reaktiwnogo Dwishenija, deutsch: Gruppe zum Studium der Rückstoßbewegung) war als Interessen- und Arbeitsgemeinschaft 1931 zunächst in Moskau (MosGIRD) und Leningrad (LenGIRD) gegründet worden. Sie unterstand dem Verband OSOAVIACHIM. Der Moskauer Kreis der GIRD, dem auch Zander angehörte, befaßte sich mit der Projektierung und Entwicklung von Raketentriebwerken für Flugzeuge, leistete daneben aber auch eine sehr große Informationsarbeit für die Öffentlichkeit. Ähnlich waren die Tätigkeiten der LenGIRD ausgerichtet. 1932 bildete man die GIRD zunächst zu einer in Moskau vereinigten zentralen Forschungs- und Entwicklungsorganisation für Raketen- und Raumfahrttechnik um. Ein Jahr später erfolgte die Zusammenlegung mit dem wissenschaftlichen Institut in Leningrad.

Sergei Koroljow. Seine Konstruktionsentwürfe für Raketen und ihre Triebwerke setzten in der UdSSR Maßstäbe. Koroljows Ideen und Impulse waren für die sowjetische Raumfahrtforschung richtungweisend

An der Entwicklung der „GIRD-X" war auch der spätere Chefkonstrukteur der sowjetischen Raumfahrtträgerraketen, Sergei Koroljow (ganz links), beteiligt

Die GIRD-Mitglieder erzielten 1932/33 bemerkenswerte Erfolge. So wurde eine von Michail Tichonrawow (geb. 1900) entworfene Flüssigkeitsrakete gebaut und am 17. August 1933 unter der Bezeichnung „GIRD-09" erfolgreich gestartet. Es war der erste Flug einer sowjetischen Rakete dieser Art; die bis auf 400 m Höhe gestiegene 2,4 m lange Rakete wurde somit zum Urahn aller sowjetischen Höhen- und Raumfahrtraketen. Noch im selben Jahr, am 25. November, gelang auch der Start einer Flüssigkeitsrakete („GIRD-X"), die nach Vorarbeiten von Zander entstanden war. Sie erreichte eine Höhe von annähernd 4 000 m. Die Grundkonstruktion des dabei verwendeten Raketentriebwerks wurde in der weiteren sowjetischen Raketenentwicklung beibehalten und ständig verbessert.

Neben anderen hervorragenden Fachleuten ging aus der GIRD auch ein Mann hervor, der zu dem bisher wohl bedeutendsten Raketen- und Raumfahrtspezialisten der Sowjetunion werden sollte: Sergej Koroljow (1906–1966). Er beendete 1930 sein Fachstudium als Flugzeugtechniker, trat dann aber in die Reihen der

Raumfahrtbegeisterten ein und wurde 1931 Gründungsmitglied der MosGIRD. 1932 übernahm er die Leitung der vereinigten GIRD-Gruppen. Unter seiner wissenschaftlichen und organisatorischen Führung wurden unter anderem die beiden 1933 gestarteten GIRD-Raketen entwickelt und erprobt. 1934 veröffentlichte Koroljow sein Buch „Raketenflug in die Stratosphäre", das zu den Standardwerken der sowjetischen Raketen- und Raumfahrtliteratur zählte. Sein Interesse galt anfangs vor allem dem Raketenflugzeug. Aus einem von ihm geschaffenen Segelflugzeug baute er 1938/39 den Raketengleiter „RP-318", der in seinem Heck mit einem von Gluschko konstruierten Flüssigkeitstriebwerk ausgerüstet war. Mit diesem neuartigen Gerät führte der Testpilot W. Fjodorow am 28. Februar 1940, nach einem Schleppflug durch ein Motorflugzeug auf 2000 m Höhe, den ersten erfolgreichen raketengetriebenen Gleiterflug in der Sowjetunion aus.

Nach 1945 war Koroljow Chefkonstrukteur des großen sowjetischen Raumfahrt-Forschungskollektivs. Er hatte nicht nur entscheidenden Einfluß auf die Gesamtkonzeption des sowjetischen Raumfahrtprogramms, er war auch bis in alle wesentlichen Einzelprobleme hinein an den verschiedenen Entwurfs- und Konstruktionsaufgaben unmittelbar beteiligt. Seine „Spezialstrecke" waren die Raketentriebwerke hoher Leistungen und die großen Raumfahrt-Trägerraketen. Auch an der klug durchdachten Konstruktion der berühmten „Wostok"-Mehrstufenrakete hatte er wesentlichen Anteil. Mit deren Hilfe gelangten bekanntlich 1961 die ersten Menschen (Juri Gagarin, German Titow) in den Weltraum. Der Sowjetunion standen also schon zu einer Zeit hochleistungsfähige Raumfahrt-Trägerraketen zur Verfügung, als in den USA an derartige Großraketen noch nicht zu denken war. Auch sonst bewies der leider viel zu früh verstorbene Sergej Koroljow seinen Weitblick für langfristig wirksame technische Lösungen sowie sein großes organisatorisches Talent.

Hier wollen wir unseren kleinen Ausflug durch die Frühgeschichte der Raketen- und Raumfahrtforschung beenden. Wir haben von den Mühen, aber auch von den ersten Erfolgen einiger namhafter Pioniere dieser Zeit gehört. Sie waren es, die in verschiedenen Ländern etwa gleichzeitig den Grundstein legten zu einer Entwicklung, die den uralten Traum vom Flug des Menschen zu den Sternen verwirklichen

half. Einige von ihnen waren selbst noch maßgeblich an der Durchführung der ersten Raumflugunternehmen beteiligt. Von anderen blieb nur die Erinnerung an ihre mit Leidenschaft geführten Kämpfe für eine neue wissenschaftliche Idee.

Die Raumflugtechnik mit ihren sehr komplizierten Problemen machte es notwendig, große Kollektive von Wissenschaftlern und Technikern der verschiedensten Fachrichtungen aufzubauen und vor allem zu einer reibungslosen Zusammenarbeit zu bringen. Die zu bewältigenden Aufgaben schlossen auch die serienmäßige Fertigung der Trägerraketen und

Raumflugkörper ein sowie alle Tätigkeiten für Start und Flug. Die Raumfahrtwissenschaft entwickelte deshalb neue Organisationsformen, die man heute allgemein unter dem Begriff Großforschung zusammenfaßt. Erst diese „Schritte im Hintergrund" schufen die Voraussetzungen für die stürmische Entwicklung der Raumfahrt im letzten Jahrzehnt.

Ehe wir uns eingehender mit den ersten erfolgreichen Raumflugexperimenten und ihren Ergebnissen beschäftigen, ist es unerläßlich, zunächst die wichtigsten technischen Grundlagen für den Bau moderner Weltraumraketen kennenzulernen.

Einen kühnen Vorgriff auf die Zukunft der Raumfahrt wagte im Jahre 1929 der tschechische Ingenieur Hermann Potočnik. Unter dem Pseudonym Hermann Noordung beschrieb er in seinem Buch „Das Problem der Befahrung des Weltraums" den ersten detaillierten Entwurf einer aus drei Objekten bestehenden „Raumwarte". Hauptteil dieser komplexen Raumstation ist das rotierende „Wohnrad" (30 m Durchmesser), zugeordnet sind eine Kraftstation und ein Observatorium für Erd- und Himmelsbeobachtungen.
(Zeichnung nach einer Darstellung in Noordungs Buch)

# Raketen für den Weltraum

Die Geschichte der Rakete reicht weit in die Vergangenheit zurück. Wann überhaupt zum erstenmal ein Gebilde zusammengebaut wurde, das seiner Funktionsweise nach die heute verwendete Bezeichnung Rakete verdient, wissen wir nicht genau. Läßt man die frühesten, unverbürgten Nachrichten darüber außer acht, dann müssen wir die Anfänge im alten China suchen. Dort erfand man brennbare Gemische aus natürlichen Substanzen (Schwefel, Naphta). Diese Mischungen füllte man bei kriegerischen Auseinandersetzungen in Töpfe, die dann als Schreck- und Brandmittel auf den Gegner geschleudert wurden. Später kam man auf die ersten langsam oder auch schneller verpuffenden Gemische aus Salpeter und Kohlenstaub (Schwarzpulver). Wie die im 12. Jahrhundert beginnende dokumentarische Geschichte der Rakete berichtet, füllte man damals die Brand- und Verpuffungsgemische in Bambusrohre, die an Kriegspfeilen befestigt wurden. Mit Hilfe von Bogen schleuderte man diese Pfeile ab, und da die Bambusrohre schon während des Fluges teilweise ausbrannten, ergab die zusätzliche Antriebskraft eine größere Reichweite. Damit war zum erstenmal das Prinzip des Raketenantriebs technisch wirksam geworden. Für diese Art von Kampfmitteln entstand die etwas poetische Bezeichnung „Lanzen des stürmenden Feuers".

Die Kunde von der Erfindung der „Feuerpfeile" gelangte über die asiatischen Nachbarn Chinas, vor allem Indien, Persien und Arabien, allmählich auch nach Europa. Doch wo auch immer in der älteren Literatur von Raketen die Rede ist, werden sie hauptsächlich als Mittel der Kriegführung beschrieben. In seinem 1285 erschienenen Buch „Der Pfeil von China" schlägt der Araber Hassan al Rammah Schwarzpulverraketen sogar als einen Antrieb für Torpedos vor.

Die Chinesen entwickelten aus den Pulverröhrchen ein Mittel der Volksbelustigung. Effektvolle Feuerwerksraketen fehlten schon bald bei keinem großen religiösen oder weltlichen Fest.

Mit der Beschreibung und dem Bau von Kriegsraketen beschäftigte man sich während des Mittelalters in mehreren europäischen Ländern. Auf diese Zeit geht auch der Ursprung der heute üblichen Bezeichnung Rakete (russ.: raketa, engl.: rocket) zurück. Sie ist nach jeweils landessprachlicher Umformung offensichtlich aus dem italienischen Wort rochetta hervorgegangen, das soviel wie Spindel oder Röhrchen bedeutet und sehr anschaulich auf die äußere Form der Schwarzpulverraketen Bezug nimmt. 1591 tauchte erstmalig der Entwurf einer „Vielfach"-Rakete auf, die wir nach heutigen Begriffen als Stufenrakete bezeichnen könnten. Diese Konstruktionsidee bildet ihrem Prinzip nach die entscheidende Grundlage für das Antriebsverfahren der modernen Raumfahrtraketen. Allerdings erkannte man ihre im wahrsten Sinne des Wortes weitreichende Bedeutung erst rund 300 Jahre später.

Einen wirklich sinnvollen Verwendungszweck für Raketen fand nach 1800 der französische Marineoffizier Treugouse. Er machte Vorschläge zur Konstruktion von Raketen, die eine lange Leine vom Ufer zu gestrandeten Schiffen hinübertragen. Mit Hilfe dieser Leine können die Schiffbrüchigen dann eine dickere Trosse an Bord holen und mit einem über Rollen laufenden Rettungskorb nacheinander in Sicherheit gebracht werden. Die ersten praktischen Versuche mit solchen Seenot-Rettungsraketen, wie diese Geräte später meist genannt wurden, fanden 1816 statt. Das geschilderte Verfahren bot auch gewisse Möglichkeiten zur Rettung der Besatzung von Schiffen, die an unbewohnten Gestaden gestrandet waren. Die mit einem Verankerungskopf ausgestattete Leinenrakete mußte in diesem Fall vom Schiff zum Ufer fliegen. Ab 1838 führte man Rettungsraketen bei der Seefahrt allgemein ein, wodurch in den folgenden Jahrzehnten viele tausend Schiffbrüchige gerettet werden konnten.

Etwa um die Mitte des 19. Jahrhunderts erreichte die praktische Entwicklung von Pulverraketen als vorwiegend militärisches Kampfmittel ihren Höhepunkt. Einen bedeutenden Anteil daran hatten die im zaristischen Rußland erzielten Fortschritte. Schon 1680 war dort eine Raketenlehranstalt gegründet worden, deren Traditionen von den Generalen Alexander Sasjadko und Konstantin Konstantinow bis in das 19. Jahrhundert fortgesetzt wurden. Das

Im Mittelalter entstanden die ersten „Lanzen des stürmenden Feuers", Pfeilgeschosse mit einem Zusatzantrieb durch Schwarzpulverraketen

Buch „Die militärische Rakete" von Konstantinow erregte bei führenden europäischen Militärs großes Aufsehen und wurde in viele Sprachen übersetzt.
In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts verloren die Raketenwaffen mehr und mehr an Bedeutung, weil die Leistungen der Geschützartillerie durch die Einführung des gezogenen Geschützrohres entscheidend verbessert werden konnten.

## Wie funktionieren Raketen?

Ziolkowski, Ésnault-Peltérie, Goddard und andere Raumfahrtpioniere schufen – wie wir bereits wissen – Anfang unseres Jahrhunderts die Raumfahrttheorie in ihren ersten Umrissen. Sie bahnten aber auch den Weg für die technische Weiterentwicklung der Rakete zu einem Antriebsmittel in der Raumfahrtpraxis. Dabei wurde schon sehr früh klar, daß eine Rakete für diese Zwecke sehr viel leistungsstärker sein mußte als jede bis dahin bekannte. Aus diesem Grunde kamen die seit langem ausschließlich verwendeten Pulverraketen als Antrieb für den Start von Raumflugkörpern ab Erdoberfläche keinesfalls in Frage. Man mußte andere, energiereichere Verbrennungsstoffe (Raketentreibstoffe) finden und zugleich geeignete technische Anlagen (Raketentriebwerke) entwikkeln, in denen diese Treibstoffe zur Antriebserzeugung sicher genutzt werden konnten. Und hinsichtlich der Größe von Raumfahrtraketen waren nun ganz andere Maßstäbe zu setzen, als man sie von ihren bescheidenen Vorgängern her gewohnt war. Es mußte also eine Fülle teilweise völlig neuer Probleme gelöst werden, um eine für die Raumfahrt hinreichend leistungsfähige Raketentechnik zu erhalten.
Wir wollen uns hier nur mit den wichtigsten Grundlagen des Raketenantriebs beschäftigen. Wie entsteht die Antriebskraft einer Rakete oder, genauer gesagt, eines Raketentriebwerks? – In der modernen Fachsprache wird als Rakete (Trägerrakete) das Gesamtgerät bezeichnet, das einschließlich der beigegebenen Nutzmasse und des notwendigen technischen Zubehörs (beispielsweise Steuerungsanlagen) den Aufstieg unter Einwirkung des Raketenantriebs ausführt. Triebwerk nennt man nur den Teil einer Rakete, in dem die Raketenantriebskraft erzeugt wird. Den einfachsten Fall des antrieberzeugenden Vorgangs in einem Raketentriebwerk kennen wir schon. Es ist die Verbrennung von dafür geeigneten Treibstoffsubstanzen im altchinesischen „Feuerpfeil". Sein Prinzip ist auch für die Raumfahrtraketen unserer Tage noch immer gültig.
An dieser Stelle ist etwas Wesentliches nachzutragen. Die Verbrennung des Treibstoffs allein reicht für die Erzeugung der Antriebskraft eines Raketentriebwerks nicht aus. Entscheidend ist vielmehr das Ausströmen der Verbrennungsgase aus dem Verbrennungsraum (Brennkammer) in eine vorgegebene Richtung. Erst dieses fortdauernde Ausströmen der Gase erzeugt nach dem Rückstoßprinzip die Antriebskraft. Es ist ähnlich wie beim Abfeuern eines Gewehrs. Die Pulvergase treiben das Geschoß aus dem Lauf, zugleich stößt das Gewehr gegen den Schützen, was man als Rückstoß bezeichnet. Die aus dem Raketentriebwerk ausströmenden Gasteilchen verhalten sich wie ein dichter Strom winziger Geschosse. Auch sie erzeugen einen Rückstoß. Die auseinandertreibende Kraft ist in diesem Fall der bei der Verbrennung entstehende Gasdruck in der Brennkammer.
Die Ursache des Rückstoßes fand der geniale englische Naturforscher Isaac Newton: Immer wenn zwei Körper (beispielsweise Gewehr und Geschoß) durch eine Kraft, die selbst in diesem System entsteht (Gasdruck), auseinanderbewegt werden, sind die auf beide Teile wirkenden Antriebskräfte gleich groß, aber entgegengesetzt gerichtet. Wichtig ist dabei, daß der ganze Vorgang von einer inneren Kraft des Systems (Gewehr, Geschoß, Pulverladung) bewirkt wird. Newton fand also das Gesetz der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung (lat.: actio = reactio). Die Gegenwirkung des austretenden Gasstrahls ist beim Raketentriebwerk der schon beschriebene Rückstoß beziehungsweise die Reaktivkraft. Man bezeichnet den Vorgang daher als Rückstoßantrieb oder auch reaktiven Antrieb.
Auswirkungen oder Anwendungen des Rückstoßeffektes kann man auch im Alltag begegnen. So wird der rotierende Rasensprenger durch die Rückstoßkraft des austretenden Wasserstrahls bewegt. Von dem Griechen Heron aus Alexandrien (Ende des 2. Jh. v. u. Z.) wird berichtet, daß er in drehbar gelagerten hohlen Metallkugeln Wasser zum Sieden brachte und den entstehenden Dampf über abgewinkelte Ansatzstutzen austreten ließ, wodurch der nach ihm benannte Heronsball in Rotation versetzt wurde. Von dieser Idee ausgehend, baute man im 17. und 18. Jahrhundert Dampfkessel auf

Rückstoßantrieb mit Dampfkessel-„Triebwerk" – eine spielerische Demonstration des Newtonschen Prinzips von actio = reactio

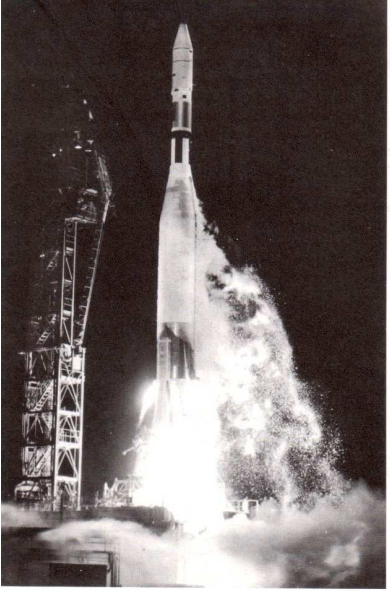
kleine feste Wagen und ließ diese durch den Rückstoß des nach hinten austretenden Dampfstrahls antreiben.

Das von Isaac Newton gefundene Gesetz (actio = reactio) läßt sich auch durch eine einfache mathematische Formel ausdrücken. Diese Formel enthält die Größen $m_1$ und $m_2$ als Zeichen für die Massen der beiden Teile des ursprünglich verbundenen Systems, die durch die innere Kraft auseinandergetrieben werden. Ferner sind mit $v_1$ und $v_2$ die Geschwindigkeiten bezeichnet, die diese Massen bei der Trennung erreichen. Die Newton-Formel lautet dann: $m_1 v_1 = m_2 v_2$. Die rechte Seite dieser Gleichung drückt eine Folge (den Impuls) des Rückstoßes aus. Es gibt mehrere Möglichkeiten, den Zahlenwert des Produktes zu vergrößern. Entweder man macht die abzustoßende Masse $m_2$ größer oder die Abstoßgeschwindigkeit $v_2$ oder aber beide. Macht man gleichzeitig die Masse $m_1$ kleiner, so wird zwangsläufig ihre Geschwindigkeit $v_1$ größer. Die für den Eintritt in Raumflugbahnen erforderlichen sehr hohen Geschwindigkeiten sind also nur über hohe Ausströmgeschwindigkeiten der austretenden Verbrennungsgase und über ein möglichst kleines Verhältnis zwischen den Massen von Rakete und Treibstoff zu erreichen.

## Die Technik des Raketenantriebs

Beim Raketenantrieb wird die rückstoßerzeugende Masse nicht auf einmal abgestoßen. Sie strömt vielmehr während einer mehr oder weniger langen Brennzeit als gerichteter Gasstrahl aus der Brennkammer. Dadurch läßt sich die Beziehung zwischen den Massen und Geschwindigkeiten nicht mehr ganz so einfach ausdrücken wie in der Formel von Newton. In der Praxis nimmt die Geschwindigkeit der Rakete von Beginn des Ausströmvorganges bis zum Brennschluß ständig zu. Wie wir wissen, heißt die Geschwindigkeitszunahme je Sekunde Beschleunigung. Sie wird in der Raketentechnik häufig in der Maßeinheit g ($= 9{,}81\ m/s^2$) ausgedrückt, die der Fallbeschleunigung an der Erdoberfläche entspricht.

Für die Berechnung der idealen Höchstgeschwindigkeit $v_i$, die eine Rakete durch den Rückstoßantrieb theoretisch erreichen könnte,



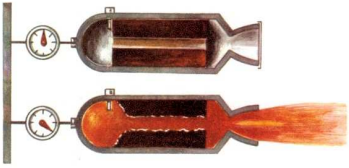
Trägerraketen für die Raumfahrt sind hochentwickelte technische Systeme, deren Triebwerke kurzzeitig enorme Antriebsleistungen erzeugen. Ihre Bauteile und Einrichtungen müssen absolut zuverlässig arbeiten

ergibt sich die Gleichung $v_i = u \ln M_S/M_L$. Darin bezeichnet u die Ausströmgeschwindigkeit der Verbrennungsgase, $M_S$ ist die Startmasse der Rakete und $M_L$ deren Leermasse (ohne Treibstoff also). Das Zeichen ln bedeutet eine mathematische Operation, die man Bildung des natürlichen Logarithmus nennt. In diesem Fall geht es um den natürlichen Logarithmus des Massenverhältnisses, wie man den Quotienten $M_S/M_L$ auch bezeichnet. Die obenstehende Formel für die ideale Brennschlußgeschwindigkeit einer Rakete hatte schon Ziolkowski gefunden. Sie stellt eine so fundamentale mathematische Beziehung dar, daß man sie heute die Grundgleichung der Raketentechnik nennt.
Aus der Grundgleichung geht der Einfluß der beiden Hauptfaktoren Ausströmgeschwindigkeit und Massenverhältnis klar hervor. Wenn man eine hohe Endgeschwindigkeit erreichen will, muß man also sowohl ein großes Massenverhältnis als auch eine möglichst hohe Ausströmgeschwindigkeit anstreben. Dem Massenverhältnis sind jedoch aus technischen Gründen Grenzen gesetzt. Flüssigkeitsraketen, in die eine Flüssigkeitsmenge (beispielsweise 90 t) gefüllt werden kann, die das Neunfache der Masse der leeren Rakete (10 t) ausmacht,

$$\left(\text{Massenverhältnis: } \frac{10+90}{10} = 10\right),$$

zählen schon zu den ingenieurtechnischen Spitzenleistungen, während für große bis sehr große Feststoffraketen Massenverhältnisse von 7 bis 8 als hervorragend gelten.
Die Höhe der Ausströmgeschwindigkeit hat grundsätzlich den größeren Einfluß auf die Endgeschwindigkeit. Sie wird vor allem durch die bei der Verbrennung des Treibstoffs freiwerdende Wärmeenergie bestimmt. Mit anderen Worten, es müssen Treibstoffe mit möglichst großer Verbrennungsenergie verwendet werden. Bei der Handhabung und praktischen Anwendung solcher Stoffe sind ebenfalls schwierige technische Probleme zu meistern. Ein großer Teil der Entwicklungsarbeiten im letzten Jahrzehnt war darauf gerichtet, die Ausströmgeschwindigkeit bei Raketentriebwerken zu steigern.
Wir haben bisher immer nur von Rückstoß oder Rückstoßkraft gesprochen. In der Raketentechnik verwendet man dafür jedoch den speziellen Begriff Schub. Nach dem bisher Gesagten ergibt sich die Stärke des Schubes aus dem Produkt von Ausströmgeschwindigkeit und Masse der ausströmenden Verbrennungsgase. Die Masse der ausströmenden Gase je Sekunde, der Massendurchsatz, wird mit $m_D$ bezeichnet. Zur Berechnung des Schubes S ergibt sich so die Gleichung: $S = u\, m_D$. Das ist zwar die stark vereinfachte Schubformel, sie gestattet jedoch

Die Entstehung des Schubs, dargestellt an einem einfachen Feststofftriebwerk. Gemessen wird der Schub mit Hilfe eines Dynamometers (unten)



allgemeine Überschlagsrechnungen. Die genauere, vollständige Schubgleichung ist erheblich komplizierter, denn sie berücksichtigt die besonderen chemischen und physikalischen Bedingungen des Verbrennungsprozesses und des Ausströmvorgangs.
Da man den austretenden Gasstrom Antriebsstrahl nennt, wird das ganze Verfahren auch als Strahlantrieb bezeichnet.
In diesem Zusammenhang müssen wir noch auf eine Besonderheit des Raketenantriebs eingehen, die für seine Eignung als Weltraumantrieb entscheidend ist: Das Triebwerk funktioniert auch im luftleeren Raum. Der in der Rakete mitgeführte Treibstoff ist stets so zusammengesetzt, daß der Verbrennungsvorgang ohne Zuführung von Luft aus der Umgebung abläuft. Zum Treibstoff gehört nämlich in jedem Fall außer einem Brennstoff-Teil auch eine zweite, als Oxydator (Sauerstoffträger) bezeichnete Komponente. Wegen dieser Eigenschaft nennt man den Raketenantrieb einen autogenen (selbsttätigen) Strahlantrieb.
In der modernen Raketentechnik gibt es verschiedene Arten von Raketentriebwerken. Ihre Einteilung geht auf die unterschiedliche Beschaffenheit der jeweils verwendeten Treibstoffe zurück. Man unterscheidet zwischen Feststofftriebwerken, Flüssigkeitstriebwerken und Hybridtriebwerken. Für die beiden erstgenannten Gruppen ist klar, daß feste (früher zum Beispiel Schwarzpulver) oder flüssige Treibstoffsubstanzen eingesetzt werden. Bei Hybridtriebwerken besteht der Treibstoff aus einem festen und einem flüssigen Bestandteil. Weil allen Triebwerken der drei Gruppen für ihre Funktion die Verbrennungsreaktion, also ein chemischer Prozeß, gemeinsam ist, faßt man sie unter der Bezeichnung chemische Raketentriebwerke zusammen.
Für Feststofftriebwerke ist charakteristisch, daß der gesamte Treibstoffvorratsraum nach dem Entzünden des Treibstoffs zur Brennkammer wird. Bei den Feststofftriebwerken ist – wie bei allen anderen Raketentriebwerken – die Ausströmdüse ein wichtiges Konstruktionsteil. Ihre Form hat entscheidenden Einfluß auf die Umwandlung der Verbrennungsenergie in die Ausströmgeschwindigkeit des Antriebsstrahls. Weil dabei die Expansion (Ausdehnung) der Verbrennungsgase die wesentliche Rolle spielt, nennt man die Ausströmdüse auch Expansionsdüse.
Den eingefüllten Festtreibstoff bezeichnet man als Ladung oder Treibsatz. Die Form des Treibsatzes bestimmt den Verlauf des Abbrandes und damit auch des Schubes während der Brennzeit. So hat man eine gewisse Möglichkeit, die Stärke der Schubkraft zu steuern. Die Herstellung von Treibsätzen aus festen, pulverförmigen Substanzen ist ziemlich gefährlich, weil es beim Pressen der Treibsätze zu Explosionen kommen kann. Heute verwendet man energiereichere Gemische als früher; sie werden zunächst in teigartigem Zustand in die Satzformen gegossen und härten danach aus. Für sehr große Feststofftriebwerke hat sich die Segmentbauweise der Treibstoffüllung

Sowjetisches Flüssigkeitstriebwerk. Seine vier Brennkammern werden über ein gemeinsames Turbopumpenaggregat (Typ: RD-214, Schub: 660 kN) mit Treibstoff versorgt

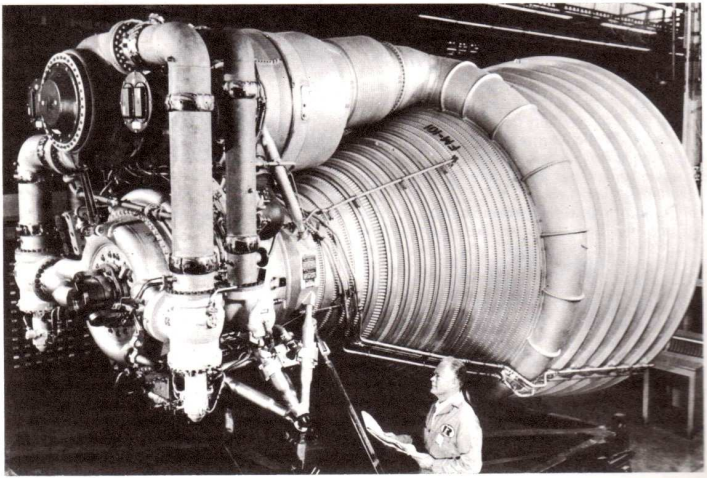
außerordentlich bewährt. Feststofftriebwerke waren in ihren Antriebsleistungen den Flüssigkeitstriebwerken lange Zeit erheblich unterlegen und im Schubverlauf nur schwer oder gar nicht regelbar. Obwohl sie in beiden Punkten auch heute noch hinter ihren „Konkurrenten" zurückstehen, haben sie nun doch einen festen Platz unter den Antriebsmitteln für Raumfahrtzwecke gefunden. Die Einsatzmöglichkeiten reichen von Startantrieben für große und sehr große Trägerraketen bis in das weite Feld der kleineren Hilfstriebwerke für die verschiedenen Raumflugmanöver.

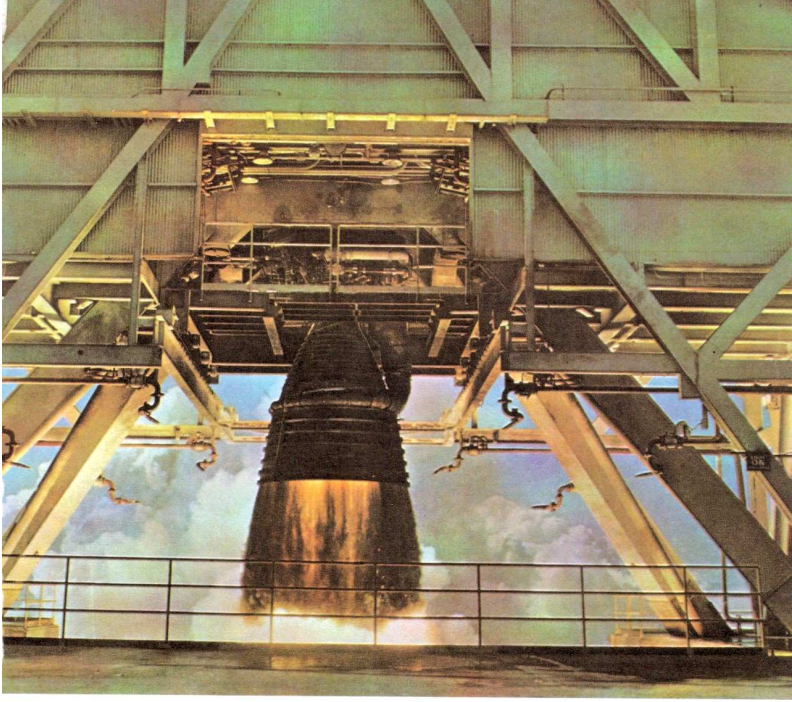
Wegen des flüssigen Aggregatzustandes der Treibstoffe liegen die technischen Erfordernisse bei der zweiten Gruppe von Raketentriebwerken ganz anders. Die beiden Bestandteile des Treibstoffs, der Brennstoff (zum Beispiel Benzin) und der Oxydator (zum Beispiel Sauerstoff), dürfen erst unmittelbar bei der Verbrennung zusammenkommen. So ist man gezwungen, sie in getrennten Treibstoffbehältern unterzubringen. Besondere Probleme entstehen dadurch, daß einige sehr wichtige Oxydatoren (beispielsweise Sauerstoff) und Brennstoffe (beispielsweise Wasserstoff) normalerweise gasförmig sind. Diese Substanzen müssen zunächst verflüssigt werden, um eine möglichst große Treibstoffmenge in den Treibstoffbehältern unterbringen zu können.

Für große Antriebssysteme bedient man sich bisher ausschließlich des Flüssigsauerstoffs (Temperatur um −182 °C) als Oxydator. Die Wahl der Werkstoffe für Treibstoffbehälter, -leitungen und so weiter muß darauf abgestimmt sein. Bei kleineren Antriebseinheiten kommen auch andere Oxydatoren (zum Beispiel Distickstofftetroxid, Salpetersäure) zum Einsatz. Von den sehr zahlreichen Brennstoffsubstanzen wird Kerosin, eine Abart des Benzins, am häufigsten genutzt. Als Treibstoffkombination mit sehr hoher Verbrennungsenergie und entsprechend großer Ausströmgeschwindigkeit (über 4000 m/s) verwendet man heute vielfach schon Flüssigsauerstoff/Flüssigwasserstoff. Die sichere raketentechnische Handhabung von Flüssigwasserstoff (Temperatur um −253 °C) brauchte eine langjährige Entwicklung.

Die getrennte Unterbringung der Treibstoffsubstanzen macht in der Flüssigkeitsrakete eine nur als Verbrennungsraum dienende Brennkammer (mit Ausströmdüse) erforderlich. Außer-

Das bisher schubstärkste Einzeltriebwerk für flüssige Treibstoffe (Typ: F-1, Schub: 7000 kN, USA) verbraucht in jeder Sekunde 2700 kg Flüssigsauerstoff und Kerosin

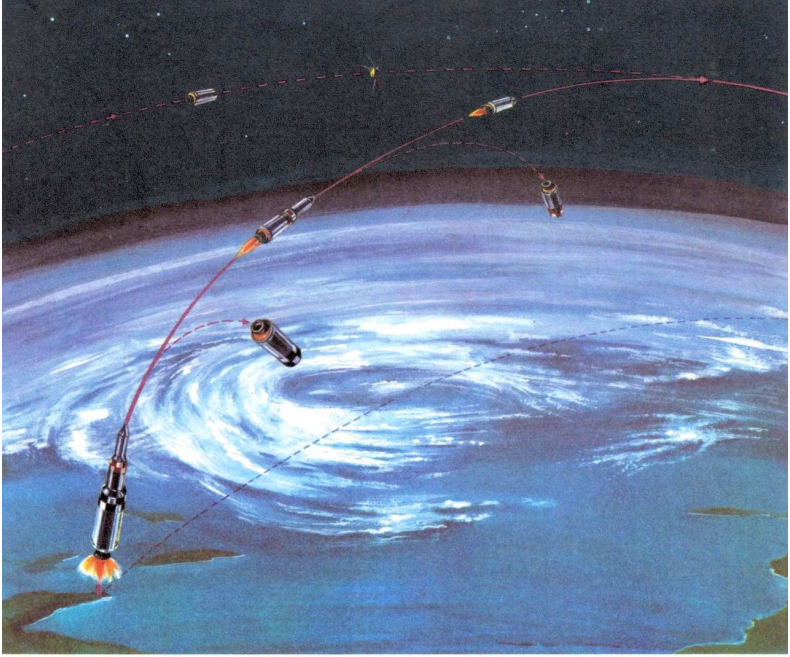




Probeläufe von Einzeltriebwerken oder auch Triebwerksbündeln auf großen Vertikalprüfständen liefern den Spezialisten die notwendigen Informationen, ob die Anlagen zuverlässig arbeiten

dem müssen Einrichtungen vorhanden sein, die den Transport der Flüssigkeiten aus den Treibstoffbehältern in die Brennkammer besorgen, und Regelanlagen, die den Zustrom und damit die Schubkraft steuern. Die Triebwerksanlage einer Flüssigkeitsrakete ist also ziemlich aufwendig und kompliziert. Hinzu kommt, daß die Wandung von Brennkammer und Ausströmdüse durch zusätzliche Maßnahmen gegen die minutenlang einwirkende sehr hohe Verbrennungstemperatur (bis über 3 000 °C) genügend geschützt werden muß. Man macht sie doppelwandig oder baut sie in gleichem Sinne aus zusammengeschweißten Metallrohren auf. Durch die Mantelhohlräume fließt während des Betriebs ein abgezweigter Teil des Brennstoffs oder des Oxydators; er wirkt als Umlaufkühlung der Innenwand. Dieses sehr wirksame Verfahren kann noch durch andere Kühlmaßnahmen wirkungsvoll unterstützt werden.

Für den Transport der Treibstoffe in die Brennkammer sind zwei Verfahren üblich. Bei kleineren Antriebseinheiten bedient man sich oft der Druckgasförderung. Dazu wird ein in Druckbehältern mitgeführtes chemisch neutrales Gas in die Treibstoffbehälter eingeleitet und dadurch die Flüssigkeit ausgetrieben. Wegen der zusätzlichen Belastung durch den Förderdruck des Gases sind die Behälterwandungen entsprechend dicker und schwerer. Für die Treibstofförderung in Großraketen ist dieses Verfahren daher nicht geeignet. Dort findet



Aufstieg einer Dreistufenrakete (schematisch). Die dritte Antriebsstufe gelangt mit dem künstlichen Satelliten in die Umlaufbahn

ausschließlich die Pumpenförderung Anwendung. Dafür ist eine zusätzliche technische Anlage nötig. Brennkammer, Treibstoffördersystem und die zugehörigen Regeleinrichtungen sind meist zu einer geschlossenen Einheit zusammengefaßt, die das eigentliche Triebwerk oder die Triebwerksanlage der Rakete darstellt.

## Schlüssel zum Weltraum: die Mehrstufenrakete

Sehen wir uns die realen Antriebsbedingungen der Raketentriebwerke noch einmal genauer an! Wir kennen die Grundgleichung und haben erfahren, daß Ausströmgeschwindigkeiten von mehr als 4000 m/s gegenwärtig Maximalwerte darstellen. Wir wissen, Massenverhältnisse um 10 sind für moderne Großraketen technische Spitzenleistungen. Setzt man diese Werte in die Grundgleichung ein, so erhält man für die Raketen Endgeschwindigkeiten, die deutlich unter den für Raumflüge erforderlichen Bahneintrittsgeschwindigkeiten liegen. Hinzu kommt, daß auch die Antriebsarbeit gegen die Erdschwerkraft und der Luftwiderstand zu berücksichtigen sind. Unter den bisher betrachteten Voraussetzungen käme also kein raketengetriebener Körper in eine astronautische Freiflugbahn. Worauf ist dieses bemerkenswerte Ergebnis zurückzuführen? Und wie bringt man es zuwege, große Raumfahrzeuge auf Geschwindigkeiten über 10 km/s zu beschleunigen?

Wir sind bisher immer davon ausgegangen, daß das Antriebssystem nur aus einer einzigen

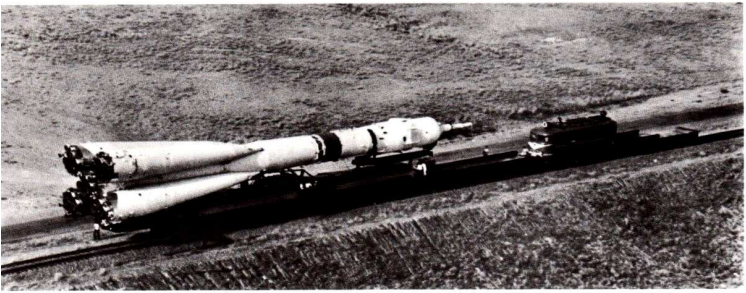
vollständigen Rakete besteht. Während des gesamten Antriebsvorgangs wird dann aber nicht nur die eigentliche Nutzlast, der Raumflugkörper, auf ständig wachsende Geschwindigkeit gebracht, sondern auch die ganze Rakete selbst, einschließlich der massigen Triebwerksanlage und der schließlich leer werdenden Treibstoffbehälter. Eine solche, einstufig genannte Rakete hat dadurch im letzten Teil der Antriebszeit einen hohen, nutzlosen Energie- und Treibstoffverbrauch. Er ist es, der das Erreichen von astronautischen Geschwindigkeiten bei gewöhnlichen Einstufenraketen verhindert.

Mehrstufenraketen, von denen wir schon gehört haben, bilden den Ausweg aus den genannten Schwierigkeiten. Sie sind der eigentliche Schlüssel zum Weltraum.

Die ihnen zugrunde liegende Idee ist sehr einfach. Man setzt auf eine Rakete an die Stelle der ursprünglich vorgesehenen Nutzlast (beispielsweise Behälter mit Meßgeräten) eine in der Masse gleichwertige kleinere Rakete. Diese schließt ihrerseits die nun allerdings wesentlich verringerte Nutzlast ein. Die so verbundenen Raketen bilden ein zweistufiges Antriebssystem oder eine Zweistufenrakete. Beim Start wird zunächst der Antrieb der Start- oder Grundstufe gezündet. Nach Brennschluß des Triebwerks der ersten Stufe werden beide Raketen getrennt. Die zweite Stufe hat jetzt schon die hohe Endgeschwindigkeit der ersten Stufe als eigene Startgeschwindigkeit. Mit ihrem Antrieb erreicht die Nutzlast schließlich eine Endgeschwindigkeit, die der Summe aus den Geschwindigkeiten der einzelnen Stufen entspricht. Der entscheidende Vorteil dieses Verfahrens ist also, daß die Nutzlast nach Trennung der beiden Antriebsstufen noch erheblich weiter beschleunigt werden kann, weil überflüssig gewordene Teile der Konstruktionsmasse (schwere Starttriebwerke, leere große Treibstoffbehälter) abgetrennt werden. Mit diesem „Trick" kommt man auch auf die sehr hohen Geschwindigkeiten für den Eintritt in astronautische Freiflugbahnen.

Das Teilungsverfahren läßt sich natürlich fortsetzen, und so kann man Raketen mit drei, vier oder noch mehr Antriebsstufen entwerfen. Wir haben aber schon gehört, daß bei der Stufenteilung der verbleibende Nutzmasseanteil immer geringer wird. In der Praxis hält man daher die Stufenzahl stets so klein wie möglich, um eine im Vergleich zur Startmasse der Rakete möglichst große Nutzmasse befördern zu können. Man nennt dieses wichtige Zahlenverhältnis aus Startmasse und Nutzmasse in der Raumflugtechnik das Grundverhältnis einer Raketenkonstruktion. In der Regel kommt man für Raumflugunternehmen mit zwei- oder dreistufigen Trägerraketen aus. Das Grundverhältnis liegt für solche Raumfahrt-Lastenschlepper zwischen 25 und 50, vereinzelt auch etwas darunter. Das heißt, um 1 kg wissenschaftlich oder technisch nutzbare Masse – auch der

Dreistufenrakete, bei der die Antriebsstufen hintereinander angeordnet sind



Ein bewährtes Beispiel für die Bündelung mehrerer Antriebseinheiten zu einer Startantriebsstufe ist die Standard-Grundstufe sowjetischer Trägerraketen. Die komplette Trägerrakete wird auf einem Spezialfahrzeug in horizontaler Lage zur Startplattform transportiert

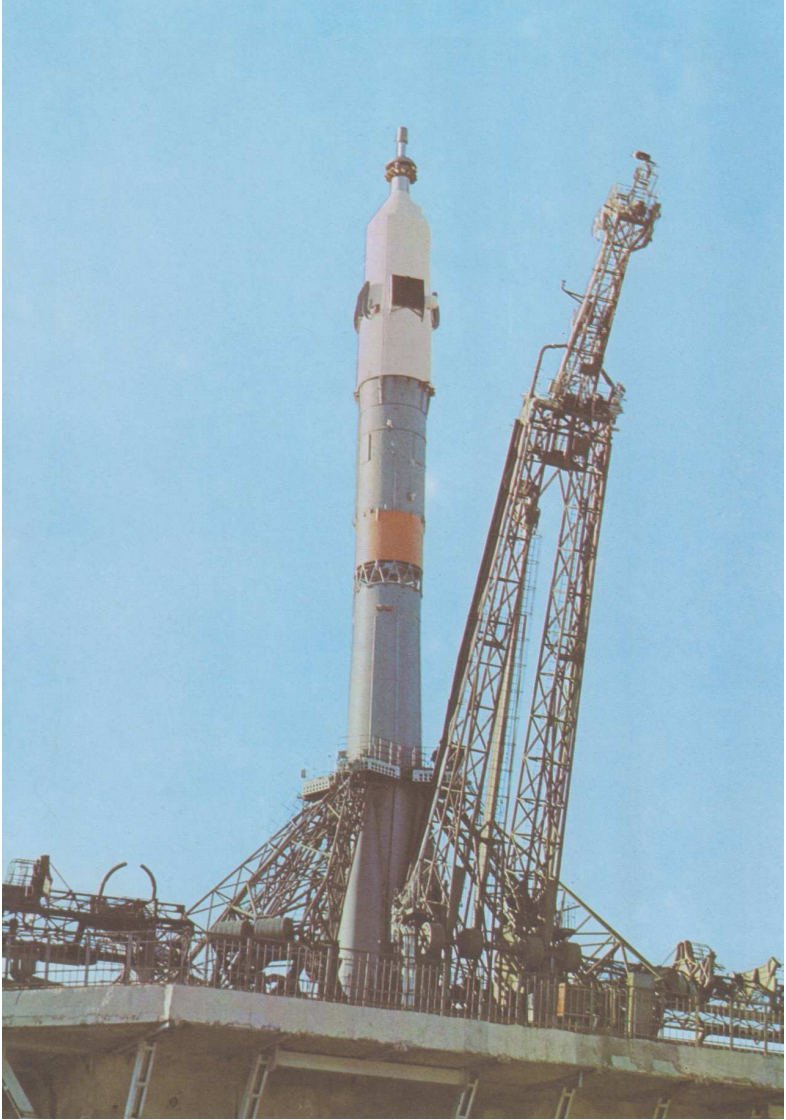
Mensch zählt gegebenenfalls dazu – in den Weltraum befördern zu können, müssen beim Start 25 bis 50 kg Raketenmasse (einschließlich Zubehör) aufgewendet werden.

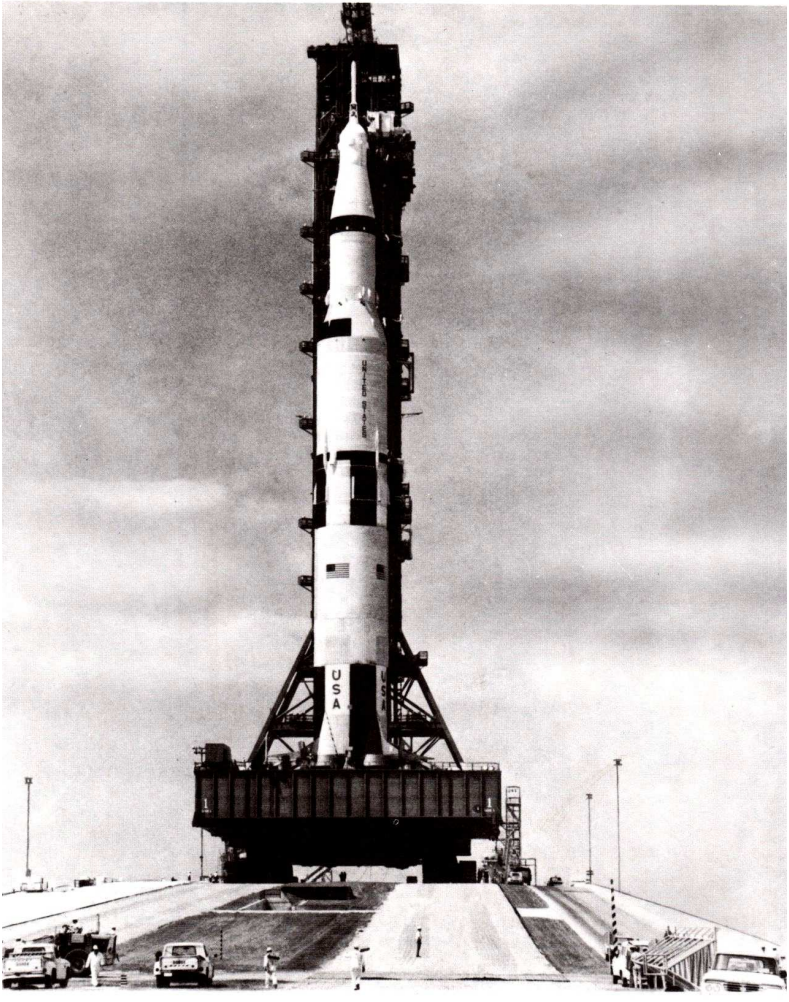
Der technische Aufbau der Stufenraketen läßt verschiedene Varianten zu. Die erste kennen wir schon. Es ist das Aufeinander- oder Hintereinandersetzen der einzelnen Stufen. Der zweite Weg geht von Parallelanordnungen aus. Die teilweise recht beträchtlichen Nutzmassen (Raumfahrzeuge, Raumstationen) erfordern sehr hohe Startschubkräfte. Kann der Startschub nicht durch ein einzelnes Triebwerk aufgebracht werden, vereinigt man vier, fünf oder auch acht schwächere Einzeltriebwerke zu einer Triebwerksbatterie. Die ganze Batterie arbeitet beim Start als erste Antriebsstufe. Der Startschub ist die Summe der Schubkräfte der Einzeltriebwerke. Nach einer gewissen Brennzeit kann man zwei oder vier von diesen Triebwerken abschalten und abwerfen. Die verbleibenden Triebwerke bilden die zweite Antriebsstufe und brennen weiter, bis der Treibstoff restlos verbraucht ist. Es lassen sich aber auch ganze Raketeneinheiten (Triebwerk, Treibstoffbehälter, Zubehör) zu einer Bündel-Startstufe zusammenfassen. Dann kann man außer den nicht mehr benötigten Triebwerken auch leere Behälter mit abwerfen und so die Restmasse weiter verringern. Nur der Zentralkomplex des ehemaligen Bündels brennt mit seinem größeren Treibstoffvorrat als zweite Stufe weiter. Setzt man darauf noch eine weitere Antriebseinheit (plus Nutzmasse), so erhält man eine Kombination von Bündel- und Reihenaufbau. Für Entwürfe von Mehrstufenraketen gibt es also keine einheitliche Lösung. Alle genannten Varianten finden oder fanden schon Anwendung. Man wählt den günstigsten Trägertyp nach den Antriebserfordernissen der jeweiligen Raumflugaufgabe aus.

Schon die ersten Aufstiegsversuche mit Raketen Mitte der zwanziger Jahre brachten eine sehr wichtige Erkenntnis: Neben dem sicheren Funktionieren des Antriebs einer Rakete ist deren Lenkung während des Aufstiegs das entscheidende Problem. Die zahlreichen Fehlschläge bei Raketenflügen waren meist auf das „Ausbrechen" der aufsteigenden Rakete von der vertikalen Richtung oder auf spätere plötzliche Abweichungen von einem vorgegebenen Kurs zurückzuführen. Das galt sogar oft noch bis in die Jahre nach 1950, was die zu meisternden Schwierigkeiten deutlich macht. Für Raumflugunternehmen ist aber das ganz genaue und sichere Erreichen des vorausberechneten Punktes für den Eintritt in die anschließende Freiflugbahn eine entscheidende Voraussetzung.

Der Verlauf der Aufstiegsbahn einer Rakete hängt davon ab, welche Richtung der Rückstoß hat. Nehmen wir an, es sei ein exakt senkrechter Aufstieg gefordert. Jede Abweichung des Antriebsstrahls von der Senkrechten hat eine Drehbewegung der Rakete um ihren Masseschwerpunkt und dadurch eine Veränderung der Flugrichtung zur Folge. Geschieht das un-

„Sojus"-Trägerrakete auf der Startrampe. Im Vordergrund der in der Vorbereitungsphase benötigte rückklappbare Kabel- und Leitungsmast



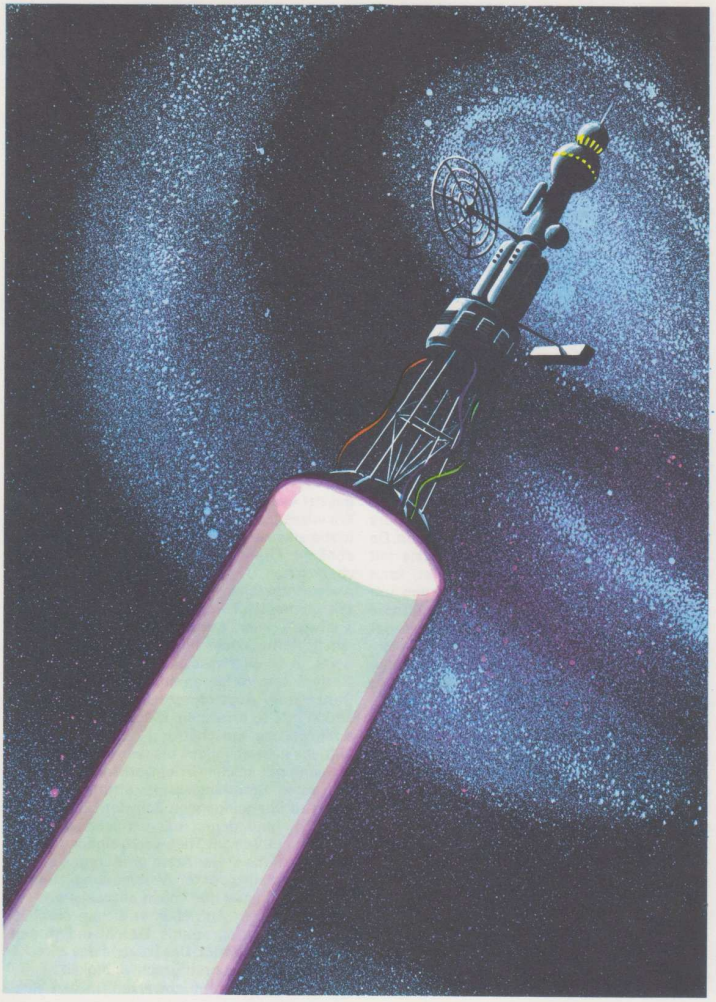

USA

gewollt, sind technische Fehler die Ursache. Man kann derartige Störungen des Bahnverlaufs ausgleichen, indem man entgegenwirkende Drehkräfte erzeugt. Dieses Verfahren heißt Flugstabilisierung. Gewollte Drehbewegungen der Rakete sind die Voraussetzung für alle programmgemäßen Veränderungen des Bahnverlaufs. Sie gehören in das Gebiet der Fluglenkung und gehen über die Maßnahmen zur Flugstabilisierung hinaus. Soll der Raumflugkörper in die meist annähernd parallel zur Erdoberfläche verlaufende Freiflugbahn eintreten, so muß die Trägerrakete während des Aufstiegs aus der vertikalen allmählich in die horizontale Flugrichtung umgelenkt werden.
Die zur Stabilisierung und Lenkung notwendigen Drehkräfte und -bewegungen werden in jeder Rakete durch technische Einrichtungen richtig dosiert. Kernstück einer solchen Anlage sind sehr schnell rotierende Kreisel, welche die augenblickliche räumliche Lage des fliegenden Geräts anzeigen. Für einen Kreisel gilt das physikalische Prinzip, daß seine Rotationsachse ihre einmal eingenommene räumliche Lage ständig beibehält. Der Kreisel befindet sich in einer aus drei Rahmen bestehenden kardanischen, das heißt allseitig drehbaren Halterung. Diese gestattet es dem Kreisel, trotz möglicher Lageänderungen des Flugkörpers die Ausrichtung seiner Achse beizubehalten. Da die Halterung des kardanischen Kreisels mit dem Raketenkörper fest verbunden ist, kann jede Lageänderung der Rakete (Drehung um eine ihrer drei Hauptachsen) durch die meßbare Drehbewegung der Rahmen gegenüber der Kreiselachse ermittelt werden. Eine automatisch arbeitende Bordelektronik verwandelt die bei der Drehmessung gewonnenen Daten in elektrische Steuerungssignale. Diese Signale veranlassen und regeln dann die notwendigen Lagekorrekturen der Rakete. In der Praxis ist das Kernstück der Raketensteuerung, die Kreiselplattform, wesentlich komplizierter aufgebaut, als das unser stark vereinfachtes Schema deutlich macht. Zur Anlage gehören beispielsweise auch Meßgeräte, die laufend die augenblickliche Geschwindigkeit der Rakete und die zurückgelegte Antriebsstrecke feststellen.
Die für Stabilisierung und Lenkung erforderlichen Drehbewegungen können durch verschiedene technische Methoden erzeugt werden. Das am häufigsten angewandte Verfahren sind schwenkbar gelagerte Haupttriebwerke. Das gleiche Wirkungsprinzip haben auch kleinere Hilfstriebwerke, die am Heck der Rakete neben den dann starr eingebauten Haupttriebwerken angebracht sind. Gelegentlich findet bei kleineren und mittleren Trägerraketen ein älteres Verfahren Anwendung, bei dem die Richtung des Antriebsstrahls durch Strahlruder verändert wird. Die Ruderflächen, aus hitzebeständigem Material, sind vor der Düsenmündung des Haupttriebwerks schwenkbar angebracht. Das modernste Prinzip schließlich beruht auf dem gesteuerten Einblasen von Gas oder zerstäubter Flüssigkeit in den Strom der Verbrennungsgase innerhalb der Ausströmdüse.

Diese bisher größte Raumfahrt-Trägerrakete („Saturn 5") mit aufgesetztem „Apollo"-Raumfahrzeug (Höhe: etwa 110 m, Basisdurchmesser: 13 m, Startmasse: 2 890 000 kg, USA) wurde in vertikaler Position auf einem Spezialfahrzeug mit einer Geschwindigkeit von etwa 3···5 km/h zur Startrampe transportiert

## Antriebe für die Raumfahrt der Zukunft?

Werfen wir noch einen Blick auf andere Rückstoßantriebe, die in der Raumflugtechnik verwendbar sind und teilweise auch schon eingesetzt werden.
Wir wissen, daß die Schubkraft eines Rückstoßtriebwerks von der Ausströmgeschwindigkeit abhängt. Eine Steigerung gegenüber den mit chemischen Treibstoffreaktionen erzielbaren Ausströmgeschwindigkeiten ist in Kernenergietriebwerken möglich. In ihnen wird der Treibstoff, hier Stützmasse genannt, durch einen Kernreaktor aufgeheizt und anschließend über eine Ausströmdüse freigelassen. Nach diesem Verfahren sind mit Wasserstoff als Stützmasse Ausströmgeschwindigkeiten um 10 000 m/s zu erreichen. Die ursprünglich sehr optimistische Einschätzung des Kernenergieantriebs hat sich jedoch bisher nicht erfüllt. Der Umgang mit solchen Triebwerken macht nämlich einen Strahlungsschutz erforderlich. Die dabei zu überwindenden Schwierigkeiten sind erheblich und gehen mit beträchtlichen Leistungseinbußen der Triebwerke einher. Ob und wann Antriebe dieser Art in größerem Umfang für Raumfahrtzwecke Verwendung finden werden, ist heute noch nicht abzusehen.
Bei elektrischen Antrieben erreichen die Teilchen des Antriebsstrahls Geschwindigkeiten bis über 100 000 m/s. Das ist etwa das 25fache der höchsten Ausströmgeschwindigkeiten von chemischen Raketentriebwerken. In den elek-



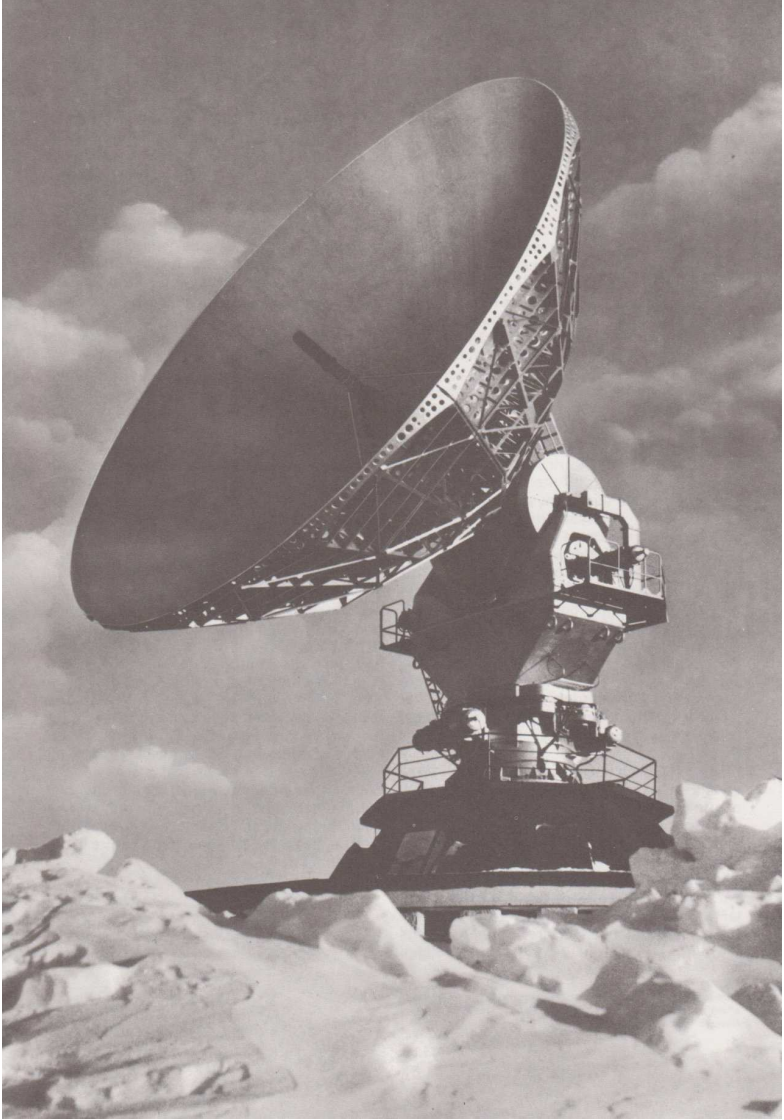
trischen Triebwerken werden die Moleküle oder Atome, aus denen die Stützmasse besteht, mit Hilfe von elektrischen und magnetischen Kräften auf die genannten hohen Geschwindigkeiten gebracht. Allerdings lassen diese Anlagen nur einen sehr kleinen Massendurchsatz zu. Dadurch bleibt der wirksame Schub – trotz der extrem hohen Ausströmgeschwindigkeit – immer nur gering. Er reicht nicht einmal aus, allein das Triebwerk und die Stützmasse von der Erdoberfläche starten zu lassen. Derartige Antriebe können also nur dann wirksam werden, wenn sich die mit ihnen ausgerüsteten Raumflugkörper schon auf einer Freiflugbahn befinden. Hinzu kommt, daß sie mit einzelnen Ausnahmen nur im Vakuum funktionieren. Elektrische Antriebe sind also für Trägerraketen nicht geeignet. Aber als Antriebsmittel von Raumflugkörpern bieten sich ihnen verschiedene Einsatzmöglichkeiten. So kann man sie als Hilfstriebwerke für Bahnkorrekturen und zur Regelung der räumlichen Ausrichtung des Raumflugkörpers verwenden. Für diese Zwecke wurden elektrische Antriebe bei Raumflügen schon mehrfach erprobt. Interessante Perspektiven eröffnen sie vor allem als Dauerantriebe. Der niedrige Massendurchsatz und der außerordentlich geringe technische Verschleiß lassen nämlich im Prinzip monatelange, vielleicht sogar jahrelange Antriebszeiten zu. Trotz der kleinen Antriebskraft kann man so auch mit großen Raumflugkörpern sehr hohe Endgeschwindigkeiten erreichen. Bei besonders weiten Flugstrecken – bis in die Außenregionen des Planetensystems – werden dadurch wesentlich kürzere Flugzeiten möglich als mit chemischen Raketentriebwerken allein. Bisher haben elektrische Antriebe jedoch noch keine solche Anwendung in der Raumflugtechnik gefunden.

Bleibt schließlich noch ein Antriebsverfahren zu erwähnen, das rein theoretisch die phantastisch anmutende Möglichkeit bietet, Flüge zu fremden Sonnensystemen auszuführen. Mit den bisher geschilderten Antriebsmitteln wäre ein solches Unternehmen für bemannte Raumfahrzeuge von vornherein sinnlos und undurchführbar. Wir wissen von den riesigen, nach Lichtjahren rechnenden Entfernungen im Kosmos. Schon im Nahbereich unseres Sonnensystems käme man mit den heutigen Raumfahrzeugen auf Flugzeiten von vielen tausend Jahren. (Die Frage, ob Raumflüge dieser Art für die Entwicklung der Menschheit überhaupt nutzbringend sein könnten, wollen wir hier nicht behandeln.) Es wären deshalb Antriebsmittel erforderlich, die dem Raumfahrzeug eine für unsere Gewohnheiten geradezu utopisch erscheinende Geschwindigkeit verleihen. Anders ausgedrückt, nur wenn das Raumschiff annähernd so schnell flöge, wie sich das Licht ausbreitet, wären vertretbare Reisezeiten zu erwarten. Es müßte also in einer Sekunde nahezu 300 000 km zurücklegen, das entspricht fast der Entfernung Erde – Mond. Aber auch dann würde die Flugdauer noch immer einige Jahrzehnte betragen.

Über Antriebsmittel für interstellare, das heißt zwischen den Sternen stattfindende Flüge bestehen bisher nur einige theoretische Vorstellungen. Ob sie jemals technisch zu verwirklichen sein werden, ist noch absolut ungewiß. Dabei ist das Funktionsprinzip an sich sehr einfach: Die als Photonen bezeichneten Lichtteilchen einer zum Triebwerk gehörenden Strahlungsquelle werden mit Hilfe eines Hohlspiegels zu einem gerichteten Antriebsstrahl „gebündelt". (Wir kennen das Verfahren vom Scheinwerfer her.) So erhält man ein Photonentriebwerk mit der höchstmöglichen Ausströmgeschwindigkeit von 300 000 km/s. Um die notwendige Antriebskraft zu erzielen, müßte die Stärke des Lichtstrahls allerdings gewaltig sein. Ein Photonentriebwerk könnte niemals auf der Erdoberfläche in Betrieb genommen werden, weil die enorme Energie des Antriebsstrahls weithin alles zerstören würde. Neben allen anderen offenen Fragen kennt man aber bisher noch keinen physikalischen Prozeß, der die notwendig intensive Photonenstrahlung liefern könnte und der zugleich in großem Maßstab technisch beherrschbar wäre.

Wenden wir uns jetzt wieder dem erdnäheren Weltraum zu und sehen wir uns an, wie die Raumflugtechnik mit chemischen Raketentriebwerken die ersten erfolgreichen Schritte in den Weltraum tat.

Photonen-Raumfahrzeug auf dem Weg in den interstellaren Raum – wahrscheinlich für alle Zeiten ein Bild aus der Welt der wissenschaftlichen Phantastik



# Die ersten Kundschafter

Leistungsfähige Raketen, die für wissenschaftliche Zwecke als Meßgeräteträger wirklich brauchbar waren, standen erst in den Jahren nach 1948 zur Verfügung. Sie waren zunächst einstufig und hatten Flüssigkeitstriebwerke. Die ersten großen, mehrstufigen Antriebssysteme benötigten eine längere Entwicklungszeit, bis etwa 1955/56. Mit den inzwischen erprobten Einstufenraketen konnten viele und wichtige flugtechnische Erfahrungen gesammelt werden. Schon anfänglich erreichte man im senkrechten Aufstieg Gipfelhöhen von mehr als 100 km. Die Nutzmassen betrugen bis zu einigen hundert Kilogramm. Der Flugablauf solcher Raketenaufstiege ist sehr einfach: Mit der eingebauten Nutzausrüstung (zum Beispiel Kameras und Meßgeräte) fliegt die Rakete nach Brennschluß ihres Triebwerks antriebslos – wie ein geworfener Stein – bis zur Gipfelhöhe hinauf. Von dort kehrt sie in freiem Fall zur Erdoberfläche zurück. Die ganze Rakete oder wichtige Teile davon, beispielsweise die wissenschaftliche Ausrüstung, können in der letzten Phase des Abstiegs am Fallschirm gelandet und dann geborgen werden.

## Höhenraketen helfen forschen

Diese Raketen für wissenschaftliche Zwecke ermöglichten erstmalig Vorstöße in die höheren Schichten der Erdatmosphäre (Stratosphäre und Ionosphäre). Die Erkundung dieser Bereiche war schon lange ein wichtiges Anliegen der Meteorologen und der Geowissenschaftler. In der Hochatmosphäre spielen sich nämlich komplizierte physikalische Vorgänge ab, die auch auf das meteorologische Geschehen (Wetter) in der untersten Schicht der Erdatmosphäre, der Troposphäre, Einfluß nehmen. Vor den ersten Starts von Meßraketen waren direkte Untersuchungen in der Hochatmosphäre nur bis in etwa 40 km Höhe möglich gewesen. Als Meßgeräteträger hatten Ballons gedient, die in diesen Höhen ihre Aufstiegsgrenze haben.

Für die Erforschung der Hochatmosphäre, die man oft als „Vorzimmer" zum Weltraum bezeichnet, waren die einstufigen Meßraketen ein sehr willkommener neuer technischer Weg. Man faßt sie allgemein unter den Begriffen Höhen- oder Höhenforschungsraketen (Raketensonden) zusammen. Je nach ihrer Aufgabe oder wissenschaftlichen Ausrüstung teilt man sie auch in meteorologische, geophysikalische und sonnenphysikalische Raketen ein. Die während des Aufstiegs im Gipfelbereich der Bahn oder auch beim Abstieg erhaltenen Meßwerte werden vor allem bei Wetterraketen über einen Bordsender direkt an die Bodenstation übermittelt. Verschiedentlich läßt man die Untersuchungsergebnisse im Meßkopf der Rakete automatisch aufzeichnen, beispielsweise durch ein Magnetband. Dann muß der Meßkopf auf jeden Fall zerstörungsfrei gelandet und von einem Suchtrupp geborgen werden. Dieses Verfahren wurde besonders in der Anfangszeit häufig angewendet. Neben der wissenschaftlichen Ausbeute boten die Aufstiege von Höhenraketen die Möglichkeit, Erfahrungen in der zerstörungsfreien Rückführung von schweren Körpern aus sehr großen Höhen zu sammeln.

Die erste spezielle Höhenrakete startete in der Sowjetunion im Jahre 1951. Sie erreichte eine Höhe von 101 km und hatte, neben der Meßausrüstung, in einer besonderen Kabine zwei Hunde als „Passagiere" an Bord. Das Verhalten der beiden Tiere, vor allem im Zustand der Schwerelosigkeit, wurde untersucht. Die Ergebnisse brachten erste praktische Erkenntnisse darüber, wie sich die Raketenflüge auf den lebenden Organismus belastend auswirken. Der physikalische Zustand der Schwerelosigkeit beziehungsweise Andruckslosigkeit tritt nach Brennschluß der letzten Raketenstufe ein, wenn die merklich bremsenden unteren Atmosphärenschichten durchflogen sind. Er ist für den Menschen völlig ungewohnt, weil auf der Erdoberfläche stets der Schwereandruck herrscht.

Man begann in der Sowjetunion also schon sehr zeitig mit grundlegenden wissenschaftlichen Untersuchungen, die zur Vorbereitung des Raumfluges von Menschen gehören. Und man war sich bereits am Anfang im klaren, daß die medizinischen Wissenschaften dazu in neue Bereiche vorstoßen mußten. Im Laufe der Jahre entwickelten sich daher spezielle Arbeitsgebiete, die man Raumfahrtmedizin und Raumfahrtbiologie nennt.

Aufstieg einer meteorologischen Forschungsrakete

Das sowjetische Forschungsraketen-Programm wurde in der Zeit von 1951 bis 1957 ständig erweitert und verfeinert. Auch neue Aufstiege mit Versuchstieren gehörten dazu. Vor allem erhielt man aber bis Mitte der fünfziger Jahre ein umfangreiches Material mit wertvollen Informationen über den Aufbau der Hochatmosphäre und die darin ablaufenden Vorgänge. Es entstand in der Sowjetunion eine ganze Reihe von verbesserten Höhenforschungsraketen – meist für spezielle Aufgaben konstruiert –, die zum Teil noch heute als Standardtypen zum Einsatz kommen. Kleinere meteorologische Raketen werden nach einem festen Plan an verschiedenen Orten des sowjetischen Territoriums, aber auch von Forschungsstationen in der Arktis (zum Beispiel auf der Hayes-Halbinsel) und in der Antarktis (Molodjoshnaja) gestartet. Außerdem sind verschiedene Forschungsschiffe des Hydrometeorologischen Dienstes der UdSSR, beispielsweise die „Akademik Koroljow", mit meteorologischen Raketen ausgerüstet.

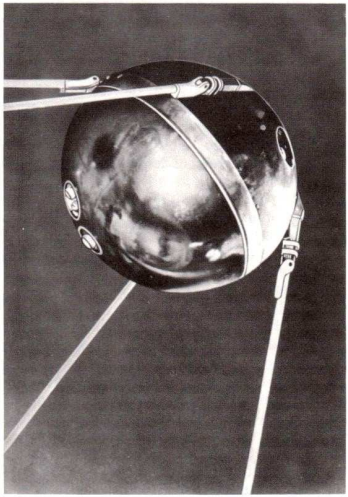
Auch andere Länder entwickelten Höhenforschungsraketen. In den USA waren es ab etwa 1949 zwei Flüssigkeitsraketen unterschiedlicher Größe, mit denen Vorstöße bis in rund 300 km Höhe möglich waren. Die „Aerobee-Hi" transportierte bis zu 70 kg Nutzmasse, die „Viking" (1955) rund 400 kg. Französische Wissenschaftler schufen in den Jahren nach 1950 verschiedene Typen der Forschungsrakete „Véronique", die anfänglich 60 kg wissenschaftliche Ausrüstung in Höhen bis zu 170 km tragen konnten. Eine nach 1960 entstandene Version gelangte mit 210 kg in 220 km Höhe. Heute verfügt eine Reihe weiterer Länder (zum Beispiel die VR Polen, Großbritannien, Japan, Kanada) über eigene Höhenraketen. Meist handelt es sich um Feststoffraketen, die verhältnismäßig einfach zu handhaben sind. Man verwendet dabei auch zweistufige Antriebssysteme, die aber für Aufstiege in Raumflugbahnen nicht leistungsfähig genug sind. Die Anzahl der an den verschiedensten Punkten der Erde jährlich startenden Forschungsraketen beträgt heute über 1 000.

## „Sputnik" – der erste Schritt in den Weltraum

Die beschleunigte Entwicklung von Höhenraketen nach 1950 hatte einen sehr bedeutsamen wissenschaftlichen Hintergrund. Weltumspannende wissenschaftliche Organisationen, in denen fast alle Länder der Welt mitarbeiten, waren seit längerem mit den Vorbereitungen zu einem großangelegten internationalen Forschungsprogramm beschäftigt. Dieses Unternehmen erhielt die Bezeichnung „Internationales Geophysikalisches Jahr" (IGJ) und sollte rund um den Globus ein möglichst umfassendes Material über die Physik der Erde, der Erdatmosphäre und die von der Sonne

kommenden Strahlungseinflüsse erbringen. Das sehr aufwendige Forschungsprogramm erstreckte sich über den Zeitraum vom 1. Juli 1957 bis zum 1. Januar 1959. An seiner Verwirklichung waren auf allen Kontinenten (einschließlich Antarktika), auf Inseln und in der Arktis viele tausend Fachwissenschaftler der Geo- und Kosmoswissenschaften beteiligt. Dabei sollten auch die modernsten technischen Hilfsmittel eingesetzt werden. Zu ihnen rechnete man nicht zuletzt die Höhenraketen, die bedeutende Teilaufgaben bei der Erkundung der Hochatmosphäre und der dort einwirkenden Sonnenstrahlungen zu übernehmen hatten. Nach Beendigung des Internationalen Geophysikalischen Jahres führte man die wichtigsten der auf breiter Basis begonnenen Untersuchungen im Rahmen eines neuen internationalen Programms weiter. Dieses Programm besteht noch heute und heißt Internationale Geophysikalische Zusammenarbeit.
Höhenraketen bringen ihre wissenschaftlichen Ausrüstungen stets nur für einige Minuten in die zu untersuchenden Höhenbereiche. Die Aufstiege stellen auf Grund des festliegenden

„Sputnik-1"



Ein erster Vorstoß in medizinisches Neuland gelang sowjetischen Wissenschaftlern mit dem Flug von „Sputnik-2". Etwa eine Woche lang konnten sie die verschiedenen körperlichen Reaktionen der Versuchshündin Laika (hier vor dem Start) auf die Schwerelosigkeit beobachten

Flugablaufs eigentlich immer nur Stichproben an einem einzelnen Punkt dar. Für die Lösung vieler wichtiger Probleme kommt es aber darauf an, am Rande der Hochatmosphäre oder im erdnahen Weltraum möglichst länger andauernde und über weite Räume ausgedehnte Meßreihen zu erhalten. Dazu kann nur eine einzige Art von Meßgeräteträgern verhelfen: Raumflugkörper, die um die Erde kreisen. Man mußte also auch daran denken, für das Internationale Geophysikalische Jahr die ersten künstlichen Erdsatelliten zu schaffen.
Wie kaum anders zu erwarten, waren es die Sowjetunion und bald danach auch die USA, die 1954 mit Verlautbarungen über Satelliteneinsätze im IGJ an die Öffentlichkeit traten. Die Entwicklung der dafür notwendigen großen Mehrstufenraketen war damals nur diesen beiden Ländern möglich. 1955 erklärten sie die beabsichtigten Satellitenstarts als offizielle Vorhaben. In den USA erhielt das amtliche Satellitenprojekt den Namen „Vanguard" (engl., Vorhut). Es wurde bis 1957 mit vielen Vorschußlorbeeren bedacht. Den damals noch sehr zahlreichen Anhängern des Gedankens einer absoluten technischen Überlegenheit der USA versetzte es daher einen empfindlichen Schock, als der am 4. Oktober 1957 in seine Bahn gelangte erste künstliche Satellit der Erde das Herkunftszeichen „UdSSR" trug. Sowjetische Wissenschaftler und Techniker hatten mit intensiven und gründlichen Vorarbeiten alle

Die Vorgänge in den verschiedenen Regionen des Strahlungsgürtels der Erde genau zu erkunden, bleibt auch in Zukunft eine Aufgabe für die Forschungsarbeit mit Satelliten. (Im Bild rot: höhere Protonen-Konzentration, grün: höhere Elektronen-Konzentration, Van-Allen-Modell)

Voraussetzungen für das Gelingen dieses Unternehmens geschaffen. Von einer mehrstufigen Flüssigkeitsrakete wurde „Sputnik-1" in seine Umlaufbahn zwischen 227 und 946 km Höhe gebracht. Der mit Meßgeräten, chemischen Batterien und einem Meßwertsender ausgerüstete kugelförmige Satellit hatte eine Masse von 83,6 kg und benötigte für einen Umlauf um die Erde rund 96 min. Das Ereignis wurde in aller Welt als politische und wissenschaftliche Sensation gewertet. In vielen Ländern standen die Menschen abends bei klarem Himmel auf den Straßen, auf Hausdächern oder freien Plätzen, um den am dunklen Himmel dahinziehenden Lichtpunkt vielleicht zu entdecken.

Schon am 3. November 1957 startete der zweite sowjetische Forschungssatellit. Die Nutzmasse von „Sputnik-2" betrug etwas über 500 kg, also schon das Sechsfache der Masse von „Sputnik-1". Das war eine weitere unangenehme Überraschung für die USA, deren „Vanguard"-Satelliten nur gut 20 kg in den Weltraum bringen sollten. Die eigentliche und in aller Welt mit großer Aufmerksamkeit registrierte Sensation war aber, daß der neue sowjetische Satellit ein Versuchstier an Bord hatte, die Hündin Laika. Sie befand sich in einer mit Atemluftreserven, Nahrungsmitteln und Meßgeräten ausgestatteten Spezialkabine. Mit diesem aufsehenerregenden Unternehmen konnten durch Meßwertübertragung aus dem Weltraum genauere Anhaltspunkte darüber gewonnen werden, wie die Bedingungen eines Raumfluges auf den Organismus eines höherentwickelten Lebewesens einwirken. Es ging dabei besonders um den Einfluß länger anhaltender Schwerelosigkeit. Nach Abschluß des Untersuchungsprogramms wurde das Versuchstier in seiner Kabine auf schmerzlosem Wege getötet. Zu dieser Zeit bestand noch keine Möglichkeit, Satelliten oder Teile von ihnen unzerstört zur Erdoberfläche zurückzuführen. Die raumfahrtmedizinischen Ergebnisse des Experiments waren von großer Bedeutung für die Vorbereitung des ersten Raumfluges eines Menschen.

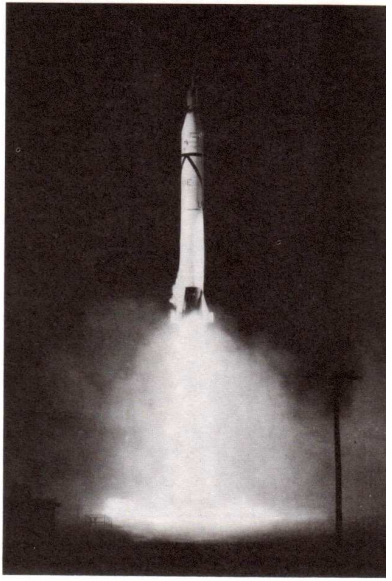
Der dritte Satellit der „Sputnik"-Serie brachte am 15. Mai 1958 nochmals eine Steigerung der wissenschaftlichen Leistungen. Seine umfangreiche Ausrüstung (986 kg) machte ihn zum ersten automatischen Meßlaboratorium im Weltraum. Die eingebauten chemischen Stromquellen ermöglichten ihm für 10 Tage ein volles Arbeitsprogramm. Schwerpunkte der Untersuchungen waren die physikalische Beschaffenheit der Hochatmosphäre und die in diesen Höhen anzutreffenden Strahlungen. Die gewonnenen Strahlungsmeßwerte wiesen darauf

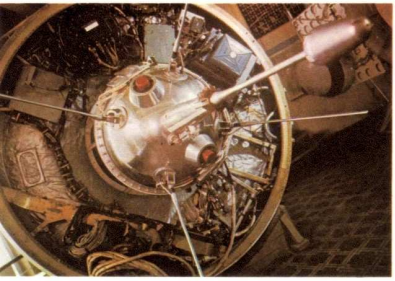
hin, daß im erdnahen Weltraum Bedingungen herrschen, die zuvor nicht bekannt waren.
Beschäftigen wir uns nun kurz mit den hauptsächlichen Eigenschaften der im Weltraum anzutreffenden Strahlungen. Eine der beiden grundverschiedenen Strahlungsarten ist die elektromagnetische Strahlung. Sie wird wegen ihrer Ausbreitungseigenschaften auch als Wellenstrahlung bezeichnet. Wir kennen einen bestimmten Teil dieser Strahlung als sichtbares Licht. In unserem Planetensystem ist die Sonne die Hauptquelle der elektromagnetischen Strahlung. Die zweite Strahlungsart besteht aus elektrisch geladenen Atombausteinen, vornehmlich aus Protonen und Elektronen. Diese Teilchenstrahlung bezeichnet man im engeren Sinne als die kosmische Strahlung. Ihr Hauptlieferant ist im Planetensystem ebenfalls die Sonne.
Wie man heute weiß, nehmen beide Arten wirksamen Einfluß auf die physikalische Beschaffenheit des erdnahen Weltraums, der Hochatmosphäre und der Erde selbst. Die genaue Kenntnis ihrer Zusammensetzung, ihrer örtlichen Häufigkeit und Stärke außerhalb der Erdatmosphäre gibt Aufschluß über die Wirkungsweise der von der Sonne ausgehenden und bis zur Erde reichenden physikalischen Vorgänge. Anders ausgedrückt, wenn man diese Kenntnis nicht hat, bleiben alle Versuche einer verbesserten Vorhersage atmosphärischer Vorgänge (Wetter) aussichtslos. Über die von der Sonne kommende Teilchenstrahlung hatte man aber vor den ersten Satellitenflügen nur ungenügende Kenntnisse.

## Die Entdeckung der Magnetosphäre

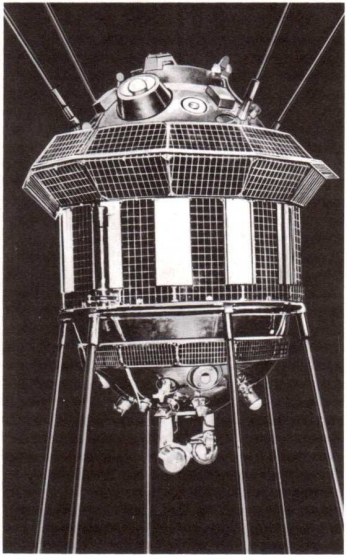
In den USA waren die Bemühungen um den ersten eigenen Satelliten inzwischen verstärkt worden. Am 1. Februar 1958 hatte man dort endlich Erfolg. Allerdings hieß der erste amerikanische Satellit nicht „Vanguard-1", sondern „Explorer-1". Das offizielle „Vanguard"-Projekt erwies sich als fehlerhaft und unzuverlässig. So gab man einer anderen Gruppe von Wissenschaftlern und Technikern die Möglichkeit, eine eigene Raketen- und Satelliten-Konzeption zu erarbeiten. Der erste Satellit dieser „Explorer"-Serie war mit einer meß- und funktechnisch hochentwickelten Ausrüstung versehen, blieb aber mit etwas über 8 kg Masse weit hinter seinen sowjetischen „Kollegen" zurück. Auch seine Aufgabe und die der nächsten vier Satelliten dieser Reihe war hauptsächlich die Erforschung der Teilchenstrahlung.
Mit „Sputnik-2" war man zum erstenmal darauf gestoßen, daß die Anzahl der registrierten Strahlungsteilchen über höheren geographischen Breiten stark ansteigt. Die Messungen von „Explorer-1" hatten dann gezeigt, daß auch über niedrigeren geographischen Breiten in Höhen über 1500 km die Teilchenanzahl zunimmt. Die Meßreihen von „Sputnik-3" und die weiterer vier „Explorer"-Satelliten bestätigten und verfeinerten die ersten Befunde. Der amerikanische Geophysiker James Van Allen bearbeitete die Meßergebnisse und machte dabei eine bedeutsame Entdeckung.

Eine speziell für diesen Zweck durch einige Feststofftriebwerke ausgebaute militärische Flüssigkeitsrakete brachte „Explorer-1", den ersten Forschungssatelliten der USA, in die Umlaufbahn. Die Gesamtmasse des Satelliten betrug rund 14 kg





Mit dem Flug von „Luna-1" öffnete sich das Tor zum interplanetaren Raum. Zum ersten Mal erreichte ein Raumflugkörper die Fluchtgeschwindigkeit. Die letzten Funksignale von „Luna-1" (Masse: 361,3 kg, Durchmesser: etwa 1 m) konnten noch aus einer Entfernung von 600 000 km empfangen werden



„Luna-3" (Modell, auf einem Haltegestell). Die eingebaute Kamera der Sonde (Masse: 278,5 kg, Durchmesser: 1,20 m) lieferte die ersten Aufnahmen von der Rückseite des Erdtrabanten

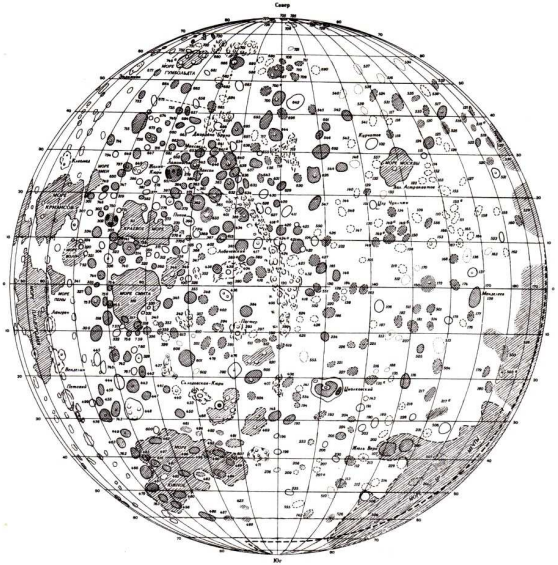
Nach Van Allens anfänglicher Darstellung ist die Erde von zwei in verschiedenen Höhen liegenden ringförmigen Gebieten umgeben, in denen kosmische Protonen und Elektronen vom Magnetfeld der Erde gefangengehalten werden. Die Strahlungsteilchen fliegen in den beiden nach dem Wissenschaftler benannten Van-Allen-Strahlungsgürteln auf schraubenförmigen Bahnen an den Kraftlinien des Erdmagnetfeldes entlang. Heute weiß man, daß der Aufbau dieses Strahlungskäfigs der Erde wesentlich komplizierter ist, als Van Allen zunächst annahm. In allgemein orientierenden Beschreibungen spricht man meist nur noch von einem einzigen Strahlungsgürtel, der alle dort vorhandenen Teilchen umfaßt. In ihm sind die Van-Allen-Gürtel besondere Gebiete, in denen bestimmte Arten von Strahlungsteilchen mit maximaler Häufigkeit auftreten. Die äußere Form des riesigen Gebildes weicht von der eines Ringes stark ab und ist zeitlichen Veränderungen unterworfen. Weil magnetische Kräfte in ihm die Hauptrolle spielen, wird das ganze Gebiet heute als Magnetosphäre der Erde bezeichnet.

Für die auf der Erdoberfläche befindlichen Lebewesen wirkt die Magnetosphäre wie ein magnetischer Schutzkäfig gegenüber den von der Sonnenoberfläche ausgehenden und ständig zur Erde heranströmenden Strahlungsteilchen. Diese für organische Substanzen gefährlichen kosmischen Geschosse werden außen an der Magnetosphäre um die Erde herumgelenkt oder bleiben in ihr „hängen". Viele Wissenschaftler sind der Ansicht, daß die Magnetosphäre für die Entstehung und Entwicklung des irdischen Lebens eine große Bedeutung hatte. Die Entdeckung dieses äußerst bedeutsamen geophysikalischen Gebildes wurde erst durch die Raumflugtechnik möglich. Auch heute und zukünftig gehört die sorgsame Überwachung der Vorgänge in der Magnetosphäre zu den Hauptaufgaben bei der Erforschung des erdnahen kosmischen Raumes.

Während die „Explorer"-Reihe noch heute fortgesetzt wird, gelangen mit „Vanguard" nur drei Aufstiege (1958/59). Die dabei erzielte wissenschaftliche Ausbeute blieb zudem sehr bescheiden. „Vanguard-1" war lediglich ein Testsatellit im Miniformat (1,5 kg, Durchmesser 16 cm), und sein unmittelbarer Nachfolger konnte durch unprogrammgemäße Taumelbewegungen keine ausreichend genauen Meßergebnisse liefern.

1958 unternahm man in den USA die ersten

КАРТА ОБРАТНОЙ СТОРОНЫ ЛУНЫ

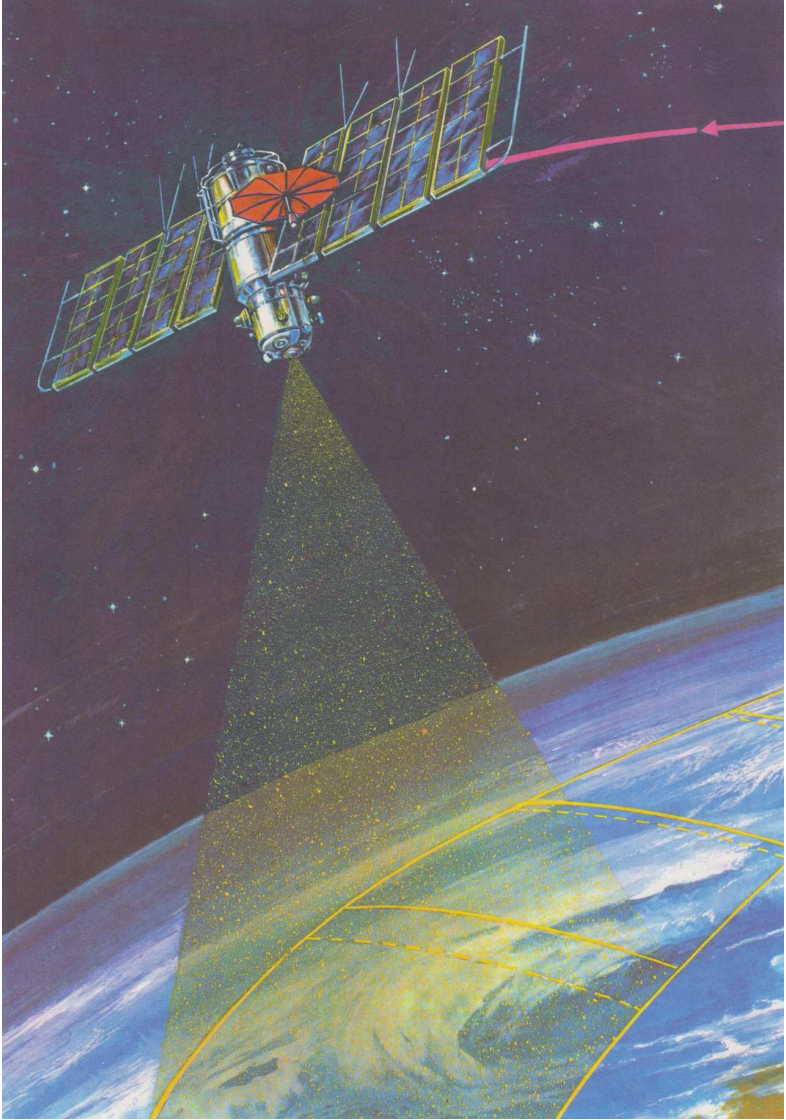



Die erste Karte der Rückseite des Mondes. Sie wurde auf der Grundlage der „Luna-3"-Aufnahmen von der Akademie der Wissenschaften der UdSSR erarbeitet

# Mit Raumflugkörpern zum Mond

Versuche, Raumflugkörper als Kundschafter in den interplanetaren Raum zu schicken. Man gab der ersten Serie von Raum- und Planetensonden den Namen „Pioneer". Es mußten also erstmals Raumflugkörper auf Fluchtgeschwindigkeit gebracht werden, was allerdings bei den ersten vier Versuchen mißlang. Zwei der dabei gestarteten „Pioneer"-Sonden flogen jedoch weit über die Magnetosphäre hinaus, ehe sie wieder zur Erde zurückstürzten. Ihre Meßgeräte lieferten dadurch wenigstens wertvolle Informationen über die Beschaffenheit der Val-Allen-Gürtel. „Pioneer-4" (1959) war dann der erste Raumflugkörper dieser Serie, der in eine selbständige Sonnenumlaufbahn gelangte und Strahlungsmessungen aus dem interplanetaren Raum übermittelte.

Was mit den ersten „Pioneer"-Raumsonden erfolglos versucht worden war – sie dicht am Mond vorbeifliegen zu lassen –, wurde zu Beginn des Jahres 1959 von den sowjetischen Wissenschaftlern mit „Luna-1" geschafft. Am 2. Januar ging der lange Zeit unter der Bezeichnung „Lunik-1" registrierte, annähernd kugelförmige Raumflugkörper auf seinen Weg zum Mond. In einer Erdentfernung von etwa 110 000 km stieß eine automatische Anlage der mitfliegenden letzten Raketenstufe eine Natriumdampf-Leuchtwolke aus, die als Bahnmarkierung von Bodenstationen fotografiert werden konnte. Nach rund 34 Stunden Flugzeit passierte „Luna-1" den Mond in einem Abstand von etwas über 5 000 km und trat danach als erster künstlicher Planetoid in eine Sonnenum-



laufbahn ein. Sein wissenschaftliches Programm umfaßte Magnetfeldmessungen, das Registrieren kosmischer Strahlungsteilchen sowie das Feststellen der Häufigkeit von Mikrometeoriten.

Als Mikrometeorite bezeichnet man staubförmige Kleinkörper des Sonnensystems. Sie haben einen Durchmesser unter 0,1 mm und bewegen sich in riesiger Anzahl durch den interplanetaren Raum. Man glaubte ursprünglich, daß sie und vor allem ihre teilweise erheblich größeren „Brüder", die Meteorite, eine ernsthafte Gefahr für die Funktionssicherheit von Raumflugkörpern darstellen könnten. Es war daher eine wichtige Aufgaben, festzustellen, wie häufig sie tatsächlich vorkommen. Die Ergebnisse zeigten, daß die Verteilungsdichte der meteoritischen Kleinkörper wesentlich geringer ist, als anfangs befürchtet. Eine größere Meteoritengefahr für Raumflugkörper besteht nicht. Beispielsweise war 1975 eine interplanetare Raumsonde seit 10 Jahren in Funktion.

Die Typbezeichnung „Luna" oder „Lunik" ließ erkennen, daß die sowjetischen Raumfahrtwissenschaftler ein neues Forschungsziel auf ihr Programm gesetzt hatten. Es ging ihnen um den Mond, den natürlichen Trabanten der Erde. Zum erstenmal wollten sie, wie es der klassischen Raumfahrtidee entsprach, einen fremden Himmelskörper mit Hilfe der Raumflugtechnik erkunden und erforschen. Schon im September 1959 schickten sie eine zweite „Lunik"-Sonde zum Mond. In Aufbau und Ausrüstung ähnelte dieser Raumflugkörper seinem Vorläufer. Diesmal war aber die Flugbahn genau auf den Mond gerichtet. 36 Stunden nach dem Start schlug „Luna-2" nahe dem Krater Autolycus im Gebiet der Mondlandschaft Palus Putredinis auf. Erstmalig hatte ein von Menschenhand geschaffener Körper die Oberfläche eines fremden Weltkörpers erreicht. Die großartige Leistung menschlichen Geistes wurde auf der ganzen Erde bewundert und gefeiert. „Luna-2" übermittelte wissenschaftliche Meßdaten bis zum Augenblick des Aufschlages. Aus ihnen gewann man unter anderem die wichtige Erkenntnis, daß der Mond offenbar kein eigenes Magnetfeld hat. Das ermöglichte erste Schlußfolgerungen über seinen inneren Aufbau.

Bereits drei Wochen nach „Luna-2" ging ein dritter sowjetischer Mond-Kundschafter auf die Reise, dessen wissenschaftliche Leistungen wiederum neue Maßstäbe setzten. Die genau vorausberechnete Bahn von „Luna-3" führte den Raumflugkörper in einer von der Mondgravitation „umgebogenen" Kurve hinter dem Erdtrabanten herum und anschließend in Richtung Erde zurück. Durch diesen wohldurchdachten bahnmechanischen „Kniff" gelangen mit „Luna-3" die ersten fotografischen Aufnahmen von der Rückseite des Mondes, die von der Erde aus niemals sichtbar ist. Die gewonnenen Bilddokumente waren eine Antwort auf die Fragen der Senelogen, der Mondforscher: Gibt es auf der Mondrückseite auch so viele und ähnlich aufgebaute Krater wie auf der Vorderseite? Existieren kraterbedeckte Hochländer, und sind ausgedehnte flache Gebiete vorhanden, die man auf der sichtbaren Hälfte als Mare (lat.: Meer) bezeichnet?

Die Aufnahmen wurden mit großer Sorgfalt ausgewertet, und danach stellte die Akademie der Wissenschaften der UdSSR den ersten Atlas der Mondrückseite zusammen. Dieses 1960 veröffentlichte wissenschaftliche Dokument ließ einige wesentliche Unterschiede im Aufbau der Rückseite gegenüber dem der Vorderseite des Mondes erkennen.

Nach internationalem Brauch durften die sowjetischen Wissenschaftler für die auf der Mondrückseite entdeckten Oberflächengebilde Namen und Bezeichnungen vorschlagen. So gibt es nun dort einen großen Krater namens Ziolkowski, ein anderer ist nach Giordano Bruno benannt, und ein dritter heißt Lomonossow.

Neben der fotografischen Erkundung der Mondrückseite hat „Luna-3" während des Fluges auch eine Reihe anderer wissenschaftlicher Untersuchungen angestellt. Sie brachten wertvolle Aufschlüsse über die Beschaffenheit des Weltraums im Bereich von Erde und Mond.

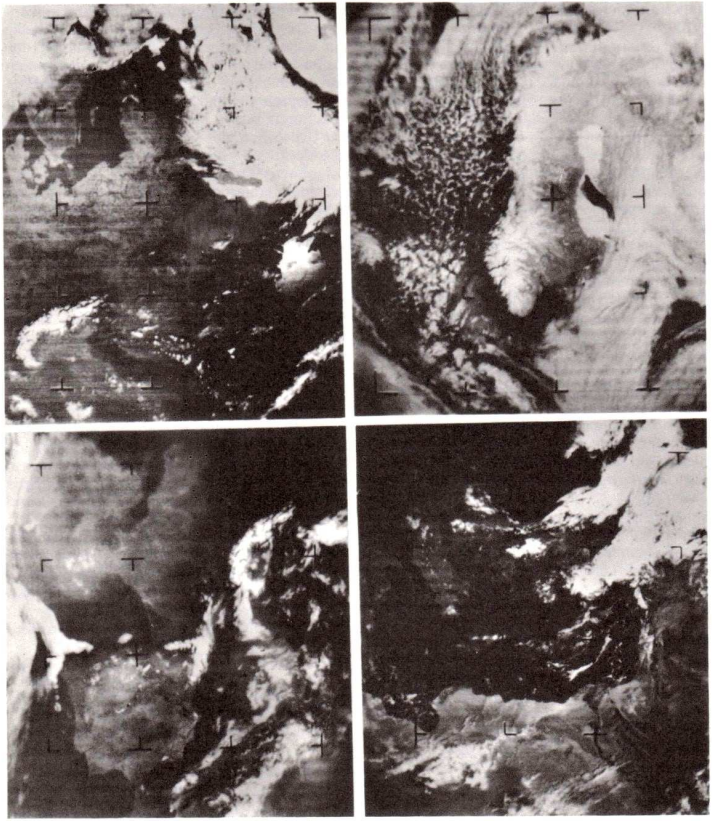
## Wetterforschung aus dem Weltraum

Ein sehr wichtiger neuer Entwicklungsweg begann sich abzuzeichnen, als 1960 zum erstenmal ein künstlicher Erdsatellit ausschließlich für

Wettererkundung aus dem Weltraum. Während seines Umlaufs um die Erde wird die Wolkenbild-Kamera des Satelliten ständig zur Erdoberfläche ausgerichtet. Die in fortlaufender Folge aufgenommenen Bilder gelangen über Funk zur Bodenstation. Bei jedem Umlauf des Satelliten dreht sich die Erde unter seiner raumstabilen Bahn um einen bestimmten Winkelbetrag weiter. Dadurch nimmt er bei den folgenden Umläufen jeweils einen seitlich versetzten Bodenstreifen auf, was dann die Bilder von der globalen Wolkenverteilung ergibt

Wetterbeobachtungen in die Umlaufbahn gebracht wurde. Damit entstand für die Wetterforschung ein neues spezielles Arbeitsgebiet, die Satellitenmeteorologie. Darüber hinaus war dieser Start ganz allgemein der erste Schritt zu einer Anwendung der Raumflugtechnik, die den Menschen auf der Erde direkt zugute kommt. Das große Kapitel der Erforschung und Erkundung der Erde aus dem Weltraum nahm seinen Beginn. Anfangs war bei fast allen Raumfahrtprojekten der Blick immer in den Weltraum hinaus gerichtet gewesen, hinüber zum Mond oder zu fremden Planeten. Bei den Vorbereitungen zum Internationalen Geophysikalischen Jahr und nach den ersten erfolgreichen Sa-

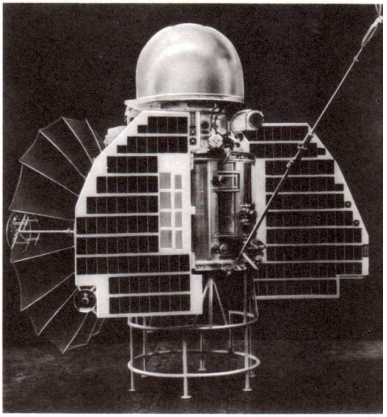
Bilder von der Wolkenverteilung aus dem Gebiet Europa/Nordafrika. Die Aufnahmen entstanden aus der rund 1400 km hoch liegenden Pol-Pol-Umlaufbahn von „ESSA-2", USA



tellitenaufstiegen hatte man jedoch bald erkannt, daß es ein viel wichtigeres und im wahrsten Sinne des Wortes naheliegendes Forschungsziel für Raumflugunternehmen gibt: unsere Erde.
Man begriff, daß gerade das „Von-außen-her"-Forschen viele neue und teilweise mit anderen Methoden überhaupt nicht zu erreichende Möglichkeiten der Erderkundung bietet. Wie wir schon wissen, sind alle den ganzen Erdball umspannenden Untersuchungen der Atmosphäre und der Ozeane grundsätzlich nur unter Mitwirkung von künstlichen Erdsatelliten ökonomisch durchführbar. Ihre genau vorausberechneten Umlaufbahnen machen sie für langandauernde globale Überwachungen hervorragend geeignet. Ferner kann man aus einer Umlaufbahn leicht in Gebiete hineinblicken oder -messen, die von der Erde aus nur unter großen Schwierigkeiten oder mit beträchtlichem technischem Aufwand für wissenschaftliche Untersuchungen zu erreichen sind. Diese sehr vielseitigen Nutzungsmöglichkeiten von erdumkreisenden Raumflugkörpern nahmen mit dem Start des ersten Wettersatelliten, „Tiros-1" (USA), ihren Anfang.
Das Hauptinteresse der Satellitenmeteorologie galt zunächst den großräumigen Wettererscheinungen in Gestalt der Hoch- und Tiefdruckgebiete sowie ausgeprägten Zyklonen, um das Wetter besser vorhersagen, vor Wirbelstürmen früher warnen zu können. Lage und Zugrichtungen dieser wetterwirksamen Gebilde sind aus der Wolkenverteilung über Meer und Land erkennbar. Man rüstete daher die ersten US-Wettersatelliten vom Typ „Tiros" mit jeweils zwei Fernsehkameras aus, deren Bilder über den Bordsender zur Bodenstation übermittelt wurden. Die Experimente verliefen erfolgreich und schufen die Grundlage für die heutigen Wetterüberwachungen mit Hilfe von Satelliten.
Später kamen dann zu den Wolkenverteilungsbildern immer mehr und feinere Fernmessungen der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit hinzu.

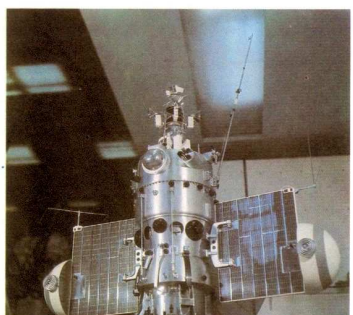
## Die ersten Planetensonden

Nur etwas mehr als 16 Monate nach dem Unternehmen „Luna-3", am 12. Februar 1961, starteten die sowjetischen Raumfahrtwissenschaftler die erste Planetensonde in der Geschichte der Raumfahrt. „Venus-1" hatte den



„Venus-1", die erste Planetensonde in der Geschichte der Raumfahrt (Masse: 643,4 kg, Gesamtlänge: 2,04 m). Ihr technischer Aufbau sowie die Ausrüstung mit entfaltbarem Paraboireflektor für die Richtantenne und zwei ausklappbaren Solarzellenauslegern waren richtungweisend für spätere Entwicklungen

inneren Nachbarplaneten der Erde zum Ziel. Zweifellos war dieses Unternehmen eine glänzende technische Leistung, denn der Raumflugkörper mußte über fast einhundert Tage hinweg viele Millionen Kilometer im Weltraum zurücklegen, ehe er den Nahbereich der Venus erreichte. Ob seine wissenschaftlichen Anlagen die langdauernden Belastungen des Aufenthalts im Weltraum überstehen würden, war zunächst noch ungewiß. Um den 20. Mai 1961 näherte sich der Raumflugkörper dem Planeten bis auf ungefähr 100 000 km und zog danach weiter auf seiner Bahn um die Sonne. Eine Störung, deren Ursache nicht ermittelt werden konnte, ließ aber die Funkverbindung der Planetensonde mit der Erde ganz plötzlich abreißen, noch bevor die Venusnähe erreicht worden war.
Die Wissenschaftler erhielten deshalb keine Meßwerte aus der Nachbarschaft des Zielplaneten oder über diesen selbst. Dennoch brachte das Unternehmen viele raumflugtechnische Erfahrungen, die späteren Flügen zu Planeten zugute kamen.
Der Planet Venus war auch für die Raumfahrtspezialisten der USA ein interessantes For-



Der Aufbau von „Mars-1" (hier ein Modell) entsprach der sowjetischen Grundkonzeption für die ersten Planetensonden. Der Satellit war jedoch um ein Raketentriebwerk (oben) erweitert worden, um in der Übergangsbahn zum Mars Bahnkorrekturen ausführen zu können. Die für die damalige Zeit (1962) beträchtliche Masse des Raumflugkörpers (893,5 kg) weist auf seine umfangreiche wissenschaftlich-technische Ausrüstung hin

schungsobjekt. Sie brachten ihre erste Sonde der Serie „Mariner" 1962 auf den Weg. Während des Fluges durch den interplanetaren Raum gab es die gleiche Art von Untersuchungen wie schon mit der sowjetischen „Venus-1". Wichtige Ergebnisse brachten die Messungen des interplanetaren Magnetfeldes und der Teilchenstrahlung. Es zeigte sich ein eindeutiger Zusammenhang zwischen den von der Sonne ausgehenden Teilchenwolken und den gleichfalls durch den Weltraum „wandernden" magnetischen Kräften.

Als die Planetensonde „Mariner-2" nach rund dreieinhalb Monaten die Nähe der Venus erreichte, gelangen während des Vorbeifluges (geringste Entfernung etwa 35 000 km) einige Meßreihen. Die Auswertung und Deutung der aus 58 Millionen km Entfernung empfangenen Meßdaten war allerdings noch recht schwierig. Aus ihnen ging aber hervor, daß die Venus offensichtlich kein eigenes Magnetfeld hat, wie wir es von der Erde her kennen. Hier begannen sich wichtige Schlußfolgerungen für die Theorie der Planetenentstehung und -entwicklung anzubahnen. Das größte Aufsehen erregten jedoch die Ergebnisse der Temperatur-Fernmessungen. Man erhielt den außergewöhnlich hohen Wert von etwa 450 °C für die Venusoberfläche. Als Schlußfolgerung ergab sich daraus, daß an der Venusoberfläche auch ein sehr hoher atmosphärischer Druck herrschen müsse, etwa dem Wasserdruck in 500 bis 1 000 m Meerestiefe entsprechend. Wenn diese Befunde durch spätere Raumflugunternehmen bestätigt würden, könnte die Frage nach Lebensmöglichkeiten auf der Venus mit Sicherheit verneint werden.

Das besondere Interesse, welches der Venus schon lange vor den ersten Raumflügen entgegengebracht wurde, hatte Gründe. Die Astronomen konnten durch Beobachtungen von der Erde aus keine brauchbaren Angaben über die Beschaffenheit des Planeten erhalten. Dabei kommt die Venus der Erde so nahe wie kein anderer Planet, was an sich günstige Voraussetzungen für seine Beobachtung mit Fernrohren schafft. Über den Planeten Mars hatte man auf diesem Wege schon sehr viele Einzelheiten in Erfahrung gebracht. Die Venus hat jedoch ein wirksames „Bollwerk" gegen alle Beobachtungen von außen: Ihre Gashülle ist so dicht und gleichmäßig mit Wolken angefüllt, daß nur die einförmig weiße Oberfläche der Atmosphäre zu sehen ist. Noch nie konnte der Blick eines Forschers bis zur Oberfläche des Planeten vordringen.

Wie es auf der Venus aussieht, welche Zustände dort herrschen, blieb also dem Menschen über Jahrhunderte hinweg verborgen. Es entstanden jedoch verschiedene Hypothesen, oft sogar recht phantastische Ansichten darüber. Als sicher wurde aber stets angenommen, daß es auf der Venusoberfläche erheblich wärmer sein müsse als gegenwärtig auf der Erde. Einige Überlegungen gingen im weiteren von der Entwicklungsgeschichte der Erde aus und führten zu dem Resultat, daß es auf der Venus wahrscheinlich so aussieht wie auf der Erde im Zeitalter des Karbons. Nach dieser Annahme sollte es auf der Venus auch Lebewesen geben wie sie in dieser irdischen Entwicklungsphase vorkamen. Andere waren der Meinung, es gäbe auf der Venus einen alles bedeckenden Urozean mit Frühformen organischen Lebens. Und wieder andere sahen dort lediglich eine trostlose Stein- und Staubwüste.

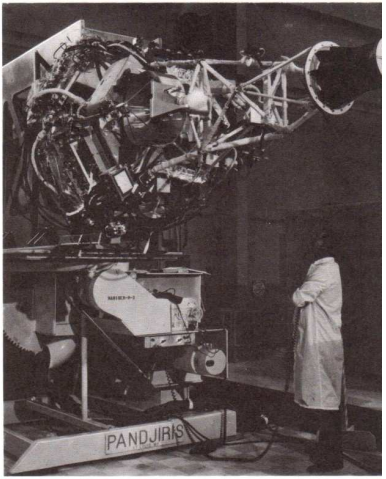
Es waren also die vielen noch offenen wissenschaftlichen Fragen, welche die Venus zu einem außerordentlich interessanten und sogar geheimnisumwitterten Planeten machten. Nur mit Hilfe der Raumflugtechnik konnte es zu einer Klärung kommen.

Die Reihe der ersten Kundschafter im Weltraum

wäre unvollständig ohne die ebenfalls 1962 gestartete sowjetische Planetensonde „Mars-1". Der Versuch, einen Raumflugkörper zum Mars zu schicken, war anfangs noch schwieriger, als die Vorstöße zur Venus es waren, denn die Flugzeit betrug über sieben Monate. So lange mußten alle Systeme funktionsfähig bleiben, wenn das Unternehmen Erfolg haben sollte. „Mars-1" hatte zwei Abteilungen mit Meßgeräten, von denen die einen erst bei Annäherung an den Planeten zum Einsatz kommen sollten. Zu dieser Spezialausrüstung zählte eine Anlage, die während des Vorbeiflugs Aufnahmen vom Mars machen und funktechnisch zur Erde übertragen konnte. Hinzu kamen Meßgeräte für die Suche nach optischen Anzeichen des Vorhandenseins organischen Lebens auf der Marsoberfläche.

Um durch Bahnkorrekturen die Annäherung an den Planeten verbessern zu können, war „Mars-1" mit einem Hilfstriebwerk ausgerüstet. Alle Einrichtungen des Raumflugkörpers, die während des Fluges durch den interplanetaren Raum in Betrieb zu sein hatten, arbeiteten dann auch bis in eine Entfernung von 106 Millionen km einwandfrei. Danach ging der Funkkontakt verloren, weil die Ausrichtung der Antenne des Raumflugkörpers auf die Erde gestört wurde. Immerhin konnte man die bis zum Zeitpunkt der Störung erhaltenen Daten als wertvolle Beiträge für die Entwicklung der Raumflugtechnik und zur Bereicherung der Weltraumforschung verbuchen.

Wir können nun das Kapitel schließen, in dem wir die ersten Weltraum-Kundschafter der Raumflugtechnik kennengelernt haben. Es wurde deutlich, in welche Richtungen sich die Raumfahrt zu bewegen begann: physikalische Untersuchungen des erdnahen kosmischen Raumes und der Hochatmosphäre, Erdbeobachtungen aus der Umlaufbahn, Erforschung des Mondes und der Nachbarplaneten Venus und Mars. Ein stattliches Register an Erfolgen für nur fünf Jahre Raumflugpraxis. Eines dürfen wir bei dieser Bilanz aber nicht übersehen. Inzwischen waren die ersten Menschen mit speziell dafür geschaffenen Raumflugkörpern in Satellitenbahnen gelangt, hatten darin die Erde umkreist und waren wohlbehalten zur Erdoberfläche zurückgekehrt. Damit hatte die eigentliche Raumfahrt begonnen. Und wir werden uns nun mit den wichtigsten Einzelheiten des erregend abenteuerlichen Weges beschäftigen, der den Menschen als Raumfahrer hinaus in den Weltraum führte.




Venussonde „Mariner-2" (Masse: 202 kg, Basisdurchmesser: 1,52 m) auf dem Elektronik-Prüfstand. Der Gitteraufsatz trägt das Magnetometer sowie in einem zylindrischen Gehäuse die Rundstrahlantenne

Der Planet Mars, wie ihn ein geübter Beobachter in einem leistungsfähigen Fernrohr unter günstigen Bedingungen sehen kann. Das Bild wurde am 9. Mai 1920 (Mars-Opposition) von K. Graff am Großen Refraktor der Sternwarte in Hamburg-Bergedorf gezeichnet

# Der Mensch fliegt in den Weltraum

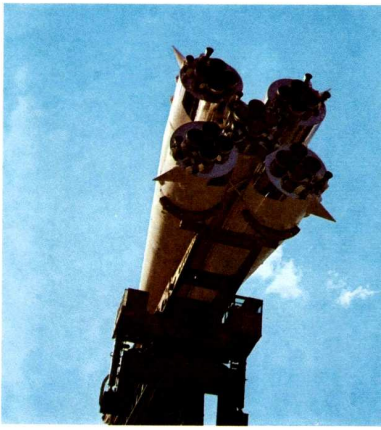
12. April 1961. Die Meldung von einem neuen sensationellen Raumfahrtereignis flog um die Erde: Ein Mensch hatte zum ersten Mal in einem Raumschiff unseren Planeten umkreist! Und wiederum war es die Sowjetunion, die als Pionier den Weg bahnte.

Was war dieser Nachricht vorausgegangen?

Vom Kosmodrom Baikonur, dem Raumfahrtzentrum der Sowjetunion, startet am Morgen dieses Tages eine mehrstufige Trägerrakete und bringt das Raumschiff „Wostok-1" in eine Umlaufbahn zwischen 181 und 327 km Höhe. Als Pilot und damit erster Kosmonaut der Erde befindet sich der 27jährige Fliegermajor Juri Gagarin in der luftdicht geschlossenen (hermetischen) Kabine des Raumflugkörpers. Er umfliegt die Erde einmal und landet nach 108 Minuten Flugzeit bei dem Ort Smelowka im Gebiet Saratow. Der Landepunkt liegt im vorausberechneten Raum.

Der Verlauf des außerordentlich kühnen Unternehmens, das in vielem ein Vorstoß in wissenschaftliches und technisches Neuland war, wurde von der Leitzentrale genau überwacht. Es bestand eine ständige zweiseitige Funkverbindung zwischen dem bemannten Raumflugkörper und den zur Flugüberwachung eingeschalteten Bodenstationen. Über diese Funkbrücke wurden von „Wostok-1" automatisch Angaben über die Arbeit der technischen Anlagen zur Erde gesandt, vor allem die äußerst wichtigen Meßwerte von Körperfunktionen des Kosmonauten, wie Pulsschlag, Atemrhythmus und Körpertemperatur. In der Raumfahrerkabine befand sich auch eine Fernsehkamera, und die in der Leitzentrale anwesenden Raumfahrtmediziner konnten sich zusätzlich ein optisches Bild vom Befinden Juri Gagarins machen.

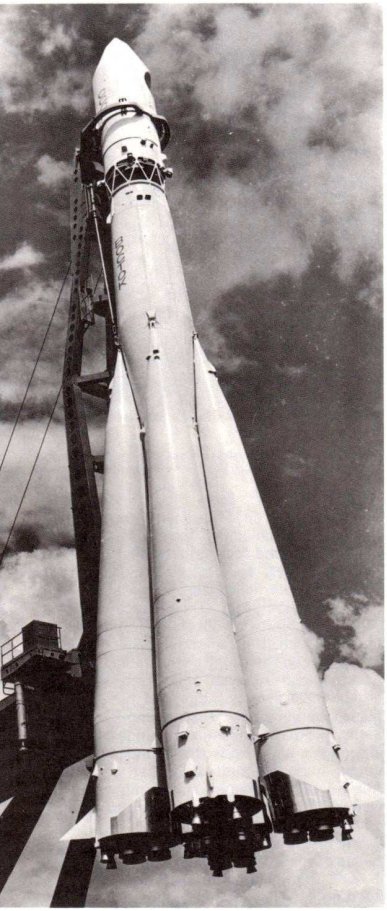
Der Kosmonaut hatte sich durch ein Spezialtraining auf das Unternehmen vorbereitet und während des Fluges ein genau ausgearbeitetes Programm zu erfüllen. Man wollte wissen, wie die bei einem Raumflug auftretenden Belastungen auf die biologischen Funktionen und die



Für die Grund- oder Startstufe der sowjetischen Standard-Trägerrakete ist die Bündelung von Raketentriebwerken charakteristisch

Arbeitsfähigkeit des Menschen wirken. Gagarin bediente verschiedene technische Anlagen, beobachtete und fotografierte die Erde durch Kabinenfenster, sprach seine Eindrücke auf Tonband und nahm zur festgesetzten Zeit Nahrungsmittel und Trinkwasser zu sich. Außerdem führte er über alle Vorkommnisse ein Bordbuch. Die laufende Auswertung der übertragenen medizinischen Daten und die nachträgliche Analyse aller Aufzeichnungen ergaben die sehr wichtige und für Zukunftspläne beruhigende Feststellung, daß der menschliche Organismus zumindest die Bedingungen eines anderthalbstündigen Raumfluges ohne störende oder gar gefährliche Auswirkungen ertragen kann. Damit war für die weitere Entwicklung der Raumfahrt ein bedeutender Nachweis gelungen.

Schon knapp vier Monate später gelangte der zweite sowjetische Kosmonaut mit „Wostok-2" in eine Erdumlaufbahn. Die sorgfältige Auswertung des Fluges von Gagarin gestattete es, diesmal ein Unternehmen von rund 24 Stunden Dauer zu wagen. Die Raumfahrtmediziner waren vor allem interessiert zu erfahren, ob der erheblich verlängerte Aufenthalt in der Umlaufbahn das Befinden des Kosmonauten negativ

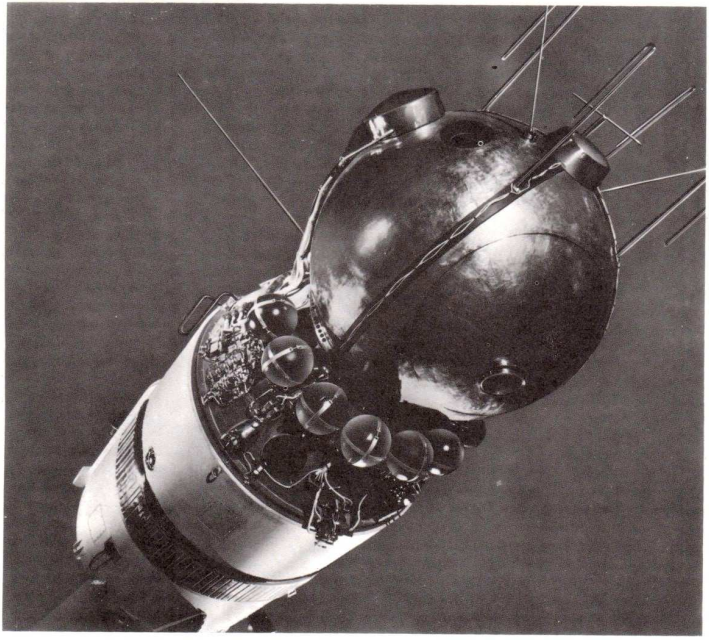


„Wostok"-Trägerraketen brachten die ersten Menschen, Fliegerkosmonauten der UdSSR, in den Weltraum. Die dreistufigen Flüssigkeitsraketen hatten eine Gesamtlänge von 38 m, eine Startmasse von etwa 380 000 kg, und sie erreichten einen Startschub von 5 120 kN

beeinflußt. „Wostok"-Pilot war bei diesem Flug der Fliegermajor German Titow. Er führte mit dem Raumschiff 17 Erdumrundungen aus und landete ebenfalls programmgemäß im dafür vorgesehenen Gebiet der Sowjetunion. Die während des Fluges erhaltenen Angaben über Titows Befinden brachten allerdings keine eindeutigen Antworten auf einige noch offene Fragen der Raumfahrtmediziner. Im mittleren Flugabschnitt waren nämlich empfindliche Störungen im Orientierungsvermögen des Kosmonauten aufgetreten. Offensichtlich hingen sie mit den besonderen Bedingungen des schwerelosen Fluges zusammen. Die Auswertung des gewonnenen wissenschaftlichen Materials führte danach zu einer besseren Vorbereitung der Kosmonauten auf den Raumflug. – In dem folgenden Abschnitt wollen wir uns etwas eingehender mit den Bedingungen befassen, die für den Flug des Menschen im Weltraum entscheidende Bedeutung haben.

## Was wirkt auf den Raumfahrer ein?

Als nach 1945 die ersten leistungsfähigen Raketen für Forschungszwecke zur Verfügung standen, konnten die Bemühungen um den Vorstoß des Menschen in den Weltraum realere Formen annehmen. Es begann mit den schon erwähnten Aufstiegen von Tieren in Höhenraketen. Ein erster Höhepunkt war der Flug der Hündin Laika in „Sputnik-2". Vor diesen Versuchen gab es nur sehr unvollkommene oder gar unwissenschaftliche Vorstellungen über die Auswirkungen des Raumfluges auf den Organismus. Zur Klärung dieser Fragen mußten die Forscher neue Bereiche erschließen. Die Hauptprobleme, die sie zu lösen hatten, standen schon seit langem fest. Für alle Flüge von Raumfahrern ist die Entwicklung von Verfahren und technischen Anlagen zur Erhaltung des Lebens in der abgeschlossenen Welt des Raumfahrzeugs der Ausgangspunkt. Hierbei geht es meist um bekannte und daher technisch leichter lösbare Aufgaben. Zu unerwünschten oder gar gefährlichen Belastungen für den Raumfahrer kann es aus diesem Bereich nur dann kommen, wenn die betreffenden Anlagen nicht fehlerfrei arbeiten. Eine extrem hohe Zuverlässigkeit aller eingesetzten technischen Systeme ist deshalb für jedes Raumflugunternehmen eine absolut unerläßliche Voraussetzung.

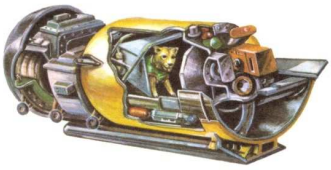


Die letzte Stufe der Trägerrakete (links unten) wurde erst nach dem Einflug in die Umlaufbahn von dem aufgesetzten „Wostok"-Raumflugkörper getrennt

Ihr besonderes Augenmerk richteten die Raumfahrtmediziner auf zwei Arten körperlicher Belastung von genau entgegengesetzter Natur, die bei jedem Raumflug gänzlich oder nahezu unvermeidbar auftreten. Die Ursache dieser Belastungen sind die besonderen physikalischen Bedingungen eines Raketen- oder Raumfluges. Da ist zunächst der bei allen Raketenaufstiegen während der Antriebszeit wirksame Beschleunigungsandruck. Er belastet den Organismus des Raumfahrers unter Umständen recht erheblich. Die zweite Art von Belastung entsteht durch den Zustand der Schwerelosigkeit. Sie herrscht im Raumfahrzeug während der Dauer jedes antriebslosen Fluges, sie ist also für alle Freiflugbahnen typisch. Fehlende Schwere oder, anders gesagt, fehlendes Gewicht kann auf der Erdoberfläche aus naturgesetzlichen Gründen nicht auftreten. Die Schwerelosigkeit und deren körperliche Auswirkungen sind dem Menschen von Natur aus völlig unbekannt. Sein biologischer Aufbau und seine physiologischen Funktionen sind von Anbeginn auf das ständige Vorhandensein von Schwere eingestellt. Für die Raumfahrtmediziner war es daher kaum möglich, vor den ersten praktischen Versuchen brauchbare Vorstellungen über die Auswirkungen der Schwerelosigkeit auf den Menschen zu entwickeln.

Ein anderes Grundproblem des Fluges von Raumfahrern hat wiederum vornehmlich technischen Charakter. Es betrifft die sichere Rückführung der Raumfahrer zur Erdoberfläche. Während des Abstiegs aus der Umlaufbahn

Kehrt eine bemannte Raumkabine aus dem Weltraum zur Erdoberfläche zurück, wird während des Eintauchens in die Erdatmosphäre die Stirnfläche auf Grund der sehr hohen Geschwindigkeit durch den aerodynamischen Widerstand extrem aufgeheizt (bis 10000 K im sogenannten Staupunkt). Ein Hitzeschild aus hochwarmfestem Material (z. B. Phenolharze in Honigwabenkonstruktionen), das beim Eintauchen in die Atmosphäre abschmilzt, sichert die übrige Struktur des Körpers gegen thermische Überbelastung und Zerstörung



Die Tierkabinen der „Korabl"-Raumflugkörper wurden bei der Rückführung – so wie später die „Wostok"-Kosmonauten – aus der Raumkapsel kataputiert und gingen am Fallschirm nieder

sind die Konstruktionsteile des Rückkehrkörpers zum Teil extremen Belastungen ausgesetzt. Sie müssen deshalb absolut zuverlässig funktionieren. Doch dafür gibt es Lösungswege. Auch der Raumfahrer unterliegt während der Rückkehrphase physischen Belastungen, die durch den beim Eintauchen in die Erdatmosphäre entstehenden Bremsandruck verursacht werden. Dieser ist in seiner Wirkung dem Beschleunigungsandruck vergleichbar und macht daher keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich.

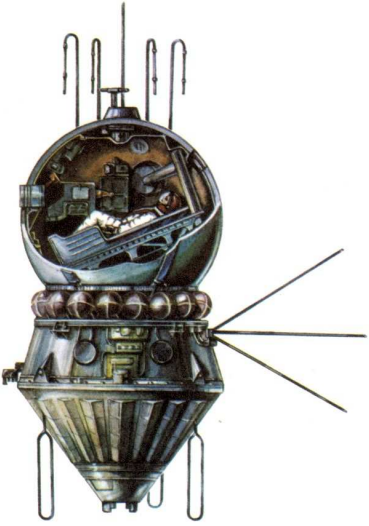
Die genannten Hauptprobleme konnten nur durch eine enge und sehr intensive Zusammenarbeit der Vertreter der medizinischen Wissenschaften und der Spezialisten für technische Fragen gelöst werden. Und es mußte dem ersten Weltraumflug eines Menschen eine Reihe von Erprobungsflügen unbemannter Muster des Raumflugkörpers und auch solche mit Versuchstieren vorangehen. In der Sowjetunion und in den USA bildeten derartige Unternehmen in den Jahren 1960 und 1961 einen wesentlichen Teil des Raumflugprogramms.

Die sowjetischen Raumfahrtspezialisten schickten Mitte Mai 1960 den ersten Raumflugkörper der „Korabl"-Serie in eine Erdumlaufbahn. Diese Satelliten entsprachen schon ziemlich genau den ihnen folgenden „Wostok"-Raum-

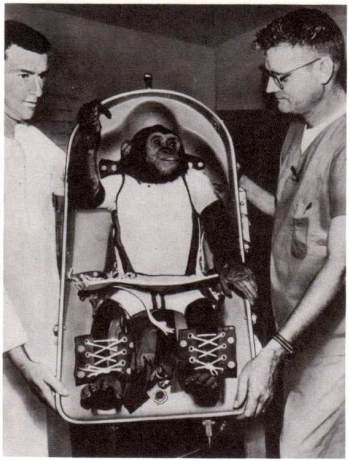
flugkörpern. Die Hauptaufgabe des Fluges von „Korabl-1" war die Erprobung aller technischen Systeme der Raumfahrerkabine, in der sich als „Passagier" die massegleiche Nachbildung eines Piloten befand. Bei „Korabl-2" bildeten dann zwei Hunde die „Besatzung" des Raumflugkörpers. Sie waren in einer mit allen notwendigen Lebenserhaltungssystemen ausgestatteten Spezialkabine untergebracht und blieben programmgemäß rund 24 Stunden in der Umlaufbahn. Nach 18 Erdumrundungen wurde für kurze Zeit ein Bremstriebwerk gezündet, wodurch „Korabl-2" in die Abstiegsbahn gelangte. Der Raumflugkörper tauchte mit noch ziemlich großer Geschwindigkeit in die dichteren Schichten der Erdatmosphäre ein und wurde dort durch den Luftwiderstand abgebremst, bis seine Bewegung in den freien Fall überging. Das letzte Stück des Abstiegs legte das Gerät am Fallschirm zurück, wobei die Tierkabine in einer bestimmten Höhe herauskatapultiert und dann an einem eigenen Fallschirm gelandet wurde.

Mit dieser sicheren Rückführung hatte man ein technisches Kernproblem der Raumfahrt zum erstenmal praktisch gelöst. Lebewesen waren nach einem Aufenthalt im Weltraum wohlbehalten zur Erdoberfläche zurückgebracht worden. Die speziellen raumfahrtmedizinischen Untersuchungen, die man während des Fluges an den beiden Hunden sowie an niederen Versuchstieren (Insekten) und Pflanzen (Algen) vorgenommen hatte, brachten wertvolle Erkenntnisse. Um das Verhalten der Hunde unter dem Einfluß der Schwerelosigkeit beobachten zu können, hatte man zwei Fernsehkameras in die Kabinenanlage eingebaut. Mit drei weiteren

Juri Gagarin flog am 12. April 1961 als erster Mensch mit einem Raumschiff um die Erde. Sein kühner Weltraumflug mit „Wostok-1" brachte die Gewißheit, daß auch der menschliche Organismus den außergewöhnlichen Belastungen eines Raumfluges gewachsen ist. Der 12. April wurde von der Internationalen Luftfahrtföderation FAI zum Internationalen Tag der Luft- und Raumfahrt erklärt. – Bis 1963 war Gagarin Kommandeur der sowjetischen Kosmonautengruppe, 1968 absolvierte er die Shukowski-Akademie. Noch im gleichen Jahr verunglückte er bei einem Trainingsflug tödlich



Der Aufbau des bemannten „Wostok"-Raumflugkörpers war den besonderen Erfordernissen erster Erprobungen angepaßt. Die kugelförmige Ein-Mann-Raumkapsel (Masse: 2 400 kg, Durchmesser: 2,3 m) hatte außen eine Hitzeschutzschicht gegen die Aufheizung beim Eintauchen in die Erdatmosphäre. Der Kosmonaut saß auf einem Katapultsitz. Bei der Landung wurde er durch die abgesprengte Einstiegluke hinauskatapultiert und landete, wie auch die Kapsel, am Fallschirm. Raumkapsel und Gerätezelle hatten eine Gesamtmasse von 4 730 kg



Die USA verwendeten für ihre Tierversuche in der Raumfahrt auch Schimpansen. Die Flüge waren jedoch nur ballistische Höhenaufstiege, führten also noch nicht in Erdumlaufbahnen. Dennoch konnten auf diesem Wege Erfahrungen darüber gewonnen werden, daß höher entwickelte Lebewesen zumindest für die Dauer eines kurzzeitigen Freifluges den Einfluß der Schwerelosigkeit ohne Schaden überstehen

Auch die „Mercury"-Raumkapseln, in denen die ersten amerikanischen Astronauten in den Weltraum flogen, waren wie die sowjetischen „Wostok"-Raumkapseln „Einsitzer". Da die militärische US-Trägerrakete „Atlas" nicht so leistungsstark war wie die „Wostok"-Raumfahrtträgerrakete, blieb die „Mercury"-Nutzmasse (1 355 kg) erheblich hinter der von „Wostok" zurück. Und die Dauer des Aufenthaltes im Raum blieb auf maximal 48 Stunden begrenzt

Unternehmen der „Korabl"-Serie schlossen die sowjetischen Raumfahrtmediziner ihre grundlegenden Untersuchungen bis März 1961 ab. Der erfolgreiche Flug von Juri Gagarin zeigte, daß alle Vorbereitungen sehr sorgfältig getroffen worden waren.

In den USA gab es auf dem Wege zum ersten Raumflug eines Menschen einige zusätzliche Probleme und verschiedene Schwierigkeiten. Die technischen und raumfahrtmedizinischen Vorversuche begannen mit einer Trägerrakete, die noch keine Aufstiege in Umlaufbahnen, sondern lediglich ballistische Flüge über einige hundert Kilometer Entfernung ermöglichte. Die Gipfelhöhen der Flugbahnen lagen zwischen etwa 180 und 200 km. Das erste Unternehmen dieser Art gelang Anfang 1961, wobei ein Schimpanse an Bord der „Mercury"-Raumflugkapsel als Versuchstier mitflog. Man ließ dann im Mai und Juni desselben Jahres noch zwei ballistische „Mercury"-Flüge folgen, an denen jeweils ein Pilot teilnahm: die Astronauten Alan Shepard und Virgil Grissom. (Die Bezeichnung Astronaut für die amerikanischen Raumfahrer ist von dem englischen Wort astronautics abgeleitet, das in den USA für Raumfahrt verwendet wird.) In bezug auf den wissenschaftlichen Ertrag waren die beiden ballistischen „Mercury"-Flüge mit den Flügen von Gagarin und Titow allerdings nicht zu vergleichen.

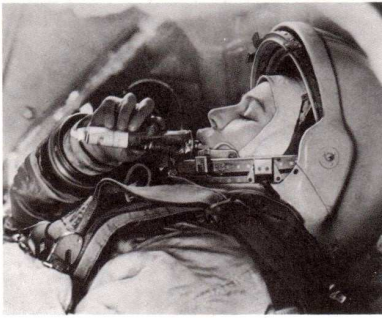
Am 20. Februar 1962 ging John Glenn mit der „Mercury"-Kapsel „Friendship-7" als erster Raumfahrer der USA in eine Erdumlaufbahn. Er umkreiste die Erde dreimal und landete nach einer Gesamtflugzeit von 4 Stunden und 56 Minuten mit der Kapsel im vorgesehenen Gebiet des Atlantiks. Die Wasserlandung wurde auch bei den späteren bemannten Raumflügen der Amerikaner beibehalten, denn das Niedergehen auf dem Festland wäre wegen der geografischen Bedingungen der USA äußerst ungünstig. Während des Fluges von Glenn zeigten sich einige technische Schwächen des „Mercury"-Systems. So hatte der Astronaut zeitweilig Temperaturen von etwas mehr als 40 °C zu ertragen.

Das „Mercury"-Programm kam 1962/63 mit drei weiteren Flügen zum Abschluß.

Wir haben die Vorbereitungen und die ersten Schritte des Fluges von Menschen in den Weltraum kennengelernt. Für das Verständnis der großen Leistungen, die auf diesem Gebiet vollbracht wurden und weiter vollbracht werden, sind aber etwas tiefere Einblicke in die Einzelprobleme notwendig.

# Wie schützt man den Raumfahrer?

Die Maßnahmen zur Erhaltung des Lebens der Raumfahrer in dem hermetisch geschlossenen Raumfahrzeug unter Weltraumbedingungen sind sehr vielschichtig. Bei der Versorgung mit Atemluft zum Beispiel sind unterschiedliche Verfahren möglich. Am einfachsten ist es, in der Raumfahrerkabine eine Atmosphäre zu erzeugen, die nach Zusammensetzung und Druck der gewohnten Atemluft an der Erdoberfläche entspricht. Dieser Weg wurde in der Sowjetunion von Anfang an und bei allen Raumfahrtunternehmen beschritten. Die dafür im Raumschiff benötigte technische Anlage muß für einen ständigen Kreislauf der Kabinenatmosphäre sorgen, deren Druck regeln, den durch Atmung verbrauchten Sauerstoff ersetzen und das ausgeatmete Kohlendioxid binden. Zugleich müssen Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur geregelt sowie Schweb- und Geruchsstoffe ausgefiltert werden. Da die Gesamtbeschaffenheit der Kabinenatmosphäre auch als Kabinenklima bezeichnet wird, nennt man die erforderlichen technischen Einrichtungen Klimaanlage.



Nahrungsaufnahme unter den Bedingungen des Weltraumfluges (Walentina Tereschkowa, „Wostok-6", 1964) hat seine besonderen Tücken. Mit pastenförmigen Speisen aus Tuben vermeidet man, daß Bröckchen oder Krümel schwerelos in der Kabine umherschweben

Eine Auswahl von speziell verpackten Nahrungsmitteln, wie sie auf sowjetische Raumfahrtunternehmen mitgenommen werden. Aus Gründen der Raumersparnis werden viele Produkte gepreßt verschlossen (unten). Im Bild daneben ein sowjetischer Raumschiff-„Kühlschrank" mit Nahrungsmitteln

Ein anderes Verfahren verwendet als Atemgas reinen Sauerstoff. Allerdings ist dieser für den Menschen nur dann ohne gesundheitliche Schäden über Tage hinweg atembar, wenn der Druck des Gases erheblich verringert wird. Der verbrauchte Sauerstoff muß natürlich auch hier ständig ersetzt werden. Im übrigen arbeitet diese Klimaanlage genauso wie zuvor schon beschrieben. Reine Sauerstoffatmosphären wurden in den USA bei allen Raumfahrtunternehmen verwendet, einschließlich der Landungsexpeditionen zum Mond. Ein wesent-

Pilotensessel der „Wostok"-Raumschiffe. Halb liegend sitzt der Raumfahrer im Konturensessel. Diese Position mindert den physiologischen Einfluß des Beschleunigungsandrucks erheblich

licher Nachteil dieses Verfahrens ist die beträchtlich gesteigerte Brandgefahr in der Raumfahrerkabine. Im Januar 1967 gab es dadurch bei einer Bodenerprobung der „Apollo"-Raumfahrzeugkabine eine Brandkatastrophe, der die Astronauten Virgil Grissom, Edward White und Roger Chaffee zum Opfer fielen. Seither werden für die Ausstattung der Kabinen nur noch unbrennbare oder schwer entflammbare Materialien verwendet. Weil das mehrwöchige Atmen reinen Sauerstoffs mit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung verbunden ist, ging man in den USA für Langzeitunternehmen (Raumstation „Skylab") zu einer Mischgasatmosphäre über. Diese wird ebenfalls unter vermindertem Druck geatmet und besteht aus 74 Prozent Sauerstoff und 26 Prozent Stickstoff.

Zum Lebenserhaltungssystem gehört auch der Schutz gegen Strahlung aus dem Weltraum. Wie wir wissen, ist deren Hauptlieferant die Sonne. Von der elektromagnetischen Wellenstrahlung ist der kurzwelligste Bereich (Ultraviolett) für den Organismus am gefährlichsten. Diese Strahlung wird jedoch von der Wandung des Raumfahrzeugs vollständig abgefangen. Wesentlich unangenehmer ist dagegen die solare Teilchenstrahlung. Sie tritt zeitweilig in starken Wolken sehr energiereicher Teilchen auf, die von der Raumschiffwandung nicht abgefangen werden und in ihr noch zusätzliche Strahlungsteilchen auslösen. Diese Strahlung ist für Lebewesen außerordentlich schädlich, doch lassen sich ihre Auswirkungen auf technischem Wege (Werkstoffwahl, Abschirmungsmaßnahmen) erheblich mindern. Außerdem kann man das Raumfahrzeug bei erkennbarem Herannahen eines solchen Strahlungsschauers durch Drehung um den Masseschwerpunkt so einstellen, daß eine verstärkte Abschirmwirkung erzielt wird. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, durch Medikamente den Organismus der Raumfahrer widerstandsfähiger gegen Strahlungseinflüsse zu machen.

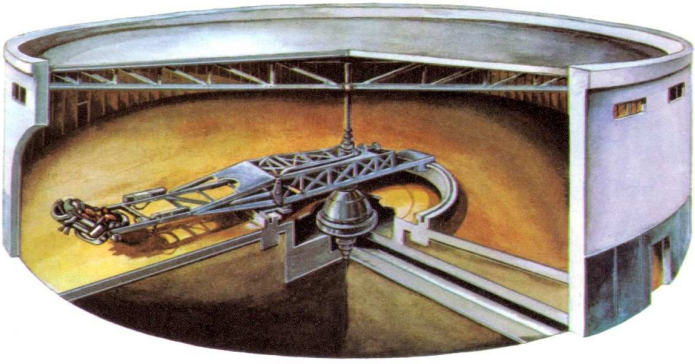
Ein wichtiger Bestandteil der Lebenserhaltung ist natürlich die Nahrungs- und Trinkwasserversorgung. Was die Raumfahrer zu sich nehmen, entspricht im allgemeinen der sonst üblichen Nahrung. Hinsichtlich des Anteils bestimmter Nährstoffe werden allerdings einige Besonderheiten des Raumfluges berücksichtigt. So vermeidet man beispielsweise fettrei-

che, schwerverdauliche Kost. Der Kalorienge-halt einer Tagesration richtet sich nach den zu erwartenden körperlichen und geistigen Belastungen. Er liegt gewöhnlich zwischen 2400 und 3400 kcal. Wichtig ist auch die äußere Beschaffenheit der Nahrung. Vor allem muß eine zu starke Krümelbildung vermieden werden, weil die im Raumschiff schwerelos umherschwebenden Nahrungsteilchen technische Störungen bewirken können. Die Nahrungsmittel werden deshalb als rationierte Portionen verpackt mitgeführt. Um sie beim Verzehr leichter handhaben zu können, sind sie oft pastenförmig und in Tuben oder Dosen untergebracht. Wenn es sich um warm einzunehmende Nahrungsmittel handelt, werden sie vor dem Verbrauch in elektrisch betriebenen Heizvorrichtungen auf die erforderliche Temperatur gebracht. Die Zusammenstellung und geschmackliche Zubereitung ist den landesüblichen Gewohnheiten der Raumfahrer angepaßt. Das Trinkwasser muß als hygienisch konservierter Vorrat mitgeführt werden. Man ist jedoch zunehmend und auch schon mit Erfolg darum bemüht, das im Raumfahrzeug anfallende Verbrauchtwasser durch chemische und physikalische Verfahren als Nutzwasser rückzugewinnen.

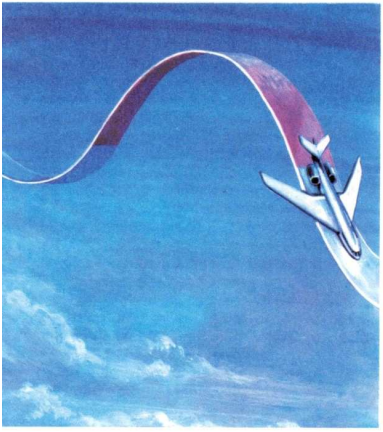
Die körperlichen Auswirkungen des Beschleunigungs- und des gleichartigen Bremsandrucks lassen sich auch ohne Raketenaufstieg und Raumschiffrückkehr hier auf der Erde erproben.

Über diese Art von Belastung konnte man sich also schon vor dem ersten Raumflug eines Menschen Klarheit verschaffen. Was ist eigentlich dieser Beschleunigungsandruck? Wir haben schon gehört, daß die Geschwindigkeitszunahme je Sekunde, also die Beschleunigung einer Rakete, durch den Antrieb in Vielfachen und Bruchteilen der Fallbeschleunigung an der Erdoberfläche (g) ausgedrückt werden kann. Wenn nun die Geschwindigkeit der Rakete in jeder Sekunde beispielsweise um 45 m/s zunimmt, die Beschleunigung also 4,5 g beträgt, so wirkt das auf einen mitfliegenden Menschen, als würde er auf der Erdoberfläche von der Erdgravitation mit der viereinhalbfachen Stärke angezogen und demzufolge mit dem viereinhalbfachen Gewicht gegen den Boden angedrückt. Gegen diese große Last müßte er seine Brust zum Atmen heben oder seinen Arm bewegen, um vielleicht einen wichtigen Hebel zu betätigen. Bei einem solchen mehrfachen Eigengewicht hätten nicht einmal trainierte Gewichtheber eine Chance, längere Zeit auf den Beinen zu bleiben. Am übelsten wären dabei die physiologischen Folgen des erhöhten Schwereandrucks. Das Herz-Kreislauf-System bräche schon nach kurzer Zeit zusammen, weil das Blut in die Beine „versackte" und nicht mehr in die oberen Körperpartien gebracht würde. Daher ist es wichtig, dem Raumfahrer während des Beschleunigungsandrucks eine annähernd liegende Stellung zu geben.

Der beim Raketenaufstieg durch die Beschleunigung verursachte Andruck darf dennoch



Mit einer solchen Zentrifuge wird geprüft, ob der Raumfahrer den Andruckbelastungen gewachsen ist



Ablauf eines Parabelfluges (schematisch). Auf dem violett markierten Flugabschnitt herrscht im Flugzeug Schwerelosigkeit

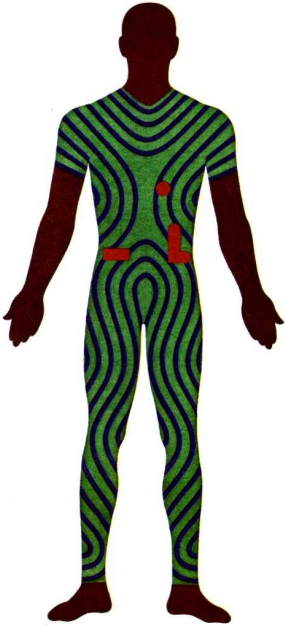
In der Zeit eines Jules Verne waren die Vorstellungen vom Erlebnis der Schwerelosigkeit noch recht heiterer Natur

keinesfalls eine gewisse Grenze, die individuell verschieden sein kann, übersteigen, um gesundheitsschädliche oder gar tödliche Folgen für den Raumfahrer auszuschalten. Man muß deshalb den Raketenantrieb so konstruieren, daß die Beschleunigung beim Aufstieg nur niedrige Werte erreicht. Der maximale Andruck liegt heute während der Antriebszeit zwischen 2 und 4 g. Der bei der Rückkehr auftretende Bremsandruck erreicht, je nach den Besonderheiten des Rückkehrvorgangs, Maximalwerte zwischen 4 und 8 g, von denen die höheren jedoch nur kurzzeitig eintreten.

Wie wird eigentlich auf der Erde ein so hoher Beschleunigungsandruck erzeugt, um seine Wirkung untersuchen zu können? Das erfolgt nach einem einfachen Verfahren. Schleudert man zum Beispiel einen mit Sand gefüllten Tragebeutel am Arm senkrecht im Kreise herum, so spürt man deutlich eine nach außen gerichtete Zugkraft. Sie wird als Zentrifugalkraft (Fliehkraft) bezeichnet und ist um so stärker, je schneller die Drehbewegung vor sich geht. Nach diesem Prinzip ist eine technische Anlage konstruiert, in der ein fester Haltearm durch einen Motorantrieb mit verschiedenen Geschwindigkeiten in Rotation versetzt wird. Am Ende des Haltearms ist ein beweglich gelagerter Liegesitz oder eine ganze Raumfahrerkabine mit eingebautem Liegesitz angebracht. Darin nimmt die Versuchsperson Platz. Wird die Zentrifuge – so heißt die Anlage – in Bewegung gesetzt, tritt am Ende des Haltearms Fliehkraft auf, die den Menschen, je nach der Drehgeschwindigkeit, wie beim Beschleunigungsandruck mehr oder weniger stark in den Sessel drückt. Auf diese Weise kann man die Andruckfestigkeit der Raumfahrtanwärter prüfen und mit ihnen auch ein Gewöhnungstraining durchführen. Um die Andruckbelastung zu mildern, werden in den Raumfahrzeugen gepolsterte Liegen verwendet, die den Körperformen der Raumfahrer angepaßt sind und deswegen auch als Konturenliegen oder -sessel bezeichnet werden.

Unklare Vorstellungen herrschten über die Auswirkungen der Schwerelosigkeit auf den menschlichen Organismus. Nicht wenige Wissenschaftler fürchteten, daß ein längeres Andauern dieses ungewöhnlichen physikalischen Zustandes derart negative Folgen haben würde, daß diese ein ernsthaftes Hindernis für die Raumflüge von Menschen darstellten. Andere hingegen glaubten, daß es eine leicht verträgliche, vielleicht sogar recht angenehme Sache

sei, an Bord eines Raumfahrzeugs schwerelos zu leben. Man war daher froh, daß die Flugtechnik eine Möglichkeit bot, schon vor den Raumflügen Versuche unter Schwerelosigkeit anzustellen. Man läßt dazu ein Flugzeug einen sogenannten Parabelflug ausführen. Das Flugzeug nimmt zunächst mit voller Motorkraft im abwärts gerichteten Flug möglichst viel Fahrt auf, wird dann vom Piloten mit dem Höhenruder kräftig hochgezogen und tritt danach mit stark gedrosseltem Antrieb wie ein geworfener Stein in eine parabelförmige Flugbahn ein. Diese geht beim Abfangen der Maschine wieder in den normalen Flugverlauf über. Auf dem parabelförmigen Abschnitt des Flugweges herrscht im Flugzeug, wie in jedem geworfenen oder fallenden Körper, Schwerelosigkeit. Allerdings läßt sie sich auf diese Weise für nur höchstens 1 bis 1,5 min erreichen. Das genügt für die Beantwortung der entscheidenden raumfahrtmedizinischen Fragen natürlich nicht. Dennoch wird dieses Verfahren oft angewandt, um die Raumfahrer vor ihrem Weltraumeinsatz beispielsweise bestimmte Arbeitshandhabungen, so einen Ausstieg in den Weltraum, üben zu lassen. Für die Versuche setzt man daher große Flugzeuge ein, in denen ganze Bauteile von Raumflugkörpern, die man für die vorgesehene Übung benötigt, einen ausreichenden Platz finden.

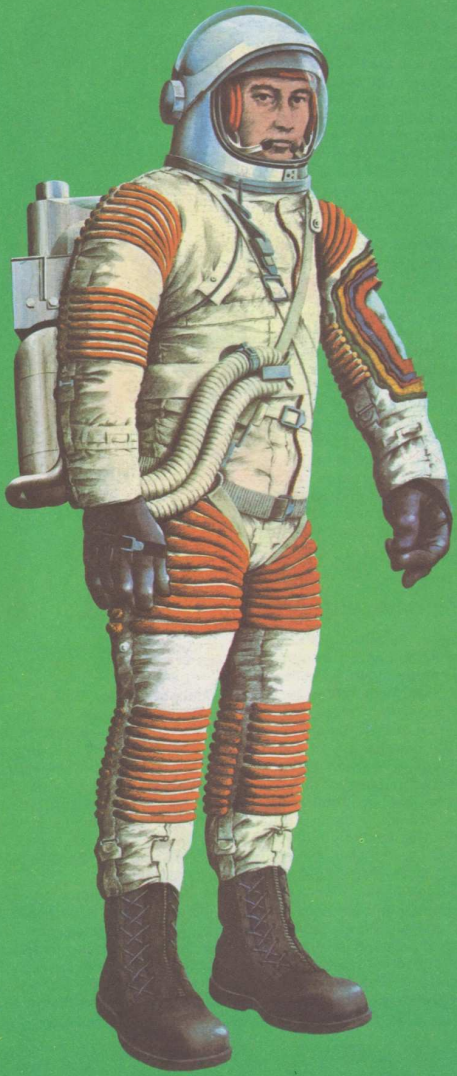


Ein Plastschlauchsystem in der Unterwäsche des Raumfahrers sorgt für die notwendige Kühlung

## Anzüge für den Weltraum

Ein sehr wichtiges Ausrüstungsstück des Raumfahrers ist sein Raumanzug. Es gibt ihn in mehreren Spezialanfertigungen. Allen liegt das Prinzip zugrunde, den Raumfahrer für eine mehr oder weniger lange Dauer vom Lebenserhaltungssystem seines Raumfahrzeugs teilweise oder ganz unabhängig zu machen. Das heißt, der in voller Funktion befindliche Raumanzug muß seinen Träger vor den schädlichen Einwirkungen der im Weltraum anzutreffenden äußeren Bedingungen (Vakuum, Temperaturextreme, Sonnenstrahlung) absolut sicher schützen. Er muß also hermetisch schließbar sein und in der Regel über eine eigene Klimaanlage verfügen. Wenn sie als komplette technische Einheit auf dem Rücken getragen werden kann, spricht man von einem Klimatornister. Diese vollständige Ausrüstung (Raumanzug plus tragbare eigene Klimaanlage) benötigt der Raumfahrer aber nur beim Ausstieg in den freien Weltraum, also auch auf der Mondoberfläche. Dort herrschen nämlich in bezug auf Vakuum und Strahlungseinwirkungen die gleichen Bedingungen wie bei jedem Flug außerhalb der Erdatmosphäre. Wenn der Raumanzug hermetisch geschlossen ist, wird von der Klimaanlage Atemgas unter Druck in ihn hineingeleitet. Damit der Anzug trotz des ihn aufblähenden Gasdrucks hinreichend beweg-bar bleibt, verwendet man als Atemgas nur reinen Sauerstoff. Der Druck kann dann niedrig gehalten werden.

An Bord eines Raumfahrzeugs braucht normalerweise kein Raumanzug getragen zu werden. Lediglich für bestimmte Flugsituationen wird ein Raumanzug angelegt. Das geschieht aus Sicherheitsgründen beim Start und bei der Rückkehr zur Erde. Der Raumanzug ist aber auch ein Rettungsmittel in Notsituationen, die



durch technische Fehler während des Flugablaufs entstehen können.
Der Bordraumanzug ist kein so spezieller „Schutzpanzer" wie der Ausstiegsraumanzug und darum erheblich bequemer zu tragen. Alle Raumanzüge sind so beschaffen, daß man sie auch bei räumlicher Enge und Schwerelosigkeit ohne allzu große Schwierigkeiten anziehen kann. Ein wichtiges Hilfsmittel sind dabei die für Raumfahrtzwecke entwickelten vakuumdichten Reißverschlüsse. Der gesondert aufsetzbare Helm hat meist ein aufklappbares Visier, dessen durchsichtige Frontscheibe durch Strahlungsschutzfilter ergänzt werden kann. Unter dem Helm trägt der Raumfahrer eine Kopfhaube mit den Geräten des Sprechfunks.

Raumanzug für den Aufenthalt im freien Weltraum. Der Raumfahrer führt einen Klimatornister zur autonomen Atemluftversorgung und Temperaturregelung mit. Die Gelenkteile des Anzugs ermöglichen eine gute Beweglichkeit. Der aufgeschnittene Ärmelteil (rechts) zeigt den mehrschichtigen Aufbau des Raumanzugs

Medizinische Untersuchung eines Raumfahrer-Kandidaten auf einem drehbaren Pendelstuhl

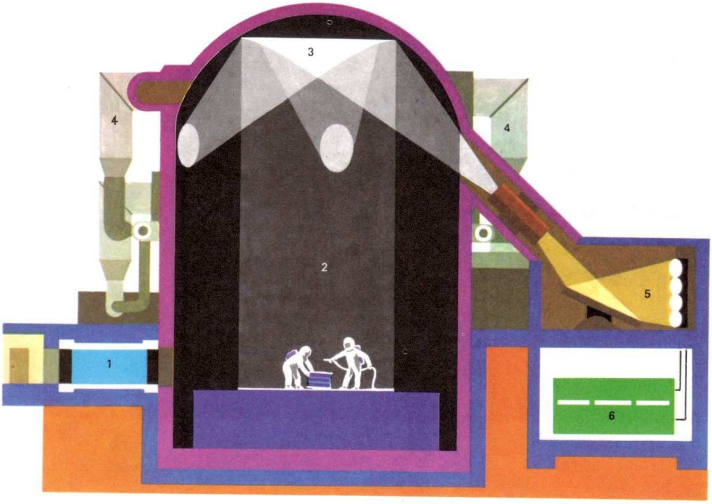
Die Raumfahrer trainieren die Steuerung ihres Raumfahrzeugs in originalgetreuen Simulatorkabinen („Sojus"-Kosmonauten Waleri Bykowski [links] und Wladimir Axjonow)

# Wer wird Raumfahrer?

Obwohl unsere Übersicht nur sehr knapp und allgemein gehalten ist, macht sie doch deutlich, welche körperlichen Ansprüche ein Mensch zu erfüllen hat, um als Raumfahrer geeignet zu sein. Er muß die physische Beschaffenheit eines organisch völlig gesunden, normal belastbaren Sportlers haben. Das genügt für den Beginn seiner Ausbildung. Er braucht auch nicht unbedingt einer jüngeren Altersgruppe anzugehören. Wie die Praxis gezeigt hat, sind gerade Menschen im Alter von über 30 Jahren bis hin zu 45 oder gar 50 Jahren ausgeglichen und widerstandsfähig gegenüber den besonderen Belastungen eines Raumfluges. Eine wesent-

Kosmonaut im beweglich gelagerten Konturensessel einer Zentrifugenkabine

Raumfahrer absolvieren ihre Übungen in Zentrifugenkabinen in voller Flugausrüstung




Zur Vorbereitung auf Raumflüge gehören auch Übungen in großen Weltraumsimulatoren. Raumfahrer können in ihnen Außenbordaktivitäten trainieren. In dem hermetisch abschließbaren Simulationsraum werden auf technischem Wege weitgehend weltraumähnliche Umweltbedingungen hergestellt: Hochleistungsfähige Pumpen sorgen für ein extrem niedriges Dauervakuum, Intensivstrahler simulieren das einfallende Sonnenlicht, und Spezialwände absorbieren jede Reflexstrahlung. Lediglich verminderte Schwere, wie sie z. B. auf der Mondoberfläche auftritt, kann nicht simuliert werden. 1 Eingangsschleuse, 2 Arbeitsbühne, 3 parabolischer Deckenreflektor, 4 Vakuumpumpen, 5 Intensivstrahler, 6 Elektrogeneratoren

liche Rolle spielen dabei solche Faktoren wie Selbstbeherrschung, Disziplin, ruhige Entscheidungsfähigkeit und technische Erfahrung. Der „Wostok"-Flug (1963) von Walentina Tereschkowa – jetzt heißt sie Nikolajewa-Tereschkowa – hat gezeigt, daß auch Frauen den körperlichen Belastungen eines Raumfluges gewachsen sind.

Sehr hohe Anforderungen werden an die geistigen Fähigkeiten und charakterlichen Qualitäten eines Raumfahrtanwärters gestellt. Der Raumfahrer muß die sehr komplizierten technischen Einrichtungen seines Raumfahrzeugs bis in Einzelheiten perfekt handhaben sowie unter Weltraumbedingungen wissenschaftlich arbeiten können. Eine hohe Allgemeinbildung ist selbstverständliche Voraussetzung. Grundsätzlich wird für die Eignung zum Raumfahrer eine spezielle technische oder wissenschaftliche Ausbildung gefordert, das heißt ein abgeschlossenes Hoch- oder Fachschulstudium. Nicht wenige der bisherigen und zukünftigen Raumfahrer haben eine Doktorarbeit geliefert. Manche sind sogar als Professoren und Dozenten im Lehrbereich Raumfahrtforschung tätig. In der Regel beschäftigen sich die Raumfahrtanwärter fachlich mit solchen Spezialgebieten aus Naturwissenschaft und Technik, die für die Raumfahrt grundlegende Bedeutung haben oder sonst wichtig sind. So tragen die Raumfahrer oft selbst zur Verbesserung der technischen Systeme ihres Raumfahrzeugs bei. Wenn sie speziell die Flugführung eines Raumfahrzeugs übernehmen sollen, müssen sie auch erfahrene Flugzeugführer sein.

In einem eigens dafür geschaffenen Ausbildungszentrum werden die zukünftigen Raumfahrer, parallel zu ihrer fachlichen Weiterbildung, mit den besonderen Erfordernissen des Raumfluges vertraut gemacht. Dazu gehören unter anderem das Andrucktraining in der Zentrifuge, Übungen im Parabelflug, Be-

CGC

lastungsprüfungen in der Druck- und in der Hitzekammer sowie Untersuchungen über das Verhalten der Gleichgewichtsorgane. Das gesamte Trainingsprogramm absolvieren die Raumfluganwärter unter ständiger raumfahrtmedizinischer Überwachung. So können ihnen die Ärzte für das geplante Unternehmen die Tauglichkeit bescheinigen oder ihre Zurückstellung fordern.

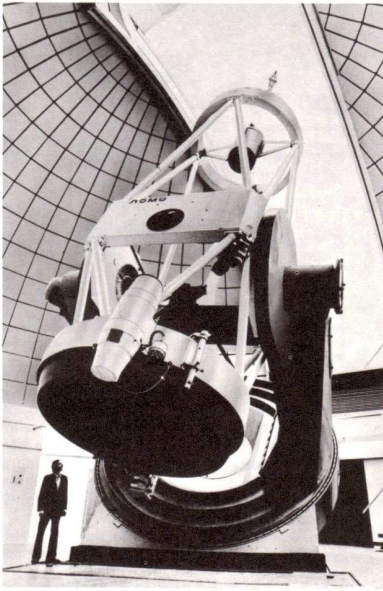
Daneben lernen die Raumfahrer alle technischen Einzelheiten ihres Raumfahrzeugs kennen. Jeder Raumfahrzeugtyp macht nämlich eine besondere Ausbildung und Vorbereitung erforderlich. Einige der Übungen werden in Simulatoren ausgeführt. Das ist eine genaue oder teilweise originalgetreue Nachbildung des technisch ausgerüsteten Raumfahrzeuginneren für Trainingszwecke. Außenbordarbeiten werden unter Wasser an einem wiederum originalgetreuen Modell geübt, das sich in einem entsprechend großen Wasserbecken befindet. Die Raumfahrer tragen dabei raumanzugähnliche Bekleidung, ihre Klimaversorgung erfolgt über Schlauchleitungen oder Klimatornister. Der zum „Schweben" ausgeglichene Unterwasserauftrieb macht beim Tauchen in Verbindung mit dem Wasserwiderstand Bewegungen wie in der Schwerelosigkeit möglich.

Nachdem der Ablauf des geplanten Raumfluges in immer wiederkehrenden Übungen bis ins einzelne trainiert ist und die Mediziner ihr positives Gutachten über den Gesundheitszustand der Raumfahrer abgegeben haben, sind für diese alle Vorbereitungen abgeschlossen.

Das Verhalten nach Landungen im Wasser muß von den Raumfahrern ebenfalls geprobt werden. Ihre hermetischen Raumanzüge sind auch hier ein ausreichender Schutz; Luftkissen halten die Raumfahrer zusätzlich schwimmfähig

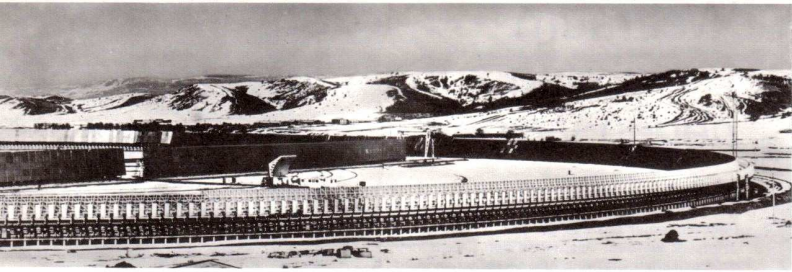
# Weltraumforschung auf neuen Wegen

Der Weltraum konnte über die Jahrhunderte hinweg immer nur von der Erdoberfläche aus erforscht werden. Das setzte den Erkenntnismöglichkeiten Grenzen, und so manches blieb unbekannt. Eine der Hauptursachen dafür ist die Lufthülle der Erde. Sie läßt einen beträchtlichen Teil der aus dem Weltraum kommenden elektromagnetischen Strahlung nicht zur Erdoberfläche durchdringen. Für den Bereich des sichtbaren Lichtes, also für die visuelle und fotografische Himmelsbeobachtung, wirkt sie wie ein unruhig wallendes, mehr oder weniger getrübtes Dämpfungsfilter. Eine andere Art von Hindernis ist das Magnetfeld der Erde. Es fängt die überwiegende Menge der aus dem Weltraum kommenden Teilchenstrahlung, die uns viele Informationen über den Kosmos liefert, schon weit draußen, im Strahlungsgürtel ab.
Die Raumflugtechnik bahnte der Weltraumforschung völlig neue Wege. Der Mensch kann nun mit Teleskopen und anderen wissenschaftlichen Geräten über die hinderliche Atmosphäre hinaus aufsteigen und draußen im freien Weltraum beobachten und messen. Es ist ihm sogar möglich, in die zu erforschenden kosmischen Räume direkt vorzudringen, zum Mond oder zu fremden Planeten.
Seit dem Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957/58 setzte man viele unbemannte Raumflugkörper für unterschiedliche wissenschaftliche Aufgaben ein. Sie brachten überraschend gute Ergebnisse, und das führte zu einer für den Fortgang der Raumfahrtforschung wichtigen Einsicht. Man erkannte den großen Wert dieser ohne Besatzung im Weltraum tätigen Helfer der Wissenschaft. Bereits mit verhältnismäßig kleinen unbemannten Raumflugkörpern lassen sich umfangreiche Erkenntnisse über die Erde, den erdnahen Weltraum und fremde Himmelskörper gewinnen.
Diese Erfahrungen korrigierten die Auffassung, daß der Schwerpunkt der Raumfahrt allein bemannte Raumfluggeräte seien, die als Forschungsstationen im Weltraum kreisen oder als Transportmittel für Expeditionen zu fremden Himmelskörpern dienen. Und noch etwas anderes kam hinzu. Die Praxis machte deutlich, daß die Konstruktion und der Bau von Großraketen und Raumschiffen außergewöhnlich hohe materielle und geistige Aufwendungen notwendig machen. An zwei Beispielen läßt sich das durch Zahlen veranschaulichen. Für das erste Mondlandeunternehmen der USA, von dem noch die Rede sein wird, mußten Leistungen im Werte von etwa 25 Milliarden Dollar erbracht werden – eine Summe, die eine kritische Diskussion über das Verhältnis zwi-



Großes astronomisches Spiegelteleskop moderner Bauart

Spezialteleskope an großen irdischen Observatorien lieferten der Forschung bisher als einzige so eindrucksvolle und aufschlußreiche fotografische Bilddokumente vom Kosmos. Es handelt sich hier um helle Nebel im Sternhaufen der Plejaden (Sternbild: Stier, Entfernung: 425 Lichtjahre). Sie bestehen aus interstellarem Staub, der das Licht der Sterne reflektiert. (Aufgenommen mit dem 2-m-Universal-Spiegelteleskop des Karl-Schwarzschild-Observatoriums bei Tautenburg, DDR)



„Ratan-600", das größte Radioteleskop seiner Art. In einem Kreis von 600 m Durchmesser verläuft ein Reflektorring, der die aufgenommene Radiostrahlung über einen ebenen Gegenreflektor zur Antenne leitet. Das Gerät steht in der Nähe von Selentschukskaja, UdSSR

schen Aufwand und Nutzen auslöste. Nach ernst zu nehmenden Schätzungen amerikanischer Fachleute würde eine Expedition zum Mars jedoch mindestens 80 bis 100 Milliarden Dollar kosten. Ob man derartige Raumfahrtunternehmen überhaupt einmal durchführen wird, bezweifeln daher heute viele Raumfahrtwissenschaftler. Daß es dennoch sinnvoll ist, auch weiterhin für bestimmte Raumfahrtaufgaben Menschen einzusetzen, werden wir noch sehen.

## Die Sonne beeinflußt die Erde

Folgen wir nun den von der Raumflugtechnik eröffneten neuen Wegen der Weltraumforschung. Die Weltraumforschung umfaßt alle Arten von wissenschaftlichen Untersuchungen, die die Weltkörper innerhalb und außerhalb des Sonnensystems sowie die staub- oder gasförmige Materie zwischen den Gestirnen und die Beschaffenheit des Kosmos in seiner Gesamtheit betreffen. Sie hat also ihre Grundlagen in der Astronomie und Astrophysik. Unsere Erde gehört im weitesten Sinne ebenfalls zu den Objekten der Weltraumforschung, für die auch der Begriff Kosmosforschung üblich ist. Meist betrachtet man aber die Erforschung der Erde als eine in vielen Punkten eigenständige Wissenschaft. Aus diesem Grunde spricht man im allgemeinen bei den mit der Erde und dem Kosmos befaßten Forschungsarbeiten von Geo- und Kosmoswissenschaften.

Wie wir wissen, entdeckte man im erdnahen Weltraum mit Satelliten und Raumsonden bis dahin unbekannte physikalische Erscheinungen: die Van-Allen-Strahlungsgürtel und die Magnetosphäre. Die weiteren und immer feineren Untersuchungen in diesem die Erde umschließenden Gebiet führten zu tiefgreifenden Erkenntnissen für die Geo- und Kosmoswissenschaftler. Es zeigte sich, daß einige wichtige physikalische Eigenschaften der Erde in sehr starkem Maße durch die von der Sonne kommenden Strahlungswolken und -ströme beeinflußt werden, mit großer Sicherheit auch der Steuermechanismus der Wetterentwicklung. Der meist wolkenförmig verdichtete Strom von solaren Strahlungsteilchen heißt Sonnenwind. Die Möglichkeiten, im erdnahen kosmischen Raum physikalische Untersuchungen vornehmen zu können, trug wesentlich zur Entwicklung eines speziellen Wissenschaftszweigs bei: der Solarterrestrik. (Der Begriff entstand aus den lateinischen Wortstämmen für Sonne [sol] und Erde [terra]; er bezeichnet die Wissenschaft von den Wechselbeziehungen zwischen den physikalischen Eigenschaften der Erde und den physikalischen Einflüssen der Sonne.) Wegen der großen Bedeutung dieser Forschungen sind fast ständig mehrere solarterrestrische Spezialsatelliten im Einsatz. Dabei geht es vor allem um die langjährige Überwachung und die Aufklärung der sehr komplizierten Vorgänge im Bereich der Magnetosphäre und ihrer Auswirkungen auf die Hochatmosphäre.

Die räumliche Ausdehnung und die zeitliche Dauer der Untersuchungen im erdnahen kosmischen Raum erfordern eine groß angelegte

internationale Zusammenarbeit. Es hat sich gezeigt, daß die umfangreichen Forschungsaufgaben nur durch gemeinsame Diskussion der Probleme, Kooperation bei der Ausarbeitung der Programme und durch Austausch der Ergebnisse zu lösen sind. Daher gibt es seit langem im Rahmen der bestehenden internationalen Vereinigungen für Geo- und Kosmoswissenschaften (zum Beispiel COSPAR, Kurzwort für Committee on Space Research, auf deutsch: Komitee für Weltraumforschung) eine Reihe von Forschungsprogrammen.

Ein in vielem vorbildliches Beispiel für die erfolgreiche enge Zusammenarbeit mehrerer Länder auf diesem Gebiet ist die „Interkosmos"-Arbeitsgruppe der sozialistischen Länder. In ihr sind Fachleute aus der VR Bulgarien, der ČSSR, der DDR, der Republik Kuba, der Mongolischen VR, der VR Polen, der SR Rumänien, der UdSSR und der Ungarischen VR vereint. Sie beraten die Konzeptionen und die Einzelheiten gemeinsamer Forschungsvorhaben. Die nationalen Arbeitsgruppen liefern wissenschaftliche und technische Geräte für die Ausrüstung von geophysikalischen Höhenraketen und Forschungssatelliten, die nach kollektiv erarbeiteten Entwürfen entstehen. Die Höhenraketen vom Typ „Vertikal" und die Trägerraketen für die „Interkosmos"-Satelliten sowie die Bodenanlagen für die Starts werden von der UdSSR bereitgestellt. Der erste Satellit dieser Serie startete am 14. Oktober 1969. Er hatte Apparaturen aus der DDR, der UdSSR und der ČSSR an Bord. Für den Empfang der Meßwerte verfügen die „Interkosmos"-Länder über eigene Bodenstationen.

Zur Klärung der für die Erde so wichtigen solarterrestrischen Probleme muß auch die Sonne selbst von speziellen Raumflugkörpern aus untersucht werden. Dazu gehören vor allem Messungen der solaren Strahlung im interplanetaren Raum. Die bekanntesten unbemannten Sonnenobservatorien sind die ab 1962 gestarteten „OSO"-Satelliten der USA und die 1972 hinzugekommenen „Prognos"-Satelliten der Sowjetunion. Inzwischen sind auch die ersten, besonders dafür eingerichteten Raumsonden in den sonnennahen Raum jenseits der Merkurbahn geschickt worden, um die dort herrschenden physikalischen Verhältnisse zu erforschen. Ein Schwerpunkt im Programm der amerikanischen Raumstation „Skylab" waren

Aufstieg der Höhenforschungsrakete „Vertikal-5" der „Interkosmos"-Arbeitsgruppe sozialistischer Länder. Die Rakete hat eine Länge von 23 m und einen Durchmesser von 1,66 m

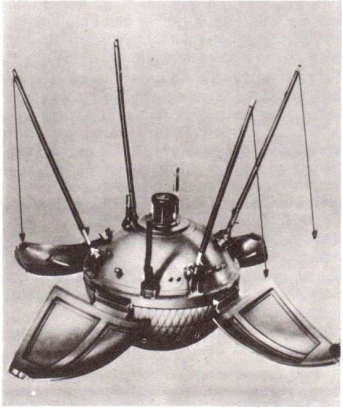
umfangreiche Arbeiten für die Sonnenforschung. Ebenso haben die Kosmonauten in der sowjetischen Raumstation „Salut-4" verschiedene sonnenphysikalische Untersuchungen vorgenommen.

Eine Gruppe von „Interkosmos"-Wissenschaftlern bei der Endüberprüfung des Forschungssatelliten „Interkosmos-10"

## Sonden landen auf dem Mond

Für die meisten Menschen waren die Raumflugunternehmen zum Mond am interessantesten. Den Auftakt bildeten die ersten drei „Luna"-Mondsonden. Es folgte eine große Anzahl unbemannter Raumflugkörper, mit denen die Sowjetunion und die USA unser Nachbargestirn systematisch erforschten. Die amerikanischen Wissenschaftler begannen mit dem Versuch, Aufnahmen der Mondoberfläche aus möglichst großer Nähe zu erhalten. Man wollte damit unter anderem die seit langem diskutierte Frage klären, ob die Mondoberfläche eventuell von einer dicken Schicht feinsten Staubes bedeckt ist. Das war nicht zuletzt für die Vorbereitung von Landungen auf dem Mond von großer Bedeutung. Die für diese Erkundung entwickelten amerikanischen „Ranger"-Mondsonden brachten ab 1961 zunächst viel Miß-

Als erstes funktionsfähiges Forschungsgerät gelangte die Landekapsel der sowjetischen Mondsonde „Luna-9" auf die Mondoberfläche. Der Landekörper hatte eine Masse von 100 kg



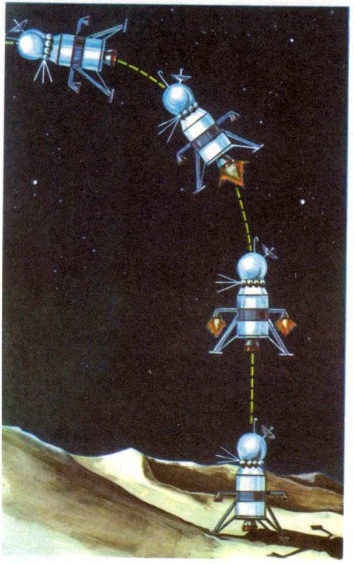
erfolg. Erst die letzten drei Geräte dieser Serie lieferten 1964/65 brauchbare Aufnahmen, die von den eingebauten Fernsehkameras während des gewollten Sturzes auf die Mondoberfläche gewonnen wurden. Die übertragenen Bilder zeigten noch flache Kratergruben von 0,9 m Durchmesser. Die Frage nach dem Vorhandensein und der Dicke einer Staubschicht konnte nicht beantwortet werden.

Die sowjetischen Bemühungen nahmen 1963–1965 ihren Anfang mit Vorversuchen für weiche Landungen von unbemannten Sonden auf der Mondoberfläche. Mit den ersten fünf Geräten der weitergeführten „Luna"-Serie wurden gezielte Anflüge auf bestimmte Mondgebiete geprobt. Diese Unternehmen endeten jeweils mit einem harten Aufschlag, so daß noch keine funktionsfähigen Forschungsgeräte den Mond erreichten. Am 3. Februar 1966 gelang dann mit „Luna-9" zum erstenmal in der Geschichte der Raumfahrt die weiche Landung einer Gerätekapsel auf der Oberfläche eines fremden Himmelskörpers. Auch wenn noch keine Menschen an diesem Unternehmen beteiligt waren, bedeutete es den ersten wirklichen Brückenschlag zwischen den Menschen auf der Erde und einer bis dahin der direkten Erkundung nicht zugänglichen Oberfläche eines außerirdischen Objektes.

Jede Landung auf dem Mond verlangt besonders hohe raumflugtechnische Leistungen. Unser Erdtrabant hat keine Atmosphäre, die als bremsendes oder tragendes Mittel bei der Landung genutzt werden könnte. Um das niedergehende Mondlandegerät weich und damit zerstörungsfrei auf der Mondoberfläche zu landen, gibt es deshalb nur ein Verfahren: Seine hohe Anfluggeschwindigkeit muß durch einen genau arbeitenden Bremsantrieb allmählich so weit vermindert werden, daß bei Erreichen der Mondoberfläche die Sinkgeschwindigkeit möglichst nahe bei Null liegt. Die Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Genauigkeit des automatischen Regelungssystems für Brems-

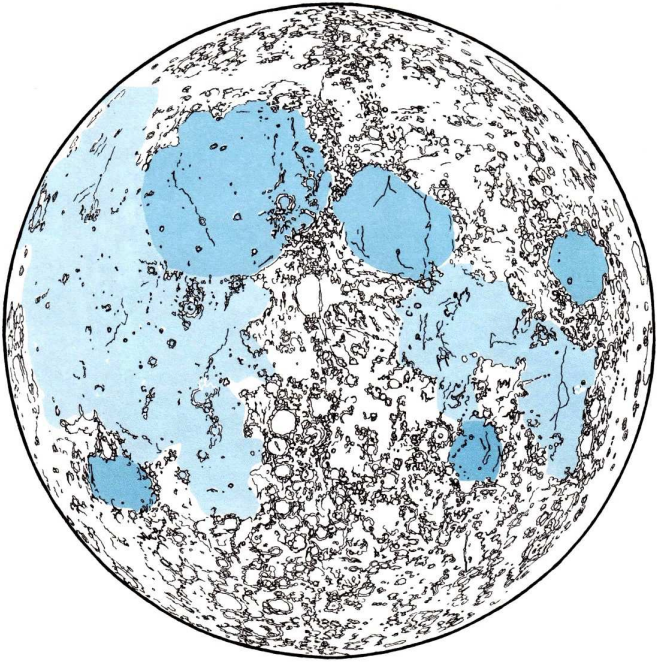
Ein von der amerikanischen Sonde „Ranger-9" während des Anflugs auf den Mond gemachtes Foto. Der Raumflugkörper schlug 2 Minuten und 50 Sekunden später im Inneren des Kraters Alphonsus (rechte Bildhälfte) auf

Weiche Landungen auf dem atmosphärelosen Mond können grundsätzlich nur mit Hilfe von Bremstriebwerken erfolgen. Diese übernehmen zugleich die Lageregelung für das sichere Aufsetzen des Landegestells



schub und Fluglage während des Abstiegs sind entsprechend groß.
Nach der Landung von „Luna-9" konnten nun erstmals Informationen über die Beschaffenheit des Mondes direkt auf dessen Oberfläche gewonnen werden. Eine eingebaute Fernsehkamera lieferte Nahaufnahmen von der Umgebung des Landepunktes, die noch Einzelheiten bis Zentimetergröße erkennen ließen. So kam man zu ersten aufschlußreichen Feststellungen über die Feinstruktur der Mondoberfläche. Vor allem zeigte sich, daß zumindest im Landegebiet von „Luna-9" keine nennenswert dicke Schicht aus staubförmigem Material vorhanden ist. Ferner kam man zu dem wichtigen Ergebnis, daß die Festigkeit der Mondoberfläche auch für die Landung größerer Körper ausreicht. Die mit „Luna-9" begonnenen Untersuchungen wurden mit „Luna-13" fortgesetzt. Noch gegen Ende desselben Jahres landete diese Sonde in einem anderen Gebiet der Mondoberfläche weich.
Auch die USA waren 1966 mit ihrem ersten Mondlandegerät erfolgreich. Die „Surveyor"-Sonden hatten fernsteuerbare Fersehkameras an Bord, die auch mit wechselnden Farbfiltern arbeiten konnten. Außerdem gehörten einige spezielle Untersuchungsgeräte zur Ausrüstung, welche ebenfalls von der Erde aus fernbedient wurden und Schürfungen sowie Bodenanalysen ermöglichten. Der Ablauf dieser Arbeiten ließ sich mit Hilfe der Fernsehkameras kontrollieren. Man wollte so genauere Angaben über die Beschaffenheit der Mondoberfläche an ver-

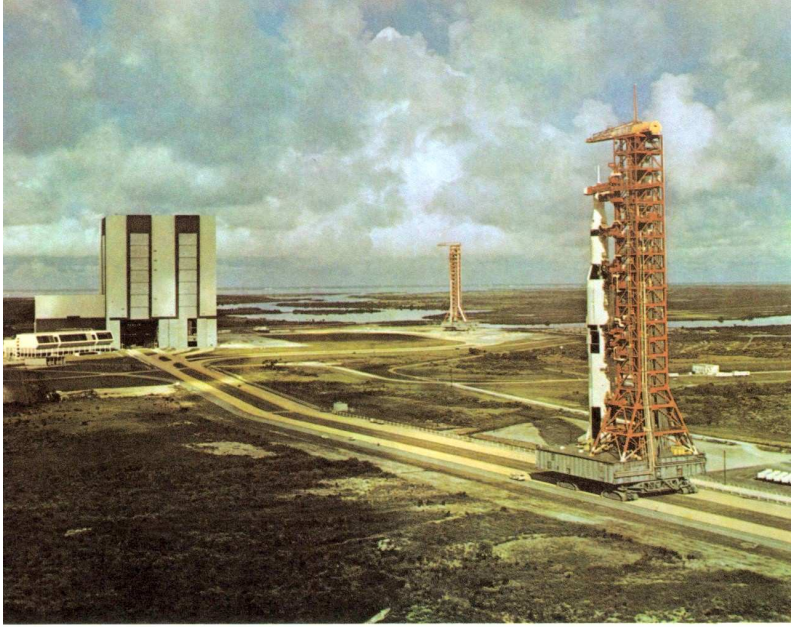
Die von den amerikanischen „Lunar-Orbiter"-Satelliten aus der Umlaufbahn übertragenen Bilder lieferten der Wissenschaft eine vollständige topographische Übersicht der Mondoberfläche. Unser Bild zeigt eine der Aufnahmen von „Lunar-Orbiter-3"; auf ihr ist als größtes Objekt der Krater Kepler (Durchmesser: etwa 32 km) zu sehen



Die dunkler getönten Flächen auf dieser Karte der Mondvorderseite deuten die Lage der Mascons an, die man mit Hilfe der ersten Mondsatelliten entdeckt hat

schiedenen Punkten gewinnen – notwendige Informationen für das „Apollo"-Programm. Mit „Apollo"-Raumfahrzeugen sollten 1969/70 erstmalig Menschen auf dem Mond landen und wieder zur Erde zurückkehren. Die fünf erfolgreichen Raumflugkörper der „Surveyor"-Serie übertrugen bis Anfang 1968 insgesamt rund 80 000 Nahaufnahmen der Mondoberfläche zur Erde. Die besten Bilder zeigten noch Einzelheiten von Millimetergröße und lieferten umfangreiches Material über die Feinstruktur der Mondoberfläche. Außerdem wurde die große Leistungsfähigkeit von Forschungssonden bei der Erkundung fremder Weltkörper erkennbar. Aus heutiger Sicht kann man das Jahr 1966 als das erste große Jahr der Monderforschung mit unbemannten Raumflugkörpern bezeichnen. Von der Sowjetunion und den USA wurden nämlich nun auch Mondsatelliten in Umlaufbahnen gebracht. Der Einflug in die gewünschte Mondumlaufbahn geschieht durch ein Bahnänderungsmanöver, das in einer bestimmten Entfernung vom Erdtrabanten mit Hilfe eines Raketentriebwerks vorgenommen wird. Auch in diesem Fall muß das Antriebsmanöver mit größter technischer Präzision erfolgen. Bei fehlerhafter Korrektur von Flugrichtung und/oder Geschwindigkeit kann der Raumflugkörper auf den Mond stürzen oder in eine völlig unzweckmäßige Umlaufbahn gelangen.

Der sowjetische Raumflugkörper „Luna-10" wurde Anfang April 1966 zum ersten künstlichen Satelliten des Mondes. Seine elliptische



Diese Aufnahme vermittelt einen Eindruck von den extrem hohen technischen Aufwendungen, die die „Apollo"-Raumflüge (USA) erforderten. Links im Hintergrund die Montagehalle (Grundfläche: 180 m mal 210 m, Höhe: 160 m) in Cape Canaveral, Florida; rechts die Trägerrakete „Saturn-5" mit aufgesetztem „Apollo"-Raumfahrzeug (Gesamthöhe: 112 m, Startmasse: 2 890 000 kg) während des Transports zur Startrampe

Umlaufbahn lag zwischen 350 km und 1 017 km Höhe über der Oberfläche des Erdtrabanten. Der Gerätebehälter enthielt Apparaturen zur Untersuchung des Mondes (Magnetometer, Strahlungsmeßgeräte) und des mondnahen Raumes. Von den beiden anderen, ebenfalls 1966 gestarteten sowjetischen Mondsatelliten war „Luna-12" mit einer Foto- und Bildübertragungsanlage ausgerüstet, deren Aufnahmen aufschlußreiche Informationen über die Struktur der kleineren Oberflächenformationen erbrachten.

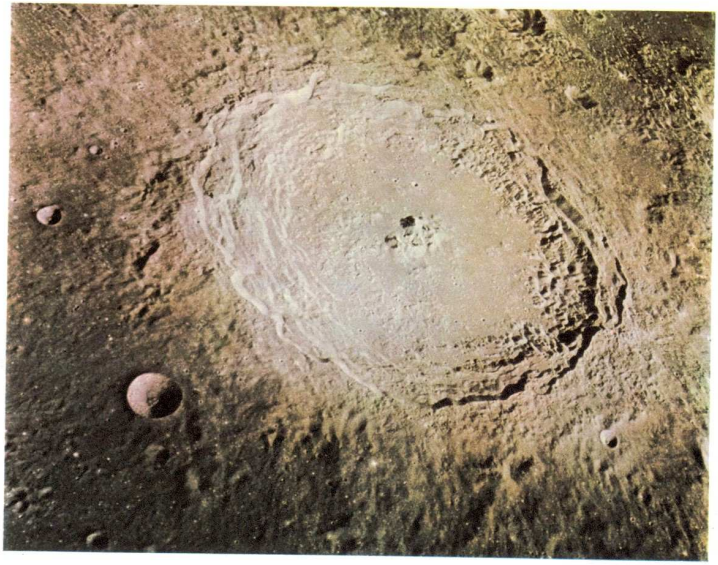
Die amerikanischen Mondsatelliten vom Typ „Lunar Orbiter" dienten hauptsächlich der optischen Vorauserkundung der Landeplätze für das „Apollo"-Programm. Darüber hinaus sollte für die Mondforschung allgemein eine umfassende und genaue Generalkarte der Mondoberfläche geschaffen werden, einschließlich der Mondrückseite und der Polargebiete. Für diesen Zweck waren sämtliche Raumflugkörper der „Lunar-Orbiter"-Serie auf die Übertragung von Mondbildern spezialisiert. Man erhielt mit Weitwinkel- und Teleobjektiven eine Vielzahl von Aufnahmen hoher Qualität. Sie wurden zu einem Kartenmaterial verarbeitet, das etwa 99 Prozent der Mondoberfläche erfaßt. Ein unerwartetes zusätzliches Ergebnis, das für die Mondforschung von großem Wert ist, brachten die sehr genauen Vermessungen der Umlaufbahnen. Man fand winzige Abweichungen im Bahnverlauf, die anzeigten, daß das Gravitationsfeld des Mondes nicht absolut kugelsymmetrisch ist. Die einzige Erklärung dafür ist, daß in bestimmten größeren Gebieten sich unter der Mondoberfläche stärkere Konzentrationen von dichteren Gesteinsmaterialien befinden. Über solchen Bereichen wirkt eine verstärkte

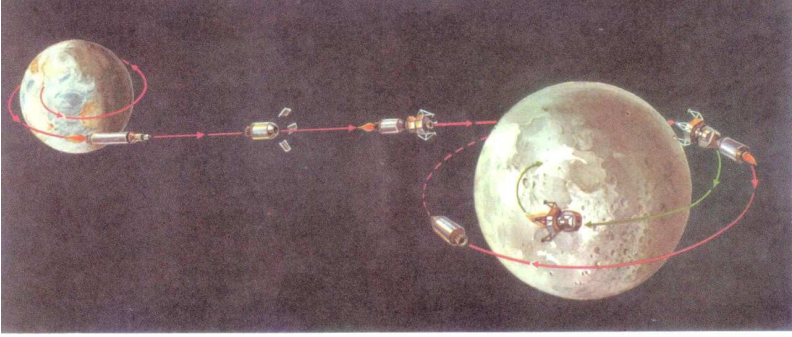
Anziehungskraft, was bei Mondsatelliten Bahnabweichungen hervorruft. Man bezeichnet diese Regionen im Mondkörper als Mascons, in Anlehnung an das englische Wort für Massenkonzentration (mass-concentration). Eine in allem befriedigende Erklärung für diese lunaren Erscheinungen gibt es bisher noch nicht. Auf jeden Fall erhielt man so aber wichtige Aufschlüsse über die innere Beschaffenheit des Mondes, die auch zur Aufklärung der Entwicklungsgeschichte des Erdtrabanten beitragen können.
Die Untersuchungen des Mondes mit Hilfe künstlicher Mondsatelliten wurden von der Sowjetunion und von den USA seither mehr oder weniger kontinuierlich fortgesetzt.

## Projekt „Apollo"

Bei unseren bisherigen Betrachtungen über die Erkundung des Mondes wurde wiederholt das „Apollo"-Programm der USA erwähnt und auch das Ziel dieses großangelegten Vorhabens genannt. Es sollten zum ersten Mal Menschen zum Mond fliegen, dort landen und danach sicher zur Erde zurückkehren.
Betrachtet man nur die rein wissenschaftliche und technische Seite dieses Unternehmens, so muß man es als das bisher größte und zweifellos erregendste wissenschaftliche Abenteuer in der Geschichte der Raumfahrt ansehen. Es bedeutete die Verwirklichung des Grundgedankens der Raumfahrt in seinem ursprünglichsten Sinne: den Menschen als Forscher auf andere Weltkörper zu bringen. Daß für den ersten Schritt in diese Richtung nur der Mond als Zielobjekt in Frage kam, war völlig logisch. Er liegt als einziger Himmelskörper sozusagen direkt vor der „Haustür" der Erde. Die notwendigen Vorauserkundungen waren daher verhältnismäßig leicht durchführbar und die raumflug-

Der in der Mondumlaufbahn verbliebene „Apollo"-Astronaut führte von dort aus Untersuchungen des Mondes durch, zu denen auch Aufnahmen der Mondoberfläche gehörten. Das Bild zeigt den Krater Langrenus, Durchmesser: 135 km



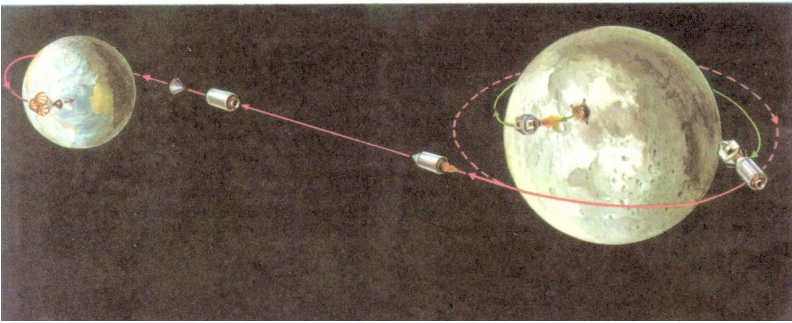


Ablauf eines „Apollo"-Mondlandeunternehmens (schematisch). Oben: Abflug von der Erde, Einflug in die Mondumlaufbahn, Abstieg der Landefähre, Verbleiben der Kommandoeinheit in der Mondumlaufbahn. Unten: Wiederaufstieg des Oberteils der Landefähre mit den Raumfahrern, Kopplung mit dem Kommandoteil, Rückflug zur Erde, Landung der Kommandokapsel

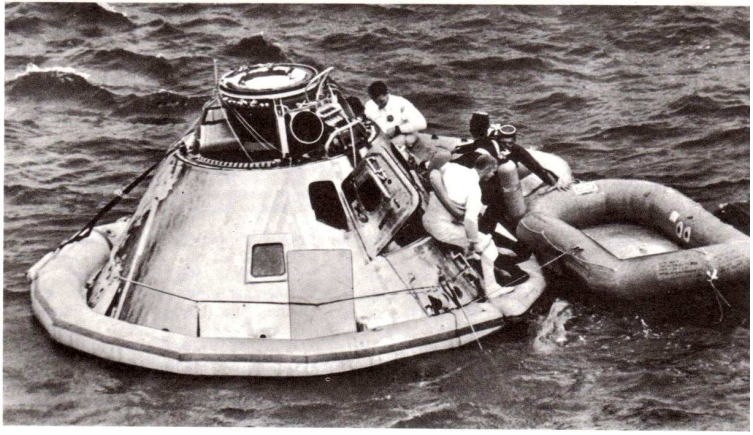
technischen Voraussetzungen für eine Mondlandeexpedition durchaus erfüllbar.

Der tiefere Grund für die großen Anstrengungen, die das „Apollo"-Unternehmen von den USA forderte, war aber in Wirklichkeit gar nicht so sehr die Absicht, der Menschheit einen alten Wunschtraum zu erfüllen. Der Entschluß entstand vielmehr vor dem Hintergrund politischen Prestigedenkens. Diese Tatsache kam auch ganz offen in amerikanischen Verlautbarungen zum Ausdruck. Der schon erwähnte „Sputnik"-Schock der ersten Raumfahrtjahre nach 1957 und vor allem der „Wostok"-Schock nach den Flügen von Gagarin und Titow wirkten in den USA außerordentlich nachhaltig. Man sah durch die sowjetischen Erstleistungen in der Raumfahrt den seit Jahrzehnten von den USA zunehmend vertretenen Anspruch, in Wissenschaft und Technik die führende Macht der Erde zu sein, ernsthaft bedroht.

1961 wurde das Vorhaben, bis 1969/70 US-Raumfahrer als erste Menschen auf dem Mond zu landen und zur Erde zurückzubringen, von dem damaligen Präsidenten der USA, John F. Kennedy, unter der Bezeichnung Projekt „Apollo" offiziell zum nationalen Programm der Vereinigten Staaten erklärt. Um das äußerst aufwendige Vorhaben – es kostete etwa 25 Milliarden Dollar – vor der Öffentlichkeit des Landes einigermaßen vertreten zu können, erfand man eine Begründung. Man sprach von einem „Wettlauf zum Mond", den man gegen die UdSSR unbedingt gewinnen müsse. Den Gedanken eines Wettlaufes von Raumfahrern zum Mond hat es aber in der sowjetischen Raumfahrtwissenschaft niemals gegeben, weil man ein solches Motiv als wissenschaftlich unvertretbar einschätzt. Das ging zwar schon seit längerem aus verschiedenen Verlautbarungen sowjetischer Raumfahrtwissenschaftler



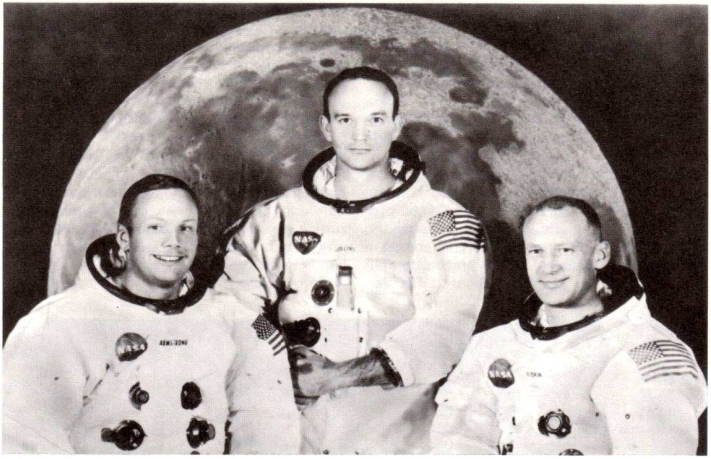
hervor, wurde aber in den USA „übersehen". Die sowjetische Konzeption der Monderkundung mit Raumflugkörpern verfolgt einen anderen Weg als das Programm der USA. Wir werden ihn noch näher kennenlernen.
Für das Projekt „Apollo" brauchten die amerikanischen Raumfahrtspezialisten eine Trägerrakete, deren Antriebsleistung und demzufolge auch Größe alle bis dahin gebauten Raumfahrtraketen um das Vielfache übertraf. Um sie in möglichst kurzer Zeit schaffen zu können, stellte man ein eigenständiges Raketenprogramm auf. In seiner endgültigen Fassung sah es die Entwicklung eines neuen Raketentyps in mehreren Varianten vor: für Vorerprobungen „Saturn-1" sowie „Saturn-1 B" und für den fremden Himmelskörper. Hohmann schlug vor, das aus zwei verschiedenen Funktionseinheiten zusammengesetzte Raumfahrzeug am Zielobjekt zunächst in eine Umlaufbahn einfliegen zu lassen. Danach steigen einige Raumfahrer in das spezielle „Landungsboot" um, trennen sich mit diesem von der in der Umlaufbahn verbleibenden Einheit und gehen dann auf die Oberfläche des Himmelskörpers nieder. Nach Abschluß der Arbeiten kehrt ein Teil des Landegeräts mit den Teilnehmern der Expedition von der Oberfläche in die Umlaufbahn zurück, wo sie an die Haupteinheit ankoppeln und in diese umsteigen. Der Aufstiegsteil des Landegeräts wird dann abgetrennt, und das Raumfahrzeug tritt den Rückflug zur Erde an.



Die Kommandokapseln der „Apollo"-Raumfahrzeuge gingen bei ihren Fallschirmlandungen auf dem Meer nieder

eigentlichen Mondflug „Saturn-5". Letztere sollte das „Apollo"-Raumfahrzeug (etwa 45000 kg) auf den Weg zum Mond bringen.
Die Idee für das Verfahren, nach dem der „Apollo"-Mondflug ablaufen sollte, stammte von dem deutschen Techniker Walter Hohmann. In seinem 1925 erschienenen Buch „Die Erreichbarkeit der Himmelskörper" beschrieb er erstmals die vom Antriebsaufwand her rationellste Methode der Landung auf einem

Das Ab- und Wiederaufstiegsverfahren mit einer Landefähre ging in die Raumfahrtliteratur auch unter der etwas scherzhaften Bezeichnung „Hohmann-Lift" ein.
Nach einer Reihe von Vorauserprobungen und Änderungen des Programmablaufs startete am 21. Dezember 1968 erstmals ein „Apollo"-Raumfahrzeug zum Mond. Es war aber noch keine Landung vorgesehen. Die dreiköpfige Besatzung (Frank Borman, James Lovell, William Anders) sollte lediglich den Einflug in die Mondumlaufbahn sowie das Rückkehrmanöver zur Erde proben.



Die Besatzung von „Apollo-11". Links Kommandant Neil Armstrong, der als erster Mensch seinen Fuß auf die Mondoberfläche setzte. Rechts der Pilot der Landefähre, Edwin Aldrin. Zwischen beiden der Pilot der Kommandoeinheit Michael Collins

Im März und April 1969 folgten zwei weitere Erprobungsflüge. Der erste von ihnen erfolgte im Erdumlauf, wobei fast alle Mondlandemanöver wirklichkeitsgetreu „durchgespielt" wurden. Das Aufsetzen auf dem Mond konnte natürlich nicht simuliert werden. Der nächste Flug war die Generalprobe für das eigentliche Mondlandeunternehmen. „Apollo-10" flog zum Mond und arbeitete dort noch einmal das volle Programm durch, wie schon einmal „Apollo-9" in der Erdumlaufbahn. Die Landefähre gelangte dabei mit den Astronauten Thomas Stafford und Eugene Cernan auf der vorgesehenen elliptischen Abstiegsbahn bis auf etwa 15 km an die Mondoberfläche heran. Beide Testflüge verliefen fehlerfrei und zeigten die Zuverlässigkeit aller „Apollo"-Systeme.

## Die ersten Menschen auf dem Mond

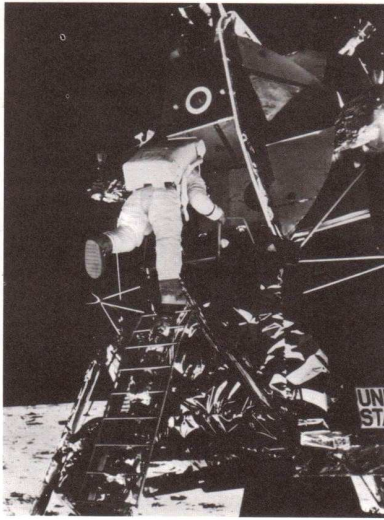
Der Mondflug von „Apollo-11" wurde zum bedeutendsten Erfolg der amerikanischen Raumfahrtwissenschaft. Am 20. Juli 1969, 21 Uhr 47 Minuten 46 Sekunden MEZ, setzte die Landefähre „Eagle" (Adler) mit den Astronauten Neil Armstrong und Edwin Aldrin als erstes bemanntes Raumfluggerät sicher auf der Oberfläche des Mondes auf. Der Landepunkt lag im Mare Tranquillitatis.

Nach der Landung nahmen die beiden Astronauten eine gründliche Überprüfung aller Systeme der Landefähre vor. Geschützt durch einen speziellen Mond-Raumanzug, verließ dann zunächst Armstrong den „Eagle" und setzte am 21. Juli, 3 Uhr 56 Minuten 20 Sekunden (MEZ), als erster Mensch seinen Fuß auf die Oberfläche des Mondes. Das war zweifellos der historische Höhepunkt des Unternehmens. 20 Minuten später folgte Aldrin seinem Kommandanten. Die Raumfahrer stellten einige wissenschaftliche Geräte auf, sammelten etwa 27 kg Gesteinsbrocken und Bodenproben (bis 13 cm Tiefe) und versuchten verschiedene Gangarten, die der verminderten Schwere an der Mondoberfläche angepaßt waren.

Die Außenbordarbeiten der beiden Astronauten wurden mit zwei Fernsehkameras aufgenommen. Durch eine Direktübertragung der Bilder waren Millionen Zuschauer aller Kontinente Augenzeuge dieses erregenden Ereignisses. Nach etwa $1^3/_4$ Stunde kehrte erst Aldrin und

eine halbe Stunde später auch Armstrong in die Landefähre zurück. Der Aufstieg in die Mondumlaufbahn verlief programmgemäß. Dort erfolgte die Kopplung mit der von Astronaut Michael Collins geführten „Apollo"-Kommandoeinheit. Auch der Rückflug zur Erde und die Landung im Pazifik gingen exakt vor sich.
Da man nicht das Risiko eingehen wollte, daß von den Landeastronauten vielleicht doch Mikroorganismen vom Mond zur Erde gebracht werden, mußten sich die drei Raumfahrer unmittelbar nach der Bergung in eine 18 Tage dauernde Quarantäne begeben. Man erhielt jedoch keinerlei Hinweise auf das Vorhandensein lunarer Lebensformen.

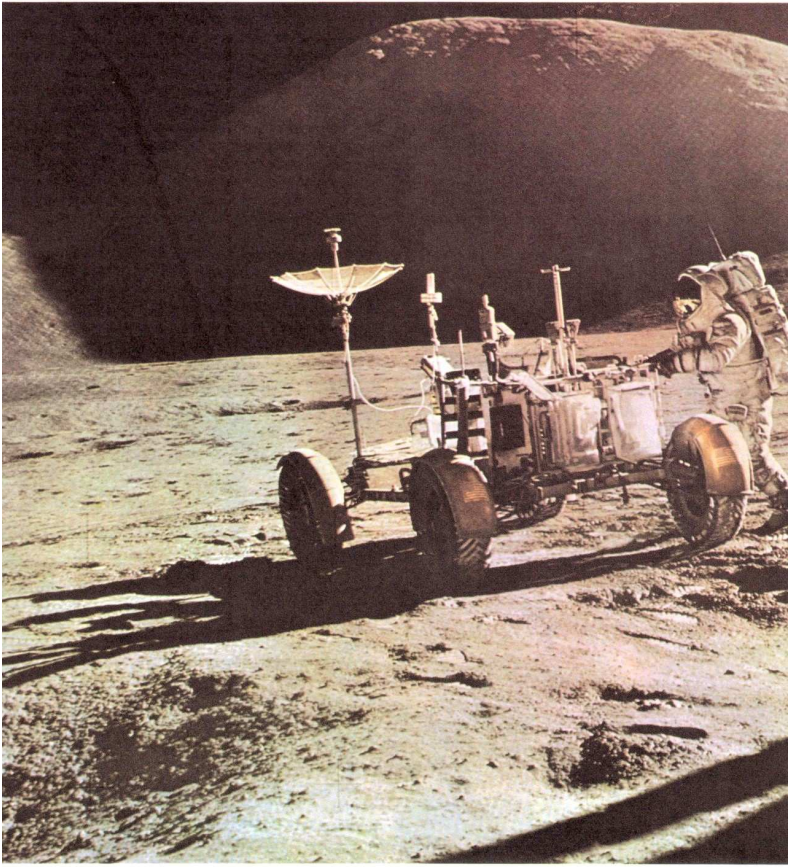
Der ersten direkten Monderkundung folgten noch sechs weitere Unternehmen im „Apollo"-Programm. Bemerkenswert war bei „Apollo-12" (November 1969) die genaue Ziellandung in unmittelbarer Nähe der im April 1967 niedergegangenen Mondsonde „Surveyor-3". Die Astronauten Charles Conrad und Alan Bean bargen die Fernsehkamera von diesem Raumflugkörper sowie ein Stück Kabel, in das vor dem „Surveyor-3"-Start Mikroorganismen eingebracht worden waren. Die späteren Untersuchungen auf der Erde ergaben, daß diese Mikroorganismen auch nach



Edwin Aldrin verläßt die Landefähre über die Ausstiegsleiter (aufgenommen durch Neil Armstrong)

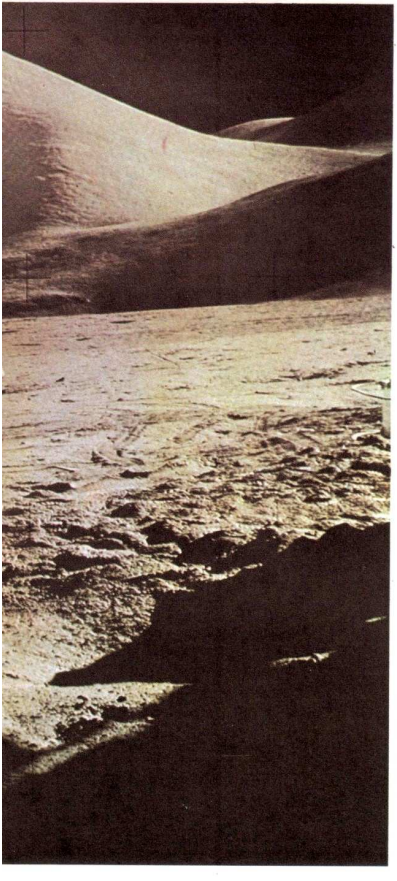
Das elektrisch angetriebene Lunar Roving Vehicle. Es stand den Landeastronauten der letzten drei „Apollo"-Unternehmen für ihre Exkursionen zur Verfügung

dem langen Aufenthalt auf dem Mond noch lebens- und auch vermehrungsfähig waren.
Das Unternehmen „Apollo-13" (April 1970) nahm einen recht dramatischen Verlauf. Durch eine technische Havarie im Energieversorgungssystem gerieten die Astronauten schon auf dem Hinweg zum Mond in sehr bedrohliche Raumnot. Das Landeunternehmen mußte daher von vornherein unterbleiben. Es gelang aber trotz aller Schwierigkeiten, die Raumfahrer nach einfachem Umfliegen des Mondes zur Erde zurückzuführen. Die Notlandung im Pazifik verlief sicher, und die drei Astronauten James Lovell, Fred Haise und John Swigert konnten ohne gesundheitliche Schäden geborgen werden.
Bei „Apollo-15" (Juli 1971) kam zur Unterstützung der Astronauten bei ihren ausgedehnten Mondexkursionen erstmals ein elektrisch angetriebenes Fahrzeug zum Einsatz. Mit diesem Lunar Roving Vehicle legten David Scott und James Irwin eine Gesamtstrecke von rund 30 km zurück.



„Apollo-15"-Astronaut James Irvin mit dem Mond-Rover während einer Exkursion; im Hintergrund der Mount Hadley

Das letzte Unternehmen des „Apollo"-Programms fand im Dezember 1972 statt. Zum ersten Mal nahm dabei ein speziell für die Mondforschung ausgebildeter Geologe, Dr. Harrison Schmitt, an einer Landeexpedition teil. Er und sein Kommandant, Eugene Cernan, legten mit dem Mondfahrzeug bei drei Exkursionen insgesamt 35,8 km zurück. Wie zu erwarten, war die Beteiligung eines wissenschaftlichen Spezialisten für die Ausbeute der



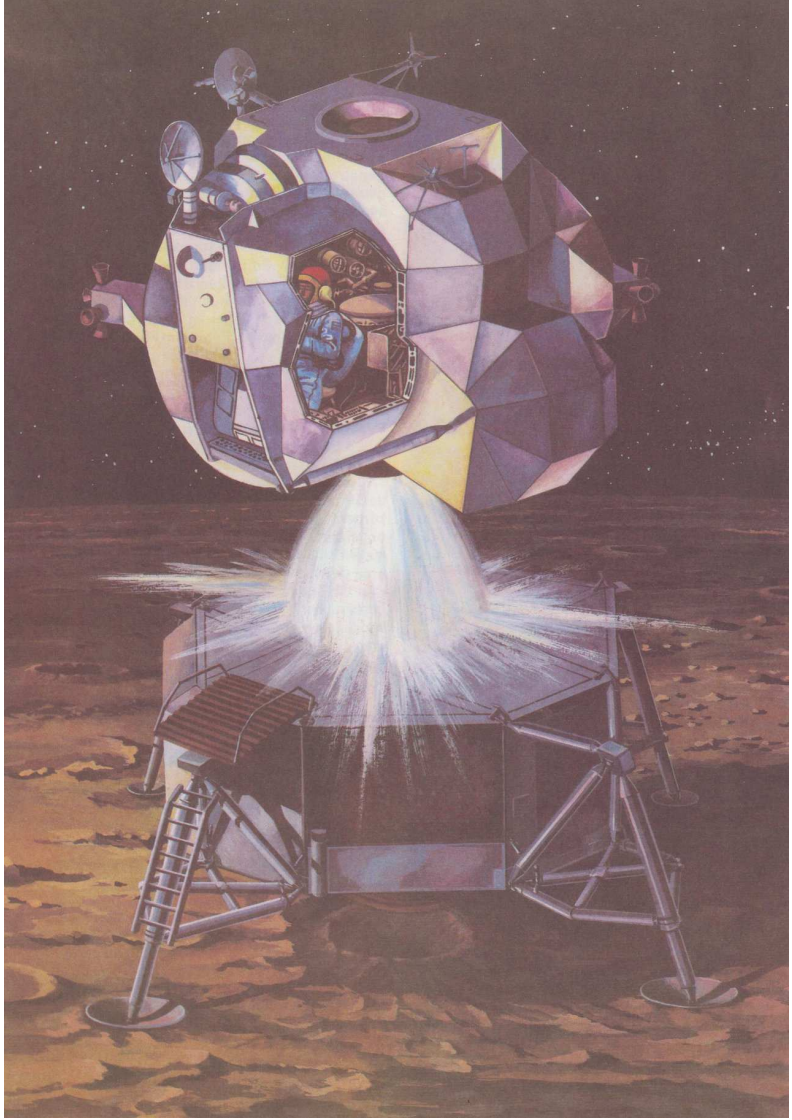
Erkundungsfahrten äußerst wertvoll. Gewiß wird auch in Zukunft der technischen Führung der Raumfahrzeuge die entscheidende Bedeutung zukommen und demzufolge Raumflugspezialisten in der Besatzung notwendig machen. Aber für die Erkundungs- und Forschungsarbeiten einer Mond- oder Planetenexpedition werden sachkundige Wissenschaftler unentbehrlich sein.

Das „Apollo"-Programm brachte der Raumfahrtwissenschaft wertvolle Erfahrungen und Erkenntnisse. Es kann hier nicht auf alle Arten von Untersuchungen und deren Ergebnisse genau eingegangen werden. Nur einiges sei genannt: Die Astronauten haben bei ihren sechs erfolgreichen Landeunternehmen mehrere hundert Kilogramm Gestein von der Mondoberfläche zur Erde gebracht. Einige Proben wurden durch Bohrungen bis zu 2,4 m Tiefe gewonnen. Die eingehenden Untersuchungen des Materials, an der auch Wissenschaftler aus anderen Ländern arbeiten, sind noch immer nicht abgeschlossen. Foto- und Filmaufnahmen trugen ebenfalls dazu bei, genauere Kenntnisse über die Beschaffenheit der Mondoberfläche zu erhalten.

An jedem Landepunkt haben die Astronauten Prismenreflektoren aufgestellt. Diese Geräte leiten von der Erde zum Mond gesandte Lichtblitze (Laserstrahlen) zur Erde zurück. Auf diese Weise kann man über lange Zeit die Bewegung des Mondes in seiner Bahn und die des Mondkörpers um seinen Masseschwerpunkt beobachten. Aus den dabei erzielten Ergebnissen lassen sich Schlußfolgerungen für die Entwicklung des Systems Erde – Mond ziehen. An fünf „Apollo"-Landeplätzen wurden automatisch arbeitende Meßstationen aufgestellt, die teilweise jahrelang ihre Daten zur Erde übermittelten.

Besonders aufschlußreich waren seither die von den Seismometern gelieferten Angaben über die Ausbreitung von Mondbebenwellen im Körper unseres Trabanten. Man erhielt so erste Anhaltspunkte über den inneren Aufbau des Mondes.

Einige Wissenschaftler hatten wohl angenommen, daß man nach den „Apollo"-Flügen praktisch alle wesentlichen Fragen zur Entstehung und Entwicklung des Mondes beantworten könnte. Das war nicht der Fall. Zwar ist manches geklärt worden, aber es tauchte auch eine Reihe ganz neuer Fragen und Probleme auf, deren Beantwortung noch intensiver Forschungsarbeit bedarf. Ob es sich dabei als notwendig erweist, wieder Menschen auf den Mond zu bringen, ist gegenwärtig noch ungewiß. Sicher ist dagegen, daß ein großer Teil der noch erforderlichen Untersuchungen mit unbemannten Mondlandegeräten ausgeführt werden kann.

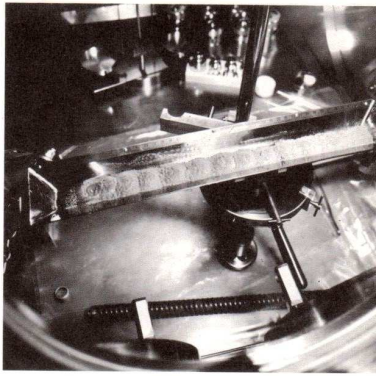


# Mond-Bohrsonden und „Lunochod"-Exkursionen

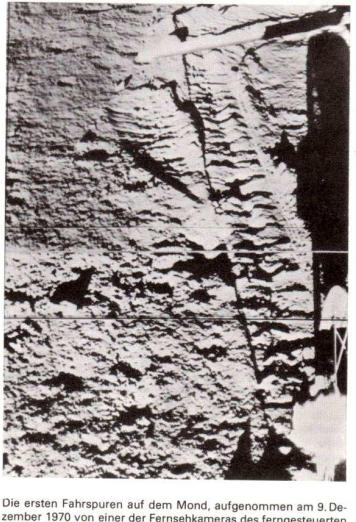
Während das „Apollo"-Programm noch lief, gingen die sowjetischen Raumfahrtwissenschaftler ihren eigenen Weg bei der Erforschung des Mondes weiter und schickten im September 1970 den unbemannten Raumflugkörper „Luna-16" zum Erdtrabanten. Man verwendete dazu eine wesentlich schubstärkere Trägerrakete als zuvor. „Luna-16" sollte auf der Mondoberfläche landen, dort ferngesteuert und halbautomatisch eine Bohrprobe von der Mondoberfläche entnehmen und diese in einer verschlossenen Kapsel zur Erde bringen. Die Mondsonde landete auf einem Federbeingestell weich im Mare Foecunditatis. Ihre Masse betrug rund 1 900 kg. Die Landestufe war mit einem vertikal und horizontal schwenkbaren Ausleger versehen, der die elektrisch betriebene Bohrapparatur trug. Zur Kontrolle des Bohrvorganges befand sich an der Schwenkvorrichtung eine Fernsehkamera. Die Bohranlage wurde von der Erde aus durch Funkkommando ferngesteuert. Da der Ausleger bis etwa 6 m weit reichte, konnte die Bohrprobe von einer Stelle entnommen werden, die beim Landevorgang nicht vom Feuergasstrahl des Bremstriebwerks beeinflußt worden war. Das war wichtig, wenn man bei der späteren wissenschaftlichen Analyse des erbohrten Mondmaterials keine verfälschten Ergebnisse erhalten wollte.

Das Experiment gelang. Der hohle Bohrmeißel wurde mit dem darin befindlichen Mondmaterial (etwa 100 g) in einer hermetisch verschließbaren kugelförmigen Kapsel untergebracht, mit der die Rückstartstufe ausgerüstet war. Der Rückflug zur Erde verlief programmgemäß.

Zum ersten Mal war es gelungen, mit Hilfe eines unbemannten Raumflugsystems Oberflächenmaterial von einem fremden Weltkörper zur Erde zu bringen und damit auch die Möglichkeiten dieses Verfahrens bei der Erforschung des Mondes erkennbar zu machen. Die Untersuchung der Bodenprobe wurde in einem eigens dafür eingerichteten Laboratorium der Akademie der Wissenschaften der UdSSR vorgenommen.

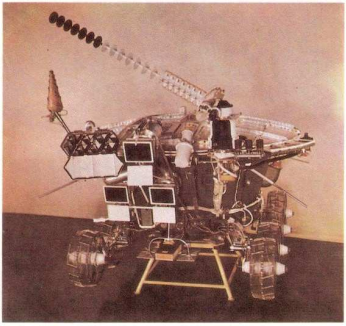


Die von „Luna-20" zur Erde gebrachte Mondbodenprobe wird in einer Vakuumkammer zur Untersuchung vorbereitet

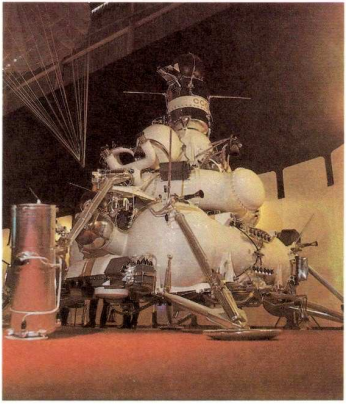


Rückstart der „Apollo"-Astronauten von der Mondoberfläche (schematisch). Das Oberteil der Landefähre wird durch das eingebaute Rückstarttriebwerk in die Umlaufbahn der Kommandoeinheit gebracht. Die Landestufe bleibt auf der Mondoberfläche zurück

Die ersten Fahrspuren auf dem Mond, aufgenommen am 9. Dezember 1970 von einer der Fernsehkameras des ferngesteuerten Mondmobils „Lunochod-1". Aus solchen Fotos konnten die Wissenschaftler zusätzliche Informationen über die Eigenschaften des Materials der Mondoberfläche gewinnen



Die ausgedehnten Exkursionsfahrten von „Lunochod-2" (hier ein Labormodell) erbrachten umfangreiches Material für das Studium der Mondoberfläche. Links neben der oberen Frontkamera der von französischen Wissenschaftlern zugelieferte Laser-Prismenreflektor



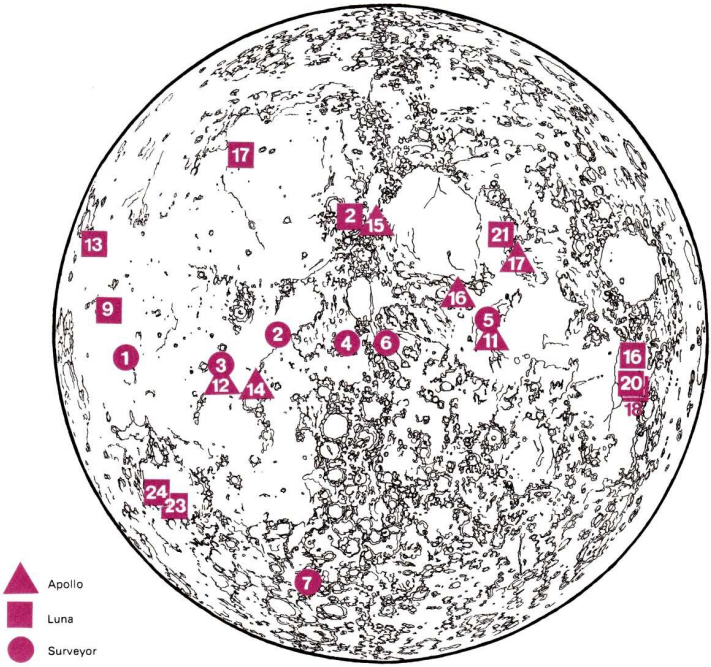
„Luna-16" (hier ein Ausstellungsmodell) bestand aus einer Landestufe mit Federbeingestell und der aufgesetzten Rückstartstufe mit kugelförmiger Eintauchkapsel (im Vordergrund das aufgesetzte Bohrgerät)

Im Februar 1972 fand ein zweites Unternehmen dieser Art statt. Eine kleinere Menge der von „Luna-20" zur Erde gebrachten Bohrprobe aus dem nordöstlichen Randgebiet des Mare Foecunditatis stellte die Sowjetunion diesmal auch Mitarbeitern der Akademie der Wissenschaften der DDR zur Verfügung.

Unmittelbar auf „Luna-16" ließen die sowjetischen Wissenschaftler ein anderes bedeutungsvolles Unternehmen folgen. „Luna-17" setzte im November 1970 das erste unbemannte Forschungsfahrzeug auf der Oberfläche des Erdtrabanten ab: „Lunochod-1", ausgestattet mit Achtradfahrwerk und elektrischem Eigenantrieb sowie zwei Fernsehkameras an der Vorderseite. Das Fahrzeug konnte von der Erde aus ferngelenkt werden. Diese verantwortungsvolle Aufgabe stellte an die vierköpfige Spezialmannschaft hohe Anforderungen. Es mußten viele praktische Erfahrungen gesammelt werden, und die Fahrmanöver geschahen entsprechend vorsichtig.

Die wissenschaftliche Ausrüstung des „Lunochod-1" (Gesamtmasse 756 kg) bestand aus einem Gerät zur Untersuchung der Bodenbeschaffenheit, einer Einrichtung für chemische Analysen des Oberflächenmaterials, mehreren Anlagen zur Untersuchung der solaren und der kosmischen Teilchenstrahlung sowie einem Zenitteleskop für die Messung der von den Fixsternen kommenden Röntgenstrahlung. An jeder Seite des Fahrzeugs war eine Panorama-Bildfunkkamera angebracht, die zusätzliche Informationen über das durchfahrene Gelände lieferte. Außerdem hatte es noch einen Prismenreflektor für genaueste Ortungen des Mondes mit Hilfe von Laserstrahlen. Dieser Reflektor war im Rahmen der sowjetisch-französischen Zusammenarbeit bei der Weltraumforschung in Frankreich gebaut und für die „Lunochod"-Ausrüstung zur Verfügung gestellt worden. Schließlich sei noch ein am Heck befindliches Meßrad erwähnt, das die zurückgelegte Strecke anzeigte und auch Hinweise auf die Bodenbeschaffenheit brachte.

Bis Anfang Oktober 1971 überdauerte „Lunochod-1" die extremen Mondtemperaturen (−140 bis +120 °C) störungsfrei. Sein Temperaturregelsystem war mit einer besonderen Wärmequelle ausgerüstet. Erst als nach elfmonatiger Tätigkeit der Energievorrat dieser Wärmequelle erschöpft war, stellte „Lunochod-1" seine Tätigkeit ein. Das Mondfahrzeug hat viel länger funktioniert, als es seine Schöpfer zunächst für möglich gehalten hatten. Es legte in dieser Zeit 10,54 km auf der Mondoberfläche zurück. Von den Kameras kamen über 200 Panoramaaufnahmen und rund 20 000 Einzelbilder zur Erde. Wissenschaftliche Untersuchungen waren an ungefähr 500




Orte auf der Mondoberfläche, wo Raumfluggeräte weich gelandet sind. Die Zahlen beziehen sich auf die Numerierung innerhalb der jeweiligen Serie

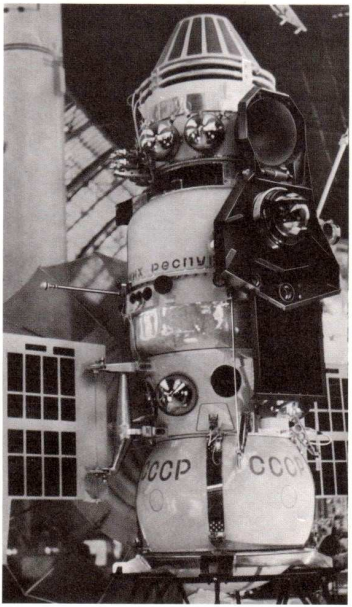
Punkten der Fahrstrecke gemacht worden. Die reichhaltigen Erfahrungen aus dem Experiment mit dem ersten Mondfahrzeug werteten die sowjetischen Wissenschaftler sorgfältig für ein zweites Unternehmen dieser Art aus. Im Januar 1973 brachte „Luna-21" das Mondmobil „Lunochod-2" auf die Oberfläche unseres Trabanten. In seinem allgemeinen Aufbau entsprach das neue Fahrzeug seinem Vorgänger, war aber in einigen technischen Einzelheiten und in der wissenschaftlichen Ausrüstung verbessert und ergänzt worden. So gestattete eine besonders dafür eingerichtete dritte Frontkamera eine wesentlich bessere Fahrzeugführung, was auch in komplizierterem Gelände eine höhere durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit ermöglichte. „Lunochod-2" erkundete das Randgebiet des Mare Serenitatis und legte bis zur Beendigung seiner Tätigkeit Anfang Juni 1973 rund 37 km zurück. Man erhielt neben den Angaben über die Beschaffenheit des durchfahrenen Gebietes rund 80 000 Fernsehbilder der Mondoberfläche sowie umfangreiche Meßreihen über das Magnetfeld des Mondes, die solare Röntgenstrahlung und verschiedene kosmische Leuchterscheinungen.

Die erfolgreichen sowjetischen Experimente mit ortsfesten oder beweglichen unbemannten Monderkundungssystemen machten überzeugend klar, daß mit ihnen ein weit in die Zukunft weisender Weg aufgetan war.

# Raumflugkörper als Planetenforscher

Die Anfänge der raumflugtechnischen Erkundung unserer beiden Nachbarplaneten Venus und Mars haben wir schon kennengelernt. Und wir erfuhren dabei, warum die Planetenforscher ein besonderes Interesse an der wolkenverhüllten Venus hegen. In der Folgezeit waren es vor allem die sowjetischen Wissenschaftler, die sich bemühten, die Geheimnisse dieses Planeten zu enträtseln. Ihr Raumflugprogramm zur Erforschung der Venus wurde 1965 mit einem Zwillingsunternehmen eingeleitet. Von den beiden kurz nacheinander gestarteten „Venus"-Sonden flog die eine, wie geplant, nahe an der Venus vorüber, während die andere als erster Raumflugkörper in die Venusatmosphäre eindrang. Leider verursachte eine Störung der beiden Sonden den Ausfall der Meßwertübertragung zur Erde.

Das nächste Unternehmen brachte dann im Oktober 1967 den ersten vollen Erfolg. Die Meßgerätekapsel von „Venus-4" tauchte in die Atmosphäre des Planeten ein und lieferte Angaben über deren chemische Zusammensetzung sowie deren Druck- und Temperaturverhältnisse. Am wichtigsten war die Feststellung, daß die Venusatmosphäre zu etwa 95 Prozent aus Kohlendioxid ($CO_2$) besteht.

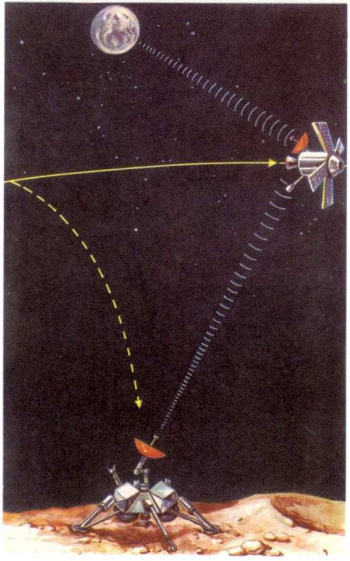



Die Planetensonde „Venus-4" (hier ein Ausstellungsmodell) hatte eine Masse von 1 106 kg, davon entfielen auf die kugelförmige Landekapsel (unten) allein 383 kg. Hinter dem linken Solarzellenausleger ist der entfaltbare Parabolreflektor der Richtantenne zu erkennen

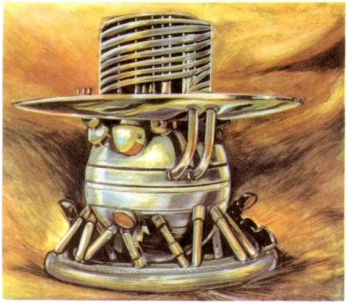
## Landungen auf der Venus

Im Jahre 1969 erfolgte ein weiteres Zwillingsunternehmen, das die mit „Venus-4" erhaltenen Angaben präzisieren sollte. Das Vorhaben war in allen Punkten erfolgreich. Die beiden Kapseln übermittelten Meßwerte aus zwei etwa 300 km voneinander entfernten Gebieten der Venusatmosphäre. Es gelang allerdings auch diesmal noch nicht, Meßwerte unmittelbar von der Planetenoberfläche zu erhalten. Beide Kapseln widerstanden den extremen Temperatur- und Druckbelastungen in Bodennähe offensichtlich nicht. Man kam zu der Schlußfolgerung, daß der Atmosphärendruck an der Venusoberfläche etwa 90- bis 100mal größer ist als auf der Erdoberfläche und die Temperatur Werte über 400 °C erreicht. Die Bestätigung dieser Annahme brachte schließlich „Venus-7", die im Dezember 1970 als erste Sonde funktionstüchtig die Planetenoberfläche erreichte. Sie meldete von dort eine Temperatur von etwa 475 °C und einen Druck von 90 bar (90 kp/cm²).

Empfangsantennen des Forschungsschiffs „Juri Gagarin" der Akademie der Wissenschaften der UdSSR. Für viele Raumflugunternehmen, nicht zuletzt zur Start- und Flugüberwachung von Planetensonden, ist es notwendig, hochempfindliche funktechnische Anlagen auch außerhalb der UdSSR einzusetzen



Übertragung der Meßwerte eines Planetenlanders auf dem Funkwege zur Erde nach dem Lander-Orbiter-Prinzip



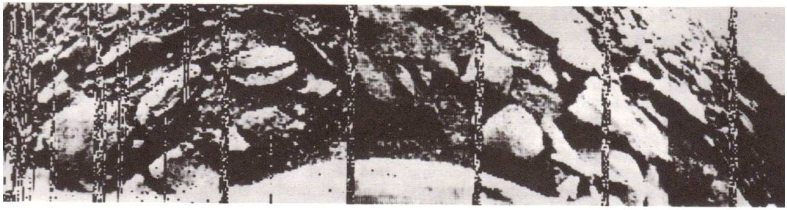
Die Landegeräte der sowjetischen Planetensonden „Venus-9" und „Venus-10" waren zur Minderung des Landeaufpralls mit einem ringförmigen Stoßdämpfersystem ausgestattet. Die eingebauten Geräte sandten etwa 50 Minuten lang Daten von der Planetenoberfläche

Annähernd die gleichen Daten ergaben sich auch bei den sich anschließenden Venuserkundungen.

Die sowjetischen Wissenschaftler werteten die gewonnenen technischen Erfahrungen sorgfältig aus und entwickelten – unter Berücksichtigung der physikalischen Bedingungen an der Venusoberfläche – einen neuen Typ von „Venus"-Landesonden. Neben verschiedenen Messungen wollte man zum erstenmal direkt von der Venusoberfläche Fernsehbilder zur Erde übertragen. Zu diesem Zweck baute man den Raumflugkörper aus zwei verschiedenen Funktionsteilen zusammen. Und so sollte das Unternehmen ablaufen: Der eine Teil schwenkt in eine Umlaufbahn um die Venus ein und verbleibt dort. Man nennt ihn deshalb Orbiter. Der andere Teil, die Landekapsel, trennt sich vom Orbiter, landet und macht am Boden Aufnahmen. Die Bild- und Meßwertsignale werden aber von der Landesonde nicht direkt zur Erde geschickt, sondern gehen zunächst an den umlaufenden Orbiter. Erst von dort beginnt die Funkbrücke zur Erde, weil das Zwischenschalten eines Funkrelais-Satelliten hinsichtlich der Qualität und Zuverlässigkeit der Signalübertragung große Vorzüge hat.

Das Experiment – es war wiederum ein Zwillingsunternehmen – wurde 1975 durchgeführt. Ende Oktober gelangten die Landekapseln von „Venus-9" und „Venus-10" auf die Planetenoberfläche. Die Landepunkte lagen ungefähr 2 200 km auseinander. Etwa 15 Minuten nach dem Aufsetzen lieferten die hinter temperatur- und druckfesten Sichtfenstern arbeitenden Kameras die ersten Bilder von der Venusoberfläche. Sie zeigten einen Panoramaausschnitt von etwa 160 m Breite. Überraschend war die hohe Qualität der Bilder, sie übertraf alle Erwartungen. Das war um so bemerkenswerter, als an der Venusoberfläche Temperaturen herrschen, bei denen beispielsweise Blei und Zinn nur in flüssigem Zustand anzutreffen wären.

Die kontrastreichen Bilder lassen im Nahbereich der Landekapseln Gesteinsbrocken unterschiedlicher Größe erkennen, die bei „Venus-9" vielfach scharfe Spitzen und glatte Bruchflächen aufweisen. Daraus kann man schließen, daß zumindest im Gebiet von „Venus-9" die Vorgänge, die zur Bildung der Gesteinstrümmer geführt haben, nicht allzu lange zurückliegen können und seither auch keine stärkeren Erosionseinwirkungen (Wind, Wasser oder anderes) stattfanden. Eine er-

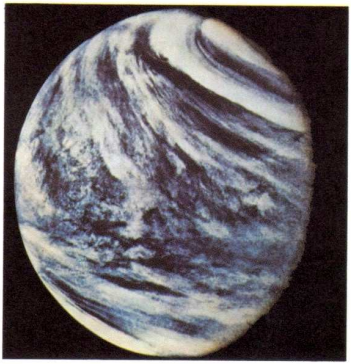


Panoramaaufnahme vom Landepunkt der „Venus-9"-Sonde

schöpfende Auskunft über das Aussehen der Venusoberfläche, vor allem über größere Formationen (beispielsweise Berge), konnte man mit den ersten Aufnahmen natürlich noch nicht erhalten. Sie erbrachten aber den Nachweis, daß Bildübertragungen auch unter so extremen Bedingungen möglich sind.

Wie man mit beschränktem raumflugtechnischem Aufwand ein Maximum an vielfältiger wissenschaftlicher Ausbeute erzielen kann, verdeutlicht das Beispiel des Flugprogramms der amerikanischen Planetensonde „Mariner-10". Die Hauptaufgabe dieses Raumflugkörpers war die Erkundung des Planeten Merkur, der jenseits der Venusbahn um die Sonne läuft. Er wurde jedoch zunächst auf eine Bahn gebracht, die ihn im Februar 1974 zur Venus gelangen ließ. Dort machte die Sonde während des Vorbeifluges 3700 Aufnahmen von der Wolkenhülle dieses Planeten und führte Magnetfeldmessungen aus. Eindrucksvoll und aufschlußreich waren vor allem die mit Spezialfiltern erhaltenen Ultraviolett-Aufnahmen. Sie ließen erstmalig ausgeprägte Wolkenstrukturen und dadurch auch den Zirkulationsmechanismus der Venusatmosphäre erkennen. In den oberen Wolkenschichten wurden Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 350 und 700 km/h festgestellt. Welche Substanzen die Wolkenhülle aufbauen, ist allerdings noch immer nicht restlos geklärt. Wasserdampf und Eis scheiden mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit aus. Ob es sich um kondensierte Schwefelsäuretröpfchen mit kleinen Beimengungen von Fluß- und Salzsäure handelt, ist vorerst nicht mehr als eine Annahme. Wenn es zuträfe, wären die Verhältnisse auf der Venus gegenüber unseren irdischen Bedingungen absolut lebensfeindlich zu nennen.

Der nahe Vorbeiflug an der Venus hatte eine gewollte Wirkung auf den Bahnverlauf von „Mariner-10", die man in der internationalen Fachsprache Swing-by-Effekt nennt. Durch die



Die von der amerikanischen Planetensonde „Mariner-10" gelieferten Ultraviolett-Aufnahmen der Venus brachten den Forschern neue Einblicke in die Physik der Atmosphäre fremder Planeten

Gravitationskraft des Planeten wurde die Bahn so „umgebogen", also hinsichtlich Richtung und Geschwindigkeit verändert, daß der Raumflugkörper genau in Richtung zum Merkur weiterflog. Mit diesem raumflugtechnischen Trick, der sehr große Exaktheit in der Flugsteuerung erfordert, konnten zwei Zielobjekte mit einem einzigen Raumflugkörper nacheinander angeflogen und erforscht werden. Über die Ergebnisse des Merkur-Unternehmens wird an anderer Stelle noch berichtet. Zuvor wollen wir uns dem Mars zuwenden, der in der Planetenforschung, vor allem aber in der phantastischen Raumfahrtliteratur von jeher eine große Rolle gespielt hat, weil er den Menschen in manchem rätselhaft erschien. Diese Rätsel wollten die Wissenschaftler nun mit Hilfe der Raumflugtechnik lösen helfen.

# Überraschungen auf dem Mars

1964 fand die von der Sowjetunion mit „Mars-1" eingeleitete Erkundung des äußeren Nachbarplaneten der Erde mit einem Raumflugunternehmen der USA ihre Fortsetzung. „Mariner-4" sollte während des Vorbeifluges Aufnahmen der Marsoberfläche machen und zur Erde übertragen. Die Wissenschaftler wollten wissen, ob die Oberfläche des Mars tatsächlich erdähnlich beschaffen ist, wie die meisten Fachleute bis dahin annahmen. Sollte das der Fall sein, so waren dort vielleicht sogar Spuren von organischem Leben zu entdecken.
Zum letztgenannten Punkt bestanden widerstreitende Ansichten. Vor der letzten Jahrhundertwende und auch noch einige Zeit danach war man verschiedentlich der Meinung gewesen, bei Beobachtungen von der Erde aus auf dem Mars Erscheinungen zu sehen, die als Spuren der technischen Tätigkeit von intelligenten Marsbewohnern gedeutet werden könnten. Andere Wissenschaftler bezweifelten die Existenz der mysteriösen „Marskanäle" und erklärten sie für optische Täuschungen. Das hat sich inzwischen auch als zutreffend herausgestellt. Unabhängig von der Frage, ob es auf dem Mars intelligente Lebewesen gibt, blieb für die Forschung dennoch zu klären, ob dort nicht wenigstens niedere Lebensformen vorhanden sind. Einige Wissenschaftler hatten sich bemüht, diesem Problem mit den herkömmlichen Hilfsmitteln der astronomischen Forschung beizukommen. Eine zuverlässige Aussage hatten sie jedoch nicht erhalten können.
Den Marsbildern von „Mariner-4" sah man daher mit großen Erwartungen entgegen. Für das zu dieser Zeit technisch noch sehr schwierige Vorhaben hatte man besondere elektronische Bordgeräte entwickelt. Sie sollten die in Funksignale „aufgelösten" Planetenbilder über die Entfernung von etwa 200 Millionen km möglichst störungsfrei zur Erde senden. Das mit „Mariner-4" erprobte und danach weiter verbesserte Verfahren bildet bis heute die Grundlage für alle Bildübertragungen über interplanetare Entfernungen.
Mitte Juli 1965 passierte der Raumflugkörper den Planeten, wobei die geringste Entfernung rund 10 000 km betrug. Die vorgesehenen 22 Aufnahmen gelangen und erreichten auch die Erde in guter Qualität. Sie waren zwar nicht alle von gleich großer Aussagekraft, aber die zehn besten Bilder brachten Klarheit in die wissenschaftliche Diskussion. Zur größten Überraschung der Forscher war die Oberfläche des Mars auf diesen Bildern nicht im geringsten erdähnlich. Was auf ihnen zu sehen war, ließ vielmehr verblüffende Vergleiche mit dem so völlig andersartigen Antlitz des Erdmondes zu. Man konnte flache kraterförmige Gebilde mit Durchmessern zwischen 5 und 70 km erkennen. Die wissenschaftlichen Konsequenzen aus den „Mariner-4"-Entdeckungen waren beträchtlich. Man mußte mit neuen Überlegungen an die Entwicklungsgeschichte der Planeten herangehen, wobei der Erdmond nun nicht mehr ausgeklammert bleiben konnte. Damit erhielt ein alter Streit neuen Stoff: Ist der Mond in seiner Entstehung und Entwicklung ein Folgeprodukt der Entwicklung der Erde, also deren echter Trabant, oder kommt ihm von Anfang an der Rang eines selbständigen Planeten zu, der mit der Erde ein System bildet?
Für die Planetenforschung kam es nun darauf an, das Aussehen der Marsoberfläche möglichst vollständig und bis in ihre Einzelheiten zu erfassen. Die USA entsandten deshalb 1969 zwei weitere „Mariner"-Sonden. Man erhielt 200 aufschlußreiche Aufnahmen. Wichtigstes Ergebnis war die Erkenntnis, daß die Oberfläche

Die von der amerikanischen Planetensonde „Mariner-4" aufgenommenen Bilder der Marsoberfläche zeigten Gebilde, die den Kraterformationen des Mondes ähnlich sind. Vorstellungen von einer weitgehenden Erdähnlichkeit dieses Planeten mußten aufgegeben werden

des Mars doch nicht ganz so mondähnlich ist, wie es die ersten Aufnahmen hatten vermuten lassen. Man fand auf dem Planeten große Gebiete ohne Krater, die wahrscheinlich von dikkeren Schichten Geröll und angewehtem Sand oder Gesteinsstaub bedeckt sind. Derartiges gibt es auf dem Erdmond nicht. Während des Vorbeifluges der „Mariner"-Sonde wurden auch Daten über die Beschaffenheit der Marsatmosphäre gewonnen. Sie besteht aus einem sehr hohen Anteil Kohlendioxid, was sie, ebenso wie die Venusatmosphäre, ganz wesentlich von der gegenwärtigen Zusammensetzung der Erdatmosphäre unterscheidet. Außerdem ist ihre Dichte an der Marsoberfläche so gering wie die Dichte der Erdatmosphäre in etwa 25 bis 35 km Höhe. Bei späteren Erkundungen stellte man fest, daß in dieser extrem dünnen Atmosphäre zeitweilig Luftströmungen mit Geschwindigkeiten bis etwa 400 km/h herrschen, die rund um den ganzen Planeten enorme Staubmengen bis in große Höhen emporwirbeln.

Wie stark solche unvorhersehbaren Marsstaubstürme raumfahrttechnische Erkundungen behindern können, bekamen die sowjetischen und die amerikanischen Wissenschaftler 1971/72 zu spüren. Zum erstenmal ließen sie Raumflugkörper als künstliche Satelliten in Marsumlaufbahnen einfliegen. Es waren die ersten Versuche dieser Art in der Geschichte der Raumflugtechnik. Den Anfang machte Mitte November „Mariner-9", dem Ende November und Anfang Dezember „Mars-2" und „Mars-3" folgten. Zu dieser Zeit tobten in der Marsatmosphäre schwere Staubstürme. Bis Anfang 1972 waren deshalb durch die umlaufenden Raumflugkörper keine brauchbaren Bilder der Marsoberfläche zu erhalten. Das machte erhebliche zeitliche Umstellungen des Erkundungsprogramms notwendig und führte auch zu Informationseinbußen. „Mariner-9" brachte dann aber doch noch ein fast die ganze Marsoberfläche erfassendes Bildmaterial zustande. Sensationellste Entdeckung waren vier riesige Krater, die eindeutig vulkanischer Natur sind und für deren Dimensionen es auf der Erde nichts Vergleichbares gibt. Der größte dieser Vulkangiganten – er wird Olympus Mons genannt – hat einen Basisdurchmesser von etwa 600 km und ragt rund 25000 m über seine Umgebung auf. Weiter stellte man fest, daß auf nur rund 50 Prozent der Marsoberfläche große und kleine Einschlagkrater wie auf dem Mond zu finden sind und es tatsächlich ausgedehnte

Aus den von „Mariner-9" aufgenommenen Fotos ließen sich auch solche globalen Übersichtsbilder der Marsoberfläche zusammensetzen. Rechts oben die nördliche Polkappe des Planeten, nahe dem linken Rand der Planetenscheibe die Kegel der extrem großen Marsvulkane (Aufnahmeentfernung: 13700 km)

Geröll- und Staubflächen gibt sowie Gebiete mit Sanddünen, die zweifellos durch langandauernde Luftströmungen entstanden sein dürften. Und schließlich entdeckte man riesige, tief in die Marsoberfläche eingerissene Gräben, die viele verzweigte Seitentäler haben. Deren Aussehen legt den Gedanken nahe, daß bei ihrer Entstehung Flüssigkeitsströmungen mitgewirkt haben müssen. Der größte Grabenbruch hat eine Länge von rund 5000 km, ist durchschnittlich etwa 150 km breit und weist eine größte Tiefe von etwa 6000 m auf. Nach den bisherigen Erkundungen ist freies Wasser gegenwärtig auf keinem Punkt der Marsoberfläche anzutreffen.

Man hält es jedoch für möglich, daß es im Dauerfrostboden der Polgebiete gebundenes Wassereis gibt.

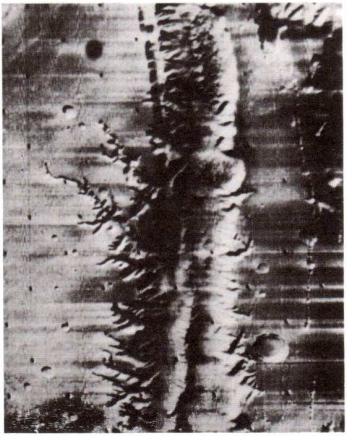
Das Flugprogramm der sowjetischen Sonden „Mars-2" und „Mars-3" sah noch ganz besondere Experimente vor. Von beiden Raumflugkörpern wurde vor ihrem Eintritt in die Marsumlaufbahn jeweils eine Landekapsel abgetrennt, die dann in verschiedenen Gebieten der Marsoberfläche niedergingen. Die zuerst landende Kapsel von „Mars-2" hatte keine wissenschaftlichen Geräte an Bord, sie brachte einen metallenen Wimpel mit dem Staatsemblem der UdSSR auf die Oberfläche des Planeten. Das Landegerät von „Mars-3" war mit Meßgeräten

Die sowjetische Planetensonde „Mars-3" (Masse: 4650 kg) brachte am 2. Dezember 1971 die erste Meßgerätekapsel auf die Marsoberfläche (Landschaft Phaetontis). Die kugelförmige Kapsel befindet sich unter dem kegelförmigen Eintauchbremsschild (oben), im Vordergrund der Parabolreflektor der Richtantenne

und einer Bildübertragungsanlage ausgerüstet. Unmittelbar nach der Landung begann die automatische Aufnahmeapparatur zu arbeiten, und sie sandte auch die ersten Bildsignale zu dem als Funkbrücke dienenden „Mars-3" empor, als der Funkkontakt plötzlich abbrach. Die Ursache war nicht zu klären, aber es wurde angenommen, daß die zu dieser Zeit besonders schwierigen Bedingungen auf der Marsoberfläche die Funktion der Landekapsel gestört haben. So konnten bei diesem Unternehmen leider noch keine Bilder von der Marsoberfläche direkt gewonnen werden. Die „Mars-3"-Aufnahmen ergänzten die mit den „Mariner"-Sonden ermittelten Ergebnisse.

Wie groß die Ungewißheit über das Gelingen von Raumflugunternehmen ist, wurde 1974 erneut deutlich. In der Sowjetunion waren diesmal kurz nacheinander vier „Mars"-Sonden gestartet worden, die dann auch in gewissen Abständen im Nahbereich des Planeten eintrafen. „Mars-5" gelangte durch ein Bremsmanöver programmgemäß in die vorgesehene Satellitenumlaufbahn. Er erfüllte sein wissenschaftliches Programm in vollem Umfang. Dazu gehörten wiederum Bildübertragungen, die wegen der großen Detailschärfe der Aufnahmen eine wertvolle Bereicherung des früher erhaltenen Forschungsmaterials brachten. Auch „Mars-6" trat in eine Umlaufbahn ein, und am 12. März 1974 erreichte eine von ihm abgetrennte Landekapsel als zweites Objekt dieser Art die Planetenoberfläche. Es war eine sehr unangenehme Überraschung, als auch bei diesem Experiment die Übertragung von Nahaufnahmen bald nach dem Aufsetzen ausfiel. Die beiden anderen „Mars"-Sonden flogen in verschiedenen Entfernungen am Planeten vorbei und weiter durch den interplanetaren Raum, weil die Bremsmanöver fehlschlugen.

Jedes einzelne Raumflugunternehmen ist eben ein kompliziertes wissenschaftliches Experiment, für dessen Gelingen es wohl niemals eine absolute Garantie geben kann. Man muß sich bewußt sein, daß jeder Vorstoß in den Weltraum eine von vielen Faktoren abhängige Herausforderung des Menschen an die Natur ist. Daher kann man nicht von jedem Unternehmen einen vollen Erfolg erwarten.

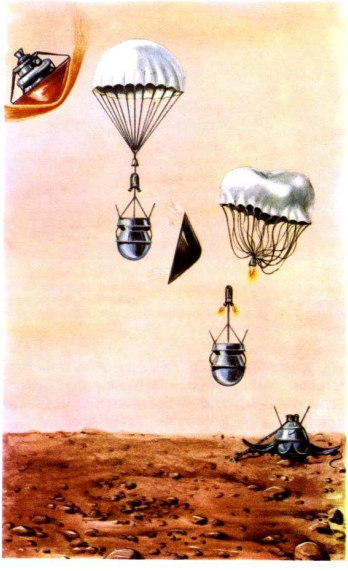


Teil einer der gewaltigen Grabenstrukturen der Marsoberfläche. Die Breite des ungewöhnlichen geologischen Gebildes beträgt ungefähr 120 km (Aufnahme: „Mariner-9", Aufnahmehöhe: 1977 km)

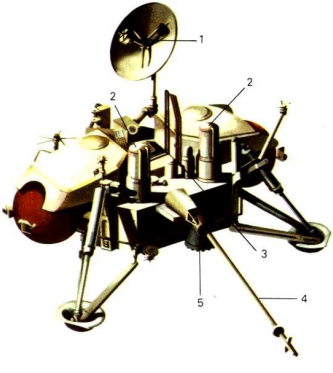
Auch die USA fügten in ihr Programm zur Erforschung des Mars ein Landungsprojekt ein. Es erhielt die Bezeichnung „Viking". Neben anderen, umfassenden Untersuchungen des Planeten als Weltkörper ging es vor allem darum, erstmalig gezielt nach Spuren von außerirdischen Lebensformen, also nach organischen Substanzen auf der Marsoberfläche zu suchen. Schon seit längerem hatte bei den Wissenschaftlern die Ansicht zunehmend an Gewicht gewonnen, unsere Erde sei mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit der einzige lebentragende Planet in unserem Sonnensystem. Man rechnete beim „Viking"-Vorhaben von vornherein mit beträchtlichen Schwierigkeiten, weil man über die Eigenschaften der möglicherweise vorhandenen Organismen nur Vermutungen anstellen konnte. Am wahrscheinlichsten war, daß es sich um niedere biologische Formen handeln könnte, wobei der Begriff „niedere" Form von dem auf der Erde bestehenden biologischen Entwicklungsstand ausgeht.

Im August 1975 startete „Viking-1", etwa drei Wochen später folgte „Viking-2". Beide Raumflugkörper (Masse je 3 460 kg) traten dann Mitte 1976 in Marsumlaufbahnen ein. Jeder bestand aus zwei Komponenten, einem Orbiter, der als selbständiges Forschungssystem und als Funkrelais in der Umlaufbahn verblieb, und einem Landegerät. Der „Viking"-Lander war mit einem Eintauchhitzeschild, einem Fallschirm, drei Bremstriebwerken und einem Landegestell mit Federbeinen ausgestattet. Seine wissenschaftliche Ausrüstung bestand aus zwei Fernsehkameras, einem Seismographen, einem Gerät für Analysen der Marsatmosphäre, einem Gerät zur Bestimmung der Bodentemperatur, mehreren Geräten für meteorologische Untersuchungen, einem Greifarm zur Entnahme von Bodenproben und dem automatischen biologischen Laboratorium. Letzteres arbeitete nach drei unterschiedlichen Verfahren, um nach Möglichkeit gewisse Unsicherheiten ausschließen zu können.

Der erste Lander ging am 20. Juli 1976 im Chryse Planitia benannten Gebiet der Marsoberfläche nieder. Die übertragenen Panoramabilder zeigten ein von kleineren Trümmerbrocken bedeck-

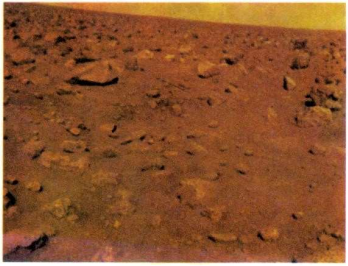


Abstieg der Landekapsel von „Mars-3" (schematisch). Der Eintauchbremsschild schützt die Meßgerätekapsel während der ersten Abstiegsphase; nach dem Abtrennen des Schildes entfaltet sich ein Fallschirm; vor dem Aufsetzen bremst ein Feststofftriebwerk die Fallgeschwindigkeit ab




Aufbauschema des Landegerätes der amerikanischen Marssonden vom Typ „Viking". 1 Richtantenne, 2 Fernsehkameras, 3 Biolaborgerät, 4 Greifarm für Bodenproben, 5 Landetriebwerk

Der innere Marsmond Phobos besteht wie auch der zweite Marsmond Deimos aus dunklem Material, hat eine unregelmäßige Form und zahlreiche Einschlagkrater (Aufnahme: „Mariner-9", Aufnahmeentfernung: 5540 km)



Aufnahme von der Umgebung der „Viking-2"-Landestelle. Das Gesteinsmaterial ist vermutlich vulkanischen Ursprungs. Besondere Beachtung verdient die hellrosa Aufhellung des Marshimmels

tes wüstenähnliches Gelände. Aus den realfarbigen Aufnahmen ergab sich der überraschende Befund, daß der Marshimmel nicht, wie ursprünglich erwartet, mehr oder weniger dunkelblau gefärbt ist, sondern deutlich hellrosa. Als Ursache sieht man den in der Atmosphäre ständig vorhandenen rotgefärbten Feinststaub der Marsoberfläche an. Ähnliche Bilder lieferte die am 4. September 1976 im Gebiet Utopia Planitia gelandete Sonde von „Viking-2". Die Beschaffenheit des Gesteinsmaterials der Oberfläche läßt auf vulkanischen Ursprung schließen. Ferner gibt es auch Anzeichen für eine frühere Einwirkung von Wasser. Die mehrfach wiederholten biochemischen Analysen des Marsbodens brachten an beiden Landeplätzen kein positives Ergebnis. Sie gelten in ihrer Aussage als hinreichend zuverlässig – mit der Einschränkung: daß dieser Befund eines Fehlens früherer oder gegenwärtig bestehender Lebensformen auf dem Mars bisher korrekt nur für die beiden untersuchten Landeorte gilt. Inwieweit dieses Ergebnis auf den ganzen Planeten ausgedehnt werden kann, werden zukünftige Untersuchungen zeigen.

## Jenseits von Venus und Mars

Ein Raumflugkörper, der nahe am Merkur vorbeifliegt, ist während dieser Zeit einer etwa zehnfach stärkeren Sonnenstrahlung ausgesetzt als bei seinem Abflug von der Erde. Das bedeutet in erster Linie eine entsprechend höhere Temperaturbelastung der Planetensonde. Aber auch die solare Teilchenstrahlung ist dort um ein Mehrfaches intensiver als im erdnahen Raum außerhalb der Magnetosphäre. Die wissenschaftlichen und technischen Anlagen des Raumflugkörpers müssen auch unter diesen hohen Belastungen funktionsfähig bleiben.

Geht die Reise über die Marsbahn hinaus, also zunächst zum Riesenplaneten Jupiter hin, gibt es wieder andere Probleme, die gelöst werden müssen. Hier sind es vor allem die außerordentlich großen Entfernungen und die demzufolge sehr langen Flugzeiten. Sie müssen bei der Konstruktion und Ausrüstung der Raumflugkörper bedacht werden, damit diese eine entsprechend große „Lebensdauer" haben. Voraussetzung für das Gelingen eines solchen Unternehmens ist ferner eine hochentwickelte Technik der Meßwertübertragung. Und weil während des Fluges auf der Übergangsbahn die Entfernung von der Sonne ständig zunimmt, sind die sonst üblichen Solarbatterien für den Raumflugkörper ungeeignet. Man muß also andere Bordenergiequellen einsetzen.

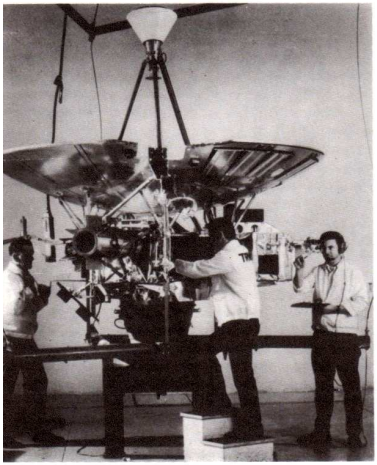
Einige Fakten der ersten Raumflugmission zum Merkur haben wir schon kennengelernt, als wir über die Venuserkundung sprachen. Erinnern wir uns: Im November 1973 war in den USA die Planetensonde „Mariner-10" gestartet worden. Sie flog zunächst programmgemäß zur Venus, stellte dort im Vorbeiflug Untersuchungen an und wurde dann vom Schwerefeld der Venus – durch den Swing-by-Effekt – exakt in eine zum Merkur weiterführende Bahn gelenkt. Dort kam sie im März 1974 an, das heißt, „Mariner-10" passierte den Planeten in einem Abstand von

nur 730 km. Die Bildübertragungsanlage lieferte während des Vorbeifluges über 1 000 Aufnahmen, die auf der Merkuroberfläche noch Einzelheiten von 200 m Ausdehnung erkennen ließen. Was auf den Bildern zu sehen war, entsprach den Erwartungen der Wissenschaftler. Sie waren schon vor dem „Mariner-10"-Flug der Überzeugung, daß die Oberfläche des Merkur Ähnlichkeit mit dem Aussehen der Oberfläche des Erdmondes haben müßte. Wie groß diese Ähnlichkeit tatsächlich ist, hatte man allerdings nicht ahnen können. Eine genauere Betrachtung zeigt merkliche Unterschiede in der Oberflächengestaltung. Der Planet hat z. B. weniger Mareflächen als die Vorderseite des Erdmondes, und sie sind auch nicht so groß.

Von den Untersuchungen, die während des Vorbeifluges gemacht wurden, boten die Magnetometermessungen die größte Überraschung. Danach hat der Merkur ein erheblich stärkeres Magnetfeld, als man zuvor angenommen hatte. Daraus ergab sich die Schlußfolgerung, daß der Merkur einen verhältnismäßig großen Eisenkern haben muß. Er nimmt damit eine Sonderstellung unter den sogenannten inneren Planeten (bis Mars) ein, denn auch der Eisenkern der Erde erreicht eine solche, auf das Verhältnis zum Gesamtvolumen bezogene Größe nicht. Als Folge des kräftigen Magnetfeldes hat der Merkur – wie die Erde – auch eine Magnetosphäre. Sie wirkt ebenfalls als Schutzschirm gegen die Strahlungsteilchen des Sonnenwindes. Weitere Untersuchungen ergaben, daß der Planet eine zwar 750 km hoch reichende, aber nur sehr dünne Gashülle hat, in der Spuren von Edelgasen vorkommen.

Das Programm von „Mariner-10" war mit dem Vorbeiflug am Merkur jedoch noch nicht beendet. Der Raumflugkörper hatte nämlich nach dem Swing-by an der Venus eine elliptische Sonnenumlaufbahn erreicht, die eine Umlaufzeit von 176 Tagen ergab. Das heißt, nach 176 Tagen kehrte „Mariner-10" wieder an den Punkt der Merkurbahn zurück, wo er seinen ersten Vorbeiflug am Planeten gehabt hatte. Und weil der Merkur zu einem Umlauf um die Sonne 88 Tage benötigt, war auch der Planet nach zwei eigenen Umläufen wieder an dieser Stelle seiner Bahn. Beide begegneten sich also

Eine dem Erdmond fast zum Verwechseln ähnliche Oberflächenstruktur hat der sonnennächste Planet, der Merkur. Charakteristisch ist jedoch das Fehlen so zahlreicher und ausgedehnter Mareflächen, wie sie auf der Vorderseite des Mondes zu finden sind. Der größte der auf dem Bild sichtbaren Krater hat einen Durchmesser von etwa 200 km (Aufnahme: „Mariner-10", Aufnahmeentfernung: 200 000 km)



Die beiden amerikanischen Planetensonden „Pioneer-10" und „Pioneer-11" (Masse: je 270 kg) hatten wissenschaftliche Geräte (30 kg) für 20 verschiedene Untersuchungen an Bord

im September 1974 erneut, wie es die Wissenschaftler bei der Planung des Unternehmens vorgesehen hatten. „Mariner-10" zog diesmal in einer Entfernung von rund 48 000 km am Merkur vorbei und machte noch mal 500 Aufnahmen der Planetenoberfläche, vor allem von deren südlicher Hemisphäre. Ein Ergebnis der Bildauswertung war die Entdekkung rippenartiger Strukturen, die man als Folgen einer voranschreitenden Schrumpfung des Planetenkörpers deuten könnte.
Schließlich trafen sich Merkur und „Mariner-10" im März 1975 ein drittes Mal, und weil die Geräte des Raumflugkörpers funktionsfähig geblieben waren, gelangen nochmals rund 1 000 Aufnahmen. Die größte Annäherung betrug bei dieser Passage 319 km.
Nach dem dritten Vorbeiflug wurde die Funkverbindung mit „Mariner-10" eingestellt, weil dessen Gasvorrat für die notwendige Fluglageregelung nicht mehr ausreichte.
Dieses Unternehmen ist ein überzeugendes Beispiel für eine ökonomisch wie wissenschaftlich maximale Nutzung von unbemannten Planetensonden.

# Flugziel: Riesenplanet Jupiter

Der Jupiter ist für die Erforschung der Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte des Planetensystems ein besonders interessantes Objekt. Seine alle anderen Planeten weit überragende Größe und Masse sowie seine besondere physikalische Beschaffenheit lassen ihn eine außergewöhnliche Stellung einnehmen. Er besteht offensichtlich zum allergrößten Anteil aus gasförmigen Substanzen. Ob in seinem Inneren ein fester Gesteinskern existiert, oder ob in größeren Tiefen lediglich ein Kern aus verfestigten Gasen vorhanden ist, kann heute noch nicht entschieden werden. Einige Wissenschaftler schließen nicht aus, daß sich in den tieferen Schichten der Gashülle des Planeten Regionen befinden, in denen organische chemische Verbindungen vorkommen, die möglicherweise bis zur Entwicklung einfachster Lebensformen geführt haben.
Von den hohen technischen Anforderungen an eine Erkundungssonde zum Jupiter war schon die Rede. Zu erwähnen wäre noch, daß die Funksignale eines in Jupiternähe befindlichen Raumflugkörpers wegen der riesigen Entfernung 40 bis 55 min benötigen, um von dort zur Erde zu gelangen. (Signale vom Mond erreichen uns dagegen schon nach rund 1 s). Die Anlagen einer Jupitersonde müssen also vollautomatisch arbeiten.
Um eine größere Wahrscheinlichkeit für das Gelingen einer solchen Erkundung zu erreichen, kann man alle wichtigen Einrichtungen des Raumflugkörpers doppelt ausführen. Man spricht dann von technischer Redundanz. Sie ermöglicht bei Ausfall eines Funktionsteils die Umschaltung auf das Reservestück. Dadurch wird zwar die Anzahl der verschiedenartigen technischen und wissenschaftlichen Systeme enger begrenzt, dafür ein Totalausfall der Sonde weitgehend eingeschränkt.
Nach dem Verfahren der technischen Redundanz wurden die beiden amerikanischen Planetensonden „Pioneer-10" und „Pioneer-11" ausgerüstet, die Ende Februar 1972 und Anfang April 1973 zum Jupiter starteten. Hauptziele der Erkundungen waren die Atmosphäre des Planeten, sein Magnetfeld mit den eingebetteten Strahlungsgürteln sowie die berühmten Galileischen Monde des Jupiter. Über das Vorhandensein von Strahlungsgürteln in einem sehr starken Magnetfeld hatte man zuvor durch

radioastronomische Untersuchungen Kunde erhalten. „Pioneer-10" näherte sich im Dezember 1973 dem Planeten bis auf eine Entfernung von 130 000 km.

Während des Vorbeifluges gelangen mit dem Kamerasystem zahlreiche Aufnahmen des Planeten in verschiedenen Bereichen des Spektrums, die später auf der Erde über elektronische Verfahren zu aufschlußreichen Farbbildern kombiniert werden konnten.

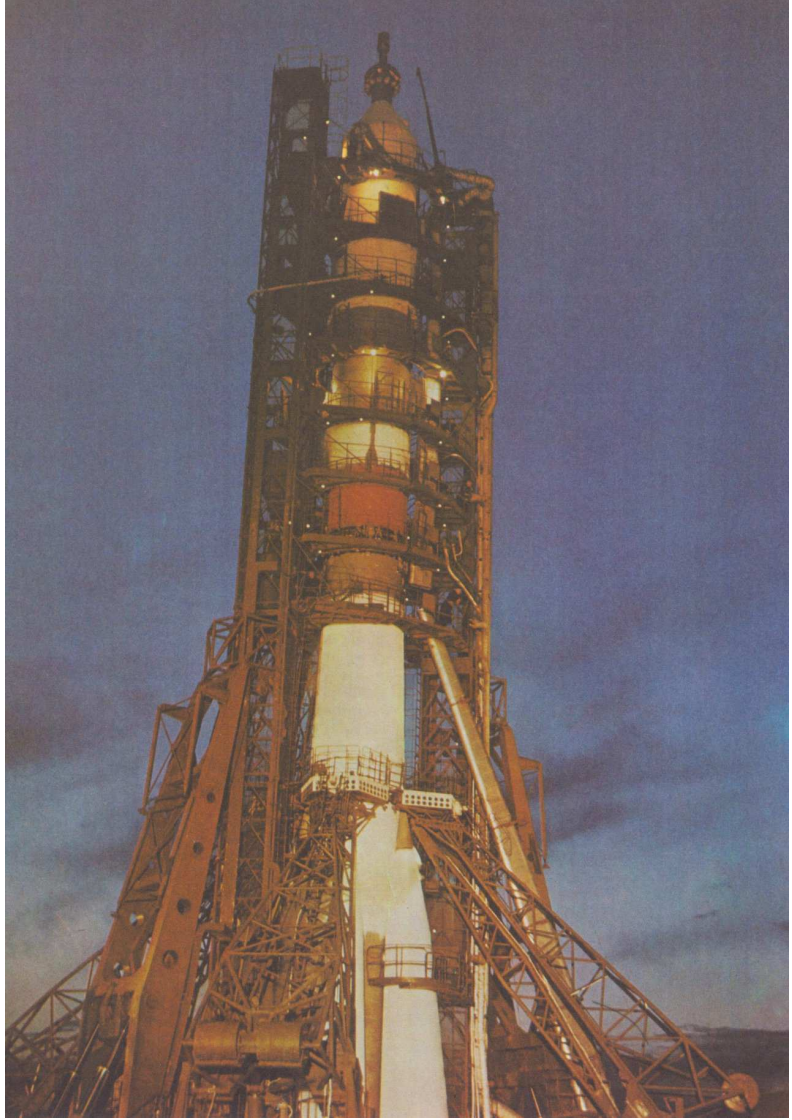
Bei der Auswertung der Aufnahmen fand man, daß die ungefähr 250 bis 300 km dicke Wolkenhülle des Jupiters von heftigen Strömungsbewegungen erfüllt ist. Sie besteht in ihrer obersten (hellen) Schicht aus Ammoniakeiskristallen, darunter liegt eine Schicht aus rötlichbraunen Wolken, die von Kristallen einer Ammoniakverbindung gebildet werden. Noch tiefer vermutet man eine Schicht aus Eiskristallen, auf die ganz unten ein Bereich aus Wassertröpfchen mit Ammoniakbeimengungen folgen soll. Der unter dem Wolkenmantel verborgene eigentliche Planetenkörper ist nach allen bisherigen und darin übereinstimmenden Untersuchungsergebnissen eine sehr schnell rotierende Kugel aus Wasserstoff mit einem kleinen Anteil Helium. Der Wasserstoff geht mit wachsender Tiefe wahrscheinlich vom gasförmigen zum flüssigen und durch den enorm anwachsenden Druck schließlich zum angenähert festen Zustand über.

Eine von „Pioneer-10" aus 2,5 Millionen km Entfernung gemachte Aufnahme des Jupiter. Man sieht Einzelheiten in der gebänderten Wolkenhülle des Riesenplaneten, am linken Rand den berühmten Großen Roten Fleck und weiter rechts den Schatten eines der Jupitermonde

Die riesige Masse des Planeten rief bei der Sonde „Pioneer-10" einen so starken Swing-by-Effekt hervor, daß der Raumflugkörper in eine Bahn gelangte, die ihn 1987 die Umlaufbahn des äußersten Planeten Pluto überschreiten läßt und in den interstellaren Raum hinausführt. „Pioneer-10" wird dann zum ersten Raumflugkörper, der für immer unser Sonnensystem verläßt. Die Flugrichtung weist zum Sternbild Stier, das am herbstlichen Abendhimmel zu sehen ist, und zwar ungefähr auf dessen hellsten Stern Aldebaran. Es wäre allerdings recht utopisch, anzunehmen, daß das von der Erde stammende „schweigende Gerätepaket" irgendwann und irgendwo einmal von intelligenten außerirdischen Lebewesen aufgegriffen wird. Die endlosen und nahezu leeren Weiten des Kosmos machen eine solche Begegnung unwahrscheinlich. Von der Frage, ob im Umfeld des Sonnensystems überhaupt Lebewesen existieren, sei dabei ganz abgesehen. Trotzdem hat man „Pioneer-10" eine Art „Gruß an die Außerirdischen" mitgegeben. Es ist eine Metallplatte, auf der Figuren eingeprägt sind, die einem denkenden Wesen möglicherweise die Herkunft des Raumflugkörpers und die Art seiner Schöpfer verständlich machen könnten.

Die Erfahrungen mit „Pioneer-10" veranlaßten die amerikanischen Raumfahrtwissenschaftler, bei „Pioneer-11" Bahnkorrekturen vorzunehmen, die einen für die Untersuchungen günstigeren Vorbeiflug am Jupiter ergaben. Die größte Annäherung im Dezember 1974 betrug 41 000 km, wobei die Geschwindigkeit des Raumflugkörpers gegenüber dem Planeten bis auf rund 48 km/s (172 800 km/h) anstieg. Das war die größte Geschwindigkeit, die ein Raumflugkörper bisher erreichte. Aus den Meßreihen und Planetenbildern gewann man weitere Informationen über den Riesenplaneten. Der Swing-by-Effekt lenkte den Raumflugkörper diesmal ziemlich steil und in weitem Bogen über die Erdbahnebene hinaus. Dadurch wurden zuvor noch nicht untersuchte Bereiche des Sonnensystems der unmittelbaren Erforschung zugänglich.

Wie sieht es aber mit der Rolle des Menschen bei Forschungs- oder Arbeitsvorhaben im Weltraum aus? Einen Überblick wollen wir uns im nächsten Kapitel verschaffen. Er wird uns zeigen, daß es ein breites und nutzbringendes Arbeitsfeld für den Menschen im Weltraum gibt.



# Von der Raumkapsel zur Weltraumbasis

Walentina Tereschkowa (links) nach ihrer Landung mit der Raumkapsel „Wostok-6", in der sie als bisher einzige Frau der Erde rund drei Tage lang im Weltraum gewesen war

Man kann drei räumlich klar getrennte Aktivitätsbereiche im Weltraum unterscheiden, die dem Menschen mit Hilfe der Raumflugtechnik zugänglich wurden: erstens, den erdnahen Raum, der durch Flüge auf Satellitenbahnen charakterisiert ist; zweitens, das Naherkundungsziel Mond und, drittens, den interplanetaren Raum mit verschiedenen Fernerkundungsobjekten, zu denen außer den Großen Planeten auch die Planetoiden und die Kometen zählen. Alle diese Bereiche stehen im Prinzip sowohl dem Einsatz von unbemannten als auch von bemannten Raumflugkörpern offen. Für bemannte Raumflugsysteme haben allerdings die unterschiedlich großen Entfernungen entscheidende Konsequenzen. Mit zunehmendem Abstand des Forschungsziels von der Erde wachsen die raumfahrttechnischen Aufwendungen und die raumfahrtmedizinischen Erfordernisse ganz enorm an. Man kann deshalb heute noch nicht sagen, ob der Mensch jemals zu fremden Planeten fliegen wird.

Anders im erdnahen Weltraum. Hier gibt es für den Menschen viele Aufgaben, deren Lösungen ihm einen unmittelbaren Nutzen bringen. Das rechtfertigt den Einsatz größerer technischer und ökonomischer Mittel. Dabei kann man von der sehr günstigen Lage ausgehen, daß im erdnahen Bereich alle Erfordernisse eines Raumfahrtunternehmens mit wesentlich größerer Sicherheit und geringerem Aufwand zu erfüllen sind als weiter draußen im Weltraum.

## Die erste „Generation"

Grundlage eines jeden Plans für Weltraumunternehmen, an denen Menschen unmittelbar mitwirken sollen, ist die Entwicklung von lei-

Walentina Tereschkowa wurde am 6. März 1937 in Maslennikowo bei Jaroslawl geboren. 1960 beendete sie ein Studium, danach arbeitete sie als Textiltechnologin. Im Jahre 1963, nach ihrem Raumflug, heiratete sie den Kosmonauten Andrijan Nikolajew. Das erste Kind des Kosmonautenehepaares wurde 1964 geboren

Trägerraketen der Serie „Sojus" gehören heute zur Standardausrüstung der sowjetischen Raumfahrttechnik. Sie gingen als systematische Weiterentwicklung aus den „Wostok"-Trägerraketen hervor und brachten in über 30 Raumflugunternehmen Kosmonauten in erdnahe Umlaufbahnen

Die Kosmonauten der „Wostok"-Raumkapseln (hier Andrijan Nikolajew bei der Flugvorbereitung) trugen während ihrer Flüge über dem hermetischen Raumanzug eine weitere Kombination und besondere Stiefel. Diese boten ihnen zusätzlichen Schutz

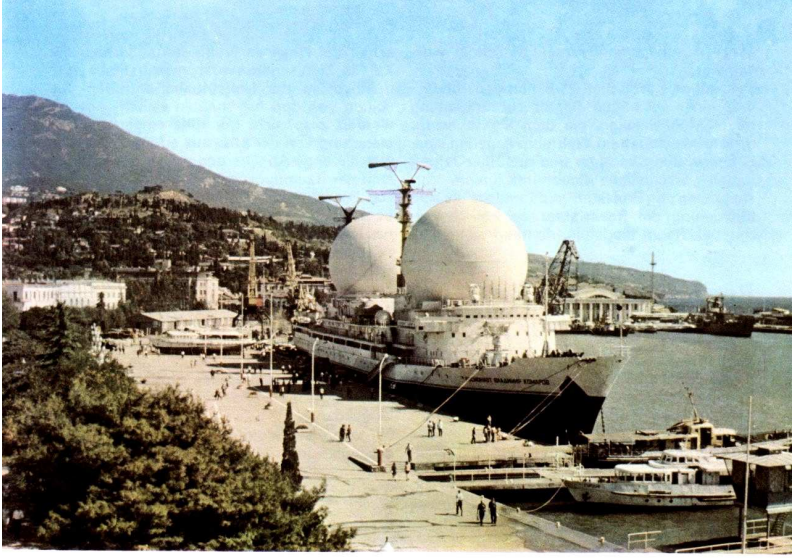
Alexei Leonow wurde bei seinem aufsehenerregenden Ausstieg in den Weltraum von einer automatischen Außenbordkamera aufgenommen

stungsfähigen und betriebssicheren Raumfahrzeugen. Die Konstruktion der Raumfahrtgeräte kann den jeweiligen Spezialaufgaben angepaßt oder aber auf vielseitige Verwendung ausgerichtet sein. Wir haben die ersten Schritte bei der grundlegenden Erprobung bemannter Raumflugkörper schon kennengelernt: die beiden ersten „Wostok"-Unternehmen und das amerikanische „Mercury"-Programm. Die Raumflugkörper beider Serien konnten jedoch noch nicht als echte Raumfahrzeuge gelten. Sie waren technisch noch nicht vollkommen genug, und die Raumfahrer vermochten daher auf das ablaufende Flugprogramm nur wenig Einfluß zu nehmen. Dennoch hat man mit diesen verhältnismäßig einfachen hermetischen Raumkapseln alle wichtigen Anfangsprobleme des Raumfluges von Menschen geklärt. Das waren die Atemluftversorgung, die Regelung der Kabinentemperatur und vor allem die sichere Rückführung des Raumfahrers.

Das „Wostok"-Programm brachte nach den Flügen von Gagarin und Titow in den Jahren 1962 und 1963 noch vier weitere Aufstiege. Das Besondere an diesen Unternehmen war, daß jeweils zwei Raumflugkörper in Abständen von einem Tag oder zwei Tagen nacheinander in die Umlaufbahn gebracht wurden und dann für mehrere Tage gemeinsam im Weltraum blieben. Bei diesen Zwillingsflügen konnten erstmalig vergleichende raumfahrtmedizinische Untersuchungen an zwei menschlichen Organismen vorgenommen werden, die gleichzeitig unter ähnlichen Bedingungen einem Aufenthalt im Weltraum ausgesetzt waren.

Beim zweiten Doppelflug umkreiste zum ersten und bisher einzigen Mal eine Frau die Erde in einem Raumflugkörper. Walentina Tereschkowa, inzwischen mit dem Kosmonauten Adrijan Nikolajew verheiratet, startete mit „Wostok-6" am 16. Juni 1963 und blieb 71 Stunden und 10 Minuten im Weltraum. Sie übertraf damit die Gesamtdauer der Raumaufenthalte aller bis dahin in die Umlaufbahn gelangten amerikanischen Astronauten. Das vielbeachtete Raumflugexperiment führte zu wichtigen raumfahrtmedizinischen Erkenntnissen. Vor allem zeigt sich, daß auch der weibliche Organismus den harten Anforderungen eines Weltraumfluges gewachsen ist. Walentina Tereschkowas Flugpartner, Pawel Bykowski, erreichte mit „Wostok-5" eine Flugdauer von 119 Stunden und 6 Minuten, die bis zum August 1965 unübertroffen blieb.

Die mit den „Wostok"- und den „Mercury"-Raumkapseln gesammelten Erfahrungen wurden sorgfältig ausgewertet. In der Sowjetunion setzte man die systematische Erprobungsarbeit schon im Oktober 1964 mit dem Start von „Woßchod-1" fort. In der Raumkapsel des neuen Typs gelangte zum erstenmal eine dreiköpfige Mannschaft in die Umlaufbahn. Außer dem Kommandanten Wladimir Komarow waren noch der Arzt Boris Jegorow und der Wissenschaftler Konstantin Feoktistow an Bord.



Das Forschungsschiff „Kosmonaut Wladimir Komarow" zählt mit seinen durch Plastkuppeln geschützten Großantennen zu den mobilen Bodenstationen für die Funkverbindung mit Raumfahrzeugen

Die Kosmonauten trugen bei diesem Flug keine Raumanzüge. Das erleichterte die medizinischen Untersuchungen, die Jegorow an seinen Kameraden und an sich selbst vornahm, ganz wesentlich. Gerade diesem Teil des Programms von „Woßchod-1" kam besondere Bedeutung zu; man konnte erstmalig die direkten Beobachtungen eines Mediziners im Weltraum mit den durch Funk übertragenen biomedizinischen Meßwerten kombinieren. Der Landevorgang der rückkehrenden Raumkapsel vollzog sich nach einem neuen Verfahren. Kurz vor dem Aufsetzen traten Feststoff-Bremstriebwerke in Tätigkeit, so daß die Bodenberührung fast stoßfrei verlief. Die Besatzung konnte dadurch bis nach der Landung in der Kabine verbleiben. Dieses Rückkehr- und Landeverfahren wurde beibehalten.

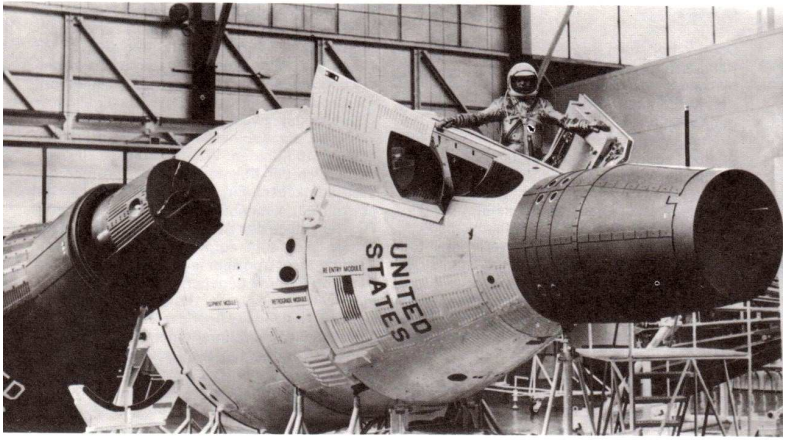
Von noch größerer Bedeutung war das Unternehmen „Woßchod-2", das im März 1965 stattfand. Die Besatzung bestand diesmal aus nur zwei Kosmonauten: Pawel Beljajew und Alexei Leonow. Noch am Tage ihres Aufstiegs lief eine sensationelle Meldung um die Erde. Zum ersten Mal in der Geschichte der Raumfahrt war ein Mensch außerhalb seiner schützenden Kabine frei im Weltraum geflogen. Mit einem speziellen Ausstiegsraumanzug bekleidet und einem Klimatornister für die Atemluftversorgung ausgerüstet, hatte Alexei Leonow während des zweiten Erdumlaufes über eine Schleuse die Kabine verlassen. Sein Freiflug dauerte 10 Minuten. Während dieser Zeit entfernte sich der Kosmonaut etwa 5 m von der Weltraumkapsel. Ein Sicherheitskabel verband ihn mit der Kabine, in der Beljajew über eine Fernsehanlage den Ablauf des ersten Ausstiegs in den Weltraum aufmerksam verfolgte. Der Kommandant trug ebenfalls einen Ausstiegsanzug, um Leonow gegebenenfalls bei einer Havarie helfen zu können. Die Sprechverbindung zwischen beiden lief über das Sicherheitskabel, das auch die Kontrollmeßdaten vom ausgestiegenen Kosmonauten zur Kabine leitete. Von dort wurden sie funktechnisch zur Erde übertragen. Vor seinem Rückstieg in die Kabine montierte Leonow eine außen am Raumflugkörper angebrachte Filmkamera ab, von der das

ganze Ausstiegsmanöver aufgezeichnet worden war.
Das kühne „Woßchod-2"-Experiment bedeutete einen wichtigen Schritt zur Erkundung neuer Möglichkeiten, die dem Menschen für direkte Aktivitäten im Weltraum gegeben sind. Schon in den zwanziger und dreißiger Jahren hatten verschiedene Raumfahrtpioniere Vorstellungen von Projekten veröffentlicht, die eine Mitwirkung der Raumfahrer als frei im kosmischen Raum fliegende Monteure vorsahen.

## Rendezvous der Raumfahrzeuge

Auch in den USA baute man mehrsitzige Raumflugkörper. Allerdings waren diese neuen Raumfahrtgeräte von vornherein für nur zwei Astronauten konstruiert. Man nannte die ganze Serie daher „Gemini"; das ist die lateinische Bezeichnung für das bekannte Sternbild Zwillinge.
Schwerpunkte des im März 1965 mit „Gemini-3" begonnenen Flugprogramms waren zwei Anliegen. Einmal ging es darum, umfangreichere raumfahrtmedizinische Erfahrungen zu sammeln bei Flügen bis zu 14 Tagen Dauer sowie über die Leistungsfähigkeit des Menschen bei längeren Freiflügen außerhalb der Kabine. Zum anderen wollte man erstmals Flugmanöver in der Umlaufbahn erproben. Sie sollten von den Astronauten selbst gesteuert werden, also nicht mit Hilfe einer Funkfernsteuerung von der Erde aus erfolgen. Das Ziel war die enge Annäherung zweier getrennt gestarteter Raumflugkörper.
Das Zusammenführen von unbemannten oder bemannten Raumflugkörpern während des Erdumlaufs wird als Rendezvoustechnik bezeichnet. Die Annäherung geht in der Regel bis zum direkten Kontakt zwischen den beteiligten Fluggeräten, um deren dauerhafte oder wieder lösbare Verbindung (Kopplung) zu ermöglichen. In diesem Fall spricht man von einem Kopplungsrendezvous, sonst von einem Annäherungsrendezvous. Die für die Kopplung erforderlichen technischen Einrichtungen des Raumflugkörpers bilden zusammen den Kopplungsadapter.
Für sehr viele Raumfahrtvorhaben ist die Rendezvoustechnik eine notwendige Vorausset-

Die amerikanischen Raumfahrzeuge der „Gemini"-Serie (links eine „Mercury"-Raumkapsel zum Vergleich) waren für ein umfangreiches Erprobungsprogramm bestimmt. An die zweisitzige Astronautenkabine schlossen sich noch zwei ringförmige Teile mit technischer Ausrüstung an (Bremstriebwerke usw.). Das Raumfahrzeug hatte eine Gesamtlänge von 5,80 m und eine Masse von etwa 3 300 kg



zung. Beispiele hierfür sind der Zusammenbau von Raumstationen aus mehreren großen Einheiten, die Versorgungsflüge zu bestehenden Raumstationen sowie der Aufbau weiterer sehr großer Raumfahrtsysteme für Erkundungsflüge zum Mond oder zu den Planeten. Ein weiteres Beispiel ist der Austausch von Besatzungen zwischen Raumfahrzeugen, unter Umständen bei Rettungsaktionen. Die Rendezvoustechnik wird in Zukunft auch dazu beitragen, die Nutzungsdauer von Erdsatelliten wesentlich zu verlängern, indem defekte oder verbrauchte Bauteile durch einen Wartungsdienst repariert oder ausgetauscht werden.

Jeder Raumflugkörper, der ein Weltraumrendezvous aktiv ausführen soll, braucht für die Bahnänderungsmanöver mindestens ein stärkeres Raketentriebwerk. Daneben müssen für die erforderlichen Lageänderungen des Raumflugkörpers während des Annäherungsvorgangs auch kleinere Triebwerke, Druckgasdüsen oder noch andere Hilfsmittel vorhanden sein. Wenn angekoppelt werden soll, muß ja der Kopplungsstutzen des einen Raumflugkörpers genau auf den des anderen ausgerichtet sein. Besonders kritisch ist bei einem Kopplungsrendezvous immer die letzte Phase der Annäherung, weil dann die Bewegung der beiden Raumflugkörper gegeneinander stets nur sehr behutsam erfolgen darf. Zur Bordausrüstung gehören darum verschiedene Anlagen, mit denen die Besatzung die Annäherung optisch und funktechnisch beobachten und messen kann. Ein entscheidendes Hilfsmittel dafür sind extrem schnell arbeitende elektronische Rechenanlagen, die Kleinstformat haben. Die Feinannäherung kann vom Piloten von Hand gesteuert werden. Sie läßt sich aber auch vollautomatisch ausführen – ein Verfahren, das für das Zusammenführen unbemannter Raumflugkörper unerläßlich ist.

Die „Gemini"-Raumflugkörper waren die erste Generation von vollmanövrierfähigen Raumfahrzeugen der USA. Zwischen März 1965 und November 1966 fanden mit ihnen zehn Flüge statt. Der längste Flug war der von James Lovell und Frank Borman in „Gemini-7" (Dezember 1965). Er dauerte 13 Tage 18 Stunden und 35 Minuten und wurde erst im Juni 1970 übertroffen. Alle „Gemini"-Unternehmen brachten reichhaltige raumfahrtmedizinische Informationen und viele Farbfotos von der Erdoberfläche. Die Auswertung der Aufnahmen ließ erstmals deutlich werden, daß die Sicht aus dem Weltraum völlig neue und äußerst wertvolle Mög-

Ablauf eines Rendezvous-Raumfluges in Erdumlaufbahnen (schematisch). 1 Start des folgenden Raumfahrzeugs, 2 Beginn des Aufstiegs in der Annäherungsbahn, 3 Aufnahme der Radarortung zwischen den Raumfahrzeugen, 4 Funkkontakte für den Zielanflug, 5 und 6 zunehmende Annäherung, 7 Einbremsen des aktiven Partners in die Umlaufbahn des Zielobjekts

lichkeiten für nutzbringende Erkundungen der Festlandgebiete und der Ozeane bietet.

Auch die Rendezvousversuche im „Gemini"-Programm waren insgesamt erfolgreich. Das erste Annäherungsmanöver zwischen zwei bemannten Raumfahrzeugen geschah während des gemeinsamen Fluges von „Gemini-6" und „Gemini-7", die man mit 11 Tagen Abstand gestartet hatte. Die geringste Entfernung zwischen beiden betrug nur 0,3 m. Beim Flug von „Gemini-8" wurde die erste Kopplung mit einem unbemannten Zielsatelliten erreicht. Allerdings gab es danach durch die Fehlfunktion einer Lageregelungsdüse einen ernsten Zwischenfall, den der Kommandant, Neil Armstrong, nur mit Mühe meistern konnte. Jeder Zielsatellit, der vor einem „Gemini"-Start in die Umlaufbahn geschickt wurde, besaß ein leistungsfähiges Triebwerk, das nach der Kopplung vom Raumfahrzeug aus eingeschaltet werden konnte. So wurden für das gekoppelte System größere Bahnänderungen möglich, bei denen „Gemini-11" eine maximale Bahnhöhe von 1 367 km erreichte.

Die Erprobungen der Rendezvoustechnik bildeten eine Vorstufe für das „Apollo"-Mondflugprojekt.

Zum vielseitigen Arbeitsprogramm der „Gemini"-Astronauten gehörten auch Ausstiege und Freiflüge im Weltraum. Als erster amerikanischer Raumfahrer verließ Edward White am 3. Juni 1965 während des Fluges von „Gemini-4" die Kabine seines Raumfahrzeugs. Er blieb 20 Minuten im Weltraum. Bei seinen Bewegungen in der Schwerelosigkeit benutzte er

Zwei Kosmonauten beim Simulationstraining in einer „Sojus"-Pilotenkabine

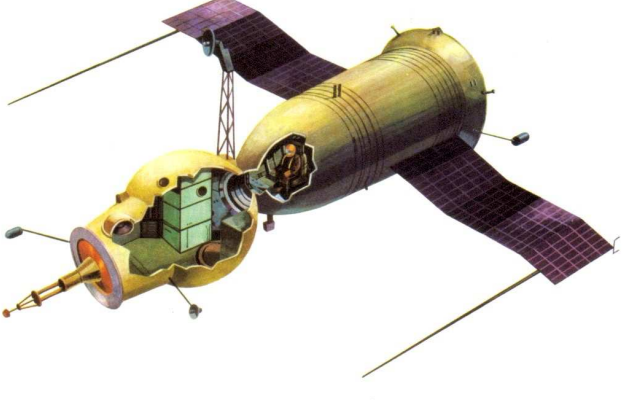
als Antriebshilfe ein Druckgas-Rückstoßgerät, das er mit der Hand hielt. So wie Leonow war auch White durch ein schlauchförmiges Kabel mit dem Raumfahrzeug verbunden. Allerdings hatte er keinen Klimatornister als selbständiges Versorgungsgerät. Er erhielt seine Atemluft vielmehr über den Verbindungsschlauch vom Klimakreislauf der Kabine.

Zum Programm der letzten vier Unternehmen der Serie gehörte jeweils ein Ausstieg. Edwin Aldrin, der spätere „zweite Mann" auf dem Mond, erreichte dabei eine Freiflugdauer von 126 Minuten. Das heißt, er flog mehr als einen ganzen Erdumlauf außerhalb des Raumfahrzeugs und dabei natürlich auch über die ganze Nachtseite der Erde.

## Das vielseitige Raumfahrzeug: „Sojus"

In der Sowjetunion hat man die ersten Raumfahrzeuge von vornherein mit großem Weitblick projektiert. Sie sollten eine möglichst vielseitige Anwendung zulassen und für längere Dauer als Standardgeräte dienen. Das war ökonomisch sehr vorteilhaft, weil man auf diese Weise zu einer kostensparenden Serienfertigung kam.
Es entstand der Raumfahrzeugtyp „Sojus". Er kann vielfältig genutzt werden. Das zeigt sich unter anderem darin, daß die Besatzung wahlweise aus zwei oder drei Kosmonauten bestehen kann – je nachdem, welches Programm zu erfüllen ist. Damit das Raumfahrzeug für einen möglichst breiten wissenschaftlichen und raumflugtechnischen Aufgabenbereich einsetzbar ist, gab man ihm einen völlig anderen Aufbau, als er bei „Gemini" gewählt worden war. Es besteht aus drei Hauptkomponenten: der Rückkehrkapsel, dem Versorgungsteil und der Orbitalsektion. Die Rückkehrkapsel, in der

Aufbau eines „Sojus"-Raumfahrzeugs (schematisch)

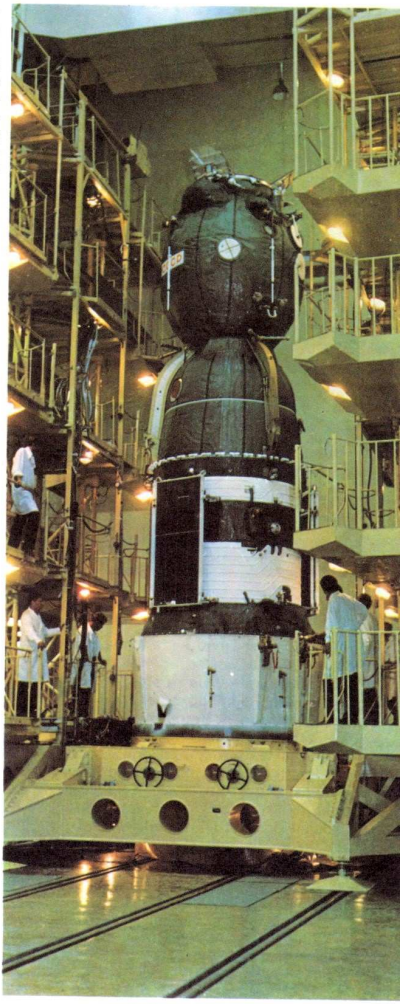


sich die Kosmonauten auch während des Aufstiegs aufhalten, ist der Pilotenraum. Der Versorgungsteil schließt an die Basis dieser Kapsel an. Er trug anfangs entfaltbare Ausleger mit Solarzellen, die das Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln. Im Heck des Versorgungsteils ist ein Triebwerk für Bahnänderungen eingebaut. Die kugelförmige Orbitalsektion steht den Kosmonauten als zweite Kabine zur Verfügung. Zwischen der Orbitalsektion und der Rückkehrkapsel befindet sich eine Verbindungsluke mit einem hermetisch schließenden Lukendeckel. Vor der Rückkehr der Kosmonauten zur Erde wird dieser Lukendeckel geschlossen, anschließend der Bremsvorgang für den Abstieg eingeleitet und dann zunächst die Orbitalsektion abgetrennt. Während die Rückkehrkabine am Fallschirm zur Erde gelangt, verglühen Orbitalsektion und Versorgungsteil beim Eintauchen in die Atmosphäre.

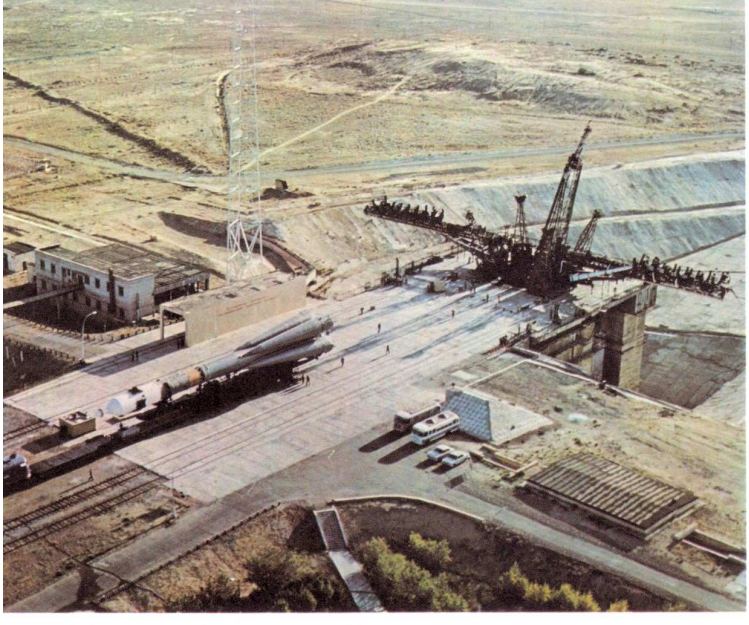
Vor jedem Start kann man die Orbitalsektion durch veränderte Einbauten und zusätzliche Ausrüstung sehr verschiedenen Aufgaben des „Sojus"-Gesamtprogramms anpassen. Sie wird dadurch zum wissenschaftlichen Laboratorium, zum Arbeitsraum für technische Versuche oder auch zum Observatorium für die Beobachtung des Weltraums und der Erde. Außerdem dient die Orbitalsektion den Kosmonauten als Schlaf- und Erholungsraum sowie als Trainingsraum für die gymnastischen Übungen. Für Ausstiege in den Weltraum ist sie mit einer besonderen Luke ausgestattet. Wenn ein Kosmonaut das Raumfahrzeug verlassen will, schließt er zunächst die Luke zur Rückkehrkabine, damit deren Atemluft erhalten bleibt. Dann erst öffnet er die Ausstiegsluke und verläßt das Raumfahrzeug. Dem Wiedereinstieg folgt das Schließen der Außenluke. Ist aus den Vorräten des Raumfahrzeugs wieder Atemluft in die Orbitalsektion eingeströmt, kann auch die Innenluke geöffnet werden. Der Orbitalsektion ist schließlich noch ein Kopplungsadapter für Rendezvousexperimente aufgesetzt.

In den „Sojus"-Raumfahrzeugen wird eine Atemluft verwendet, wie wir sie von der Erde her gewohnt sind.

Die Rendezvousexperimente der „Sojus"-Serie begannen im Oktober 1968. Georgi Beregowoi führte mit „Sojus-3" automatisch und handgesteuerte Annäherungsmanöver an den noch unbemannt fliegenden Raumflugkörper



„Sojus"-Raumfahrzeug bei der Endkontrolle in der Montagehalle



Eine Trägerrakete mit aufgesetztem „Sojus"-Raumfahrzeug wird zur Starttrampe gefahren (Kosmodrom Baikonur)

„Sojus-2" aus. Zuvor hatte man schon im Oktober 1967 das erste automatisch gesteuerte Kopplungsrendezvous zwischen zwei unbemannten Raumflugkörpern („Kosmos-186" und „Kosmos-188") erreicht. Ein Erfolg, der in der Fachwelt höchste Anerkennung fand, weil er für die weitere Entwicklung der Raumfahrt von großer Bedeutung war. Im Januar 1970 kam es dann zum ersten Kopplungsrendezvous zweier bemannter Raumfahrzeuge des „Sojus"-Typs. Dabei stiegen Jewgeni Chrunow und Alexei Jelissejew außenbords von „Sojus-5" nach „Sojus-4" um und kehrten in diesem von Wladimir Schatalow gesteuerten Raumfahrzeug zur Erde zurück.

Im Oktober 1969 starteten innerhalb von 48 Stunden drei „Sojus"-Raumfahrzeuge zu einem gemeinsamen Erprobungsprogramm, das mehrere Annäherungsmanöver einschloß. Im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Arbeiten standen geographische und ozeanographische Erkundungen der Erde, meteorologische Untersuchungen sowie astronomische und astrophysikalische Forschungen. Weltweites Aufsehen erregten Schweißversuche an Bord von „Sojus-6". Sie waren die ersten ingenieurwissenschaftlichen und fertigungstechnischen Untersuchungen im Weltraum. Von der Weiterentwicklung solcher Untersuchungen zu einer besonderen „Technik im Weltraum" verspricht man sich heute einen großen Nutzen.

Mitte 1970 stellten Adrijan Nikolajew und Witali Sewastjanow mit einem Flug von 17 Tagen 16 Stunden und 59 Minuten einen neuen Dauerrekord auf. Die Erfahrungen dieses Langzeitfluges ergaben, daß raumfahrtmedizinisch noch einiges getan werden mußte, wenn die Kosmonauten bei späteren, noch längeren Flügen eine anhaltend gute körperliche Verfassung haben sollen. Ein besonderes Problem bildete dabei die Rückanpassung der Kosmonauten an die Schwere auf der Erde.

# Raumstationen – Stützpunkte im Weltraum

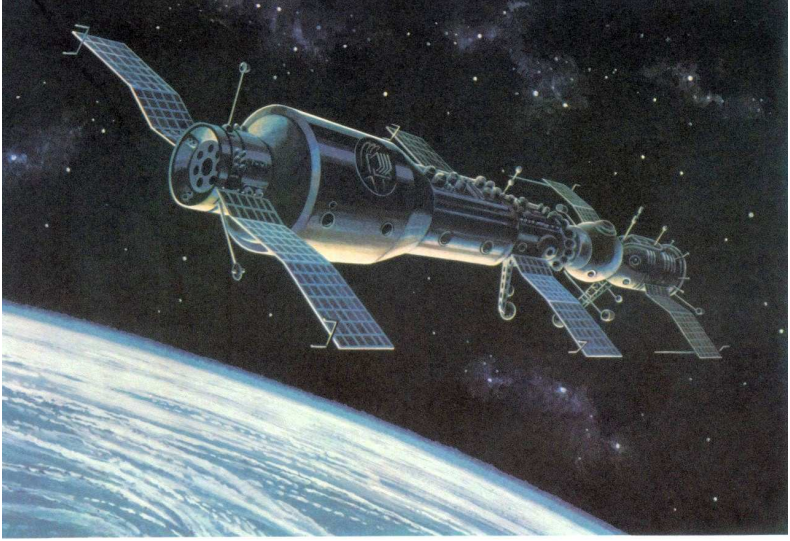
Ein neuer Abschnitt in der Geschichte der Raumfahrt begann im Jahre 1971. Am 19. April brachte eine in der Sowjetunion gestartete Trägerrakete einen neuartigen Raumflugkörper in eine Umlaufbahn zwischen 200 und 220 km Höhe: „Salut-1". Das Gerät war unbemannt, hatte die beträchtliche Masse von etwa 18000 kg („Sojus" rund 6800 kg) und setzte sich aus mehreren Bauteilen zusammen. Die beiden zylindrischen Hauptkomponenten hatten Durchmesser von 3 m beziehungsweise 4 m, ihr Innenvolumen betrug insgesamt 100 $m^3$. Am Ende des kleineren Zylinders befand sich ein Schleusentunnel von 2 m Durchmesser, der in einen Kopplungsadapter überging. Am anderen Ende des Raumflugkörpers war ein Bahnkorrekturtriebwerk mit Treibstoffbehältern eingebaut. Bug- und Heckteil trugen entfaltbare Solarzellenflächen für die Versorgung mit elektrischer Energie.

„Salut" ist der erste sowjetische Erprobungstyp einer neuen Kategorie von bemannten Raumflugkörpern, deren Grundidee auf den Arbeiten Ziolkowskis und anderer Raumfahrtpioniere der zwanziger und dreißiger Jahre fußt. Schon damals schlug man für die zukünftige Raumfahrt den Bau von Großsatelliten vor, die längere Zeit um die Erde kreisen. Diese Raumflugkörper sollten einer mehrköpfigen Besatzung als Weltraumstützpunkt für wissenschaftliche Untersuchungen und als Zwischen- und Umsteigestation für Expeditionen zum Mond und zu den Planeten dienen. Für solche bemannten dauerhaften Großsatelliten entstand seinerzeit die Bezeichnung Außenstation (der Erde) und der noch heute übliche Fachbegriff Raumstation. Häufig verwendet man gegenwärtig auch die fremdsprachliche Bezeichnung Orbitalstation.

Seit den Pioniertagen der Raumfahrt wurden zahlreiche Vorschläge für Raumstationen veröffentlicht. Um derartige Projekte verwirklichen zu können, mußten jedoch erst die erforderlichen raumflugtechnischen Hilfsmittel geschaffen werden. Wenn eine Raumstation geplant ist, deren Ausmaße und Masse über das Leistungsvermögen einer einzelnen Trägerrakete hinausgeht, dann kann sie nur mit Hilfe des Rendezvousverfahrens in der Umlaufbahn aus einzeln hinaufgebrachten Bauteilen (Moduln) nach und nach aufgebaut werden. Auch eine kleinere und gleich vollständig in die Bahn gebrachte Raumstation wird unbemannt gestartet und ihre Besatzung später hinauftransportiert. Während die Raumstation in der Umlaufbahn bleibt, kann die Mannschaft mehrfach wechseln. Mit anderen Worten, man braucht einen zuverlässigen Pendelverkehr Erde–Raumstation–Erde, der die Rendezvoustechnik als Grundlage hat. Der hohe Nutzungswert von Raumstationen steht seit langem fest, und so sind die intensiven Bemühungen der sowjetischen und der amerikanischen Raumfahrtforschung bei der Entwicklung der Rendezvoustechnik verständlich.

Die vielen wissenschaftlichen, technologischen und raumflugtechnischen Nutzungsmöglichkeiten einer Raumstation können hier nicht bis ins einzelne beschrieben werden. Begnügen wir uns mit einer Zusammenstellung der wichtigsten Anwendungsbereiche.

1. *Raumstation als Stützpunkt für Erdforschung und Erderkundung*
   - Meteorologie (Wettervorhersage, Unwetterwarndienst, Physik der Atmosphäre)
   - Geophysik (Magnetfeldmessungen, Erdbeben- und Vulkanwarndienst)
   - Geodäsie (Vermessung der Erde, Kartenwerke für See- und Luftverkehr)
   - Geologie und Hydrologie (Erkundung von möglichen Rohstofflagerstätten und der Wasserführung auf und unter der Erdoberfläche)
   - Geographie (Unterlagen für die wirtschaftliche Erschließung von Entwicklungsländern)
   - Ozeanologie (Meeresströmungen, Polareisdrift, Fischereigebiete)
2. *Raumstation als Stützpunkt für Kosmosforschung*
   - Astronomie und Astrophysik (kosmologische Untersuchungen in allen Bereichen der elektromagnetischen Strahlung)
   - Sonnenphysik (energetische Vorgänge in der Sonne, Einflüsse der solaren Strahlungen auf die Erde)
3. *Raumstation als wissenschaftliches Laboratorium und technologische Fertigungsstätte*
   - Physik (Grundlagenforschung bei andauernder Mikrogravitation, Höchstvakuum und Tiefsttemperaturen)
   - Chemie (Entwicklung chemischer Substanzen höchster Reinheit für spezielle pharmakologische oder technische Zwecke u. a.)
   - Biologie und Medizin (Forschungen über bio-



„Salut"-Raumstation der ersten Serie mit angekoppeltem „Sojus"-Raumfahrzeug (rechts). Diese „Salut"-Variante hatte noch vier starre Solarzellenausleger. Danach ging man zu drei Auslegern über, die ständig auf die Sonne ausgerichtet bleiben. Die Zubringerraumfahrzeuge „Sojus" sind nicht mehr mit Solarzellenflächen ausgestattet

logische Funktionen von Lebewesen unter Weltraumbedingungen, Erkenntnisse über neue medizinische Heilverfahren u. a.)

– Technik/Technologie (Entwicklung neuartiger Werkstoffe und Fertigungsverfahren, z. B. Halbleitersubstanzen und Reinstkristalle für elektronische Zwecke)

4. *Raumstation als Stützpunkt für Raumfahrtforschung und spezielle Raumfahrtaktivitäten*

– Raumfahrtbiologie und Raumfahrtmedizin (Grundlagenforschung zur Physiologie und Psychologie des Menschen bei Raumflügen mit Nahe-Null-Gravitation oder Ersatzgravitation durch Fliehkraftandruck)

– Weltraumbetriebstechnik (Wartungsarbeiten an unbemannten Nutzsatelliten u. a.)

– Weltraummontagetechnik (Aufbau und Ausrüstung großer technischer Systeme in Erdumlaufbahnen, z. B. Raumbasen, Energiestationen u. a., sowie großer Raumfahrzeuge für die Mond- oder Planetenerkundung)

Raumstationen bieten also ein breites Betätigungsfeld für Wissenschaft und Technik. Bei vielen physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen wird man völliges Neuland vor sich haben. Auch die Entwicklungsmöglichkeiten einer neuartigen Weltraumtechnik oder Fertigungstechnologie im Weltraum können heute noch nicht genau eingeschätzt werden. Es gibt Vorhersagen, nach denen es im Weltraum einmal gewaltige Produktionsstätten geben soll, in denen Bedarfsgüter serienmäßig produziert werden. Solche Vorstellungen sind gewiß übertrieben. Dennoch dürfen wir von der Arbeit in Raumstationen viele bedeutende Beiträge für Wissenschaft und Technik sowie speziell für erdbezogene Nutzanwendungen erwarten.

Als 1971 „Salut-1" in die Umlaufbahn gelangt war, stieg vier Tage später „Sojus-10" auf und führte ein Kopplungsrendezvous aus. Damit war die erste experimentelle Raumstation technisch komplett. Ein Überstieg der Besatzung erfolgte allerdings noch nicht. Diesen Schritt tat man im Juni, nach dem Aufstieg von „Sojus-11". Die Kosmonauten Georgi Dobrowolski, Wladislaw Wolkow und Wiktor Pazajew blieben 24 Tage in der Raumstation. Zu ihren Aufgaben zählten technische Kontrollen

der Stationsanlagen, verschiedene raumfahrtmedizinische Untersuchungen, Erprobungen raumfahrttechnischer Neuerungen und wissenschaftliche Erkundungen der Erde. Die reichhaltigen Ergebnisse dieses Unternehmens waren nicht zuletzt den hervorragenden Leistungen der Besatzung zu verdanken. Es konnten viele wichtige Erkenntnisse für die weitere Entwicklung von sowjetischen Raumstationen gewonnen werden.

Die große Bedeutung, die man diesem Programm beimißt, wurde erstmals 1974 deutlich. Auf das im Juni gestartete Stationsmodul „Salut-3" folgte schon im Dezember „Salut-4". Beide wiesen gegenüber ihren Vorläufern zahlreiche Verbesserungen auf. So hatten sie nur noch drei Solarzellenausleger, die aber drehbar gelagert waren. Dadurch blieben sie automatisch auf die Sonne ausgerichtet, auch wenn die Station selbst für spezielle Beobachtungen gedreht werden mußte. An Bord von „Salut-4" befanden sich rund 1500 Instrumente und Geräte, deren Gesamtmasse etwa 2400 kg betrug. Als Transporter für die Besatzung dienten auch weiterhin die bewährten „Sojus"-Raumfahrzeuge.

„Salut-3" erhielt für 14 Tage zwei Mann Besatzung, die im Juli mit „Sojus-14" aufstiegen. Im Januar 1975 gingen Alexej Gubarew und Georgi Gretschko („Sojus-17") an Bord von „Salut-4" und blieben 30 Tage im Weltraum. Dieser Langzeitflug führte zu wichtigen raumfahrtmedizinischen Erkenntnissen. Die Kosmonauten zeigten nämlich bis zum Schluß eine bemerkenswert gute körperliche Verfassung, und die Schwereanpassung nach der Rückkehr war wesentlich weniger schwierig als bei früheren Unternehmen – offensichtlich ein Erfolg des verbesserten und intensiveren Körpertrainings während des Fluges. – Ein technisches Detail verdient besondere Erwähnung. In den Kreislauf der Kabinenatmosphäre war eine Anlage eingeschaltet, die aus dem Wasserdampf täglich bis zu 2 l wiederverwendbares Wasser gewann.

Nach der Rückkehr von „Sojus-17" blieb „Salut-4" bis Mai 1975 unbemannt. Die wichtigsten Bordanlagen und ein Teil der wissenschaftlichen Ausrüstung arbeiteten in dieser Zeit automatisch weiter. Dann nahmen Pjotr Klimuk und Witali Sewastjanow („Sojus-18") ihre Arbeit in der Raumstation auf. Ihr Unternehmen galt vor allem der weiteren Steigerung der Aufenthaltsdauer im Weltraum und einem damit verbundenen umfassenden raumfahrt-

Aufnahme der Ostküste des Kaspischen Meeres mit der Halbinsel Mangischlak aus der Umlaufbahn („Sojus-12", 1973)

Halbinsel Sinai mit dem Golf von Suez und dem Golf von Akaba. Die Aufnahme zeigt, bis zu welchen Feinheiten geologische Einzelheiten auf diesem Wege erfaßt werden können („Apollo-9", 1969)

Eine „Salut"-Raumstation der zweiten Generation wird in der Montagehalle für den Einsatz vorbereitet

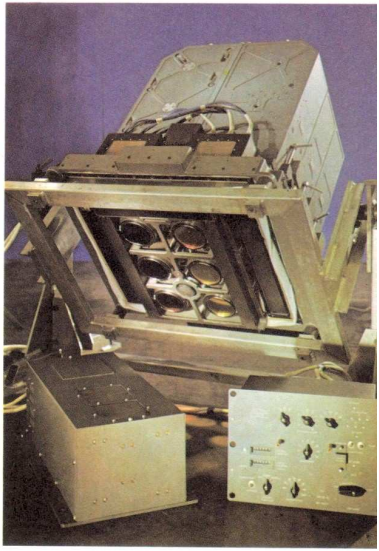
medizinischen Untersuchungsprogramm. Darüber hinaus führten die Kosmonauten die von ihren Vorgängern begonnenen Erprobungs- und Forschungsarbeiten fort. Nach einer Rekorddauer von 63 Tagen fand das in allen Punkten außerordentlich erfolgreiche Unternehmen seinen Abschluß. Das Befinden von Klimuk und Sewastjanow war im Verhältnis zur Flugdauer gut. Das strenge Körpertraining während des Fluges hatte sich auch bei ihnen bewährt.

Das hier erstmals angewandte Verfahren eines Wechsels von Arbeitsperioden mit oder ohne Besatzung gehört mittlerweile zum normalen Betrieb von Raumstationen. Denn bei einigen Experimenten und astrophysikalischen oder geowissenschaftlichen Beobachtungen ist eine ständige Anwesenheit von Menschen in der Station nicht erforderlich, ja manchmal sogar störend, weil durch die Bewegungen der Raumfahrer schwache Erschütterungen entstehen, welche die Meßergebnisse verfälschen.

Ein attraktives Beispiel für spezielle wissenschaftliche und technische Untersuchungen beziehungsweise Erprobungen, die nach Programm an Bord von „Sojus"-Raumfahrzeugen vorgenommen werden, brachte der Flug von „Sojus-22" im September 1976. In dem von Waleri Bykowski und Wladimir Axjonow geführten Raumfahrzeug befand sich eine von Wissenschaftlern der DDR und der UdSSR entwickelte und im VEB Carl Zeiss Jena gebaute Spezialkamera für Aufnahmen der Erde aus dem Weltraum. Diese Multispektralkamera MKF 6 besteht aus sechs parallel angeordneten Aufnahmesystemen, die mit verschiedenen Farbfiltern und Filmen unterschiedlicher spek-

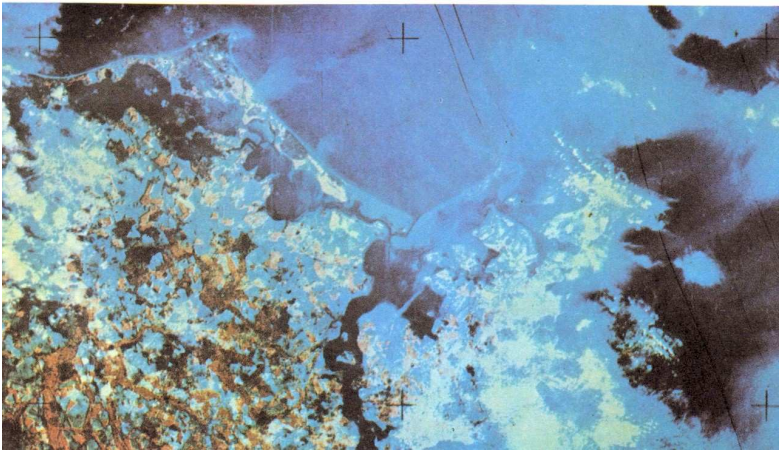
traler Empfindlichkeit ausgestattet sind. Ein Automat sorgt dafür, daß im Augenblick der Aufnahme alle sechs Kameraverschlüsse exakt gleichzeitig betätigt werden. Die so erhaltenen sechs Aufnahmen zeigen dann jeweils denselben Ausschnitt der Erdoberfläche, aber im Licht von sechs unterschiedlichen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums. Da die auf der Erdoberfläche vorhandenen Materialien und Objekte (zum Beispiel Gesteine, Pflanzen) ganz charakteristische Reflexionseigenschaften haben, lassen sich mit der MKF 6 großräumig und schnell Aussagen über die Art und Beschaffenheit der Oberflächenbedeckung gewinnen, beispielsweise über die Menge und den Entwicklungsstand von Nutzpflanzen und ob diese von Krankheiten befallen sind oder unter den Folgen einer Dürre leiden. Aber auch der geologischen und ozeanologischen Forschung sowie bei Untersuchungen auf anderen Gebieten kann die Multispektralkamera wertvolle Dienste leisten.

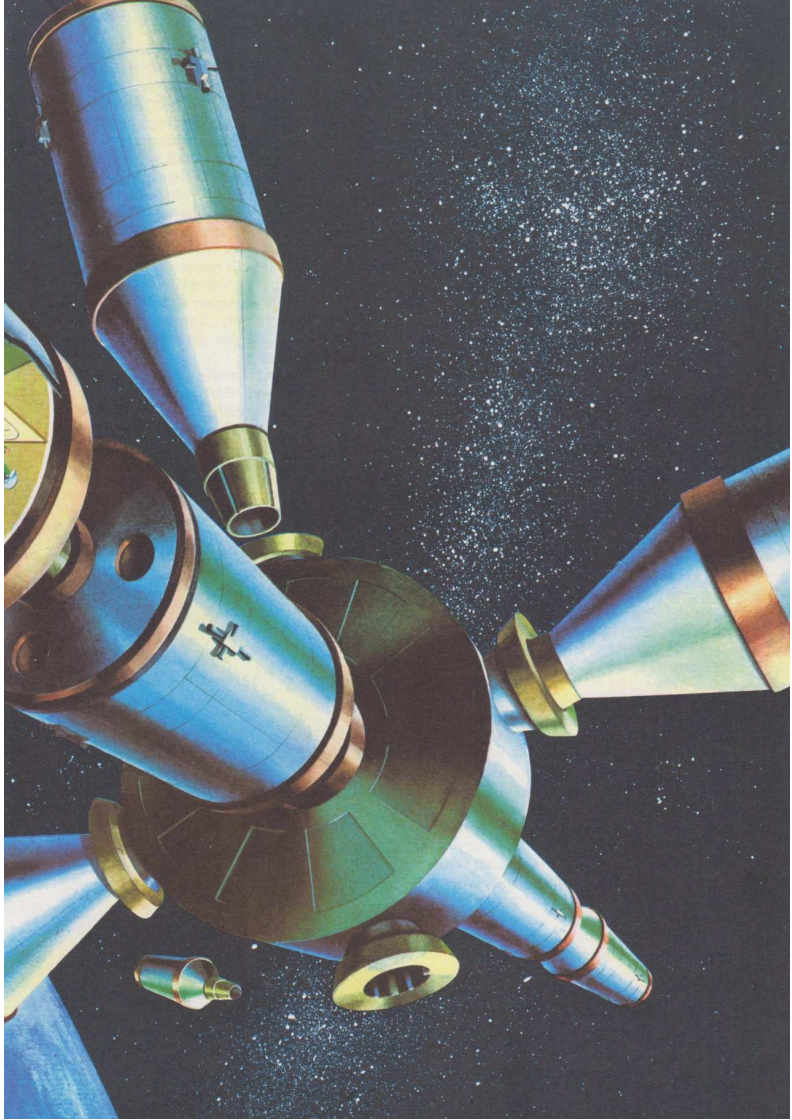
Hinsichtlich Abbildungsgenauigkeit und Detailauflösung – auf den Aufnahmen werden noch Einzelheiten von 20 bis 30 m Ausdehnung erkennbar – ist die MKF 6 ein Spitzenerzeugnis im Weltmaßstab. Sie gehört inzwischen zur Standardausrüstung bemannter sowjetischer Raumfahrtgeräte, deren Programm optische Erderkundung einschließt.



Die Multispektralkamera MKF 6 vom VEB Carl Zeiss Jena bei der Überprüfung. Man erkennt die unterschiedlichen Farbfilter vor den Objektiven und die angesetzten Filmkassetten

Darß, Zingst und Rügen, aus dem Weltraum fotografiert. Dieses Bild („Sojus-22", MKF 6) wurde zur speziellen Auswertung mit einer gegenüber der Natur verfälschten Farbgebung wiedergegeben. Der Hauptteil von Rügen ist durch Wolken verdeckt





# Weltraum-„Werkstatt" mit Sonnenteleskop

Die Vorbereitungen zum Start einer wissenschaftlichen Raumstation waren in den USA etwa zwei Jahre nach dem Aufstieg von „Salut-1" abgeschlossen. Man war bei der Projektierung des Gerätes von einer ökonomisch vernünftigen Überlegung ausgegangen. Als Hauptbauteil der „Skylab" (dtsch.: Himmelslaboratorium) genannten Raumstation wurde eine zweckentsprechend umgebaute dritte Stufe der Trägerrakete „Saturn-5" verwendet. Diese „Werkstatt" (engl.: workshop) hat 6,7 m Durchmesser und eine Länge von 18 m. Sie ist durch einen Zwischenboden in ein Wohn- und ein Arbeitsdeck unterteilt und mit allen für Langzeitflüge und umfangreiche Arbeitsprogramme notwendigen Einrichtungen versehen. Der klimatisierte Innenraum hat ein Volumen von 345 $m^3$ und wurde während der bemannten Arbeitsperiode mit einer Atmosphäre aus 74 Prozent Sauerstoff und 26 Prozent Stickstoff belüftet. Der Druck betrug etwa 30 bis 50 Prozent des Luftdrucks an der Erdoberfläche. An diesen zylindrischen Hauptbauteil sind eine Luftschleuse, ein Mehrfachkopplungsadapter und eine große Teleskopeinheit für Sonnenforschung angebaut. Als Transporter für die Besatzungen dienten „Apollo"-Raumfahrzeuge (ohne Mondfähre). Die Raumstation – mit angekoppeltem Zubringer-Raumfahrzeug – hatte eine Gesamtlänge von 36,1 m, und ihre Gesamtmasse betrug 90 600 kg.

Das „Skylab" wurde im Mai 1973 von einer für diesen Zweck aus dem „Apollo"-Programm verbliebenen „Saturn-5"-Rakete in die Umlaufbahn (440 km Höhe) gebracht. Beim Aufstieg gab es jedoch einen sehr ernsten technischen Zwischenfall, der den weiteren Ablauf des Unternehmens gefährdete. Eine der entfaltbaren Solarzellenflächen der Raumwerkstatt riß ab, die andere entfaltete sich nur teilweise. Außerdem wurde die Temperatur- und Meteoritenschutzhülle der Raumwerkstatt schwer beschädigt. Die Innentemperatur stieg unter der Einwirkung der Sonnenstrahlung trotz voll arbeitender Klimaanlage auf über 50 °C. Unter diesen Bedingungen war an einen nach Plan folgenden Start der ersten Besatzung natürlich nicht zu denken. In fieberhafter Anstrengung suchte man nach Möglichkeiten, das „Skylab" zu reparieren. Als dann die Astronauten Charles Conrad, Paul Weitz und Joseph Kerwin mit zehntägiger Verzögerung aufstiegen, um die Rettung des kostspieligen Unternehmens zu versuchen, war man in aller Welt auf die weitere Entwicklung sehr gespannt. Es gelang der übergestiegenen Besatzung tatsächlich, das „Skylab" für den vorgesehenen Programmablauf wieder zuverlässig betriebsfähig zu machen. Originell war das Verfahren zum Schutz des Werkstatteils gegen die aufheizende Sonnenstrahlung. Durch eine kleine Arbeitsluke schob man von innen einen von der Erde mitgebrachten entfaltbaren „Sonnenschirm" hinaus und deckte so die betreffenden Oberflächenbereiche ab.

Conrad, Weitz und Kerwin blieben, wie vorgesehen, 28 Tage an Bord von „Skylab", wo sich die Temperaturverhältnisse bald wieder normalisiert hatten. Die von ihnen in dieser Zeit

Astronaut Dr. Owen Garriott, Wissenschaftler der zweiten „Skylab"-Besatzung, während eines Weltraumausstiegs im Halterungsgestänge der Sonnenteleskopeinheit. Er wechselte dabei Filmkassetten aus und nahm Überprüfungen vor

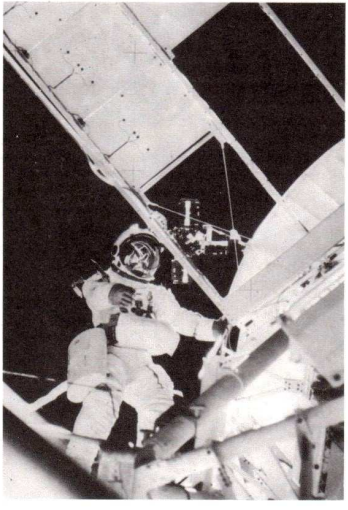
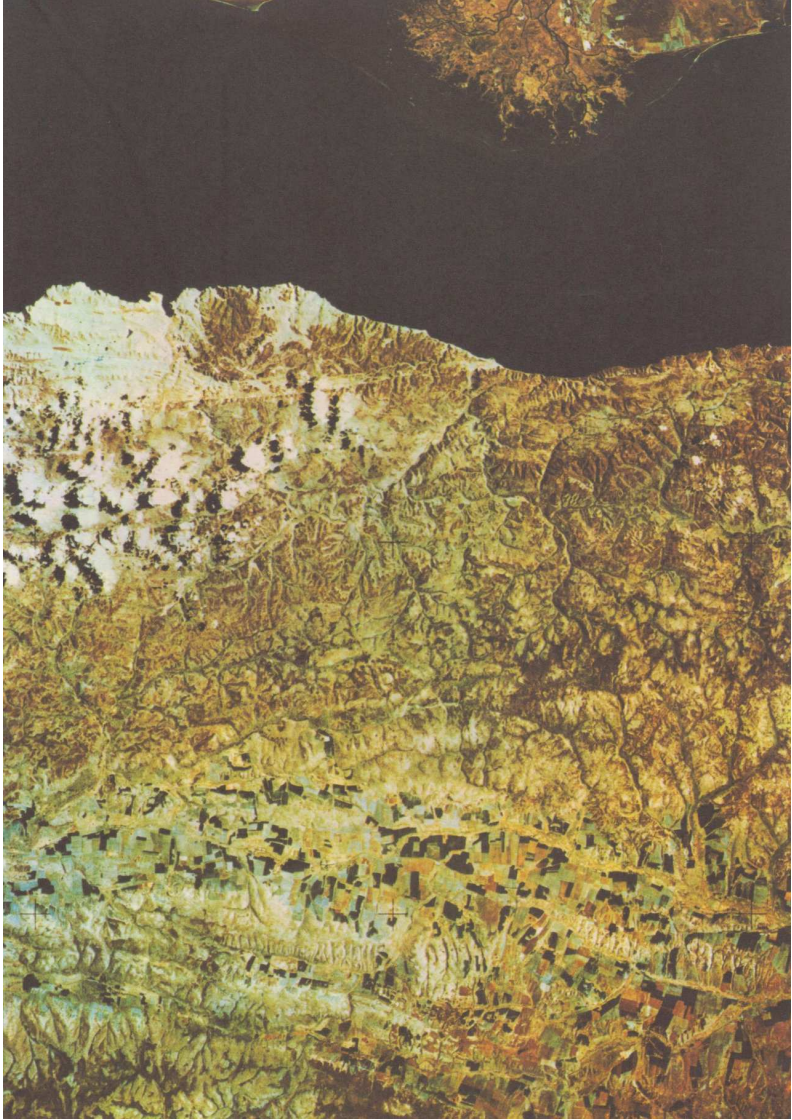


Bild auf den Seiten 136/137:
Modulare Raumstationen (hier ein stark vereinfachtes Aufbauschema) werden eine wichtige Entwicklungsstufe der Raumfahrttechnik im erdnahen Raum sein

gemachten Aufnahmen der Erdoberfläche erfaßten rund 10 Millionen km². Außerdem erhielten sie über 30 000 Aufnahmen von der Sonne und führten eine Großzahl wissenschaftlicher und technischer Untersuchungen aus.
Etwa eine Woche nach Rückkehr der Mannschaft „Skylab-I" (die verschiedenen „Skylab"-Besatzungen werden mit römischen Ziffern numeriert) startete die zweite Besatzung: Alan Bean, Jack Lousma, Dr. Owen Garriott. Sie verbrachte planmäßig 59 Tage in der Raumstation. Während dieser Zeit wurden weitere 17 000 Spezialaufnahmen der Erde und fast 80 000 Sonnenfotos gemacht sowie über 30 000 m Magnetband mit Meßdaten und anderen Aufzeichnungen gefüllt. Etwas überraschend gab es bei den drei Astronauten anfangs etliche Anzeichen von Raumkrankheit (Orientierungs- und Bewegungsstörungen).
Die günstigen biologisch-medizinischen Befunde aus den beiden ersten Besatzungsperioden ließen dann für die dritte und letzte Mannschaft eine Ausdehnung des Fluges auf die Rekorddauer von 84 Tagen zu. Allerdings mußten Gerald Carr, William Pogue und Dr. Edward Gibson mehrere Wochen auf ihren Start warten, weil einige technische Mängel an der Trägerrakete „Saturn-1B" entdeckt worden waren.
Die wissenschaftliche Ausbeute des dritten Arbeitsabschnitts wurde durch die verlängerte Flugdauer natürlich noch umfangreicher als die der beiden ersten. Das wichtigste Resultat war die Feststellung, daß die drei Astronauten trotz des sehr langen Raumaufenthalts nach der Landung in besserer Verfassung waren als ihre Vorgänger. Das ließ sich, wie bei den „Salut"-Unternehmen ab 1974, auf das ständig erweiterte Körpertraining an Bord der Raumstation zurückführen. Für die Besatzung „Skylab-I" gab es eine vorgeschriebene tägliche Trainingszeit von 30 Minuten, bei „Skylab-II" waren es 60 Minuten, und die Mannschaft „Skylab-III" hatte schließlich jeden Tag 90 Minuten intensiv zu trainieren.
Raumstationen sind der bisherige Höhepunkt der Entwicklung bemannter Raumflugkörper, die mit der Raumkapsel Juri Gagarins begann. Die Vielzahl technischer Experimente und wissenschaftlicher Ergebnisse lieferte den überzeugenden Beweis für den hohen Nutzen solcher Raumfahrtsysteme. Daraus leitet sich eine richtungsweisende Perspektive ab: Raumstationen der verschiedensten Art werden mit Sicherheit den Schwerpunkt der zukünftigen

Raumstation „Skylab" (USA) in der Umlaufbahn, aufgenommen aus dem dritten Zubringer-Raumfahrzeug. Zu erkennen sind der aufgespannte Sonnenschutzschirm, daß die zweite große Solarzellenfläche fehlt sowie die Sonnenteleskopeinheit mit der Solarzellen-„Windmühle"

Raumfahrtentwicklung bilden. Ihr Einsatz wird vornehmlich auf Nutzanwendungen für die Erde ausgerichtet sein. Das abschließende Kapitel wird uns noch mit dem aktuellsten Stand dieser Entwicklung bekannt machen.
Einige Konstruktionsmerkmale späterer Raumstationen beginnen sich heute schon abzuzeichnen. So wird man in den nächsten Jahren auch größere Raumstationen schaffen, die aus mehreren Moduln in der Umlaufbahn zusammengesetzt werden. Für eine Reihe solcher modularen Raumstationen sind Besatzungen von 10 Mann und mehr zu erwarten, wobei Raumflugtechniker und Wissenschaftler das Besatzungskollektiv bilden werden. Dabei kommt der internationalen Zusammenarbeit eine wachsende Bedeutung zu.
Die weiteste Vorausschau sieht phantastisch große und vielfältig gestaltete Raumstationen entstehen, für die inzwischen die Bezeichnung Weltraumbasis oder einfach Raumbasis aufgekommen ist.

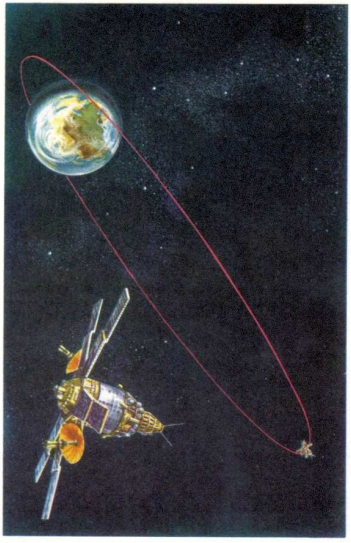


# Raumfahrt heute und morgen

Zwei Jahrzehnte ist die Raumfahrtpraxis alt. Überblicken wir die bisherigen Unternehmen, so zeichnen sich einige Schwerpunkte der Weltraumaktivitäten ab. Gegenwärtig finden die größten Aktivitäten im erdnahen Raum statt. Das wird mit Sicherheit auch in Zukunft so bleiben. Doch die genauere Erkundung des fernen Weltraums und fremder Himmelskörper wird ebenfalls weitergehen. Ob neu geplante Raumfahrtunternehmen gerechtfertigt sind, wird man stets daran messen, ob der Erkenntnisgewinn oder die angestrebte praktische Nutzanwendung in einem vernünftigen Verhältnis zum Aufwand steht.
Einige Bereiche werden bevorzugt oder ganz den unbemannten Raumflugkörpern vorbehalten bleiben. So die ständige globale Wetterüberwachung und meteorologische Forschung sowie die damit verbundene Erkundung der Sonneneinflüsse auf die Magnetosphäre, ferner die Übertragung von Telefongesprächen, Wirtschaftsdaten und Fernsehsendungen über große Entfernungen, Navigationshilfe sowie andere Aufgaben. Für die Erforschung fremder Weltkörper werden in einigen Fällen hochentwickelte automatische Sonden die einzig möglichen oder vom Aufwand her allein vertretbaren Raumfahrt-Kundschafter bleiben beziehungsweise sein.

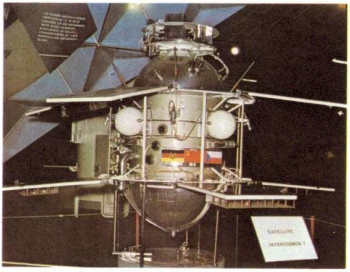
## Zusammenarbeit im Weltraum

Ein sehr wichtiger Aspekt der Raumfahrt, der an Bedeutung weiter gewinnen wird, ist die internationale Zusammenarbeit bei der wissenschaftlichen Erschließung des Weltraums. Grundlegende völkerrechtliche Vereinbarungen darüber wurden bereits bei der Organisation der Vereinten Nationen schriftlich festgelegt und von vielen Staaten unterzeichnet. Das größte Verdienst am Zustandekommen dieser Verträge hat die Sowjetunion, die seit Anbeginn für eine ausschließlich friedliche Nutzung aller Weltraumaktivitäten eintritt. 1972 konnte ein besonderes Abkommen zwischen der Sowjetunion und den USA geschlossen werden, das deren „Zusammenarbeit bei der Erforschung und Nutzung des Weltraums zu friedlichen Zwecken" zum Gegenstand hatte.
Vertraglich vereinbarte Kooperation zweier oder mehrerer Staaten bei Weltraumvorhaben gibt es nun seit mehr als zehn Jahren. Von dem vorbildlichen Beispiel des „Interkosmos"-Arbeitsprogramms sozialistischer Länder haben wir bereits erfahren. Bis Mitte 1978 gelangten 17 „Interkosmos"-Satelliten in Um-

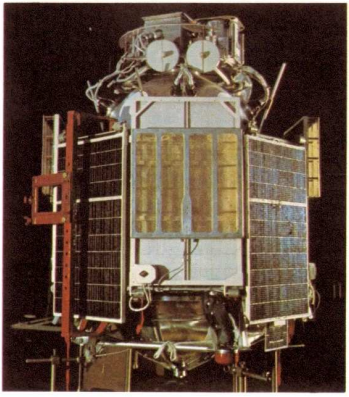


Sowjetische Nachrichtensatelliten der Serie „Molnija" sind in weiterentwickelten Varianten seit 1965 im Einsatz. Ihre hochelliptischen Umlaufbahnen begünstigen die Übertragungsbedingungen für Bodenstationen im Bereich der nördlichen Erdhalbkugel

Multispektralaufnahme des Südufers des Baikalsees („Sojus-22", MKF 6). Unterhalb der Bildmitte ist ein ausgedehntes Gebiet zu erkennen, das verschieden große, aber ziemlich regelmäßig gestaltete Flecken aufweist. Dabei handelt es sich um bebaute Felder, deren farblich unterschiedliche Darstellung Rückschlüsse auf Art und Beschaffenheit der angebauten Pflanzen zuläßt




Beispielgebend für internationale Zusammenarbeit im Weltraum ist die „Interkosmos"-Kooperation der sozialistischen Länder. Auf den Fotos die Forschungssatelliten „Interkosmos-1", „Interkosmos-11" und eine der Trägerraketen



laufbahnen um die Erde, und sechs Forschungsraketen der Serie „Vertikal" trugen Meßgeräte mehrerer Mitgliedstaaten in die Hochatmosphäre.

Der Umfang gemeinsam erarbeiteter wissenschaftlicher Ergebnisse und technischer Erfahrungen hat entsprechend zugenommen. In mehr als 500 Veröffentlichungen wurden sie der Fachwelt mitgeteilt, viele auch auf Fachtagungen des internationalen Komitees für Weltraumforschung (COSPAR) oder der Internationalen Astronautischen Föderation (IAF) vorgetragen. Darüber hinaus führten die technischen Spezialentwicklungen des Geräte- und Anlagenbaus zu zahlreichen wertvollen Patenten. Außerdem konnten schon etliche der für den Weltraum entwickelten Meßverfahren und Geräte für spezielle Anwendungen in der industriellen Technik und der Wirtschaft nutzbar gemacht werden.

Die DDR war bisher am „Interkosmos"-Programm vornehmlich mit Untersuchungen zur kosmischen Physik, zur Satelliten-Meteorologie und zur Fernerkundung der Erde aus dem Weltraum beteiligt. Hinsichtlich der Ausrüstung von „Interkosmos"-Forschungsraketen und Raumflugkörpern mit Geräten und Anlagen aus der DDR gibt es eine eindrucksvolle Bilanz:

— 61 Geräte in 26 meteorologischen Raketen
— 13 Geräte in 4 geophysikalischen Forschungsraketen
— 28 Geräte in 13 Forschungssatelliten (auch der sowjetischen Serien „Kosmos" und „Meteor")
— 4 Gerätekomplexe in Satelliten, in einem „Sojus"-Raumfahrzeug sowie in einer „Salut"-Raumstation.

Ferner leistet die DDR-Wissenschaft Beiträge zur Lösung medizinisch-biologischer Probleme des Raumflugs sowie zur Nachrichten- oder Informationsübertragung mit oder aus Raumflugkörpern. Bei allen diesen Arbeiten zum „Interkosmos"-Programm besteht eine enge Zusammenarbeit von Instituten der Akademie der Wissenschaften der DDR, des Meteorologischen Dienstes der DDR, von Hochschulen unseres Landes und des VEB Carl Zeiss Jena. Hinzu kommt die intensive Kooperation mit einschlägigen Fachspezialisten anderer „Interkosmos"-Länder.

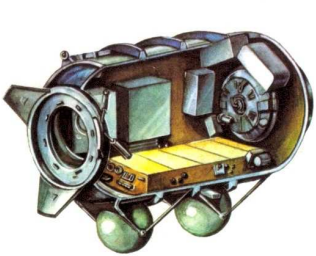
Drei Beispiele sollen die inzwischen angelaufenen Nutzungsmöglichkeiten von „Interkosmos"-Entwicklungen in der Volkswirtschaft der DDR aufzeigen:

— Das zur Aufnahme von Satelliten-Wetterbildern entwickelte Empfangssystem WES-2 gehört heute zur Standardausrüstung von Stationen des Meteorologischen Dienstes der DDR und wird auch in die UdSSR exportiert.
— Ein spezielles funktechnisches Meßwertübertragungssystem läßt sich in der Industrie zur Meßwertgewinnung bei Vorgängen unter extremen Bedingungen nutzen, zum Beispiel bei Untersuchungen an Kolben von laufenden Dieselmotoren oder an Schaufeln von Turboverdichtern.
— Mit einem elektronischen Fernmeßgerät, das zur Bestimmung des Wasserdampfgehalts

in der Erdatmosphäre von Satelliten aus entwickelt wurde, nimmt man unter anderem Feuchtemessungen im Bremssystem von Diesellokomotiven oder in technischen Gasen vor.

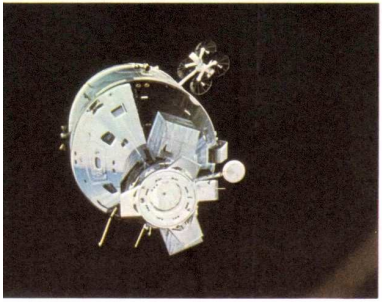
Eine langjährige gute Zusammenarbeit verbindet sowjetische und französische Weltraumspezialisten. So wurden seinerzeit die „Lunochod"-Mondmobile mit in Frankreich gebauten Laserreflektoren ausgestattet, und einige „Mars"-Planetensonden hatten französische Meßgeräte für den interplanetaren Raum an Bord. Ferner gelangten mehrere Forschungssatelliten der Franzosen mit sowjetischen Trägerraketen in die Umlaufbahn, während andererseits verschiedene Aufstiege von französischen Forschungsraketen spezielle sowjetische Apparaturen in die Ionosphäre brachten. Besonders erwähnenswert ist auch die freundschaftliche, kollegiale Hilfe der Sowjetunion beim Start des ersten indischen Satelliten im April des Jahres 1975 mit einer sowjetischen Trägerrakete. Dieser Raumflugkörper dient der Erforschung der extrem kurzwelligen Strahlung der Sonne.

Aufbau der aus Kopplungsteil und Luftschleuse bestehenden „ASTP"-Baugruppe (schematisch)

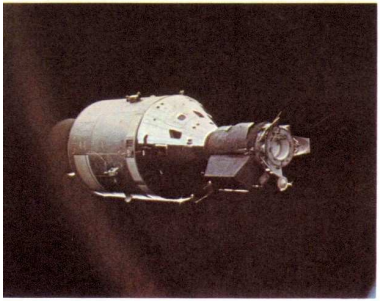


Den ersten Schritt zur Zusammenarbeit auch auf raumflugtechnischem Gebiet unternahmen die Sowjetunion und die USA im Rahmen ihres Weltraumabkommens von 1972. Dessen Kernstück war ein gemeinsames Weltraumexperiment, bei dem ein Raumfahrzeug vom Typ „Sojus" mit einem „Apollo"-Raumfahrzeug gekoppelt werden sollte. Außerdem wollte man bei diesem Kopplungsflug verschiedene Untersuchungen durchführen, an denen beide Besatzungen beteiligt sein sollten. Als Zeitpunkt für dieses international als „Apollo-Sojus-Test-Projekt" (ASTP) bezeichnete Unternehmen wurde schließlich der Juli 1975 festgelegt. Nach einem genau ausgearbeiteten Programm kamen Wissenschaftler und Techniker aus der Sowjetunion mit den entsprechenden Spezialisten aus den USA wechselseitig zusammen und schufen in gemeinsamer Arbeit die für dieses Unternehmen noch erforderlichen speziellen technischen Lösungen.

Das besondere Problem bei der Vorbereitung des ASTP bestand darin, daß zum erstenmal zwei Raumfahrzeuge raumflugtechnisch aufeinander abgestimmt werden mußten, die eigenständig entwickelt und daher in ihren technischen Einzelheiten mehr oder weniger



„ASTP"-Rendezvous im Weltraum. Zwei Aufnahmen des „Apollo"-Raumfahrzeugs, die von „Sojus-19" aus gemacht wurden



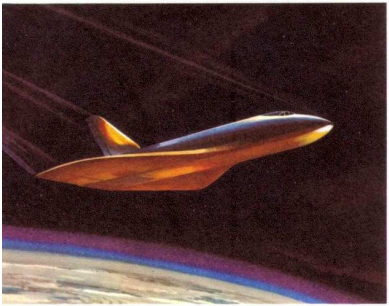
verschiedenartig waren. Beispielsweise paßten ihre Kopplungsvorrichtungen nicht zusammen. Es wäre daher niemals möglich gewesen, bei Rettungsaktionen Raumfahrzeuge des Typs „Sojus" mit solchen des Typs „Apollo" zu koppeln. Die Möglichkeit zur gegenseitigen Hilfeleistung im Weltraum ist jedoch eine wesentliche Voraussetzung für die weitere Entwicklung der Raumfahrt zu immer anspruchsvolleren und komplizierteren Unternehmen. (Ein internationales Abkommen über die Rettung von Raumfahrern wurde schon 1968 geschlossen.) Für das ASTP mußte also ein neuartiges Kopplungssystem geschaffen werden, das man als kompatibel (zusammenpassend) bezeichnet. Jedes Raumfahrzeug, das mit diesem zukünftig bei allen bemannten Unternehmen verwendeten Kopplungsteil ausgerüstet ist, kann die Kopplung als aktiver Partner ausführen. Das ist für Rettungsvorhaben von entscheidender Bedeutung. Weiterhin mußte man für das ASTP auch die funktechnischen und anderen Systeme für die Rendezvousflugführung aneinander anpassen. Das brachte erste Ergebnisse zur Normierung und Standardisierung von raumflugtechnischen Geräten und Anlagen.

Schließlich mußten noch Wege gefunden werden, um die unterschiedlichen Kabinenatmosphären wenigstens so weit aufeinander abzustimmen, daß Umstiege von einem Raumfahrzeug in das andere ohne stundenlange Anpassungsaufenthalte in einer Luftschleuse möglich wurden. Wie wir wissen, atmet man in den „Sojus"-Raumfahrzeugen eine normal zusammengesetzte Atmosphäre unter normalem Druck, während man die „Apollo"-Kabine mit reinem Sauerstoff bei vermindertem Druck belüftet. Die Anpassungszeit vom Normalatemgas auf reinen Sauerstoff dauert etwa 2 bis 2,5 Stunden. Für das ASTP-Unternehmen waren die sowjetischen Raumfahrtwissenschaftler bereit, die Klimaanlage in ihrem Raumfahrzeug so zu ändern, daß einige Zeit vor dem Umstieg der Druck der Kabinenatmosphäre herabgesetzt und zugleich der Sauerstoffanteil erhöht werden konnte. Dadurch benötigten die Raumfahrer jeweils nur noch 15 Minuten, um sich auf die andere Atemluft umzustellen. Für den Ablauf dieses Vorgangs mußte eine zusätzliche Luftschleuse geschaffen und mit dem Kopplungsadapter zu einer technischen Einheit ausgebildet werden. Dieses spezielle System wurde in den USA gebaut und beim Flugunternehmen vom „Apollo"-Raumfahrzeug mit in die Umlaufbahn gebracht.

Alle Vorbereitungen für das ASTP verliefen mit großer Genauigkeit. Die Raumfahrer und ihre Ersatzmannschaften, die für den Flug ausgewählt worden waren, trainierten gemeinsam an Simulatoren in den Raumfahrtausbildungszentren der Sowjetunion und der USA. Kommandant der sowjetischen Einsatzmannschaft war Alexei Leonow, der 1965 den ersten Ausstieg in den Weltraum ausgeführt hatte, und als Bordingenieur flog mit ihm Waleri Kubassow, dem 1969 die ersten Schweißversuche im Weltraum geglückt waren. Die „Apollo"-Besatzung bestand aus dem Kommandanten Thomas Stafford und den beiden Bordingenieuren für Kommandoeinheit und Kopplungsteil Vance Brand und Donald Slayton.

Die Raumfahrzeuge „Sojus" und „Apollo" vor der Kopplung im Weltraum. Der Luftschleusenkopplungsteil wurde von „Apollo" in die Umlaufbahn gebracht

Sowjetische und amerikanische Raumfahrtspezialisten besichtigen während der Vorbereitung des internationalen „Apollo-Sojus-Test-Projekts" die neuentwickelte Kopplungseinrichtung



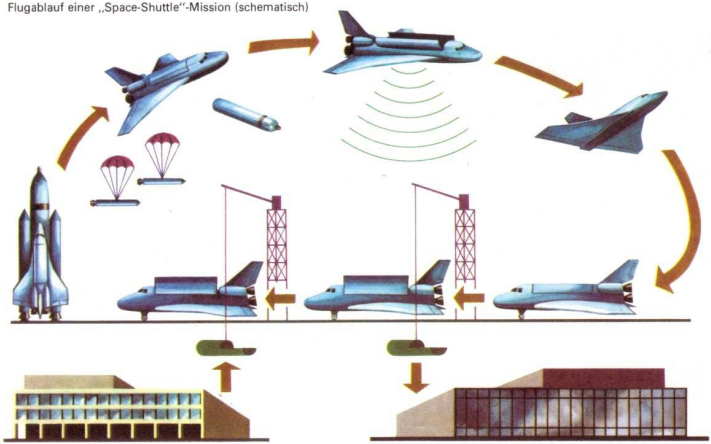
Besondere technologische Probleme entstehen beim Wiedereintritt eines Raumgleiters in die dichteren Schichten der Atmosphäre durch die extreme aerodynamische Aufheizung seiner Frontflächen

Das gemeinsame Raumflugunternehmen der Sowjetunion und der USA begann am 15. Juli 1975 mit dem Aufstieg des „Sojus"-Raumfahrzeugs, dem dann 7,5 Stunden später „Apollo" in die Umlaufbahn folgte. Die Rendezvousmanöver verliefen einwandfrei, und am 17. Juli, 17 Uhr 12 Minuten MEZ, waren die beiden Raumfahrzeuge miteinander gekoppelt. Der weitere Ablauf des ASTP vollzog sich genau nach Plan. Er begann nach dem Öffnen der Verbindungsluke mit einem raumfahrthistörischen Handschlag zwischen Leonow und Stafford. Anschließend gab die sowjetische Besatzung in der Orbitalsektion von „Sojus" ein bordgemäßes Festessen für Stafford und Slayton (Brand war als diensthabender Techniker in „Apollo" verblieben). Danach stiegen die Raumfahrer bis zum 19. Juli noch mehrmals wechselseitig über und führten dabei gemeinsam wissenschaftliche Experimente und technische Erprobungen durch. Unter anderem machten Kubassow und Slayton Versuche mit einem Universal-Schmelzofen.

Am 19. Juli trennten sich die Raumfahrzeuge wieder, wurden danach aber noch einmal zusammengeführt, wobei diesmal „Sojus" der aktive Kopplungspartner war. Die endgültige Trennung erfolgte nach 30 weiteren Umläufen. „Sojus" kehrte am 20. Juli programmgemäß zur Erdoberfläche zurück. „Apollo" blieb bis zum 24. Juli in der Umlaufbahn, und die Besatzung führte noch einige separate Untersuchungen aus.

Das ASTP beweist, daß auch Staaten unterschiedlicher Gesellschaftsordnung wissenschaftlich-technisch zusammenarbeiten können.

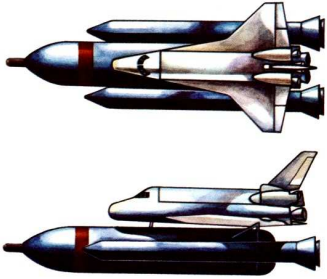
Flugablauf einer „Space-Shuttle"-Mission (schematisch)



# Pendelfähren zwischen Erde und Umlaufbahn

Seit 1957, dem Jahr des Starts des ersten künstlichen Satelliten, verwendet man für den Nutzmassetransport ausschließlich Trägersysteme, die für nur einen einzigen Einsatz zu gebrauchen sind. Man hört deswegen für die üblichen Mehrstufenraketen gelegentlich auch die Bezeichnung „Wegwerfraketen". Das Wegwerfprinzip bei Transportmitteln ist unökonomisch, es trägt wesentlich zu den hohen Kosten von Raumflugunternehmen bei. Vereinfachte Raketenkonstruktionen, Standardbauteile und Serienfertigung, wie sie in der Sowjetunion von Anfang an das Ziel waren, helfen die erforderlichen finanziellen Aufwendungen zu verringern; dennoch bleiben die Kosten ziemlich hoch. Wenn man die Herstellungskosten einer Rakete durch die Anzahl der Kilogramm dividiert, die sie als Nutzmasse in den Weltraum transportieren kann, erhält man die sogenannten spezifischen Nutzmassekosten. Mit Hilfe dieser Nutzmassekosten kann man Trägersysteme ökonomisch vergleichen. Es zeigt sich, daß (aus technischen Gründen) die Nutzmassekosten für kleinere Raketen stets erheblich höher liegen als für größere Transportsysteme. So muß man bei der kleineren amerikanischen Satelliten-Standardrakete „Scout" 6 670 Dollar je Kilogramm Nutzmasse aufwenden, während bei der riesigen „Saturn-5" dafür nur 1 170 Dollar in Rechnung zu setzen waren.

Schon seit längerer Zeit sucht man nach kostengünstigeren Transportmitteln, nach Trägersystemen, die wiederverwendbar sind. Das bedeutet, jede Antriebsstufe des Trägers muß nach Abschluß ihrer Antriebsfunktion oder ihres Flugprogramms in der Umlaufbahn unversehrt zur Erdoberfläche zurückgeführt werden. Nach einer technischen Durchsicht und einem erneuten Betanken soll das Gerät dann wieder einsatzbereit sein. Nun ist die Rückführung an Fallschirmen für große Trägersysteme aus verschiedenen Gründen kaum oder gar nicht möglich. Das idealste Verfahren für die zerstörungsfreie Rückführung besteht darin, jede Antriebsstufe des Nutzlasttransporters als aerodynamischen Flugkörper zu konstruieren. Das mit extrem hoher Geschwindigkeit in die dünne Hochatmosphäre eintauchende Stufenteil muß wie ein Flugzeug fliegen können und lenkbar sein, so daß es auf einer dafür angelegten Betonpiste zu landen vermag.



Das Raumtransportsystem „Space Shuttle" (USA) besteht aus dem aerodynamisch flugfähigen Orbiter (Raumgleiter), einem separaten zylindrischen Treibstoffbehälter (Länge: 47 m, Durchmesser: 8,2 m, Fassungsvermögen: 2 075 $m^3$) für Flüssigwasserstoff und Flüssigsauerstoff sowie zwei seitlich des Zentraltanks angebrachten Feststofftriebwerken. Die Startmasse beträgt rund 2 000 t, der Orbiter (Leermasse: 68 t) kann maximal 29,5 t in eine 195 km hoch liegende Umlaufbahn transportieren

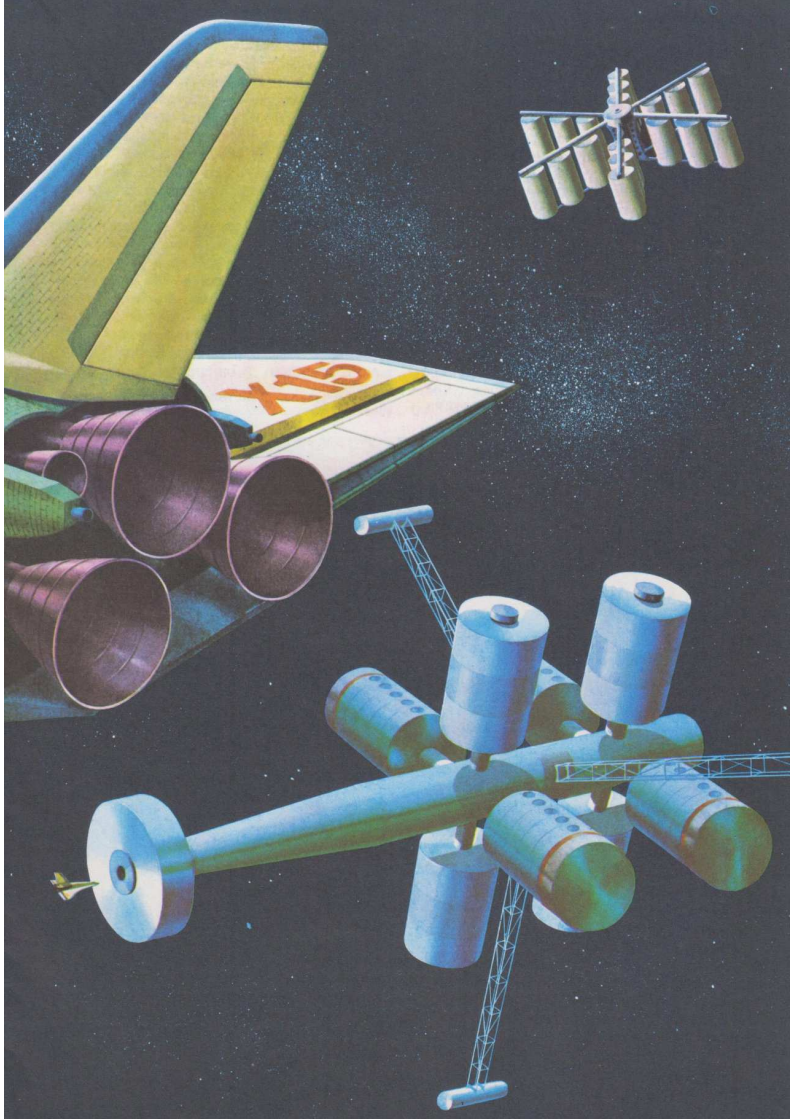
Die technischen Anforderungen an ein solches in der Regel zweistufig entworfenes Transportsystem sind ungewöhnlich hoch. Das gilt besonders für die bis in die Umlaufbahn aufsteigende letzte Antriebsstufe. Bei der Rückkehr taucht sie im Gleitflug mit mehr als fünfzehnfacher Schallgeschwindigkeit in die dichteren Schichten der Atmosphäre ein, heizt sich dabei durch die aerodynamische Abbremsung an der Unterfläche und den Vorderkanten bis zur Rotglut auf und muß bis zur Landegeschwindigkeit (etwa 300 bis 350 km/h) absolute Flugstabilität behalten. Wegen des anfänglichen Fluges im Überschallbereich nennt man die aus der Umlaufbahn zurückkehrenden Transportstufen auch Hyperschallgleiter oder Raumgleiter. Das Gesamtsystem heißt Raumtransporter.

Alle bisherigen Entwürfe für wiederverwendbare Stufen sehen eine Besatzung vor, die die Flugführung bis zur Landung oder zumindest bis zum Landeanflug übernimmt. Bei der Oberstufe, dem Orbiter, kommen gegebenenfalls noch Raumfahrer hinzu, die als Spezialisten für die Arbeiten in der Umlaufbahn benötigt werden oder die als Austauschbesatzung für eine Raumstation vorgesehen sind.

Bild auf den Seiten 148/149:

Aerodynamisch rückführbarer Orbiter eines Raumtransportsystems nach Art des „Space Shuttle" (USA) in der Umlaufbahn. Aus seiner geöffneten Ladeluke wird die mitgeführte Nutzlast in den Weltraum abgesetzt. Transportmittel dieser Art können auch als Zubringer für zukünftige Raumstationen dienen

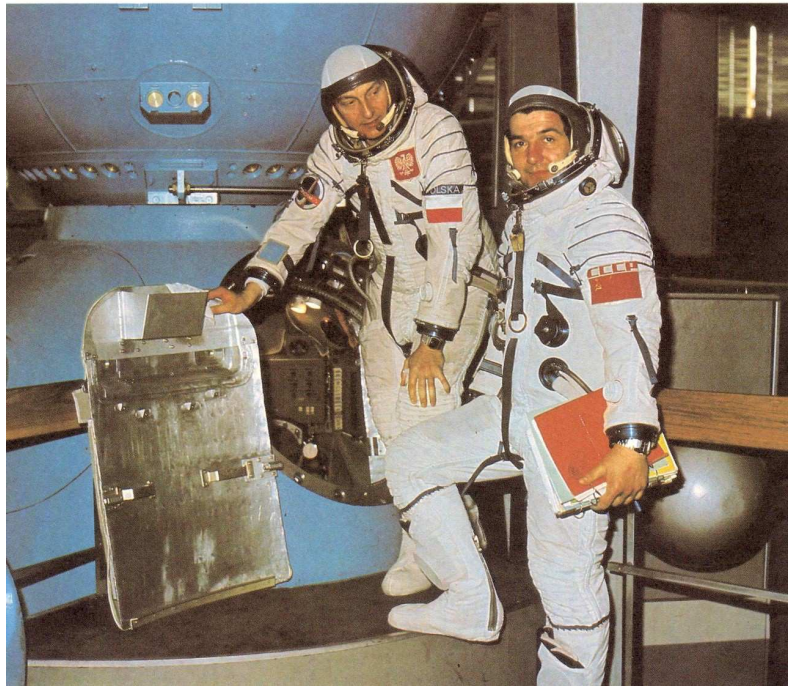
X15


X15

Dieser Zubringerdienst im Pendelverkehr zwischen der Erde und einer Raumstation wird ein wichtiger Einsatzbereich zukünftiger Raumtransporter sein. Die äußere Form der einzelnen wiederverwendbaren Stufen bestimmen die Gesetze des aerodynamischen Fluges. Jedes Objekt dieser Art sieht daher wie ein Überschallflugzeug aus.

Außer der Idealvariante mit zwei aerodynamisch rückführbaren Stufen gibt es noch verschiedene Kombinations- oder Mischtypen beim Entwurf von Raumtransportern. Für alle ist charakteristisch, daß nur der Orbiter aerodynamisch flugfähig sein soll. Die erste Stufe bleibt ein ballistisches Fluggerät, dessen Teile am Fallschirm rückgeführt, anschließend geborgen und dann nach Aufrüstung mit neuen Treibstoffen wieder eingesetzt werden können. Ein solcher Raumtransporter vom Mischtyp ist in den USA unter der Bezeichnung „Space Shuttle" (dtsch.: Weltraum-Fähre) in der Flugerprobung. Die ersten Einsatzflüge sollen 1980 erfolgen. Wie unerhört aufwendig und damit kostspielig die Entwicklung eines derartig hochqualifizierten Raumfahrtgeräts ist, macht die für „Space Shuttle" Mitte 1978 angegebene Summe von 12 Milliarden Dollar deutlich. Das ist etwa die Hälfte der Kosten des „Apollo"-Mondflugprojekts. Dabei bleibt eine sehr wesentliche Frage noch offen: Ob das mit dem „Shuttle" angestrebte Ziel überhaupt erreicht werden kann, die Kosten für den Nutzmassetransport gegenüber den konventionellen Trägerraketen merklich zu senken. Anfänglich hielt man einen Aufwand von etwa 300 Dollar/kg für möglich, heute gelten schon Berechnungen von 800 bis 1000 Dollar/kg als optimistisch. Dennoch wird dieses Raumtransportsystem wegen seiner sehr vielfältigen Einsatzmöglichkeiten zu einem wichtigen Arbeitsmittel der amerika-

Raumfahrzeugkommandant Pjotr Klimuk und Forschungskosmonaut Mirosław Hermaszewski bei der Flugvorbereitung



nischen Raumfahrttechnik werden. — Eines sei hier noch angemerkt: Selbst bei weitgehender Perfektionierung werden aerodynamische oder ballistische Raumtransporter die bisherigen Einweg-Trägerraketen keinesfalls völlig verdrängen. Für eine Reihe von Raumflugunternehmen kommen diese auch weiterhin als kostengünstige Nutzmassetransporter zum Einsatz.

## Interkosmonauten im Orbitalkomplex

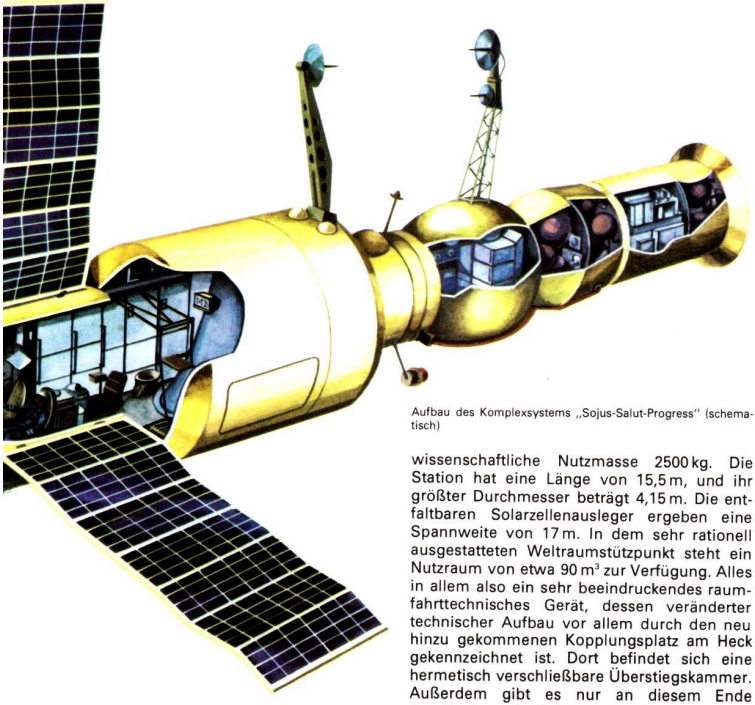
„Gegenwärtig ist die Erforschung des erdnahen Weltraums für wissenschaftliche und volkswirtschaftliche Zwecke das Hauptanwendungsgebiet bemannter Raumflugkörper. Die wichtigsten Raumfahrtgeräte dafür sind Raumstationen und Transportraumfahrzeuge."
So kennzeichnete der sowjetische Kosmonaut Generalleutnant Georgi Beregowoi die Entwicklungstendenzen der Raumfahrt in diesem speziellen Bereich.
Von den ersten praktischen Schritten in Richtung Raumstation haben wir schon gehört, ebenso über neue Wege bei Raumtransport-

2. März 1978: Als erster tschechoslowakischer Interkosmonaut flog der Bordingenieur Vladimir Remek mit dem Raumfahrzeugkommandanten Alexej Gubarew in „Sojus-28" zur Raumstation „Salut-6"

systemen. Die sowjetische Raumfahrtwissenschaft arbeitet auch hierbei nach einem weit vorausschauend angelegten Entwicklungsprogramm. In seinem Mittelpunkt steht die fortlaufend erweiterte Nutzung von Raumstationen des Typs „Salut" als Weltraumstützpunkte für Forschungsaufgaben der verschiedensten Art. Die Einrichtungen und Funktionseigenschaften der Stationen werden dabei ständig verbessert. Für den Transport von Besatzungen verwendet man die bewährten Zubringerraumfahrzeuge „Sojus". Hinzugekommen sind in jüngerer Zeit unbemannte Raumfahrtgeräte für reinen Einweg-Frachttransport von der Erde zur Raumstation. Im Prinzip bleibt auch für ein größeres System, das aus einer Raumstation wie „Salut" und angekoppelten Transportraumfahrzeugen besteht, die umfassende Grundbezeichnung Raumstation gültig. Daneben ist dafür aber auch die Bezeichnung Orbitalkomplex aufgekommen.

Der Beginn eines neuen Abschnitts im sowjetischen Raumstationsprogramm zeichnete sich im Juli 1976 ab. Die Sowjetunion schlug vor, im Rahmen der „Interkosmos"-Kooperation in der Zeit von 1978 bis 1983 auch Bürger aus anderen „Interkosmos"-Ländern als Forschungskosmonauten an Flügen in sowjetischen Raumfahrzeugen und Raumstationen teilnehmen zu lassen. Diese Interkosmonauten, wie sie seither genannt werden, erhalten ihre Raumfahrerausbildung in der UdSSR, und zwar zusammen mit sowjetischen Kosmonauten, die später ihre Partner bei Flügen in den „Sojus"-Raumfahrzeugen sind. Bald nach Abschluß der notwendigen Vereinbarungen begann der etwa zweijährige Ausbildungszyklus für die erste Gruppe von Interkosmonauten.

Am 29. September 1977 gelangte „Salut-6" in eine Erdumlaufbahn. Die Station weist gegenüber ihren Vorläufern wesentliche Verbesserungen auf. Der bedeutendste raumfahrttechnische Fortschritt besteht darin, daß die Raumstation mit zwei getrennten Kopplungseinrichtungen ausgestattet ist, eine am Bug, die andere am Heck des Raumflugkörpers. Dadurch kann man erstmalig, bei Bedarf, mit zwei Raumfahrzeugen ankoppeln und so ein aus drei Komponenten bestehendes Stationssystem bilden. Das Belegen der beiden Kopplungsplätze geschieht nach einem zeitlich geordneten Ablaufplan, der auf das wissenschaftliche Betriebsprogramm der Station abgestimmt ist. Dieses neue Verfahren von Doppelkopplungen hat eine Schlüsselfunktion für die möglichst ökonomische Langzeitnutzung von Raumstationen. Wissenschaftliche Geräte und technische Anlagen können ausgetauscht und Vorräte für die Lebenserhaltung einer Dauerflugbesatzung mehrfach ergänzt werden. Ebenso wird es möglich, Besatzungen sozusagen „im fliegenden Wechsel" ablösen zu lassen, wenn es bestimmte Forschungsaufgaben erforderlich machen sollten. Ferner können für einen gewissen Zeitraum auch zwei „Sojus"-Besatzungen gemeinsam in der Raum-



Aufbau des Komplexsystems „Sojus-Salut-Progress" (schematisch)

station arbeiten. Nach der Kopplung kann die jeweilige Besatzung sowohl in „Salut-6" als auch in der Orbitalsektion des angekoppelten Raumfahrzeugs tätig sein oder sich dort ausruhen. In den zueinander offenen Räumen des Stationskomplexes hat die Kabinenatmosphäre die gleiche Zusammensetzung und den gleichen Druck wie auf der Erdoberfläche. Bei „Salut-6" wurden auch die sanitärhygienischen Einrichtungen im Hinblick auf die Erfordernisse für Langzeitflüge erweitert und verbessert. Unter anderem ist eine entfaltbare Duschkabine eingebaut, und Luftionisatoren verbessern die Kabinenatmosphäre.

Die Masse von „Salut-6" in der Umlaufbahn beträgt 18 900 kg. Davon entfallen allein auf die wissenschaftliche Nutzmasse 2500 kg. Die Station hat eine Länge von 15,5 m, und ihr größter Durchmesser beträgt 4,15 m. Die entfaltbaren Solarzellenausleger ergeben eine Spannweite von 17 m. In dem sehr rationell ausgestatteten Weltraumstützpunkt steht ein Nutzraum von etwa 90 $m^3$ zur Verfügung. Alles in allem also ein sehr beeindruckendes raumfahrttechnisches Gerät, dessen veränderter technischer Aufbau vor allem durch den neu hinzu gekommenen Kopplungsplatz am Heck gekennzeichnet ist. Dort befindet sich eine hermetisch verschließbare Überstiegskammer. Außerdem gibt es nur an diesem Ende der Station die Leitungsanschlüsse für das Umtanken von Treibstoffen aus den unbemannten Einweg-Frachttransportern in die Vorratsbehälter von „Salut-6". Das heißt, wenn ein solches Zubringerraumfahrzeug anlegen soll, muß das Heck-Kopplungssystem frei sein. Die zum Kopplungsadapter führende Luftschleuse am Bug hat außer der Durchstiegsluke zum angekoppelten „Sojus"-Raumfahrzeug noch eine zweite Luke nach außen, die den Ausstieg von zwei Kosmonauten ermöglicht. Die Gesamtlänge der Raumstation mit zwei angekoppelten Raumfahrzeugen beträgt 30,2 m, die Masse dieses Orbitalkomplexes 32 700 kg. Bis zum 12. Dezember 1977 blieb „Salut-6" unbemannt, ihre Anlagen arbeiteten automatisch oder ferngesteuert. An diesem Tage

DDR-Interkosmonaut Sigmund Jähn ist als Oberst Angehöriger der Luftstreitkräfte der DDR. Dort erwarb er die körperlichen und geistigen Qualifikation für die Vorbereitung auf seinen Einsatz als Interkosmonaut

Waleri Bykowski, Kommandant des Raumfahrzeugs „Sojus-31", zählt zu den flugerfahrenen sowjetischen Kosmonauten. Seinen ersten Weltraumflug unternahm er schon 1963 in „Wostok-5", und 1976 war er Kommandant von „Sojus-22"

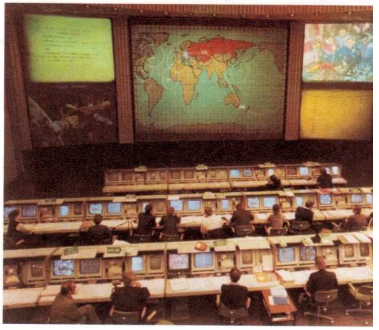
gingen dann die sowjetischen Kosmonauten Juri Romanenko und Dr. Georgi Gretschko als erste Besatzung an Bord. Ihr wissenschaftliches und technisches Arbeitsprogramm war auf einen Langzeitflug ausgerichtet, der den Raumfahrtspezialisten wichtige Erkenntnisse beim Vorstoß in medizinisches Neuland bringen sollte. Das Raumfahrzeug legte am Heck der Station an, weil es für die Bugkopplung zunächst noch technische Unsicherheiten zu geben schien. Am 20. Dezember stiegen beide Kosmonauten für fast anderthalb Stunden in den freien Weltraum aus, wobei sie vor allem das Bugkopplungsteil inspizierten. Dieses war in einwandfreiem Zustand.

Gemäß dem Ablaufplan koppelten dann am 10. Januar 1978 Wladimir Dshanibekow und Dr. Oleg Makarow mit „Sojus 27" am Bug der Raumstation an. Sie blieben sechs Tage gemeinsam mit der Dauerbesatzung an Bord von „Salut-6" und führten dabei ein spezielles Arbeitsprogramm aus. Um nun das Heck der Station für Nachschubflüge freizubekommen, kehrten Dshanibekow und Dr. Makarow nicht mit ihrem Aufstiegsraumfahrzeug zur Erde zurück, sondern mit „Sojus-26".

Wie komplex das für „Salut-6" aufgestellte Betriebsprogramm angelegt worden war, zeigte sich am 20. Januar 1978, als der erste unbemannte Einweg-Frachttransporter „Progress-1" gestartet wurde. Dieser spezielle Zubringer ist aus der Grundstruktur des „Sojus"-Raumfahrzeugs hervorgegangen. Er besteht wie dieses aus drei Komponenten. Dabei wurde die Orbitalsektion von „Sojus" in eine äußerlich sehr ähnliche Frachtsektion für Stückgüter abgewandelt. In ihr können bis zu 1300 kg Ersatzausrüstungen, einschließlich Nahrungsmittel und Wasservorräte untergebracht werden. An die Stelle der ursprünglichen Raumfahrerkabine trat eine entsprechend umkonstruierte Sektion, in der bis 1000 kg Treibstoffe zur Raumstation befördert werden können. Die dritte Sektion ist bei beiden Raumfahrtgeräten weitgehend identisch aufgebaut. Sie enthält die Geräte- und Antriebseinheiten, die für die Flugführung während der Manöver im Weltraum (Annäherung, Kopplung usw.) benötigt werden.

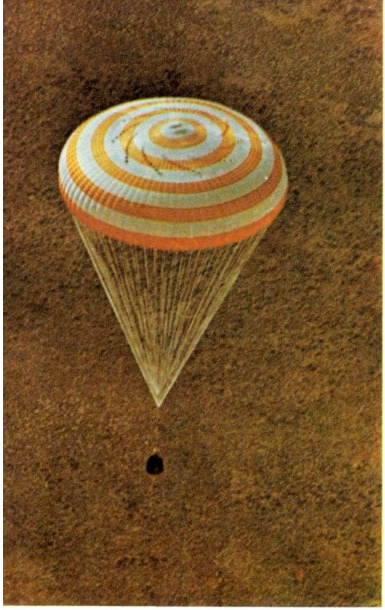
Der beladene Frachttransporter „Progress" hat eine Masse von rund 7000 kg, seine Länge beträgt 7,5 m und sein größter Durchmesser 2,35 m. Die Bezeichnung Einweg-Frachttransporter geht davon aus, daß „Progress" zu einem nicht wiederverwendbaren Raumtransportsystem gehört. Nachdem seine Fracht von der jeweiligen Stationsbesatzung übernommen worden ist, wird „Progress" mit Abfallmaterial

aus der Station beladen und dann nach dem Abkoppeln zum Verglühen in die Erdatmosphäre gebracht. Hierin liegt ein wesentlicher Unterschied zum Raumtransporter.
Nach dem Ankoppeln von „Progress-1" übernahmen Romanenko und Dr. Gretschko dessen Fracht für die Fortsetzung ihres Langzeitfluges. Vor dem Abtrennen des Transporters wurden seine Triebwerke am 5. Februar noch für eine Bahnanhebung des gekoppelten Stationssystems genutzt.
Am 2. März 1978 startete dann die erste internationale „Sojus"-Besatzung. Mit dem sowjetischen Kosmonauten und Raumfahrzeugkommandanten Alexej Gubarew flog der Interkosmonaut Vladimir Remek (ČSSR) als Bordingenieur in „Sojus-28". Während des bis zum 10. März andauernden Aufenthalts an Bord von „Salut-6" erfüllten die beiden Kosmonauten ein eigenständiges wissenschaftliches Programm, das von Wissenschaftlern der ČSSR und der UdSSR vorbereitet worden war. Es reichte von der Erforschung der Erde bis zu technologischen Experimenten und biologisch-medizinischen Untersuchungen. Daneben arbeiteten aber auch alle vier Besatzungsmitglieder gemeinsam an verschiedenen Forschungsaufgaben und technischen Experimenten.
Die erste Betriebsperiode von „Salut-6" fand schließlich ihren Abschluß mit der Rückkehr der Dauerflugbesatzung Juri Romanenko und Dr. Georgi Gretschko in „Sojus-27" am 15. März 1978. Die Kosmonauten landeten nach einer Gesamtflugdauer von rund 96 Tagen und hatten damit den bis dahin gültigen Langzeitflugrekord der dritten „Skylab"-Besatzung (USA) um 12 Tage übertroffen.
Bis zum 15. Juni 1978 flog „Salut-6" erneut unbemannt im automatischen Betrieb. Dann gingen die sowjetischen Kosmonauten Wladimir Kowaljonok und Alexander Iwantschenko („Sojus-29") als zweite Dauerflugbesatzung an Bord der Station. Ihr Raumfahrzeug koppelte programmgemäß am Bug an. Schon zwölf Tage später folgte mit „Sojus-30" die zweite internationale Raumfahrzeugbesatzung, bestehend aus dem sowjetischen Kosmonauten und Raumfahrzeugkommandanten Pjotr Klimuk und dem polnischen Forschungskosmonauten Mirosław Hermaszewski. Wieder wurden in der Raumstation von den vier Kosmonauten sehr vielseitige Untersuchungen und Experimente ausgeführt, davon einige spezielle, an deren Vorbereitung diesmal Wissenschaftler aus der



Das sowjetische Flugkontrollzentrum während der Flugmission von „Sojus-31"

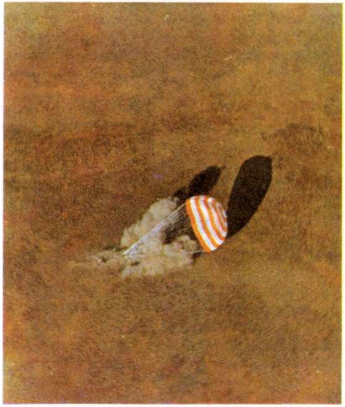
VR Polen beteiligt gewesen waren. Der Schwerpunkt lag bei Versuchen zur Gewinnung von hochwertigen Speziallegierungen und neuartigen Kristallen im sowjetischen Elektroschmelzofen Splaw-01. Die annähernd totale Schwerelosigkeit in der Raumstation läßt die Zusammenführung von Elementen zu, die sich auf der Erdoberfläche unter den Bedingungen der Schwere nicht miteinander verbinden lassen. Das eröffnet weitreichende Perspektiven unter anderem für die Halbleitertechnik. Die beiden Interkosmonauten Klimuk und Hermaszewski kehrten nach knapp achttägiger Flugdauer zur Erdoberfläche zurück.
Zwei Tage nach der Landung von „Sojus-30" startete „Progress-2" zum Versorgungsflug für die Dauerbesatzung von „Salut-6". Dieser Ablauf machte die stärkere Verdichtung der Start- und Flugfolge im „Salut-6"-Programm deutlich, und das wiederum zeigte, mit welcher Sicherheit Raumtransport- und Flugführungsmittel in der sowjetischen Raumfahrttechnik beherrscht werden. Der zweite Frachttransporter blieb bis zum 3. August mit der Station verbunden. In dieser Zeit führten Kowaljonok und Iwantschenko einen zweistündigen Ausstieg durch, bei dem verschiedene Außenbordaktivitäten (Kontrollen, Geräteaustausch u. a.) verrichtet wurden. Nur vier Tage nach der Abtrennung von „Progress-2" gelangte ein weiterer Frachttransporter in die Umlaufbahn und wurde dort an „Salut-6" gekoppelt. Mit dem Anlegen von „Progress-3" erfolgte bereits die sechste Heckkopplung an diese Raumsta-



Fallschirmlandung der Kosmonautenkapsel von „Sojus-29" mit Bykowski und Jähn

tion, was die hervorragende Zuverlässigkeit der dafür erforderlichen technischen Systeme bewies. Nach der Übernahme der Fracht in die Station und dem Beladen mit Abfallmaterial wurde „Progress-3" am 21. August vom Orbitalkomplex abgekoppelt und anschließend zum Verglühen in die Erdatmosphäre gebracht. Wieder nur fünf Tage später fand das eindrucksvolle „Salut-6"-Programm seine Fortsetzung mit dem Start des nächsten bemannten Raumfahrzeugs. Am 26. August 1978 brachte „Sojus-31" die dritte internationale Besatzung zur Raumstation, und an diesem Raumfahrtunternehmen war nun auch zum ersten Mal ein Bürger der DDR als Interkosmonaut beteiligt. Sigmund Jähn, ein bewährter Pilot der Luftstreitkräfte der NVA, flog mit dem sowjetischen Kosmonauten und Raumfahrzeugkommandanten Waleri Bykowski als Forschungskosmonaut in den Weltraum. Mit großer Anteilnahme verfolgten die Menschen unseres Landes den Verlauf des Unternehmens und ließen sich über die von Jähn und den drei sowjetischen Kosmonauten an Bord der Station vorzunehmenden wissenschaftlichen und technischen Untersuchungen unterrichten. Für das spezielle DDR-Experimente-„Paket" waren nach sorgfältigen Überlegungen von den zuständigen Fachleuten in der DDR 22 verschiedene Untersuchungen ausgewählt und vorbereitet worden. Eine erste Gruppe dieser Arbeiten betraf verschiedene Fragen der Erderkundung, eine zweite gehörte zum Komplex Werkstofferprobungen, und eine weitere berührte technologische Probleme. Ferner gab es noch Komplexe aus der Biologie, der Medizin und der Psychologie. Alles zusammen ein sehr umfangreiches Programm.

Auch Sigmund Jähn kam mit den physischen und psychischen Belastungen des Raumfluges ausgezeichnet zurecht. Sein Organismus paßte sich sogar besonders leicht und gut an die Bedingungen der Schwerelosigkeit an. Während des knapp achttägigen Raumaufenthalts wurden alle anfallenden wissenschaftlichen Untersuchungen und technischen Experimente zufriedenstellend bewältigt, wobei die kameradschaftliche Hilfe der erfahrenen sowjetischen Besatzungsmitglieder von großem Nutzen war. Für die Rückkehr von Jähn und Bykowski zur Erde gab es dann wieder einen besonderen Ablauf. Da das am Bug angekop-



Traditionsgemäß setzt Sigmund Jähn seinen Namenszug auf die Außenfläche der Rückkehrkapsel

pelte Raumfahrzeug „Sojus-29" schon seit dem 15. Juni 1978 im Weltraum war, sollten Jähn und Bykowski mit ihm den Rückflug antreten, damit ihr etwas „frischeres" Raumfahrzeug, „Sojus-31", später der Dauerflugbesatzung Kowaljonok und Iwantschenko zur Verfügung stand. Während der Vorbereitungsarbeiten für den Rückflug transportierten daher Jähn und Bykowski ihre beiden Konturensessel von „Sojus-31" nach „Sojus-29", und bald danach, am 3. September, kehrten sie zur Erdoberfläche zurück (Gesamtflugzeit: 188 Stunden 49 Minuten).

Für die Dauerflugbesatzung gab es danach eine zuvor noch nie erprobte raumfahrttechnische Aufgabe. Die Kosmonauten mußten in das am Heck angekoppelte Raumfahrzeug „Sojus-31" einsteigen, es von der Station lösen und in einigem Abstand in einer „Parkposition" halten. Dann mußte die Station von der Erde aus durch Fernsteuerung so im Raum gedreht werden, daß schließlich der Bug vor dem wartenden Raumfahrzeug lag. Anschließend sollten Kowaljonok und Iwantschenko ihr Raumfahrzeug nun am Bug ankoppeln, damit es dort bis zum Rückstart verbleiben konnte und zugleich das Heck für weitere Ankopplungen frei wurde. Dieses bisher einmalige Raumfahrtmanöver gelang mit völliger Exaktheit. Der frei gewordene Platz am Heck von „Salut-6" wurde am 4. Oktober 1978 durch den vierten Einweg-Transporter der Serie „Progress" belegt.

Die zweite große Betriebsperiode des Komplexprogramms „Salut-6" fand schließlich mit der Rückkehr der beiden Kosmonauten Wladimir Kowaljonok und Alexander Iwantschenko am 2. November 1978 ihren Abschluß. Dieser Dauerflug über 140 Tage setzte eine neue Rekordmarke für den Aufenthalt von Menschen im Weltraum. Welche Schlußfolgerungen daraus für die weitere Entwicklung des bemannten Raumfluges gezogen werden können, wird erst die sorgfältige Auswertung der neu gewonnenen biologischen und medizinischen Untersuchungsergebnisse zeigen.

# Projekte der Zukunft

Seit einiger Zeit gibt es eine Anzahl sehr kühner Raumfahrtprojekte, die technisch realisierbar erscheinen und von großem Nutzen sein könnten. Dennoch sind sie im Urteil der Fachleute umstritten. Zu diesen Projekten gehören riesige um die Erde kreisende Kraftwerkanlagen. Solche Orbitalkraftwerke sollen Elektroenergie entweder direkt aus der Sonnenstrahlung oder durch Kernfusion gewinnen und sie mit Hilfe einer Riesenantenne als Mikrowellenstrahlung zur Erde übertragen. Dort will man den Energiestrahl mit einer ebenfalls sehr großen Antenne aufnehmen und die rückverwandelte Elektroenergie in das Verbrauchernetz leiten. Vorteilhaft wäre der unerschöpfliche Vorrat an Sonnenstrahlung und die für Erdbewohner umweltfreundliche Art der Elektroenergieerzeugung. Aber zahlreiche Fragen sind noch völlig ungeklärt, beispielsweise welche Auswirkungen sich ergeben, wenn der Energiestrahl auf Dauer die Atmosphäre durchläuft. Oder welche Folgen auftreten, wenn die Lageregelung der Sendeantenne versagt.

Entschieden günstiger werden dagegen solche Projekte beurteilt, die technische Produktionsstätten in Weltraumbasen vorsehen. Wie wir wissen, bieten die physikalischen Bedingungen des Weltraums unabschätzbare Perspektiven für die Herstellung neuer technischer Produkte. Doch aus ökonomischen Gründen wird man nur das im Weltraum fertigen, was den hierfür erforderlichen hohen Aufwand rechtfertigt.

Das Augenmerk der Raumfahrtwissenschaftler wird, wie bereits erwähnt, auch in Zukunft nicht ausschließlich auf den erdnahen Raum gerichtet sein. Den Mond und fremde Planeten werden sie genauer erforschen, die gewonnenen Erkenntnisse dem Menschen nutzbar machen. Und auch neue Forschungsziele werden sie sich stellen, zum Beispiel die Nahuntersuchung von Kometen und Kleinen Planeten (Planetoiden). Bis zu welchen Objekten im Randgebiet unseres Planetensystems die zukünftigen Erkundungsgeräte vorstoßen werden, ist gegenwärtig noch nicht zu sagen. Namhafte Fachleute halten es für sehr wahrscheinlich, daß es auch in späteren Jahren keine wichtigen Gründe geben dürfte, die Planeten jenseits des Uranus direkt zu erkunden, höchstens durch unbemannte Raumflugkörper. Bemannte Raumfahrzeuge zu ihnen zu schicken, wäre aus verschiedenen Gründen nicht vertretbar.

Und wie sieht es mit dem Flug des Menschen zu fremden Sonnensystemen aus?

Die Existenz von Planetensystemen bei anderen Sonnen ist heute unbestritten. Planeten mit lebenden Organismen sind jedoch mit Sicherheit außerordentlich selten. Wo sie zu finden wären, ist völlig ungewiß, und ob die dort anzutreffenden Lebensspuren den ungeheuren Aufwand einer Raumfahrtexpedition lohnen würden, bleibt zweifelhaft.

Die gigantischen Entfernungen zwischen unserer Sonne und anderen Fixsternen würden für interstellare Flüge die Antriebsmittel der heutigen Raumfahrt völlig ausscheiden lassen. Die damit erzielbaren Geschwindigkeiten hätten Reisezeiten von einigen tausend Jahren zur Folge. Aussichten auf kürzere Reisezeiten würde nur ein Flug mit annähernd Lichtgeschwindigkeit bieten. Es ist jedoch eine gegenwärtig und in absehbarer Zukunft nicht lösbare technische Aufgabe, ein Antriebssystem zu schaffen, das einem Raumfahrzeug annähernd Lichtgeschwindigkeit erteilt. Es wäre – rein theoretisch – nur ein Rückstoßantrieb denkbar, der Photonen (Lichtteilchen) gerichtet abstrahlt. Im Photonentriebwerk müßten aber so ungeheure Energieumwandlungen ablaufen, daß es dafür technische Lösungen wahrscheinlich niemals geben wird.

Die Entwicklung der Raumfahrt hat also Grenzen. Man findet sie überall dort, wo physikalische Naturgesetze oder der Aufbau des Kosmos Schranken errichten. Der Mensch wird sie zu keiner Zeit und mit keiner noch so großen technischen Anstrengung überschreiten können. Kreuzfahrten durch die Galaxis mit Licht- oder gar Überlichtgeschwindigkeit bleiben phantastische Träumereien.

Die Grenzen unseres Planetensystems werden auch in kommenden Zeiten zugleich die Grenzen aller sinnvollen Weltraumunternehmen sein. Ein wichtiger Pfeiler einer jeden von der Vernunft gelenkten Entwicklung der Raumfahrt ist die wachsende internationale Zusammenarbeit, deren Grundlage das von den sozialistischen Ländern vertretene Prinzip der friedlichen Koexistenz bildet. Und wenn man nach dem Zweck und dem tieferen Sinn der Raumfahrt fragt, so läßt sich sagen, daß sie ein wichtiger Teil der großen Anstrengungen von Wissenschaft und Technik ist, die Welt zu erkennen und die Erkenntnisse Menschen nutzbar zu machen.

Unser „blauer Planet" im Weltraum — Ausgangspunkt aller Raumfahrtunternehmen und selbst Gegenstand zahlreicher Aktivitäten des Menschen im Kosmos

# Inhalt

5 **Weltentdecker auf neuen Wegen**

11 **Träume vom Sternenflug**
Auf den Flügeln der Phantasie — Aus neuer Sicht — Die Physiker melden sich zur Sache — Ein neuer Magnet

21 **Der kosmische Raum und seine Gesetze**
Weltraum und Erde — Die Gesetze der Bahnmechanik — Wie ein künstlicher Satellit entsteht — Flugbahnen zu anderen Himmelskörpern

31 **Wegbereiter der Weltraumfahrt**
Die Geburtsstunde der Raumfahrtwissenschaft — Raketenexperimente für die Raumfahrt — Die Fundamente der sowjetischen Raumfahrt entstehen

43 **Raketen für den Weltraum**
Wie funktionieren Raketen? — Die Technik des Raketenantriebs — Schlüssel zum Weltraum: die Mehrstufenrakete — Antriebe für die Raumfahrt der Zukunft?

59 **Die ersten Kundschafter**
Höhenraketen helfen forschen — „Sputnik" – der erste Schritt in den Weltraum — Die Entdeckung der Magnetosphäre — Mit Raumflugkörpern zum Mond — Wetterforschung aus dem Weltraum — Die ersten Planetensonden

73 **Der Mensch fliegt in den Weltraum**
Was wirkt auf den Raumfahrer ein? — Wie schützt man den Raumfahrer? — Anzüge für den Weltraum — Wer wird Raumfahrer?

91 **Weltraumforschung auf neuen Wegen**
Die Sonne beeinflußt die Erde — Sonden landen auf dem Mond — Projekt „Apollo" — Die ersten Menschen auf dem Mond — Mond-Bohrsonden und „Lunochod"-Exkursionen

111 **Raumflugkörper als Planetenforscher**
Landungen auf der Venus — Überraschungen auf dem Mars — Jenseits von Venus und Mars — Flugziel: Riesenplanet Jupiter

123 **Von der Raumkapsel zur Weltraumbasis**
Die erste „Generation" — Rendezvous der Raumfahrzeuge — Das vielseitige Raumfahrzeug: „Sojus" — Raumstationen – Stützpunkte im Weltraum — Weltraum-„Werkstatt" mit Sonnenteleskop

141 **Raumfahrt heute und morgen**
Zusammenarbeit im Weltraum — Pendelfähren zwischen Erde und Umlaufbahn — Interkosmonauten im Orbitalkomplex — Projekte der Zukunft

Einbandillustration: Klaus Segner
Illustrationen:
Horst Boche, Rainer Flieger, Gerd Ohnesorge, Rudolf Platzer, Klaus Segner

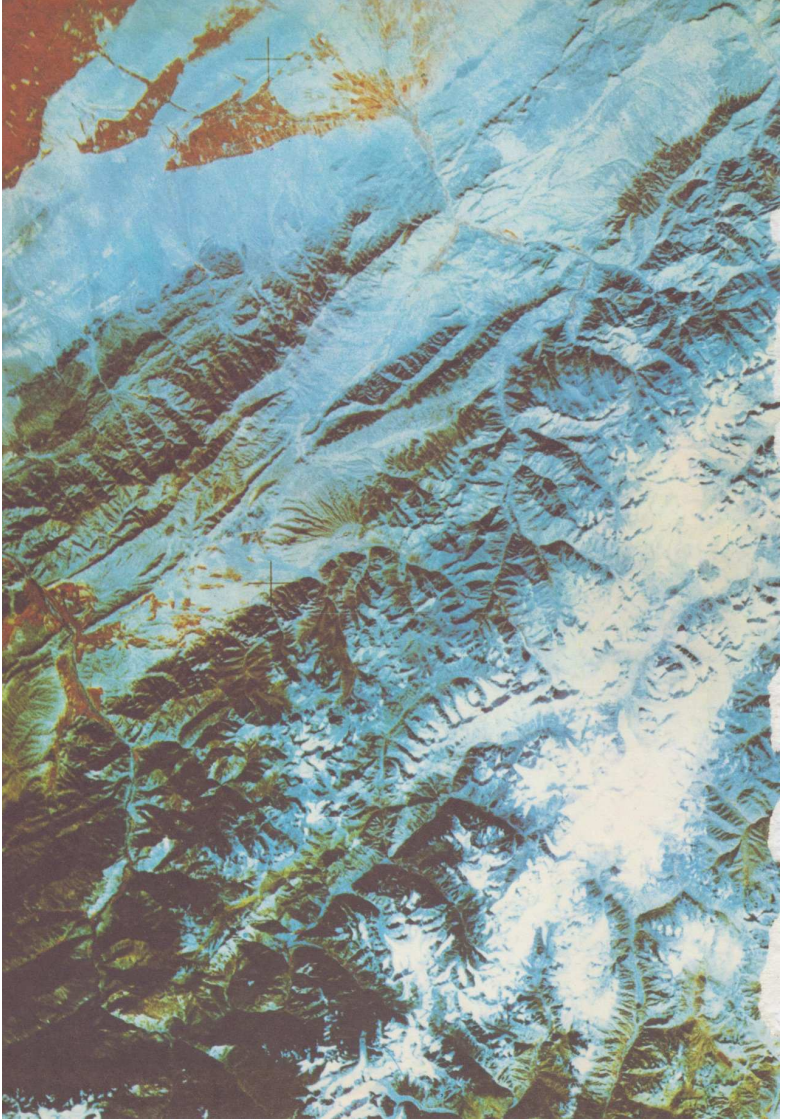
Vorsatz: Pamir, aufgenommen mit der Multispektralkamera MKF 6 an Bord von „Sojus-22"

Innentitel: Illustration aus Petrarcas „Trostspiegel", 1584

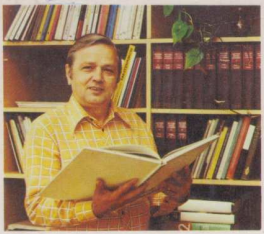
Fotos: ADN (16), APN (29), CTK (1), Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik der Erde / Mdl-Nr. 105/77447 (3), Archiv (28), Deutsche Fotothek (2), Freie Welt (4), Interpress (1), Karger-Decker (3), Schwarzschild-Observatorium Tautenburg (1), TASS (9), USIS (13), Willmann (5).

Manuskript-Hauptabschluß: November 1976

1. Auflage 1979
© DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN – DDR 1979
Lizenz-Nr. 304–270/105/79-(20)
Fotosatzherstellung:
(140) Druckerei Neues Deutschland, Berlin
Repro, Druck und buchbinderische Verarbeitung:
Karl-Marx-Werk Pößneck
LSV 7821
Für Leser von 12 Jahren an
Bestell-Nr. 629 735 6
DDR 16,80 M



DDR 16,80 M



Der Traum des Menschen vom Sternenflug ist Wirklichkeit geworden. Es war ein langer Weg dorthin, markiert durch tiefe Sehnsüchte und phantastische Vorstellungen, fundamentale Erkenntnisse und bittere Irrtümer, geniale Ideen und faszinierende Konstruktionen. Wir erfahren durch den Autor (Bild links), wie der Mensch die Schwerkraft der Erde überwunden hat, im Weltall forscht, und wie er es lernte, seinen Heimatplaneten aus neuer Sicht neu zu entdecken.

DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN