

Kowal · Uspenski · Jasnow

# **Der Weltraum dem Menschen!**



Alexander D. Kowal

Georgi R. Uspenski

Waleri P. Jasnow

# Der Weltraum dem Menschen

Über den Nutzen der Raumfahrt

Verlag MIR Moskau

Urania-Verlag Leipzig

UDK 629.78.001.8(023)=30

Titel der Originalausgabe: „Космос-человеку“,  
А. Д. Коваль, Г. Р. Успенский, В. П. Яснов.  
издательство „Машиностроение“, Москва

Ins Deutsche übertragen von Wolfgang Gruhn und  
Leo Korniljew

Gemeinschaftsausgabe des Verlags „Mir“ Moskau und des Urania-Verlags Leipzig/Jena/  
Berlin.

Alle Rechte an dieser deutschsprachigen Ausgabe bei Verlag „Mir“ Moskau und Urania-  
Verlag Leipzig/Jena/Berlin

© 1973 Verlag MIR, Moskau und Urania-Verlag, Leipzig/Jena/Berlin

I. Auflage

VLN 212-475/11/73. ES 18 D 1/20 L 5

Einband: Rolf F. Müller, Gera

Satz und Druck: „Iskra revoluzii“-Druckerei Nr. 7, Moskau

K  $\frac{02652=480}{41(01)-73}$

## I N H A L T

Vorgeschichte	7
Der erdnahe Weltraum	15
Der Raumflug	20
Die Erschließung des Mondes und der Planeten	41
Kosmische Einflüsse auf das irdische Leben	71
Unbemannte Raumflugkörper	82
Raumfahrzeuge und Raumstationen	94
Wie arbeitet ein Trägersystem?	110
Bahnbestimmung und Flugführung	121
Raumfahrt als Beschleuniger des technischen Fortschritts	131
Nachrichtenwesen—Nervensystem der Menschheit	135
Erdmessung in neuen Dimensionen	148
Satellitennavigation	158
Erforschung der atmosphärischen Vorgänge	167
Methoden zur Fernbeobachtung der Erdoberfläche	175
Ozeanographie aus dem Weltraum	187
Hydrologie und Wasserhaushalt	196
Auf der Suche nach Bodenschätzen	203
Es geht um die Wälder	212
Hilfe für die Landwirtschaft	219
Erdbeobachtung und Umweltprobleme	221
Für ein effektiveres Verkehrswesen	229
Einfluß auf Kultur und Bildung	234
Neue Aufgaben für Medizin und Biologie	237
Über den indirekten Nutzen der Raumfahrtforschung	242
Raumfahrttechnik	247
Das sowjetische Raumfahrtprogramm	255
Die Erde dem Menschen!	274

# Vorgeschichte

Seit uralten Zeiten träumte der Mensch davon, zu fliegen. Anfangs schien es ihm, daß er sich mit Hilfe von künstlichen Flügeln wie ein Vogel bis zu den Wolken und auch weit darüber hinaus erheben könnte.

So entstanden die naiven Mythen und Sagen über Reisen im Luftzean. Aus der altgriechischen Mythologie stammt der Bericht über den Flug Dädalus' und seines Sohnes Ikarus. Mit aus Federn gebauten Flügeln, die mit Wachs zusammengefügt waren, sollen sie sich in die Lüfte geschwungen haben.

Jahrtausende trennen die Zeit, in der diese wunderbaren Phantasien entstanden, und unsere jüngste Vergangenheit, in der der Mensch erstmals einen wirklichen, aerodynamischen Flug in der Erdatmosphäre vollbrachte.

Etwa zur gleichen Zeit fand man heraus, daß für den Flug im Weltraum ein prinzipiell anderes Verfahren, und zwar eine Bewegung durch Raketenantrieb, notwendig ist.

Das Prinzip der Rückstoßbewegung war schon seit langer Zeit bekannt. Eine Legende aus dem 15. Jahrhundert berichtet vom Versuch des chinesischen Erfinders Wan Hu, sich mit Hilfe von Feuerwerksraketen, die an einem Drachen befestigt waren, in den Himmel zu erheben. Aber während des Starts zerbrach die ganze Konstruktion, und der kühne Experimentator verbrannte mit ihr. Sowjetische Wissenschaftler haben einen der Krater auf der Rückseite des Mondes nach diesem Wan Hu benannt.

Viele andere Überlieferungen zeugen von der uralten Popularität eines Fluges zu den Sternen. Trotzdem ist die früheste Periode der Entwicklung der Raketentechnik noch längst nicht ausreichend erforscht. Die ersten zuverlässigen Angaben über die Konstruktion von Raketen stammen

aus dem 10. und 11. Jahrhundert. Zu dieser Zeit begannen chinesische Krieger primitive Pulverraketen zu benutzen, die unter der Bezeichnung „Feuerpfeile“ bekannt wurden. In Europa kamen Pulverraketen erst wesentlich später auf.

Wir haben bis heute auch noch keine zuverlässigen Angaben über die erstmalige Anwendung und Verbreitung von Raketen auf dem Territorium der heutigen Sowjetunion. Wahrscheinlich stand die Konstruktion der ersten Raketen und anderer pyrotechnischer Mittel auch hier in einem engen Zusammenhang mit der Erfindung und Anwendung des Schießpulvers. In Rußland gilt das etwa für die zweite Hälfte des 14. Jahrhunderts, als das Schießpulver zu militärischen Zwecken verwendet wurde. Die erste literarische Quelle, die eine Mitteilung über russische Raketen enthält, ist das „Statut für die Infanterie, Artillerie und andere Bereiche der Kriegswissenschaft“, das von dem russischen Kanonengießmeister Onisim Michailow (Radischewski) in den Jahren 1607 bis 1621 zusammengestellt wurde.

Im Jahre 1675 wurde in Ustjug ein großes Feuerwerk veranstaltet, dessen Beschreibung das erste uns überlieferte dokumentarische Zeugnis für die Verwendung von Pulverraketen in Rußland ist. Die russischen Feuerwerksraketen aus der Zeit Peter I. bewirkten einen Auftrieb in der Entwicklung der Raketentechnik. Im Jahre 1762 wurde in Rußland die erste umfangreiche Arbeit auf diesem Gebiet veröffentlicht: „Die Grundlagen der Theorie und Praxis der Artillerie unter Berücksichtigung der hydrostatischen Gesetze“. Der Autor dieser Arbeit, M. W. Danilow, beschreibt ausführlich den Aufbau von Feuerwerksraketen und die Herstellung von Treibsätzen für Pulverraketen.

Im letzten Viertel des 18. Jahrhunderts begannen sich in Moskau, Petersburg und in anderen Städten Rußlands in rascher Folge Raketenmanufakturen und private pyrotechnische Laboratorien zu entwickeln. Außer bei Feuerwerken wurden die Raketen auch in der Waffentechnik verwendet. Um die Mitte des 19. Jahrhunderts stellten die russischen Kampftraketen, die sich durch ihre sehr guten ballistischen Eigenschaften auszeichneten, einen festen Bestandteil der Artillerie dar.

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts machten die englischen Kolonisatoren erstmalig mit den Raketenwaffen der Inder Bekanntschaft, als sie deren Wirkung in der Schlacht

um Seringapatam zu spüren bekamen. Der englische Militäringenieur William Congreve, der daraufhin die indischen Raketen studierte, wurde zum Initiator für die Ausrüstung der englischen Armee mit Raketenwaffen.

In Rußland wurden Versuchsarbeiten zur Entwicklung von Kampftraketen in großem Umfang durchgeführt. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts beschäftigten sich die russischen Erfinder A. D. Sasjadko, K. A. Schilder und K. I. Konstantinow mit der Herstellung von Artillerieraketen. Konstantinow verallgemeinerte die Erfahrungen der wissenschaftlichen Forschung und der Herstellungspraxis auf diesem Gebiet. Er war ein leidenschaftlicher Verfechter der Ideen der Raketentechnik. Er erfand und erprobte das ballistische Pendel zur Messung der Stärke der Rückstoßkraft und schuf eine für seine Zeit einmalige technologische Einrichtung zur Herstellung von Raketen, indem er ihre Herstellung mechanisierte und auf diese Weise eine Serienfertigung in die Wege leitete. In den Kämpfen gegen die Türken wurden diese Raketen erfolgreich eingesetzt.

Von der Mitte des 19. Jahrhunderts an untersuchten russische Erfinder und Konstrukteure die Möglichkeiten, das Rückstoßprinzip auf die Lösung des Problems des Menschenfluges anzuwenden. So erarbeitete schon im Jahre 1849 der Ingenieur J. I. Treteski die Projekte von drei Flugapparaten, deren Antriebsmechanismus auf der Wirkung eines reaktiven Strahls von Gas oder Dampf (Düsenstrahl) beruhte.

Im Jahre 1866 legte der Ingenieur N. M. Sokownin in seiner Schrift „Das Luftschiff“ das Projekt eines Ballons mit Strahlantrieb vor, dessen Schubkraft im horizontalen Flug durch Ausstoßen von komprimierter Luft entstehen sollte. Dem Erfinder N. A. Teleschow wurde im Jahre 1867 das Patent auf einen Flugkörper erteilt, der schwerer als Luft war und dessen Antriebsprinzip auf dem Ausstoß von Gasen beruhte, die sich bei der Explosion eines Treibstoffgemisches in einem Hohlzylinder, der als Brennkammer diente, entwickelten.

Unter der großen Anzahl von Projekten für Raketenflugkörper nimmt dasjenige des russischen Revolutionärs und Volkstümlers Nikolai Iwanowitsch Kibaltschitsch (1854—1884) einen besonderen Platz ein. Sein Projekt schrieb er am Abend vor seiner Hinrichtung im Jahre

1881 im Gefängnis nieder, in das man ihn wegen der Teilnahme an einer Verschwörung gegen den russischen Zaren Alexander II. geworfen hatte. Das Projekt Kibaltschitschs unterschied sich wesentlich von allen bis dahin bekannt gewordenen Entwürfen für Flugkörper. Vor Kibaltschitsch hatten sowohl russische als auch andere Autoren vorgeschlagen, das Prinzip des Strahltriebs nur für die Fortbewegung von Ballonen oder Flugzeugen in horizontaler Richtung zu verwenden. Die Antriebskraft sollte entweder durch die Verwendung eines Gases entstehen, das leichter als Luft war (Aerostat), oder durch den aerodynamischen Auftrieb an Tragflächen (Flugzeug). Alle diese Geräte waren somit nur für den Flug in der Erdatmosphäre bestimmt. Für sie war die Luft als tragendes Element eine notwendige Voraussetzung.

Das Projekt von Kibaltschitsch sah dagegen erstmalig vor, das raketendynamische Prinzip zur Erzeugung der Auftriebskraft zu verwenden. Die Erdatmosphäre ist, so formulierte schon damals Kibaltschitsch, für den Aufstieg eines Raketenflugkörpers sogar hinderlich, weil sie einen zusätzlichen Widerstand schafft. Kibaltschitsch schlug auf dieser Basis erstmalig das Projekt eines Raketenflugkörpers für den Flug des Menschen im luftleeren Raum vor. In seinem letzten Brief schrieb der 27jährige Gelehrte und Revolutionär: „Einige Tage vor meinem Tode beschreibe ich im Gefängnis dieses Projekt... Wenn dann meine Idee anerkannt und ausgeführt werden wird, so würde ich glücklich darüber sein, der Heimat und der ganzen Menschheit einen großen Dienst erwiesen zu haben!“

Fast gleichzeitig mit N. I. Kibaltschitsch, aber unabhängig von ihm arbeitete ein anderer russischer Gelehrter und Erfinder, S. S. Neshdanowski, an dem Problem des Raketenflugs. Im Jahre 1880 beschäftigte er sich mit den Möglichkeiten, einen Raketenflugkörper zu konstruieren. Er stellte Berechnungen über zwei Varianten von Pulvertriebwerken an. Im Jahre 1882 entwickelte er die Idee eines Strahltriebwerkes nach dem Prinzip eines Magazingewehrs. Gleichzeitig kam er zu dem Schluß, daß man zwei Typen von Raketenflugkörpern konstruieren könne, die schwerer als Luft sind, und zwar mit und ohne Flügel. Neshdanowski schlug auch vor, Hubschrauber mit Strahltrieb zu konstruieren, die mit einer Hubschraube von der Art eines Segnerschen Wasserrades versehen sind, das auf der Rück-

stoßwirkung eines durch kleine Öffnungen ausströmenden Mediums beruht.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts wurden noch einige andere Projekte für den Bau von Raketenflugkörpern vorgeschlagen, von denen vielleicht das Projekt des Ingenieurs Alexander Petrowitsch Fjodorow erwähnenswert ist. In seiner Schrift „Ein neues Prinzip der Luftschiffahrt“ legt er den Aufbau eines Raketenapparates für die Bewegung im luftleeren Raum dar.

Die erste wirklich wissenschaftliche Theorie des Rückstoßantriebs wurde von Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski (1857—1935) ausgearbeitet. Er wies als erster auf die Rakete als Mittel zur Verwirklichung von interplanetaren Flügen hin. Schon im Jahre 1873 hatte K. E. Ziolkowski an die Möglichkeit von interplanetaren Flügen gedacht, und zehn Jahre später war er zu dem Schluß gekommen, daß nur das Raketentriebwerk als Antriebsmittel für künftige Raumflüge dienen kann. Diese Gedanken legte der Gelehrte 1883 in dem Manuskript „Der freie Raum“ dar.

Ziolkowski war nicht nur ein Pionier auf dem Gebiet der Raumfahrtforschung. Er war ganz allgemein ein großer Denker, ein vielseitiger Theoretiker, ein origineller Konstrukteur und Ingenieur, dessen grundlegende Ideen bis heute besonders in der praktischen Arbeit auf dem Gebiet der Raketen- und Raumfahrttechnik Anwendung finden.

Heute verehrt man Ziolkowski in aller Welt als einen der Begründer der Raumfahrt, unter denen er unbestritten der erste große Pionier war. Buchstäblich von Kindheit an befaßte sich Ziolkowski mit Problemen des Raumflugs. So schrieb er selbst darüber: „...Mir scheint, aber das ist wahrscheinlich nicht ganz korrekt, daß meine grundlegenden Ideen und die Liebe zu dem ewigen Streben dorthin — zur Sonne, zur Befreiung von den Ketten der Schwerkraft — mir schon in die Wiege gelegt waren. Jedenfalls erinnere ich mich sehr gut daran, daß mein Lieblingstraum im frühen Kindesalter, noch bevor ich lesen konnte, eine nebelhafte Vorstellung von einem Medium ohne Schwerkraft war, wo die Bewegung nach allen Seiten völlig frei und besser möglich war als dem Vogel in der Luft. Woher diese Wünsche kamen, kann ich bis heute nicht verstehen. Es gibt auch keine solchen Märchen, aber ich

glaubte und fühlte es irgendwie unklar, und ich wünschte mir gerade ein solches Medium ohne die Last der Schwerkraft.“

K. E. Ziolkowski schrieb sehr viele Arbeiten. Dazu gehören „Träume über die Erde und den Himmel“ (1895), „Erforschung des Weltraums mittels Reaktionsapparaten“ (1898), „Außerhalb der Erde“, „Das Raumschiff“, „Raumraketenzüge“, „Die Höchstgeschwindigkeit der Rakete“ u. a. Er schuf mit ihnen die theoretischen Grundlagen der Raumfahrt.

Am Ende des 19. Jahrhunderts beschäftigte die Raumfahrtidee viele Geister. Und auch eine Reihe von Gelehrten anderer Länder leistete auf diesem Gebiet Bedeutendes. Zu ihnen gehören der deutsche Ingenieur Hermann Ganswindt (1856—1934), der österreichische Ingenieur Franz von Hoefft (1882—1954), der französische Techniker Robert Ésnault-Peltérie (1881—1957), der deutsche Wissenschaftler Hermann Oberth (geb. 1894) und der amerikanische Physiker Robert Goddard (1882—1945). In Rußland veröffentlichte 1897 und 1904 der Wissenschaftler I. W. Mestscherski (1859—1935) Arbeiten, in denen die Grundgleichungen der Raketendynamik enthalten sind.

Die Große Sozialistische Oktoberrevolution schuf günstige Bedingungen für die weitere Entwicklung der Raumfahrt. In den ersten Jahren der Sowjetmacht begannen so bekannt gewordene Wissenschaftler und Ingenieure wie Friedrich Arturowitsch Zander (1887—1933) und Juri Wasiljewitsch Kondratjuk (1898—1942) ihre Tätigkeit. Sie leisteten einen bedeutenden Beitrag zur Weiterentwicklung der Raketentechnik. Dank der Arbeiten Ziolkowskis, Mestscherskis, Zanders, Kondratjuks wurden in der Sowjetunion schon um die Mitte der zwanziger Jahre die Grundlagen der Mechanik von Körpern mit veränderlicher Masse und der Theorie des Raumfluges geschaffen. Darüber hinaus wurde eine Reihe von wissenschaftlichen Ideen und Vorschlägen entwickelt, die eine große Bedeutung für die Raumfahrtforschung der Zukunft hatten.

Die Bekanntschaft mit den Arbeiten K. E. Ziolkowskis rief eine schöpferische Aktivität in breiten Kreisen der Wissenschaft und des gesellschaftlichen Lebens in der Sowjetunion hervor. Die Raumfahrtenthusiasten begannen, sich in Gruppen und Gesellschaften zusammenzuschließen. Zu Beginn des Jahres 1921 wurde unter Leitung des Chemiein-

genieurs N. I. Tichomirow (1860—1930) in Moskau das erste staatliche Laboratorium für die Herstellung von Raketengeschossen auf der Grundlage rauchloser Pulver gegründet. Diese Einrichtung wurde später in das Gasdynamische Laboratorium (GDL) umgewandelt.

In diesen Jahren entstanden zahlreiche Gesellschaften und Zirkel zum Studium der Probleme des Raumfluges, und es wurden thematische Ausstellungen zu Problemen der Erforschung des Weltraums durchgeführt. So organisierte z. B. im Jahre 1927 die Vereinigung der Erfinder in Moskau zu Ehren des 10. Jahrestages der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution die erste internationale Raumfahrt Ausstellung. Hier wurden die Arbeiten von K. E. Ziolkowski, F. A. Zander, R. Goddard, H. Oberth, M. Valier, R. Ésnault-Peltérie und vieler anderer ausgestellt.

Im Jahre 1931 wurden in verschiedenen Städten „Gruppen zum Studium der Rückstoßbewegung“ (GIRD) organisiert, die alle Anhänger der Raketentechnik erfaßten. Bald darauf wurde die Moskauer Gruppe zur Zentrale (ZGIRD) und leitete von nun an alle Arbeiten.

Im Jahre 1932 begann man in Moskau, Kurse über die Rückstoßbewegung durchzuführen. Vor diesem Zentralen Forschungsausschuß für Raketenprobleme hielten so bekannte Wissenschaftler wie Prof. W. P. Wetschinkin, N. A. Rynin, B. S. Stetschkin, die Ingenieure D. N. Shurawlenko und B. N. Jurew Vorlesungen.

Großer Popularität erfreute sich der Leningrader Professor Nikolai Alexejewitsch Rynin (1877—1942), der Autor der neunbändigen Enzyklopädie „Interplanetarer Verkehr“, die eine erste zusammenfassende Darstellung zur Geschichte und Theorie des Rückstoßantriebs und der Raumfahrt gab. Die Beteiligung von bekannten Fachleuten an der Arbeit der Kurse für Rückstoßbewegung spielte eine große Rolle bei der Ausbildung von Kadern für die sowjetische Raketentechnik.

Schon bald darauf wurde die ZGIRD in eine wissenschaftlich-experimentelle Organisation umgewandelt, die über eine eigene Produktionsgrundlage für die Entwicklung und Herstellung von Raketen und Raketentriebwerken verfügte. An der Spitze dieser Organisation stand Sergej Pawlowitsch Koroljow (1906—1966), künftiges Akademiemitglied und einer der bedeutendsten Konstrukteure von Raumfahrt- und Raketensystemen.

Aus den Reihen dieser Gesellschaft und ihrer späteren Organisationen gingen viele berühmte sowjetische Gelehrte und Konstrukteure hervor.

In der Folgezeit wurden in der Sowjetunion zahlreiche wissenschaftliche Forschungsinstitute und Konstruktionsbüros gegründet, in denen sowohl die berühmten „Kattjuschas“ als auch geophysikalische Forschungsraketen und schließlich die mächtigen Raumfahrt-Trägerraketen entstanden, von denen die künstlichen Erdsatelliten, Raumsonden und bemannten Raumflugkörper auf ihre Bahnen gebracht wurden.

Außerhalb der Sowjetunion begann man zuerst in Deutschland und später in den USA mit grundlegenden Arbeiten zur Konstruktion von Raketen, Raketentriebwerken und Raketenflugzeugen. Es sei in diesem Zusammenhang nur auf die Tätigkeit von Eugen Sänger (1905—1964) und Wernher von Braun hingewiesen.

Die theoretischen und experimentellen Arbeiten auf dem Gebiet der Raketentechnik, die große Anzahl von hervorragenden Wissenschaftlern und Konstrukteuren, die in der Sowjetunion in den Jahren der Sowjetmacht ausgebildet wurden, und die gewaltige industrielle Basis schufen die Bedingungen dafür, daß in diesem Land der erste künstliche Satellit gestartet werden konnte. Das war am 4. Oktober des Jahres 1957. Der Traum vieler Generationen ging in Erfüllung. Es begann eine neue technische Ära in der Geschichte der Menschheit — die Ära der Raumflüge.

# Der erdnahe Weltraum

Unendliche Leere! Ein tiefschwarzer Abgrund, von den großen und kleinen leuchtenden Kugeln der Planeten durchzogen und von den gigantischen Feuerkugeln der Fixsternsonnen übersät! So stellte man sich früher das Weltall vor. In Wirklichkeit ist das Weltall ein Raum, der von verschiedenen Strahlungen und Teilchenströmen, mit kosmischem Staub, mit Meteoriten, Kometen, planetaren und sonnenähnlichen Körpern angefüllt sowie von Magnet- und Gravitationsfeldern durchdrungen ist.

Gegenwärtig wird dem Sonnensystem besonderes Interesse entgegengebracht. Der Zentralkörper dieses Systems ist die Sonne. Sie wird von einer großen Anzahl kleinerer Körper umkreist. Das Sonnensystem ist, in den Maßstäben des Weltalls betrachtet, unser „näherer“ Raum, obwohl er sich auf etwa 15 Mrd. km und vielleicht noch mehr erstreckt. Zum Sonnensystem gehören außer neun großen Planeten und ihren dreiunddreißig Satelliten mehr als 1600 Planetoiden, unzählige Kometen, meteoritische Materie sowie interplanetarisches Gas, das vorwiegend aus ionisiertem Wasserstoff, Helium und Elektronen besteht. Fünf der neun großen Planeten — Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn — sind schon aus dem Altertum bekannt. Die übrigen wurden in dieser Reihenfolge entdeckt: Uranus (1781), Neptun (1846) und Pluto (1930). Unser Planet, die Erde, gehört auch zu den großen Neun des Sonnensystems. Die Bahnebene aller Planeten weist — mit Ausnahme dereinigen des Pluto — unbedeutende Abweichungen von der Erdbahnebene (Ekliptik) auf. Die Bewegung aller Planeten um die Sonne erfolgt in ein und derselben Richtung, d. h. entgegen dem Uhrzeigersinn, vom Nordpol der Erde oder vom Polarstern aus betrachtet.

Die Sonne ist ein riesiger thermonuklearer Reaktor. Die enorme Anziehungskraft der Sonne hält alle Körper des Sonnensystems auf ihren Bahnen. Die sich in und auf der Sonne vollziehenden physikalischen Prozesse (Sonnenaktivität) beeinflussen zahllose physikalische Erscheinungen und Vorgänge auf der Erde und im Sonnensystem.

Wir wollen zunächst den Teil des erdnahen Raumes betrachten, der bis in eine Entfernung von 36 000 km über der Erdoberfläche reicht. In diesem Bereich liegen vornehmlich die Bahnen der künstlichen Erdsatelliten. Schon bei den ersten dieser Raumflugkörper zeigte es sich, daß das Weltall durchaus nicht so leer ist, wie es scheint. In einer Höhe von 100 km über der Erdoberfläche macht sich noch das Vorhandensein der Atmosphäre bemerkbar. In jedem Kubikzentimeter sind dort noch immer  $10^{13}$  Gasatome und -moleküle enthalten. Tabelle 1 zeigt die Werte der atmosphärischen Dichte, und zwar bis zu einer Höhe von 800 km, sowie die des atmosphärischen Widerstandes gegenüber künstlichen Erdsatelliten auf verschiedenen kreisförmigen Umlaufbahnen und die Lebensdauer der Satelliten. In einer Höhe von 100 km über der Erdoberfläche ist die Atmosphäre noch so dicht, daß eine geschlossene Umlaufbewegung für einen Satelliten praktisch unmöglich wird. Infolge des starken Widerstandes, dem der Satellit dort bei seinem Flug ausgesetzt ist, verringert sich sein Bahnimpuls ständig, so daß er von der kreisförmigen auf eine elliptische Umlaufbahn übergeht. Dadurch verliert er sehr schnell an Höhe. Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, ist die Lebensdauer eines Satelliten im Weltraum bei einer Flughöhe bis zu 150 km ziemlich gering. Erst in Höhen ab 200 km ändert sich das sehr deutlich.

Die erste experimentelle Überprüfung der zuvor geschaffenen Modelle der Erdatmosphäre erfolgte mit dem ersten sowjetischen Sputnik. Die Veränderungen der Bahnbewegung dieses Satelliten unter dem Einfluß der Atmosphäre dienten zur Ableitung der Parameter der Hochatmosphäre. Die nachfolgenden Satelliten ermöglichten die ständige Verbesserung dieser Daten. Sie vermittelten Informationen über Zusammensetzung, Ionisationsgrad und andere Charakteristika der Hochatmosphäre.

Die künstlichen Erdsatelliten erbrachten eine interessante und wichtige Erkenntnis: Die Dichte der Hochatmosphäre ist von Jahr zu Jahr, im Verlauf eines Jahres und

Tabelle 1

Atmosphärendichte, -widerstand und Lebensdauer eines Satelliten in verschiedenen Höhen

Höhe km	Dichte $g/cm^3$	Widerstand G	Lebensdauer eines Satelliten (in Tagen)
100	$4,8 \cdot 10^{-10}$	9000	0,004
120	$2,4 \cdot 10^{-11}$	560	0,03
150	$1,7 \cdot 10^{-12}$	40	3
200	$3,6 \cdot 10^{-13}$	10	30
300	$3,3 \cdot 10^{-14}$	1	450
500	$1,2 \cdot 10^{-15}$	0,03	$1,96 \cdot 10^4$
800	$4,6 \cdot 10^{-17}$	0,01	$7,4 \cdot 10^5$

Anmerkung:

In der Tabelle sind die berechneten Werte für einen künstlichen Satelliten von kugelförmiger Gestalt mit einem Durchmesser von 2 m und einer Masse von 1 t, der auf einer Kreisbahn fliegt, angegeben.

innerhalb von vierundzwanzig Stunden großen Schwankungen unterworfen. Diese Veränderungen lassen sich durch verschiedene Ursachen erklären, von denen die Sonnenaktivität die entscheidende ist.

Die Ableitung des sogenannten dynamischen Modells der Atmosphäre — unter Berücksichtigung der erwähnten Veränderungen — macht eine wesentliche Verbesserung hinsichtlich der Bahnberechnung von Satelliten, besonders der niedrig fliegenden, möglich. In großen Höhen gibt es praktisch keine merkliche Bremswirkung der Atmosphäre. Dafür wird dort aber der Einfluß der kosmischen Teilchenstrahlung und der elektomagnetischen Strahlungen bedeutsam. Die Sonne sendet ständig eine große Menge von geladenen Teilchen in den Weltraum: Protonen, Elektronen u. a. Strahlungsteilchen kommen aus fernen Bereichen des Weltalls (galaktische Strahlung). Ein Teil der kosmischen Elektronen und Protonen werden vom Erdmagnetfeld eingefangen, und sie beginnen, sich entlang der Feldlinien zu bewegen. Sie bilden verschiedene Bereiche des sogenannten Strahlungsgürtels, die als torusförmige Gebiete mit erhöhter Teilchenkonzentration in Erscheinung treten. Die hohen Geschwindigkeiten der Teilchen und ihre Menge

sind die Ursache für einen erhöhten Strahlungspegel in diesen Zonen. Besonders hoch sind die Intensitätswerte in den erdnahen Bereichen. Ein längerer Flug in diesem Gebiet stellt eine nicht zu unterschätzende Gefahr nicht nur für den Menschen, sondern auch für wissenschaftliche Apparaturen dar.

Eine große Anzahl von Teilchen tritt mit der Atmosphäre in Wechselwirkung, wird dabei umgewandelt bzw. absorbiert und trägt so zur Ionisation der oberen Schichten bei. Die durchschnittliche Teilchendichte in  $1 \text{ cm}^3$  des erdnahen Weltraumes beträgt etwa  $10^3$  Partikeln. Sie verändert sich in Abhängigkeit vom Grad der Sonnenaktivität. In Perioden erhöhter Aktivität, besonders aber bei Sonneneruptionen, erreicht sie Werte um das Tausendfache.

Die schädigende Wirkung von kosmischen Strahlungsteilchen auf lebende Organismen und Geräte von Raumflugkörpern zwingt zu besonderen Sicherheitsmaßnahmen zum Schutz der Raumfahrer und der Ausrüstungen. Eine große Bedeutung bei der Planung von Raumflügen des Menschen kommt der Ausarbeitung von Methoden zur Voraussage von Sonneneruptionen, also einem regelrechten Strahlungswarndienst zu. Zum großen Teil werden die Strahlungsverhältnisse im erdnahen Weltraum durch die solare Röntgenstrahlung bestimmt. In der Eruptionsphase ist ihre Intensität besonders hoch. Sie ist folglich auch für Raumflüge gefährlich. Eine große Gefahr für den Menschen beim Flug im inneren Bereich des Strahlungsgürtels stellt nicht nur die Zahl der in ihm enthaltenen Teilchen, sondern auch ihre Energie dar. Die große Intensität der hier vorhandenen Atomkerne und ihrer Splitter hat eine große biologische Wirkung auf den menschlichen Organismus. In den äußeren Partien des Strahlungsgürtels sind vornehmlich Elektronen vorhanden, die eine geringere Durchdringungsfähigkeit besitzen und biologisch nur schwach wirksam sind.

Zur Untersuchung der Strahlungsbedingungen im Weltraum wurden viele Raumflugkörper gestartet. Hier wären besonders die sowjetischen Satelliten der Serien „Elektron“ und „Proton“ zu erwähnen, die eine genaue Erforschung des Strahlungsgürtels und der durchdringenden kosmischen Primärstrahlung ermöglichten.

Zum Sonnensystem gehört eine große Menge meteoritischer Materie, deren Körper sehr klein (Teile von Milli-

gramm) oder sehr groß (Millionen von Tonnen) sein können. Um die Meteoritenverteilung im Weltraum zu studieren, wurden zahlreiche Satelliten gestartet. Sie ermöglichen eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit von Zusammenstößen mit Meteoriten und über den Umfang der dadurch verursachten Beschädigungen. Es stellte sich heraus, daß es recht häufig zu derartigen Zusammenstößen kommt. Jedoch sind die betreffenden Meteoriten in der Regel nur sehr klein, so daß sie keine wesentliche mechanische Wirkung auf die Raumflugkörper haben. Bei Zusammenstößen werden derartige Mikrometeoriten schon in der äußeren, dünnen Schicht der Hülle der Raumflugkörper aufgehalten. Trotzdem ist zu beachten, daß infolge des dauernden Aufpralls glatte Oberflächen verändert werden. Diese Tatsache ist unbedingt in Betracht zu ziehen, wenn man optische Geräte für Raumflugkörper projiziert. Wenn keine besonderen Schutzmaßnahmen ergriffen werden, können an der Oberfläche liegende optische Linsenflächen ihre Lichtdurchlässigkeit erheblich einbüßen. Die Wahrscheinlichkeit des Zusammenstoßes mit verhältnismäßig großen Meteoriten ist sehr gering. Bei den künstlichen Satelliten mit langer Lebensdauer, etwa mehreren Jahren, muß man jedoch unbedingt auch damit rechnen und entsprechende Schutzmaßnahmen ergreifen. Besonders wichtig ist dieser Schutz für bemannte Raumflugkörper, weil beim Zusammenstoß mit größeren Meteoriten nicht nur wichtige Apparaturen beschädigt werden könnten, sondern auch das Leben der Raumfahrer unmittelbar bedroht wäre.

Einen großen Einfluß auf die Flugbedingungen von Satelliten hat die Licht- und Wärmestrahlung von Sonne und Erde sowie auch die Abstrahlung in den Weltraum. In Erdnähe beträgt die Sonnenstrahlung 1200 kcal auf 1 m<sup>2</sup> Oberfläche je Stunde. Die Erde kann dem Satelliten 100 bis 300 kcal in der gleichen Flächen- und Zeiteinheit abgeben.

# Der Raumflug

Im Weltraum ist alles ständig in Bewegung. Die Kometen, Asteroiden, Planeten, Sterne und Galaxien bewegen sich nach den Gesetzen der Himmelsmechanik unter dem Einfluß von Gravitationskräften. Diese gegenseitige Anziehung der Körper ist immer stärker, je größer ihre Massen sind und je geringer die Entfernung zwischen ihnen ist. Newton formulierte diese Erkenntnis im Gravitationsgesetz: Die Anziehungskraft zwischen zwei Körpern ist proportional dem Produkt ihrer Massen und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung zwischen ihnen. Dabei spielt es überhaupt keine Rolle, was das für Körper sind (Granit, Wasser, Metall usw.), ob sie sich in Bewegung oder in Ruhe befinden, ob sie kalt oder warm sind — alles hängt nur von ihren Massen und der Entfernung zwischen ihnen ab. Bei Körpern mit relativ kleinen Massen ist auch die Anziehungskraft sehr gering. So ziehen sich zwei Kugeln mit einer Masse von 1 kg, die 1 m voneinander entfernt sind, mit einer Kraft von  $6,7 \cdot 10^{-6}$  Millipond an, bei einer Masse von 1000 kg beträgt die Anziehungskraft 6,7 Millipond. Von dieser Tatsache ausgehend ist es verständlich, daß die Gravitationskraft zwischen astronomischen Körpern, die massereich sind, entsprechend groß ist. So zieht z. B. die Erde den Mond bei einer Entfernung von 384 000 km mit einer Kraft von  $1,9 \cdot 10^{19}$  kp an.

Bei der Rotation eines Körpers um einen anderen entsteht eine Zentrifugalbeschleunigung. Jeder Körper, der sich frei bewegt, wird durch die auf ihn wirkende Gravitationskraft beschleunigt. Die dabei auftretende Zentrifugalkraft ist der Trägheitswiderstand des sich bewegenden Körpers gegen die durch die Massenanziehung bewirkte dauernde Änderung seiner Bewegungsgröße. Damit der umlaufende nicht auf den anziehenden Körper fällt, ist

eine Umlaufgeschwindigkeit erforderlich, bei der eine Fliehkraft auftritt, die der gegenseitigen Anziehungskraft beider Körper gleich ist. Es ist bekannt, daß sich unsere Erde in einer mittleren Entfernung von etwa 150 Mill. km um die Sonne bewegt. Ihre Geschwindigkeit beträgt 29,8 km/s.

Während eines Raumfluges dominiert in der Regel eine der im Weltraum wirkenden Gravitationskräfte. Befindet sich z. B. der Raumflugkörper in der Nähe des Mondes, dann ist die Anziehungskraft dieses Himmelskörpers die Hauptgravitationskraft, die auf ihn einwirkt.

Geht man davon aus, daß jeder Himmelskörper eine Kugelform besitzt, und setzt man voraus, daß seine Masse symmetrisch verteilt ist, dann könnte man das Schwerefeld als zentral bezeichnen, und die einzige Kraft, die in diesem Falle auf einen Raumflugkörper wirkte, wäre die Anziehungskraft des Zentralkörpers.

In Abhängigkeit von der Anfangsgeschwindigkeit bewegt sich ein Raumflugkörper entweder auf einer Kreisbahn, einer Ellipsenbahn, einer Parabelbahn oder einer Hyperbelbahn. Die Geschwindigkeit des Raumflugkörpers, die dessen Bewegung auf einer Kreisbahn gewährleistet, nennt man die Kreisbahngeschwindigkeit (1. kosmische Geschwindigkeit). Für die Bewegung auf der Kreisbahn um die Erde in einer Höhe von 100 km ist eine Geschwindigkeit von 7,85 km/s, in einer Höhe von 1000 km von 7,36 km/s und in einer Höhe von 36 000 km von 3,32 km/s notwendig. Die Geschwindigkeit, die die im Brennschlußpunkt der letzten Antriebsstufe einer Rakete gültige Kreisbahngeschwindigkeit um den Faktor 1,414, also ( $\sqrt{2}$ ), übersteigt, heißt Flucht- oder Entweichgeschwindigkeit (2. kosmische Geschwindigkeit). Für die Erde ist sie gleich 11,19 km/s, für den Mond 2,36 km/s, für den Mars 5,09 km/s, für den Giganten Jupiter aber 60,2 km/s.

Wenn die Ausgangsgeschwindigkeit eines Raumflugkörpers die Kreisbahngeschwindigkeit übersteigt, bewegt er sich auf einer elliptischen Bahn, solange er noch nicht die Entweichgeschwindigkeit erreicht hat. Steigt diese Anfangsgeschwindigkeit bis zur Entweichgeschwindigkeit und darüber hinaus, wandelt sich die Ellipse zu einer Parabel und schließlich zu einer Hyperbel, zu einer nicht mehr geschlossenen Bahnform. In diesem Falle wird die Anziehungskraft des Zentralkörpers überwunden.

Der Raumflugkörper erhält eine kinetische Energie, die für den Flug in die Unendlichkeit in bezug auf den Zentralkörper, z. B. etwa auf die Erde oder die Sonne, ausreicht.

Der Mechanismus der Bahngeschwindigkeiten ist ziemlich einfach. Jeder kennt sicher die Wechselwirkung zwischen der Erde und den von ihr angezogenen Objekten, die man Fallbeschleunigung nennt. Auf der Erdoberfläche beträgt sie rund  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Das bedeutet, daß jeder Körper, der von der Erdoberfläche abgehoben wird, im freien Fall mit einer Beschleunigung von  $9,81 \text{ m/s}^2$  auf sie zurückfällt.

Betrachten wir nun die Bahn irgendeines Körpers, z. B. eines Erdtrabanten. Wenn man dem Flugkörper an einem Punkt der kreisförmigen Umlaufbahn eine zusätzliche Beschleunigung erteilt, seine Bahngeschwindigkeit also in Bewegungsrichtung verändert, dann wächst auch seine Fliehkraft, und sie übersteigt die Erdanziehungskraft. Dadurch wird der Flugkörper in einer Richtung beschleunigt, die vom Erdmittelpunkt wegführt. Die Richtung des Geschwindigkeitsvektors des Sputniks in bezug auf die Erdoberfläche verändert sich.

Bei der kreisförmigen Bewegung bildet die Richtung des Vektors der Geschwindigkeit einen Winkel von  $90^\circ$  mit der Geraden, die das Zentrum der Erde mit dem Sputnik verbindet. Jetzt aber, nach der Erteilung des zusätzlichen Impulses, wird dieser Winkel stumpf. Und wenn vorher die durch die Erdanziehung verursachte Beschleunigung (Radialbeschleunigung) senkrecht zur Bahntangente wirkte und deshalb ihre Größe konstant blieb (der Vektor der Geschwindigkeit ist in jedem Punkt gleich), so kommt es jetzt mit zunehmender Entfernung von der Erde zu einer Verringerung der Geschwindigkeit, weil die Zentripedalkraft nur zum Teil entlang der Richtung der Geschwindigkeit des Sputniks, zum anderen aber auch in umgekehrter Richtung wirkt. Schließlich verringert sich die Geschwindigkeit des Sputniks so stark, daß die überschüssige Komponente der Zentrifugalbeschleunigung verschwindet, und unter dem Einfluß der Bremswirkung der Erdanziehungskraft wird die Zentrifugalbeschleunigung sogar kleiner als die Beschleunigung durch die Gravitation. Ein umgekehrter Prozeß beginnt: Durch die Unterschiedlichkeit der beiden Komponenten der Beschleunigung verändert sich die Richtung des Geschwindigkeitsvektors in bezug auf die Erdoberfläche wieder zur Erde hin, und schließlich wird die Richtung

der Geschwindigkeit wieder parallel zur Tangente der Erdoberfläche, wie das bei der kreisförmigen Bewegung der Fall war. Die Geschwindigkeit des Sputniks wird infolge der Verluste unter dem Einfluß der Erdanziehungskraft natürlich geringer sein als zu dem Zeitpunkt, in dem die plötzliche Geschwindigkeitszunahme durch einen Impuls bewirkt wurde. Und nicht nur das — sie wird nicht nur geringer als die Kreisbahngeschwindigkeit des Sputniks auf der ursprünglichen Bahn, sondern auch geringer als die Geschwindigkeit, die für die kreisförmige Umlaufbahn in einer Höhe erforderlich ist, die der Höhe des Punktes entspricht, an dem die Bahntangente mit der Tangente des Erdhorizontes gleichgerichtet war. Diese Höhe ist geringer als die der ursprünglichen Bahn, weil während der ganzen Zeit auch die Komponente der Beschleunigung in Richtung zum Erdmittelpunkt (Radialbeschleunigung) wirkte. Der Sputnik beginnt, sich der Erde zu nähern. Dabei vergrößert sich auch seine Geschwindigkeit dadurch, daß die Radialbeschleunigung entlang der Richtung der Geschwindigkeit wirkt.

Die Gesamtheit der Punkte im Raum, die der Sputnik dabei durchfliegt, bildet eine Ellipse. In einem ihrer Brennpunkte befindet sich der Mittelpunkt der Erde. Den dem Mittelpunkt der Erde nächstgelegenen Punkt, an dem der Sputnik in diesem Falle einen zusätzlichen Impuls erhielt, nennt man das Perigäum. Der entfernteste Punkt, an dem die Richtung der Geschwindigkeit mit der Erdtangente wieder zusammenfällt, heißt das Apogäum. Hier gilt die Regel: Je größer der Geschwindigkeitszuwachs im Perigäum ist, desto größer ist auch die Entfernung des Apogäums. So ergibt ein Geschwindigkeitszuwachs von 10 m/s bei einer Ausgangsbahn von 200 km Höhe über der Erdoberfläche eine Zunahme der Apogäumshöhe um 8,43 km; ein Zuwachs von 2411 m/s erweitert die Apogäumshöhe auf 36 000 km.

Die Bahngeschwindigkeit eines Flugkörpers kann man so stark erhöhen, daß das Apogäum der Bahn in die Unendlichkeit „geht“. Eine solche Geschwindigkeit in bezug auf das Zentrum unseres Planetensystems nennt man solare Fluchtgeschwindigkeit, weil der Körper aus dem Bereich der Anziehungskraft der Sonne herausgeführt wird.

Wenn man in einem der Punkte der Kreisbahn die Geschwindigkeit des Sputniks verringert, also entgegen der

Bewegungsrichtung verändert, dann wird dieser Punkt zum Apogäum. Das Perigäum liegt nun am entgegengesetzten Punkt der Bahn. Seine Höhe ist um so niedriger, je stärker die Abbremsung war. Bei einem Ausgangspunkt, der in 1000 km Höhe liegt, würde durch eine Verringerung der Geschwindigkeit um 250 m/s die Perigäumshöhe 100 km betragen, und bei einer Abbremsung um 285 m/s läge die Perigäumshöhe auf der Erdoberfläche. Eine weitere Verringerung der Geschwindigkeit würde die Perigäumshöhe unter die Erdoberfläche „verlagern“. Der Sputnik träte in diesem Falle in einem zu steilen Einflug in die Erdatmosphäre ein. Er verglühte darin oder schlüge auf die Erde auf.

Wird eine zusätzliche Geschwindigkeit in einer Richtung erteilt, die nicht in der Ebene der Ausgangsbahn liegt, dann werden die Ebenen der neuen Bahnen nicht mit der der Ausgangsbahn zusammenfallen. Auf diese Weise kann man den ganzen erdnahen Raum mit Bahnen „füllen“, d. h., man kann theoretisch von jedem beliebigen Punkt der Ausgangsbahn aus auf jeden anderen Punkt des Weltraumes übergehen. Diese These gilt für alle Formen der Ausgangsbahn, so für die kreisförmige, elliptische, parabolische und hyperbolische Form, wobei die Übergangsbahnen sehr verschiedenartig sein können.

Häufig wird gefordert, daß eine neue Bahn genau festgelegte Parameter hat. Man kann die maximale und minimale Entfernung von der Erdoberfläche, den Winkel zwischen den Ebenen der alten und neuen Bahn und die zusätzliche Geschwindigkeit (die Bahnkorrektur) festlegen. Die Wissenschaftler, die Flugbahnen berechnen, wissen, daß man nicht von jedem Punkt der Ausgangsbahn die gewünschte Übergangsbahn erhalten kann und daß auf ihr nur einzelne Abschnitte oder sogar Punkte existieren, die diesen Anforderungen genügen. So können z. B. beim Übergang von einer elliptischen Bahn auf eine Kreisbahn, deren Apogäums- und Perigäumshöhe also übereinstimmen, die Bahnkorrekturen nur an bestimmten Punkten vorgenommen werden. Kreisförmige Bahnen mittlerer Höhe erhält man in einem der zwei Punkte der Bahn, die die entsprechenden Höhen aufweisen. Durch eine Korrektur des Geschwindigkeitsvektors kann man überhaupt nur Bahnen erhalten, die einen gemeinsamen Punkt mit der Ausgangsbahn haben. Das beschränkt die Möglichkeiten erheblich, durch einen

einzigem Impuls in eine neue Umlaufbahn zu gelangen. Deshalb wurde es notwendig, für den Übergang von einer Bahn auf eine andere Doppelimpulsmanöver vorzunehmen. Der erste Schubimpuls (so nennt man das Produkt der Größe des Antriebsschubes während der Betriebszeit) erteilt dem Satelliten (Sputnik) eine zusätzliche Geschwindigkeit, die ihn auf eine Übergangsbahn bringt, die die geforderten gemeinsamen Punkte besitzt. Danach wird durch den zweiten Impuls noch eine zusätzliche Geschwindigkeit erteilt, und der Flugkörper erreicht die gewünschten Punkte der neuen Bahn. Hat er sie erreicht, muß man im Apogäum noch einmal die Geschwindigkeit bis zur Größe der Kreisbahngeschwindigkeit auf diese Höhe steigern. Das ist der sparsamste Übergang von einer Kreisbahn auf eine andere. Beim Übergang von einer höheren auf eine niedrigere Umlaufbahn verringert sich bei jedem Impuls die Geschwindigkeit des Satelliten.

Für den Übergang von einer kreisförmigen Bahn mit einer Höhe von 200 km auf Kreisbahnen mit Höhen von 1000 km und 36 000 km wäre ein Geschwindigkeitsimpuls von zwei Korrekturen mit 500 m/s und 5600 m/s erforderlich. Dabei entfielen auf die erste Korrektur eine Geschwindigkeit von 270 m/s und 2390 m/s sowie auf die zweite eine Geschwindigkeit von 230 m/s und 3210 m/s. Hieraus ist ersichtlich, daß der Übergang von einer Umlaufbahn auf eine andere beträchtliche zusätzliche Geschwindigkeitsimpulse notwendig macht, was gleichbedeutend mit einem hohen Treibstoffverbrauch bei dieser Art von Bahnkorrekturen ist. Dieser Verbrauch steigt hoch, wenn man eine Bahn erhalten will, deren Ebene nicht mit der Ausgangsebene übereinstimmt. So benötigt man für die Drehung der Ebene einer kreisförmigen Umlaufbahn mit einer Höhe von 200 km um nur  $1^\circ$  einen zusätzlichen Geschwindigkeitsimpuls von 135 m/s, für eine Drehung um  $15^\circ$  jedoch von 1 930 m/s und um  $90^\circ$  von 10 980 m/s.

Die Lage eines Satelliten auf der Umlaufbahn kann man durch den Winkel der wahren Anomalie charakterisieren, d. h. durch den Winkel zwischen der Richtung vom Brennpunkt der Bahn, der mit dem Erdmittelpunkt zusammenfällt, zum Perigäum und der Richtung von dort zum Satelliten. Die Bahnebene im Raum kann durch zwei Winkel bestimmt werden: durch die Länge des aufsteigenden Knotens und durch die Neigung. Als aufsteigenden Knoten be-

zeichnet man den Punkt der Bahn, an dem der Flugkörper die Ebene des Erdäquators schneidet, wenn er von der südlichen auf die nördliche Halbkugel übergeht. Entsprechend bezeichnet man den gegenüberliegenden Punkt auf der Umlaufbahn als absteigenden Knoten. Die Länge des aufsteigenden Knotens bestimmt den Winkel zwischen der in bezug auf die Sterne unveränderlichen Richtung zum sogenannten Frühlings-Äquinoktialpunkt der Schnittlinien der Bahnebene mit der äquatorialen Ebene. Die Neigung charakterisiert den Winkel zwischen der Bahnebene und der Äquatorebene. Die Geometrie der Kreisbahn kann durch eine Größe, durch ihre Höhe über der Erde, gekennzeichnet werden.

Die elliptische Bahn charakterisiert man durch zwei Größen: z. B. durch die Perigäums- und Apogäumshöhen. Die Stellung des Perigäums der Umlaufbahn wird durch den Winkel zwischen der Linie bestimmt, die den Erdmittelpunkt mit dem Perigäum verbindet und die mit der großen Achse der Ellipse (Apsidenlinie) und der Knotenlinie zusammenfällt, die den ab- und aufsteigenden Bahnknoten miteinander verbindet. Mit Hilfe aller dieser Bahnknoten und der Entfernung kann die Lage des Satelliten im sogenannten absoluten Koordinatensystem bestimmt werden, d. h. im System der Achsen, die in bezug auf die Sterne unveränderlich sind. Zur Bestimmung der Stellung des Satelliten im Koordinatensystem, das mit der rotierenden Erde verbunden ist, muß vor allem eine bestimmte Orientierung dieses Systems auf den Erdkörper vorgenommen werden. Als Ausgangsebene können die Äquatorebene und der Längengrad von Greenwich (die Ebene, die durch das Observatorium der englischen Stadt Greenwich und die Rotationsachse der Erde verläuft) verwendet werden. Auf diesen beiden Ebenen ist das geographische System der Längen- und Breitengrade der Erde aufgebaut.

Die Verbindung dieses Systems mit dem eben erwähnten absoluten Inertialsystem erreicht man durch die Einführung des Winkels zwischen der Ebene des Längengrades von Greenwich und der Richtung zum Frühlings-Äquinoktialpunkt. Wenn man die Orientierung der Bahnebene im absoluten Koordinatensystem und die Ebene des Längengrades von Greenwich in diesem System kennt, kann man die Bahn des Satelliten in bezug auf die Erdoberfläche bestimmen. Das ist sehr kompliziert. Wenn sich die Erde im abso-

luten Raum nicht um ihre eigene Achse drehen würde, dann verlief die Bahn des Satelliten immer über ein und denselben Gebieten, und ihre Projektion auf die Erdoberfläche, die sogenannte Bahnabwicklung, hätte die Form eines Kreises. So würden sich Polarbahnsatelliten, deren Bahnebene um  $90^\circ$  gegen die Ebene des Erdäquators geneigt ist, also durch die Rotationsachse der Erde geht, entlang ein und desselben Längengrades bewegen, und es wäre möglich, wenn man sich auf diesem Längengrad befände, regelmäßig einen Raumflugkörper während seines gesamten Erdumlaufes zu beobachten.

Aber nicht nur von diesem Längengrad aus könnte man den Satelliten sehen. Man könnte ihn auf der Erde in einer Breite beobachten, die gleich dem Durchmesser seines Sichtbereiches ist, d. h. auf dem Gebiet der Erdoberfläche, das vom Satelliten aus zu sehen ist (oder von dem aus er selbst zu sehen ist), und zwar in einzelnen Momenten seiner Bewegung. Bei einer Höhe von beispielsweise 200 km ist der Durchmesser des Sichtbereiches gleich 2900 km, bei einer Höhe von 1000 km entsprechend 6500 km und von 36 000 km bereits 17 350 km. Am Rande dieses Bereiches ist der Ortswinkel — vom Beobachtungspunkt aus der Winkel zwischen dem Horizont und der Richtung zum Flugkörper — gleich Null. Die Beobachtung des Satelliten ist unter diesen Bedingungen erschwert, weil die auf der Erde befindlichen Gegenstände und die in diesem Falle sehr große Dicke der Atmosphäre störend wirken.

Weniger ungünstig für die Beobachtung sind die Bedingungen bei einem Ortswinkel von  $5^\circ$ . Aber in diesem Falle verringert sich der Sichtbereich bis auf 2000 km oder entsprechend auf 5000 km bzw. 16 000 km.

Gute Beobachtungsmöglichkeiten bestehen bei Ortswinkeln um  $30^\circ$ . In diesem Falle verkleinern sich die Sichtbereiche noch mehr und betragen 600, 2300 und 10 000 km für die gleichen Bahnen. Die Rotation der Erde verändert den Charakter der soeben beschriebenen Relativbewegung des Satelliten. Die Erde „biegt“ gleichsam unter der Umlaufbahn des Satelliten ein. In diesem Falle fliegt der Polarbahnsatellit über den Polen. Aber zwischen ihnen schneidet er die Ebenen der Längengrade. Ein Beobachter, der sich am Äquator befindet, kann einen Satelliten, der sich auf einer niedrigen polaren Bahn bewegt, nur zweimal innerhalb von 24 Stunden sehen. Nach der ersten Beobachtung

während der Zeit einer Drehung des Sputniks rotiert die Erde um mehr als  $20^\circ$ . Das bedeutet, daß der Sputnik über dem Äquator auf der Seite des Beobachters eine Entfernung von 2500 km zurücklegt. Während einer Drehung überfliegt der Sputnik zweimal den Äquator: im geraden Abschnitt der Schleife (bei der Bewegung vom Südpol zum Nordpol) sowie im entgegenlaufenden Abschnitt der Schleife (vom Nordpol zum Südpol). Wenn sich die Erde nach 12 Stunden also um  $180^\circ$  unter der Bahn gedreht hat, kann der Beobachter erneut den Sputnik sehen.

Von den beiden Polen der Erde aus kann man also einen Polarbahnsatelliten ständig beobachten. Dieselben Bedingungen herrschen auch für die Polarzonen, und zwar in einer Größe, die dem Ausmaß des Sichtbereiches entspricht. Ein Sputnik mit einer Bahnhöhe von 1000 km besitzt demnach einen Sichtbereich von 5000 km bei einem Ortswinkel von  $5^\circ$ . Er ist ständig von den Polarzonen aus sichtbar, deren Breite mehr als  $65^\circ$  beträgt.

Ein Satellit, der in Äquatorebene um die Erde läuft (Bahnneigung gleich Null), wird von der Erde aus in einem Gebiet sichtbar sein, dessen Breiten in einer Entfernung voneinander liegen, die dem Durchmesser des Sichtbereiches entsprechen. Für eine äquatoriale Kreisbahn mit einer Höhe von 1000 km wird dieses Gebiet im Streifen von  $25^\circ$  nördlicher und  $25^\circ$  südlicher Breite liegen. Die Bahnen der Sputniks, deren Bahnen Neigungen zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  aufweisen, liegen zwischen der nördlichen und südlichen Breite, die gleich der Neigung der Bahnen ist. Die Sichtbarkeit von Sputniks in der Nähe der Äquatorebene ist etwas besser als die Sichtbarkeit von Sputniks auf Polarbahnen. Infolge ihrer geringen Bahnneigung gegen die Äquatorebene wird ein größerer Teil des Äquatorbogens als bei einer polaren Bahn der Bahnabwicklung „erfaßt“.

Die günstigsten Sichtbedingungen herrschen im Bereich der Breiten, die durch die Bahnen dieser Sputniks maximal erreichbar sind. Hier führt die Bahnabwicklung eine gewisse Zeit gleichsam entlang des Breitengrades und erfaßt deshalb seinen größten Teil. Gute Beobachtungsbedingungen herrschen auch in den Gebieten, die diesen Breitengraden benachbart sind. Deshalb sind solche Bahnen für die Länder günstig, die in den oberen Breiten liegen. Für Länder in den unteren Breiten sind Satellitenbahnen in der Äquatorebene und äquatornah Bahnen günstig.

Eine besondere Aufmerksamkeit verdienen die Kreisbahnen, deren Umlaufzeit genau 24 Stunden beträgt. Solche Bahnen werden als Synchronbahnen bezeichnet. Wenn ihre Ebene mit dem Äquator zusammenfällt und die Bewegungsrichtung des Sputniks auf der Umlaufbahn mit der Richtung der Erdrotation zusammenfällt, dann bezeichnet man diese Bahnen als stationär. Die herausragendste Besonderheit eines Sputniks auf einer stationären Bahn ist die Tatsache, daß er gleichsam unbeweglich über ein und demselben Punkt der Erde „hängt“ oder „steht“.

Die Bahnhöhe eines stationären Sputniks beträgt etwa 36 000 km. Von einer solchen Höhe aus ist fast die Hälfte der Erdoberfläche sichtbar. Bei einem angenommenen Ortswinkel von  $5^\circ$  über dem Horizont ist von Sputnik aus fast ein Drittel der Erdoberfläche, bei einem Winkel von  $30^\circ$  gut ein Fünftel davon sichtbar. Das bedeutet, daß ein stationärer Sputnik eine ständige Funkverbindung aufrechterhalten kann oder für eine ständige unmittelbare Beobachtung der Atmosphäre sowie der Erdoberfläche (Festland und Ozeane) geeignet ist. Drei dieser Sputniks, die gleichmäßig über die Umlaufbahn verteilt sind, können eine ununterbrochene Beobachtung der Erde im Bereich der geographischen Breite von  $\pm 70^\circ$  gewährleisten, d. h., man kann praktisch in jedem Land wenigstens einen solchen Sputnik beobachten.

Die synchronen Bahnen haben eine von Null verschiedene Neigung. Sie „hängen“ nicht über einem Punkt der Erde. Aber ihre Bahnabwicklung hat ihre Besonderheiten, denn sie verläuft über ein und denselben Gebieten und bildet auf der Erdoberfläche geschlossene Figuren, die in bezug auf die Ebene des Äquators und eine der Meridianebenen symmetrisch sind. In ihrer Form erinnern sie an die Zahl 8. Dank dieser Regelmäßigkeit der Bewegung sind synchrone Sputniks für die Praxis besonders nutzbar.

Den Beobachtungs- und Flugführungsdiensten, die die Umlaufbahnen von Satelliten bestimmen und ihren Bahnverlauf vorausberechnen, bereiten verschiedene Faktoren, die eine Abweichung von der errechneten Bahnbewegung bewirken, oft große Sorgen. Vor allem betrifft das die Faktoren, die mit der Abweichung des Gravitationsfeldes der Erde vom zentralen Schwerfeld im Zusammenhang stehen. Es handelt sich darum, daß sich die Form der Erde deutlich von einer Kugel unterscheidet. Sie ist an den Polen

abgeplattet und am Äquator scheinbar erweitert. Die Entfernung zwischen den Polen ist geringer als die zwischen diametral entgegengesetzten Punkten in der Äquatorebene. Der Unterschied beträgt 44 km. Etwas besser entspricht eine andere geometrische Figur — der sogenannte Rotationsellipsoid — der Form der Erde. Die Wirkungsrichtung der Schwerkraft für eine solche Figur verläuft nur an den Polen und am Äquator durch ihr Zentrum. Dabei zeigt die Wirkungsrichtung der Schwerkraft für die nördliche Halbkugel eine Abweichung zum Südpol und für die südliche Halbkugel zum Nordpol hin. Die größte Abweichung des Vektors der Schwerkraft zum Erdmittelpunkt hin beträgt 11,5 Winkelminuten und entspricht einer Breite von  $\pm 45^\circ$ . Mit anderen Worten: Körper in den Breiten um  $\pm 45^\circ$  besitzen ein Gravitationszentrum, das in bezug auf den geometrischen Mittelpunkt der Erde um 22 km entlang ihrer Rotationsachse verschoben ist. Im täglichen Leben bemerken wir das natürlich nicht. Für Sputniks allerdings, die über verschiedenen Gebieten der Erde ihre Bahnen ziehen, sich innerhalb von 24 Stunden bis zu sechzehnmal um sie drehen, hat die „Abplattung“ der Erde eine große Bedeutung. Ein Sputnik, der über der nördlichen Halbkugel fliegt, wird tatsächlich von einer Kraft angezogen, deren Richtung etwas südlicher als der geometrische Mittelpunkt der Erde liegt, während ein Sputnik über der südlichen Halbkugel von einer Kraft angezogen wird, die etwas nördlicher als der geometrische Mittelpunkt der Erde liegt. Der Sputnik bewegt sich auf einer komplizierten Umlaufbahn, die einer Ellipse ähnlich ist, aber nicht mit konstanten Parametern, wie das beim zentralen Gravitationsfeld der Fall ist, das der Kugelform der Erde entspricht, sondern mit veränderlichen Parametern.

Die Veränderung einiger Parameter schwankt in bestimmten Grenzen: Sie verkleinern oder vergrößern sich im Laufe eines Umlaufes, nicht aber von einem Umlauf zum anderen. Die Ellipse wird etwas in ihrer Form verändert, auch ihre Ebene „schwankt“ in geringem Maße. Die anderen Parameter, und das ist hier wesentlicher, vergrößern oder verkleinern sich von Umlauf zu Umlauf und zwar mit fast konstanter Geschwindigkeit.

Besondere Aufmerksamkeit verdient der Einfluß des nichtzentralen Gravitationsfeldes auf die Veränderung der Lage des Perigäums in der Bahnebene und die Längen des

aufsteigenden Knotens. Diese Veränderungen werden von Umlauf zu Umlauf größer und besitzen, wie man sagt, ewigen Charakter. Die Geschwindigkeit einer solchen „Zunahme“ oder „Abnahme“ kann beträchtliche Werte innerhalb von 24 Stunden erreichen.

Die „Abnahme“ des Perigäums bedeutet, daß sich die Ellipse gleichsam in ihrer Ebene um den Erdmittelpunkt dreht. Die Berücksichtigung solcher Veränderungen des Perigäums ist für Speziatsatelliten wichtig, die stark elliptische Umlaufbahnen besitzen, wie das z. B. bei den Nachrichtensatelliten der „Molnija“-Serie der Fall ist. Wenn keine speziellen Maßnahmen vorgesehen sind, dann kann sich der hohe Teil der Bahn aus der nördlichen Halbkugel in die südliche „verlagern“, so daß die Arbeit des gesamten Systems gestört wird. Die Parameter dieser Bahnen werden deshalb so gehalten, daß Schwankungen des Perigäums fehlen oder aber sehr klein sind und keinen Einfluß auf die Leistungsfähigkeit des Systems ausüben.

Wichtig ist die Bewegung des aufsteigenden Knotens der Umlaufbahn, d. h. der Schnittpunkt der Äquatorebene bei der Bewegung des Sputniks von Süden nach Norden. Die Ebene der Ellipse dreht sich in diesem Falle gleichmäßig um die Rotationsachse der Erde. Eine solche Bahnbewegung verändert ihre Orientierung auf die Sonne. Sie kann sich ihr so „zuwenden“, daß sie ganz von der Sonne beleuchtet und nicht von der Erde beschattet wird.

Möglich sind auch verschiedene Zwischenstellungen. Man kann z. B. die Bahnparameter so auswählen, daß sich die Sonne immer in ihrer Ebene befindet oder daß ihre Strahlen mit dieser Ebene den gleichen Winkel bilden.

All diese Faktoren sind bei der Herstellung und Ausnutzung von Satelliten von großer Wichtigkeit. So hängen von der Dauer der Sonnenbestrahlung in starkem Maße beispielsweise die Energiereserven der Raumflugkörper ab, wenn als Stromquellen Solarzellen verwendet werden. Außerdem werden dadurch auch die Bedingungen der Temperaturregulierung mitbestimmt.

Sehr wichtig sind vor allem auch die Lichtverhältnisse in dem unter dem Sputnik befindlichen Teil der Erde. Bildet z. B. die Bahnebene mit der Richtung von der Erde zur Sonne einen Winkel von  $90^\circ$ , so wird vom Sputnik aus der Teil der Erde sichtbar sein, in dem die Sonne gerade aufgegangen ist oder untergeht und deshalb niedrig

am Horizont steht. Eine Bahn, in deren Ebene sich die Sonne ständig befindet, gewährleistet die gleichen Lichtverhältnisse für die Beobachtung ein und desselben Gebietes der Erde. Diese Bahnen werden solarsynchrone Bahnen genannt. Sie sind besonders wertvoll für die Beobachtung der Atmosphäre und der Erde.

Das Gravitationsfeld der Erde weist auch noch andere Besonderheiten auf, die mit der Ungleichheit der Verteilung der Masse im Erdkörper im Zusammenhang stehen. Es gibt Gebiete auf der Erdoberfläche, unter denen dichtere und schwerere Gesteine lagern, als das in anderen Gebieten der Fall ist. Eine solche ungleichmäßige Verteilung der Massen führt dazu, daß die Schwerkraft über verschiedenen Punkten der Erdoberfläche nicht nur keinen gleichen Wert, sondern auch keine einheitliche Richtung hat. Diese Abweichungen nennt man Anomalien des Gravitationsfeldes. Sie sind sehr gering und betragen lediglich  $10^{-2}$  bis  $10^{-3}\%$  des Gesamtwertes der Schwerkraft. Aber sie können erhebliche Abweichungen in der Bewegung von Sputniks hervorrufen.

Besonders gilt das für die in niedrigen Höhen fliegenden Satelliten. Sie sind sehr empfindlich gegenüber Anomalien des Gravitationsfeldes und spiegeln gleichsam die Verteilung der Massen im Erdkörper wider: Sie nähern sich der Erde, wenn sie über Gebieten mit schwereren Gesteinen fliegen, und sie fliegen höher, wenn sie „leichtere“ Gebiete überqueren. Sie weichen nach rechts oder links ab, wenn sie von derartigen Massen angezogen werden. Diese Abweichungen können Hunderte von Metern und sogar einige Kilometer betragen.

Bei der exakten Bestimmung der Umlaufbahnen und ihrer Vorausberechnung werden diese Faktoren berücksichtigt, aber erforscht sind sie noch unzureichend, und deshalb führen sie oft zu deutlichen Fehlern.

Die niedrigfliegenden Sputniks sind einem spürbaren Einfluß des Widerstandes der Hochatmosphäre der Erde unterworfen. Das führt zu einer Verringerung der Perigäums- und Apogäumshöhen ihrer Umlaufbahn. Dabei nähert sich das Apogäum wesentlich schneller der Erde als das Perigäum, und dieser Geschwindigkeitsunterschied ist um so größer, je größer die Höhenunterschiede von Perigäum und Apogäum sind. Es kommt dann gleichsam zur „Ab-rundung“ der Flugbahn, und bald beginnt sie schon in die Atmosphäre „einzutauchen“.

Nach einer Abnahme der Bahnhöhe bis auf 150 km erfolgen nur noch ein bis zwei Erdumkreisungen des Sputniks. Die Phase vom Moment des Einschwenkens auf die Umlaufbahn bis zum Niedergehen in der Erdatmosphäre bezeichnet man als die Lebensdauer eines Sputniks. Die Bremsung hängt bei gleichen Bedingungen vom Widerstandskoeffizienten und vom Verhältnis des Gewichtes zur Querschnittsfläche des Satelliten ab. Für einen Satelliten mit einer Masse von 100 kg und einem Durchmesser von 1 m beträgt die Lebensdauer auf einer elliptischen Bahn mit einem Perigäum von 200 km und einem Apogäum von 1000 km 37 Tage. Für einen gleichen Satelliten mit einem Perigäum von 400 km steigt diese Zeit auf 2630 Tage. Wenn die Umlaufbahn eines solchen Satelliten kreisförmig ist, dann beträgt bei einer Höhe von 200 km die Lebensdauer des Satelliten insgesamt 9,6 Stunden, bei einer Höhe von 400 km jedoch 160 Tage.

Die Lebensdauer eines Satelliten hängt also in größtem Maße von seiner Bahnhöhe ab. Auf die Bewegung eines in Erdnähe befindlichen Satelliten wirken auch die Gravitationsfelder der Sonne und des Mondes. Aber dieser Einfluß ist äußerst gering. Mit zunehmender Bahnhöhe steigt er jedoch. Für eine Bahn mit einer Apogäumshöhe von einigen hundert oder einigen tausend Kilometern können die Störeinflüsse von Sonne und Mond deutliche Veränderungen der Parameter, vor allem hinsichtlich der Perigäumshöhe, hervorrufen.

Wenn einem Raumflugkörper die Entweichgeschwindigkeit oder parabolische Geschwindigkeit erteilt wird, dann kann er schon kein Erdtrabant mehr bleiben, sondern er gelangt außerhalb des Wirkungsbereiches der Erde, dessen Radius 930 000 km beträgt. Aber die (auf die Erde bezogene) Parabelbahn eines Raumflugkörpers verwandelt sich nach seinem Austritt aus dem Wirkungsbereich unseres Planeten im Wirkungsbereich der Sonne in eine elliptische Bahn, die ähnlich der Bahn ist, auf der sich die Erde selbst mit einer Geschwindigkeit von 29,8 km/s bewegt.

Sehr interessant in energetischer Beziehung sind die Flugbahnen, auf denen die heliozentrische Geschwindigkeit im Anfangsmoment sehr klein ist. Sie stellen gleichsam die Verbindungselipsen zwischen kreisförmigen Planetenbahnen dar, und für den Flug auf ihr werden nur relativ geringe Energiemengen gebraucht, aber die Übergangszeit

ist in diesem Falle ziemlich lang. Solche elliptischen Flugbahnen, die die Bahn zweier Planeten schneiden, werden auch Hohmann-Bahnen genannt.

Interplanetare Flüge kann man beispielsweise nach folgendem Schema abwickeln: Zu Beginn schwenkt der Raumflugkörper auf eine Kreisbahn um die Erde (Kreisbahngeschwindigkeit) in einer Höhe von 200 km ein. Danach erteilt man ihm eine zusätzliche Geschwindigkeit, deren Betrag beim Flug zu verschiedenen Planeten unterschiedlich ist. Diese Impulse können annähernd mit folgenden Werten angegeben werden: beim Flug zum Mars 3,6 km/s, zur Venus 3,5 km/s, zum Jupiter 6,3 km/s, zum Merkur 5,6 km/s und zum Pluto 8,4 km/s.

Eine weitaus höhere Geschwindigkeit wäre zur Erreichung der Oberfläche der Sonne notwendig, und zwar 21,3 km/s. Damit ein Raumflugkörper das Sonnensystem verlassen könnte, müßte ihm eine demgegenüber viel geringere zusätzliche Geschwindigkeit erteilt werden, nämlich von 8,75 km/s, wenn er sich auf einer Kreisbahn um die Erde befindet, da die solare Fluchtgeschwindigkeit stets einer Bahngeschwindigkeit relativ zur Sonne entspricht, die um den Faktor  $\sqrt{2}$  größer sein muß als die mittlere Umlaufgeschwindigkeit des betreffenden Planeten.

Ein ernstes Problem vom Standpunkt des Energieverbrauches wäre somit die Erreichung der näheren Umgebung der Sonne und der fernen Planeten. Ein weiteres Problem ist die lange Flugzeit. So dauert beispielsweise ein Flug zum Jupiter auf einer Hohmann-Bahn 2 Jahre und 268 Tage, ein Flug zum Planeten Pluto jedoch 45 Jahre und 168 Tage.

Eine Erhöhung der Fluggeschwindigkeit des Raumflugkörpers bis zu einer Größenordnung, die bereits zu einem Verlassen des Sonnensystems ausreichen würde, könnte diese Zeiten nur unwesentlich verringern, besonders was den Flug auf der Jupiterbahn betrifft.

Ein beträchtlicher Energieaufwand wäre auch für den Austritt des Raumflugkörpers aus der Ekliptikebene und für das Einschwenken auf eine Rückkehrbahn notwendig. Beim heutigen Stand der Raumfahrttechnik wäre das praktisch noch sehr schwierig. Die zusätzlichen Operationen (Einschwenken auf die Bahn eines künstlichen Satelliten des Planeten, Bremsung zur Landung auf seiner Oberfläche,

Antrieb zur Rückführung des Flugkörpers) wären ebenfalls mit einem weiteren Energieaufwand verbunden.

Gewöhnlich gibt es einen günstigen Startzeitraum für den Aufstieg in eine Freiflugbahn, die ein Erreichen des Zielplaneten unter optimalen Bedingungen gewährleistet. Dabei ist das Startdatum periodisch genau bestimmt. Man bezeichnet den durch diese Periodizität gegebenen Zeitraum als Startfenster. Zu bestimmten Startzeitpunkten kann das jeweilige Zielobjekt unter Bedingungen erreicht werden, die antriebsenergetisch günstig sind, weil sich die Bahnen der Erde und des Zielplaneten in einer für Übergangsbahnen geeigneten Konstellation befinden. Für Flüge zum Merkur beträgt die Periodizität ungefähr 116, zur Venus 584, zum Mars 780 und zum Jupiter 400 Tage.

Für die Flüge zu den fernen Planeten (Saturn, Uranus, Neptun, Pluto) beträgt die Periodizität etwas mehr als ein Jahr. Wegen der elliptischen Form und der deutlichen Neigung der Planetenbahnen in Abhängigkeit vom Startdatum ändert sich die Größe des optimalen Energieaufwandes mit bestimmter Periodizität. Für Flüge zum Merkur beispielsweise ist ein einjähriger und ein vierjähriger Zyklus der Veränderung des Energieverbrauchs, für den Flug zur Venus ein achtjähriger und zum Mars ein fünfzehn- bis siebzehnjähriger Zyklus charakteristisch. Bei Flügen zu den weiter entfernten Planeten entspricht der Zyklus der Veränderungen des Energieverbrauchs ungefähr der Periode ihrer Umkreisung der Sonne.

Die Annäherung an den Zielplaneten kann auf verschiedene Arten vor sich gehen:

1. Vorbeiflug an dem vorgegebenen Gebiet des Planeten;
2. Eintritt in die Atmosphäre des Planeten mit nachfolgender aerodynamischer Bremsung und Landung;
3. Eintritt in die Atmosphäre mit nachfolgender aerodynamischer Bremsung und Einschwenken auf die Umlaufbahn eines künstlichen Planetensatelliten;
4. Umfliegen des Planeten mit nachfolgender Rückkehr zur Erde.

In Abhängigkeit von den zu lösenden Aufgaben wird diese oder jene Variante der Bahn des Raumflugkörpers ausgewählt. Dabei werden die Fragen des Energieverbrauchs und der Flugdauer komplex betrachtet, denn die rationellste Flugbahn wird auf der Grundlage einer mehrfaktorigen Optimierung ausgewählt.

Die optimalen Flugbahnen, die man durch nur einen Antriebsimpuls erhält — mit einem Startdatum im Jahre 1975 für Flüge zum Merkur, zur Venus, zum Mars, zum Jupiter und zum Saturn —, haben folgende Kennwerte: Beim Start von der Erde in Richtung Merkur beträgt am 3. September 1975 die notwendige Antriebsgeschwindigkeit von der erdnahen Ausgangsbahn 5,33 km/s, die Flugdauer 98 Tage. Ein Start zur Venus wäre am 9. Juli 1975 günstig: Antriebsgeschwindigkeit 3,52 km/s, Flugdauer 144 Tage. Der Start zum Mars müßte am 15. September 1975 erfolgen, Antriebsgeschwindigkeit 4,05 km/s, Flugdauer 206 Tage. Zum Riesenplaneten Jupiter müßte der Raumflugkörper am 3. Juli 1975 starten: Antriebsgeschwindigkeit 6,48 km/s, Flugdauer 1035 Tage. Zum Saturn schließlich müßte der Start am 27. September 1975 erfolgen: Antriebsgeschwindigkeit von der erdnahen Bahn aus 8,4 km/s, Flugdauer 1328 Tage.

Wie hieraus hervorgeht, betragen die Flugzeiten auf den optimalen Bahnen zum Jupiter und Saturn etwa drei Jahre. Allerdings könnte bei einer Steigerung der Antriebsgeschwindigkeit um 15 bis 20% die Flugdauer zu Jupiter und Saturn um das Zwei- bis Dreifache verkürzt werden.

Zur Lösung einer Reihe von Aufgaben verwendet man Bahnen zur Umfliegung der Planeten mit nachfolgender Rückkehr zur Erde. Zur Ausführung solcher Flüge ist ein Vorbeiflug in einer vorgegebenen Entfernung am Bestimmungsplaneten notwendig und manchmal auch die Erteilung eines zusätzlichen Antriebsimpulses zur Gewährleistung der Rückkehrbahn.

Bei der Auswahl einer optimalen Flugbahn dieser Art beschränkt man die Größe des Energieverbrauchs für die Antriebsphase beim Aufstieg in die Erdumlaufbahn und den dort zu erteilenden zusätzlichen Impuls sowie für die erforderlichen Bahnmanöver in der Nähe des jeweiligen Planeten auf ein Minimum. Dabei ist die Gesamtdauer des Fluges und die Eintrittsgeschwindigkeit in die Erdatmosphäre von größter Bedeutung. Weil man in beide Richtungen fliegen muß, ist es bei derartigen Flügen zweckmäßig, die sogenannten schnellen Bahnen auszunutzen, die einen etwas größeren Energieverbrauch bedingen.

Wie Berechnungen ergaben, kann man den totalen Energieaufwand und die Eintrittsgeschwindigkeit in die Erdatmosphäre senken, wenn man während des Fluges das Gra-

vitationsfeld der Zwischenstufen Planeten nutzt. So führt beispielsweise die Ausnutzung des Gravitationsfeldes der Venus entweder auf dem Wege zum Mars oder auf dem Rückweg zur Erde nach einer Umfliegung des Mars zur Senkung des totalen Energieverbrauchs der „schnellen“ Bahnen (Flugdauer weniger als 600 Tage). Man erreicht dadurch auch eine wesentliche Verringerung der Eintrittsgeschwindigkeit in die Erdatmosphäre.

Zur Veranschaulichung führen wir die Hauptkennziffern eines Direktfluges Erde—Mars—Erde mit einem Einschwenken auf die Umlaufbahn eines Marssatelliten sowie die Kennziffern eines Fluges Erde—Mars—Venus—Erde mit einem Einschwenken auf eine gleiche Umlaufbahn um den Planeten Mars an, und zwar bei einem Start an einem relativ ungünstigen Zeitpunkt (im Hinblick auf die Konstellation Erde—Mars) im Jahre 1975. Die Dauer des Verbleibs auf dieser Umlaufbahn beträgt 30 Tage. Der Direktflug wird 450 Tage dauern, bei einem Umfliegen der Venus verlängert sich der Zeitraum auf 530 Tage. Der Antriebsimpuls von einer Kreisbahn um die Erde beträgt 4,61 und 4,03 km/s, der Bremsimpuls am Mars beträgt 3,31 und 2,26 km/s, der Antriebsimpuls vom Mars 4,13 und 2,9 km/s, der zusätzliche Impuls an der Venus 0,08 km/s. Der totale Energieverbrauch ist also bei einem Umfliegen der Venus um 2,78 km/s geringer als bei dem Direktflug. Es verringert sich ebenfalls die Eintrittsgeschwindigkeit in die Erdatmosphäre von 15,5 auf 13,4 km/s.

Die Idee des Vorbeiflugs (Fly-by- oder Swing-by-Technik genannt) an einem Zwischenstufenplaneten erwies sich als vielversprechend auch für Flüge zu besonders weit entfernten Planeten. Sehr effektiv ist die Ausnutzung der Gravitationswirkung und Bahngeschwindigkeit von Venus und Jupiter. Die Erkenntnisse über die Möglichkeit, Planeten auf Bahnen zu erreichen, die den Hohmann-Bahnen nahekommen, veränderten sich entscheidend durch die Ausnutzung der Fly-by-Technik. Der Energieverbrauch — und bei Flügen zu entfernten Planeten auch die Flugdauer — können durch diese zusätzlichen Impulse wesentlich verringert werden. Es bietet sich die reale Möglichkeit, schon in den nächsten zehn bis zwanzig Jahren mit der Erforschung aller Planeten unseres Sonnensystems zu beginnen.

Wir wollen hier noch einige Beispiele anführen, wie Planeten auf die genannte Weise erreicht werden können.

Beim Direktflug zum Merkur beträgt der Energieaufwand bei einer Flugdauer von etwa 100 Tagen ungefähr 5,33 km/s. Durch eine geringe Verlängerung der Flugzeit und die Ausnutzung des Gravitationsfeldes der Venus kann man den Energieverbrauch wesentlich senken. So dauert bei einem Abflug von einer Kreisbahn am 7. Juni 1975 und bei einem Antriebsimpuls von 4,086 km/s der Flug zum Merkur über die Venus 150 Tage.

Solche Flüge sind deshalb für die Wissenschaft von großem Interesse, weil hier auf einem Flug Untersuchungen von zwei Planeten vorgenommen werden können. Das erhöht die Effektivität der interplanetaren Raumflugkörper beträchtlich.

Sehr große Möglichkeiten bietet die Ausnutzung des starken Gravitationsfeldes des massereichen Planeten Jupiter beim Flug zu weitentfernten Planeten.

Eine günstige Konstellation der Planeten für die Realisierung von solchen Flügen auf den Linien Erde—Jupiter—Saturn, Erde—Jupiter—Uranus, Erde—Jupiter—Neptun, Erde—Jupiter—Pluto wird am Ende der siebziger Jahre eintreten. Man wird in diesem Zeitraum Starts vornehmen müssen, denn die Periodizität der Flüge nach einem solchen Schema beträgt für den Saturn 20, für den Uranus 14, für den Neptun 13 und für den Pluto 12 Jahre. Für ein Einschwenken auf einen Vorbeiflug am Jupiter ist nur ein kleiner Impuls von ungefähr 100 bis 200 m/s notwendig. Bei Flügen zum Pluto kann der zusätzliche Impuls 2 km/s erreichen.

Bei einem Vergleich mit den optimalen Direktflügen auf Hohmann-Bahnen zu den entfernt liegenden Planeten zeigt sich, daß Flüge, bei denen das Gravitationsfeld des Jupiter ausgenutzt wird, bei gleichem oder etwas größerem Energieaufwand eine bedeutend verringerte Flugdauer aufweisen. Im Vergleich zu den „beschleunigten“ Direktflügen kann ein Flug von gleicher Dauer „über den Jupiter“ mit einem wesentlich geringeren Energieaufwand realisiert werden.

Es folgen dazu noch einige Beispiele: Der optimale Direktflug Erde—Saturn erfordert einen Antriebsimpuls von 7,28 km/s. Die Flugdauer beträgt dabei 6,1 Jahre. Der Flug „über den Jupiter“, d. h., über die Linie Erde—Jupiter—Saturn, würde bei einem Impuls von 7,5 km/s nur 2,88 Jahre dauern. Ein beschleunigter Direktflug Erde—Saturn

erfordert bei einer solchen Dauer einen Energieaufwand von 8,5 km/s. Noch deutlichere Vorzüge zeichnen sich beim Flug zum Pluto ab, der „über den Jupiter“ führt. Der optimale Direktflug auf der Linie Erde—Pluto dauert bei einem Antriebsimpuls von 8,36 km/s 45,7 Jahre. Ein Flug Erde—Jupiter—Pluto würde bei einem Antriebsimpuls von 9 km/s nur 8,93 Jahre dauern, was etwa einem Fünftel der obengenannten Flugdauer entspricht.

So würde also der Flug zu den erdfernten Planeten unseres Sonnensystems keine übermäßigen Energieleistungen erfordern. Seine Dauer rief ebenfalls keine unlösbaren Schwierigkeiten hinsichtlich der Bereitstellung der Trägerrakete und des Raumflugkörpers selbst hervor.

Am Ende der siebziger Jahre ergibt sich die Möglichkeit, einen einzigartigen Flug, die sogenannte „große Tour“, zu starten. Diese Route sieht einen aufeinanderfolgenden Vorbeiflug an den fernen Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun vor. Günstige Startperioden bestehen in den Jahren 1977, 1978 und 1979. Ein nochmaliges Auftreten solch günstiger Bedingungen ist erst nach 179 Jahren wieder zu erwarten. Bei diesem Großflug wären die folgenden Varianten ohne Anwendung eines zusätzlichen Impulses möglich: Durchfliegen des Saturnringes oder Vorbeiflug außerhalb dieses Ringes. Der Energieaufwand für die erste Variante beträgt 7,6 km/s, für die zweite nur 6,8 km/s. Die Flugdauer betrüge dementsprechend 3310 und 4223 Tage.

Sehr wichtig für die Wissenschaft sind Flüge zur Sonne und der Austritt aus der Ekliptikebene. Aber Direktflüge zur Sonne oder Flüge außerhalb der Ekliptikebene würden, wie oben gezeigt wurde, auch beträchtliche Energieleistungen erfordern, und sie wären beim gegenwärtigen Stand der Technik der Antriebssysteme praktisch unmöglich. Untersuchungen zeigten, daß für Flüge zur Sonne der Vorbeiflug an den Planeten Venus oder Jupiter am effektivsten wäre. Wäre eine Annäherung an die Sonne bis auf eine Entfernung von mehr als 0,2 astronomischen Einheiten (1 AE entspricht 150 Mill. km) geplant, dann wäre es vom energetischen Standpunkt aus am rationellsten, das Gravitationsfeld der Venus auszunutzen. Außerdem verkürzt sich beim Flug zur Sonne an der Venus vorbei die Flugdauer beträchtlich.

Welche Kennziffern für den Energieaufwand und die Flugdauer hat beispielsweise eine Sondenmission, die bei

ihrem Flug die Gravitationsfelder von Venus oder Jupiter ausnutzt, um sich bis auf 0,2 astronomische Einheiten der Sonne zu nähern? Bei einem Direktflug ist ein Antriebsimpuls von 9 km/s notwendig, die Flugzeit beträgt dann 80 Tage. Ein Flug unter Ausnutzung des Gravitationsfeldes der Venus erfordert bei einem Start am 12. Juni 1975 einen Antriebsimpuls von 6,9 km/s, während die Flugzeit 110 Tage beträgt. Wird das Gravitationsfeld des Jupiter ausgenutzt (Start am 5. Mai 1975), dann ist ein Antriebsimpuls von 6,85 km/s notwendig, aber die Flugzeit wächst stark an (bis auf 1346 Tage). Noch höher ist der Energieaufwand für eine außerekliptische Sonde mit einer Neigung zur Ekliptikebene von etwa  $90^\circ$  und beim Flug in die Umgebung der Sonne (Annäherung auf 0,2 astronomische Einheiten). In diesem Falle wird für den Direktflug bei einer Dauer von 172 Tagen ein Antriebsimpuls von einer erdnahen Umlaufbahn von 28,6 km/s benötigt. Das übersteigt die Kreisbahngeschwindigkeit um fast das Vierfache. Ein Flug unter Ausnutzung des Gravitationsfeldes des Planeten Jupiter bietet die Möglichkeit, den Antriebsimpuls bis auf 7,915 km/s bei einer Flugzeit von 1 039 Tagen zu senken (Start am 20. Mai 1979).

Die Möglichkeit, Gravitationsfelder verschiedener Planeten auszunutzen, läßt die Erreichung eines jeden Winkels unseres Sonnensystems schon in den nächsten zwanzig Jahren real erscheinen. Raumflüge sind heute schon alltäglich geworden. Hunderte von Raumflugkörpern verschiedenster Bestimmung durchziehen die Weiten des sonnennahen Raumes und fliegen immer weiter in das Weltall hinein. Der Raumflug gehört zum Leben des Menschen wie seit langem schon der Flug innerhalb der Erdatmosphäre.

# Die Erschließung des Mondes und der Planeten

**K**onstantin E. Ziolkowski war der Ansicht, daß die Menschheit den gesamten erdnahen Raum erschließen und mit ihrer schöpferischen Arbeit erfüllen werde. Zu seiner Zeit klang das etweder phantastisch oder schlechthin utopisch. Heute dagegen können wir dieses Thema hinreichend konkret behandeln.

Warum soll sich der Mensch eigentlich auf anderen Himmelskörpern zu schaffen machen? Die Antwort darauf ist verhältnismäßig einfach: Die stürmisch wachsende Produktion, die unter Umständen schon in wenigen Jahrhunderten Rohstoff- und Energieressourcen anderer Planeten bedarf, könnte dies erforderlich machen.

Existieren technisch und ökonomisch begründete Möglichkeiten, andere Himmelskörper des Sonnensystems anzufliegen und sich dort längere Zeit aufzuhalten?

Es ist tatsächlich möglich, hocheffektive, mehrfach verwendbare Transportraumschiffe zu schaffen, deren Funktionssicherheit gewährleistet ist. Es sind zuverlässige Lebenserhaltungssysteme bereits vorhanden, die eine maximale Flugsicherheit garantieren.

Kann man aber auf den uns bekannten Himmelskörpern des Sonnensystems überhaupt leben und arbeiten?

Auch diese Frage läßt sich positiv beantworten. Auf vielen Himmelskörpern lassen sich, wie im folgenden gezeigt werden wird, komfortable — wenn auch von den irdischen unterschiedliche — Lebensbedingungen gewährleisten. Dabei ist es auch durchaus real, die Frage nach der Umformung der natürlichen Verhältnisse einer Reihe von Himmelskörpern aufzuwerfen, um sie für den Menschen geeignet zu machen.

Man hört gelegentlich, daß die Raumfahrt das Reich

neuer Entdeckungen, eine Welt der Wissenschaft und der Abenteuer sei. Darin liegt ihre Anziehungskraft und ihre Besonderheit. So ist es, und so ist es auch nicht. Alle diese Elemente sind in der Weltraumfahrt tatsächlich enthalten, weil das Weltall stets neue Erkenntnisse in sich birgt und weil der Drang des Menschen, neue Erkenntnisse zu gewinnen, unausrottbar ist und ihn in die verführerische Ferne unerforschter Welten lockt. Es sind aber nicht ausschließlich wissenschaftliche Interessen, um derentwillen der Mensch in den Weltraum vorstößt, sondern zugleich auch die elementaren Lebensinteressen der gesamten Menschheit, die auf die Zukunft gerichtet sind. Es ist der schöpferische Wille des Menschen, sein vernunftbegabtes Leben immer mehr auszubreiten und seine Welt ganz zu besitzen.

Wie bietet sich unser Planetensystem dem Auge unter dem Aspekt seiner zukünftigen Erschließung dar?

In erster Linie handelt es sich hierbei um die neun bis heute bekanntesten Planeten: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun und Pluto. Darauf folgt eine Reihe großer Planetenbegleiter, die in ihrer Größe zuweilen den kleinsten Planeten, den Merkur, übertreffen. Um die Stellung der Erde in unserem Planetensystem zu erläutern, wollen wir sagen, daß ihre Entfernung von der Sonne nur ein Vierzigstel der Plutoentfernung beträgt, während die Erde 2,5mal weiter von der Sonne entfernt ist als der Merkur.

Von der Sonne her gesehen, ist Merkur also der erste Planet. Seine mittlere Sonnenentfernung beträgt 57 870 000 km, sein Durchmesser  $4800 \pm 2$  km. An der Merkuroberfläche erscheint die Sonne 3mal so groß wie von der Erde aus, und deshalb trifft an seiner Oberfläche im Vergleich zu unserem Planeten 10,5mal mehr Wärmeenergie ein. Die Temperatur auf der Tagseite des Merkurs erreicht  $400^{\circ}$  C. Unter diesen Verhältnissen schmelzen Zinn und Blei.

Von der Erde aus ist dieser Planet sehr schwierig zu beobachten, weil er am Himmel in unmittelbarer Nähe der Sonne steht. Gewisse Daten sprechen jedoch dafür, daß das Merkurrelief sehr stark an das Mondrelief erinnert. Eine Atmosphäre fehlt auf dem Merkur allem Anschein nach völlig.

Die sphärische Albedo, d. h. das Verhältnis zwischen dem von einer Kugeloberfläche reflektiertem zu dem auf diese Fläche fallenden Licht, ist der des Mondes ähnlich (7%).

Der Winkel, unter dem die Merkurbahn gegen die Ekliptik geneigt ist, beträgt  $7^\circ$ . Dieser Umstand ist wesentlich, weil der erste Planet unseres Planetensystems in bezug auf diese Parameter an der zweiten Stelle nach dem letzten Planeten, dem Pluto, steht, der den größten Neigungswinkel ( $17^\circ 8'$ ) aufweist.

Die Erforschung des Merkurs ist eine Aufgabe der Weltraumfahrt. Übrigens könnte auf diesem Planeten ein „Sonnendienst“ eingerichtet werden, der zur rechtzeitigen Vorhersage des „Sonnenwetters“ beitragen würde, was für das Studium der solar-terrestrischen Beziehungen, die für das Leben und die Tätigkeit der Menschen auf der Erde so wichtig sind, große Bedeutung hätte.

Von diesem Planeten aus könnte eine allseitige Erforschung der Sonne realisiert werden, und zwar sowohl durch Beobachtungsmittel als auch durch Raketensondierung, da das praktische Fehlen einer Atmosphäre und die unbedeutende Schwerkraft (die Planetenmasse beträgt nur ein Zwanzigstel der Erdmasse und die Fluchtgeschwindigkeit aus Minimumkreisbahnhöhe nur  $4,15$  km/s) günstige Voraussetzungen hierfür bieten.

Der zweite Planet in dieser Reihenfolge ist die Venus, die wegen ihrer Schönheit an unserem Himmel den Namen der altrömischen Göttin der Liebe und der Schönheit erhalten hat.

Nach der Sonne und dem Mond ist die Venus der hellste Körper an unserem Himmel. Sie läßt sich entweder als „Abendstern“ einige Stunden nach Sonnenuntergang oder kurze Zeit vor Sonnenaufgang als „Morgenstern“ beobachten.

Die Venus gilt zu Recht als ein Zwilling unserer Erde. Ihre Masse beträgt  $0,814$  Erdmasse, ihre mittlere Dichte von  $4,9$  g/cm<sup>3</sup> liegt nahe bei der mittleren Erddichte von  $5,5$  g/cm<sup>3</sup>, und der Venusdurchmesser ist mit  $12\,100$  km nur um  $700$  km kleiner als der Erddurchmesser.

Die Venus bewegt sich auf einer nahezu kreisförmigen Bahn um die Sonne, wobei ihre mittlere Entfernung von dieser  $108\,300\,000$  km beträgt. Ihre Bahnneigung zur Ekliptikebene beträgt  $3^\circ 24'$ .

Die Venus steht der Erde am nächsten. Die Mindestentfernung zwischen beiden Planeten ist  $40$  Mill. km. „Der verschleierte Planet“ — so nennt man diesen rätselvollen Planeten, der seine Oberfläche unserem Auge durch eine dichte Wolkendecke verbirgt.

Die Venusatmosphäre, die bereits 1761 erstmals von Michail W. Lomonossow entdeckt wurde, ist sehr stark ausgebildet. Mit Hilfe der sowjetischen Raumflugkörper der „Venus“-Serie konnte festgestellt werden, daß der atmosphärische Druck an der Venusoberfläche etwa 100 at. erreicht. Nicht jeder Dampfkessel wäre imstande, diesem Druck standzuhalten! Noch beeindruckender waren die gemessenen Temperaturen, die Werte um 500 °C ergaben. Die Ursache für derart hohe Temperaturen liegt in einem stark ausgeprägten Treibhauseffekt, der darin besteht, daß die Sonnenstrahlung die Planetenoberfläche zwar erreicht, während die Wärmestrahlung der Venus von der Atmosphäre zurückgehalten wird.

Was kann man denn nun auf einem derartigen Planeten ausrichten? Nach Meinung einer Reihe von Wissenschaftlern ist die Venus trotz dieser Umstände der Planet, der für uns die größte Anziehungskraft aufweist. Der Grund für diese Annahme liegt darin, daß die Venusatmosphäre in der Hauptsache aus Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) besteht. Würde man eine derartige Atmosphäre mit einfachsten Organismen besiedeln, die CO<sub>2</sub> aufnehmen und im Ergebnis ihrer Lebens-tätigkeit Sauerstoff abgeben, dann könnte man diesen Planeten tatsächlich im Laufe von Jahrmillionen umwandeln: In der Atmosphäre würde dann der für das Leben höherer Tiere notwendige Sauerstoff entstehen. Der Treibhauseffekt würde allmählich abgeschwächt werden, und die Verhältnisse auf dem Planeten würden sich den irdischen Werten nähern. So könnte die Venus zur Besiedlung vorbereitet werden.

Heute allerdings ist der Weltraumfahrt zunächst die Aufgabe gestellt, diesen so verführerischen, so nahen und so rätselhaften Planeten allseitig zu erforschen.

Besitzt die Venus natürliche Begleiter? Die Wissenschaft besitzt keine Angaben über irgendeinen Venusbegleiter. Es muß jedoch gesagt werden, daß der bekannte italienische Astronom Giovanni Domenico Cassini bereits 1686 über die Entdeckung eines Venusmondes berichtet hat. Später gelang es den Astronomen jedoch nicht, das Bild irgendeines Venusbegleiters festzuhalten. Hierbei muß man berücksichtigen, daß auch die besten Teleskope heute nicht imstande wären, einen derartigen Begleiter festzustellen, wenn sein Durchmesser geringer als 8 km wäre. Die Erforschung der Venus mit Hilfe von Raumflugkörpern wird auch auf diese Frage eine Antwort erlauben.

Der nächste Planet in der Reihenfolge ist unsere Erde, die blaue „Wiege der Menschheit“.

Unser Planet besitzt einen sehr interessanten Begleiter, den Mond. In letzter Zeit ist sehr viel über den Mond geschrieben worden. Dies hängt in erster Linie damit zusammen, daß der Mond mit Hilfe von Raumsonden, ferngesteuerten Apparaten und Raumfahrzeugen sehr intensiv erforscht wird. In den letzten 10 Jahren haben wir unvergleichlich mehr über den Mond erfahren als im Verlauf der gesamten vorangegangenen Menschheitsgeschichte.

Der Mond ist ein heller Himmelskörper an unserem Himmelsgewölbe. Er leuchtet im reflektierten Licht. Seine Albedo ist sehr gering. Sie schwankt zwischen 0,04 und 0,14. Der Monddurchmesser beträgt 3476 km, d. h. etwa ein Viertel des Erddurchmessers: jedoch hat er nur ein Neunundvierzigstel des Erdvolumens. Das Massenverhältnis von Mond zu Erde ist mit 1 : 81,3 sehr klein, und die mittlere Dichte des Erdbegleiters beträgt 3,35 g/cm<sup>3</sup>. Die Schwerkraft an der Mondoberfläche macht etwa ein Sechstel (0,165) der Schwerkraft an der Erdoberfläche aus.

Erde und Mond werden nicht selten als ein einheitliches System, gewissermaßen als Doppelplanet, aufgefaßt.

Die mittlere Entfernung unseres ewigen Begleiters ist nach kosmischen Begriffen sehr gering und beträgt nur 30 Erddurchmesser oder 384 440 km.

Einen Umlauf um die Erde vollzieht der Mond in 27,322 Tagen; dieser Zeitraum wird als siderischer Mond bezeichnet. Abhängig von der wechselseitigen Stellung von Mond, Erde und Sonne ändert der Mond seine Phasen; ein vollständiger Phasenwechsel umfaßt 29,531 Tage und heißt synodischer Monat.

Die Umlaufzeit des Mondes um seine eigene Achse ist gleich seiner Umlaufzeit um die Erde (d. h. gleich einem siderischen Monat), deshalb wendet uns der Mond stets die gleiche Seite zu. Er hat also eine gebundene Rotation. Somit können wir von der Erde aus immer nur einen Teil der Oberfläche unseres Begleiters sehen, und nur die Entwicklung der Weltraumfahrt erlaubte es uns, zu erfahren, wie die Rückseite des Mondes beschaffen ist. Dies gelang zum erstenmal mit Hilfe der sowjetischen Raumsonde „Luna 3“ im Jahre 1959.

Der Mond besitzt keine Atmosphäre. Dieser Umstand hat für jemanden, der sich auf der Mondoberfläche befindet,

eine Reihe ungewöhnlicher Tatsachen zur Folge. Erstens fehlt die Abschirmung, die die gefährliche kosmische Strahlung absorbiert. Zweitens sind die astronomischen Beobachtungen von der Mondoberfläche aus unvergleichlich günstiger als auf der Erde, und zwar gerade wegen des Fehlens einer Atmosphäre. Deshalb wäre die Mondoberfläche für die Astronomen ein schlechthin idealer Ort für Beobachtungen. Der Himmel ist hier stets schwarz. Die Sterne bewegen sich beträchtlich langsamer am Mondhimmel als an unserem Himmel, da ein Tag auf dem Mond einen halben synodischen Monat dauert (d. h. etwa 15 Erdtage).

Alle diese Umstände sprechen dafür, daß die Menschheit in allernächster Zukunft auf unserem natürlichen Begleiter hochleistungsfähige astrophysikalische Observatorien errichten wird, die möglicherweise einmal den grundlegenden Beitrag zur Erforschung der Sterne und Galaxien liefern werden.

Die gesamte Mondoberfläche ist von großen und kleinen Kratern zerfurcht. Kennzeichnende Besonderheit der Mondoberfläche bilden die großen Krater, eingeteilt in Wall Ebenen, Ringgebirge, Krater und Kratergruben. Die Höhe der ringförmigen Wälle einiger großen Krater erreicht 7000 m. Gelegentlich erhebt sich im Mittelpunkt des Kraters ein „Zentralberg“. Eine interessante Besonderheit der Mondlandschaft besteht darin, daß die Entfernung des sichtbaren Horizontes nur 2,4 km beträgt, weshalb man aus dem Mittelpunkt eines großen Kraters gewöhnlich den Wall nicht sehen kann.

Seit alters haben die großen dunklen, auf dem Mond zu beobachtenden Flächen die Bezeichnung „Mare“ (Meere) erhalten. Es handelt sich hierbei um relativ ebene Oberflächenabschnitte des Mondes. Die Bezeichnungen vieler „Meere“, „Buchten“ und „Ozeane“ auf dem Mond sind heute bereits allgemein bekannt, weil dort Landungen von Raumflugkörpern erfolgten (Mare Crisium, Mare Serenitatis, Mare Tranquillitatis, Oceanus Procellarum usw.).

Auf unserem ewigen Begleiter gibt es Gebirgszüge, deren Höhe 7000 bis 8000 m erreicht.

Wir beobachten auf dem Mond sehr scharfe Temperaturschwankungen von  $+130^{\circ}\text{C}$  (Tagseite) bis  $-170^{\circ}\text{C}$  (Nachtseite). Dies ist die Temperatur an der Oberfläche. Wegen der sehr geringen Wärmeleitfähigkeit des Mond-

bodens schwankt die Temperatur bereits in sehr geringer Tiefe nur noch unwesentlich.

Im November 1958 entdeckte der sowjetische Astronom N. A. Kosyrew im Gebiet des Mondkraters Alphonsus leuchtende Gase, die offenbar aus dem Zentralberg austraten. Im Dezember 1961 entdeckte er einen anderen aktiven Mondbereich, und zwar gelang es ihm, in der Nähe des Kraters Aristarch im Verlauf mehrerer Tage leuchtende Gase zu beobachten.

Durch radioastronomische Verfahren wurde eine Vielzahl von „heißen“ Flecken auf dem Monde entdeckt, deren Mehrzahl sich im Inneren von Kratern befindet. So liegt beispielsweise die Temperatur der Oberfläche im Inneren der Krater Tycho, Copernicus, Kepler und Aristarch um 40 bis 50 Grad über der Umgebungstemperatur.

Offenbar haben radioaktive Elemente (Thorium, Uran u. a.), die ohne Zweifel zu den Elementen gehören, aus denen der Mond entstanden ist, die Temperatur im Mondinneren ebenso erhöhen können wie im Erdinneren.

Über den Ursprung des Mondes ist eine Vielzahl von Hypothesen ausgesprochen worden. Es ist eine sehr interessante Frage, da die Erforschung der Entstehung unseres Begleiters auch Licht in die Entstehung der Erde und unseres Planetensystems insgesamt bringen wird.

Nach einer dieser Hypothesen war der Mond irgendwann einmal ein selbständiger Himmelskörper, der vor etwa 2,5 Milliarden Jahren von der Erde „eingefangen“ worden ist. Vor 2 bis 2,5 Milliarden Jahren muß der Mond unseren Planeten in sehr geringer Entfernung (nur in etwa 3 Erdradien) umkreist haben. Damals war der Mond etwa 20mal so groß am Himmel zu sehen wie heute. Das Mondlicht konnte mit der Helligkeit der Sonne wetteifern. Eine derartige Nähe des Mondes verursachte gigantische Gezeiten: Die Gezeitenwelle erreichte eine Höhe von 10 km und stürzte sich bei der damaligen Umlaufzeit der Erde, die zwischen 4 und 5 Stunden lag, auf das Festland, um alles, was ihr im Wege stand, hinwegzuspülen. Die gewaltigen Gezeitenkräfte führten dazu, daß sich die Wirkungsrichtung von Ebbe und Flut änderte und sich die Umlaufbahn des Mondes wieder rasch erweiterte. Der Mond begann sich wieder von der Erde zu entfernen.

Eine weitere Hypothese behauptet, daß der Mond durch Abstoßung eines Teiles der Erdmasse aus der Erde hervor-

gegangen sei. Es wird sogar angegeben, an welcher Stelle sich der Mond von der Erde abgelöst haben soll (Senke des Pazifischen Ozeans).

Einige Wissenschaftler sind geneigt anzunehmen, daß der Mond gleichzeitig vor 4 bis 5 Milliarden Jahren mit der Erde aus einem Teil der Materiewolke entstanden ist, aus der sich unser gesamtes Planetensystem gebildet hat.

Gelegentlich hört man auch die Meinung, daß der Mond in unserem Sonnensystem ein Fremdkörper sei und aus dem äußeren Raum zu uns gelangte.

Nur die Entwicklung der Weltraumfahrt, die zur Erkundung des Mondes und seiner allseitigen Erforschung wesentliche Beiträge leistet, wird uns der Wahrheit und der Lösung dieses kosmogonischen Rätsels näherbringen.

Dank der Mondflüge sowjetischer und amerikanischer Raumfahrzeuge haben wir heute eine Vorstellung von den mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften der Mondgesteine.

Die Oberfläche des Mondes ist von einer Schicht aus nur wenig zusammenhängendem Material unterschiedlicher Korngröße bedeckt. Auf der Tagseite der Mondoberfläche wurde eine noch lockere dünne Staubschicht festgestellt.

Die oberste Schicht der Mondgesteine befindet sich unter der ständigen Einwirkung des kosmischen Vakuums und ist dem „Sonnenwind“, der UV-Strahlung sowie der Wirkung einer Reihe anderer Faktoren ausgesetzt. Daraus erklären sich auch ihre Eigenschaften. Die Dichte der oberen Schicht beträgt 1,0 bis 1,5 g/cm<sup>3</sup>, und die Hauptkomponenten sind: Gesteinssplitter und Kristalltrümmer, dunkles Glas, das eine Vielzahl von Eisen-, Nickeleinschlüssen enthält, sowie durchsichtiges Glas homogener Zusammensetzung. Im Vakuum macht sich eine Adhäsion dieser Partikeln untereinander bemerkbar.

Gammaspectrometrische Messungen ermöglichten die Feststellung, daß die Menge von radioaktiven Elementen im Mondmaterial dem Gehalt solcher Elemente in irdischen Gesteinen basischer Zusammensetzung (Basalten) entspricht.

Die Analyse der auf die Erde gebrachten Mondgesteinsproben aus verschiedenen Gebieten auf dem Mond erlaubte es den Wissenschaftlern, sich eine Vorstellung von der chemischen Zusammensetzung des Mondes zu erarbeiten. Alle untersuchten Proben waren von irdischen Gesteinen verschieden, wenn man nicht nur die chemische Zusammen-

setzung, sondern auch die wichtigsten Mineralien, ihren Gehalt und ihre Struktur berücksichtigt. Insbesondere zeigte die Analyse von Gesteinen aus dem Mare Tranquillitatis, daß sie 40 bis 45% Sauerstoff, 17 bis 21% Kalzium, 4 bis 7% Aluminium sowie etwa 4 bis 6% Titan und Magnesium enthalten.

Das Studium der Eigenschaften der Mondgesteine, des Mikro- und Makroreliefs des Mondes sowie der Verhältnisse an der Mondoberfläche erlaubten die Feststellung, daß auf dem Mond die Errichtung von ingenieurtechnischen Bauwerken möglich ist. Weiter wurde festgestellt, daß die Fortbewegungsverhältnisse auf dem Mond nicht schlecht sind und daß es prinzipiell möglich ist, unter den auf dem Mond herrschenden Verhältnissen Gesteine zur Gewinnung von Sauerstoff, Wasser sowie anderer für den Menschen erforderlicher Stoffe zu verarbeiten. Dies alles sind keineswegs Spekulationen. Diese Ideen fußen vielmehr auf den Ergebnissen der Erforschung des Mondes mit Hilfe der beiden Lunochodfahrzeuge sowie auf den Arbeitsergebnissen der Astronauten, die auf dem Mond landeten, auf Mondbohrungen sowie auf der Tätigkeit der ersten Mondsonden.

Die Zeit ist nicht fern, in der auf dem Mond die ersten ständig in Betrieb befindlichen Basen errichtet werden, die mit einem umfangreichen Komplex der unterschiedlichsten Mittel ausgerüstet sind: mit Lunochods, Mondflugzeugen, Kraftwerken, funktechnischen Systemen und vielen anderen. Der Mond wird zum Standort astrophysikalischer und meteorologischer Observatorien, physikalischer und chemischer Laboratorien, der Startplätze für Flüge in den fernen Weltraum und für hochleistungsfähige funktechnische Komplexe werden. Gleichzeitig wird die allseitige Erforschung des Mondes selbst fortgesetzt werden. Die alten Gesteine und Ablagerungen auf der Mondoberfläche, die keiner Erosion von seiten einer Atmosphäre und Hydrosphäre ausgesetzt sind, können die Grundlage für eine Chronologie der Ereignisse werden, die mit der Entstehung der Planeten der Erdgruppe (Erde, Mars und Venus) im Zusammenhang stehen. So wird die Erforschung des Mondes reichhaltiges Material für das Studium der Vergangenheit unseres Planeten und des Sonnensystems insgesamt liefern. Ein wichtiges Moment ist die Entdeckung stratigraphischer Folgen, in denen Sedimente (Ablagerungen) aus der Vergangenheit übereinander liegen. Viele Probleme der Erde

können durch einen Vergleich mit dem Mond gelöst werden. Dazu gehören beispielsweise gebirgsbildende Prozesse, vulkanische Tätigkeit sowie Erdbeben, die für das Leben und die Tätigkeit der Menschen so große Bedeutung besitzen, andererseits aber der Untersuchung so schwer zugänglich sind, weil tektonisch aktive Gebiete in der Regel von Ozeanen bzw. dicken Schichten von Sedimentgesteinen bedeckt sind. Auf dem Mond läßt sich die tektonische Oberflächen-deformation ohne den Maskierungseffekt der Erosion, der Sedimentgesteine bzw. der Ozeane studieren. Infolgedessen ermöglicht uns die Erforschung des Mondes das Verständnis grundlegender Probleme der Morphologie der Erde und der Planeten des Sonnensystems. Die Erforschung der Mondgestalt und der Verteilung der Materie im Inneren des Mondes, des aus dem Mondinneren austretenden Wärmestromes und des lunaren Magnetfeldes wird unsere Kenntnisse über das System „Erde—Mond“ erweitern.

So wird unser ewiger Begleiter, der Mond, jener große Himmelskörper, der sich relativ zu uns am nächsten befindet, das erste natürliche Schlachtfeld sein, auf dem die Menschheit ihren Angriff zur Erschließung des Weltalls beginnen wird.

Auch der Mars hat die Aufmerksamkeit des Menschen von alters her auf sich gezogen. Im Anfang erklärte sich dies einfach aus seinem eindrucksvollen Aussehen am Nachthimmel, denn der Mars erscheint als heller roter Himmelskörper, und zu Ehren des antiken Kriegsgottes erhielt er den Namen Mars. In späteren Jahren beherrschte dieser Planet die Gemüter als interessantestes Himmelsobjekt, auf dem Leben, und zwar sogar vernunftbegabtes Leben, möglich ist.

Die besten Astronomen der verschiedenen Epochen beschäftigten sich mit sorgfältigen Marsbeobachtungen. Die erste Zeichnung des Planeten, auf der Flecken an seiner Oberfläche zu erkennen waren, wurde 1659 von Christian Huygens (1629—1695) angefertigt, einem bekannten Wissenschaftler, dem Begründer der Wellentheorie des Lichtes, einem Erforscher der Schwerkraft und der Erdgestalt. Aus der Bewegung der Flecken kam Huygens zu dem Schluß, daß der Mars innerhalb von 24 Stunden einmal um seine Achse rotiert. Er entdeckte auch die Abplattung des Mars.

Bereits 1666 ermittelte Giovanni Domenico Cassini (1625—1712), der Begründer des Pariser Observatoriums,

die Umlaufzeit des Mars mit 24 Stunden und 40 Minuten, was bereits sehr dicht an den heutigen Angaben liegt, denen zufolge die Umlaufzeit 24 Stunden und 37 Minuten beträgt. Cassini wurde zugleich als erster auf die charakteristischen „Polkappen“ des Mars aufmerksam. Später, nämlich am Ende des 18. Jahrhunderts, stellte der hervorragende englische Astronom und Schöpfer großer Spiegelteleskope William Herschel (1738—1822) fest, daß sich die Größe dieser „Kappen“ im jahreszeitlichen Rhythmus ändert.

Die erste wirklich detaillierte, sorgfältige Untersuchung der Marsoberfläche erfolgte durch den italienischen Astronomen Giovanni Virginio Schiaparelli (1835—1910). 1877 entdeckte er während der außerordentlich günstigen Opposition des Mars die berühmten „Kanäle“ (Streifen) an der Marsoberfläche und löste damit allgemeines Interesse in bezug auf diesen Planeten aus, da seitdem die Möglichkeit diskutiert wurde, auf diesem Planeten vernunftbegabte Wesen vorzufinden. Schiaparelli selbst schrieb dazu: „Dieses erstaunliche Bild und insbesondere die Tatsache, daß diese Streifen mit vollkommener geometrischer Genauigkeit durchgeführt sind, gerade so, als habe man hier Lineal und Zirkel benutzt, hat viele dazu angeregt, in diesen Gebilden das Ergebnis der Arbeit vernunftbegabter Wesen, die den Planeten bewohnen, zu erblicken. Ich jedenfalls hüte mich, solchen Annahmen zu widersprechen, die nichts Unmögliches enthalten.“

In der Folgezeit stellte sich heraus, daß das, was man als Kanäle angesehen hatte, in Wahrheit nichts anderes ist als eine Serie hinreichend dicht beieinanderliegender Krater.

Schiaparelli unternahm den Versuch, eine Marstopographie zu entwickeln und leistete damit einen wesentlichen Beitrag zur Marsforschung. Seit jener Zeit gilt das besondere Augenmerk der Astronomen dem Mars.

Was stellt der Mars nun nach den heutigen Daten der Wissenschaft dar?

Es handelt sich um den letzten Planeten der Erdgruppe. Sein mittlerer Abstand von der Sonne beträgt etwa 228 Mill. km. Die maximale Entfernung zwischen Mars und Erde erreicht 400 Mill. km, und der minimale Abstand schwankt zwischen 55 Mill. und 100 Mill. km und fällt auf die Perioden der sogenannten Marsoppositionen, die sich alle zwei Jahre und 50 Tage wiederholen. Eine Entfernung von 55 Mill. km von der Erde besitzt der Mars während der

sogenannten „großen Oppositionen“, die sich alle 15 bis 17 Jahre wiederholen und immer in die Zeit von Juli bis September fallen. Während der großen Opposition befindet sich der Mars im Sonnenperihel. In unserem Jahrhundert fanden 1909, 1924, 1939, 1956 sowie im August 1971 große Oppositionen statt. In diese Jahre fielen die günstigsten Verhältnisse für die Untersuchung des Mars sowohl mit Hilfe astronomischer Instrumente als auch heute mit Hilfe von Raumflugkörpern für die unmittelbare Erforschung des Planeten. Deshalb wurden gerade im Jahre 1971 zwei sowjetische („Mars 2“ und „Mars 3“) und ein amerikanischer („Mariner 9“) Instrumententräger zu diesem Planeten entsandt. Mißt man die scheinbare Größe der Marsscheibe während der Opposition und kennt man die Entfernung des Planeten zu diesem Zeitpunkt, dann läßt sich seine wahre Größe leicht berechnen. So stellte man fest, daß der Marsdurchmesser 6700 km beträgt. Seine Oberfläche beträgt nur 28% der Erdoberfläche und ist gleich 144 000 000 km<sup>2</sup>. Der größere Teil der Oberfläche (fünf Sechstel) zeigt ockergelb, gelborange und rostrote Farbe. Diese Gebiete werden als „Kontinente“ bezeichnet und stellen allem Anschein nach Wüsten dar, die von feinem Staub bedeckt sind. Der übrige Teil der Oberfläche weist eine dunklere Farbe auf und wird (je nach Konfiguration und Größe) mit den Bezeichnungen „Meere“, „Seen“, „Oasen“ und „Kanäle“ versehen.

Die Marsmasse ist erheblich geringer als die Erdmasse und beträgt nur 10,7% der letzteren. Deshalb ist die Schwerkraft an der Marsoberfläche gering. Sie beträgt nur 38% der Schwerkraft an der Erdoberfläche. Ein Mensch mit einem Gewicht von 70 kg würde also auf dem Mars nur 27 kg wiegen. Mit der geringeren Schwerkraft auf dem Mars hängt auch die Tatsache zusammen, daß die Fluchtgeschwindigkeit, die einem Raumfahrzeug mitgeteilt werden muß, das vom Mars aus zu einem interplanetaren Flug starten soll, aus Minimumkreisbahnhöhe nur 5 km/s beträgt.

Die Marsachse ist um 25° gegen die Senkrechte auf seiner Bahnebene geneigt (der entsprechende Winkel beträgt bei der Erde 23,5°), wodurch sich ein jahreszeitlicher Wechsel auf dem Mars ergibt. Da ein Jahr auf dem Mars fast doppelt so lang ist wie ein Jahr auf der Erde (687 Tage im Vergleich zu 365 Tagen), beträgt auch die Dauer der Jahreszeiten fast das Doppelte.

In den Polargebieten des Planeten befinden sich weiße

„Kappen“, die einen Durchmesser von 3000 bis 4000 km erreichen und eine Fläche von bis zu 10 Mill. km<sup>2</sup> bedecken. Im Winter reichen diese Kappen bis zum 45. Breitengrad, während ihre Größe im Frühjahr allmählich abnimmt. So kamen die Wissenschaftler auf den Gedanken, daß die „Polkappen“ des Mars aus schwerem Eis bestehen. Das läßt sich allerdings nur sehr schwer nachweisen. Die Bedeckung der Polargebiete dieses Planeten zeigt nämlich gewisse Besonderheiten, die diese Decke vom Schnee unterscheiden. Bekanntlich reflektiert der weiße Schnee die Strahlung in allen Bereichen des Spektrums sehr stark (von frisch gefallenem Schnee werden über 90% der einfallenden Strahlung reflektiert). Deshalb hebt sich weißer Schnee vor einem Hintergrund beliebiger anderer Farben ganz scharf in der Form eines hellen Gebildes ab. Aufnahmen mittels Rotfilter — und noch ausgeprägter bei Benutzung eines Infrarotfilters — zeigen die Polardecken des Mars gänzlich ununterscheidbar, da sie mit dem Hintergrund des Bodens in der Umgebung verschmelzen. Diese Besonderheit läßt sich mit der Schneehypothese nur außerordentlich schwierig in Übereinstimmung bringen, und deshalb haben eine Reihe von Wissenschaftlern die Annahme ausgesprochen, daß die „Polkappen“ nicht eine Schicht von irgendwelchem weißen Material an der Planetenoberfläche darstellen, sondern Wolken oder Nebel sind, die in der Atmosphäre schwimmen. Den Polkappen des Mars eine eindeutige Erklärung zu geben ist vorläufig offenbar noch nicht gelungen.

Von außergewöhnlichem Interesse sind die jahreszeitlichen Änderungen der Farbe verschiedener Bereiche an der Marsoberfläche. So sind die „Meere“ im Winter heller, während sie mit dem Eintritt des Frühjahrs merklich nachdunkeln, um dann in der Mitte des Sommers, bzw. zum Herbst hin eine erneute Aufhellung zu erfahren. Zur Erklärung dieser Erscheinungen wurde die Hypothese von einer Pflanzendecke ausgesprochen, derzufolge die Oberfläche der „Meere“ (die natürlich Festland darstellen) sich im Frühjahr mit einer Decke niedrigen Pflanzenwuchses überziehe, was dann auch die dunklere Färbung bewirke. Im Herbst trockne die Vegetation aus und werde dadurch heller.

Akzeptiert man diese Hypothese, dann bedeutet dies die Annahme von Leben auf dem Mars, weil eine Pflanze ja auch ein lebender Organismus ist. Wie aber sieht es aus, dieses außerirdische Leben? Wo eine Flora existiert, dort

kann auch — und sei es in der allerprimitivsten Form — eine Fauna existieren. Könnte es sein, daß der Mars ein Planet des verlöschenden Lebens ist, das früher vielleicht ebenso stürmisch und vielfältig war wie auf der Erde?

Sehr eigenartig sind die klimatischen Verhältnisse auf dem Mars. Jeder Quadratkilometer der Planetenoberfläche erhält 36 bis 52% weniger Sonnenwärme als die gleiche Oberfläche auf der Erde. Die Jahresmitteltemperatur auf dem Mars beträgt  $-27^{\circ}\text{C}$ , auf der Erde dagegen  $+10^{\circ}\text{C}$ . Sehr bedeutend sind auch die jahreszeitlichen sowie die täglichen Temperaturschwankungen. An den Polen sinkt die Temperatur nachts bis auf  $-100^{\circ}\text{C}$ . In den Äquatorialgebieten steigt die Temperatur im Hochsommer tags bis auf  $30^{\circ}\text{C}$ . Solche Temperaturschwankungen erklären sich aus der Trockenheit und der sehr verdünnten Atmosphäre. Eines der interessantesten Probleme ist das Studium und die Entwicklung von Modellen der Marsatmosphäre. Dies ist eine sehr komplizierte Frage, und den Raumflugkörpern fällt hierbei heute eine besondere Rolle zu.

Die Marsatmosphäre besteht zu 90% aus Kohlendioxid. Wesentlich geringer sind die Anteile von Stickstoff, Argon sowie einigen anderen Gasen. Die Dichte der Atmosphäre an der Marsoberfläche entspricht einer Dichte, die die Erdatmosphäre in einer Höhe von 34 km besitzt. Unter der Einwirkung des UV-Anteils im Sonnenlicht dissoziiert das Kohlendioxid in der Marsatmosphäre in einer Höhe von 70 bis 80 km, es zerfällt in Kohlenmonoxid und atomaren Sauerstoff.

Die Marsatmosphäre ist sehr kalt, so daß sie wahrscheinlich ständig gefrorene  $\text{CO}_2$ -Partikeln enthält.

Doch all das bisher Gesagte bedarf der weiteren Bestätigung. Wahrscheinlich ist das Modell der Marsatmosphäre sehr viel komplizierter als die Vorstellungen, die wir heute von ihr haben.

Besonders interessant sind die in der Marsatmosphäre zu beobachtenden Wolken. Der normale Zustand der Atmosphäre dieses Planeten ist vollständige Durchsichtigkeit. Weiße Wolken, die in gewissem Maße den irdischen Wolken ähneln, sind darin extrem selten. Gelegentlich tauchen auf dem Mars auch atmosphärische Trübungen anderen Typs auf. Es handelt sich dabei um orange gefärbte Nebel oder Staubstürme, die umfangreiche Gebiete bedecken. Besonders häufig waren sie 1956 (im Jahr der großen Opposition),

wo ganze Gebiete des Planeten von einem rötlichen Dunst bedeckt waren. Erstaunlich ist die Tatsache, daß auch 1971 (wie bereits vorher erwähnt wurde, ebenfalls ein Jahr der großen Opposition) ein Staubsturm auf dem Mars tobte, der im September begann und riesige Bezirke des Planeten erfaßte. Offenbar ist ein solcher Sturm von starken horizontalen und vertikalen Winden begleitet, die Wolken von feinem (talkumartigem) Staub aufgewirbelt haben.

Die mit Hilfe von Raumsonden erhaltenen Aufnahmen zeigen, daß das Marsrelief in manchem an das Relief unseres Mondes erinnert: Wir finden viele Krater und Gebirgsketten.

Der Mars besitzt zwei kleine Begleiter (mit einem maximalen Durchmesser von 15 bzw. 8 km). Sie heißen Phobos (Furcht) und Deimos (Schrecken). Wie die von Raumsonden erhaltenen Aufnahmen zeigen, sind die Marsbegleiter irregulär geformte Gesteinsbrocken. Der näher am Mars befindliche Begleiter, der Phobos, umkreist den Mars in 7 Stunden und 39 Minuten, d. h. wesentlich rascher, als der Mars um seine eigene Achse rotiert. Dies ist der einzige bekannte Fall im Sonnensystem. Dieser Marsbegleiter ist allem Anschein nach ein Asteroid, der vom Schwerefeld des Planeten eingefangen wurde. Diese Erklärung erscheint durchaus glaubwürdig, da sich in unmittelbarer Nähe auf Bahnen, die zwischen dem Mars und dem Jupiter liegen, der sogenannte Asteroidengürtel befindet, eines der erregendsten Rätsel unseres Sonnensystems.

Um dem Leser auch nur eine ganz allgemeine, aber trotzdem alle Hauptfragen berührende Vorstellung vom Sonnensystem insgesamt zu vermitteln, müssen wir auch die Asteroiden erwähnen. Es handelt sich hier um kleine Himmelskörper. Über 1700 solcher Himmelskörper haben bereits Namen erhalten, während einige tausend vorläufig noch namenlos sind. Die überwältigende Mehrzahl der Asteroiden befindet sich auf Umlaufbahnen zwischen dem Mars und dem Jupiter, und diese Bahnen schneiden sich an einer Stelle, die 2,8 AE (420 Mill. km) von der Sonne entfernt ist. Da die Asteroiden ungefüge Felstrümmer darstellen, nimmt man an, daß an der Stelle, an der sich die Asteroidenbahnen schneiden, früher einmal ein Planet existierte, der bei einer kosmischen Katastrophe explodiert ist. Interessant ist auch die Tatsache, daß sich entsprechend der in der Astronomie bekannten Titius-Bodeschen Reihe gerade an dieser Stelle eigentlich ein weiterer Planet im Sonnensystem

befinden müßte, den man jedoch nicht entdecken konnte. Was ist das für ein Planet? Welche Katastrophe hat sich hier in unmittelbarer Nachbarschaft der Erde abgespielt, und wann ist das gewesen? Worin liegen die Ursachen für diese gigantische Zertrümmerung? Auf alle diese Fragen gibt es vorläufig keine erschöpfenden Antworten, jedoch existieren Versionen und Hypothesen, und auf einige davon wollen wir hier zu sprechen kommen.

Vor 75 Millionen Jahren existierte auf einer Bahn zwischen dem Mars und dem Jupiter ein Planet (wir wollen ihn Phaeton nennen). Dieser Planet hatte eine etwas größere Masse als unsere Erde. Mit etwa 7 Milliarden Jahren war er doppelt so alt wie die Erde. Zu jener Zeit unterschied sich die Wärmeverteilung im Sonnensystem im Vergleich zu heute dadurch, daß man eine größere Intensität verzeichnen konnte. Auf diesem Planeten könnte organisches Leben existiert haben (dies ergibt sich aus der Zusammensetzung einer Reihe von Meteoriten, die auf die Erde niedergefallen sind). Man kann annehmen, daß die Evolution des Lebens auf dem Phaeton (und zwar wegen seines vergleichsweise vorgerückten Alters) bereits seine höchsten Formen erreicht hatte: Auf dem Phaeton existierte eine Zivilisation, die sogar unsere gegenwärtige Zivilisation bereits überholt hatte. Die Erde war damals noch von gigantischen Sauriern besiedelt und von Wäldern aus Riesenfarnen bedeckt.

Die Entwicklung der Zivilisation auf dem Phaeton führte zur Beherrschung der Geheimnisse der thermonuklearen Energie, und Unvorsichtigkeit beim Umgang mit dieser Energie vernichtete den blühenden Planeten. Eine thermonukleare Reaktion von ungeheurer Kraft erschütterte den Phaeton. Die Explosion erfolgte unter der Oberfläche des Planeten, und der Planet zerbrach. Der größere Teil des Planeten erhielt einen zusätzlichen Bahnimpuls und brach in den äußeren Raum aus. Dabei bewegte sich dieses Bruchstück am Jupiter vorbei und ließ die Bewegung seiner äußeren Trabanten rückläufig werden. Auch einer der Begleiter des Saturn erhielt dadurch eine rückläufige Bewegung, und ein weiterer Begleiter wurde durch die Anziehung des Phaeton und des Saturn zerrissen, und es entstanden die berühmten Saturnringe. Am Uranus ging der Planet so nahe vorüber, daß ein beträchtlicher „Brocken“ vom Phaeton losgerissen wurde und auf den Uranus fiel; durch die gigantische Kraft des Aufpralls wurde dieser Planet so gedreht,

daß er heute zum Unterschied von allen anderen Planeten des Sonnensystems „auf der Seite liegt“, da sich die Rotationsachse praktisch in der Bahnebene des Uranus befindet.

Der Neptun war das nächste und zugleich letzte Opfer des Planeten. Einer der Neptunbegleiter begann sich ebenfalls rückläufig zu bewegen, und der Planet Neptun selbst änderte seine Bahn etwas, so daß er nunmehr nicht mehr in die Titius-Bodesche Reihe paßte. Schließlich erschöpfte sich die kinetische Energie des Phaeton im Kampf mit den Gravitationskräften der Planeten und der Sonne, und er schwenkte auf eine Bahn ein, auf der sich auch heute noch der rätselhafte Pluto befindet. Ja, der Pluto ist nach dieser Hypothese tatsächlich jener Hauptteil des Phaeton, der nach der Explosion in den äußeren Raum ausbrach. Und alles, was wir heute über den Pluto wissen — allerdings wissen wir sehr wenig —, paßt ausgezeichnet zu einer derartigen Version: Sowohl seine Masse (0,8 Erdmasse) als auch seine Albedo (6%), seine Bahn (die über die Neptunbahn hinausgeht und eine große Neigung zur Ekliptik besitzt) ebenso wie das Fehlen einer Atmosphäre, seine mittlere Dichte von  $4 \text{ g/cm}^3$  und andere Kenndaten sind für die entsprechenden Charakteristika der äußeren Planeten (Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun) ganz untypisch.

Der kleinere Teil des Phaeton zerbrach im Verlauf der Explosion in kleine Stücke (wobei die Korngröße auch staubförmige Beschaffenheit erreichte). So entstanden die Meteoritenströme und die Asteroiden, die nun bereits seit 75 Millionen Jahren den Jupiter, den Mars (Krater!), den Mond (Krater) und die Erde (Krater, die allerdings der Erosion ausgesetzt gewesen sind) als Meteoriten und Boliden bombardieren.

Die Folgen der Katastrophe berührten jedoch nicht nur die äußeren Planeten. Auch die Erde litt darunter, denn hier veränderten sich die Verhältnisse ganz einschneidend, was zum plötzlichen Aussterben der Saurier ebenso wie anderer Vertreter der Tierwelt und zu einer bedeutenden Klimaänderung führte.

Das alles geschah vor 75 Millionen Jahren, was sich aus der Analyse einiger Meteoriten zu ergeben scheint, die auf die Erde niedergefallen sind und unmittelbare Zeugen der Katastrophe darstellen.

Ganz berechtigt könnte der Leser fragen, ob die Zivilisa-

tion auf dem Phaeton, wenn es sie gegeben haben sollte, nicht auch irgendwelche direkten Beweise ihrer Existenz hinterlassen habe?

Es gibt eine Hypothese, die besagt, daß wir eine Reihe allerdings nur indirekter, aber sehr verführerischer Angaben über Besuche von Fremden besitzen, die in weit zurückliegenden Zeiten auf der Erde stattgefunden haben sollen. Aber das alles klingt sehr nach Phantasterei, und höchstwahrscheinlich ist es auch Phantastik. Die Katastrophe konnte natürlich auch eine rein kosmische Ursache gehabt haben. So konnte beispielsweise ein anderer Körper in das Sonnensystem eingedrungen oder unser Sonnensystem auf seiner Bewegung durch die Galaxis auf einen derartigen Körper gestoßen sein. Dabei müßte angenommen werden, daß sich dieser Körper unter einem bestimmten Winkel zur Ekliptikebene bewegte und mit einem der Planeten (dem Phaeton) zusammenstieß. Alles übrige könnte dann so abgelaufen sein, wie wir es bereits gesagt haben. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit von derartigen Katastrophen keinesfalls größer als die der oben beschriebenen Ereignisse.

Klar ist heute nur eines: Nur Raumflüge zu den Himmelskörpern können eine erschöpfende Antwort darauf geben, ob die beschriebene Planetenzertrümmerung im Sonnensystem tatsächlich stattgefunden hat.

Auf dem Mars und seinen Begleitern ebenso wie auf den Asteroiden, z. B. der Ceres (größter Durchmesser 740 km), der Pallas (480 km), der Vesta (380 km), der Juno (260 km) und auf manchen anderen, werden vielleicht eines Tages Stützpunkte der Menschen errichtet werden. Der Mensch wird diese Himmelskörper erforschen, sie beleben und von dort aus seinen Einfluß auf immer größere Räume innerhalb unseres Planetensystems ausdehnen.

Wenn wir auf unserem Wege von der Sonne aus über die Marsbahn hinausgelangen, kommen wir schließlich zum größten Planeten des Sonnensystems, zum Jupiter.

Die Umlaufzeit des Jupiters um die Sonne beträgt fast 12 Jahre. Er ist 5,2mal so weit von der Sonne entfernt wie die Erde. Sein Durchmesser ist 11mal und sein Volumen 1314mal größer als der Durchmesser bzw. das Volumen der Erde.

Die physikalischen Verhältnisse auf dem Jupiter sind sehr rätselhaft, denn ungeachtet der niedrigen Temperatur seiner Wolkenschicht (etwa  $-143^{\circ}\text{C}$ ) ist der Planet die

Quelle einer intensiven Radiofrequenzstrahlung und gelegentlich sogar regelrechter Radiofrequenzstürme, deren Ursache vorläufig unbekannt ist. Der Jupiter rotiert außerordentlich schnell um seine Achse, und die Äquatorialgebiete führen in 9 Stunden und 50 Minuten einen vollständigen Umlauf aus. Die weitausgedehnte Atmosphäre des Jupiter besteht aus Wasserstoff, Metan und Ammoniak. An unserem Himmel leuchtet der Jupiter heller als alle Sterne und Planeten, ausgenommen die Venus.

Am Jupiter wurde ein stärkeres Magnetfeld (etwa 795 A/m) als auf der Erde festgestellt. Deshalb ist der Jupiter von starken Strahlungsgürteln umgeben. Auf dem Planeten lassen sich eine Vielzahl von Streifen sowie der rätselhafte Rote Fleck beobachten. Die ersten gründlichen Beobachtungen des Roten Flecks erfolgten 1878. Seit jener Zeit ist dieser Fleck (mit einer Größe von 50 000 km · 20 000 km) periodisch einmal bis zu einer schwachen Rosafärbung verblaßt und ein andermal wieder intensiv rot geworden. Die Umlaufgeschwindigkeit des Flecks fällt dabei nicht mit der Umlaufgeschwindigkeit des Planeten in dieser Breite zusammen. Außerdem ändert sich seine Umlaufzeit. Für den Roten Fleck existiert keine auch nur halbwegs überzeugende Erklärung.

Der Gigant Jupiter ist selbst ein Rätsel.

1961 erschien eine Erklärung, die alle Astronomen überraschte, wonach auf dem Jupiter Leben möglich ist. Diese Erklärung ging auf den bekannten amerikanischen Wissenschaftler Sagan zurück, der annahm, daß auch auf dem Jupiter ein Treibhauseffekt (ebenso wie auf der Venus) existiert, dank welchem die mittlere Temperatur unter den Wolken gleich 20° C beträgt. Vorläufig allerdings teilt die Mehrzahl der Wissenschaftler diesen Standpunkt nicht und hält den Jupiter für kalt und unbelebt.

Es gibt eine sehr interessante Hypothese, nach der auf dem Jupiter Lebende Organismen existieren, die Ammoniak und Stickstoff aufnehmen. Diese Ammoniaktiere könnten also Stickstoff atmen.

Offenbar werden auch in diesem Falle nur Raumsonden und Expeditionen von Kosmonauten dazu beitragen können, das Rätsel des Ammoniaklebens zu lösen, natürlich nur dann, wenn solches Leben überhaupt existiert.

Wir kennen zwölf Jupitersatelliten. Die vier äußersten Satelliten zeigen eine rückläufige Umlaufbewegung.

Zwei Jupitersatelliten, Ganymed und Kallisto, sind größer als der Merkur. Ihre Durchmesser betragen 5070 km bzw. 4850 km. Noch zwei weitere Satelliten kommen in der Größe an unseren Mond heran. Es sind Io (3460 km) und Europa (3050 km). Die größten Jupitermonde sind bereits seit langem bekannt (ihre Namen wurden ihnen bereits von Galilei verliehen). Es gibt Grund zu der Annahme, daß sie mit Eis bedeckt sind und ihrem Planeten stets die gleiche Seite zuwenden.

Von diesen Satelliten aus ließe sich der Jupiter sehr bequem beobachten. Deshalb wäre es zweckmäßig, die ersten Expeditionen zum Jupiter gerade auf diese Satelliten zu entsenden. Sie sind für die Errichtung von Raumbasen am besten geeignet. Außerdem wäre es zweckmäßig, hier „Umsteigebahnhöfe“ für den Raketenverkehr einzurichten, von denen aus der Mensch immer weiter hinaus in den äußeren Raum fliegen würde. Interessant ist auch die Idee, für Raumflugunternehmen das starke Magnetfeld des Jupiters auszunutzen, um durch eine entsprechende Bahnablenkung die Flugdauer zu verkürzen.

Jenseits des Jupiters liegt die Bahn des anderen gigantischen Planeten, des Saturn. Dieser Koloß ist nur sehr wenig erforscht. Sein Äquatorialdurchmesser beträgt 120 000 km. Der mittlere Abstand von der Sonne ist 1,428 Mrd. km. Die Umlaufzeit um die Sonne beträgt 29,46 Jahre. Wie beim Jupiter ist auch die Saturnoberfläche von Streifen bedeckt, die parallel zu seinem Äquator verlaufen. Die Umlaufzeit des Planeten um die eigene Achse beträgt 10 Stunden und 14 Minuten, d. h., der Planet rotiert sehr schnell. Hervorstechendes Merkmal des Saturn sind seine berühmten Ringe, die genau in der Äquatorialebene liegen. Der innere Aufbau des Saturn ist dem Jupiteraufbau allem Anschein nach ähnlich. Allerdings ist seine mittlere Dichte noch geringer als die des Jupiters. Sie beträgt nur  $0,7 \text{ g/cm}^3$  (d.h. den 0,13. Teil der Dichte unserer Erde.) In seiner Atmosphäre wurden Wasserstoff, Metan und Ammoniak nachgewiesen.

Der Saturn besitzt 10 Begleiter. Der größte unter ihnen übertrifft dabei unseren Mond und besitzt einen Durchmesser von etwa 5000 km. Der saturnnächste Begleiter Janus wurde erst vor wenigen Jahren (am 15. Dezember 1966) entdeckt. Der saturnfernste Satellit, Phoebe, zeigt rückläufige Bewegung.

Die Erforschung des Saturn und seiner Begleiter ist von erheblichem Interesse. Die Riesenplaneten sind als Kondensatoren leichter Elemente bei der Differenzierung der ursprünglichen Materiewolke des Sonnensystems interessant. Die wichtigsten Aufgaben sind: Präzisierung der chemischen Zusammensetzung der Planeten zur Rekonstruktion der ursprünglichen Zusammensetzung der Materiewolke. Ermittlung der inneren Aktivität der Riesenplaneten und ihrer Strahlungsbilanz, Erforschung der Magnetfelder usw.

Außerhalb des Saturn befinden sich noch zwei weitere Riesenplaneten. Es sind dies der Uranus mit einer mittleren Sonnenentfernung von 2,872 Mrd. km (sein Durchmesser ist 52 000 km) und der Neptun mit einer Sonnenentfernung von 4,5 Mrd. km (und einem Durchmesser von 50 000 km). Beide Planeten rotieren schnell um ihre Achse. Der Uranus wird noch dadurch charakterisiert, daß die Äquatorialebene des Planeten, die mit der Bewegungsebene seiner fünf Begleiter übereinstimmt, zur Bahnebene des Uranus selbst um  $98^\circ$  geneigt ist, d. h., der Uranus rotiert „auf der Seite liegend“. Beim Neptun wurden nur zwei Begleiter entdeckt, doch ist einer von ihnen, der Triton, größer als unser Mond (sein Durchmesser beträgt etwa 4500 km). Dieser Begleiter befindet sich relativ nahe an seinem Planeten (die Entfernung beträgt nur 354 000 km). Deshalb dürfte er für den Aufbau einer Beobachtungsstation zur Erforschung des Neptun geeignet sein.

Der äußerste Planet des Sonnensystems, den wir bis heute kennen, heißt Pluto. Von ihm war bereits weiter oben die Rede. Er wurde am 13. März 1930 entdeckt. Seitdem setzt er die Wissenschaftler durch seine für äußere Planeten des Sonnensystems ungewöhnlichen Eigenschaften in Erstaunen. Vor allem ist er kein Riesenplanet, und nach letzten Angaben beträgt sein Durchmesser etwa 4400 km. Seine Bahnebene ist stark gegen die Ekliptikebene geneigt ( $17^\circ 8'$ ), und deshalb könnten dort in Zukunft wissenschaftliche Laboratorien zum Studium des extraekliptischen Raumes eingerichtet werden.

Der Pluto ist sehr weit von uns entfernt — etwa 6 Mrd. km. Dabei bewegt er sich auf einer sehr stark elliptischen Bahn (und ist damit der einzige derartige Planet in unserem System). Seine minimale Entfernung von der Sonne beträgt 4,417 Mrd. km, die größte Sonnenferne dagegen 7 421 Mrd. km. Seine Umlaufzeit um die Sonne ist etwa 250 Jahre. So-

mit hat der Pluto im Perihel eine geringere Entfernung von der Sonne als die Neptunbahn. 1969 befand sich Pluto im Perihel, und bis zum Jahre 2009 wird er praktisch nicht der 9., sondern der 8. Planet des Sonnensystems sein. Diese Erscheinung kann bisher durch keine Planetenentstehungstheorie erklärt werden. Deshalb existieren viele Hypothesen, denen zufolge der Pluto erst vor relativ kurzer Zeit seinen heutigen Platz eingenommen hat.

Auch die Geheimnisse des Pluto harren ihrer Enträtselung. Doch noch für lange Zeit wird es der verführerische Traum aller Kosmonauten sein, bis dorthin zu fliegen und vielleicht noch weiter in die unbegrenzten Weiten des Alls hinauszueilen. Vielleicht wird dieser Planet, der nach den heutigen Erkenntnissen der Wissenschaft den Planeten der Erdgruppe nahesteht, in Zukunft von Menschen erschlossen werden. Vielleicht werden dort kosmische Basen entstehen. Gewiß, sie lägen dann an der Peripherie unseres Sonnensystems. Doch wer weiß heute zu sagen, welche großen neuen Möglichkeiten die Menschheit in den kommenden Jahrtausenden zu erschließen vermag.

Wann könnte es denn so weit sein, daß die Menschheit den Weltraum für sich in größerem Umfange nutzen müßte?

Vor 12 000 Jahren umfaßte die Erdbevölkerung etwa 1 Million Menschen. Zu Beginn unserer Zeitrechnung war diese Zahl bereits auf 300 Millionen angestiegen (im Römischen Reich beispielsweise lebten 54 Millionen Menschen). Zu Beginn unseres Jahrhunderts zählte die Menschheit 1,6 Milliarden Menschen, und 1969 waren es über 3,5 Milliarden. Für das Jahr 2000 wird eine Vergrößerung der Bevölkerungszahl auf 7 Milliarden und für das Jahr 2200 — einigen Schätzungen zufolge — auf 35 Milliarden Menschen erwartet. Gegenwärtig werden täglich 200 000 Menschen geboren! Aber es geht bei unseren Überlegungen ja nicht nur um das Wachstum der Bevölkerungszahl. Auch der Bedarf (an den verschiedensten Rohstoffen) je Kopf der Bevölkerung wächst sehr schnell. Beispielsweise hat sich der Energieverbrauch im Verlaufe der letzten 200 Jahre durchschnittlich alle 20 Jahre verdoppelt und heute einen Betrag von  $4 \cdot 10^{19}$  erg erreicht. Nach weiteren 200 Jahren wird die Menschheit bereits 1000mal mehr Energie erzeugen und damit den Wärmehaushalt unseres Planeten bereits wesentlich beeinflussen. Es könnte sich bereits in den nächsten 200 Jahren als zweckmäßig erweisen, Energieanlagen nicht auf der Erde, sondern

im Weltraum zu stationieren. Bestimmte Berechnungen zeigen, daß die Menschheit, wenn sie im gleichen Tempo wie bisher Energie verbraucht, schon nach 3000 Jahren einen Bedarf von  $4 \cdot 10^{33}$  erg haben wird. Das ist der Energiebetrag, der der Sonne zur Verfügung steht!

Der eine oder andere wird sagen: „Dann soll sich gefälligst die zukünftige Menschheit den Kopf darüber zerbrechen, wohin und wie sie auswandern soll. Was geht uns das an?“ Ganz abgesehen davon, daß es nicht einmal feststeht, ob sich die Menschheit unablässig in einem derart rapiden Wachstum befinden wird — auch die Energieversorgung kann nicht ins Unendliche wachsen. Aber es geht nicht nur um diese Frage. Die Weltraumfahrt leistet den Menschen — wie die Verfasser dieses Buches zu zeigen versucht haben — bereits heute sehr wirkungsvolle Dienste. Die Aufgabe unserer Zeitgenossen besteht vor allem auch darin, bei der Weiterentwicklung der Weltraumfahrt und bei der Lösung aktueller brennender Fragen der Menschheit die Zukunft nicht zu vergessen. Nur diese Art des Herangehens an die brennenden Probleme kann zu einer der Menschheit dienlichen Gesamtentwicklung beitragen. Auch die konkreten Parameter aller Mittel der Raketentechnik werden unter diesem Aspekt sorgfältiger und durchdachter ausgewählt werden müssen.

Dafür ein kleines Beispiel.

Der Güterumschlag im Weltraum wird in den nächsten Jahren noch nicht sehr groß sein (einige tausend Tonnen jährlich). Deshalb besteht noch keine unmittelbare Notwendigkeit, mehrfach verwendbare Raketensysteme für den Langzeitbetrieb zu schaffen. Man kann im Prinzip auch mit „Einwegsystemen“ auskommen (nach dem Prinzip: Gestartet, Aufgabe gelöst, weggeworfen), wie dies ja heute auch geschieht. In der Zukunft jedoch entsteht die Notwendigkeit, mehrfach verwendbare, rentable Systeme einzusetzen.

Da derartige Projekte eine lange Entwicklungszeit benötigen, muß man heute schon nach den rationellsten Lösungen suchen.

Die Erschließung des Mondes und der Planeten ist eine Aufgabe unserer Tage, in noch größerem Maße aber eine Aufgabe der zukünftigen Jahre. Heute sind für uns neue Daten über das Sonnensystem wichtig, Daten über Prozesse und Erscheinungen, die darin ablaufen. Das entscheidende Wort werden hier in der Hauptsache automatische Raum-

flugkörper sprechen. Morgen schon und vielleicht auch erst in fernerer Zukunft werden wir (auf der Grundlage dieser Daten) in den Kosmos fliegen, um unsere Kenntnisse zu vertiefen, um die Sphäre der materiellen Produktion zu erweitern und um im Kosmos zu forschen, zu arbeiten und zu leben.

Wie werden nun die Flüge zu den Planeten realisiert werden?

Heute erscheint folgendes Organisationsverfahren für Expeditionsflüge am zweckmäßigsten:

Die Expedition wird insgesamt aus drei Teilen aufgebaut. Der erste Teil besteht aus dem Transport der benötigten Güter sowie des Personals auf eine erdnahe Umlaufbahn, wo dann die Formierung des eigentlichen interplanetaren Expeditionskomplexes erfolgt. Der Transport auf eine erdnahe Umlaufbahn wird mit Hilfe eines mehrfach verwendbaren Containertransportsystems bewerkstelligt. Die Güter werden in Containern zugestellt, wie dies heute bei jeder beliebigen Transportart, sei es per Schiff, Flugzeug, Bahn oder Kfz, der Fall ist. Wie sieht ein derartiges Containersystem aus?

Vor der Entwicklung neuartiger Triebwerke dürfte dies am ehesten ein zweistufiges senkrecht startendes System sein, das auf dem Einsatz von Flüssigraketen-Triebwerken mit hocheffektiven Treibstoffkomponenten (z. B. Wasserstoff und Sauerstoff) beruht. Die Landung erfolgt in der gleichen Weise wie bei einem Flugzeug, so daß auch die mehrfache Verwendung des Systems gewährleistet ist. Dadurch können auch Überlastungen (hauptsächlich bei der Landung) vermindert, die notwendige Manövrierfähigkeit beim Flug innerhalb der Atmosphäre (unter 100 km) und die Landung in jedem beliebigen Gebiet des Erdballs gewährleistet werden. Praktisch wäre die Landung auf jedem modernen Flugplatz möglich. Hier ist natürlich von der Landung der zweiten Stufe dieser Raumflugeinheit die Rede, die den eigentlichen Nutzlastträger darstellt. Er besteht aus einem flugzeugähnlichen Raumgleiter, der mit Hilfe einer Raketenstufe gestartet wird.

Die erste Stufe dieses Systems dient also im Grunde genommen als Beschleuniger (Booster).

Größe und Masse der auf die Umlaufbahn zu führenden Gegenstände werden optimiert sein. Nach Berechnungen von Wissenschaftlern beträgt die rationelle Masse des Transports

etwa 30 t. In diesem Fall beträgt das Startgewicht eines solchen zweistufigen, mehrfach verwendbaren Transportsystems etwa 2500 t. Es handelt sich hierbei um einen höchst komplizierten Raketenkomplex. Es sei nur daran erinnert, daß die Masse eines Passagierflugzeuges, beispielsweise der Il 62, nur 160 t beträgt.

In weiterer Zukunft wird es dann möglich sein, Hyperschalltriebwerke bis zu 15facher Schallgeschwindigkeit für Beschleunigungen und andere hochleistungsfähige Antriebsysteme zu verwenden. Auch in unvorhergesehenen Havariesituationen wird die erforderliche Sicherheit garantiert sein, obwohl eine komplizierte Technik praktisch keine 100%ige Zuverlässigkeit besitzt. So könnte ein derartiges Transportsystem einstufig werden und nicht nur die Landung, sondern auch den Start in der Art eines Flugzeuges bewältigen.

Der zweite Bestandteil des interplanetaren Expeditionskomplexes wird ebenfalls ein mehrfach verwendbares System sein, das zwischen der Erde und dem Zielplaneten verkehrt. Dieses Raumschiff verkehrt zwischen einer erdnahen und einer planetennahen Umlaufbahn. Hier gibt es günstigere Voraussetzungen bereits in früheren Entwicklungsstadien der Technik, die Kernenergie für die Triebwerke einzusetzen, da bei Havariesituationen kein Niedergehen auf der Erde, verknüpft mit einer radioaktiven Verseuchung lebenswichtiger Räume, eintreten kann. Nach Auftanken des Treibstoffes in einer erdnahen Umlaufbahn und nach der Übernahme der erforderlichen Güter macht sich der Expeditionskomplex auf die Reise zum Zielplaneten. Auf dem Wege dorthin absolviert die Besatzung ein Programm wissenschaftlich-technischer Experimente und Untersuchungen. Zu diesem Zweck ist das interplanetare Raumschiff mit einer Reihe spezialisierter Baugruppen für Astrophysik, Medizin und Biologie, technische Physik usw. ausgestattet.

Ein besonders großes astronomisches und astrophysikalisches Forschungsprogramm wird während eines derartigen Fluges absolviert werden können. Alle notwendigen Geräte werden an Bord sein; im Grunde genommen handelt es sich hierbei um ein astrophysikalisches Observatorium. Die Untersuchungen können hier im Gesamtbereich der elektromagnetischen Strahlung ausgeführt werden, da keinerlei Störungen durch die Abschirmwirkung der Atmosphäre sowie der Radiofrequenzstrahlung der Erde selbst zu erwarten

sind. Unsere Atmosphäre ist bekanntlich nur für zwei Bereiche des elektromagnetischen Spektrums durchlässig. „Das optische Fenster“ läßt den sichtbaren Teil des Lichtes sowie kleine Bereiche im Ultraviolett und im Infrarot hindurchtreten, und das „Radiofrequenzfenster“ ist für Kurzwellen durchlässig. Röntgenstrahlen, Gammastrahlen, kurzwelliges Ultraviolett sowie langwellige Radiofrequenzstrahlung werden von der Atmosphäre absorbiert. Dazu kommt, daß die Erde selbst einen sehr intensiven Störpegel (Funk, Fernsehen usw.) erzeugt. Deshalb werden an Bord des Expeditionskomplexes Röntgen- und Gammateleskope sowie hochleistungsfähige Radioteleskope und dergleichen installiert sein.

Die astrophysikalische Baugruppe wird während des Fluges in bestimmten Zeitabständen vom Hauptteil des interplanetaren Komplexes abgekoppelt werden. Zur Ausführung der gewünschten Beobachtungen ist es notwendig, diesen Teil sehr genau im Raum zu stabilisieren. Eine so exakte Stabilisierung für den Gesamtkomplex wäre nicht rationell (und praktisch auch gar nicht zu realisieren).

Von Bord aus werden Beobachtungen der Sonne, der Planeten, der Sterne usw. ausgeführt. Besonders interessant ist die Beobachtung der sogenannten Quasare, die synchron mit Beobachtungen von der Erde aus vorgenommen werden müssen, mit dem Ziel, einen entsprechend großen Basisabstand für die Beobachtungen zu erhalten (der dann einige Dutzend oder einige hundert Millionen Kilometer betragen würde).

Das Wort Quasar ist eine Abkürzung der beiden Wörter quasistellares Objekt. Die Entdeckung dieses Objektes setzte erst vor relativ kurzer Zeit (seit 1963) ein. Im Teleskop sowie auf Fotografien sind die Quasare von Sternen kaum zu unterscheiden. Nach der Intensität ihrer Radiofrequenzstrahlung sind sie jedoch mit den strahlungsintensivsten Radiogalaxien vergleichbar, die aus Dutzenden von Milliarden Sternen bestehen. Im optischen Bereich strahlen sie einige hundertmal stärker als gewöhnliche Galaxien.

Die Quasare weisen die größten, überhaupt bekannten Rotverschiebungswerte ihrer Spektrallinien auf, was ihre außerordentlich hohe Fluchtgeschwindigkeit anzeigt. Dies deutet deshalb darauf hin, daß sie sich in den äußersten Randgebieten des der Beobachtung zugänglichen Alls befinden. Die auf diesem Wege berechnete Entfernung des

nächstgelegenen aller bekannten Quasare beträgt 1,5 Milliarden Lichtjahre.

Einige Wissenschaftler sind jedoch der Meinung, daß die Rotverschiebung durch die Gravitationswirkung der Quasare auf die von ihnen emittierten Photonen hervorgerufen sein könnte. Etwas Derartiges erfolgt an den sogenannten Neutronensternen, deren Materie so stark komprimiert ist, daß die üblichen Atomstrukturen in ihnen nicht existieren (die Dichte von Neutronensternen liegt einige hundertmal über der Dichte von Eisen, und ihre Größe ist verhältnismäßig gering). In diesem Fall könnten sich die Quasare in relativ geringer Entfernung von uns befinden. Um ihre Entfernung nach dem einfachsten und sichersten Verfahren, der Triangulation (die in unserem Buch beschrieben ist), zu bestimmen, muß man einen großen Basisabstand haben, was sich bei einem interplanetaren Flug erreichen läßt.

Die Natur der Quasare ebenso wie der Ende 1967 entdeckten Pulsare (das sind Objekte, deren Radiofrequenzstrahlung mit einer sehr kurzen Periode pulsiert) bleibt vorläufig noch rätselhaft. Die Beseitigung dieses „weißen Flecks“ in der Wissenschaft ist auch eine Aufgabe zukünftiger interplanetarer Expeditionen.

Während des Fluges muß für die Besatzung ein Schwerkraftersatz geschaffen werden. Zu diesem Zweck werden die bemannten Sektionen in geeigneter konstruktiver Anordnung in Rotation versetzt, so daß infolge der Zentrifugalkräfte die notwendige „Schwerkraft“ erzeugt wird.

Schließlich nähert sich die interplanetare Expedition dem Zielplaneten und schwenkt in eine planetennahe Bahn ein. Hier beginnt die dritte Etappe der Expedition, in deren Verlauf wiederum ein mehrfach verwendbares Transportsystem in Tätigkeit tritt, das zwischen der Planetenoberfläche und der planetennahen Bahn verkehrt.

Auf die Oberfläche des Zielplaneten wird nun alles transportiert, was für den Aufbau und die Entwicklung einer wissenschaftlichen Basisstation notwendig ist; diese Station ist mit allem ausgerüstet, was für das Leben und die Arbeit der Expeditionsmitglieder notwendig ist, einschließlich entsprechender Planetenfahrzeuge und -flugzeuge (zur Fortbewegung in schwer zugänglichen Gebieten). Dazu gehören auch energetische und funktechnische Systeme, astrophysikalische und sonstige wissenschaftliche Ausrüstungen. Besondere Bedeutung besitzt die Ausrüstung, die die normale

Lebenstätigkeit der Besatzung unter den Verhältnissen des zu erforschenden Planeten garantiert. Hierzu gehören ein Strahlenschutzsystem, ein thermisches Schutzsystem und ein System für den Meteoritenschutz, Systeme zur Sicherung der Ernährung und Atmung sowie schließlich Mittel für die Aufrechterhaltung des physischen und emotionalen Zustandes usw.

Gleichzeitig mit der auf den Planeten entsandten Expedition arbeitet ein Teil der Besatzung im Raumschiff, das den Planeten auf einer Umlaufbahn umfliegt, nach einem speziellen Forschungsprogramm.

Die Expedition beschränkt sich dabei nicht nur auf ein einzelnes Forschungsgebiet. Sie stellt Geräte in verschiedenen Gegenden des Planeten auf und führt planetologische und planetophysikalische, planetographische und meteorologische Untersuchungen durch. Der Erde wird ein umfangreicher Strom der unterschiedlichsten Information übermittelt.

Schließlich beendet die Expedition ihr Forschungsprogramm und kehrt zur Erde zurück, sobald ihre Ablösung eingetroffen ist.

Nach der Forschungsetappe beginnt die Erschließung des Planeten. Auf dem fernen Himmelskörper werden hochleistungsfähige Kraftwerke errichtet, physikalische Laboratorien aufgebaut und die lokalen Ressourcen erschlossen. Immer mehr „Dienstreisende“ treffen auf dem Planeten ein. Das mehrfach verwendbare dreigliedrige System des Expeditionskomplexes arbeitet störungsfrei. Unter den Ankommenden sind nicht nur Wissenschaftler, sondern auch Monteure, Bauleute, Vertreter der Dienstleistungswerke usw. Das Leben tritt allmählich in seine Rechte ein, und bald wird auch das erste Neugeborene hier das Licht der Welt erblicken, das nach den ungeschriebenen Gesetzen der Kosmonautik den Namen des Planeten erhält, der zu seiner Heimat geworden ist... Ungefähr so werden unserer Meinung nach die ersten Schritte der Erdbewohner bei der Eroberung der Planeten des Sonnensystems aussehen.

Zur gleichen Zeit aber werden Kollegen unserer mutigen Planetenforscher auf Asteroiden landen, die sich sehr rasch in natürliche Kosmosbasen verwandeln werden. Die geringe Größe, das Fehlen einer Atmosphäre, das unbedeutende Gravitationspotential und die zuweilen außerordentlich günstigen Umlaufbahnen, auf denen sich die Asteroiden bewe-

gen, machen sie zu einem hervorragenden Mittel für die Erforschung des Kosmos. Auf eine gewisse Art ersetzen sie den kompliziertesten Teil des interplanetaren Komplexes. Sie erfordern in ihrer Bewegung keinerlei zusätzlichen Energieaufwand, sondern stellen Stationen etwa in dem Sinne dar, wie wir beispielsweise die Forschungsstationen der Serie „Nordpol“ auf driftenden Eisschollen des nördlichen Eismeereres stationieren. Einen Unterschied gibt es freilich, der auf den ersten Blick paradox erscheint: Den Driftverlauf einer Eisscholle kennen wir nicht im voraus, dagegen ist die Bahn unseres Weltraumkörpers mit extremer Genauigkeit vorherbestimmt. In Stationen auf Asteroiden kann man sowohl in Richtung der äußeren Planeten (z. B. mit dem Asteroid Hidalgo), aber auch in Richtung der inneren Planeten und der Sonne (beispielsweise mit den Asteroiden Ikarus oder Hermes) fliegen. Am bequemsten lassen sich für diesen Zweck Asteroiden benutzen, die sich auf ihrer Bahn der Erde bis zu einer relativ geringen Entfernung nähern. Dazu gehören Eros (1975 wird sich dieser Asteroid der Erde bis auf eine Entfernung von 25 Mill. km nähern), Amur (15 Mill. km), Ikarus (6 Mill. km), Appollo (3 Mill. km), der Adonis (1,5 Mill. km) und Hermes (0,6 Mill. km).

Somit beginnt der Mensch nicht nur die Eroberung der Planeten und ihrer Begleiter, sondern auch die Eroberung der kleinen Planeten, d. h. der Asteroiden, denen eine Reihe von Wissenschaftlern einen ehrenvollen Platz in diesem großen Prozeß der Erweiterung der Biosphäre voraussagt.

Große Bedeutung bei der Eroberung des Mondes und der Planeten wird in Zukunft die Ableitung vieler Industrieabfälle in den Weltraum haben. Der bekannte amerikanische Wissenschaftler Freeman Dayson schrieb in seinem Artikel „Die kosmische Zukunft der Menschheit — eine neue Utopie“: „Für die Auswanderung der Industrie in den Kosmos braucht man nicht unbedingt einen grandiosen Regierungsplan. Dieser Prozeß kann wahrscheinlich spontan ablaufen, im Ergebnis des ökonomischen Druckes, einfach wegen der Unmöglichkeit, das Privileg zu bezahlen, seine Abfälle weiterhin auf der Erde loszuwerden. Ich sehe die Zeit voraus — vielleicht nach einigen Jahrhunderten, wo die gesamte Schwerindustrie im Kosmos verteilt sein wird und wo die Bergbaubetriebe möglicherweise auf den Mond übersiedeln, während die Erde zum Vergnügen ihrer Bewohner als freundliche, grüne Oase erhalten bleibt.“ Sicherlich

wird die Entwicklung nicht auf diese Weise erfolgen, denn es ist wahrscheinlicher, daß dieser Prozeß überwiegend sinnvoll und planmäßig vor sich gehen wird. Ganz klar ist eines: Die gereifte Menschheit wird sich „auf der Jagd nach Licht und Raum den gesamten erdnahen Raum erobern“, wie Ziolkowski einmal sagte.

# Kosmische Einflüsse auf das irdische Leben

Der bekannte sowjetische Wissenschaftler W. I. Wernadski, Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, schrieb: „Die Biosphäre kann im Grunde genommen als jener Bereich der Erdrinde aufgefaßt werden, der von Transformatoren eingenommen wird, die die aus dem Weltraum kommende Strahlung in wirksame irdische Energie, elektrische, chemische, mechanische, thermische Energie usw., umsetzen. Die kosmische Strahlung, die von den Himmelskörpern ausgeht, durchdringt sie und alles, was sich darin befindet. Wir erfassen und erkennen nur einen verschwindend geringen Teil dieser Strahlung... Ihr Verständnis ist eine Sache der Zukunft. Unbezweifelbar ist jedoch, daß die Strahlen der Sonne die Hauptzüge des Mechanismus der Biosphäre bedingen. Schon die Erforschung der Wirkungen der Sonnenstrahlen in den irdischen Prozessen genügt, um eine erste, jedoch exakte und tiefgreifende Vorstellung von der Biosphäre als einem irdischen und einem kosmischen Mechanismus zu erlangen. Das Antlitz der Erde wurde durch die Sonne von Grund auf verändert, und die Biosphäre wird von der Sonne durchdrungen. Die Biosphäre selbst ist in beträchtlichem Maße eine Erscheinungsform dieser Strahlung“.<sup>1</sup>

Bereits seit ältesten Zeiten verehrte der Mensch die Sonne. Sorgfältige Beobachtungen, über Jahrtausende überlieferte Erfahrungen sowie philosophische Überlegungen führten zur Erkenntnis, daß die Sonne der Quell des Lebens auf der Erde und Urgrund alles Seienden sein müsse. Offenbar erklären sich daraus auch die rätselhaften Aufzeichnungen

---

<sup>1</sup> W. I. Wernadski: Die Biosphäre als ein Gebiet der Umwandlung kosmischer Energie. Ausgewählte Werke, Bd. V, Moskau 1960

gen der alten Inder, die Lehren der Ionischen Naturphilosophen im alten Griechenland und andere Überlieferungen, die so erstaunlich mit den modernen Vorstellungen von der Sonne und von ihrem Einfluß auf das Leben der Organismen übereinstimmen. Bereits die Yogi des alten Indien sagten vor über 6000 Jahren, daß der Mensch ein Teil des Alls und untrennbar mit diesem verbunden sei, daß er die „Lebenskraft“ des Alls nutze und daß ohne sie keinerlei Leben auf der Erde existieren könnte. Die Sonne wandelte sich also bereits in weit zurückliegenden Zeiten im Bewußtsein der Menschen in eine kosmische Kraft, in den energetischen Urgrund der verschiedenen Erscheinungen des Lebens auf der Erde.

Die Entwicklung der Raumfahrttechnik und der Welt-raumforschung eröffnet in unseren Tagen neue, bislang unbekannte Möglichkeiten für das Studium der Sonnenphysik (Heliophysik) sowie der Beziehungen zwischen den Prozessen und Erscheinungen, die im Weltraum ablaufen, und unserem Planeten mit dem darauf befindlichen Leben. Eine sorgfältige und allseitige Erforschung unserer kosmischen Energiequelle mit Hilfe von Geräten, die in den Weltraum gebracht wurden, also sich außerhalb des Bereiches der abschirmenden Wirkung der Erdatmosphäre befanden, haben unsere Möglichkeiten und unsere Kenntnisse außerordentlich erweitert. Inzwischen haben wir begonnen, den Einfluß von Prozessen, die auf der Sonne ablaufen (Sonnenflecke, Sonneneruptionen, Korona-Radiostrahlung u. a.), auf verschiedene Erscheinungen (Nordlicht, Wetter, magnetische Stürme, Krankheiten u. a.) genauer zu verstehen. Gewiß hat die Wissenschaft von den Beziehungen zwischen der Sonne und der Erde, die Physik der solar-terrestrischen Beziehungen, erst ihre ersten Schritte unternommen, doch sie verspricht zu einer wichtigen und für den Menschen bedeutungsvollen Wissenschaft zu werden. Bekanntlich hat die Erde ihr eigenes Magnetfeld (das geomagnetische Feld), zu dessen Erforschung die Raketentechnik einen grundsätzlichen Beitrag geleistet hat. Bereits mit Hilfe der ersten künstlichen Erdsatelliten wurden die Strahlungsgürtel der Erde entdeckt, die Zonen stark konzentrierter Ladungsteilchen (Protonen, Elektronen) darstellen. Seitdem wurde die Magnetosphäre, jener Bereich des erdnahen Weltraums, in dem die Kräfte des geomagnetischen Feldes wirksam sind, einer äußerst sorgfältigen Erforschung unterzogen.

Einer der Verfasser dieses Buches ist der Meinung, daß die Entstehung und Existenz des Lebens auf der Erde mit dem Vorhandensein eines auf bestimmte Weise organisierten Magnetfeldes auf unserem Planeten verknüpft ist sowie mit elektrischen Erscheinungen, die dieses Magnetfeld begleiten. Natürlich ist dies heute nur eine Hypothese, doch wird die Entwicklung der Kosmonautik, wie uns scheint, bereits in nicht allzu ferner Zukunft dazu beitragen, diese Hypothese zu bestätigen oder zu widerlegen. Sie wird damit einen äußerst wichtigen Beitrag für das Verständnis dessen leisten, was das Leben eigentlich ist.

Die Erde befindet sich also in der unmittelbaren Einflußsphäre der Sonne. Ihre Energie ist der Hauptantrieb aller physikalisch-chemischen Prozesse, die an der Oberfläche unseres Planeten sowie in seinen verschiedenen Bereichen — beginnend an der äußersten Hochatmosphäre bis hin zu den tiefsten Schichten des Erdinneren — ablaufen. Die Schwankungen der Sonnenaktivität erregen das geomagnetische Feld, stören die Stabilität der Strahlungsgürtel, die die Erde umgeben, versetzen die Atmosphäre in Unruhe und werden auch auf die Hydrosphäre und Lithosphäre übertragen. Dies alles zeigt, daß uns nur eine schmale und sehr relative Grenze vom Weltraum trennt.

Die Sonne emittiert außer solaren Strahlungen, die sporadisch auftreten und relativ geringe Geschwindigkeiten haben, ständige Ströme von Partikeln, die als „Sonnenwind“ bezeichnet werden. Die Geschwindigkeit dieser Teilchenströme ist ungeheuer groß und beträgt 400 bis 500 km/s (also etwa 2 000 000 km/h). Periodische Änderungen der Sonnenaktivität rufen beträchtliche Schwankungen dieser Ströme hervor. Der Sonnenwind wird einmal schwächer, während er ein anderes Mal mit Orkanstärke dahintobt. Auf die Erde prasseln dann ganze Fluten geladener Partikeln nieder, die magnetische Stürme, Nordlicht, Störungen des Funkverkehrs über große Entfernungen sowie vieles andere auslösen. Gerade der Sonnenwind ist für sehr viele Prozesse und Erscheinungen verantwortlich, die im erdnahen Weltraum sowie auf der Erde selbst ablaufen. Er stellt ein ionisiertes Gas geringer Dichte dar, und er ist eigentlich nichts anderes als der äußere Teil der Sonnenkorona mit einer hohen kinetischen Temperatur.

Wie bereits gesagt, beeinflussen die solaren Prozesse alle Bereiche der Erdatmosphäre. So haben z. B. viele Wissen-

schaftler die Vermutung ausgesprochen, daß das periodische Auftreten von Sonnenflecken mit klimatischen Veränderungen verknüpft ist. Die Erforschung der solar-terrestrischen Beziehungen verspricht gerade in dieser Hinsicht wichtige Erkenntnisse über wetterbildende Prozesse. Und obwohl die Wissenschaft in dieser Richtung vorläufig nur ihre ersten Schritte unternimmt, ist deren Bedeutung außerordentlich groß, wenn man nur einmal daran denkt, daß wetterbedingte Naturkatastrophen Tausenden von Menschen das Leben kosten und einen Schaden hervorrufen, der in die Millionen geht. Würden diese Forschungen — selbstverständlich unter Berücksichtigung der Ergebnisse zahlreicher anderer Disziplinen, die sich mit den großräumigen Naturvorgängen beschäftigen — zu einer rechtzeitigen Katastrophenwarnung beitragen, könnte der Mensch den Naturgewalten erfolgreich widerstehen.

Sehr interessante Angaben wurden über den Einfluß der Sonnenaktivität auf dem Weltozean gewonnen. Insbesondere wurde festgestellt, daß mit den 11jährigen und den 100jährigen Zyklen der Sonnenaktivität das Ausmaß der Vereisung der arktischen Meere sowie Schwankungen des Wasserstandes im Ozean und der Temperatur der Gewässer verknüpft sind.

Außerordentlich interessant war der Gedanke, daß zwischen Sonnenaktivität und Erdbebenhäufigkeit eine Verbindung bestehen könnte. In den Jahren einer maximalen Sonnenaktivität werden auch die intensivsten Erdbeben beobachtet. Das gleiche läßt sich über die Tätigkeit der Vulkane sagen. Der zu tragischer Berühmtheit gelangte Ausbruch des Vulkans Krakatau, durch den eine ganze dichtbesiedelte Insel hinweggefegt wurde, geschah im Jahre 1883, also in einem Jahr maximaler Sonnenaktivität. Auch das bekannte Erdbeben in der Sowjetunion, durch das 1966 die Stadt Taschkent zerstört wurde, fällt mit einem Ansteigen der Sonnenaktivität zusammen. Man könnte noch viele solcher Beispiele anführen.

Wir haben bisher nur von der unbelebten Natur gesprochen. Wie aber wirkt sich die Tätigkeit der Sonne auf die Biosphäre aus?

Selbst aus den allgemeinsten Überlegungen geht bereits klar hervor, daß die lebende Materie unseres Planeten so eng mit der sie umgebenden unbelebten Natur verknüpft ist und mit dieser ein einheitliches Ganzes bildet, daß sie

dem alles durchdringenden, vielseitigen Einfluß der Sonne nicht entgehen kann. Experimentelle Daten aus den letzten Jahren sowie die Neubewertung verschiedener Tatsachen und Ereignisse aus der Vergangenheit bestätigen diesen Gedanken.

Der Begründer der Weltraumfahrt, Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski, hat sich für die Frage nach der Entstehung und Ausbreitung des Lebens im Weltall brennend interessiert. Dies erklärt sich in erster Linie daraus, daß Ziolkowski die Weltraumfahrt als ein Mittel für die Ausbreitung der Menschheit in den grenzenlosen Räumen des Kosmos auffaßte. In diesem Zusammenhang konnte er natürlich nicht an den kosmischen Einflüssen auf das Leben des Menschen vorübergehen, sondern er mußte zwangsläufig auch die Probleme der kosmischen Biologie berühren. Leider sind die Untersuchungen Ziolkowskis zu medizinisch-biologischen Problemen der Weltraumfahrt bis heute noch wenig untersucht worden, obwohl sie in den Arbeiten des Wissenschaftlers einen beachtlichen Platz einnahmen. Man kann sich davon überzeugen, wenn man seine Veröffentlichungen „Der freie Raum“, „Ziele der Astronautik“, „Die Erforschung des Weltraums mittels Reaktionsapparaten“, „Außerhalb der Erde“ u. a. liest.

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski im Alter von 23 Jahren, also im Jahre 1880, ein Manuskript über „Die graphische Darstellung von Empfindungen“ und zwei Jahre später den Artikel „Die Mechanik des tierischen Organismus“ verfaßte, worin die Frage nach dem Einfluß einer erhöhten Schwerkraft auf den menschlichen Organismus betrachtet wird. Außerdem hat der Wissenschaftler den Problemen der Lebenserhaltung des Menschen im Weltraum große Aufmerksamkeit gewidmet. Das Leben ist nach Ziolkowski ein notwendiges Produkt der Entwicklung kosmischer Körper.

Originelle und höchst interessante Arbeiten über die Verbindungen des Lebens auf der Erde mit dem Kosmos führte der bekannte sowjetische Wissenschaftler Alexander Leonidowitsch Tschishewski durch. 1914 lernte er Ziolkowski kennen. Diese Bekanntschaft bestimmte die wissenschaftlichen Interessen Tschishewskis für sein ganzes Leben. Er schrieb: „Die Zeit ist reif, um die Wirkung einiger hochintensiver Faktoren der Umgebung auf den Organismus in sorgfältigster Weise zu erforschen... Dies betrifft in erster

Linie die Spezifik aktiver Strahlungen des Zentralgestirns unseres Planetensystems, der Sonne.“<sup>2</sup> Bei der Untersuchung des örtlich und zeitlich gehäuften, wellenartigen Auftretens verschiedener Infektionskrankheiten kam Tschishewski insbesondere zu dem Schluß, daß die Sonne den Verlauf von Epidemien beeinflusse. 1930 erschien seine Monographie „Epidemische Katastrophen und die periodische Tätigkeit der Sonne“.

Um eine Antwort auf diese Frage zu finden, wandte sich A. L. Tschishewski zunächst der umfangreichen Literatur über die Geschichte der Medizin zu. Aus den Büchern erfuhr er, daß die Menschen bereits seit langem eine merkwürdige Beziehung zwischen irdischen Naturkatastrophen und einer Reihe „himmlischer“ Erscheinungen bemerkt hatten. Schon die alten Griechen hatten bestimmte Vorgänge auf eine „gegenseitige Sympathie“, eine Wechselbeziehung der Dinge, Prozesse und Erscheinungen im All, zurückgeführt.

So wird aus dem alten Griechenland berichtet, daß zwischen 436 und 427 v. u. Z. eine Epidemie ausbrach, die von Erdbeben, Fluten, Dürre und einer verstärkten Tätigkeit der Vulkane begleitet war. Solche historischen Beispiele gibt es sehr viele. Wir finden sie auch in der russischen Geschichte. In der Regel wurde festgestellt, daß Katastrophen und Epidemien verschiedene Himmelserscheinungen vorausgingen: Sonnenfinsternisse, Sonnenflecken und Lichterscheinungen, die man als Nordlicht bezeichnen könnte, nur daß sie in niedrigen Breiten beobachtet wurden.

Nach dem Studium dieser Literatur stellte Tschishewski seine Sonnenhypothese auf, derzufolge am wiederholten Auftreten epidemischer Katastrophen der Hauptregulator des Lebens auf unserem Planeten, die Sonne, schuld sei. Um diese Hypothese zu überprüfen, mußte die Statistik früherer Epidemien erforscht und ihre Chronologie mit Angaben über die Sonnenaktivität verglichen werden. So wurden insbesondere Angaben über Pestepidemien von 430 bis 1899 systematisiert und mit der Sonnentätigkeit verglichen. Das Ergebnis war eindeutig: Die Maxima der Sonnenaktivität fielen mit dem Aufflammen von Epidemien zusammen.

---

<sup>2</sup> A. L. Tschishewski: Über eine Form spezifisch bioaktiver Strahlung oder über die Sonnenstrahlung. In: Die Erde im All. (Sammelband), Moskau 1964

Ebenso deutlich waren Angaben über die Beziehungen zwischen der Dynamik anderer epidemischer Erkrankungen und der Sonnenaktivität. Beispielsweise vermerkten chinesische Geschichtsschreiber auf dem Höhepunkt der Choleraepidemie im 14. Jahrhundert sehr große Flecken auf der Sonne, die mit unbewaffnetem Auge sichtbar waren. Ähnliche Angaben wurden im 15., 18. und 19. Jahrhundert fixiert. Stets fielen Maxima der Sonnenaktivität entweder mit dem Beginn einer Epidemie oder mit ihrem Höhepunkt zusammen, während Epidemien in Jahren minimaler Sonnenaktivität entweder bald aufhörten oder im Abklingen begriffen waren.

Ebenso interessante Angaben wurden über Grippeepidemien und fleckenbildende Prozesse auf der Sonne gesammelt. Es zeigte sich, daß Grippeepidemien im allgemeinen tatsächlich ungefähr alle 11 Jahre auftreten und daß einer der charakteristischsten Zyklen der Sonnentätigkeit ebenfalls 11 Jahre beträgt. Offensichtlich zeigen grippale Epidemien auch die Tendenz, zwei bis drei Jahre vor Eintritt des Maximums oder zwei bis drei Jahre nach dem Maximum der Sonnenaktivität zu beginnen.

Doch schon seit Jahren leistet die Weltraumforschung einen außerordentlich bedeutsamen Beitrag zum Verständnis und zur Steuerung von Prozessen, die mit dem Leben und der Tätigkeit des Menschen untrennbar verbunden sind. Bemannte Flüge in den Weltraum haben das Problem der Erforschung kosmischer Einflüsse auf den lebenden Organismus noch stärker hervortreten lassen. Derartige Untersuchungen haben unser Verständnis für das Problem der kosmischen Einwirkungen auf das Leben vertieft. Sie erwiesen sich außerdem als wegweisend im Kampf gegen Krankheiten und als bedeutsam für die Möglichkeit einer Verlängerung des Lebens.

Jeder weiß, welche ungeheure Rolle das Blut im Körper des Menschen spielt. Die Blutanalyse ist das unvermeidliche Attribut aller mehr oder weniger detaillierten Untersuchungen des Gesundheitszustandes. Die Ärzte sagen, daß das Blut über das Alter und die Vergangenheit eines Menschen sowie über seine Krankheiten mehr auszusagen vermag als er selbst. Durch sorgfältige und originelle Forschungsarbeiten über das Blut ist der japanische Professor Maki Takata berühmt geworden. Er stellte fest, daß das Blut außergewöhnlich empfindlich auf die Sonne reagiert

und nicht nur Eruptionen, die Entstehung von Sonnenflecken, überhaupt alle größeren Strahlungsausbrüche „fühlt“, sondern auch jedes Verschwinden und Wiederauftauchen unseres Zentralgestirns am Horizont. Die exakten Experimente des japanischen Wissenschaftlers erlaubten es, eine Hypothese aufzustellen, nach der dieser Einfluß mit einer vorläufig noch nicht identifizierten geheimnisvollen Strahlung ähnlich der Neutrinostrahlung der Sonne verknüpft sei.

Der sowjetische Arzt N. A. Schulz, der systematische Blutanalysen vornahm, stellte fest, daß die Leukozytenzahl im Blut bei verschiedenen Menschen während des Maximums der Sonnenaktivität im Jahre 1957 abnahm. Auf dem gleichen Wege wurde nachgewiesen, daß die Zunahme der Anzahl von Chromosphärenereptionen, das Auftreten stark bewegter Protuberanzen, zu einer charakteristischen Veränderung in Blut führt, die entfernt an jene Veränderungen erinnert, die nach radioaktiver Bestrahlung beobachtet werden.

Somit wurde bewiesen, daß die Sonnentätigkeit kontinuierlichen Einfluß auf Prozesse nimmt, die in Blut und in den blutbildenden Organen ablaufen. Gemeinsam mit den Ärzten sind nun auch die Geophysiker in den Dienst des Gesundheitsschutzes getreten.

Die veränderliche magnetische Situation, insbesondere die als Magnetstürme bezeichneten Strahlungsausbrüche beeinflussen den menschlichen Organismus. Tritt ein Magnetsturm auf, sollten z. B. alle Bluthochdruckpatienten sowie alle Patienten, die an Neurosen leiden, sofort auf ein sogenanntes Schonregime umgestellt werden; sie sind rechtzeitig mit Medikamenten zu versorgen, und Sonnenbäder müssen ihnen untersagt werden. Das alles ist notwendig, damit Gefäßspasmen verhütet werden. Für spezialisierte Herzkreislauf-Sanatorien der Sowjetunion werden zur Prophylaxe kritischer Bluthochdruckzustände, zur Verhütung von Infarkten und anderen Komplikationen bereits Vorhersagen über die Sonnenaktivität gegeben. In nicht allzu ferner Zukunft wird dieser „Sonnenwetterdienst“ mit Hilfe von Raumflugkörpern, die sich an verschiedenen Punkten des Sonnensystems befinden, automatisch alle notwendigen Angaben an Heilstätten liefern bzw. über Funk und Fernsehen bekanntgeben, ebenso wie heute die Wettervorhersage mitgeteilt wird.

Es ist bekannt, daß Herz-Kreislauf-Erkrankungen heute die häufigsten Krankheiten sind. Die Statistik besagt, daß Anfälle bei organischen oder nervösen Herzleiden, Infarkte, Unpäßlichkeiten und akute Stadien chronischer Erkrankungen unmittelbar mit fleckenbildenden Prozessen auf der Sonne und insbesondere mit dem Durchgang dieser Flecken durch den zentralen Sonnenmeridian verknüpft sind. (Hierbei gelangt die Erde unmittelbar in den Bereich des Teilchenstromes.) Daher läßt sich die Bedeutung eines wirksamen „Sonnendienstes“ für den Menschen wohl kaum überschätzen. Zu einem derartigen System werden verschiedene Raumflugkörper gehören, die sich auf erdnahen Umlaufbahnen befinden. Ihre Aufgabe wird darin bestehen, die von der Sonne ausgehenden Ströme elektromagnetischer Strahlung in unterschiedlichen Spektralbereichen zu registrieren, die Schwankungen des geomagnetischen Feldes als Ergebnis seiner Wechselwirkung mit dem Sonnenplasma zu ermitteln usw. Spezielle Stationen des Sonnendienstes werden auf dem Mond installiert sein. Sie gewährleisten die Vorwarnung, wenn sich Ströme ionisierter Gase in Richtung der Erde bewegen. Für den gleichen Zweck werden an verschiedenen Punkten des sonnennahen Raumes kosmische Apparate in Betrieb sein, durch deren Angaben ein Bild des Sonnenwetters vermittelt werden kann. Einige dieser Raumflugkörper werden sich der Sonne nähern, um Vorwarnungen über Strahlungsausbrüche zu geben. Das ist möglich, weil sich diese Plasmaströme mit einer Geschwindigkeit von etwa 500 km/s ausbreiten, Funkwellen dagegen bekanntlich mit 300 000 km/s. Einige dieser Sonden werden die Sonnenkorona mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen untersuchen. Andere werden die Bewegung der Sonnenflecken auf der Sonnenscheibe verfolgen, und zwar auch auf den Teilen der Sonne, die zu diesem Zeitpunkt von der Erde aus nicht zu beobachten sind. Der „Sonnenwetterdienst“ wird also ein sehr entwickeltes System bilden. Seine Informationen werden in ein Rechenzentrum auf der Erde gelangen, wo die Dechiffrierung, Verarbeitung und Aufbereitung der Daten erfolgen. Danach werden sie an die verschiedenen Benutzer (Geophysiker, Meteorologen, Funktechniker, Nachrichtenspezialisten und Mediziner) weitergeleitet.

Der Organismus des Menschen und der höheren Tiere ist sehr kompliziert. Die Haut des Menschen z. B. führt die

unterschiedlichsten Funktionen aus: Sie empfängt Signale aus der Umgebung, reguliert die Körpertemperatur, schützt den Organismus vor Verletzungen und Mikroorganismen. Über die Haut erfolgt die Abscheidung von Stoffwechselprodukten, in der Haut werden Hormone gebildet, die Haut schützt den Organismus vor dem Austrocknen, und schließlich ist sie ein Organ des Austauschs elektrostatischer Potentiale. Änderungen in der Umgebung wirken über die Haut auf unseren Organismus ein. Mehr noch: Jedes innere Organ hat in der Haut gewissermaßen seine Repräsentanz. Diesen Umstand hat sich die volkstümliche Heilpraxis seit alters zunutze gemacht: Erkrankungen mancher innerer Organe wurden durch Reizung bestimmter Hautabschnitte kuriert: durch Einstechen von Nadeln, durch Einreibungen und dergleichen. Zur Untersuchung der verschiedenen Formen der Hautempfindlichkeit haben die Wissenschaftler die elektrostatischen Potentiale an verschiedenen Abschnitten der Haut registriert. Dabei zeigte sich, daß die entsprechenden Werte im Normalzustand eine wohldefinierte, recht konstante Größe aufweisen. Bei verschiedenen Erkrankungen verändern sie sich. Und hier kam eine erstaunliche Sache zutage. Die elektrostatischen Potentiale der Haut werden durch die Sonnenaktivität beeinflußt. Direkte Versuche an Tieren haben dies bestätigt. Es wurde festgestellt, daß z. B. bei Hunden der Säuregehalt des Magensaftes vom Störungsgrad des irdischen Magnetfeldes abhängig ist. Diese Tatsache zwingt zu verblüffenden Folgerungen. Erstens wirken elektromagnetische Einflüsse in der Umgebung aktiv auf einzelne Organe sowie den Organismus insgesamt ein. Der Mensch ist somit über das besondere und noch außerordentlich gering erforschte elektrische Steuerungssystem der Haut mit seiner Umgebung verbunden. Über sie empfindet er ständig das „Atmen“ des Kosmos. Zweitens müßte sich die ärztliche Diagnostik auf die Variationen der Sonnenaktivität und die Veränderungen der elektromagnetischen Einflüsse auf der Erde einstellen.

Sehr interessante Versuche zur Erforschung der kosmischen Einflüsse auf chemische und biochemische Reaktionen hat der italienische Wissenschaftler Professor Giorgio Piccardi vorgenommen. Er sagte darüber: „Ich teile vollauf die Überzeugung der Heliobiologen dahingehend, daß die biologischen Kenndaten der Sonnenaktivität nur eine partielle Erscheinungsform der für den ganzen Planeten allge-

meingültigen physikalischen Abhängigkeit von der Sonne darstellen. Natürlich wirken Sonnenphänomene nicht nur auf irgendein einzelnes Kolloid, nicht auf eine einzelne Erkrankung und nicht nur auf einen einzelnen Menschen ... Sie beeinflussen alles, was auf dem Planeten vor sich geht ...“

Leben und Kosmos sind untrennbar miteinander verknüpft. Das Leben ist ein Kind des Weltalls. Und es ist wohl nicht damit zu rechnen, daß unser Planet die einzige Insel des Lebens im gesamten All sein sollte.

Welche Formen außerirdisches Leben hat und nach welchen Gesetzen es im All verteilt ist, ob es einen Anfang besitzt und irgendwann ein Ende haben wird, wie die kosmische Zukunft aussieht, auf alle diese Fragen haben wir vorläufig noch keine Antworten. Doch wird uns die Entwicklung der Weltraumfahrt helfen, diese Antworten zu finden. In seinen interessanten Arbeiten „Der Monismus des Alls“, „Die Ursache des Kosmos“, „Die Zukunft von Erde und Menschheit“, „Der Willen des Alls. Unbekannte vernunftbegabte Kräfte“, „Wissenschaftliche Ethik“ usw. unterzieht Ziolokwski das Leben in den unbegrenzten Weiten des Weltalls einer tiefgründigen Analyse, und seine „kosmische Philosophie“ erscheint sehr überzeugend und erstaunlich aktuell: „Das Schicksal der Wesen hängt vom Schicksal des Alls ab. Deshalb muß jedes vernunftbegabte Wesen die Geschichte des Alls kennenlernen. Die Betrachtung der Dinge von einer solchen höheren Warte aus ist notwendig. Ein eng begrenztes Gesichtsfeld kann zu Irrtümern führen. Unser Leben ist in hohem Maße als das Leben des Kosmos und nicht so sehr als das Leben der Erde aufzufassen, da der Kosmos nach Volumen, Masse und Zeit unendlich bedeutsamer ist als die Erde... Der Erde ist zwar ein schweres Los zuteil geworden, das nur dem Billionsten Teil aller Planeten zuteil wird, doch ist diese Rolle sehr ehrenvoll: Die Erde soll höhere Wesen in noch unbewohnten Sonnensystemen aussäen.“

# Unbemannte Raumflugkörper

Im erdnahen Weltraum kann ein künstlicher Erdsatellit zur Lösung der verschiedensten wissenschaftlichen und volkswirtschaftlichen Aufgaben dienen. Die Art der jeweiligen Spezialausrüstung wird durch die Aufgabenstellung für den Raumflugkörper, durch seine Konstruktion und den Stand der verfügbaren Raumfahrttechnologie bestimmt. So werden die Satelliten, die zur Erforschung der physikalischen Bedingungen im erdnahen Weltraum dienen, mit Magnetometern, mit Meßgeräten für Meteoriteneinschlag und Röntgenstrahlen sowie mit anderen Apparaturen ausgerüstet. Diese Anlagen können ihrer Konstruktion nach — und auch was die anderen Merkmale betrifft — sehr unterschiedlich sein. Das hängt in jedem Falle von der Art der zu messenden Parameter und der angestrebten Genauigkeit ab. Die meisten von ihnen sind klein, besitzen eine geringe Masse und verbrauchen nur wenig Energie. Die Untersuchung bestimmter kosmischer Erscheinungen erfordert jedoch sehr komplizierte und in manchen Fällen auch sehr große Anlagen. So wurde für die Messung von kosmischen Strahlungsteilchen mit hoher Energie bei dem sowjetischen Forschungssatelliten „Proton“ eine spezielle Meßapparatur mit einer Masse von 12 t verwendet.

Für die Beobachtung von Planeten, Sternen und auch der Sonne vom Weltraum aus müssen sehr komplizierte optische Geräte und Radioteleskope verwendet werden. Bei einigen Satelliten sind spezielle Apparaturen zum Empfang von elektromagnetischen Wellen im Bereich von Ultraviolett bis Infrarot vorhanden. Manchmal werden für die Ortung an Bord auch Lichtsignalgeber in Form von Blitzlampen mit hoher Kapazität, Funkpeilsender („Majak“), auch Funkfeuer genannt, oder Laserstrahl-Winkel-

reflektoren verwendet. Zu erwähnen sind noch die Satelliten zur Übertragung von Funksignalen durch Reflexion. Sie besitzen große, stark reflektierende Oberflächen. Die Form und Art der technologischen Fertigung solcher Oberflächen können sehr verschieden sein. Typisch waren die Satelliten der amerikanischen „Echo“-Serie, die eine aufblasbare Hülle mit einem Durchmesser von etwa 30 m aus einer dünnen Mylarhaut mit aufgedampfter Aluminiumschicht hatten.

Technische Erprobungssatelliten werden mit speziellen Anlagen ausgestattet, die der Überprüfung der Zweckmäßigkeit von technischen Ausrüstungen und Konstruktionen der Raumflugkörper unter den natürlichen Bedingungen des Weltraums dienen. Oft werden dabei Muster von vollständig fertigen Apparaturen als Versuchsobjekte verwendet. Manchmal werden sie in verschiedenen Ausführungen hergestellt, um Vergleichsmöglichkeiten zu haben. Die weitere technische Ausrüstung des Satelliten ermöglicht die ständige Fluglagekontrolle und Stabilisierung des Satelliten. Sie dient außerdem zur Versorgung der Spezialausrüstung und anderer energieverbrauchender Geräte mit Elektroenergie sowie zur Temperaturregelung. Verschiedene Satelliten, die volkswirtschaftliche Aufgaben zu lösen haben, benötigen Richtfunkanlagen für den Kontakt mit speziellen Bodenstationen auf der Erde.

Die Fluglageregelung von Satelliten ist zur Lösung verschiedener Aufgaben im Weltraum notwendig, für die Annäherung an andere Raumflugkörper, für die Temperaturregelung, für das Ausrichten der Solarzellenausleger auf die Sonne, zur Durchführung von Bahnkorrekturen und für andere Aufgaben. Das mit aktiven Elementen arbeitende Fluglageregelungssystem gewährleistet und kontrolliert die räumliche Ausrichtung des Satelliten während seines Fluges im Weltraum. Die Kontrolle der Fluglage des Satelliten wird durch Orientierungsmeßgeber (Sensoren) erreicht. Man kann aktive und passive Fluglageregelungssysteme unterscheiden. Die aktiven Systeme verbrauchen während des Fluges eine bestimmte Energiemenge, während das bei der zweiten Gruppe nicht der Fall ist. Aktive Fluglageregelungssysteme sind komplizierte, automatisch gesteuerte Komplexe. Zu ihnen gehören Meßgeber für die Achsenlage des Satelliten in bezug auf ein vorgegebenes Bezugssystem, Geräte zur Umwandlung von Signalen, zur Errech-

nung und Übermittlung von Steuerungskommandos an die ausführenden Fluglageregelungsorgane und diese selbst. Die Tätigkeit der Meßgeber (Sensoren) für die Achsenlage des Satelliten beruht meist auf dem Richtempfang von elektromagnetischer Strahlung bestimmter Bezugspunkten im Weltraum, wie Sonne, Erde (Erdhorizont), Mond, Planeten und Sternen in verschiedenen Frequenzbereichen. Daher arbeiten diese Meßgeber auf optische Weise mit Fotoelementen, auf funktechnischem Wege oder auf andere Art.

Die Tätigkeit der meisten Meßgeber beruht auf der Erzeugung eines elektrischen Signals bei genauer Ausrichtung auf einen Bezugspunkt. Möglich sind bei diesen Meßgebern auch andere Bauprinzipien, die auf der Ausnutzung verschiedener Gesetzmäßigkeiten und physikalischer Eigenschaften des erdnahen Weltraums beruhen. Die Signale der Orientierungsmeßgeber in Form von elektrischen Impulsen werden von einer elektronischen Anlage aufgenommen, die sie entsprechend verarbeitet und danach in Kommandos für die Betätigung der aktiven Elemente des Fluglageregelungssystems umwandelt. Als ausführende Organe werden in der Mehrzahl der Fälle Gasdüsen bzw. kleinere Strahltriebwerke oder Drallradvorrichtungen verwendet. Die ersteren sind so angeordnet, daß sich der Satellit jeweils um seinen Schwerpunkt in die erforderliche Richtung dreht. Die aktiven Elemente des zweiten Typs erreichen die Lageänderung durch Betätigung der Drallräder mit Hilfe eines Elektromotors oder durch deren Bremsung. Dabei entsteht am Satelliten ein gegenläufiges Drehmoment, das die Lageänderung des Satelliten bewirkt. Die Rotationsachsen der Drallräder sind so angeordnet, daß die erforderliche Gesamtdrehung des Objektes erreicht wird. In einer Reihe von Fällen ist es günstig, kein spezielles Fluglageregelungssystem zu installieren, sondern diejenigen der Trägerrakete zu verwenden.

Die aktiven Fluglageregelungssysteme sind vielseitig verwendbar. Es sind sehr exakt arbeitende Anlagen, die unter den verschiedensten Weltraumbedingungen funktionsfähig sind. Sie haben jedoch meist ein verhältnismäßig hohes Gewicht, sind sehr teuer und bisher nicht sehr zuverlässig.

Die passiven Fluglageregelungssysteme sind frei von diesen Nachteilen, weshalb ihnen in einer Reihe von Fäl-

len von den Konstrukteuren der Vorzug gegeben wird, obwohl sie eine geringere Genauigkeit besitzen und nur in bestimmten Gebieten des erdnahen Weltraums überhaupt funktionsfähig sind. Am verbreitetsten sind Verfahren, bei denen die Eigenschaft rotierender Körper ausgenutzt wird, ihre Rotationsachse in unveränderter Richtung zu halten. Dieses Prinzip der Drallstabilisierung ist gerade bei Raumflugkörpern sehr günstig, weil bei ihnen praktisch kein äußerer Widerstand gegenüber der Rotation vorhanden ist. Um den inneren Widerstand zu verringern, werden besondere technische Maßnahmen ergriffen. Zu ihnen gehört die Konstruktion des Satelliten allein aus festem Material ohne Verwendung von Flüssigkeiten in seinem Inneren. Die richtige Lage der Rotationsachse in der Umlaufbahn wird mit Hilfe des Lageregelungssystems der Trägerrakete erreicht. Der Drall wird vor der Trennung des Satelliten an Bord der Rakete erzeugt. Als Drallerzeuger bzw. -überträger können mechanische Vorrichtungen wie Federn, Turbinen usw. dienen. Einfachheit, Rentabilität und Zuverlässigkeit der Drallstabilisierungssysteme waren für ihre breite Anwendung bei den Satelliten bestimmend, die eine einachsige Stabilisierung zulassen. Ein solches Stabilisierungsprinzip verwendet man bei meteorologischen und Nachrichtensatelliten.

Für die im erdnahen Weltraum eingesetzten Satelliten haben Gravitationsgradientensysteme für die Lagestabilisierung eine große Zukunft. Ihre Funktion beruht auf dem Bestreben von länglichen Körpern, die sich auf einer Umlaufbahn befinden, eine solche Lage einzunehmen, daß ihre Längsachse zur Erde gerichtet ist. Die zweite, kürzere Achse, die senkrecht zur ersten steht, strebt danach, eine senkrechte Lage zur Bahnebene einzunehmen. So werden sich Kreiszyylinder oder hantelförmige Körper auf der Umlaufbahn so einzustellen suchen, daß die Rotationsachse des Zylinders oder der Hantel zur Erde gerichtet ist. In bezug auf diese Achse können sie frei rotieren. Aber wenn an diesen Körpern ein Querbalken von verhältnismäßig geringer Masse befestigt ist, wird die Rotation um die große Achse gestoppt, und der Balken selbst stellt sich senkrecht zur Bahnebene. So kann man, wenn man einem Satelliten eine längliche Form verleiht, eine Lageregelung erreichen, bei der immer eine Seite der Erde zugewandt ist. Für Nachrichten-, Navigations- und andere Satelliten

kann dieses Prinzip mit Erfolg verwendet werden. Wenn eine Stabilisierung des Satelliten bezüglich zweier Achsen notwendig wird, wie bei einer laufenden Beobachtung der Erdoberfläche mit Fernsehkameras, dann wählt man eine Satellitenform, die vornehmlich auf zwei stärker betonte Achsen ausgelegt ist. Bei der praktischen Anwendung von Gravitationssystemen treten allerdings gewisse Schwierigkeiten auf. Die wesentlichste besteht darin, daß die Stabilisierungsmomente des Gravitationsgradienten sehr klein sind. So beträgt auf einer kreisförmigen Flugbahn in einer Höhe von 200 km das Stabilisierungsmoment für einen Satelliten, der aus zwei Kugeln mit einer Masse von je 100 kg besteht, die an einer Stange von 10 m ( $9,8 \cdot 10^{-3}$  nm) Länge befestigt sind, im ganzen lediglich 1 g/m. Mit zunehmender Höhe der Flugbahn bis zu 36 000 km verringert sich dieses Moment auf 0,005 g/m. Weil äußere Störfaktoren im Weltraum fehlen, ist ein solches Moment ausreichend. Es dürfen aber keine großen inneren Störkräfte auftreten, die durch alle möglichen mechanischen Bewegungen im Raumflugkörper oder durch Wechselwirkungen des irdischen Magnetfeldes mit dem durch elektrischen Strom an Bord des Satelliten erzeugten Magnetfeld oder durch die Tätigkeit von Elektromotoren usw. bedingt sein können. Außerdem muß das Gravitationsstabilisierungssystem des Satelliten vor der Aktivierung der Spezialapparaturen mit der erforderlichen Seite zur Erde hin orientiert und danach gut „beruhigt“ sein, d. h., die Winkelgeschwindigkeit der Rotation muß gering sein. Die erste Forderung erklärt sich daraus, daß der Satellit bei der Ausnutzung des Gravitationseffektes eine stabile Lage in Richtung auf seine beiden Längsenden einnimmt, die zweite aus der Geringfügigkeit des Gravitationsgradientenmomentes und seiner Änderungen. Das Gravitationsstabilisierungssystem ist nicht in der Lage, einem größeren kinetischen Moment, das durch eine schnelle Rotation des Satelliten entsteht, hinreichend entgegenzuwirken. Die Ausrichtung des Satelliten mit der notwendigen Seite auf die Erde wird durch die schon beschriebenen Lageregelungsverfahren vorgenommen. Zur Beseitigung von Lageschwingungen des Satelliten, die durch die Änderungsmomente des Gravitationsfeldes hervorgerufen werden, wird ein spezielles Dämpfungssystem installiert. Es kann nach dem Prinzip der Flüssigkeitsdämpfung oder der Aufnahme von Biegeenergie an elastischen Stäben

usw. arbeiten. Während das System der Gravitationsstabilisierung — für sich genommen — sehr einfach ist, wird in der Praxis noch eine Vielzahl von Hilfseinrichtungen notwendig. Ein solches System ist komplizierter als die Drallstabilisierung, dafür arbeitet es aber wesentlich ökonomischer als die aktiven Systeme. Das Gravitationsstabilisierungssystem verwendet man hauptsächlich bei unbemannten Satelliten, bei denen keine großen Störmomente auftreten. Bekannt sind auch andere Bauprinzipien von passiven Fluglageregelungssystemen bei Raumflugkörpern. So kann das Magnetfeld der Erde, der Lichtdruck der Sonne, die aerodynamische Wirkung der Hochatmosphäre u. a. ausgenutzt werden.

Die Apparaturen eines Satelliten werden mit Elektroenergie gespeist. Die Bordenergieanlage besteht aus einer Energiequelle sowie aus Umwandlungs-, Speicher- und Verteileranlagen. Als Energiequellen dienen verschiedene Arten von Akkumulatoren, Sonnenbatterien und Isotopengeneratoren. Grundsätzlich ist auch die Verwendung solcher Energiequellen wie Sonnenwärmegeneratoren, thermischen Leistungskonvertern oder Kernreaktoren möglich. Je nach dem Stand der Entwicklung dieses oder jenes Verfahrens gibt es für jedes von ihnen einen Bereich der optimalen Ausnutzung in Gegenwart und Zukunft. So kann man mit chemischen Akkumulatorenbatterien Energie von hoher Kapazität erzeugen. Sie besitzen jedoch eine beträchtliche Masse und bieten nur geringe Reserven. Aus diesem Grund verwendet man sie nur bei Raumflugkörpern mit kurzer Lebensdauer, die einen großen Energiebedarf haben. Die Sonnenbatterien gestatten dagegen verhältnismäßig lange Betriebszeiten, haben jedoch meist eine geringere elektrische Leistung. Sie werden bei Raumflugkörpern mit großer Lebensdauer und geringem bis mittlerem Energieverbrauch verwendet. Die Sonnenbatterien haben als Empfangselemente Halbleiterfotozelle (Solarzellen), mit deren Hilfe die Sonnenstrahlung direkt in Elektroenergie umgewandelt wird. Die Solarzellen werden entweder unmittelbar am Gehäuse des Satelliten oder auf Auslegern installiert. Im ersten Falle wird Kompaktheit, Einfachheit und Zuverlässigkeit gewährleistet. Bei nicht oder nur teilweise lagestabilisierten Satelliten ist es unmöglich, alle Solarzellen gleichzeitig auszunutzen, weil ein Teil von ihnen durch das Satellitengehäuse vor den Sonnenstrahlen

abgeschirmt ist. Außerdem ist ein großer Teil der von den Sonnenstrahlen erfaßten Solarzellen nicht genau auf die Sonne ausgerichtet. Der größte Effekt wird dann erzielt, wenn die Empfängerfläche des Fotoelementes genau senkrecht auf die Sonne ausgerichtet ist. Die Anwendung von drehbaren Solarzellenflächen ermöglicht die vollständige Ausnutzung aller Elemente einer Sonnenbatterie. Dabei treten allerdings zusätzliche Schwierigkeiten auf, die mit dem Entfalten der Solarzellenflächen und deren Ausrichtung auf die Sonne verbunden sind. Das für die Ausrichtung verwendete System arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie das Fluglageregelungssystem für Satelliten.

Große Zukunft hat die Anwendung von Radioisotopen zur Gewinnung von Elektroenergie für Raumflugkörper. Sie haben ein verhältnismäßig geringes Gewicht, liefern eine Energiemenge von einigen Kilowatt und haben eine Lebensdauer von mehreren Jahren. Radioisotope können bei Satelliten Verwendung finden, bei denen eine große elektrische Leistung gefordert wird. Noch größere Möglichkeiten bieten Kernreaktor-Energieanlagen. Ihre Masse kann allerdings einige Tonnen betragen. Die von ihnen erzeugte Elektroenergie wird in der Zukunft Tausende kW erreichen. Sie haben vor allem für die Schaffung von hoch-effektiven Satelliten und Raumstationen große Bedeutung. Man könnte sich vorstellen, daß auf diese Weise im Welt-raum eine Nachrichtenstation entsteht, die die Leistung der Fernsehstation in Ostankino besitzt.

Die Temperaturverhältnisse im Innern eines Satelliten werden mit Hilfe eines Temperaturregelungssystems gesteuert. Man nutzt die Wärmeeinstrahlung von Sonne und Erde sowie die Wärmeabstrahlung in den Weltraum von der Schattenseite des Satelliten aus und schafft durch das Regelungssystem die für die Arbeit der Apparaturen notwendigen Temperaturbedingungen. Man unterscheidet hier aktive und passive Temperaturregelungssysteme. Die Tätigkeit eines aktiven Systems beruht auf dem primären Wärmeentzug durch ein Kühlmittel und der anschließenden Wärmeabgabe in den Weltraum. Als Kühlmittel kann Luft, Wasser usw. dienen. Am weitesten verbreitet als Kühlmittel ist Luft. Bei einem Temperaturanstieg im Innern des Satelliten schaltet sich ein Ventilator ein, der Luft über die erwärmten Geräte oder Anlagen bläst. Danach wird die erwärmte Luft durch die Abstrahlflächen

geführt, wo sie die Wärme abgibt. Bei geringer Wärmeentwicklung gewährleistet ein solches System einen hinreichenden Kühleffekt. Bei größerem Energieverbrauch und bei entsprechend höherer Wärmeentwicklung ist die Verwendung von wirksameren Kühlmitteln wie Wasser, flüssigen Alkalimetallen u.a. angezeigt. Bei sehr geringer Wärmeentwicklung können einfache, zuverlässige und billige passive Temperaturregelungssysteme verwendet werden. Ihre Funktion nutzt die Reflexionsfähigkeit der Oberfläche des Satelliten aus. Durch die Beschaffenheit wird eine Ab- oder Zunahme der Wärmemenge erreicht, die von der Sonne aufgenommen oder in den Weltraum abgegeben wird.

Ein passives Temperaturregelungssystem kann in Form einer Jalousie aufgebaut sein. Die eine Seite dieser Jalousie ist mit dunkler Farbe überzogen, die andere ist weiß. Bei einem Wärmeüberschuß im Satelliten wird die dunkle Seite der Jalousie dem Weltraum, die weiße Seite der Sonne zugewandt. Bei einem Wärmedefizit ist es umgekehrt. Möglich sind hier auch noch andere technische Lösungen.

Alle Komponenten der Satellitenausrüstung sind auf einer Rahmenstruktur montiert. Diese Hauptstruktur ist auf eine günstige Verteilung der Apparate, ihren Schutz vor Zerstörung beim Eintritt in die Umlaufbahn, den Schutz vor kosmischer Strahlung usw. abgestimmt. Die Hauptstruktur und damit die Gesamtform des Satelliten kann in Abhängigkeit von der zu lösenden Aufgabe, von den Besonderheiten der Ausrüstung und anderen Faktoren sehr verschiedenartig sein. Die Kugelform des ersten sowjetischen Satelliten war sowohl aus technologischen Gründen als auch zur Erreichung der Minimalmasse des Gehäuses bei vorgegebenem Umfang der Apparatur notwendig. Die Form und die Größe der zwei nachfolgenden Satelliten hingen weitestgehend vom Nutzlastverkleidungsblech der Trägerrakete ab. Eine große Zahl von anderen Satelliten wurde aus Gründen der Standardisierung nach dem gleichen Konstruktionsschema hergestellt. Im Laufe der Entwicklung der Raumfahrttechnik wurden die Veränderungen in der Konstruktion der unbemannten Raumflugkörper immer mehr durch die Forderung der optimalen Erfüllung der gestellten Hauptaufgaben bestimmt. Eine große Rolle spielt hierbei immer das Bestreben, die Masse der Haupt-

struktur und die Abmessungen des Satelliten so klein wie möglich zu halten.

Der Start der ersten künstlichen Satelliten machte die Hauptanforderungen deutlich, die an die tragende Struktur für jede Art von Apparatur gestellt werden. Je nach der Zweckbestimmung des Satelliten können diese Anforderungen sehr verschieden sein. So verlangt eine elektronische Anlage, die auf Halbleiterbasis arbeitet, vor allem einen wirksamen Schutz vor kosmischer Strahlung. Das gilt auch für Solarzellen, fotografische Emulsionen u. a. Besondere Anforderungen an die Temperaturbedingungen stellen die optischen, funktechnischen und anderen Anlagen. Deshalb erschien es in einer Reihe von Fällen zweckmäßig, das Gehäuse für jede Art der Apparatur einzeln anzufertigen und es mit den notwendigen spezifischen Eigenschaften auszustatten. Das führte zu einer neuen Tendenz in der Konstruktion von Satelliten. Man begann, den Raumflugkörper im ganzen ohne Gehäuse zu montieren (gehäuselose Montage). Der Satellit hat also kein einheitliches geschlossenes Gehäuse, sondern seine einzelnen Konstruktionselemente werden einfach auf den Tragrahmen montiert. Mit der Entwicklung der Kleinstbauweise (Mikromodultechnik) gelang es, auch die Abmessungen der elektronischen Geräte zu verringern. Heute wird der Aufbau der Satelliten stärker durch die Empfangs- und Sendeelemente der Telemetrieanlagen und die Stromquellen bestimmt. Als typisches Beispiel dafür können die künstlichen Satelliten gelten, deren Struktur völlig durch die Reflexion der elektromagnetischen Signale von der kugelförmigen Oberfläche bestimmt ist. Die zugehörige technische Apparatur ist im Innern dieser Kugel untergebracht und hat außerordentlich geringe Abmessungen. Die Struktur des Nachrichtensatelliten „Molnija“ z. B. wird weitestgehend durch die Form der Solarzellenausleger bestimmt.

Mit der Entwicklung der Raumfahrt wächst die Vielfalt der unbemannten Raumflugkörper, wobei auch ihre Leistungsfähigkeit ständig steigt. Ein epochemachendes Weltraumexperiment wurde mit der sowjetischen Mondsonde „Luna 16“ unternommen. Am 20. September 1970 führte sie eine weiche Landung in einem vorherbestimmten Gebiet des Mondes durch. Die Sonde nahm mit Hilfe einer ferngesteuerten Bohrvorrichtung eine Mondgesteinsprobe auf, die danach in einem hermetischen Behälter der Rück-

kehrkapsel untergebracht wurde. Der Rückstart zur Erde gelang.

Die Mondsonde „Luna 16“ bestand aus einer Landestufe mit dem Bodenentnahmegesetz und einer Rückstartstufe mit der Rückkehrkapsel. Die Landestufe war eine selbständige Raumflugeinheit, die für die Ausführung von verschiedenen Flugoperationen ausgelegt war. Mit Hilfe des Haupttriebwerks der Landestufe wurden eine Bahnkorrektur der Sonde bei ihrem Flug zum Mond, die Bremsung beim Eintritt in die Zwischenumlaufbahn eines Mondsatelliten, die weiteren Bahnmanöver, die Bremsung für den Abstieg aus der kreisförmigen Mondumlaufbahn und die weiche Landung auf der Mondoberfläche vorgenommen. Für die eigentliche Landung verwendete man nach der Abschaltung des Haupttriebwerks zwei kleinere Hilfstriebwerke. In den Gerätezellen der Landestufe waren die Rechner- und Kreiselgeräte des Flugführungssystems sowie die Funksende- und Empfangsgeräte der Bordtelemetrieanlage, die auf verschiedenen Frequenzen arbeiteten, untergebracht. Darin befand sich auch die Programmanlage, die automatisch die Arbeit aller Systeme und Geräte, der Elektroenergiequellen, des Temperaturregelungssystems, der Funkmessung von Höhe und Geschwindigkeit bei der Landung auf der Mondoberfläche und auch die wissenschaftlichen Geräte steuerte. Die vier Landebeine gewährleisteten die notwendige „Weichheit“ des Aufsetzens auf der Mondoberfläche. Das mit der Landestufe verbundene Gerät zur Entnahme einer Bodenprobe bestand aus drei Hauptteilen: dem Bohrer mit einem Spezialbohrer; dem Bohrgestänge, mit dem das Bohrer an die für die Entnahme der Bodenprobe vorgesehene Stelle der Oberfläche gebracht wurde, und weiterhin aus der elektrischen Antriebsvorrichtung, durch die das Bohrgestänge nach verschiedenen Richtungen bewegt werden konnte. Das Gerät war für die Entnahme einer Bodenprobe bei unterschiedlicher Bodenbeschaffenheit — von lockerem, staubartigem bis festem Boden — eingerichtet. Die Bohrgeschwindigkeit wurde von der Erde aus kontrolliert. Nach Beendigung der Bohrung wurde der Bohrer mit der Probe des Mondgesteins in einem hermetischen Behälter untergebracht, der sich in der Rückkehrkapsel befand. Letztere war oben auf der Rückstartstufe befestigt, die ihrerseits auf der Landestufe aufgesetzt war. Zu erwähnen ist noch die über-

aus große Genauigkeit des Rückstarts vom Mond. Ohne jegliche Bahnkorrektur auf dem Flug zur Erde landete die Rückkehrkapsel genau im vorausberechneten Gebiet auf dem Territorium der UdSSR.

Nachdem die Rückkehrstufe die Mondoberfläche verlassen hatte, setzte die Landestufe ihre Arbeit fort. Sie übermittelte Informationen über die physikalischen Bedingungen auf dem Mond.

Am 10. November 1970 wurde der Mond erneut zum Brennpunkt des Raumfahrtinteresses. An diesem Tag startete das sowjetische unbemannte Mondfluggerät „Luna 17“, das am 17. November um 6.47 Uhr Moskauer Ortszeit erstmalig ein automatisches Forschungsfahrzeug mit Eigenantrieb, „Lunochod 1“, auf der Mondoberfläche absetzte. Dieses äußerst komplizierte Experiment demonstrierte ein weiteres Mal die überaus großen Möglichkeiten des Einsatzes von unbemannten automatischen Raumflugkörpern bei der Erforschung des Weltraumes und der Himmelskörper.

„Lunochod 1“ gewährleistete die Erforschung eines beträchtlichen Gebietes der Mondoberfläche, indem es eine Entfernung von 10,5 km zurücklegte und 10,5 Monate lang aktiv tätig war. Während dieser Zeit erhielt man eine so große Zahl von Daten, daß ihre detaillierte und allseitige Auswertung viel Zeit erfordern wird.

Die hohe Funktionstüchtigkeit aller Systeme und Aggregate des ferngesteuerten Mondfahrzeuges bewies, daß selbstfahrende automatische Apparate eine große Zukunft bei der Erforschung der Planeten des Sonnensystems haben.

Der Februar 1972 wurde mit einem neuen bemerkenswerten Erfolg bei der Erforschung des Mondes begangen. Am 14. Februar erfolgte der Start der automatischen Station „Luna 20“, die am 25. Februar neue Proben des Mondbodens zur Erde brachte. Zum ersten Mal stammten sie aus dem Gebiet des Hochlandes, das zwischen dem Mare Crisium und dem Mare Foecunditatis liegt. Dieses Experiment zeichnete sich durch besondere Kompliziertheit aus, da die weiche Landung im Berggelände erfolgen mußte. Die exakte Ausführung des Flugprogramms der Station „Luna 20“ bezeugt die großen Möglichkeiten der Monderforschung mit automatischen Apparaten bei verhältnismäßig geringem Aufwand im Vergleich zur Verwendung der vom Menschen gesteuerten Raumflugkörper. Die von

sowjetischen Wissenschaftlern und Ingenieuren entwickelten Methoden der Erforschung von Himmelskörpern durch die Entsendung von unbemannten Raumflugkörpern, die auf die Erde zurückkehren können, und von Bodenfahrzeugen mit Eigenantrieb, die alle mit den neuesten wissenschaftlichen Apparaturen und einem vollendeten Fernseh- und Steuerungssystem ausgerüstet sind, lassen sich unmöglich schon jetzt in ihrer ganzen Bedeutung überblicken. Die Schaffung solcher Raumflugkörper und Forschungsgeräte eröffnet tatsächlich ungeahnte Möglichkeiten für die Erforschung des Weltalls ohne Risiko für den Menschen. Es steht außer Zweifel, daß das bisher Erreichte keine Grenze darstellt, sondern nur eine bestimmte Etappe in der Entwicklung von unbemannten automatischen Raumflugkörpern.

# Raumfahrzeuge und Raumstationen

**R**aumfahrzeuge sind bemannte Raumflugkörper, die im Weltraum Manöver wie Bahnkorrekturen, Übergänge auf andere Umlaufbahnen, Rendezvous-Kopplungen, Landeabstiege (einschließlich Rückkehr zur Erde) usw. vornehmen können. Ihre Vielseitigkeit hinsichtlich der aufgeführten Flugoperationen erklärt auch die verschiedenartige Gestalt der Raumfahrzeuge, ihren komplizierten Bau, ihre verhältnismäßig große Masse und die hohen Herstellungskosten. Letzteres zahlt sich aber durch die breiten Verwendungsmöglichkeiten aus. Sie können im erdnahen Raum dem Transport von Besatzungen und Nutzlasten zu Außenstationen, der Durchführung von Reparaturen an anderen Raumflugkörpern und Rettungsarbeiten im Weltraum dienen.

Der erste bemannte Raumflugkörper „Wostok“, der allerdings noch nicht die oben genannten Charakteristika eines Raumfahrzeuges hatte, wurde am 12. April des Jahres 1961 auf eine Umlaufbahn um die Erde gebracht. An Bord befand sich der erste Kosmonaut der Erde, der Sowjetbürger Juri Alexejewitsch Gagarin (1934—1968).

Die Manövrierfähigkeit der modernen Raumfahrzeuge wird durch verschiedene Haupt- und Hilfstriebwerke gewährleistet. Flüssigkeitstriebwerke sind in der Lage, eine große Rückstoßkraft (Schub) zu entwickeln und haben eine verhältnismäßig große Leistungsfähigkeit (spezifischer Schub). Der spezifische Schub zeigt an, wieviel Treibstoff verbraucht wird, um einen bestimmten Schub pro Zeiteinheit zu erhalten. Es wurden Triebwerke geschaffen, die einen Schub von einigen Pond ergeben, andere haben bis zu 100 Mp Schub. Für 1 Mp Schubkraft werden bei modernen Treibstoffen in einer Sekunde 2,5 bis 3 kg Treibstoff

verbraucht, in einer Minute 150 bis 180 kg. Wie daraus hervorgeht, ist der Treibstoffverbrauch außerordentlich hoch. Doch Flüssigkeitstriebwerke sind zuverlässig. Sie gestatten eine mehrfache Zündung, arbeiten stabil und gewährleisten eine hohe Genauigkeit bei der Steuerung des Schubvektors. Diese Eigenschaften waren die Voraussetzung für ihre breite Verwendung in Raumfahrzeugen nicht nur als Haupttriebwerke (für größere Manöver), sondern auch als aktive Organe der Fluglageregelungs- und Kopplungssysteme. Nachteilig an Flüssigkeitstriebwerken sind ihr komplizierter Aufbau und die relativ hohen Kosten.

Bessere ökonomische Eigenschaften besitzen die Feststofftriebwerke, vor allem weil ihre Konstruktion einfacher ist. Der Treibstoff für diese Triebwerke befindet sich in Form von Treibsätzen in der Brennkammer. Durch einen fortlaufenden Abbrand erzeugt der Treibstoff den notwendigen Gasdruck in der Brennkammer und den entsprechenden Schub. Bei Feststofftriebwerken entfallen somit die Treibstoffbehälter und die Treibstoffördereinrichtung mit ihren Ventilen und Rohrleitungen. Eine Wiederzündbarkeit der Feststofftriebwerke und die exakte Einhaltung des geforderten Schubprogramms ist nicht so einfach zu realisieren wie bei den Flüssigkeitstriebwerken. Der Hauptnachteil der Feststofftriebwerke liegt in ihrer geringeren Leistungsfähigkeit, denn ihr spezifischer Schub liegt im allgemeinen um das Anderthalb- bis Zweifache niedriger als bei Flüssigkeitstriebwerken. Deshalb werden Feststofftriebwerke nur in beschränktem Maße bei bemannten Raumflugkörpern eingesetzt, und dann vornehmlich als Hilfstriebwerke. Sie werden allerdings gelegentlich auch zur Ausführung von solch wichtigen Flugoperationen wie Bremsmanövern zum Übergang auf die Abstiegsbahn verwendet. Die nur einmal erforderliche Zündung, die beschränkte Genauigkeitsforderung für den Schubvektor und die Kenntnis der Größe des Antriebsimpulses lassen Feststofftriebwerke als Bremstriebwerke günstig erscheinen. Flüssigkeits- und Feststofftriebwerke sind überall dort erforderlich, wo es darum geht, kurzzeitig relativ hohe Schubwerte zu erreichen. Unter Weltraumbedingungen ist das notwendig für Rendezvousmanöver, beim Übergang auf die Abstiegsbahn zur Erde oder beim Wechsel von einer Umlaufbahn auf eine andere.

In Fällen, wo es nicht um „schnelle“ Weltraumanöver

geht, lassen sich besser elektische Raumfahrtantriebe verwenden. Diese Triebwerke können einen Schub von einigen Millipond bis zu einigen Dutzend Kilopond entwickeln; ihr spezifischer Schub kann den der thermochemischen Triebwerke um ein vielfaches übersteigen. Das Fehlen eines wesentlichen äußeren Widerstandes im Weltraum und der Bahncharakter, die Bewegungsverhältnisse in einer Raumflugbahn, führten zu einer breiten Verwendung von elektrischen Antrieben für die Fluglageregelung von Raumfahrzeugen, für die Kompensation des atmosphärischen Widerstandes bei langdauernden Flügen in niedrigen Satellitenbahnen (200—400 km), für langdauernde Übergangsmanöver von einer Bahn auf eine andere, für die Korrektur von kleinen Bahnabweichungen usw. Die Antriebsleistung wird bei elektrischen Antrieben mit Hilfe von Elektroenergie erzeugt. Bei einigen von ihnen erfolgt die Energieübertragung auf den Treibstoff (Gas, Metaldampf) im Lichtbogen, bei anderen wird das Arbeitsgas ionisiert und anschließend in einem Magnetfeld beschleunigt. Alle elektrischen Triebwerke vermitteln den Teilchen des Arbeitsgases enorm hohe Ausströmgeschwindigkeiten, die bis zu 100 km/s erreichen können. Je höher diese Geschwindigkeit ist, um so größer ist der spezifische Schub. Bei elektrischen Antriebsanlagen für Raumfahrzeuge sind Primärenergiequelle und Energiewandler die masseaufwendigsten Teile. Bei einem Schub von 100 p kann die Masse der Gesamtanlage einige Tonnen erreichen.

Für bestimmte Zwecke kann man auch Gasdüsen als Kleintriebwerke verwenden, in denen die Energie hochgespannter Gase durch Entspannung in einer Ausströmdüse in kinetische Energie des Antriebsstrahls umgewandelt wird, ähnlich wie das bei den thermochemischen Triebwerken der Fall ist. Das Druckgas wird in Behältern aufbewahrt oder in besonderen Generatoren erzeugt. So kann man Gas durch Zerfall von Wasserstoffsuperoxid erhalten. Die Gasdüsentriebwerke zeichnen sich durch einfache Konstruktion, niedrigen Kostenaufwand und hohe Zuverlässigkeit aus. Hauptnachteil ist ihr geringer spezifischer Schub. Deshalb ist der Anwendungsbereich der Gasdüsentriebwerke auf kurzzeitigen Einsatz für die Lageregelung und Kopplung von Raumfahrzeugen sowie bei der Drallübertragung auf Satelliten bzw. bei deren Drallbremsung usw. beschränkt.

Die Vorbereitung und Durchführung aller Manöver eines Flugprogramms wird vom Steuerungssystem des Raumfahrzeugs kontrolliert. Es regelt die Triebwerke und damit auch den Schubvektor im Weltraum, es schaltet den Antrieb ein und zum vorgegebenen Zeitpunkt wieder ab, zugleich stabilisiert es die Fluglage des Raumfahrzeugs während der Tätigkeit der Triebwerke. Wenn die Schubrichtung nicht genau durch den Schwerpunkt des Raumfahrzeugs verläuft, treten Störmomente auf, die die Lage des Raumfahrzeugs im Weltraum bezüglich seines Massemittelpunkts verändern. Die Ursache dafür kann in Ungenauigkeiten bei der Montage der Triebwerke, Fehlern bei der Herstellung der Brennkammer usw. bestehen.

Als Meßwertgeber für die Lageanzeige verwendet man Kreiselvorrichtungen. Ihre Funktion beruht auf der Fähigkeit eines Kreiselrotors, die Lage seiner Rotationsachse im Raum unverändert beizubehalten. Wenn man bei der Halterung der Achse des Rotors eine Kardanaufhängung verwendet, die mit ihrem äußeren Rahmen am Raumfahrzeug befestigt ist, kann man mit großer Genauigkeit alle Abweichungen des Raumfahrzeugs von seiner Lage feststellen. Der Kreiselrotor wird entweder von einem Magnetfeld oder durch Druckluft in Rotation versetzt. An den Achsen der verschiedenen Rahmen der Kardanaufhängung befinden sich elektrische Potentiometer, die die Drehungen des Raumfahrzeugs um diese Achsen zu messen gestatten; denn Drehungen des Raumfahrzeugs machen sich als Drehungen an den Rahmen der Kreiselaufhängung bemerkbar und rufen dadurch eine Veränderung der Potentiometereinstellung hervor. Durch diese Veränderung wird ein elektrisches Signal erzeugt, das als Ausgangssignal für das Lageregelungssystem dient, welches dann das Raumfahrzeug mit Hilfe der aktiven Elemente in die gewünschte Lage dreht.

Das Haupttriebwerk arbeitet so lange, bis der notwendige Korrekturimpuls oder, genauer gesagt, bis der notwendige Geschwindigkeitszuwachs erreicht ist. Wenn es nicht auf große Genauigkeit des Korrekturimpulses ankommt, kann die Abschaltung eines Triebwerkes durch einen Zeitschaltmechanismus erfolgen. Zu diesem Zweck wird, ausgehend von der bekannten Masse des Raumfahrzeugs und den technischen Daten des Triebwerkes, auf rechnerischem Weg die Antriebszeit für das Erreichen des gewünsch-

ten Impulses bestimmt. Der so erhaltene Zeitwert wird in die Programmschaltanlage eingegeben, und nach Ablauf dieser Zeit wird ein Kommando zum Abschalten des Triebwerkes erteilt. Die Anwendung dieser Methode bereitet keine großen Schwierigkeiten. Aber es können dabei beträchtliche Fehler infolge des Unterschieds zwischen den tatsächlichen Daten des Triebwerkes sowie den veränderten Bedingungen während der Antriebszeit und den berechneten Werten auftreten. Eine große Genauigkeit kann man erreichen, wenn der Zeitpunkt der Abschaltung des Triebwerkes mit Hilfe eines besonderen Bordsystems bestimmt wird. Dazu gehören Meßwertgeber und Beschleunigungsintegratoren. Sie summieren gleichsam die Zunahme der Geschwindigkeit für jeden kleinen Zeitabschnitt der Antriebsperiode und erteilen nach Erreichen des erforderlichen Geschwindigkeitswertes ein Kommando zum Abschalten des Triebwerkes. Die Funktion der Beschleunigungsmeßgeber beruht auf der Ausnutzung des Effektes der Massenträgheit unter Einwirkung der Schubkraft. Als Beispiel kann eine federnd gelagerte Masse dienen. Ein Ende der Feder ist fest mit dem Raumfahrzeug verbunden, während das andere die Masse trägt. Wenn die Achse der Feder mit der Wirkungslinie des Schubs zusammenfällt, dann wird sich die Feder zusammen- oder auseinanderziehen, je nach der Wirkungsrichtung der Schubkraft. Die auftretende Federspannung ist der Beschleunigung des Raumfahrzeugs, die während der Antriebsperiode erzeugt wird, proportional.

Eines der wichtigsten Systeme an Bord eines Raumfahrzeugs umfaßt die Anlagen zur Sicherung der Lebensbedingungen der Besatzung. Der Komplex zur Gewährleistung der Lebenserhaltung umfaßt drei Gruppen von Untersystemen. Zur ersten Gruppe gehören die Anlagen zur Sauerstoffversorgung und Luftreinigung, zur Wasser- und Nahrungsmittelversorgung sowie der sanitären und hygienischen Einrichtungen einschließlich der Abfallverwertung. Zur zweiten Gruppe gehören die Anlagen zur Klimaregelung sowie zum Strahlungsschutz. Die dritte Gruppe ist für die Lebenserhaltung beim Ausstieg von Raumfahrern aus dem Raumfahrzeug verantwortlich. Zu dieser letzten Gruppe gehören Raumanzüge, Mond- und Planetenfahrzeuge usw.

Alle diese Systeme müssen eine besonders hohe Zuverlässigkeit besitzen, weil ihr Ausfall das Leben des Men-

schen bedroht. Bei der Konstruktion der Geräte und Anlagen berücksichtigt man die medizinisch-biologischen Besonderheiten des Aufenthalts von Menschen im Weltraum sowie die technischen Möglichkeiten zur Lösung der Probleme. Besonders wichtig ist die Kenntnis des Einflusses der Hauptparameter des Lebenserhaltungssystems auf die Widerstandsfähigkeit des Menschen gegenüber den ungünstigen Faktoren eines Raumfluges sowie die Beachtung der zulässigen Veränderungen dieser Parameter. Eine große Bedeutung hat die richtige Bestimmung der Wechselbeziehungen zwischen den Parametern des künstlichen Milieus, das durch die Funktion des Lebenserhaltungssystems geschaffen wird, und den technischen Daten des Systems: Masse, Energieverbrauch und Größe.

Einige Raumfahrzeuge sind für Rendezvousmanöver mit anderen Objekten im Weltraum und sogar für eine Kopplung mit ihnen vorgesehen. Man unterscheidet zwei Phasen des Rendezvous, eine entfernte und eine nahe Phase. Die Steuerung zur Annäherung von Raumflugkörpern, die sich in einer großen Entfernung voneinander befinden, erfolgt gewöhnlich durch Kommandos nach Daten von Messungen und Berechnungen der Bodenstation. Durch diese Kommandos wird die notwendige Schubstärke und -richtung, der Zündungs- und Abschaltzeitpunkt für eines der Raumfahrzeuge bestimmt, um den „Eintritt“ in den Wirkungsbereich der Bordapparaturen für das Rendezvous zu gewährleisten. Es können dann mehrere Korrekturen vorgenommen werden. Solche Rendezvousmanöver können Stunden und manchmal sogar Tage in Anspruch nehmen. Ein Rendezvous mit weiter Annäherung (etwa 5 km) wurde erstmalig zwischen „Wostok“-Raumschiffen im Jahre 1962 vorgenommen. In Abhängigkeit von der Art und Leistungsfähigkeit der an Bord befindlichen Geräte kann ein Rendezvous mit enger Annäherung aus einer Entfernung von einigen Dutzend bis zu einigen hundert Kilometern eingeleitet werden. Die beiden Objekte können sich dann bis auf eine Entfernung von einigen Metern annähern. Dabei wird ihre relative Geschwindigkeit auf Null gebracht. Die Lösung einer solch komplizierten Aufgabe erfordert eine leistungsfähige Funkausrüstung und eine Anzahl von speziellen Anlagen, wie Triebwerke für mehrfache Zündung mit regelbarem Schub zur Bahnkorrektur, Meßgeräte zur Bestimmung der relativen Lage und Bewegung der sich

annähernden Objekte, Fluglageregelungssysteme, Empfangs- und Sendeanlagen der Meßsysteme, Steuerungsanlagen für die Koordination der Tätigkeit aller Systeme des Raumfahrzeugs, und die Ausarbeitung der entsprechenden Kommandos. Der ganze Problemkreis bezüglich der Rendezvousmanöver wurde mit Versuchsgeräten der „Sojus“-Serie untersucht. Ein Rendezvous mit enger Annäherung unter Verwendung der Bordanlagen gelang zwischen „Sojus“-Raumfahrzeugen im Jahre 1967. Der Ablauf eines Rendezvousmanövers kann auf folgende Art und Weise vor sich gehen: Die beiden Raumflugkörper, deren Umlaufbahnen durch entsprechende Bahn- und Antriebsprogramme ihrer Trägersysteme einander so nahe wie möglich gebracht werden, gelangen unter ständiger Kontrolle ihrer Bahndaten durch gesteuerte Bahnänderungsmanöver in die gleiche Bahn. Das Antriebsvermögen der Hilfstriebswerke des einen Raumflugkörpers wird nun dazu benutzt, eine Annäherungsgeschwindigkeit zu erzielen, die zunächst einige Dutzend Meter in der Sekunde betragen kann. Dann geht die Annäherungsgeschwindigkeit fast auf Null zurück, und zwar entsprechend der Verringerung der Entfernung zwischen den Objekten.

Um einen Zusammenstoß und dadurch mögliche Beschädigungen zu vermeiden, wird die Annäherungssteuerung vor allem durch Radar- und Infrarotleitsysteme unterstützt. Eine Führungshilfe bieten auch außen angebrachte Fernsehkameras, so daß der Pilot die Annäherung auf einem Bildschirm in der Kommandokabine überwachen kann. Ein spezielles Konstruktionsteil, ein Konus mit Kopplungselementen, gewährleistet eine angepaßte Verbindung zwischen den beiden Systemkomponenten. Das Koppeln von bemannten Raumfahrzeugen kann sowohl automatisch als auch unter Mitwirkung der Kosmonauten erfolgen. Das erste automatische Kopplungsrendezvous wurde am 30. Oktober 1967 mit den Satelliten „Kosmos 212“ und „Kosmos 213“ durchgeführt. Das erste Kopplungsmanöver mit zwei bemannten Raumfahrzeugen des Typs „Sojus“ unter Verwendung der Handsteuerung erfolgte im Jahre 1969, wobei elektronische Meß- und Rechenanlagen für die Kontrolle der Steuerungseingriffe eine große Rolle spielten.

Die Kopplung der „Sojus“-Raumfahrzeuge eröffnete eine neue Ära in der Raumfahrttechnik, denn die Vereinigung von Raumflugkörpern zu einer größeren Raumflugeinheit

wies neue Wege für die Entwicklung von Raumfahrt und Raumfahrttechnik. Durch die unmittelbare Zusammenführung wird es möglich, Geräte und Versorgungsgüter sowie Besatzungen zu Langzeitstationen im Weltraum zu transportieren — eine notwendige Voraussetzung für die Tätigkeit von Raumstationen. Nach der Kopplung der Raumfahrzeuge „Sojus 4“ und „Sojus 5“ im Januar 1969 wurde die erste bemannte experimentelle Raumstation gebildet. Die Kopplung ermöglichte eine mechanische, energetische und nachrichtentechnische Vereinigung des ganzen Systems mit einer einheitlichen Fluglageregelung. Dadurch konnte die Flugführung von einem Piloten übernommen werden, der sich in einer beliebigen der beiden Kommandokabinen befand. Zwischen den beiden Teilen bestand eine ständige zweiseitige Sprechverbindung.

Die sowjetischen Wissenschaftler arbeiten zielstrebig an der wichtigen Frage, ob der Mensch unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit längere Zeit leben und arbeiten kann. Von der Antwort auf diese Frage hängt es ab, welchen Weg die Entwicklung bemannter Raumstationen nehmen wird.

Ist es notwendig, in den bemannten Raumflugkörpern eine dauernde oder zeitweilige Simulation der Schwerkraft zu schaffen, oder reicht es aus, an Bord verschiedene Geräte für ein aktives Körpertraining zu installieren? Das ist eine prinzipielle Frage, und je früher wir sie beantworten können, desto schneller kann die Entwicklung der Raumfahrt vorangetrieben werden. Deshalb hatte auch der Flug des Raumfahrzeuges „Sojus 9“ am 1. Juni des Jahres 1970 eine große wissenschaftlich-theoretische und praktische Bedeutung. Mit diesem Start wurde ein zweiter wichtiger Schritt auf dem Wege zur Schaffung von bemannten Großsatelliten im Weltraum unternommen. Der Kommandeur dieses Raumfahrzeuges Andrijan Grigorjewitsch Nikolajew und der Bordingenieur Witali Iwanowitsch Sewastjanow befanden sich 424 Stunden, das sind etwa 18 Tage und Nächte, auf ihrem Flug im Weltraum. Im Verlauf dieses Freifluges wurde ein außerordentlich vielfältiges wissenschaftlich-technisches, medizinisch-biologisches und volkswirtschaftliches Versuchsprogramm durchgeführt.

Am 7. Juli 1971 wurde die Raumstation „Salut“ auf eine erdnahe Umlaufbahn gebracht. Zum ersten Mal wurde die wichtige ingenieurtechnische Aufgabe gelöst, eine Be-

satzung mit einem Transportraumfahrzeug an Bord einer wissenschaftlichen Orbitalstation zu bringen. Im Verlauf von 23 Tagen führte die Besatzung von „Salut“ eine angespannte und interessante wissenschaftliche Arbeit im Weltraum aus. Es wurden Experimente zur Untersuchung der kosmischen Primärstrahlung durchgeführt, geologisch-geographische Objekte der Erdoberfläche und verschiedene atmosphärische Erscheinungen studiert. Es wurden einige Abschnitte der Erdoberfläche auf dem Territorium der UdSSR für das Studium von Naturerscheinungen spektrographiert und optische Charakteristika der Atmosphäre gemessen. Synchron mit der Spektrographierung aus dem Weltraum wurden Aufnahmen der Erdoberfläche von Flugzeugen aus gemacht.

Die Arbeit der Raumstation „Salut“ führte zu bisher einmaligen wissenschaftlichen Angaben. Die Besatzung des Raumflugkörpers „Sojus 11“ gewann viele neue wissenschaftliche Daten, ohne die man sich die weitere Vervollkommnung der kosmischen Technik nur schwer vorstellen kann. Jedoch verunglückte sie bei der Rückkehr zur Erde tragisch. Die Ruhmestat der tapferen Eroberer des Kosmos G. T. Dobrowolski, W. N. Wolkow und V. I. Pazajew wird für immer ihren Platz in der Geschichte der Weltraumfahrt haben.

Die Raumstationen der Zukunft werden komplizierte technische Anlagen sein, die zur Lösung von komplexen wissenschaftlichen und praktischen Fragen bestimmt sind und die einen längeren Aufenthalt des Menschen im Weltraum — vorausgesetzt, daß eine Ablösungsmöglichkeit gesichert ist — gewährleisten. Raumstationen können Jahre oder vielleicht Jahrzehnte arbeiten. Zukünftig wird die Masse der Raumstationen Dutzende, Hunderte und möglicherweise sogar Tausende von Tonnen betragen. Auf diesen Raumstationen kann man sehr große Apparaturen installieren, z. B. Teleskope für astronomische Beobachtungen, riesige Antennenanlagen für radioastronomische Beobachtungen, Energieanlagen von hoher Kapazität sowie komplizierte Geräte für wissenschaftliche Beobachtungen, experimentelle Untersuchungen und praktische Zwecke. Auf der Station kann sogar eine spezielle Fertigungstechnik unter den im Weltraum geradezu idealen Bedingungen der Schwerelosigkeit und des Hochvakuums eingerichtet werden. Selbstverständlich kann eine solche Sta-

tion auch als Basis für die Aufbewahrung der notwendigen Vorräte im Weltraum dienen. Es werden dort also auch Depots für Raumtransporter, für ihren Aufenthalt und ihre Reparatur sowie ein technischer Überwachungs- und Wartungsdienst für Raumflugkörper vorhanden sein. Außerdem wird sie als Stützpunkt für Mond- und Planetenflüge dienen.

Die große Vielfalt der Aufgaben erfordert die Schaffung von Spezialstationen, und zwar für Experimente, für praktische Zwecke, für spezielle Fertigungstechniken, für die materiell-technische Versorgung der Raumbasen, auf denen größere Raumflugeinheiten montiert werden, usw. Sie werden unterschiedliche Massen, verschiedene Ausrüstungen und Formen besitzen. Sehr verschieden können auch die Methoden zur Schaffung der Stationen sein. Man kann vorgefertigte, auf der Erde montierte Stationen mit Hilfe extrem großen Trägerraketen auf eine Umlaufbahn bringen. Aber es wird wohl ökonomischer sein, sie auf der Bahn aus Baueinheiten zusammenzusetzen, die durch Zubringerflüge auf die Umlaufbahn geschickt werden. Als Hauptkomponente für die Station könnte auch die leergefahrene Zweit- oder Drittstufe der Trägerrakete dienen. Die Raumstationen können zeitweilig oder ständig von Raumfahrern besetzt sein. Eine automatische Station arbeitet ohne die Mitwirkung des Menschen. Die Versorgung der Antriebe des Fluglageregelungssystems und der Energiequellen usw., die Beförderung von experimentellen Proben und bestimmten Untersuchungsergebnissen zur Erde erfolgen mit Hilfe eines Transportsystems. Technische Überprüfungen und die Beseitigung von Schäden kann der Mensch vornehmen, wenn er die Station in gewissen Abständen besucht. Falls auf der Station kein Lebenserhaltungssystem existiert, kann der Raumfahrer ein eigenes autonomes System hierzu mitbringen.

Die Schaffung von automatischen Stationen ist für die Lösung von Aufgaben zweckmäßig, die keine unmittelbare Beteiligung des Menschen erforderlich machen, und besonders dann, wenn ein längerer Aufenthalt auf dieser Station schädlich für den menschlichen Organismus sein könnte. Eine automatische Station könnte eine gewaltige Nachrichtenstation sein, die auf eine stabile Umlaufbahn gebracht wurde und mit einer Kernenergieanlage ausgestattet ist.

Die Lösung vieler Aufgaben im Weltraum erfordert jedoch eine unmittelbare Beteiligung des Menschen. Der Mensch besitzt die Fähigkeit zur gründlichen Analyse, er nimmt schnell einen großen Informationsstrom auf und ist in der Lage, ihn zu verarbeiten. Er besitzt ein — gegenüber technischen Hilfsmitteln — oft geradezu ideales Sehvermögen, und er ist in der Lage, die kompliziertesten Arbeiten auch im Weltraum auszuführen. Sehr effektiv ist auch die Mitwirkung des Menschen bei der Ausführung verschiedener Hilfsoperationen, so z. B. bei der Verlagerung von Geräten innerhalb der Station oder bei der Durchführung ihres Arbeitsprogramms in Abhängigkeit von den jeweiligen Bedingungen. Besonders wichtig ist die Arbeit des Menschen bei Reparatur- und Installationsarbeiten und beim Justieren der Geräte.

Der Bau von Stationen verursacht hohe Kosten, die etwa denen gleichkommen, die beim Bau von Schiffen für die Seefahrt aufgewendet werden müssen. Besonders hoch sind deshalb die Anforderungen an die Qualität der Arbeit dieser Stationen. Es darf nicht vorkommen, daß eine Station ihre Arbeit wegen des Ausfalls einzelner Komponenten aufgeben muß, wie das bei Automaten manchmal der Fall ist.

Das zuverlässigste Mittel zur Erhöhung der aktiven Lebensdauer einer Station ist die Anwesenheit von Menschen. Sie können sich ständig hier befinden (Wohnstationen) oder mit Unterbrechungen (Besuchsstationen). In diesem Falle kann die Station auf zweierlei Art und Weise arbeiten, nämlich automatisch und vom Menschen gesteuert. Eine Steuerung durch den Menschen wird entweder bei günstigen äußeren Bedingungen, z. B. bei geringer Strahlungsgefährdung, möglich oder bei besonders komplizierten Beobachtungen, Operationen oder Reparaturarbeiten notwendig sein. Zur Schaffung von normalen Arbeitsbedingungen für die Raumpiloten wird auf Stationen, in denen sich Menschen längere Zeit aufhalten, ein Lebenserhaltungssystem installiert sein.

• Betrachten wir ein Lebenserhaltungssystem. Das System, das die Lebenstätigkeit der Besatzung eines „Sojus“-Raumflugkörpers sichert, hat eine große Masse und große Ausmaße. Es nimmt einen beträchtlichen Teil des Raumflugkörpers ein. Das war auch notwendig, da „Sojus“ die erste Versuchsstation war, deren eine Hauptaufgabe

die Erforschung der Leistungsfähigkeit des Menschen im Weltraum war. Man mußte die erforderlichen Bedingungen für eine normale Lebenstätigkeit der Raumfahrer für einen längeren Zeitraum festlegen, indem man von den zu lösenden Aufgaben ausging. Später werden auf spezialisierten Stationen die Geräte zur Lösung von wissenschaftlichen und praktischen Aufgaben den größten Platz einnehmen. Aber da Masse und Größe der Stationen beträchtlich zunehmen werden, wird für die Lebensbedingungen der Besatzungsmitglieder in Zukunft noch mehr getan werden können. Es vergrößert sich der „Lebensraum“; die Aufteilung der Räume für Arbeit und Erholung wird dadurch erleichtert. Die Aufenthaltsbedingungen für die Besatzungen auf den Stationen werden sich maximal den Lebensbedingungen auf der Erde annähern. Der für einen längeren Weltraumaufenthalt notwendige Schwereersatz wird durch den Fliehkraftdruck einer rotierenden Station oder mit Hilfe von Kleinzentrifugen für ein Andruck-Ausgleichstraining geschaffen. In den Kabinen werden Grünanlagen entstehen, die Besatzung kann Sport treiben, erhält normale Nahrung, kann Fernsehübertragungen empfangen usw. Der Aufenthalt auf der Station wird keine ernsthaften physiologischen Schädigungen hervorrufen. Die Leistungsfähigkeit des Menschen wird nicht geringer; physische Störungen werden nicht eintreten.

Gegenwärtig gibt es schon zuverlässige Lebenserhaltungssysteme für den Aufenthalt im Weltraum. Aber das ist erst der Anfang der Entwicklung eines komplizierten und äußerst notwendigen Bereiches der medizinischen Wissenschaften, der Raumfahrtmedizin, die sich mit den Auswirkungen von Raumflugbedingungen auf den menschlichen Organismus befaßt. Es werden auch weiterhin umfangreiche Forschungsarbeiten zur allseitigen Erforschung der Lebenstätigkeit des Menschen unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit und der hohen Andruckbelastung durchgeführt.

Es wurden einheitliche Geräte und Meßapparaturen geschaffen, die Bedingungen und Tests für die Auswahl der Kosmonauten festgelegt, Programme für das Training aufgestellt und Methoden zur Entwicklung und Festigung der für die Arbeit im Weltraum erforderlichen Körperbewegungen ausgearbeitet. Um die Eigenmasse des Raumfahrzeuges zu verringern, müßte man unbedingt Systeme

zur Regeneration des Wassers, zur Herstellung von konzentrierter spezieller Nahrung sowie hocheffektive Methoden zur Züchtung von Eiweißen schaffen und andere technisch-biologische und physiologische Probleme lösen. Auf Großsatelliten werden ökologische Kreisläufe durch die Nutzung bestimmter Pflanzenarten entstehen. Diese Idee, die seinerzeit phantastisch klingen mußte, wurde schon von K. E. Ziolkowski ausgesprochen. Heute kann man sich leicht eine große Raumstation z. B. in Form eines „Reifens“ vorstellen. Durch Rotation dieser radförmigen Station um ihre eigene Achse wird ein Fliehkraftandruck erzeugt. Dieses künstliche „Schwerefeld“ wirkt nicht so stark wie auf der Erde, aber es wird für eine normale Lebenstätigkeit des Menschen ausreichen. Der „Reifen“ der Station könnte etwa ein ringförmiges, mehrstöckiges Haus aus Plast, Metall und Glas mit einer Länge von 500 m sein. Ein Teil der Etagen wird von speziellen technischen Apparaturen eingenommen, einen weiteren Teil bilden die Räume für wissenschaftliche Laboratorien und bestimmte Fertigungen; die meisten Räume werden jedoch Wohnungen für die Mitglieder der Besatzungen sein. Es wird dort einen großen Eßraum geben, vielleicht sogar ein Restaurant für „Touristen“, einen Klub, eine Sportabteilung, einen Park, eine Orangerie, ein Krankenhaus und vieles andere. Wie in jedem normalen Haus können in den Räumen der Stationen Grünpflanzen wachsen. Diese Pflanzen sind äußerst notwendig für die Assimilation des ausgeatmeten  $\text{CO}_2$ , für die Anreicherung der Atmosphäre mit Sauerstoff, für die Ausscheidung von Feuchtigkeit und die Versorgung der Besatzung der Station mit Vitaminen. In der „Nabe“ der radförmigen Station kann ein Weltraumhafen angelegt werden. Hier könnten die Raumfahrzeuge — „Tanker“, Raumtransporter und „Liner“ — anlegen. Ihre Anlegestelle kann dann sowohl außerhalb als auch innerhalb der Station sein. Dabei ist eine mechanische Vereinigung der ankommenden Raumtransporter mit der Station nicht unbedingt notwendig. Sie können auf der „Weltraumreed“ in der Nähe der Station liegen. Den notwendigen Abstand würden die Raumfahrzeuge selbst mit Hilfe ihrer Steuerungssysteme halten. Vielleicht ist auch eine spezielle Vorrichtung, eine „Plattform“ möglich. An ihr könnten die Raumfahrzeuge anlegen und mit Hilfe eines speziellen Steuerungssystems den notwendigen Abstand halten.

Möglicherweise wird der Verkehr in der unmittelbaren Nähe der Station auch durch spezielle Lotsenfahrzeuge geregelt. Das würde die Sicherheit des Raumverkehrs erhöhen, und die großen Raumfahrzeuge brauchten dann keine speziellen Steuerungssysteme mehr zu besitzen, die das Manövrieren in der Nähe einer Station erst ermöglichen. Wir haben nur kurz eine der möglichen Varianten für die Raumstationen der Zukunft betrachtet. Die Stationen der nächsten Jahrzehnte werden, was ihre Größe und ihren Komfort betrifft, allerdings noch wesentlich bescheidener sein. Aber es werden trotzdem Stationen sein, die Inseln des Lebens und der Arbeit des Menschen im Weltraum darstellen.

Für den Betrieb der Raumstationen sind periodische Wechsel der Besatzungen und regelmäßige Ausrüstungs- und Versorgungsflüge zu ihnen notwendig. Diesen Zweck können spezielle Trägersysteme erfüllen. Raumtransporter für die Ablösung der Besatzungen werden besonders zuverlässig und komfortabel sein. Diese Spezialflugkörper werden in ihren aerodynamischen Eigenschaften den Überschallflugzeugen ähneln. Sie gestatten eine zerstörungsfreie Rückführung des gesamten Trägersystems zur Erde. Die Beschleunigungsbelastung für den Menschen verringert sich, die Manövrierfähigkeit und die Landegenauigkeit nehmen zu. Diese Raumtransporter oder Raumgleiter können nach der Erfüllung ihrer Transportfunktion auf Spezialpisten oder auch auf gewöhnlichen Bahnen landen.

Das Auffüllen der Treibstoffvorräte wird von speziellen Versorgungseinheiten ausgeführt, die im wesentlichen als Treibstoffbehälter ausgebildet und deshalb mit einem Minimum an Meßgeräten und Hilfstriebwerken für das Annäherungsrendezvous ausgerüstet sind. Diese Raumtanker werden wahrscheinlich für nur einen einmaligen Versorgungsflug bestimmt sein, da ihre Rückführung nicht erforderlich ist. Leere Trägerstufen könnten als Komponenten für eine noch auszubauende Station dienen. Eine ähnliche Situation ist für Raumtransporter zu erwarten, die festes Material befördern. Dies werden in der Hauptsache Container sein.

Mit dem Anwachsen der Anzahl der Raumstationen und der zunehmenden Kompliziertheit ihrer Betriebstechnik ergibt sich die Notwendigkeit, spezielle Hilfs- bzw. Reparatur-Raumfahrzeuge zu schaffen. Bei Havarien, die

die Besatzung nicht selbst beheben kann, wird ein Raumflugkörper mit einer Reparaturausrüstung und entsprechenden Ersatzteilen für den Austausch der beschädigten Bauteile zur Station geschickt. An Bord des Rettungs- und Reparaturflugkörpers müssen sich auch Mittel zur medizinischen Versorgung und Hilfeleistung befinden. Das Raumfahrzeug muß ein autonomes System der Rendezvoussteuerung besitzen. Die Besatzung des Rettungs- und Hilfsraumfahrzeuges wird mit handlichen Druckgas-Rückstoßgeräten für die Fortbewegung im Freiflug außerhalb der Kabine und für Reparaturarbeiten an der Station ausgestattet. Sind Rettungsmanöver erforderlich, kann der Raumflugkörper die Besatzung einer Station zur Erde zurückbringen.

Mit der Schaffung von hocheffektiven Raumfahrttriebwerken (elektrischen Antrieben, Kernenergieantrieben u. a.) werden spezielle Außenstationen für die technische Wartung entstehen. Diese Stationen werden die gesamte Betriebstechnik der Raumfahrtunternehmen wesentlich beeinflussen. Es verändert sich das gesamte Programm von der Aufstiegs- bis zur Abstiegsphase. Es entsteht ein Pendelverkehr Erde—Weltraum—Erde mit den entsprechenden Einrichtungen für einen störungsfreien Betrieb. Der eigentliche Nutzmasse teil eines Raumtransporters wird als wiederwendbares Rückkehrgerät konstruiert sein. Es wird aber auch einen Pendelverkehr Weltraum — Weltraum geben.

Von der Erde aus können schwere Trägersysteme als Stationseinheiten vorgefertigte und schon entsprechend ausgebaute große Nutzmassekörper, Treibstoff und andere Versorgungsgüter auf eine Umlaufbahn um die Erde befördern. Von hier aus werden diese Versorgungsgüter und Ausrüstungen durch Raumflugkörper, die dem Verkehr von Raumstation zu Raumstation dienen, dorthin gebracht werden, wo sie Verwendung finden sollen.

Die elektrischen Antriebe, die über eine nur geringe Schubkraft verfügen, werden in der Hauptsache nur auf Freiflugbahnen zu Bahnkorrektur- oder Bahnänderungsmanövern eingesetzt, weil sie von ihrem Funktionsprinzip her nur im Hochvakuum wirksam sein können. Derartige Triebwerke, die heute als elektrostatische Antriebe bzw. als Plasmaantriebe bereits erprobt werden, ermöglichen weitläufige Manöver im Weltraum ohne größeren Treibstoffverbrauch bei relativ hohem energetischem Wirkungs-

grad. Es können auch Reparaturstationen im Weltraum, Raumtransporter zur Versorgung der Stationen, Rettungs-Raumflugkörper für den Verkehr von Raumstation zu Raumstation usw. geschaffen werden. Für sie alle gibt es eine Basisstation, die der technischen Überwachung und Betreuung dient. Reparatur-Raumflugkörper werden von den Stationsbasen aus starten und nacheinander die verschiedenen Raumstationen und Raumflugkörper aufsuchen, um Bauteile oder einzelne Geräte auszuwechseln. Sollte eine größere Reparatur notwendig sein, wird der Raumflugkörper zur Basisstation transportiert. Von einer Station aus, die lange Zeit auf einer Parkbahn verweilt, werden auch die von der Erde gestarteten Raumflugkörper auf ihre Umlaufbahnen „verteilt“.

Der Zubringer- und Ablöseverkehr kann ebenfalls über eine Basisstation durch Raumtransporter erfolgen, die im Weltraum lediglich eine Übergabefunktion ausüben und die deshalb von Raumstation zu Raumstation fliegen. Die Basisstation selbst wird eine komplizierte technische Anlage mit einer Masse von mehreren hundert Tonnen sein. Sie verfügt über Vorratsräume, Reparaturwerkstätten, medizinische und andere Einrichtungen für die Betreuung der Raumfahrer. Hier können sie sich unter verhältnismäßig komfortablen Bedingungen erholen. Möglicherweise wird der für einen längeren Aufenthalt im Weltraum erforderliche Schwereersatz auch auf einer Basisstation durch einen künstlich erzeugten Fliehkraftandruck oder durch ein Andruck-Ausgleichstraining mit Hilfe von kleinen Zentrifugen geschaffen. Die von der Erde ankommenden Raumfahrer können auf der Basisstation ein Training zur „Akklimatisierung“ absolvieren, ehe sie auf die speziellen Stationen geschickt werden.

Eine Basisstation wird nicht nur einer künftigen Weltraumnutzung dienen. Sie könnte auch ein Stützpunkt für den Flug des Menschen in den fernen Weltraum sein. Hier werden große Raumflugeinheiten zusammengestellt und mit dem für eine weite Expedition notwendigen Treibstoff versorgt. Von hier aus werden sie dann in den fernen Weltraum starten. Vielleicht werden sie dann von anderen Planeten größere Massen hierher befördern, damit sie in entsprechende Rückführkörper verteilt und zur Erde gebracht werden.

# Wie arbeitet ein Trägersystem?

Ein Kosmodrom ist der Startplatz für Großraketen, insbesondere für Trägerraketen von Raumflugkörpern. Hier befindet sich ein ganzer Komplex von technischen Anlagen, die der Montage und Ausrüstung des Raketen-systems dienen. Diesem Montage- und Ausrüstungsbereich gehören vielfältige Einrichtungen für die Arbeits- und Systemüberprüfungen an. Die Startkontroll- und Flugleit-zentrale hat die Aufgabe, die unmittelbaren Startvorbereitungen, den Startzeitplan, die Startoperationen selbst so-wie den Flugablauf zu überwachen.

Die Gesamtheit dieser technischen Einrichtungen, ein-geschlossen die Trägerrakete und der Raumflugkörper, die Qualität der Kontroll- und Flugführungsoperationen, das alles ist die Grundlage für ein Raumflugunternehmen.

Die Vorbereitungen werden exakt durchgeführt. In spe-ziellen Containern werden die einzelnen Komponenten (Stu-fen, Raumflugkörper u. a.) von den verschiedenen Ferti-gungsstätten zum Kosmodrom gebracht. In der Montage-halle werden sie zusammengebaut. Immer wieder werden Kontrollversuche vorgenommen und alle Systeme auf ihre Funktion hin überprüft. Die Rakete mit dem aufgesetzten Raumflugkörper wird danach auf einer speziellen Beför-derungsanlage (Spezialschienenfahrzeug, Raupenschlepper) zur Startrampe gebracht. Bei einer anderen Technik der Raketenmontage werden die einzelnen Komponenten un-mittelbar auf der Startrampe bzw. Startplattform zusammen-gesetzt. Hier befindet sich dann ein Montageturm mit den entsprechenden Vorrichtungen. An ihm sind auch die Betankungszuleitungen und Kabelverbindungen zur Ra-kete angebracht. Wird ein in einer Montagehalle fertig vorbereitetes Trägersystem eingesetzt, genügt ein einfa-

cher Wartungsturm mit Arbeitsbühnen. Die Betankungs- und Kabelmaste bilden in diesem Fall gesonderte Anlagen.

Zu den unmittelbaren Startvorbereitungen gehört auch die erneute Überprüfung der Funktionsbereitschaft aller Systeme. Das vorher festgelegte Ablaufschema der Startvorbereitungen wird mit Hilfe eines Zeitplans (Count-down) genau eingehalten. Und dann ist schließlich die Rakete fertig zum Start. Alle haben die Startrampe verlassen, und die Operatoren in einem Bunker auf dem Raketenstartgelände starren auf ihre Schaltpulte und Kontrollschirme. Es vergehen die letzten Sekunden: „... drei, zwei, eins, Start!“ Die Fackeln der Raketentriebwerke leuchten auf, es ertönt ein donnerndes Grollen. Die Zündung ist erfolgt.

Nach der Triebwerkszündung gelangen die aus den Düsen der Triebwerke ausströmenden brennenden Gase in den Ablenschacht, durch den der oft bis 100 m lange Antriebsstrahl von den Fundamenten ferngehalten wird. Je nach dem Ausstoß der Triebwerke ist die erzeugte Schubkraft bald genau so groß wie das Gewicht der Rakete, und dann übersteigt sie es. Es erfolgte das „Abheben“ der Rakete von der Startrampe. Der Schub wird größer, und die Rakete beginnt, senkrecht emporzusteigen. Dabei gelangen die glühenden Gase des Antriebsstrahls, die mit einer Geschwindigkeit von einigen tausend Metern je Sekunde ausgestoßen werden, hauptsächlich auf die Startrampe und in den Ablenschacht, so daß die übrigen Starteinrichtungen keinen Schaden nehmen. Mit zunehmender Höhe wird die Einwirkung dieser Gase auf die auf der Erde befindlichen Objekte immer geringer. In einer Höhe von etwa 30 bis 50 m beginnt das allmähliche Einschwenken der Rakete auf die Bahn.

Eine optimale Bahn bietet die Gewähr für den geringsten Energieverbrauch zur Überwindung der Erdanziehung und des atmosphärischen Widerstandes, denn stets wird ein Teil des Antriebsvermögens der Rakete bei Starts von der Erdoberfläche zur Überwindung des Luftwiderstandes und der Erdgravitation verbraucht. Dieses Problem wollen wir hier noch etwas eingehender behandeln. Ideal vom Standpunkt des Energieverbrauchs zur Überwindung der Schwerkraft wäre ein Startschema, bei dem der Raumflugkörper in horizontaler Richtung unmittelbar nach dem Start eine Beschleunigung erfahren würde, die gleich 7,8 km/s beträgt. In diesem Falle wäre der Antriebsbedarf zur

Überwindung der Erdanziehung gleich Null. Aber der Luftwiderstand in der Atmosphäre ist relativ groß, und es ist wohl kaum möglich, eine Trägerrakete zu schaffen, die augenblicklich Minimum-Kreisbahngeschwindigkeit (7,8 km/s) zu entwickeln vermag. Den Energieverbrauch zur Überwindung des atmosphärischen Widerstandes kann man sehr niedrig halten, wenn die Rakete die Atmosphäre langsam und vertikal durchstößt. Jedoch führt eine solche vertikale Antriebsphase zu größeren Energieverlusten bei der Überwindung der irdischen Schwerkraft. Läuft ein Antriebsprogramm nicht planmäßig ab, dann kann der gesamte Treibstoff verbraucht werden, ohne daß sich die Rakete praktisch von der Stelle bewegt.

Bekanntlich beträgt die Energiemenge zur Überwindung des Luftwiderstandes nur etwa 20% der Energie, die zur Überwindung der Erdanziehungskraft benötigt wird. Deshalb ist der Faktor Gravitation die ausschlaggebende Größe.

Die Erfahrungen bei der Projektierung von Trägerraketen zeigten, daß es am günstigsten ist, wenn der Startschub nur das Anderthalbfache des Startgewichts beträgt. Eine zu große Startbeschleunigung (Verhältnis des Startschubes zum Startgewicht) führt zu einer Gewichtszunahme der Rakete infolge der Zunahme des Gewichtes der Triebwerke und des Schubgerüsts der Konstruktion. Sehr geringe Startbeschleunigungen (in der Größenordnung einer Einheit) bedingen wiederum einen hohen Energieaufwand zur Überwindung der Erdanziehung. Ein bestimmter Gewinn könnte erzielt werden, wenn man Triebwerke mit variablem Schub verwendet.

Wenn man den Grad der Belastbarkeit der einzelnen Raketenelemente berücksichtigt, könnte man den Schubaufbau variieren, wobei der Energieaufwand zur Überwindung der Erdanziehung geringer wäre, ohne daß es zu einer besonderen Belastung der Konstruktionsteile käme, die die vom Triebwerk erzeugten Schubkräfte aufnehmen. Aber die Verwendung eines derartigen Triebwerkes, das nicht mit voller Kapazität arbeitet, führt auf einzelnen Bahnabschnitten zu einer Erhöhung seines Gewichtes. Mit anderen Worten, die Triebwerkseinheiten werden in bezug auf ihre Masse auf diesen Abschnitten nicht optimal sein, sondern das Triebwerkssystem wird gleichsam überlastig. Außerdem wird die Triebwerkskonstruktion komplizierter, ebenso die

Steuerungs- und Lenktechnik und das gesamte Schub- und Lenkprogramm.

Die modernen Trägerraketen besitzen Triebwerke mit einem fixierten Schub. Die Schubbeschleunigung und damit auch die Belastung der gesamten Konstruktion wächst im Laufe des Aufstiegs, da infolge des Treibstoffverbrauchs die Rakete „erleichtert“ wird und die Erdgravitation ständig abnimmt. Für solche Trägerraketen ist deshalb vom Standpunkt des Antriebsbedarfs aus ein solches Startschema optimal, bei dem sich der Programmwinkel (Anstellwinkel), der Neigungswinkel der Raketenlängsachse gegen die Horizontale, während des Aufstiegs sich von einer endlichen Größe zur anderen stetig verändert. Der Wert dieser Größe, die sich aus dem Winkel der Bahntangente im jeweiligen Raketenort gegen die Horizontale und dem jeweiligen Anstellwinkel der Raketenlängsachse gegen die Bahntangente zusammensetzt, hängt von der Art der Rakete und den Parametern der Bahn ab, auf die der Satellit einschwenken soll. Bei einem solchen Antriebsprogramm der Rakete strebt man gleichsam danach, daß auf jedem Bahnabschnitt die Erdanziehung durch die Zentrifugalbeschleunigung kompensiert wird. Und je größer die Geschwindigkeit wird, um so vollständiger wird diese Kompensierung, bis schließlich beim Erreichen der Kreisbahngeschwindigkeit der Energieaufwand zur Überwindung der Erdanziehung gleich Null wird.

In der ersten Flugphase, wenn die Schubbeschleunigung noch gering ist, ist die Antriebsleistung zur Überwindung der Erdanziehung beträchtlich, und man muß den größten Teil des Energievorrats der Rakete zu ihrer Kompensierung verwenden, indem man den Winkel der Bahntangente gegen die Horizontale möglichst groß hält. Im weiteren Verlauf nähern sich die Schübe des Triebwerkes in ihrer Richtung mehr und mehr den Ebenen des örtlichen Horizontes, d. h. der Tangentialebene der Erdoberfläche am jeweiligen Raketenort. Die Schallmauer muß die Rakete in einem Anstellwinkel durchbrechen, der gleich Null ist. Hat der Winkel zwischen der Raketenlängsachse gegen die Bahntangente diesen Wert erreicht, sind die besten Steuerungsbedingungen in diesem kritischen Moment des Fluges gewährleistet. Dadurch kann die Rakete möglichst schnell in die optimale Flugbahn einschwenken. Die Schwierigkeiten beim Durchqueren der Schallmauer ergeben sich nämlich aus einem

plötzlichen, sprungartigen Anwachsen der aerodynamischen Kräfte, die auf die einzelnen Teile und die gesamte Rakete bei der Annäherung an die Schallgeschwindigkeit wirken. Diese Geschwindigkeit beträgt ungefähr 340 m/s.

Den Mechanismus dieser Erscheinung kann man in vereinfachter Form etwa so erklären: In der Luft breiten sich Druckstörungen mit Schallgeschwindigkeit aus. Bewegt sich ein Körper mit einer geringeren Geschwindigkeit, so entstehen Zonen von erhöhten und erniedrigten Druckes, die sich nach allen Seiten in der Art von Schwingungen ausbreiten. Die Luftteilchen sind also noch in der Lage, dem Körper nach allen Seiten auszuweichen, ihn also auch noch zu überholen. Sie „formieren“ gleichsam ein Luftmilieu, indem sie es auf die leichteste Umströmung des sich nähernden Flugkörpers „vorbereiten“. Bewegt sich der Körper jedoch mit Schallgeschwindigkeit oder noch schneller, so erfolgt keine solche „Formierung“ des auftreffenden Luftstromes, weil die Luftteilchen dem Körper nicht mehr rechtzeitig ausweichen können. Sie können ihn auf keinen Fall mehr überholen, denn er bewegt sich mit einer Geschwindigkeit fort, die gleich oder größer als die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser Druckstörungen ist. Und jetzt trifft der Körper gleichsam auf eine unvorbereitete Luftmasse. Vor dem Körper bildet sich ein sogenannter Verdichtungsstoß, ein Gebiet mit erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur. Dieser Stoß kann verschiedene Formen besitzen: Bei einem runden Körper ist er kuppelförmig, bei einem spitzen Körper jedoch hat er eine konische Form. Der auf die Rakete auftreffende Luftstrom wird gleichsam stoßartig verdichtet. Es erhöhen sich seine Temperatur und seine Turbulenz. Eine solche „stoßartige“ Wechselwirkung mit der Luft ruft eine Erhöhung des Luftwiderstandes gegen den sich bewegenden Körper hervor.

Das kann man sich wiederum vereinfacht etwa so vorstellen: Bewegt sich ein Körper durch die Luft mit einer Geschwindigkeit, die kleiner als die Schallgeschwindigkeit ist, so braucht man eine bestimmte Energiemenge zur Überwindung des Luftwiderstandes und zur Erzeugung der Gebiete mit erhöhtem und erniedrigtem Druck um den Körper herum. Bei Überschallgeschwindigkeit muß man sehr viel zusätzliche Energie für die „Bildung“ des Verdichtungsstoßes mit seinen hohen Druckwerten und der starken Werkstoffwärmung sowie für die Durchquerung des von ihm

„bearbeiteten“ Luftmilieus verwenden. Ein Anstellwinkel in einer Größenordnung von Null gewährleistet jedoch ein symmetrisches Umströmen der Rakete. Die symmetrische Raketenform fördert außerdem die Bildung einer gleichmäßig verlaufenden Stoßfront beim Erreichen der Schallgeschwindigkeit und folglich auch von symmetrischen aerodynamischen Kräften. Das vereinfacht die Aufgabe des Steuerungssystems der Rakete und fördert ihre Bahnstabilität. Hat die Rakete einen großen Anstellwinkel, dann ist die Symmetrie der Umströmung gestört, und es kann vorkommen, daß die Elemente des Steuerungssystems nicht in der Lage sind, die Störfaktoren zu kompensieren, so daß sich die Rakete um ihren Schwerpunkt zu drehen beginnt und in eine instabile Fluglage gerät.

Noch kritischer ist die Phase der Abtrennung der einzelnen Raketenstufen, wenn deren Brennperiode beendet ist. Bei dieser komplizierten Operation werden die mechanischen Verbindungen zwischen einzelnen Teilen des Trägersystems gelöst. In einer Höhe von 50 km kann auch die aerodynamische Verkleidung (Nasenkegel), die den Raumflugkörper umgibt, abgestoßen werden. Nicht mehr benötigt werden auch Hilfskonstruktionen, die beim Flug durch die dichteren Schichten der Atmosphäre die entsprechenden Aggregate vor zu starker Erhitzung schützten. Sie werden ebenfalls abgestoßen. Wünschenswert sind hierbei kleine aerodynamische Kräfte und eine bestimmte räumliche Ausrichtung der Rakete, damit es während der Abtrennung nicht zu einem Zusammenstoß der abgetrennten Teile mit dem Hauptteil der Trägerrakete kommt, der mit dem Raumflugkörper den Flug fortsetzt. Deshalb erfolgt die Abtrennung der einzelnen Raketenstufen in einer Höhe von einigen Dutzend Kilometern, wo die atmosphärische Dichte nur noch gering ist. Möglich sind verschiedene Trennungsschemata, die jeweils von den Besonderheiten der Konstruktion der Trägerrakete abhängen. Bei einer aufeinanderfolgenden Vereinigung der einzelnen Stufen, die gleichsam hintereinandergeschaltet werden, ist der Trennungsmechanismus relativ einfach. Hier wird die unterste Raketenstufe von derjenigen, die sich über ihr befindet, abgestoßen, wobei die Verbindungsbolzen gelöst oder die Verschlüsse geöffnet werden. Danach erteilt man einer von ihnen oder beiden einen Impuls in entgegengesetzter Richtung entlang der Raketenachse, so daß eine Trennung erfolgt.

Ein solcher Impuls kann z. B. durch einen Federmechanismus gegeben werden.

Möglich sind auch andere Methoden des Stufentrennung. Beispielsweise kann man die untere Stufe von der oberen trennen, wenn man das Triebwerk der einen aus- und das der anderen gleichzeitig einschaltet. Das Triebwerk der oberen Stufe kann auch vor der „Abstoßung“ der unteren Stufe eingeschaltet werden. Das wäre die sogenannte „heiße“ Trennung. Sie ist sehr zuverlässig und durch die ununterbrochene Einwirkung der steuernden Kräfte auf die Rakete bei arbeitenden Triebwerken auch gut steuerbar. Das Hintereinanderschalten der Raketentufen hat aber einen nicht zu übersehenden Nachteil: Die Triebwerke der oberen Stufe arbeiten nicht, wenn die der unteren Stufen eingeschaltet sind. Deshalb stellen sie für die unteren Stufen gleichsam einen Ballast dar. So ist auf den ersten Abschnitten des Fluges nicht die volle Ausnutzung aller Konstruktionselemente der Trägerrakete gewährleistet. Von diesem Nachteil frei ist das Prinzip der Triebwerksbündelung, bei der jede Triebwerkeinheit in allen Flugphasen arbeiten kann. Ist ein Teil des Treibstoffes verbraucht, werden die leeren Behälter einfach abgeworfen. Zusammen mit den Behältern werden gewöhnlich auch die fest mit ihnen verbundenen Triebwerksvorrichtungen abgetrennt. Der übrige Teil der Trägerrakete besitzt große Behälter, in denen sich noch eine ausreichende Treibstoffmenge für den Weiterflug befindet. Vom Standpunkt der Konstruktion wäre es günstig, die untere Fläche der Raketentufen auf einer Ebene zu halten, um durch diese Bündelung eine Art „Ladestreifen“ zu schaffen. Aber das vergrößert die Breitenmaße der Trägerrakete und erschwert außerdem die Stufentrennung, da man den abgetrennten Teil nach der Seite und nach unten wegführen muß, damit es nicht zu Kollisionen kommt. Das Steuerungssystem liegt nämlich in der Regel hauptsächlich in der letzten Raketentstufe. Deshalb wird der abgetrennte Teil steuerungslos, und er kann mit großer Geschwindigkeit zu rotieren beginnen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß er dabei mit seinen Enden an den Hauptteil stößt und diesen beschädigt.

Wird ein Trägersystem so ausgelegt, daß ein Abstoßen der ausgebrannten Triebwerke mit den entsprechenden Stufen nach hinten bzw. nach unten vorgesehen ist, so erhöht sich die Eigenmasse der Konstruktion beträchtlich. Ein Ab-

stoßen der abgetrennten Teile nach der Seite ist wesentlich einfacher.

Es gibt Antriebssysteme, die aus zwei, drei, vier oder mehr Stufen bestehen. Die Zahl der Raketenstufen hängt im allgemeinen von der Art der Bahn ab, auf die der Raumflugkörper einschwenken muß. Wenn z.B. eine niedrige kreisförmige Bahn erforderlich ist, dann kann diese Aufgabe ohne weiteres von einer zweistufigen Rakete erfüllt werden. Diese ist von der Konstruktion her einfach, zuverlässig und billig. Für kompliziertere Bahnen, beispielsweise für hohe Kreisbahnen, sind dreistufige oder auch komplizierte zweistufige Raketen notwendig. Soll ein Satellit — sagen wir — auf eine Kreisbahn in einer Höhe von 1000 km einschwenken und beträgt die Länge des aktiven Flugabschnittes einer zweistufigen Rakete insgesamt 700 km, dann wird eine solche Trägerrakete für die Lösung dieser Aufgabe ungeeignet sein. In diesem Falle kann man den Raumflugkörper nicht einmal auf die optimale Bahn bringen, weil das Antriebsvermögen nicht für die erforderliche Bahnhöhe ausreicht. Zur Lösung dieser Aufgabe kann man den aktiven Flugabschnitt dadurch „verlängern“, daß man bei der Arbeit des Triebwerkes der zweiten Stufe eine Art „Brücke“ ausnutzt. In diesem Falle bringt man den Satelliten zunächst auf eine Übergangsbahn und schaltet dann das Triebwerk der zweiten Stufe für kurze Zeit ein. Nach diesem Impuls vollführen beide Stufen zusammen einen passiven Flug auf einer elliptischen Bahn, deren Apogäum mit der Höhe der erforderlichen Bahn übereinstimmen muß. Ist dieser Punkt erreicht, wird erneut das Triebwerk der zweiten Stufe eingeschaltet. Man erteilt dem Satelliten einen weiteren Impuls, so daß er auf die gewünschte Bahn „einschwenkt“. Eine solche doppelte „Schaltung“ erfordert eine etwas größere Kompliziertheit der Triebwerkseinrichtungen der zweiten Stufe und des Steuerungssystems. Aber insgesamt gesehen ist diese Methode des Aufstiegs eines Raumflugkörpers für Satelliten mittleren Gewichts (einiger hundert Kilogramm) und bei einer Bahnhöhe um 1000 km zweckmäßig. Mit größerer Bahnhöhe und höherer Eigenmasse vergrößern sich auch die Startgewichte der zweistufigen Trägerraketen wesentlich, und es ist hier ökonomisch günstiger, zu einer komplizierteren Raketenkonstruktion überzugehen. Man hängt beispielsweise noch eine Raketenstufe an und erreicht dadurch ein günstigeres Schubverhältnis (relative Abnahme

des Startgewichts). Eine dreistufige Trägerrakete bietet große Möglichkeiten für den „Aufbau“ von Bahnen im erdnahen Raum, besonders dann, wenn die letzte Stufe eine mehrfache Zündung zuläßt. Mit ihrer Hilfe können stark elliptische Bahnen, deren Perigäum und Apogäum in bezug auf die Erdoberfläche (Apsiden) beliebig angelegt sind, geschaffen werden. Zu diesem Zweck bringen die zwei ersten Stufen die dritte mit einem Satelliten auf eine Kreisbahn, deren Höhe dem Peripunkt entspricht. Danach beginnt ihr Flug auf der Kreisbahn bis zu dem Punkt, an dem das Perigäum der gewünschten Bahn liegen soll. An diesem Ort wird das Triebwerk der dritten Stufe gezündet. Der so beschleunigte Satellit erreicht eine Geschwindigkeit, die für seine Bewegung auf der elliptischen Bahn mit einer vorgegebenen Apogäumshöhe notwendig ist.

Die dreistufige Rakete kann zur Schaffung einer stationären Bahn verwendet werden. Am einfachsten läßt sich diese Aufgabe beim Start auf einem Punkt des Äquators lösen. In diesem Falle kann man auf die beste Art und Weise die Rotationsenergie der Erde um ihre eigene Achse ausnutzen. Die Rotation der Erde bedingt eine lineare Geschwindigkeit ihrer Oberfläche. Sie ist an den Polen gleich Null, und je weiter man sich dem Äquator nähert, um so größer wird sie (je nach der Vergrößerung der Entfernung von der Rotationsachse bis zur Erdoberfläche), und auf dem Äquator selbst erreicht sie ein Maximum von 465 m/s. Diese Geschwindigkeit erhält man quasi umsonst bei einem Satellitenstart vom Äquator aus in Richtung der Erdrotation. Auf diese Weise kann man das Startgewicht des Satelliten beträchtlich erhöhen. Diese Möglichkeit verringert sich, wenn der Start in höheren Breiten erfolgt, wo die lineare Geschwindigkeit der Bewegung der Erdoberfläche abnimmt. Bei einem Start von einem der Pole wäre sie völlig aufgehoben, sie wäre hier gleich Null. Natürlich sind auch Starts von Satelliten in Richtungen, die nicht mit der Richtung der Erdrotation übereinstimmen, weniger günstig, und es versteht sich von selbst, daß ein Start in völlig der Erdrotation entgegengesetzter Richtung am ungünstigsten wäre.

Damit man sich die Bedeutung der Erdrotation für das Einbringen von Satelliten auf ihre Bahnen besser vorstellen kann, soll hier ein Idealfall dargestellt werden: Rotierte die Erde mit einer Geschwindigkeit, die etwa das Achtzehn-

fache ihrer tatsächlichen beträgt, so erreichte die lineare Geschwindigkeit der Erdoberfläche am Äquator 7900 m/s, was um 10 m/s weniger wäre als die Minimum-Kreisbahngeschwindigkeit. Wenn man von geophysikalischen Problemen abstrahiert, brauchte man dann irgendeinem Körper auf dem Äquator in Richtung der Erdrotation nur einen Impuls bis zu 10 m/s zu erteilen, damit er zum Erdtrabanten werden würde, denn dazu bedarf es nur einer ausreichenden Geschwindigkeit in bezug auf das Gravitationszentrum. Unwesentlich ist dabei, wie die Geschwindigkeit erreicht wurde. In dieser idealisierten Situation könnte auch ein Mensch auf eine erdnahe Bahn gelangen, wenn er in der Lage wäre, in äquatorialer Richtung mit einer Geschwindigkeit von 10 m/s zu laufen. Bewegte er sich jedoch in einer der Erdrotation entgegengesetzten Richtung, dann brauchte er für das Einschwenken auf eine Umlaufbahn eine Geschwindigkeit von  $7900 + 7910 = 15\ 810$  m/s.

Außerdem wird beim Start vom Äquator in Richtung der Erdrotation die Bahnebene mit der Ebene der stationären Bahn zusammenfallen, weshalb keine zusätzlichen Korrekturen notwendig sind. Beim Start in höheren Breiten ist eine solche Korrektur erforderlich, und die Größe des entsprechenden Impulses kann sehr beträchtlich sein: Hunderte und Tausende von Metern je Sekunde in Abhängigkeit von der Neigung der Ausgangsbahn. Diese Neigung kann der Größe nach nicht kleiner als die geographische Breite des Startortes sein. Dabei ist beim Start von Punkten entlang der geographischen Breite eine kleine Neigung gewährleistet. Bei der Verlegung des Startortes beispielsweise auf den 30. Breitengrad ist die Bahnneigung nicht kleiner als 30 Grad und auf dem 45. Breitengrad nicht kleiner als 45 Grad usw. Aus dieser Tatsache ergeben sich auch die Schwierigkeiten bei der Schaffung von stationären Bahnen für Raumflugkörper, die in höheren Breiten starten.

Trägerraketen mit vier oder mehr Stufen verwendet man für interplanetare Flüge. Hierbei ist ja nicht nur das Einschwenken auf eine Flugbahn zu einem Planeten erforderlich, sondern es müssen in seiner Nähe auch Bremsmanöver vollzogen werden. Außerdem sind mit einem derartigen Raumflugunternehmen der Übergang auf eine planetennahe Umlaufbahn, die Einleitung eines Bremsmanövers und die Landung auf der Oberfläche des Planeten verbunden.

Der Lagestabilisierung und Lagesteuerung während des Aufstiegs dienen spezielle Lenksysteme. Steuerungsanlagen sorgen für den dem Flugprogramm entsprechenden Ablauf der Schubentwicklung, z. B. für die Regulierung des Treibstoffdurchsatzes oder den richtigen Düsenhalsquerschnitt. Auf diese Weise wird die notwendige Genauigkeit der Flugführung gewährleistet.

Ist das Triebwerk abgeschaltet, so erfolgt einige Sekunden danach die Abtrennung des Raumflugkörpers von der Trägerrakete. Dabei werden die mechanischen Verbindungen zwischen ihnen gelöst. Dem Flugkörper wird durch Hilfstriebwerke eine weitere Beschleunigung erteilt, die ihn von der Rakete hinwegführt. Er befindet sich nun auf seiner Freiflugbahn.

Der Flug des Trägersystems wird ununterbrochen beobachtet. Dafür verwendet man optische Systeme und Funksysteme. Die optischen Geräte, vor allem Meßtheodoliten sowie Spezialekameras, gestatten es, den Bahnverlauf in der Aufstiegsphase visuell zu beurteilen. Sie sind allerdings sichtabhängig. Die Funkverfahren ermöglichen die Messung des Endabschnittes der Aufstiegsbahn, die Einschätzung der Flugbahn vor dem Eintritt in die astronautische Freiflugbahn. Ein telemetrisches System, das Meßwertgeber und Meßwertsender umfaßt, übermittelt schließlich Informationen über die Flugbahn, also Meßwerte an die Bodenstationen.

Nach der Abtrennung von der Trägerrakete muß eine Verminderung des Drehimpulses des Raumflugkörpers erfolgen. Außerdem müssen z. B. die Solarzellenausleger entfaltet werden.

# Bahnbestimmung und Flugführung

Ein Satellit auf einer Freiflugbahn muß von der Erde aus ständig aufmerksam beobachtet werden. Es müssen Maßnahmen ergriffen werden, um ihn nicht zu „verlieren“. Die Position des betreffenden Körpers relativ zur Erde muß von Anfang an für jeden Zeitpunkt bekannt sein. Wäre das nicht gewährleistet, müßte eine besondere und sicherlich sehr aufwendige Erkundung im gesamten erdnahen Raum organisiert werden.

Die Ausgangsinformation für die Bahnverfolgung sind die berechneten Werte der Bahnelemente vom Augenblick der Einschaltung des Triebwerks an sowie die Daten über die wahrscheinlichen Abweichungen. Diese Abweichungen definieren eine Art um die Erde gespannten Schlauches, ein „Rohr“, in dem die wahre Umlaufbahn des Satelliten verlaufen kann.

Die zentrale Bahn in diesem Schlauch oder Rohr entspricht dem berechneten Antriebsprogramm. Der Durchmesser dieses Schlauches ist von der Größe der wahrscheinlichen Abweichungen der anfänglichen Bahnelemente vom festgelegten Bahnverlauf abhängig; der Querschnitt ist um so größer, je größer der Wert für diese Wahrscheinlichkeit ist.

Würden alle Systeme der Trägerrakete ideal (d. h. fehlerlos) funktionieren und stimmten alle ihre Bewegungen im Antriebsabschnitt mit den Werten überein, die den Berechnungen zugrunde lagen, dann würde der Satellit tatsächlich genau an den errechneten Punkt im Weltraum gebracht werden, ohne daß Richtung und Geschwindigkeit von den vorausberechneten Werten im geringsten abwichen. In der Praxis gibt es jedoch derartig ideale Abläufe nicht. Technische Systeme arbeiten immer mit Fehlern, und der Bahnverlauf eines Raumflugkörpers unterscheidet sich stets von

den im voraus berechneten Werten. Wichtig ist die Frage, wie groß diese Fehler bzw. Unterschiede sind. Die Antwort darauf wird von mehreren Faktoren beeinflusst: Wie vollkommen ist die eingesetzte Technik? Wie weit ist die Umgebung erkundet, in die der Raumflugkörper vorstoßen soll? Wie groß ist die erforderliche Genauigkeit, mit der der Satellit auf seine Bahn gebracht werden soll? Das aber hängt in der Hauptsache von der Zweckbestimmung des Satelliten ab. Es gibt Aufgaben, die ein extrem genaues Erreichen der Sollbahn erfordern, und in diesem Falle werden Trägerraketen benutzt, die mit den besten Steuerungssystemen ausgerüstet sind. Auch möglichst vollständige Informationen über die Umgebung (d. h. Informationen über die Atmosphäre und das Schwerfeld) müssen vorhanden sein. Andere Aufgaben erfordern wiederum keine allzu große Genauigkeit, und dann wird vieles einfacher: Es werden weniger genaue Steuerungssysteme eingesetzt, und auch die Ausgangsinformation zur Berechnung der Standardbahn ist weniger aufwendig und umständlich.

Die Abweichungen in den Koordinaten bzw. in der Geschwindigkeit am Ende der Antriebsperiode erreichen für moderne Trägerraketen Werte in der Größenordnung von einigen Dutzend Kilometern bzw. Metern je Sekunde.

Gewiß kommt es vor, daß die Abweichungen in den Koordinaten nur wenige Kilometer bzw. in den Geschwindigkeitskomponenten nur wenige Meter pro Sekunde betragen, und noch seltener sind Meßdaten, die darunter liegen. Bei den meisten Starts treten größere Abweichungen auf. Insgesamt gesehen kann man folgendes sagen: Jede Trägerrakete weist einen bestimmten Grad technischer Vollkommenheit auf, der unter anderem auch die Genauigkeit beeinflusst, mit der der Satellit in die Umlaufbahn gelangt. Die Abweichungen der Bahnelemente am Ende der Aufstiegsbahn unterscheiden sich jedesmal voneinander. In diesen Unterschieden lassen sich Gesetzmäßigkeiten feststellen, die etwa wie folgt dargestellt werden können: Von 100 Starts zeigten 20 Abweichungen, die unter 1 km in den Koordinaten und unter 1 m/s in der Geschwindigkeit lagen; 50 Starts zeigten Abweichungen unter 5 km bzw. 3 m/s... usw. Anders ausgedrückt läßt sich auch sagen, daß die Punkte am Ende der Aufstiegsbahn den Raum um den berechneten Punkt gleichmäßig „ausfüllen“ (so daß eine Art „Schlauchquerschnitt“ entsteht) und daß auch die Abweichungen in der Geschwin-

digkeit relativ gleichförmig sind. Solche stochastischen Gesetzmäßigkeiten — sofern sie vorher bekannt sind — erlauben es, die größtmöglichen Abweichungen (oder Streuungen) der Bahnelemente bei Brennschluß der jeweiligen Trägerrakete zu bestimmen und das wahrscheinliche „Bahnrohr“ zu errechnen, d. h. eine Information darüber zu bekommen, wieviele Bahnen (bzw. welcher prozentuale Anteil davon) beispielsweise in einem Rohr mit dem Durchmesser 1 km verlaufen werden, wieviele in einem Rohr mit dem Durchmesser 3 km, 5 km. usw. So erhält man im voraus eine relativ vollständige Vorstellung von den möglichen Umlaufbahnen eines Satelliten.

Der wahrscheinliche Verlauf der Freiflugbahn nach Brennschluß kann auf der Grundlage der Kenndaten über die Wahrscheinlichkeit der Funktion der einzelnen Aggregate der Trägerrakete sowie unter Berücksichtigung der wahrscheinlichen Fertigungsgenauigkeit bei der Ausführung der Konstruktion und unter Einbeziehung der wahrscheinlichen äußeren Faktoren, die die Freiflugbahn beeinflussen, berechnet werden. Diese Berechnung ist sehr kompliziert, doch ihr Sinn ist einfach: Der Flug der Trägerrakete im Antriebsabschnitt wird in Computern mehrfach durch Integrieren der Differentialgleichungen für die Bewegung berechnet. Auf diese Weise werden die Aufstiegsbahn und die Bahn­daten im Brennschlußpunkt bestimmt. Jede Berechnung erfolgt mit technischen Kenndaten, die sich von den entsprechenden Nennwerten der jeweiligen Trägerrakete geringfügig unterscheiden. Diese Korrekturwerte werden jedesmal stochastisch auf der Grundlage der Wahrscheinlichkeits­kenndaten für die Trägerrakete ermittelt. Im Grunde genommen werden dabei gewissermaßen Starts von Trägerraketen — mit ihren konkreten Fehlern — imitiert. Danach werden die errechneten Werte für die Bahninjektion, also für den Eintritt in die astronautische Freiflugbahn, zur Grundlage für die Bestimmung der wahrscheinlichen Genauigkeit, mit der der Satellit auf seine Bahn gebracht wird.

Eine Modellierung dieser Art erlaubt es, die möglichen Aufenthaltsbereiche des Satelliten auf seiner Bahn, sein bahnmechanisches Verhalten, im voraus zu berechnen. Nach diesen Angaben erfolgt das Ausrichten der Antennen sowie der optischen Geräte in den Bodenstationen und die Festlegung der Anfangs- und Endzeiten für die Bahnvermessung.

Von den Bodenstationen aus werden die Parameter der Relativbewegung des Satelliten gegenüber den Bodenstationen an einigen Dutzend, gelegentlich auch an einigen 100 Bahnpunkten ermittelt. Die Messungen erfolgen in unterschiedlichen Zeitintervallen. Dabei können die unterschiedlichsten Größen gemessen werden: Entfernung, Änderungsgeschwindigkeit der Entfernung, Orientierungswinkel der Peilung „Bodenstation — Satellit“ sowie die Änderungsgeschwindigkeit dieser Winkel. Die Messung mehrerer Größen gleichzeitig ist möglich.

Diese Messungen dienen der Bahnverfolgung des Satelliten, genauer: der Bestimmung des wahren Bahnverlaufs, der sich auf Grund verschiedener Störfaktoren von der idealen elliptischen Bahn unterscheidet. Zu diesen Störungen gehören die Asymmetrie des zentralen Gravitationsfeldes, Abweichungen von der Normalschwere (Schwerkraftanomalien), die Bremswirkung der Hochatmosphäre usw. Aus diesem Grund können für einen Sputnik die Bahnelemente streng genommen nur für einen bestimmten Zeitpunkt angegeben werden. Zu einem anderen Zeitpunkt sind es bereits andere Bahnelemente, da der Satellit Störungen ausgesetzt ist und sich seine Bahn stets etwas verändert.

Wenn man es mit einer elliptischen oder kreisförmigen Bahn zu tun hat, kann man aus wenigen Parametern die Position des Satelliten für jeden beliebigen Zeitpunkt angeben. Diese Möglichkeit wird bei allen Untersuchungen zur Projektierung von Raumfahrtunternehmen sowie bei Berechnungen, die der Abschätzung der groben Festlegung des Flugablaufs z. B. im Rahmen des Missionsprofils dienen, in großem Umfang ausgenutzt. Sobald es jedoch an die „Feinuntersuchung“ des tatsächlichen Bahnverlaufs geht, muß man auf eine derartige Vereinfachung verzichten.

Die tatsächliche Flugbahn ist für jeden Zeitpunkt durch sechs Daten definiert: durch drei Ortskoordinaten und drei Geschwindigkeitskomponenten. Diese sechs Größen bilden die Maßzahlen oder Koordinaten eines Vektors, einer „gerichteten Größe“. Von einer Bodenstation aus können derartige Satellitenvektoren im günstigsten Fall an den Bahnpunkten bestimmt werden, an denen die Messung der Parameter für die Relativbewegung erfolgte. Das wäre dann der Fall, wenn die Station gleichzeitig sechs verschiedene Größen mißt, beispielsweise die Satellitenentfernung, die Änderungsgeschwindigkeit der Entfernung, die Peilwinkel

„Bodenstation—Satellit“ sowie die Änderungsgeschwindigkeit dieser Winkel. Aus diesen Messungen können durch einfache geometrische Beziehungen und durch Beziehungen der theoretischen Mechanik die Komponenten des gesuchten Vektors erhalten werden. Aber selbst in diesem Fall ist es zweckmäßig, alle diese Vektoren auf einen Vektor zu „reduzieren“. Der Grund dafür ist, daß alle Messungen, die von einer Bodenstation aus vorgenommen werden, mit Fehlern behaftet sind. Sie werden durch verschiedene Ursachen ausgelöst: Ungenauigkeiten in der Herstellung einzelner Geräte, Eichfehler usw. Deshalb werden die Elemente jedes Vektors nur ungenau bestimmt. Und gerade an dieser Stelle muß man die bemerkenswerte Gesetzmäßigkeit von Fehlern benutzen: Handelt es sich um zufällige Fehler und wurden viele Messungen ausgeführt, dann kann man sie so „bearbeiten“, daß sich ihr Einfluß merklich vermindert. Je mehr Messungen wir haben, um so genauer läßt sich der genaue Wert der Meßgröße ermitteln. Wenn man also alle Messungen auf einen Zeitpunkt „bezieht“, dann kann man eine Präzisierung des Vektors der Satellitenbewegung erreichen.

Eine derartige „Reduzierung“ der Meßergebnisse über die gesamte Meßstrecke auf nur einen Punkt kann ausgeführt werden, wenn man ihr eine Hypothese über die im Verlauf der Meßstrecke auf die Satellitenbahn einwirkenden äußeren Kräfte zugrunde legt. Die äußeren Kräfte sind die Schwerkraft und der Widerstand des Mediums (Atmosphäre, Magnetfeld). Und nun zu den Hypothesen: Das Schwerefeld soll beispielsweise zentral und der Widerstand der Atmosphäre gleich Null sein. Oder das Schwerefeld ist nicht zentral und entspricht in seiner Form einem Rotationsellipsoid. Die Dichte der Atmosphäre folgt einer gegebenen Änderungsbeziehung, abhängig von der Höhe usw.; die Auswahl wird entsprechend der geforderten Berechnungsgenauigkeit getroffen.

So kann man mit allen ermittelten Vektoren verfahren und sie auf einen einzigen Zeitpunkt „reduzieren“, wonach die statistische Bearbeitung jeder der sechs Komponenten aller Vektoren keine Schwierigkeiten bereitet. Der erhaltene Vektor definiert dann die Anfangsbedingungen für die Bewegungen längs der wahrscheinlichsten Umlaufbahn. Berechnet man außerdem die Wahrscheinlichkeitskenndaten der Vektorelemente und ihre Wahrscheinlichkeitsbeziehun-

gen untereinander (die Korrelationsmatrix) anhand der Wahrscheinlichkeitskennndaten der Messungen sowie der Bahnelemente für den Zeitpunkt des Übergangs in die Umlaufbahn, dann kann man auch die Parameter der rohr- bzw. schlauchförmigen Bahn ermitteln, die diesem Vektor entsprechen.

In den Fällen, in denen nicht alle sechs Größen gemessen werden können, die die Relativbewegung von Satelliten und Bodenstation charakterisieren, kompliziert sich die Situation etwas. Allgemein gesprochen genügt es, zur Ermittlung aller sechs Komponenten eines Bewegungsvektors sechs Größen an verschiedenen Punkten zu messen.

Die Vergrößerung der Anzahl von Messungen auf mehr als sechs erlaubt es, den Einfluß zufälliger Fehler zu vermindern.

Die so ermittelten Elemente der Satellitenbahn für nur einen Punkt erlauben die Berechnung der Satellitenbahn vor und nach diesem Punkt. Das „Bahnrohr“ erleidet dann am eigentlichen Meßpunkt eine Einschnürung und erweitert sich wieder in dem Maße, wie man sich vom Meßpunkt entfernt. Wiederholt man die Messungen jedoch bei jedem Durchgang des Sputniks im Wirkungsbereich dieses Punktes, dann erhält man viele derartige Einschnürungspunkte.

Um die Größe des „Rohres“ der Satellitenbahnen zu vermindern, werden mehrere Bodenstationen für die Bahnverfolgung eingesetzt. Dies vergrößert die Anzahl von Einschnürungspunkten und verkürzt die Intervalle zwischen diesen, so daß eine wesentliche erneute Erweiterung des Rohres nicht zugelassen wird. In diesem Fall wird die Bahn gewissermaßen in eine große Anzahl von Punkten „eingehängt“, und ihre „Starrheit“ nimmt zu. Bildlich gesprochen: die Bahn wird als Spirale an mehreren Punkten fixiert. Ist die Zahl dieser Punkte groß, dann hat das System eine größere Starrheit als bei einer Fixierung dieser Spirale an nur wenigen Punkten, wie dies bei nur einer Bodenstation der Fall wäre.

Beim Einsatz mehrerer Bodenstationen ergibt sich ein weiterer Vorzug: Wir erhalten die Möglichkeit, den Einfluß systematischer Fehler innerhalb der Meßmittel, also von Fehlern bei der Bestimmung der Parameter für die Relativbewegung des Satelliten, zu reduzieren. Die Ursachen für die Entstehung derartiger Fehler können sehr unterschiedlich sein: Verschiebung der Nullage (des Bezugspunktes)

der Meßwerte, Ungenauigkeiten in der Ortsbestimmung der Bodenstation usw.

Fehler dieser Art sind besonders unerwünscht, da sie sich auch durch eine größere Anzahl von Messungen nicht kompensieren. Eine derartige Kompensation wird jedoch dann möglich, wenn die Anzahl der Bodenstationen zunimmt. In diesem Fall beginnen sich die systematischen Fehler jeder einzelnen Bodenstation bei gemeinsamer Verarbeitung der Information zur Bestimmung der Bahn wie zufällige Fehler „zu verhalten“. In der Tat führen die Fehler einer Bodenstation zu Abweichungen der Bahnelemente in der einen Richtung, die Fehler der nächsten Bodenstation dagegen zu entsprechenden Abweichungen in der anderen Richtung, und dadurch erfolgt gewissermaßen ihre gegenseitige Kompensation.

Günstig ist es, wenn die Bodenstationen gleichmäßig längs der Umlaufbahn verteilt sind. Dabei erhält man eine gleichmäßigere Genauigkeitsverteilung über die gesamte Umlaufbahn. Ordnet man alle Bodenstationen dagegen auf der gleichen geographischen Breite an, dann wird der Bahnabschnitt, der die geringste Entfernung zu den Bodenstationen aufweist, am besten bestimmt, während die Bestimmung der weiter entfernten Teile schlechter ausfällt.

Die Meßinformation wird von der Bodenstation aus über Nachrichtenkanäle an das Rechenzentrum übertragen. Hier erfolgt ihre Verarbeitung mittels EDVA, und im Ergebnis erhält man die Bahnelemente. Außerdem wird hier auch die wahrscheinliche zukünftige Bewegung des Satelliten errechnet, d. h., wir erhalten eine Prognose des Bahnverlaufs. Als Ausgangsinformation dienen die Daten über die Anfangselemente der Satellitenbahn sowie Angaben über das Schwerfeld und den Widerstand der Atmosphäre. Werden nur die Formeln für eine elliptische oder kreisförmige Bewegung verwendet bzw. Nomogramme und Kurven auf der Grundlage dieser Formeln, so ergibt sich eine nur ungefähre Prognose. Solche Hochrechnungen werden fast täglich in jenen Fällen ausgeführt, in denen die qualitative Seite der Bewegung untersucht (Bahntyp, Luftwiderstand, Veränderungen der Umlaufgeschwindigkeit usw.) oder mögliche Beobachtungsverhältnisse von bestimmten Bodenstationen aus (oder bestimmter Gebiete auf der Erde vom Sputnik aus) für verschiedene in der Zukunft liegende Zeitpunkte „über den Daumen gepeilt“ werden.

Genauere Angaben über den Bahnverlauf in der unmittelbar bevorstehenden Zeit erhält man durch das Lösen der Differentialgleichungen für die einzelnen Phasen des Fluges. Zu diesem Zweck werden Hochleistungsrechner eingesetzt. Die entsprechenden Angaben werden an die Bodenstationen übermittelt und bei neuen Meßphasen benutzt; am wichtigsten sind diese Angaben jedoch für besondere Flugführungssysteme auf der Erde, die die Funktion des Gesamtkomplexes gewährleisten. So sind beispielsweise die Prognosedaten für die Bahn des „Molniya“-Satelliten (seine Ephemeriden) die Grundlage für die Aufstellung des Arbeitsprogrammes der Bodenstationen des Nachrichtensystems „Orbita“ hinsichtlich der Festlegung ihres Betriebsbeginns und -endes sowie für die Berechnung der erforderlichen Änderung der Antennenwinkel.

Die vorausberechnete Bahn wird auch zur Aufstellung des Arbeitsprogramms für den Satelliten verwendet, wobei die Art des zu lösenden Problems den entscheidenden Faktor darstellt. Handelt es sich z. B. um einen Satelliten für die Übertragung von Fernsehprogrammen, dann ergibt sich sein Betrieb aus den Sendezeitintervallen; handelt es sich dagegen um einen Navigationssatelliten, so muß er beim Überfliegen des Ozeans ständig in Betrieb sein (wenn man berücksichtigt, daß das Festland nur 30% der Erdoberfläche einnimmt), oder die Betriebszeit ergibt sich aus den Anfragen der Schiffe. Das Programm wird dem Satelliten über Funk „eingegeben“. Es wird im Raumflugkörper gespeichert und dient als Befehlsausgabe für alle Satellitenaggregate im Verlaufe einiger Tage. Danach wiederholt sich der Zyklus von neuem.

Eine wichtige Information sind die Angaben der telemetrischen Geber. Die von diesen Gebern übertragenen Daten ermöglichen eine exakte Vorstellung über die Betriebsfähigkeit aller Hauptaggregate. Aus diesen Angaben geht hervor, ob sich die Antennen geöffnet und die Sonnenbatterien entsprechend eingestellt haben, ob der Satellit die gewünschte Lage besitzt und welche Temperaturen dort herrschen usw. Auf diese Weise läßt sich der Betrieb des Satelliten fernsteuern. Erforderlichenfalls sind Eingriffe möglich. Wenn beispielsweise infolge eines Fehlers in der Stromversorgung nur ungenügende Leistung abgegeben wird, kann die Betriebszeit der energieverbrauchenden Apparaturen verkürzt werden.

Die Bedienung und Wartung eines Satelliten von der Erde aus erfordert die Übertragung großer Informationsmengen sowohl auf der Strecke „Erde—Satellit—Erde“ als auch zwischen den Bodenstationen und dem Datenverarbeitungs- und Leitzentrum. Dies läßt sich vermeiden, wenn man Meß- und Rechenoperationen zur Bahnbestimmung und der Bahnsteuerung an Bord des Sputniks selbst ausführen läßt. In diesem Fall kann der Satellit mit autonomen Meßgeräten und Rechnern ausgerüstet werden.

Verständlicherweise müssen diese Geräte extrem leicht sein, damit der Raumflugkörper nicht wesentlich schwerer wird und sich deshalb schwieriger auf eine Umlaufbahn bringen läßt; außerdem müssen diese Geräte zuverlässig und nicht allzu kostenaufwendig sein, damit bei der notwendigen, relativ großen Anzahl von Raumflugkörpern die Kosten eines derartigen „autonomen“ Flugführungssystems (bei einer Verminderung der Belastung aller erdgebundenen Mittel) insgesamt die Kosten eines „nichtautonomen“ Systems nicht übersteigen.

Dies hängt in vielem von der raschen Weiterentwicklung der Radioelektronik im Hinblick auf ihre Miniaturisierung sowie von der Zuverlässigkeit und der Lebensdauer der Apparaturen in Meß- und Steuerungssystemen ab. Wesentlichen Einfluß auf Funktionseigenschaften und Zuverlässigkeit eines „autonomen“ Systems hat die rationelle Verteilung der Funktionen auf Bodenstationen und Bordgeräte. So kann man beispielsweise einen Teil der Parameter, für deren Bestimmung eine möglichst kompakte Apparatur ausreicht, mit Hilfe von Geräten messen, die an Bord eines Satelliten installiert sind. Die übrigen Parameter dagegen werden von der Erde aus ermittelt und von leistungsfähigen Sendeanlagen zur Verarbeitung an Bord des Satelliten übertragen, wo sich die Empfangs- und Meßapparaturen sowie der Lenkbefehlrechner befinden.

Es ist verhältnismäßig einfach, im Satelliten eine optische Apparatur zur Messung des Winkels zu installieren, unter dem man vom Satelliten aus die „Erdscheibe“ sieht. Daraus läßt sich mittels geometrischer Beziehungen die Bahnhöhe zum Zeitpunkt der Messungen berechnen. Werden solche Messungen längs der gesamten Bahn ausgeführt, dann kann die Bahnform vollständig bestimmt werden. Zur Ermittlung der Bahnneigung läßt sich beispielsweise eine optische Apparatur verwenden, die die Winkelorientierung

der Richtung „Satellit—Erdmittelpunkt“ mißt, und zwar relativ zur Achse eines beliebigen Koordinatensystems. Dieses Koordinatensystem kann an Bord „konstruiert“ werden, beispielsweise mit Hilfe von Sensoren, die an die Position dreier verschiedener Sterne „gefesselt“ sind. Die Lage der Teilsterne ist aus astronomischen Berechnungen bekannt, und daher kann man aus den Angaben über Winkelorientierung der Richtung Satellit—Erdmittelpunkt die Winkelorientierung der Bahnebene ermitteln. Als konstanter Teil des autonomen Meßsystems dient natürlich auch eine Borduhr.

Leider liefert ein derartiger Meßkomplex für weitreichende Raumflugunternehmen nur eine verhältnismäßig geringe Leitgenauigkeit. Eine größere Genauigkeit läßt sich unter Benutzung erdgebundener „Leuchttürme“ erzielen, d. h. unter Verwendung von Signalsendern, die zur Messung der Entfernung sowie zur Bestimmung der Änderungsgeschwindigkeit dieser Entfernungen und anderer Größen als Bezugspunkte dienen. Es ist hier wie so oft: Eine höhere Qualität erfordert eine größere Kompliziertheit, größeres Gewicht, höhere Kosten. Deshalb wird die optimale Variante für das Flugführungssystem eines Satelliten stets von den Anforderungen an die Genauigkeit und den operativen Charakter der Steuerung einerseits und vom Entwicklungsstand der Technik andererseits ausgehen müssen.

Die Ausführung des Flugprogramms läßt sich teilweise automatisieren. Die Erdbeobachtungsmittel beim Übergang vom Tag zur Nacht können automatisch ausgeschaltet werden, ebenso kann die Einschaltung der Meßgeräte von Navigationssatelliten auf Anforderung durch Schiffe erfolgen usw.

# Raumfahrt als Beschleuniger des technischen Fortschritts

Ist der Mensch zufällig auch in den Weltraum vorgestoßen? Hat die Menschheit diesen Schritt etwa „blind“ vollzogen, weil sie sich mit aller Gewalt von der irdischen Fessel der Schwerkraft einmal befreien wollte? Die Antwort auf diese Fragen ist klar. Natürlich war es kein Zufall, daß die Menschheit in die Ära der Raumfahrt eintrat. Die gesamte vorausgegangene historische Entwicklung hat diese neue Etappe hervorgebracht. Sie ist ein gesetzmäßiges Ergebnis der Entwicklung der menschlichen Gesellschaft. Hier wollen wir uns jedoch nicht mit den philosophisch-soziologischen Aspekten der Erschließung des Weltraums beschäftigen. Das ist ein selbständiges und sehr umfangreiches Gebiet, auf das wir hier nicht eingehen können. Wir wollen nur einige konkrete Fragen behandeln, die sich aus der Tatsache ergeben, daß die Entwicklung der Raumfahrt-technik die Produktionstechnik wesentlich beeinflusste.

Die Entwicklung der Produktivkräfte als Ergebnis von objektiv existierenden Entwicklungsgesetzen der Gesellschaft führt in einer bestimmten Etappe zwangsläufig zur Entwicklung der Raumfahrttechnik. Diese Tendenz existiert objektiv. Sie kommt in der bewußten Aktivität des Menschen zum Ausdruck, die Gesetzmäßigkeiten und Erscheinungen des Weltraums zugunsten der gesellschaftlichen Produktion direkt oder indirekt zu nutzen.

Man kann hierbei drei grundlegende Richtungen feststellen. Erstens erfolgt die Nachbildung und Ausnutzung einer Reihe von Bedingungen und Prozessen, die für den Weltraum charakteristisch sind, in der Produktionssphäre. Das Hochvakuum, gewaltige Temperaturen und Drücke, allesdurchdringende Strahlung, Magnetfelder, Sonnenwind, Meteoritenströme und vieles andere ist für den Weltraum

kennzeichnend. Bekannt ist auch, daß z. B. das Vakuum, extrem hohe und niedrige Temperaturen, Plasma und starke Strahlung schon heute in der Produktion in großem Umfang Verwendung finden. Dabei gibt es praktisch keinen Bereich der Volkswirtschaft, in dem nicht physikalische Bedingungen nachgebildet werden, wie wir sie im Weltraum vorfinden. Das gilt sowohl für die Medizin und die Landwirtschaft als auch für die Metallurgie, die Chemie, die Nahrungsmittelindustrie, die Elektronik und Kernenergetik, für den Maschinenbau und viele andere Gebiete.

Es ist allgemein bekannt, daß z. B. die Vakuumtechnik bei der Herstellung von Bildröhren sehr wichtig ist. Die Lagerung von Lebensmitteln für eine längere Zeit ist nur durch die Anwendung von Tiefgefrierverfahren möglich. So nutzt der Mensch immer wieder seine Erkenntnisse über die natürliche Umwelt, indem er physikalische Gegebenheiten und Prozesse technisch nachbildet.

Das Vordringen des Menschen in den Weltraum hat auch eine große Bedeutung für die Erforschung der Erscheinungen und Prozesse auf der Sonne, deren Ablauf so wichtig für das Leben auf der Erde ist. Die Sonne beeinflußt buchstäblich unseren ganzen Planeten. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist es noch schwierig, vorauszusagen, was für einen Nutzen der Mensch für seine Produktionstätigkeit aus der Erforschung der physikalischen Erscheinungen auf der Sonne ziehen kann. Wird das nur das Gebiet der Kernphysik betreffen oder nicht vielleicht auch die feinen Veränderungen, die sich unter dem Einfluß des Sonnenlichts im Chlorophyll vollziehen? Schon jetzt aber ist klar, daß unsere Lichtquelle, die das Leben erweckt hat, uns auch helfen wird es zu vervollkommen.

Die Erschließung des Weltraums ermöglicht auf diese Weise auch eine sorgfältigere Untersuchung der Bedingungen, die in ihm herrschen. Wenn der Mensch diese Bedingungen kennt, kann er sie auf der Erde „modellieren“, nachvollziehen und zur Befriedigung seiner Bedürfnisse ausnutzen. Die Erforschung des Weltraums erweitert außerdem das Blickfeld der Wissenschaft, die die Grundlage für weitere Vervollkommnung der Produktion ist.

Die zweite Richtung steht im Zusammenhang mit der Entwicklung der Raketen- und Raumfahrttechnik selbst, denn ihre Errungenschaften finden auch in andere Produktionszweige Eingang. Das betrifft nicht nur Werkstoffe mit

hohen spezifischen Eigenschaften, die Mikroelektronik oder auch schnell arbeitende Rechenanlagen, deren Einführung in die Volkswirtschaft große Bedeutung hat. Die Entwicklung der Raketen- und Raumfahrttechnik, besonders der bemannten Raumfahrzeuge, schafft auch die Voraussetzungen für einen unerwarteten sprunghaften Fortschritt in der Entwicklung von Biologie, Medizin, Landwirtschaft und auf anderen wichtigen Gebieten. Die Erklärung dafür ist sehr einfach. So stand die Medizin bisher hauptsächlich vor der Aufgabe, kranke Menschen zu heilen und Krankheiten vorzubeugen. Jetzt wurde ihr im Zusammenhang mit den Raumflügen eine noch weit größere Aufgabe zuteil, die sich aus der Notwendigkeit der Schaffung von normalen Lebensbedingungen für den gesunden Menschen im Weltraum ergab. So erlebte die Medizin gleichsam einen neuen Qualitätssprung auf dem Wege der genaueren Erforschung des menschlichen Organismus und der in ihm ablaufenden Prozesse. Und was hat es mit einem „geschlossenen“ ökologischen Zyklus in der Kabine eines Raumfahrzeuges auf sich? Wieviel unerforschte Möglichkeiten gibt es hier noch! Manche Entdeckungen auf diesem Gebiet können möglicherweise in der Landwirtschaft oder in der Medizin genutzt werden. Eines der Elemente des geschlossenen ökologischen Zyklus ist z. B. mit der Hydroponmethode der Pflanzenzucht verbunden, die man schon heute anwendet und die vielleicht einmal sehr produktiv sein wird.

Selbstverständlich stimuliert die Entwicklung der Raketen- und Raumfahrttechnik, die gleichsam die Quintessenz der fortgeschrittensten Zweige der Technik ist, den Fortschritt der führenden Produktionszweige, wie Maschinenbau, Elektronik, Elektroenergetik, Metallurgie usw. Sie trägt wesentlich zu einer allgemeinen Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts und zu einer Erhöhung der Effektivität der gesellschaftlichen Produktion bei. Sie ist gleichsam ein „Katalysator“ des wissenschaftlich-technischen Fortschritts.

Die dritte Richtung ist mit dem Transport von Teilen eines Produktionskomplexes in den Weltraum verbunden, z. B. von Erdsatelliten auf eine Umlaufbahn oder von Objekten, die auf dem Mond zu einer Station zusammengefügt werden sollen. Künftige Raumstationen werden große volkswirtschaftliche Bedeutung haben. Sie dienen der Nachrichtentechnik, der Meteorologie, der Navigation, der Geodäsie

oder auch der Erforschung der natürlichen Ressourcen der Erde u. a. Sie sind — schon von den gegenwärtigen Möglichkeiten aus gesehen — sehr effektiv. Raumflugkörper leisten schon heute einen wichtigen Beitrag für die Volkswirtschaft. So können wir feststellen, daß es ökonomisch zweckmäßig ist, die außerirdische Natur in den Produktionsprozeß einzubeziehen. Der Plan, Raumstationen zu schaffen, läßt sich in gewisser Hinsicht auch damit erklären, daß die irdischen Bedingungen in einer Reihe von Fällen schon nicht mehr den Anforderungen genügen können, die an die Lösung wichtiger Aufgaben gestellt werden. Wir erleben somit die Anfänge der Bemühungen, den Weltraum in immer größerem Umfang direkt oder indirekt für die materielle Produktion zu nutzen. „Die Erschließung des Weltraums erweist sich als ein so bedeutender Stimulus der Entwicklung der Produktivkräfte, daß offensichtlich eine Unterbrechung oder Verlangsamung des Tempos der Erforschung und Ausnutzung des Weltraums zu einem wesentlichen Tempoverlust beim Anwachsen der materiellen Produktion führen kann,..“ Dieser Schlußfolgerung des sowjetischen Philosophen A. D. Ursul muß man zustimmen. Der Nutzen der Raumfahrt wird immer deutlicher sichtbar.

# Nachrichtenwesen - Nervensystem der Menschheit

Es gehört zu den Grundbedürfnissen des Menschen, miteinander Informationen auszutauschen. Anfangs wurden akustische und optische Mittel zur Informationsübertragung verwendet, später kamen die Schrift und Transportsysteme hinzu, und schließlich kamen elektrische Signale zu Hilfe, die durch Leitungen übertragen werden. Im 20. Jahrhundert wurde der drahtlose Funkverkehr eingeführt. All diese Arten der Nachrichtenübermittlung werden auch heute mit Erfolg verwendet. Jede von ihnen dient entsprechend ihren Möglichkeiten der Menschheit. Telefon- und Funkverbindungen gewährleisten die Übertragung der verschiedenartigsten Informationen. Der Fototelegraf und das Fernsehen verbreiten Bildinformationen. Texte werden durch die Post, den Telegrafen oder das Radio übermittelt.

Das Nachrichtenwesen fördert in großem Maße den Fortschritt in den verschiedenartigsten Bereichen menschlicher Tätigkeit. Es ist in der Industrie, Landwirtschaft, Wissenschaft und Kultur, im Handel und in der Sphäre der Dienstleistungen, im gesamten täglichen Leben unentbehrlich. Deshalb wird der Vervollkommnung der Mittel zur Informationsübertragung größte Aufmerksamkeit gewidmet. Zur Erweiterung des Nachrichtennetzes werden große finanzielle Mittel bereitgestellt, und viele Menschen sind auf diesem Gebiet tätig.

In unserer Zeit sind der Umfang der zu übertragenden Informationen und ihre Vielfalt sprungartig angewachsen. Täglich werden in der Welt über eine Milliarde Telefongespräche geführt. Davon sind ungefähr 10 Millionen Ferngespräche zwischen verschiedenen Orten. 100 000 bis 120 000 Gespräche führen über Ländergrenzen hinweg, und 50 000 bis 60 000 gehen von Kontinent zu Kontinent. Ebenso groß ist der

Umfang der postalischen, telegrafischen und der anderen Arten der Nachrichtenübermittlung. Man kann erwarten, daß sich in den nächsten fünf Jahren der Gesamtumfang dieser Operationen um das Zwei- bis Dreifache vergrößert. Damit wachsen auch die Anforderungen an die verschiedenen Arten der Nachrichtenübertragung. Die Anzahl der Rundfunk- und Fernsehsendungen nimmt zu, der Wirkungsbereich der Übertragungen wird größer, die Telefonverbindungen arbeiten schneller und zuverlässiger, und auch die telegrafischen Anlagen werden weiter ausgebaut.

Die Nachrichtenmittel, über die wir auf der Erde verfügen, reichen aber schon heute nicht mehr aus, um den gesamten Bedarf zu befriedigen, obwohl ihre Anzahl ständig wächst. Zugleich steigen auch die Anforderungen an die Qualität. Die Drahtverbindungen „ersticken“ buchstäblich an der Fülle der zu übertragenden Informationen. Die Nachrichtenübermittlung über große Entfernungen ist bei Drahtverbindungen an die Tätigkeit einer großen Anzahl von Zwischenleitstellen gebunden. Das wirkt sich ungünstig auf ihre Operativität, Zuverlässigkeit und Qualität aus. Außerdem wird diese Art der Nachrichtenübermittlung wegen der Notwendigkeit eines weitverzweigten Verbindungs- und Kabelnetzes auf dem Festland, aber auch über den Ozean hinweg — bei interkontinentalem Verkehr z. B. — sehr teuer. So kostet eine Minute eines Telefongesprächs zwischen Westeuropa und Amerika etwa 3 bis 5 Dollar.

Eine höhere Stufe im Vergleich zur Drahtverbindung stellt die Funkverbindung dar. Aber auch sie besitzt ihre spezifischen Nachteile. Der entscheidendste ist der beschränkte Umfang von Informationen, die durch Erdfunkstationen über große Entfernungen übertragen werden können. Das liegt daran, daß eine weite Funkverbindung nur in dem verhältnismäßig schmalen Wellenlängenbereich von 200 m bis 10 m hergestellt werden kann. In diesem Bereich kann z. B. gleichzeitig nur eine relativ kleine Zahl von Gesprächen, etwa einige tausend, geführt werden. Auf den kürzeren Wellenlängen von 10 m bis 3 m können wesentlich mehr Informationen übermittelt werden, aber die geradlinige Ausbreitung dieser Wellen macht ihre Anwendung für eine globale Funkverbindung mit Hilfe von gewöhnlichen Sendeanlagen auf der Erde unmöglich.

Ein anderer wesentlicher Nachteil des irdischen Funkverkehrs besteht darin, daß die elektromagnetischen Wel-

len mehrfach von der Ionosphäre reflektiert werden und sich in Abhängigkeit von den wechselnden Schichthöhen und vom Ionisationsgrad (Elektronendichte) stark verändern. Eine oft auftretende Situation ist die völlige Nachrichtenunterbrechung bei den kurzzeitigen Störstrahlungen, die mit der Sonnenaktivität zusammenhängen. All das verringert bei globalen Funkverbindungen auf der Erde die Qualität, Operativität und Zuverlässigkeit der Mitteilungen.

Neue Möglichkeiten zur Verbesserung der Nachrichtenübermittlung wurden mit dem Start der ersten künstlichen Erdsatelliten geschaffen. Mehrere weit voneinander entfernte Bodenstationen, die sich in der Zone der Funksichtbarkeit des Satelliten befinden, können über diese „Funkbrücke“ im Weltall miteinander gekoppelt werden. Für diese Verbindung kann man durch direktes Anpeilen des Satelliten von den Bodenstationen aus die „informativeren“ Kurzwellen verwenden, wodurch eine operative, zuverlässige und hochökonomische Informationsübertragung von großem Umfang über weite Entfernungen gewährleistet wird.

Die Nachrichtensysteme, bei denen künstliche Erdsatelliten zum Einsatz kommen, beruhen auf der Reflexion der dem Satelliten über eine Richtantenne zugestrahlten Funksignale oder auf der Weiterleitung dieser Signale mit Hilfe einer stromversorgten Empfangs- und Wiedergabeapparatur (Relais) in Richtung auf die entsprechenden Empfänger. Im ersten Falle wird dieses Weiterleitungsverfahren als passiv, im zweiten als aktiv bezeichnet. Bei der passiven Zwischenübertragung nutzt man die große reflektierende Oberfläche eines speziellen Satelliten. Die Form dieser Oberfläche kann verschieden sein. Es gibt einfache Ballonsatelliten vom Typ „Echo“, aber auch spezielle Satellitengehäuse, die für eine zielgerichtete Reflektion der Signale auf die Bodenstation konstruiert sind.

Die passive Weiterleitung vollzieht sich auf folgende Weise: Die Sendestationen auf der Erde senden starke Funksignale zum Satelliten. Diese Funksignale werden von seiner Oberfläche reflektiert und kehren zur Erde zurück. Hier werden sie von hochempfindlichen Empfangsanlagen aufgefangen, verstärkt auf die übliche Art und Weise in die gewünschte Form der Wiedergabe (Sprache, Text, Bild usw.) umgewandelt.

Nachrichtensatelliten für passive Weiterleitungsverfahren

ren sind einfach und billig. Es können aufblasbare, hauchdünne Hüllen mit einem dünnen metallischen Belag sein. Sie enthalten außer Kleinsendern für die funktechnische Bahnverfolgung keine komplizierten Spezialapparaturen.

Nach dem Verfahren der passiven Weiterleitung arbeiteten die amerikanischen Satelliten der „Echo“-Serie („Echo 1A“ 1960; „Echo 2“ 1964). Es waren Ballonsatelliten mit Durchmessern von 30,5 m bzw. 41 m. Die experimentelle Überprüfung zeigte, daß die passive Weiterleitung der Funksignale nicht zweckmäßig ist, da bei diesem Verfahren große Sendeleistungen (etwa 10 MW) und hochempfindliche Empfangsanlagen notwendig sind. Das bedeutet für die Bodenstationen einen großen Aufwand an spezieller Technik, und damit verbunden sind entsprechend hohe Kosten — trotz des relativ niedrigen Kostenaufwandes für die Satelliten selbst. Außerdem entsteht infolge der Schwächung der reflektierten Signale starkes Rauschen, so daß die Qualität der Signalübertragung relativ gering ist.

Als erfolgversprechender erwies sich das Prinzip des Baus von Weltraumnachrichtensystemen auf der Grundlage der aktiven Weiterleitung von Funksignalen. In diesem Falle nehmen die Empfangsapparaturen des Satelliten über entsprechende Antennenanlagen die Funksignale von der Erde auf. Sie verstärken sie, und eine Wiedergabeapparatur schickt die Signale auf die Erde zurück. Dadurch, daß der Satellit über eine spezielle Empfangs- und Sendeausrüstung verfügt und die Richtcharakteristik der Antenne sehr schmal ist, braucht man auf der Erde nur verhältnismäßig kleine Antennen einzusetzen. Auf diese Weise verringern sich die Kosten so beträchtlich, daß trotz der Aufwendungen für die Herstellung des komplizierten Satelliten, für seinen Start und seine nachfolgende Tätigkeit ein beträchtlicher Nutzen erzielt wird.

Die ökonomische Effektivität der Nachrichtensatelliten mit aktiver Weiterleitung ist um ein Vielfaches höher als bei passiven Systemen und den üblichen Verfahren auf der Erde. Einschätzungen zeigen, daß in einer Reihe von Fällen das Weltraumnachrichtensystem ökonomisch effektiver wird als eine gewöhnliche Bodenstation, und zwar schon bei einer Entfernung von mehr als 200 km. Die hohe Kapazität des Funksignals bei seiner aktiven Rückübertragung durch einen Satelliten bewirkt eine hohe Qualität der Nachrichtenübermittlung. Diese Vorzüge der aktiven Nachrich-

tenübertragung wurden auf der Grundlage wissenschaftlich-theoretischer und experimenteller Arbeiten aufgeklärt. Anfangs waren die Versuchsnachrichtensatelliten auf erdnahe Umlaufbahnen gebracht worden, und die Verbindung zu den Bodenstationen konnte nur über kleinere Entfernungen (in der Größenordnung von etwa 1000 km) hergestellt werden. Für Versuche zur Bestimmung der Reichweite von Nachrichtensatelliten war diese geringe Höhe völlig ausreichend. Aber für eine globale Nachrichtenübertragung sind in der Regel große Bahnhöhen erforderlich.

Natürlich kann eine globale Verbindung auch mit Hilfe niedrig fliegender Satelliten hergestellt werden, allerdings nur unter der Voraussetzung, daß sie eine spezielle Speicheranlage besitzen. Eine solche Anlage ermöglicht eine Zwischenspeicherung der Information während des Fluges außerhalb der Funksichtbarkeitszone. Beim späteren Flugabschnitt über die Empfangsstation können die Informationen dann „abgegeben“ werden. Es ist klar, daß in diesem Falle eine Verzögerung in der Nachrichtenübertragung eintritt, die der Zeit entspricht, die der Satellit benötigt, um vom Bereich des Senders in das „Empfangsfeld“ der Bodenstation zu kommen. Diese Methode der globalen Nachrichtenübermittlung führt nicht nur zu einer wesentlich komplizierteren Konstruktion der Satelliten, sondern auch zu einer deutlichen Verringerung der Geschwindigkeit der Informationsübertragung. Die Verwendung von niedrigfliegenden Satelliten mit einer Speicheranlage für die globale Nachrichtenübermittlung beseitigt außerdem die für den Nachrichtensatelliten charakteristische Universalität. Telefongespräche, Fernsehreportagen und andere Formen der Übertragung von schnellen Informationen werden auf diese Weise unmöglich.

Da man bestrebt war, die Nachrichtenverbindung operativer und universeller zu gestalten, mußte man bei den Satellitenflügen auf größere Höhen übergehen. Eine große Bahnhöhe ist nur im Bereich der Punkte erforderlich, zwischen denen eine Verbindung hergestellt werden soll. In der übrigen Zeit kann die Bahnhöhe des Satelliten beliebig sein. Deshalb ist für die Verbindung zwischen Punkten, die auf einem begrenzten Territorium liegen, die Verwendung von Satelliten zweckmäßig, die sich auf stark elliptischen Umlaufbahnen bewegen. Dabei befindet sich das Apogäum (größte Entfernung vom Umlaufzentrum) über

dem entsprechenden Territorium. Diese große Apogäumshöhe (größte Entfernung der Punkte auf der Umlaufbahn von der Erdoberfläche) ermöglicht eine Nachrichtenübermittlung über ein großes Gebiet hinweg, wobei der Satellit sehr lange im Bereich der Funksichtbarkeit verbleibt, so daß eine lange Übertragungszeit gewährleistet ist. Bei einer Apogäumshöhe von 40 000 km und einer Perigäumshöhe von etwa 500 km (niedrigste Entfernung der Punkte auf einer Umlaufbahn der Erdoberfläche) beträgt die Umlaufzeit des Satelliten etwa 12 Stunden; davon befindet er sich 8 Stunden in großen Höhen. Eine ganztägige Nachrichtenverbindung kann in diesem Falle durch drei bis vier Satelliten aufrechterhalten werden, die nacheinander über dem zu versorgenden Territorium erscheinen.

Der Hauptvorteil eines Nachrichtensystems auf einer stark elliptischen Umlaufbahn liegt in seiner Einfachheit und dem verhältnismäßig niedrigen Energieverbrauch für den Aufstieg in den Weltraum. Da aber für eine ganztägige Nachrichtenverbindung mehrere Satelliten erforderlich sind, steigen die Kosten erheblich. Außerdem gibt es Schwierigkeiten bei der Steuerung, da sich auf den langgestreckten Bahnen Bahnstörungen durch Erde, Sonne und Mond sehr bemerkbar machen. Die Schwierigkeiten sind vor allem dadurch bedingt, daß das Apogäum jeder Satellitenbahn sich ständig über dem entsprechenden Territorium befinden muß. Außerdem muß gewährleistet sein, daß die Bahnneigung jeder Umlaufbahn ständig gleichbleibt und daß die Raumflugkörper in einer strengen Reihenfolge nacheinander über den Verbindungspunkten erscheinen. Das erfordert ein kompliziertes und kostspieliges Satellitensteuerungssystem. Große Schwierigkeiten bereiten die elliptischen Bahnen, da die Bahnverfolgung von den Empfangs- und Sendestationen aus nur mit Hilfe beweglicher Antennen möglich ist.

Besondere Vorzüge haben Nachrichtensatelliten auf einer kreisförmigen Umlaufbahn, deren Umlaufzeit etwa mit der Rotationsdauer der Erde übereinstimmt. Der Radius einer derartigen Synchronbahn beträgt etwa 42 000 km, und die gleichbleibende Entfernung der Satelliten von der Erdoberfläche infolge der Übereinstimmung ihrer Bahnebenen mit der Ebene des Erdäquators gewährleistet eine große Funksichtbarkeitszone und einen relativ einfachen Betrieb eines solchen Weltraumnachrichtensystems.

Drei stationäre Satelliten sind in der Lage, die Nachrichtenverbindung zwischen beliebigen Punkten auf der Erde zu gewährleisten, die zwischen  $70^\circ$  nördlicher und südlicher Breite gelegen sind. Zu diesem Zweck müssen die Satelliten gleichmäßig auf der stationären Bahn verteilt sein. Die Nachrichtenverbindung zwischen Punkten, die nicht im Sichtbereich eines der Satelliten liegen, kann über zwei andere Satelliten oder eine Zwischenleitstelle auf der Erde nach folgendem Schema erfolgen: Die Sendestation sendet Funksignale zum nächsten Satelliten. Von dort aus werden die Signale reflektiert und zur Zwischenleitstelle gesendet, die sich im direkten Sichtbereich zweier anderer Satelliten befindet. Die Zwischenstation schickt das Signal nochmals über ein Relais und sendet es über einen Satelliten, der sich in ihrem Sichtbereich befindet, zur Empfangsstation.

Die Empfangs- und Sendeantennen von Nachrichtensatelliten können unbeweglich sein. Das vereinfacht ihre Bedienung wesentlich. Die notwendige Lagestabilisierung des Satelliten erfolgt durch einen speziellen Antrieb, der von einem Horizontsucher (Erdsensor) gesteuert wird.

Prinzipiell ist auch ein anderes Organisationsschema für die globale Nachrichtenübermittlung auf der Grundlage von drei stationären Satelliten möglich. Das Signal der Sendestation gelangt zu dem nächstliegenden der drei stationären Satelliten und wird über ein Relais unmittelbar zu einem anderen Satelliten gesendet, in dessen Sichtbereich sich die Empfangsstation befindet. Bei einer solchen Methode der Nachrichtenübertragung verkürzt sich der Weg und damit auch die Verzögerungszeit der Signale, was besonders bei Telefongesprächen wichtig ist. Außerdem verkürzt sich die Wegstrecke des Signals in der Atmosphäre, wodurch sich die Qualität der Nachrichtenübertragung wesentlich erhöht. Aber bei dem vorliegenden Schema ist eine komplizierte Konstruktion des Satelliten erforderlich, und auch seine Masse erhöht sich beträchtlich.

Nach der Durchführung eines großen Programms von wissenschaftlichen Untersuchungen und zahlreichen experimentellen Arbeiten wurde in der Sowjetunion das „Orbita“-Nachrichtennetz geschaffen, für dessen Betrieb bis zum Juni 1970 insgesamt 14 Satelliten vom Typ „Molnija 1“ verwendet wurden. Dieses System ermöglicht die Lösung der verschiedenartigsten Aufgaben der Nachrichtenübertragung.

„Molnija 1“-Satelliten werden auf eine stark elliptische Umlaufbahn gebracht. Das Apogäum der Umlaufbahn befindet sich über der nördlichen Erdhalbkugel und hat eine Höhe von etwa 40 000 km. Diese Art der Umlaufbahn ist für die Sowjetunion sehr günstig. Sie ermöglicht eine Dauer-Verbindung mit all ihren Punkten, darunter auch den nördlichsten. „Molnija 1“-Satelliten sind Mehrkanalsysteme für Fernseh- und Funkbildübertragungen sowie für Telefonie und Telegrafieverkehr. Mit ihnen wird ein Mehrkanalsystem mit einer großen Kapazität geschaffen, was letztlich die hohe Qualität der Nachrichtenverbindung bestimmt.

Einige Bemerkungen zum Mehrkanalsystem. Als Kanal bezeichnet man die Gesamtheit der technischen Geräte des Satelliten und der Bodenmittel, die die Übertragung von Gesprächen über eine Telefonverbindung gewährleisten. Dabei werden keine besonders hohen Anforderungen an die Qualität der Übertragung der Stimme gestellt, und deshalb ist ein verhältnismäßig kleiner Frequenzbereich, etwa 3000 Hz, dafür ausreichend. Für Rundfunksendungen dagegen ist eine hohe Tonqualität notwendig. Deshalb umfaßt der Rundfunksendebereich einen Frequenzgürtel von 10 bis 15 kHz. Noch höhere Anforderungen an die Bandbreite stellt das Fernsehen. Für die Übertragung eines Fernsehprogramms ist z.B. eine Frequenz von nahezu 8 MHz notwendig.

Der ganze praktisch verwendbare Radiowellenbereich liegt in den Grenzen von 100 km bis zu 1 mm Länge, was Frequenzen von 3 kHz bis zu 3000 GHz entspricht.

Das Spektrum der Radiowellen wird wie folgt aufgeteilt:

Tabelle 2

Bezeichnung	Wellenlänge	Frequenz
Myriameterwellen	über 10 000 m	unter 30 kHz
Kilometerwellen	10 000 bis 1 000 m	30 bis 300 kHz
Hektometerwellen	1 000 bis 100 m	300 bis 3000 kHz
Dekameterwellen	100 bis 10 m	3 000 bis 30 000 kHz
Meterwellen	10 bis 1 m	30 bis 300 MHz
Dezimeterwellen	1 bis 0,1 m	300 bis 3 000 MHz
Zentimeterwellen	10 bis 1 cm	3 bis 30 GHz
Millimeterwellen	unter 1 cm	über 30 GHz

Daneben sind noch andere Bezeichnungen üblich:

mehr als	3 000 m	: Längstwellen
3 000 bis	1 000 m	: Langwellen
1 000 bis	200 m	: Mittelwellen
200 bis	100 m	: Grenzwellen
100 bis	10 m	: Kurzwellen
10 bis	1 m	: Ultrakurzwellen

Wie schon oben betont wurde, sind die Ultrakurzwellen am besten für die Nachrichtenübertragung geeignet, weil mit steigender Frequenz der für die Nachrichtenübertragung notwendige Radiowellenbereich wesentlich schneller kleiner wird, als sich die Wellenlänge verringert. So ist z. B. für eine Telefonverbindung auf langen Wellen ein Bereich von 1000 bis 1 010 m (Differenz 10 m) notwendig und bei der Verwendung von Meterwellen ein Bereich von 1 bis 1,00001 m (Differenz 0,00001 m). Der ganze Radiowellenbereich läßt eine gleichzeitige Übertragung von  $10^8$  bis  $10^9$  Telefongesprächen in einer Richtung oder von 3 Millionen Fernsehprogrammen zu. Wenn man in Betracht zieht, daß schon heute gleichzeitig 50 Millionen Telefongespräche über große Entfernungen gehen, 10 000 Rundfunk- und 1000 Fernsehstationen Programme ausstrahlen, dann wird offensichtlich, daß der Radiowellenbereich nicht sehr groß ist und überlegtes Handeln zu seiner rationellsten Ausnutzung notwendig ist.

Es gibt Faktoren, die eine Erweiterung der Möglichkeiten zur Ausnutzung des Radiowellenbereiches gestatten. So ist die Verwendung der Langwellen durch die Kapazität der Sendestationen begrenzt. Deshalb können mehrere Länder ein und denselben Langwellenbereich benutzen. Sie brauchen dabei nur auf die Begrenzung der Leistung ihrer Rundfunkstationen zu achten, um Störungen für die Stationen anderer Staaten zu vermeiden. Die Ausbreitung der Wellen des Zentimeter- und des Dezimeterbereiches ist fast geradlinig. Bei begrenzter Höhe der Antennenanlagen beschränkt das infolge der Krümmung der Erdoberfläche ihren Empfangsbereich auf einige hundert Kilometer. Deshalb können auch die gleichen Wellenlängen von verschiedenen Staaten verwendet werden, wie das beim Fernsehen und bei der Relaisübertragung der Fall ist.

Ein internationales Komitee entscheidet über die Verteilung bestimmter Frequenzbereiche für Rundfunksendun-

gen, Nachrichtenübertragungen und andere Zwecke. Dadurch schafft man die Voraussetzungen für eine normale Tätigkeit der Radiostationen und ein normales „Leben“ im Äther.

Eine besondere Bedeutung bekam die Tätigkeit der Organisationen, die die Nutzung der Radiowellenbereiche regeln, mit dem Einsatz von Nachrichtensatelliten, deren Sendebereich praktisch die ganze Erde erfaßt.

Die Aufgabe wird auch noch dadurch erschwert, daß die Atmosphäre für Radiowellen nur in einem begrenzten Bereich („Radiofenster“) durchlässig ist, und zwar von etwa 25 m bis zu einigen Millimetern. Für die übrigen Radiowellen stellt die Atmosphäre ein großes Hindernis dar, und die Funkverbindung wird erschwert. Deshalb muß man spezielle Maßnahmen ergreifen, um die gegenseitigen Störungen bei der Arbeit von mehreren Nachrichtensatelliten und auch bei der Zusammenarbeit mit Bodenstationen auszuschließen. Es ist daher wichtig, den Wellenlängenbereich für die Verbindung zwischen den Bodenstationen und den Nachrichtensatelliten und zwischen den Satelliten selbst genau zu bestimmen. Man kann auch die „Sauberkeit“ des Äthers durch die Richtcharakteristik der Antennen des Satelliten regulieren.

Das „Orbita“-Nachrichtennetz ermöglicht Fernsehübertragungen über das gesamte Sowjetland. Bodenstationen sind nur in der Lage, über bestimmte Entfernung hinweg Fernsehübertragungen zu gewährleisten, da die Krümmung der Erdoberfläche eine Übertragung der sich geradlinig ausbreitenden Fernsehsignale über große Entfernungen erschwert. Eine Antenne mit einer Höhe von 100 m ermöglicht die Übertragung über eine Entfernung von 30 bis 40 km, bei einer Höhe von 300 m beträgt die Reichweite 60 bis 80 km und bei einer Höhe von 1000 m auch nur 100 bis 150 km.

Große Antennen stellen riesige technische Anlagen dar, und ihr Bau ist sehr teuer. Berechnungen haben ergeben, daß für eine zuverlässige Erfassung des Territoriums der Sowjetunion mit Fernsehsendungen 5000 Fernsehtürme mit einer Höhe von 100 m, 1000 Fernsehtürme mit einer Höhe von 300 m oder 700 Fernsehtürme mit einer Höhe von 500 m erforderlich wären. Neben den Einrichtungen der Fernsehtürme und Antennenanlagen wären Studios mit entsprechenden Apparaturen, viele Techniker, Ingenieure, Sprecher und

Künstler notwendig. Das alles würde erhebliche Kosten verursachen.

Etwas ökonomischer ist ein System von UKW-Richtfunkstrecken, wodurch keine Studios bei jedem Übertragungsturm notwendig sind. Diese Funkrelaisverbindung beruht auf der aufeinanderfolgenden Übertragung von Funksignalen von einem Turm auf einen anderen. Jede der Antennen, die auf den Türmen installiert ist, befindet sich im direkten Sichtbereich der zwei ihr am nächsten stehenden Antennen (von beiden Seiten). So ist im Prinzip ein System zur gesamten Erfassung der Bevölkerung der Sowjetunion durch das Fernsehen mit Hilfe der Bodenstationen möglich. Aber ein hoher materieller Aufwand wäre erforderlich. Außerdem würden die vielen Elemente dieses System sehr störanfällig machen.

Zur Zeit arbeiten mehr als dreißig „Orbita“-Bodenstationen in allen Unionsrepubliken der Sowjetunion. Viele von ihnen sind in entfernt gelegenen Städten des Landes wie Jushno-Sachalinsk, Ochotsk, Jakutsk, Bratsk, Norilsk, Workuta, Frunse, Alma-Ata, Aschchabad u. a. errichtet worden. Mehr als 20 Millionen Menschen in diesen fernen Regionen erhalten auf diese Weise seit 1967 die Möglichkeit, Übertragungen des zentralen Fernsehens zu sehen. In den nächsten Jahren sollen noch einige Dutzend solcher Stationen geschaffen werden. Das ermöglicht den Zugang zu den Sendungen des zentralen Fernsehens für den größten Teil der Bevölkerung des Sowjetlandes.

Das Arbeitsschema des „Orbita“-Fernsehnetzes ist folgendermaßen aufgebaut: Aus dem Fernsehstudio werden Funksignale über eine Sendeantenne zum Satelliten gesandt. Dort werden sie mit einer Empfangsantenne empfangen, verstärkt und mit Hilfe der gerichteten Sendeantenne des Satelliten in das Empfangsgebiet ausgestrahlt. Hier werden die Signale von den „Orbita“-Bodenstationen empfangen, in entsprechende Frequenzen umgewandelt und an das örtliche Fernsehzentrum weitergegeben, das die Signale nochmals bis zur notwendigen Kapazität verstärkt und ausstrahlt.

Nach dem gleichen Verfahren werden Telefongespräche über Nachrichtensatelliten geführt. Von einem Gesprächsort gelangen elektrische Signale über eine Leitung in die „Orbita“-Sendestation. Hier werden sie in Funksignale umgewandelt und zum Satelliten gesendet. Auf dem Satel-

liten werden die Signale verstärkt und wieder zur Erde gesandt, wo sie eine Empfangsstation aufnimmt und wieder als elektrische Signale über Leitungen zum anderen Gesprächsort übermittelt. In umgekehrter Richtung durchläuft das Signal denselben Weg.

Die Organisation einer Telefonverbindung über einen Satelliten hat ihre Besonderheiten. Bekanntlich gehen die Anmeldungen für Telefongespräche zufällig ein. Die Anzahl der Gespräche und die Belastung der Kanäle hängt von vielen Ursachen ab. Trotzdem ermöglicht die Analyse der Anmeldungen, Gesetzmäßigkeiten ihres Eingangs herauszufinden. So gibt es in den Abendstunden z.B. Spitzenbelastungszeiten für die Telefonleitungen. Das gleiche gilt für bestimmte Ereignisse, Feiertage usw. All diese Daten können als Ausgangsinformationen für die Projektierung von Nachrichtensystemen, besonders von Nachrichtensatelliten, dienen. Sehr wichtig ist es, die Hauptmerkmale für diese Weltraumsysteme richtig zu bestimmen, weil sogar unbedeutende Verbesserungen bei der Projektierung einen großen ökonomischen Nutzen haben können.

Moderne mathematische Verfahren ermöglichen eine ausreichend genaue Auswahl von rationellen Parametern eines Weltraumnachrichtensystems. Das gilt besonders für die Bestimmung der Anzahl der Kanäle und ihrer optimalen Verteilung unter den Nutzern. Dabei können die Wartezeiten auf ein Telefongespräch, die Wahrscheinlichkeit einer Absage vorher analysiert werden, so daß die „Bedienungsqualität“ verbessert wird.

Das „Orbita“-System bedeutete einen Qualitätssprung im Nachrichtenwesen. Es ermöglichte die Verbindung der entferntesten Punkte der Sowjetunion durch ein effektives System. Aber noch immer wird eine große Anzahl von Bodenstationen benötigt. Untersuchungen zeigen, daß der rationellste Lösungsweg die Erhöhung der Kapazität der Sendeanlagen der Satelliten ist.

Wenn man z. B. die Leistung der Satellitensender bis auf einige Kilowatt steigert, kann man die Empfangsanlagen der Bodenstationen wesentlich vereinfachen. Es kann dann eine größere Antenne ausreichen, die sehr einfach und verhältnismäßig billig ist. Sie ließe sich ohne weiteres in jeder Station aufstellen. Eine höhere Sendeleistung bedeutet jedoch eine Steigerung der Masse des Satelliten auf einige Tonnen.

Noch größere Möglichkeiten eröffnen sich für die Weltraumnachrichtensysteme bei der Erhöhung der Kapazität der Sendeanlagen bis zu einigen Dutzend Kilowatt. Dadurch könnte man die Fernsehsendungen unmittelbar auf die individuellen Antennenanlagen übertragen. Solche Antennen müssen jedoch eine besondere Form besitzen.

Ein Nachrichtensatellit für diese Art des Fernsehens wird eine komplizierte und teure technische Anlage im Weltraum darstellen. Wahrscheinlich wird das auch eine zeitweilig bemannte Raumstation auf einer festen Umlaufbahn sein. Ihre Wartung kann im Weltraum durchgeführt werden. Damit kann man die aktive Lebensdauer eines solchen Satelliten für Fernsehübertragungen wesentlich erhöhen.

Ein Weltraumsystem für Funkverbindung und Fernsehen hat große Bedeutung für die Menschheit. Es eröffnet neue Möglichkeiten für den Austausch von Nachrichten und Fernsehprogrammen.

# Erdmessung in neuen Dimensionen

Die Menchen, die unseren Planeten bewohnen, haben sich schon immer für die Größe, die Form und für das Innere der Erde interessiert. Das betraf sowohl die Aufteilung von landwirtschaftlichen Nutzflächen als auch die Größe und Form des Erdkörpers und führte zu einer speziellen Wissenschaft — der Geodäsie. Welche Form hat nun unser Planet? Der griechische Philosoph und Dichter Xenophanes, der vom 7. bis 8. Jahrhundert v. u. Z. lebte, nahm an, daß die Erde die Form eines Baumstumpfes besitzt, auf dessen glatter Oberfläche die Menschen leben. Nach der Vorstellung von Xenophanes sollten die Wurzeln dieses Baumstumpfes tief in den Weltraum hineinragen und so alles im Gleichgewicht halten.

In jenen Zeiten wurden tatsächlich die unwahrscheinlichsten Gedanken über die Form und die Größe unseres Planeten geäußert. Anaximander nahm z. B. an, daß die Erde die Form eines Zylinders besitzt, und Anaximenes stellte sie sich als eine Scheibe vor. Die Vorstellung, daß die Erde eine Kugelform besitzt, wurde zuerst in der philosophischen Schule der Pythagoreer entwickelt. Bald darauf nahm Eratosthenes aus Alexandria eine Messung der Erde vor, indem er die Ergebnisse von gleichzeitigen Beobachtungen der Sonne aus zwei verschiedenen Städten, Alexandria und Siena, die auf einem Meridian liegen, ausnutzte. Nach seiner Berechnung betrug der Umfang der Erdkugel 39 425 000 m.

Nach unseren heutigen Daten besitzt die Erde keine Kugelgestalt. Sie ist an den Polen abgeplattet und am Äquator etwas verdickt. Der Erdumfang beträgt in Höhe des Äquators 40 076 696 m. Wie man sieht, ist die Abweichung zum Ergebnis von Eratosthenes nur gering.

Der Bau von Eisenbahnen, Kanälen, elektrischen Fernleitungen, großen Rohrleitungen und anderen Verbindungsmitteln erfordert topografische Karten in großen Maßstäben und eine genaue Kenntnis der Lage der Bezugspunkte auf der Erde. Dadurch ist es möglich, bei der Projektierung die beste Trasse zur Verlegung dieser Leitungen auszuwählen, die für ihren Bau und die darauffolgende Nutzung am rentabelsten ist. Die geodätischen Daten ermöglichen die gleichzeitige Arbeit an verschiedenen Abschnitten der Trasse, wodurch die Bauzeiten entscheidend verkürzt werden können. Genaue Angaben gewährleisten in diesen Fällen eine fehlerfreie Projektierung und eine entsprechend hohe Qualität der Bauarbeiten. Bei der Auswahl der Standorte für Wasserkraftwerke, Hafenanlagen, Flugplätze, neue Städte und andere Bauobjekte sind topografische Karten die wichtigsten Arbeitsgrundlagen. Mit ihrer Hilfe kann man das Relief der jeweiligen Gegend bestimmen, die Transportmöglichkeiten prüfen und andere wichtige Faktoren in Betracht ziehen. Die geodätischen Daten dienen auch zu Navigationszwecken bei verschiedenen Transportmitteln. Für die Hochseeflotte sind die Festlandsbegrenzungen und die genauen Koordinaten von Inseln, Riffen, Leuchtuern und anderen Seezeichen von großer Bedeutung. Für die Luftfahrt sind es die Koordinaten von Flugplätzen und Bodenstationen. Mit Hilfe dieser Daten kann man die besten Kurse und Fluglinien auswählen. Der Luft- und Schiffahrtsverkehr wird dadurch zuverlässiger und sicherer.

Karten spiegeln in bestimmtem Maße auch die sozialökonomische Struktur der Staaten wider. Mit ihrer Hilfe kann man die natürlichen Rohstoffquellen der Territorien einzelner Länder und der Erde insgesamt einschätzen. Karten sind die wichtigste Grundlage für die Wirtschaftsplanung der Staaten, für die Besiedlung der Territorien und die Schaffung von Industriezentren, für die Planung der Förderung von Bodenschätzen und für die Lösung anderer wichtiger Aufgaben.

Die Bedeutung der geodätischen Materialien veranlaßte die Menschen, entsprechende Forschungen auf diesem Gebiet vorzunehmen.

Oft erwies sich auch die Lösung von Problemen der Geodäsie als stimulierender Faktor bei der Entwicklung der Technik und besonders der Mathematik. So fand z. B. eine mathematische Methode, die von Gauß bei seinen

geodätischen Forschungen entwickelt worden ist, eine breite Anwendung in Wissenschaft und Technik.

In allen Ländern der Welt werden die Probleme der Geodäsie heute mit großer Aufmerksamkeit behandelt. Viele Kollektive hochqualifizierter Fachleute sind auf diesem Gebiet tätig. Ihrer mühevollen Arbeit ist es zu verdanken, daß wir über topographische Karten von vielen Abschnitten der Erdoberfläche verfügen. Es entstand ein ganzes Netz von trigonometrischen Punkten. Die Entfernung zwischen ihnen beträgt im Durchschnitt 10 bis 30 km. Mit Hilfe von Winkelmessern, Lichtentfernungsmessern, astronomischen, funktechnischen und anderen Meßgeräten wurden die Koordinaten derjenigen Punkte berechnet, die sich in direkter Sichtweite befinden. Außerdem wurden im Gebiet jedes Punktes die Werte für die Schwerkraft bestimmt. Die Ergebnisse dieser Messungen ermöglichten eine verhältnismäßig exakte Bestimmung der Lage der Objekte und der — mathematisch gesehen — günstigsten Fläche, die dem jeweiligen Teil der Erdoberfläche annähernd entspricht. Eine solche Fläche, die ist das zweiachsige Ellipsoid, das als Grundlage für das geodätische Koordinatensystem dient. Um die Koordinaten aller Punkte dieses Systems zu erhalten, werden die Koordinaten eines der Netzpunkte als Ausgangswerte genommen, und danach erfolgt die Berechnung aller übrigen Punkte. Historisch gesehen, ging das so vor sich, daß die verschiedenen Länder unabhängig voneinander geodätische Arbeiten durchführten, wobei z. B. das Kartographieren der Erdoberfläche hauptsächlich auf dem Wege der Luftbildaufnahme geschah. Als Koordinatengrundlage dafür dienten die Punkte der geodätischer Netze.

Die Schaffung der geodätischen Grundlagen mit den klassischen Methoden erfordert einen großen Arbeitsaufwand, hohe Kosten und viel Zeit. Das hängt mit der Notwendigkeit zusammen, eine riesige Zahl (Hunderttausende!) von Punkten zu erfassen, mit deren Hilfe die Messungen durchgeführt werden. Die erhaltenen Meßdaten und Informationen müssen ihrerseits wieder ausgewertet werden.

Die Vielzahl der Punkte erklärt sich aus der begrenzten direkten Sichtweite auf der Erdoberfläche. Aus diesem Grunde fehlen bisher nicht nur Karten, sondern auch geodätische Unterlagen für einen beträchtlichen Teil der Erdoberfläche. Außerdem sind die klassischen Methoden bei

der Verwendung von Punkten, die sehr weit voneinander entfernt sind — etwa einige tausend Kilometer — nicht sehr zuverlässig. Das hängt sowohl mit den Meßfehlern als auch mit der Vielzahl der einzelnen Beobachtungsvorgänge zusammen. Große Fehler können auch infolge technischer und rechnerischer Schwierigkeiten bei der Auswertung der umfangreichen Meßdaten auftreten.

Da die Verkehrsmittel und verschiedenen Kommunikationsformen einen immer globaleren Charakter annehmen, wird die Bestimmung der Koordinaten von Punkten notwendig, die sehr weit voneinander entfernt sind. Das ist mit den herkömmlichen Mitteln nur mit einer Genauigkeit von einigen hundert Metern und mehr möglich. Die künstlichen Satelliten eröffneten auch eine neue Ära in der Vermessungskunde der Erde — die Ära der extraterrestrischen oder Satellitengeodäsie. Sie verliehen der Geodäsie eine neue Qualität, denn durch die großen Zonen auf der Erdoberfläche, die von den Satelliten erfaßt werden können, wurde eine globale Auswertung möglich. Wie die Erfahrungen mit den amerikanischen geodätischen Satelliten „ANNA 1 B“, „Geos 1“ und „Geos 2“ sowie Beobachtungen mit Hilfe des „Echo“-Satelliten zeigten, konnten die geodätischen Arbeiten zur Erfassung bestimmter Territorien wesentlich vereinfacht werden, weil die ganzen Zwischenstufen wegfielen, die normalerweise bei dieser Tätigkeit notwendig sind. Wenn z. B. in der klassischen Geodäsie die Entfernung zwischen den Meßpunkten 10 bis 30 km beträgt, so liegen in der „kosmischen Geodäsie“ die Entfernungen um zwei Größenordnungen höher, bei 1000 bis 3000 km.

Die relativ geringe Zahl von geodätischen Punkten führt über die kosmische Bahnvermessung zu einer Vereinfachung der Meßarbeiten. Die Zeit für den Aufbau von geodätischen Netzen verringerte sich. Dadurch gelang es auch, die Genauigkeit beim Aufbau dieser Netze wesentlich zu erhöhen. Das wird bei den geodätischen Netzen für große Territorien besonders deutlich.

Wenn man die Ergebnisse der Satellitengeodäsie analysiert, kommt man zu dem Schluß, daß die Methode der gleichzeitigen Beobachtung des Satelliten von den Bodenstationen aus die wichtigste ist. Er dient als optischer Meßpunkt gegen den Fixsternhintergrund. Dabei werden die verschiedenartigsten Parameter der Punkte und der Satelliten gemessen. Als Parameter können die Entfernung von

der Bodenstation, die Bahngeschwindigkeit, die Bahnneigung, die Abweichungen usw. dienen. Die Meßgeräte sind in den Bodenstationen installiert. Auf dem Satelliten befindet sich eine Apparatur, die die Tätigkeit dieser Meßgeräte gewährleistet. Der Satellit erfüllt im wesentlichen die Rolle eines Leuchtfeuers für die Durchführung von Messungen der Lage von geodätischen Punkten.

Eine hohe Genauigkeit beim Aufbau von geodätischen Netzen erreicht man durch das Fotografieren des Satelliten auf dem Hintergrund des Sternenhimmels von Bodenstationen aus. Die fotografischen Aufnahmen werden in der Nachtzeit mit Spezialkameras mit großen Objektivöffnungen von einigen Dutzend Zentimetern und verhältnismäßig großen Brennweiten bis 1 m durchgeführt. Dabei muß der Satellit entweder von der Sonne angestrahlt werden oder eine Ausrüstung zum Aussenden von kommandogesteuerten Lichtblitzen (Xenonlampen) besitzen. Im ersten Falle ist der Satellit groß genug (etwa einige Dutzend Meter), so daß fotografische Aufnahmen möglich sind. Als Beispiel dafür kann ein amerikanischer Satellit der „Echo“-Serie dienen. Um eine bessere Reflexion der Sonnenstrahlen zu erreichen, wurde seine Hülle mit einem Aluminiumbelag versehen. Die besten Bedingungen für die fotografische Aufnahme eines solchen Satelliten bestehen in den Morgen- und Abendstunden, weil gerade zu dieser Zeit bei einer mittleren Flughöhe von einigen tausend Kilometern gute optische Sichtmöglichkeiten des von der Sonne angestrahlten Satelliten von der Nachtseite der Erde aus herrschen.

Die notwendige Voraussetzung erschwert allerdings die Durchführung der Arbeiten, weil die Größe des Territoriums dadurch eingeschränkt wird, daß Fotoaufnahmen nur auf der Schattenseite der Erde möglich sind. Die geodätischen Untersuchungen werden somit verzögert. Die Gleichzeitigkeit der Beobachtungen des Satelliten von einigen Punkten aus wird durch ein Synchronisiergerät gewährleistet. Dieses Gerät reagiert auf die Signale eines Zeitgebers und bewirkt das gleichzeitige Öffnen und Schließen der Kameraeinrichtungen in den Bodenstationen, von denen aus der Satellit aufgenommen wird. Auf dem Film erscheinen die Sterne in Form von hellen Punkten, die Spur des Satelliten in punktierten Linien. Für jeden Augenblick kann die Lage der Sterne mit hoher Genauigkeit nach einem Sternenkatalog bestimmt werden. Dieser Katalog ist auf

der Grundlage sehr exakter astronomischer Beobachtungen entstanden und enthält die genauen Koordinaten der großen Sterne in Form von Rektaszension und Deklination. Dadurch kann man mit großer Genauigkeit (von Teilen einer Winkelsekunde) die Position des Meßpunktes (des Satelliten) im Koordinatensystem, das fest mit der Erde verbunden ist, bestimmen.

Ein solches Koordinatensystem ist z. B. das rechtwinklige sphärische Koordinatensystem, das als Grundebene die Ebene der Ekliptik benutzt. Wenn auf der Fotoaufnahme die Sterne und die Spur des Satelliten in Form einer punktierten Linie zu sehen sind, kann man die Lage der Striche dieser punktierten Linie, die der Position des Satelliten entsprechen, und die Stellung der ihm am nächsten gelegenen Punkte, die den Sternen entsprechen, bestimmen. Dadurch wird es möglich, auf dem Wege der Interpolation über die bekannten Koordinaten der Sterne die Koordinaten der Striche des Satelliten zu bestimmen.

Die fotografische Aufnahme eines Satelliten von zwei Punkten aus ermöglicht die Bestimmung seiner Koordinaten. Bildlich gesehen wird in diesem Falle die Lage des Satelliten als Schnittpunkt zweier Visierlinien bestimmt.

Auf der Grundlage der Untersuchungen mit den Satelliten der „Echo“-Serie wurden erstmalig ernsthafte Versuche unternommen, eine Satellitentriangulation zu entwickeln. Diese Dreiecksmessung, eine Vermessungsmethode zur Bestimmung der Lage von Punkten der Erdoberfläche von trigonometrischen Punkten, kann mit Hilfe der Satelliten über große Entfernungen ausgeführt werden. Die Ergebnisse dieser Arbeiten zeigten, daß es höchst effektiv ist, mit derartigen geodätischen Methoden zu arbeiten. Mit Hilfe der Satelliten gelang eine sehr genaue gegenseitige Zuordnung von Punkten, die voneinander um einige tausend Kilometer entfernt sind. Allerdings wurden auch negative Erfahrungen mit den „Echo“-Satelliten, was ihre Anwendung in der Geodäsie betrifft, gemacht. Das gilt in erster Linie für die beschränkten Möglichkeiten der gleichzeitigen Beobachtung des Satelliten, da es hierzu notwendig ist, daß die Beobachtungspunkte im Schatten liegen und der Satellit von der Sonne angestrahlt wird.

Sehr schwierig ist es, eine Synchronisation der fotografischen Aufnahmen des Satelliten zu erreichen, wenn die Dreieckspunkte sehr weit voneinander entfernt sind. Ebenfalls

mit Schwierigkeiten verbunden ist die Messung der Lage der punktierten Linien in bezug auf die Sterne, da sie sich auf den fotografischen Aufnahmen oft nur schwach darstellten. Die Mängel können jedoch beseitigt werden, wenn man die Satelliten mit starken Lichtquellen ausrüstet, die in kurzen Abständen Lichtblitze aussenden, so daß man die Fotoaufnahmen auf dem Hintergrund der Sterne vornehmen kann. In diesem Falle ist die Aufnahme von allen Punkten möglich, von denen aus der Satellit sichtbar ist, und die Anstrahlung durch die Sonne ist nicht unbedingt erforderlich. Die Punkte müssen sich auf der Schattenseite der Erde befinden, damit die fotografischen Aufnahmen nicht durch das diffuse Licht der von der Sonne beleuchteten Atmosphäre gestört werden. Aus diesem Grunde ist es wichtig, die Anzahl der Punkte zu erhöhen, von denen aus diese Aufnahmen erfolgen. Dadurch kann auch die Zeit für die geodätischen Messungen beträchtlich verkürzt werden. Außerdem vergrößert sich der „Umfang“ der Blitze bedeutend, d. h. die Anzahl der Punkte, von denen aus der Satellit gleichzeitig fotografiert wird. Das führt wiederum zu einer Erhöhung der Genauigkeit der geodätischen Untersuchungen.

Die amerikanischen Satelliten dieses Typs („Geos“) haben eine Umlaufmasse von 150 bis 200 kg, ihr Durchmesser beträgt etwa 1 m. Die Blitze werden in Serien erzeugt („Blinkfeuersatelliten“). Auf der Fotografie erscheinen die Sterne als einzelne Punkte und außerdem die „Blitze“. Die Blitzserien erzeugt man deshalb, um auf der Fotografie die Sterne besser identifizieren zu können und Fehler, die durch den Aufnahmevorgang bedingt sind, auszuschließen. Die exakte Darstellung der Blitze auf der Fotografie erhöht die Genauigkeit solcher Messungen und damit auch die Genauigkeit des Gradnetzes. Die Gleichzeitigkeit der Aufnahme wird durch die minimale Dauer der Blitze gewährleistet.

Ein wesentlicher Mangel der optischen Methoden zur Beobachtung des Satelliten ist ihre Abhängigkeit vom Bewölkungsgrad an den Beobachtungspunkten und den dort herrschenden Sonnenlichtverhältnissen. So kann man z. B. praktisch keine Aufnahmen von solchen Punkten aus machen, die in den Sommermonaten hinter dem Polarkreis liegen, weil dann Tag und Nacht die Sonne scheint. An einer Reihe von Orten auf der Erde mit ungünstigen meteorolo-

gischen Bedingungen und hohem Bewölkungsgrad ist die fotografische Aufnahme des Satelliten und vor allem eine Synchronaufnahme der Blitze von einigen Punkten aus erheblich erschwert. Diese Schwierigkeiten können durch die Verwendung von funktechnischen Meßmitteln beseitigt werden, denn sie bieten die Gewähr für eine ausreichende Meßgenauigkeit zu jeder beliebigen Tageszeit, unabhängig von der Bewölkungsdichte. Dadurch ist es möglich, einen großen Umfang von Informationen in verhältnismäßig kurzer Zeit zu erhalten.

Es werden verschiedene Meßverfahren angewendet: Entfernungsmessung nach dem Prinzip der Funkortung und Dopplerfrequenzmessung an den vom Satelliten ausgestrahlten Signalen.

Die geodätischen Satelliten vom Typ „SECOR“, die in den USA gebaut wurden, besitzen eine einfache Konstruktion, eine geringe Masse und sind verhältnismäßig billig. Sie sind mit Radarantwortgeräten (Radartranspondern) ausgerüstet, die von der Erde aus mit Hilfe von Interrogatoren (Geräten zur Abfrage von Informationen) angesprochen werden.

Große Perspektiven in der Meßtechnik der Satellitentriangulation haben Laser. Die hohe Strahlungsintensität, die Kohärenz des ausgestrahlten Signals und die sehr kurzen Impulse infolge der geringen Wellenlänge ermöglichen die Messung der Entfernung und der Radialbewegung mit wesentlich höherer Genauigkeit als mit funktechnischen Ortungsverfahren. In diesem Falle, wie übrigens auch in allen vorangegangenen, sind die Meßgeräte auf der Erde stationiert, während der Satellit Laserreflektoren (z. B. silberverspiegelte Quarzprismen) besitzt, die sehr einfach im Aufbau sind und außerdem eine geringe Masse haben. Diese Anlagen verwendet man z. B. auf den amerikanischen „GEOS“- und den französischen „Diademe“-Satelliten.

Zur Zeit ist die Lasertechnik in einer stürmischen Entwicklung begriffen. Es ist zu erwarten, daß in den nächsten Jahren die Meßverfahren auf der Grundlage der Laser die wichtigste Stellung bei der exakten Bestimmung der Koordinaten mit Hilfe künstlicher Erdsatelliten einnehmen. Durch die Satellitentriangulation kann man die Form und Größe des Erdkörpers, das Ellipsoid, näher bestimmen. Mit hoher Genauigkeit wird die Asymmetrie der nördlichen

und südlichen Halbkugel, die Wölbung der Erdoberfläche usw. dargestellt. Außerdem ist es möglich, durch die exakten Messungen mit einer Genauigkeit bis zu einigen Metern die „Atmung“ und das „Leben“ unseres Planeten zu spüren und zu erforschen. Wenn man Messungen an bestimmten Stellen mit vornimmt, kann man die Geschwindigkeit und die Richtung der kontinentalen Verschiebungen, die Hebung und Senkung des Festlandes, die Gesetzmäßigkeiten des „Schwimmens“ der Inseln usw. bestimmen. Dadurch kann man die wissenschaftlichen Hypothesen über die Entstehung der Erde und die in ihr vor sich gehenden Prozesse präzisieren und möglicherweise neue aufstellen. Dadurch wird es einfacher, die Gebirgsfaltungen, die Gesetzmäßigkeiten ihres Aufsteigens und Sinkens, die vulkanischen Ausbrüche und andere geophysikalische Vorgänge zu verstehen. Das bedeutet wiederum eine große Hilfe für die Geologie. Unter anderem lassen sich Lagerstätten von Bodenschätzen feststellen und möglicherweise Katastrophen auf der Erdoberfläche voraussagen. Und noch ein weiteres wichtiges Ergebnis für die Geophysik läßt sich mit Hilfe der geodätischen Satelliten gewinnen — die Präzisierung des Schwerfeldes der Erde. Bekanntlich ist seine Struktur sehr kompliziert. Gewöhnlich bemerken wir das natürlich nicht. Wenn die Veränderung der Schwerkraft nur einige Prozentteile beträgt, hat das auf uns keinerlei Einfluß. Aber bei der Betrachtung von globalen Prozessen hat die Heterogenität des Schwerfeldes einen bedeutenden Einfluß. So rufen die Abweichungen des wirklichen Schwerfeldes infolge der örtlichen Besonderheiten der Erdkruste von der Normalschwere eine Verschiebung der Bahnebene des Satelliten hervor. Die Schwerewerte sind von der Verteilung leichterer und schwererer Massen im Erdkörper abhängig, was bei der Erkundung von Bodenschätzen ausgenutzt wird, denn Aufwölbungen dichter Schichten und Einlagerungen spezifisch schwerer Massen im Untergrund verursachen Abweichungen von der Normalschwere.

Auf der Erde wird das Schwerfeld hauptsächlich mit Gravimetern gemessen, die kompliziert und verhältnismäßig teuer sind. Ihre Anwendung ist im wesentlichen auf das Festland beschränkt, da auf dem Wasser Störungen durch die Schlingerbewegungen auftreten. Aber sogar auf dem Festland ist die Durchführung von exakten gravimetrischen Messungen aufwendig. Beim Einsatz von Satelliten ist das

anders. Sie bewegen sich im Schwerfeld der Erde und liefern uns als ihr „Werk“ eine Bahn. Sie ist gleichsam der „Fingerabdruck“ des Schwerfeldes. Durch die Beobachtung der Satellitenbahnen ist es außerdem möglich, die wahre Erdfigur zu präzisieren, da sich aus den Bahnstörungen, die im wesentlichen durch die Abweichungen von der reinen Kugelgestalt verursacht werden, rückwirkend die Erdgestalt berechnen läßt. Natürlich haben noch viele andere Faktoren einen Einfluß auf die Bewegung eines Satelliten, wie z. B. der atmosphärische Widerstand, die Anziehungskraft von Mond, Sonne und Planeten, der Lichtdruck der Sonne usw. Aber ihr Einfluß ist entweder sehr klein oder kann überhaupt außer acht gelassen werden.

Durch die Erforschung der Besonderheiten der Satellitenbahnen sind schon beachtliche Ergebnisse erzielt worden, die eine Präzisierung des Schwerfeldes ermöglichen. Um das Feld der ganzen Erde zu untersuchen, ist es erforderlich, daß Satelliten über alle ihre Gebiete auf verschiedenen Bahnen und in unterschiedlichen Höhen fliegen. Die Vielzahl der Beobachtungen ermöglicht dann die Bestimmung des Schwerfeldes und seiner Entwicklung. So kann unschätzbare Material für die weitere Aufhellung vieler Zusammenhänge auf unserem bisher noch so geheimnisvollen Planeten gewonnen werden. Durch die Raumfahrttechnik werden die geodätischen Verfahren glänzend vervollständigt. Es wird eine Übereinstimmung zwischen der Größe der Erde und den Mitteln für ihre Messung hergestellt.

Wenn der Mensch seine genaue Position auf der Erdoberfläche zu bestimmen hat oder wissenschaftliche Probleme im globalen Maßstab lösen muß, kann er sich sozusagen des Weltraumes bedienen. Auch geodätische Expeditionen werden neue Formen annehmen. Mit großer Genauigkeit wird man durch den Einsatz von Satelliten Karten anfertigen können, die für den Bau von Wasserkraftwerken, Eisenbahnlinien, Städten und Industrieanlagen von Bedeutung sind. So kann man sagen, daß die Menschheit das vor Jahrtausenden begonnene „Porträt“ unseres Planeten mit Hilfe der Raumfahrttechnik vollendet.

# Satellitennavigation

**A**lle Lebewesen sind in der Lage, sich im Raum zu orientieren. Dazu dienen ihre biologischen Navigationssysteme, die Sinnesorgane. Erstaunlich ist z. B. die Fähigkeit einiger Vögel und Meerestiere, auch in einem unbekanntem Gebiet sich richtig zu orientieren. Der Mensch hat seine physiologisch begrenzten Fähigkeiten dadurch erweitert, daß er sich Ortungsgeräte schuf. Ein Beispiel dafür ist die Seefahrt. Je weiter sie sich entwickelte, um so deutlicher kam dem Menschen die Tatsache zum Bewußtsein, daß die eigenen biologischen Voraussetzungen unter den neuen Bedingungen nicht mehr ausreichend waren. Er war gezwungen, sich Hilfsmittel zu schaffen, die auf der Grundlage der „natürlichen Navigationsfelder“ und Bezugspunkte arbeiten. So entstanden der Magnetkompaß, der Sextant und andere Geräte.

Für die Navigation wurden die neuesten Errungenschaften von Wissenschaft und Technik ausgenutzt. Die Entwicklung einiger Wissenschaftszweige, wie z. B. der Mathematik und der Astronomie, oder einzelner Gebiete der Technik wie der Anwendung von Kreiseln (Gyroskopen), wurde ebenfalls von den Anforderungen der Navigation stimuliert.

Die Leistungsfähigkeit von Anlagen für die astronomische Navigation hängt wesentlich von den Witterungsverhältnissen und der Tageszeit ab. In mittleren Breiten kann man diese Anlagen nur in einem Zeitraum einsetzen, der 15% von 24 Stunden ausmacht. Deshalb wurden auch hier radioastronomische Geräte eingesetzt, die in weitaus geringerem Maße von den meteorologischen Bedingungen abhängig sind. Sie arbeiten auch bei starkem Regen, bei Schneefall oder Nebel. So werden mit Hilfe des Radiosextanten — statt der sichtbaren Sterne wie bei dem Astrosextanten —

Radioquellen im Weltraum angepeilt und die hochfrequenten Strahlungen von Himmelskörpern gemessen (z. B. von Sonne und Mond). Diese Systeme wurden versuchsweise in der Seefahrt eingesetzt.

Für die übliche Funknavigation werden Funkortungssysteme eingesetzt, deren nutzbare Reichweite jedoch begrenzt ist. Die Genauigkeit der Ortungen ist zudem oft recht unterschiedlich, abhängig von Ort und Zeit, so daß sie in einigen Fällen nicht ausreichen. Die meisten Navigationsverfahren haben einen relativ hohen gerätetechnischen Aufwand in Form äußerer Einrichtungen zur Voraussetzung. Es gibt Verfahren, die mit äußeren Einrichtungen gekoppelt und daher als kooperative Funkortungsverfahren ausgebildet sind. Daneben existieren aber auch Verfahren, die autonom arbeiten. Zu ihnen gehören Systeme auf der Grundlage der Eigenschaften von Kreiseln. Man nennt dieses Verfahren der Eigenortung auf der Grundlage der Wirkung von Trägheitskräften Trägheitsnavigation. Aber das sogenannte Ausscheren der Gyroskope, d. h. ihre Präzession, verhindert, daß sie universal einsatzfähig sind. Sie werden vor allem in der Raumfahrt angewandt.

Die künstlichen Erdsatelliten eröffnen neue Möglichkeiten für die Navigation. Navigationssysteme erlangen durch den Einsatz der Satelliten globalen Charakter.

Eine Allwetternavigation kann bei der Anwendung von Funkmitteln im Höchsthfrequenzbereich erreicht werden. Außerdem kann man durch die Vervollkommnung der Meßanlagen die Position der Objekte mit großer Genauigkeit bestimmen.

Die Navigation unter Verwendung von Satelliten beruht auf der Messung der Parameter der Position und der Bewegung des jeweiligen Objektes und des Satelliten. Als Parameter dafür können dienen: die Entfernung des Satelliten, die Geschwindigkeit der Änderung dieser Entfernung (Radialbewegung), die Richtungswinkelbestimmung, die Messung der Dopplerfrequenz. Wenn die Koordinaten und die Geschwindigkeit des Satelliten im Moment der Messung bekannt sind, genügen die drei Größen der relativen Position, um die drei Koordinaten des Objektes zu bestimmen. Wenn man z.B. die Entfernung Objekt—Satellit zu drei verschiedenen Zeitpunkten mißt, kann man die gesuchten Koordinaten des Objektes finden.

Die Lösung dieser Aufgabe ist auch durch die Messung

beliebiger anderer Größen möglich, z.B. zweier Orientierungswinkel der Visierlinie usw. Die Genauigkeit der Navigation ist in diesem Falle niedrig. Dabei treten Fehler auf, die verschiedene Ursachen haben. Sie können durch die Ungenauigkeit einzelner Elemente der Meßapparaturen, die unkontinuierliche Arbeit der funktechnischen Anlagen usw. bedingt sein. Diese Fehler können die Genauigkeit der Navigation sehr beeinflussen. Die Fehler, die lediglich zeitbedingt sind, kann man verringern, indem die Anzahl der Messungen erhöht wird. Die Bearbeitung der Meßergebnisse, die Berechnung der Durchschnittswerte, trägt dazu bei, zufällige Veränderungen der Meßwerte auszugleichen und annähernd exakte Werte zu erhalten. Je mehr Messungen vorgenommen werden, um so näher kommt man dem wahren Wert der Meßgröße. Deshalb führt man bei Navigationsarbeiten nicht nur die drei notwendigsten, sondern wesentlich mehr Messungen durch (einige Dutzend bis etwa hundert). Aber auf diese Weise kann der Einfluß der sogenannten systematischen Fehler, deren Größe sich im Verlauf der Messungen nicht wesentlich ändert, nicht verringert werden. Die wirkungsvollste Methode zur Neutralisierung der systematischen Fehler ist die Ausschaltung der Faktoren, durch die sie hervorgerufen werden. Das gilt in erster Linie für die Verbesserung der Fertigungstechnologie der Apparaturen und für die Vervollkommnung der Auswertungsmethoden für die Meßergebnisse.

Die Messung der Parameter der relativen Bewegung des Satelliten und des Objektes kann auf verschiedenen physikalischen Prinzipien beruhen: der Messung der Veränderungen der Frequenz von Funksignalen des Satelliten im Gefolge der Radialgeschwindigkeit (Dopplereffekt), der Bestimmung der Laufzeit des Signals vom Objekt zum Satelliten und umgekehrt usw.

Die Messungen auf dem Objekt (Schiff, Flugzeug) können nach verschiedenen Methoden erfolgen. Die eigentliche Meßapparatur kann sich auf dem Objekt befinden, die Hilfsgeräte auf dem Satelliten, wie das bei den amerikanischen „Transit“-Satelliten der Fall ist. Sie verfügen vor allem über einen starken Sender, dessen Frequenz eine hohe Konstanz hat, so daß die Frequenzverschiebung bei gegenläufiger Bewegung von Satellit und Objekt (Dopplerfrequenz) exakt ermittelt werden kann. Auf diese Weise ist eine Ortungsgenauigkeit bis etwa 200 m erreichbar.

Möglich sind auch passive Satelliten, die ein Relais für die Reflexion von Funkpeilsignalen haben. Es ist von geringer Masse und verbraucht wenig Energie. Dadurch kann man leichte, einfache und billige Satelliten bauen. Aber bei einer großen Zahl von See- und Luftfahrzeugen sind dann komplizierte und verhältnismäßig teure Anlagen notwendig.

Allgemein üblich ist das andere Aufbauprinzip, wobei der Satellit allerdings kompliziert und teuer wird, während sich auf den Objekten verhältnismäßig einfache und billige Anlagen befinden.

Die Koordinaten des Satelliten zum Zeitpunkt der Navigationsmessungen können auf gewöhnliche Art und Weise mit Hilfe von Bodenmeßanlagen bestimmt werden. Diese Bahndaten kann der Satellit zugleich mit seinen Kennungszeichen bei jeder Ortung selbst den Schiffen übermitteln. In dem Satelliten befindet sich ein Speicher, in den von der Bodenleitzentrale aus bei jedem Umlauf die Parameter seiner derzeitigen Umlaufbahn eingegeben werden. Die gespeicherte Information wird vom Satelliten während seines Freifluges periodisch oder „auf Anforderung“ an die aufnehmende Station (z. B. Schiff) abgegeben.

Um die Bestimmung der Position des Objektes zu vereinfachen, kann ein Ephemeridenkatalog der Navigationssatelliten für einige Monate oder ein Jahr im voraus aufgestellt werden. Allerdings braucht man dann keine Speichergeräte. Aber dafür ist es notwendig, auf der Grundlage einer genauen Kenntnis der Bahnelemente die Ephemeriden (eine Reihe geozentrischer Koordinaten eines Körpers an der Himmelskugel mit zeitlich konstantem Abstand) sehr genau vorauszuberechnen. Das ist möglich, wenn über eine bestimmte Zeit die physikalischen Bedingungen, denen der Raumflugkörper im Weltraum unterworfen ist, untersucht werden.

Das Schwerfeld ist der Hauptfaktor, der die Bewegung des künstlichen Erdsatelliten bestimmt. Die Erforschung des Schwerfeldes mit geodätischen Satelliten und anderen Mitteln führt dazu, daß die Genauigkeit der Vorausberechnung von Satellitenbahnen wesentlich erhöht werden kann. Durch exakte geodätische Messungen können auch andere Störfaktoren weitestgehend ausgeschaltet werden. Nehmen wir an, es würde ein geodätischer Satellit, der in seiner Form, in seiner Masse und in anderen Merkmalen den Navi-

gationssatelliten ähnlich ist, auf die Umlaufbahn eines Navigationssatelliten gebracht. Im Laufe einer längeren Zeit (etwa einigen Jahren) würden mit seiner Hilfe exakte Messungen der Bahn vorgenommen. Dadurch wäre es möglich, den Charakter der Bewegung von geodätischen Satelliten auf der Umlaufbahn von Navigationssatelliten exakt zu erforschen. Dabei könnte man alle Faktoren, die auf den Satelliten einwirken, wie Schwerfeld, Strahlungsdruck, Anziehungskraft von Mond, Sonne und Planeten, genau bestimmen. Möglicherweise wird der Einfluß jedes einzelnen dieser Faktoren nicht mit großer Genauigkeit festgestellt werden können, aber der Einfluß aller Faktoren zusammengekommen kann zuverlässig bestimmt werden. Wenn danach ein Navigationssatellit auf die untersuchte Umlaufbahn gebracht wird, kann man seine Bahndaten für eine längere Zeit vorausberechnen und einen entsprechenden Ephemeridenkatalog aufstellen.

Einen sehr großen Einfluß auf die Genauigkeit der Vorausberechnung von Satellitenbahnen haben Fehler bei der Bestimmung der einzelnen Bahnelemente. Diese Fehler werden vor allem durch die Meßanlagen auf der Erde bedingt. Deshalb müssen diese so vervollkommenet werden, daß langfristige genaue Vorausberechnungen der Satellitenbahnen möglich sind.

Es geht aber nicht nur um eine exaktere Messung der Bahnelemente des Satelliten. Die Standorte der Leit- und Meßstationen müssen auch der voraussichtlichen Bahnabwicklung angepaßt sein. Wenn das nicht der Fall ist, kommt es bei einer Konzentration von Meßstationen zu einer Veränderung bei der Bestimmung der Position des Navigationssatelliten bezüglich der Grundebene des Koordinatensystems und damit auch zu einer Veränderung gegenüber den Bezugspunkten auf der Erde, was katastrophale Folgen haben kann. Wenn dagegen die Meßpunkte auf der Erdoberfläche gut verteilt sind, dann wird ein derartiger Fehler weitgehend ausgeglichen.

Die entscheidende Rolle bei der Beseitigung von derartigen „Anschlußfehlern“ spielen die geodätischen Satelliten. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, einen Anschluß der Meßpunkte an die Netzpunkte mit großer Genauigkeit vorzunehmen. Bei einer langen Lebensdauer der Satelliten, die einige Jahre betragen kann, muß der Katalog in bestimmten Zeitabständen neu bearbeitet werden, weil es sonst zu Unstim-

migkeit zwischen den Ephemeriden des Katalogs und der tatsächlichen Bahnbewegung des Satelliten kommt. Möglich ist auch ein anderer Weg. Auf dem Satelliten wird ein Korrektursystem installiert, das seine Flugbahn je nach Bedarf korrigiert und auf diese Weise Abweichungen von den Katalogwerten verhindert.

Wenn eine Ortung notwendig ist, werden diejenigen Meßanlagen von Schiffen oder Flugzeugen eingeschaltet, die Messungen der Position des Objektes und des Satelliten vornehmen. Falls man Richtantennen verwendet, so werden diese vorher „ausgestellt“ (grob ausgerichtet), und zwar nach dem Katalog der Position des Satelliten und den Orientierungskordinaten des Navigationsobjektes. Die Ergebnisse der Messungen und die Koordinaten des Satelliten werden in eine elektronische Datenverarbeitungsanlage eingegeben, mit deren Hilfe man dann die Koordinaten des Objektes genauer bestimmt. Dabei kann die spezielle Apparatur des Satelliten ständig eingeschaltet sein, d.h., in kleinen Zeitabständen werden die Bahndaten übermittelt und ständig Navigationssignale ausgestrahlt oder Zwischenübertragungsgeräte eingeschaltet.

Dieser Vorgang kann auch anders ablaufen, wenn der Satellit Signale nur auf Anforderung von Schiffen oder Flugzeugen abstrahlt. In diesem Falle erhöht sich die Rentabilität des Satelliten, aber das Ortungsverfahren wird komplizierter. Bei einer großen Anzahl von Bestimmungsobjekten ist die erstgenannte Methode am zweckmäßigsten. Die Installierung von Rechnern auf dem Satelliten vereinfacht schließlich die Navigationsausrüstung der Objekte wesentlich und führt zu einer erheblichen Kostensenkung bei den zahlreichen Bodenanlagen. Aber dadurch wird der Satellit noch komplizierter und teurer.

Es ist möglich, daß sich bei einer großen Anzahl von Bedarfsträgern (Hochseeflotte, Luftfahrt) eine solche Arbeitsteilung als günstig erweist, zumal die Berechnung der Koordinaten für jedes Navigationsobjekt eine komplizierte und teure Angelegenheit ist. Außerdem ist es nicht ausgeschlossen, daß auch die Unterbringung der Hauptteile der Meßgeräte auf dem Satelliten sich als vorteilhaft erweist. Dann brauchen auf Schiffen und anderen Objekten nur noch Hilfsgeräte zu sein, die einfach und billig sind. Das Navigationsschema kann dann etwa folgendermaßen aussehen: Die Schiffe erhalten ihre Koordinaten unmittelbar über

Funk von den Satelliten. Diese Tätigkeit wird analog dem Dienst eines automatischen Telefonnetzes organisiert. Der Satellit stellt dann gleichsam die automatische Station dar, während die Schiffe die Teilnehmer sind. Die Teilnehmer können sowohl mit der Rechenanlage des Satelliten als auch mit dem „Gedächtnis“ der Anlage und sogar untereinander „sprechen“. Das Schiff kann bei Bedarf über einen Funkkanal die Rechenanlage des Satelliten und seine Meßgeräte „anrufen“. Es werden Messungen vorgenommen, die Ergebnisse ausgewertet, und nach einiger Zeit übermittelt der Satellit dem Schiff die Koordinaten. Dabei kann es natürlich vorkommen, daß im Augenblick des Anrufes die Rechenanlage schon durch die Verbindung mit einem anderen Schiff besetzt ist. Dann muß man sich, wie das üblich ist, „in einer Reihe anstellen“ oder noch einmal „anrufen“. Die Kapazität des Satelliten wird genügend groß sein, so daß solche Fälle, wie auch bei gewöhnlichen Telefonnetzen, selten sein werden. Jedes Schiff wird seine Nummer besitzen. Im „Gedächtnis“ der Datenverarbeitungsanlage auf dem Satelliten befindet sich eine spezielle Speicherzelle, in die man die Koordinaten und sogar den Kurs des Schiffes eingibt. So kann man zugleich mit den Angaben über die eigene Position auch aus dem „Gedächtnis“ des Satelliten Daten über die Position und den Kurs benachbarter Schiffe erfahren. Ohne große Schwierigkeiten wird man über einen Navigationssatelliten eine Verbindung mit anderen Schiffen herstellen können. Günstig wäre eine Koppelung von Navigations- und Nachrichtensatelliten, die gleichsam eine Dispatcherzentrale bilden würden. Über sie könnte man auch Mitteilungen über die Witterungsverhältnisse und andere Faktoren erhalten.

Natürlich gibt es auch andere Möglichkeiten der Navigation und Nachrichtenübermittlung. Es steht jedoch fest, daß die Navigationssatelliten große Vorzüge gegenüber allen anderen Systemen besitzen. Eine große Bedeutung für die erfolgreiche Arbeit der Navigationssatelliten hat die richtige Auswahl der Bahnparameter. Vor allem müssen ausreichende Möglichkeiten bestehen, den Satelliten im „Sichtfeld“ der Navigationsobjekte zu haben. Ein Satellit, der sich in einer erdnahen Polarbahn befindet, „überblickt“ die ganze Erdoberfläche innerhalb von 24 Stunden fast lückenlos, denn die Erde bewegt sich in bezug auf den Satelliten so, daß er an jedem beliebigen Punkt zweimal innerhalb von

24 Stunden sichtbar ist. Jedoch reicht das für die Navigation noch nicht aus. Deshalb muß die Anzahl der Navigationssatelliten erhöht werden. Um ein kontinuierliches „Abtasten“ der Erdoberfläche mit Hilfe der Polsatelliten zu gewährleisten, muß sich ständig eine bestimmte Anzahl von Navigationssatelliten auf einer Umlaufbahn befinden, deren Bahnebene um  $90^{\circ}$  gegen die Ebene des Erdäquators geneigt ist (Tab. 3).

*Tabelle 3*

*Die notwendige Anzahl von Satelliten auf einer Polarbahn zur Gewährleistung einer zuverlässigen Navigation an einem beliebigen Punkt auf der Erde*

Bahnhöhe in km	200	1 000	10 000	20 000	36 000
Anzahl der Satelliten	160	36	8	6	5

Wenn die Anzahl der Satelliten geringer ist, kommt es zwangsläufig zu Unterbrechungen in der Nachrichtenübermittlung, die sogar zehn Minuten und mehr betragen können.

Die Satellitennavigation in der Schifffahrt wird dadurch vereinfacht, daß der intensivste Schiffsverkehr in den mittleren Breiten zu verzeichnen ist. In der Polargebieten ist er natürlich wesentlich geringer. Deshalb kann bei Polsatelliten, die sich in mittleren Höhen bewegen, die Bahnneigung bis zu  $70^{\circ}$  verringert werden, so daß Unterbrechungen in der Nachrichtenübermittlung, besonders in den Breiten von  $60$  bis  $70^{\circ}$ , wesentlich kürzer sind.

Bei der Verwendung von stationären Satelliten kann man eine kontinuierliche Erfassung der mittleren Breiten der Erdoberfläche erreichen, wenn diese Satelliten gleichmäßig über die ganze Bahn verteilt sind. Aber eine Synchronbahn wirkt sich in gewissem Sinne auch nachteilig auf die Navigation aus. Erstens verlangt die große Entfernung von der Erde die Installierung von Sendern mit hoher Kapazität und von Empfängern mit großer Empfindlichkeit. Zweitens, und das ist das Entscheidende, ist ein Satellit auf einer geostationären Bahn immer unbeweglich bezüglich der Erdoberfläche.

Bekanntlich sind zur Bestimmung der Position z. B. eines Schiffes wenigstens drei Messungen erforderlich. Man mißt nun entweder gleichzeitig drei Elemente, die Entfernung und zwei Winkel, oder aber nur jeweils ein oder zwei Elemente. Letzteres bedeutet, daß sich immer zugleich zwei oder drei Satelliten im Sichtfeld eines Schiffes befinden müssen.

Auf diese Weise kann jedes beliebige Schiff, Flugzeug oder andere Objekt in mittleren Breiten seine Koordinaten bestimmen. Das geschieht durch gleichzeitiges Messen von drei verschiedenen Elementen mit Hilfe von drei Satelliten, von zwei Elementen bei nicht weniger als sechs Satelliten oder von einem Element bei mindestens neun Satelliten.

Natürlich kann man auch eine etwas geringere oder größere Bahnhöhe für den Satelliten wählen, um ihn zu „zwingen“, eine Ortsveränderung bezüglich des Schiffes vorzunehmen. Die Veränderungen würden jedoch so ungünstig sein, daß man, um eine ausreichende Genauigkeit der Navigation zu erreichen, die Meßdauer um einige Stunden oder manchmal auch Tage verlängern müßte, was natürlich nicht statthaft ist.

Niedrige Bahnhöhen der Satelliten sind für Navigationsbestimmungen günstiger. Innerhalb weniger Minuten kann der Satellit große Entfernungen zurücklegen, und durch die Messung ein und derselben Parameter in Intervallen von wenigen Sekunden wird eine hohe Genauigkeit der Navigation erreicht. Aber bei geringen Bahnhöhen ist es praktisch nicht möglich, eine kontinuierliche Messung aufrechtzuerhalten. Außerdem ist ein Satellit, der sich in einer geringen Höhe bewegt, dem starken Einfluß vieler Störfaktoren, besonders der atmosphärischen Bremswirkung und den Anomalien des Schwerefeldes, ausgesetzt. Den Einfluß der Atmosphäre kann man in Höhen von tausend und mehr Kilometern praktisch ausschalten, während sich das Schwerefeld auch in noch größeren Höhen störend auswirkt. Aber hier können, wie schon oben erwähnt wurde, die geodätischen Satelliten eine positive Rolle spielen.

Durch den Einsatz von Satelliten für die Navigation konnten die Navigationsverfahren wesentlich verbessert werden. Aber das bedeutet keineswegs das Ende für die klassischen Navigationsmethoden. Sie bleiben nach wie vor bestehen und werden weiterhin mit Erfolg angewendet.

# Erforschung der atmosphärischen Vorgänge

Unser Planet ist von einem gewaltigen Luftozean umgeben, dessen Masse einen bestimmten Druck auf alles Lebende auf der Erde ausübt. Das Gewicht dieses Ozeans wird uns aber nicht bewußt, obwohl in jedem Kubikmeter der Atmosphäre im erdnahen Raum etwa 1 kg Luft enthalten ist. Mit zunehmender Höhe ändert sich die atmosphärische Dichte verhältnismäßig schnell. Schon in einer Höhe von 10 km beträgt sie nur noch 35% und in einer Höhe von 100 km — 0,00004% der Dichte, die in Höhe des Meeresspiegels herrscht. Trotzdem ist das Vorhandensein der Atmosphäre sogar noch in einer Höhe von 1 000 km zu spüren, obwohl sie dort äußerst dünn ist: In jedem Kubikmeter sind insgesamt nur  $5 \cdot 10^{-11}$  g enthalten. Wenn die Atmosphäre überall die gleiche Dichte besitzen würde, die in Höhe des Meeresspiegels herrscht, dann würde ihre obere Grenze in einer Höhe von etwa 10 km über der Erdoberfläche verlaufen. Das bedeutet, daß auf jeden Quadratmeter der Erdoberfläche eine Luftsäule von 10 km Höhe mit einer Masse von fast 10 t drückt. Die Masse der gesamten Erdatmosphäre erreicht den gewaltigen Wert von  $5 \cdot 10^{15}$  t.

Die in diesem riesigen Luftozean vor sich gehenden komplizierten Prozesse sind in großem Maße für das Leben des Menschen und seine Arbeit bestimmend. Für den Schiffsverkehr ist es z. B. sehr wichtig, die Wetterlage, vor allem aber die Durchzugsgebiete von Taifunen, Hurrikanen und Tornados, zu kennen. Der Luftverkehr benötigt Angaben über Gewitterfronten und Nebelzonen sowie über die Luftströmungen usw. Nur so ist es möglich, den Verkehr zu Wasser und in der Luft reibungslos abzuwickeln. In der Landwirtschaft werden Angaben über bevorstehende Niederschläge, Luft- und Bodentemperaturveränderungen u. a. für die gün-

stigste Festlegung von Aussaat- und Ernteterminen benötigt. Eine besonders große Bedeutung für die Wasserwirtschaft hat die Vorhersage über Niederschläge und den Wasserstand in Flüssen und Staubecken. Diese Wasserstandsmeldungen sind die Voraussetzung für eine richtige Arbeitsorganisation auf diesem Gebiet. Wettervorhersagen sind also für viele Zweige der Volkswirtschaft von großer Wichtigkeit. Vorhersagen über die Wetterlage für Tage, Monate und eventuell noch längere Zeiträume sind für jeden von uns von großem Interesse.

Eine Vielzahl von Ursachen wirkt sich bei dieser Art von Vorhersagen jedoch erschwerend aus. Letztlich hängen alle Erscheinungen in der Atmosphäre mit der Sonneneinstrahlung zusammen, die fast die gesamte Energie für das Wettergeschehen liefert. Aber diese Prozesse sind derart vielgestaltig und kompliziert, daß ihre Erforschung, Berechnung oder gar Vorhersage mit großen Schwierigkeiten verbunden ist. Das liegt an der Heterogenität der Atmosphäre, in ihren Zirkulationsschwankungen, an ihren großen Austauschströmungen, an der Verschiedenartigkeit des Reliefs der Erdoberfläche und ihren physikalischen Eigenschaften, die mit der Erdrotation sowie der Wärmeabstrahlung von Erde und Atmosphäre in den Weltraum verbunden sind. An der Grenze der Erdatmosphäre erhält jeder Quadratmeter im Verlauf von einer Minute eine Energiemenge von der Sonne, die 20 kcal entspricht. Ungefähr 35% dieser Energie wird an den Weltraum abgegeben, 15% werden von der Atmosphäre absorbiert und 50% von der Erdoberfläche.

Neben dem sichtbaren Licht sendet die Sonne auch Radiofrequenzstrahlung, Infrarot-, Ultraviolett- und Röntgenstrahlung sowie einen Partikelstrom vorwiegend von Protonen aus, der als Sonnenwind bezeichnet wird, sowie andere Teilchenströme. Jede der verschiedenen Sonnenstrahlungen hat einen unterschiedlichen Einfluß auf die einzelnen Schichten der Atmosphäre. Ein beträchtlicher Teil der Sonnenenergie gelangt dabei auf die Erdoberfläche. Ein Teil wird von der Erdoberfläche in den Weltraum reflektiert, der übrige Teil von ihr aufgenommen.

Wenn sich die Erde erwärmt hat, gibt sie Wärme an die Atmosphäre ab. Die Wärmeabgabe erfolgt sowohl durch die Berührung der Luft mit der Festlands- und Wasseroberfläche als auch auf dem Wege der Wärmeabstrahlung von der Erde aus. Die Atmosphäre ist in der Lage, die von der

Erde abgestrahlte Wärme aufzunehmen. Dabei absorbieren ihre Schichten verschiedene Komponenten des Spektrums der Wärmestrahlung.

Die große Beweglichkeit der Atmosphäre beruht zunächst auf der Tatsache, daß die Luftmassen von Orten hohen Drucks nach Orten geringeren Drucks strömen. Infolge der Erdrotation erfahren jedoch die auf der nördlichen Halbkugel entstehenden Luftströme eine Ablenkung nach rechts und auf der südlichen nach links. Das führt zur Bildung von atmosphärischen Wirbeln riesigen Ausmaßes: den Zyklonen und Antizyklonen. Infolge der Reibung zwischen der Erdoberfläche und den sich bewegenden Luftmassen und zwischen den einzelnen Luftschichten selbst wirkt sich die Ablenkraft der Erdrotation in verschiedenen Höhen unterschiedlich aus.

Wenn man die Gesamtwirkung aller Faktoren berücksichtigt, ergibt sich ein sehr kompliziertes Bild der Luftströmungen in der Erdatmosphäre. Notwendige Voraussetzung für die Vorhersage des Verhaltens irgendeines Objektes oder irgendeiner Erscheinung ist die genaue Erforschung. Wenn man sich mit irgendeinem Objekt bekannt machen will, muß man wenigstens die Möglichkeit besitzen, es zu sehen. Um das Objekt dann zu erforschen, ist es notwendig, Messungen seiner wichtigsten Parameter vorzunehmen. Am kompliziertesten ist die Vorhersage seines Verhaltens in der Zukunft. Dazu ist es nicht nur notwendig, sich mit dem Objekt vertraut zu machen und es zu erforschen, sondern auch sein Wesen und die in ihm vor sich gehenden Erscheinungen zu erfassen. Darüber hinaus muß man für komplizierte Systeme noch die wichtigsten Gesetzmäßigkeiten und die Wechselbeziehungen zwischen den Erscheinungen kennen.

Im ehemaligen Rußland beschäftigte man sich erstmalig im Jahre 1849 mit der Erforschung des Wetters, nachdem in Petersburg das Physikalische Observatorium gegründet worden war, das sich auch meteorologischen Aufgaben widmete. Es wurden meteorologische Stationen zur systematischen Wetterbeobachtung geschaffen. Gegenwärtig beträgt ihre Zahl in der ganzen Welt über elftausend. Dennoch kontrollieren diese Stationen nur etwa 20% der Erdoberfläche, während die übrigen 80% weitgehend unberücksichtigt bleiben. Der nicht kontrollierte Teil der Atmosphäre ist nicht nur sehr groß in seinen Ausmaßen, sondern auch schwer

zugänglich, weil er im wesentlichen den Raum über den Ozeanen und den Polargebieten umfaßt, die eine sehr wichtige Rolle bei der Ausbildung der Wettererscheinungen spielen. Bis vor nicht allzu langer Zeit kontrollierte man durch die meteorologischen Stationen nur einen sehr geringen und dazu erdnahen Teil der Atmosphäre, und die Messungen selbst erfolgten hauptsächlich nur auf der Erdoberfläche. Unter solchen Bedingungen, bei denen die Beobachtungen im riesigen Luftozean nur in der Nähe seines Grundes, an einzelnen Punkten und dazu noch bei deren ungleichmäßiger Verteilung durchgeführt wurden, konnte weder von einer systematischen Erforschung noch von einer zuverlässigen Vorhersage atmosphärischer Prozesse die Rede sein. Aber durch die ständige Vervollkommnung des meteorologischen Dienstes wuchs seine Bedeutung für die Arbeit des Menschen, besonders für das Verkehrswesen, für die Landwirtschaft und die Wasserwirtschaft.

Die Erforschung der mittleren Schichten der Atmosphäre begann mit der Erfindung der Ballons. Schon am Ende des 19. Jahrhunderts stiegen in Rußland und in anderen Ländern Meteorologen mit Ballons in die Atmosphäre auf. Bald danach wurden auch Registriergeräte in die Atmosphäre entsandt. Aber die Beobachtungen erfolgten nicht kontinuierlich, blieben auf bestimmte Höhen und einen kleinen Teil der Lufthülle beschränkt.

Schon bald nach Beendigung des zweiten Weltkrieges begann man in der UdSSR und den USA, mit Hilfe von Raketen die oberen Schichten der Atmosphäre zu untersuchen. All diese Untersuchungen bereicherten die Meteorologie durch neue Daten. Das war der Weg zu einer systematischen Erforschung der Atmosphäre. Der Mensch konnte von nun an die Atmosphäre mit Hilfe von Raumflugkörpern umfassend untersuchen. Aus dem Weltraum zeigte sich ihm der Luftozean in all seiner Größe und Vielgestaltigkeit. Und obwohl der Mensch in diesem Falle den unmittelbaren Kontakt mit der Atmosphäre verliert, wird ihre Erforschung und die vollständige Lösung vieler Probleme besser möglich. Das hängt damit zusammen, daß alle atmosphärischen Prozesse durch die Sonnenenergie bestimmt werden, d.h. durch die Prozesse der Wärmeaufnahme und -abgabe. Aus diesem Grunde kann man durch die Messung der Parameter der Wärmestrahlung von verschiedenen Schichten der Atmosphäre umfangreiches Material für die Untersuchung

aller sich in ihr abspielenden Prozesse erhalten. Diese Aufgabe kann im globalen Maßstab mit Hilfe von Satelliten gelöst werden. Wichtige Informationen über die Prozesse in der Atmosphäre liefern Fotoaufnahmen von den Wolkenschichten. Sie sind gleichsam ein sichtbares Abbild der jeweiligen Wettererscheinungen und anderer atmosphärischer Prozesse. Durch das Bild der Wolkenschichten kann man ihre geographische Lage, die Bewegungen, den Bewölkungsgrad und sogar die Höhe der Wolkendecke bestimmen. Feder-, Regenschichtwolken und mittelhohe Schichtwolken sind charakteristisch für eine Wetterfront beim Aufgleiten einer warmen Luftmasse auf eine kalte, kleine und größere Schäfchenwolken sowie Schichthaufenwolken für sich entwickelnde wellenförmige Bewegungen in der Atmosphäre und Regenhautenwolken für örtliche vertikale Luftbewegungen.

Die geographische Verteilung der Wolken kann aus den Fotoaufnahmen der Wolkenschichten entnommen werden, auf denen man Konturen überprüft, ebenfalls aber aus Meßdaten der Satelliten und ihrer Fluglage im Moment der Aufnahmen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen gestatten es, die Geschwindigkeit und die Richtung der Wolken durch die Bestimmung ihrer Lage für jeden folgenden Zeitpunkt festzulegen. Die Wolkenstruktur und -verteilung kann sowohl nach der Wolkenart als auch in günstigen Fällen nach der Verschiebung ihres Schattens auf der Erdoberfläche bestimmt werden. Eine bemerkenswerte Besonderheit der Satellitenaufnahmen ist, daß sie eine globale Übersicht über den Bewölkungsgrad liefern. Es wird auf diese Weise möglich, nicht nur einzelne Wolken zu erfassen, sondern ganze Zyklonenfamilien mit ihren Warm- und Kaltfronten und ihre Zugstraßen sowie die stationären oder Zentral-Tiefdruckgebiete. Dabei kann man den ganzen Entwicklungsgang der Wolkenstruktur vom Moment ihrer Entstehung bis zur völligen Auflösung verfolgen, und zwar nicht nur auf der von der Sonne angestrahlten Seite, sondern auch auf der Nachtseite mit Hilfe einer Apparatur, die ihre infrarote Strahlung aufnimmt. Aber die Physik der „Wolkensysteme“ ist bisher leider nur wenig erforscht. Die Ursache dafür liegt in der Schwierigkeit, große Systeme von Erdstationen aus direkt zu beobachten. Bisher wurde noch keine exakte quantitative Beziehung zwischen den niedrigen Wolkenschichten und den Merkmalen eines atmosphärischen

Prozesses festgestellt. Auch die Prozesse des Wärmeaustauschs zwischen Erde und Atmosphäre, zwischen den verschiedenen atmosphärischen Schichten und ihrer Ausstrahlung in den Weltraum sind noch nicht vollständig erforscht. Man kann deshalb die Behauptung aufstellen, daß für eine exakte Diagnose und Prognose des Wetters gegenwärtig von Satelliten übertragene Informationen allein nicht ausreichend sind. Es ist vielmehr notwendig, die Atmosphäre und alle in ihr vor sich gehenden Prozesse genau zu untersuchen. Dadurch wird es in Zukunft möglich sein, die Aufgaben der Meteorologie zuverlässig zu lösen. Das Netz der Stationen, vor allem auch in den Ozeanen und Polargebieten, wird erweitert. Außerdem wird die Erforschung der Atmosphäre mit Hilfe von Ballons und Raketen noch intensiviert werden. Bei diesen Untersuchungen sind es vor allem wieder Satelliten, die sehr vielseitig eingesetzt werden können. Mit ihrer Hilfe kann man die Informationen von automatischen Stationen und Ballons sammeln und an die meteorologischen Zentren weitergeben.

Wenn man die Informationen von allen Boden-, Luft- und Weltraumstationen analysiert, erhält man sehr zuverlässige Angaben über die atmosphärischen Vorgänge. Alle Geheimnisse des Luftozeans werden offenbar, und alle in ihm stattfindenden Prozesse klären sich auf. Dann erst wird man mit Sicherheit sagen können, an welchem Ort was für ein Wetter herrscht und wie es sich in einem Tag, einem Monat und vielleicht sogar in einem Jahr entwickeln wird.

Schon viele Jahre arbeiten die sowjetischen Wettersatelliten des Typs „Meteor“ und die der „Kosmos“-Serie. Es sind komplizierte automatische Stationen mit einer vielseitigen Meßapparatur. Fernsehkameras und eine im Infrarot arbeitende Aufnahmeapparatur führen die „Besichtigung“ der Wolkendecke der Erde durch. Die Fernsehbilder werden auf ein Magnetband oder ein Videomagnetophon aufgenommen und beim Flug über den Empfangsstationen auf die Erde gesendet. Durch ein Infrarotstrahlungsmeßgerät wird ein „Wärme“-Bild der Erde geliefert, d. h., man bestimmt die Intensität der Wärmestrahlung von verschiedenen Gebieten der Erdoberfläche sowie verschiedenen Schichten der Atmosphäre. Die auf dem Satelliten installierten Systeme gewährleisten seine Lagestabilisierung, so daß die am unteren Ende des Hauptkörpers angebrachten Fernsehkameras ständig die Erdoberfläche erfassen, während

die Solarzellenausleger ständig automatisch auf die Sonne ausgerichtet sind. Sie versorgen die Apparaturen mit Elektroenergie.

Oft kann durch die Information über den Satelliten ein großer ökonomischer Nutzen erzielt werden. So stellte man z.B. mit „Kosmos 144“, der zum „Meteor“-System gehört, fest, daß der Ozean von der Wrangelinsel bis zur Beringstraße vom Eis frei war. Dadurch war es möglich, mit der Schifffahrt einen Monat früher als geplant zu beginnen. Viele solcher Beispiele ließen sich anführen.

Die „Meteor“-Satelliten liefern überaus wertvolle meteorologische Informationen. Reiches Material lieferten auch die amerikanischen Satelliten vom Typ „Tiros“, „Nimbus“ und „Essa“.

Die Nützlichkeit von Wettersatelliten wird heute allgemein anerkannt. Mit ihrer Hilfe können genaue Wetterinformationen gegeben werden.

Eine besondere Bedeutung haben die Satelliten bei der Untersuchung der großräumigen atmosphärischen Vorgänge. Die Beobachtung von entstehenden Wirbelstürmen mit Hilfe von Satelliten und die Vorhersage ihrer Verlagerungsgeschwindigkeiten wurden in der Meteorologie schon alltäglich. So wurden die Hurrikane „Betsy“ und „Esther“ und die Taifune „Nancy“ und „Pamela“ beobachtet. Die Warnung der Bewohner der Küstenregionen vor den herannahenden Naturkatastrophen ermöglichte es, die Zahl der Opfer und die Auswirkungen der Zerstörungen in Grenzen zu halten.

Die Verwendung von meteorologischen Raketen war ein weiterer Schritt zur Erforschung der Hochatmosphäre. Die Untersuchungen mit Hilfe dieser Raketen lieferten der Wissenschaft unmittelbare Angaben über die Eigenschaften der rätselhaften leuchtenden Nachtwolken, d. h. über die Besonderheiten der Ionosphäre. Es gelang die Vertikalsondierung der Atmosphäre mit Hilfe von Höhenraketen bis zu einer Höhe von fast 500 km, wobei meteorologische Raketen allerdings vor allem für den Bereich bis 120 km vorgesehen sind.

Die Technik des Starts von meteorologischen Raketen ist so genau ausgearbeitet, daß man sie jetzt praktisch schon von jedem Punkt der Erdkugel aus aufsteigen lassen kann. Viele Forschungsschiffe sind mit Raketen dieses Typs ausgerüstet. Das erweiterte den Komplex der ozeanographischen

und meteorologischen Untersuchungen an Bord dieser Schiffe beträchtlich.

Der Bau von leistungsfähigen Raketen zur Erforschung der Hochatmosphäre und des erdnahen Weltraums in der Sowjetunion eröffnete große Perspektiven für die Durchführung von umfangreichen Experimenten unter Beteiligung von Wissenschaftlern vieler Länder. Der Start von geophysikalischen Raketen der „Vertikal“-Serie in der UdSSR ist der erste Schritt in dieser Richtung.

Die Vorgänge in der Atmosphäre haben globalen Charakter. Deshalb vereinigen viele Länder ihre Anstrengungen zur Erforschung des Luftozeans. Bei der Organisation der Vereinten Nationen arbeitet ein meteorologischer Weltverband. Es wird ein Weltwetterdienst geschaffen. Drei seiner Hauptzentren befinden sich in Moskau, Washington und Melbourne. Hier laufen die vielen Informationen von Satelliten, Bodenmeßanlagen, Ballons, meteorologischen Raketen und sogar von den Beobachtungsstationen auf Schiffen und Flugzeugen zusammen. Die Informationen kommen in einer schon bearbeiteten Form an. Aber trotzdem ist ihr Umfang so groß, daß die Verarbeitung ohne elektronische Rechanlagen sowie automatische Speicher- und Wiedergabegeräte undenkbar ist.

Die Satelliten dienen jedoch nicht nur der Wetterbestimmung und -vorhersage, sondern vor allem auch der Erforschung der Physik der atmosphärischen Prozesse. Dadurch sucht man, eine gesicherte wissenschaftliche Grundlage für eine Langzeit-Wettervorhersage zu erlangen. Vielleicht werden auch einmal Methoden ausgearbeitet, die es gestatten, so auf die Atmosphäre einzuwirken, daß das Wettergeschehen im Interesse des Menschen beeinflußt werden kann. So wird genau untersucht, was vielleicht getan werden kann, damit Regen in der notwendigen Menge und in einer bestimmten Zeit fällt, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, damit Taifune zerstört oder die Bedingungen beseitigt werden können, die ihre Entstehung begünstigen usw.

# Methoden zur Fernbeobachtung der Erdoberfläche

**E**lektromagnetische Wellen sowie das Gravitations- und Magnetfeld dienen als physikalische Grundlage für die Fernbeobachtung der Erde durch Satelliten.

Die unterschiedlichen Objekte am Boden reflektieren das Sonnenlicht auf verschiedene Weise, die Wärmestrahlung aufgeheizter Körper ist unterschiedlich, und die Gase zeigen ein wechselndes Absorptionsvermögen für elektromagnetische Wellen, die durch diese hindurchtreten. Das dafür in Frage kommende Spektrum der elektromagnetischen Strahlung wird heute wie folgt eingeteilt: Ultraviolettstrahlung (Wellenlänge:  $\lambda=300-400$  nm); sichtbares Licht ( $\lambda=400-700$  nm); Infrarotstrahlung ( $\lambda=0,7-13$   $\mu\text{m}$ ) und schließlich der Funkwellenbereich mit einer Wellenlänge über 1 cm.

Jeder dieser Bereiche bietet unterschiedliche Möglichkeiten für die Fernuntersuchung der Erde. So ist der Ultraviolettbereich am besten geeignet, die chemische Zusammensetzung von Gesteinen zu ermitteln; der sichtbare Spektralbereich enthält im Vergleich zu allen übrigen Bereichen den größten Informationsgehalt und wird zur Beobachtung der Mehrzahl aller irdischen Objekte und Naturgebilde verwendet; der Infrarotbereich (IR-Bereich) erlaubt die Zusammenstellung einer Temperaturkarte der Erde, d.h., man kann die Erwärmung des Festlandes und der Wasseroberfläche bestimmen. Für Geologie, Hydrologie, Ozeanographie sowie für Land- und Forstwirtschaft besitzt dieses Verfahren eine große Bedeutung.

Die Empfangs- und Aufzeichnungsvorrichtungen für die verschiedenen Bereiche elektromagnetischer Strahlung sind von unterschiedlichem Aussehen. So erfordern der sichtbare Bereich und der Infrarotbereich optische Empfänger in Form von Linsen- bzw. Spiegelobjektiven.

Die Aufzeichnung der Strahlung kann auf verschiedene Weise erfolgen. Sie wird entweder auf fotografischem Material in der Form eines fotografischen Bildes oder auf Magnetband in Form elektrischer Signale gespeichert, die der Lichtintensität der verschiedenen Bildpunkte proportional sind.

Die Empfangsvorrichtungen für den Funkwellenbereich haben gewöhnlich das Aussehen einer Empfangsapparatur, und die Registrierung erfolgt auf Magnetband in der Form, daß ein Bild auf einem Fernsehbildschirm oder auf einer fotografischen Schicht erzeugt werden kann. Ähnlich sieht auch eine Funkortungsapparatur mit Sendern und Empfängern für die reflektierten Signale aus.

Mit Hilfe dieser Typen von optischen und funktechnischen Geräten läßt sich eine vollständige Charakteristik des Objektes unter dem Aspekt erzielen, welche Reflexionseigenschaften es für die Sonnenstrahlung, im Infrarotbereich sowie im Bereich der Radiofrequenzstrahlung aufweist bzw. wie es hindurchtretende Strahlen absorbiert. Wir können also die Spektral肯ndaten für die Reflexion, Emission und Absorption erhalten. Der physikalische Inhalt dieser Charakteristika besteht in folgendem: Es wird die Intensität der vom Objekt ausgehenden elektromagnetischen Strahlung (für den Reflexions- bzw. Emissionsfall) für verschiedene Wellenlängen ermittelt.

Mit anderen Worten: Solche Spektraldaten erlauben es uns, festzustellen, wie intensiv ein Körper auftreffende Strahlung mit unterschiedlicher Wellenlänge reflektieren wird bzw. welche Emissionsintensität bei Eigenemission in den verschiedenen Wellenlängenbereichen besteht.

Für den Reflexionsfall können derartige Charakteristika beispielsweise wie folgt erhalten werden: Es werden Empfänger für schmale Bandbreiten in der Größenordnung einiger hundert oder zehntel Mikrometer für den Ultraviolettbereich bzw. für den sichtbaren Bereich und von einigen Mikrometern für den Infrarotbereich usw. konstruiert. Für den optischen Bereich läßt sich dies beispielsweise mit Hilfe von Lichtfiltern realisieren; im Funkwellenbereich wählt man geeignete Konfigurationen der Antennenanlagen sowie der Abstimmung des Empfängers etwa in der Weise wie bei einem Rundfunkempfänger.

Danach braucht man nur noch die Intensität der elektromagnetischen Strahlungen mit jedem dieser Geräte zu mes-

sen und daraus eine entsprechende Kennlinie in Tabellen- oder Kurvenform für die Beziehung zwischen der Strahlungsintensität und der Wellenlänge aufzubauen.

Glücklicherweise besitzen die Objekte, die uns umgeben, sehr unterschiedliche Spektralkennndaten. Dies erklärt sich aus dem großen Wellenlängenbereich der elektromagnetischen Strahlung sowie dem sehr beträchtlichen Bereich der Emissionsintensität.

Natürlich können in einzelnen Wellenlängenintervallen die Reflexionsintensitäten verschiedener Objekte zusammenfallen. Solche Übereinstimmungsbereiche können für eine bestimmte Gruppe von Objekten breiter, für andere hingegen schmaler sein. Unter dem Aspekt der Erkennung und Anzeige von Objekten ist es natürlich klar, daß ein Bereich bequemer ist, in dem Übereinstimmungen seltener sind und in dem die Spektralhelligkeit gleichmäßiger über den Gesamtbereich verteilt ist. Für die Mehrzahl irdischer Objekte liegt dieser Wellenlängenbereich zwischen 450 und 660 nm im sichtbaren Teil des Spektrums. Hat man Erdbilder in diesem Bereich, so kann man anhand von Messungen der Strahlungsintensität verschiedener Objekte deren Typ ermitteln. Die Wahrscheinlichkeit einer derartigen Identifizierung ist nicht sehr groß, da in diesem Bereich viele Objekte die gleiche Intensität aufweisen können.

Es läßt sich noch ein weiterer Wellenlängenbereich benutzen, in dem die Strahlungsintensität der gleichen Objekte gemessen werden kann. Da dieser Bereich nicht der günstigste ist (denn den günstigsten haben wir weiter oben betrachtet), erhalten wir hier ein noch weniger anschauliches Bild, d. h., eine noch größere Anzahl von Objekten zeigt Übereinstimmung in der Strahlungsintensität. Allerdings betreffen die hier auftretenden Übereinstimmungen andere Objektgruppen, und deshalb erhöht sich die Unterscheidbarkeit insgesamt ganz beträchtlich.

Nehmen wir z. B. fünf Objekte: Schnee, Sand, Wasser, Wald und Gras; im ersten Wellenlängenbereich sollen einerseits Schnee und Sand und andererseits Wasser und Wald übereingestimmt haben. Im zweiten Bereich dagegen stimmen Schnee und Wasser sowie Sand, Wald und Gras miteinander überein. Es ist klar, daß der Schnee aus den ersten Gruppen herausfällt und sich als gemeinsamer Teil abhebt, d.h., wir beobachten Übereinstimmung, wenn wir **Aufnahmepunkte** mit der dem Schnee entsprechenden Intensität

übereinanderlegen. Die übrigen Punkte des ersten Bereiches mit gleicher Intensität ergeben den Sand, die der zweiten Aufnahme das Wasser usw. Auf diese Weise können alle betrachteten Objekte unterschieden werden.

Werden zwei Wellenlängenbereiche verwendet, wächst die Wahrscheinlichkeit für das Erkennen der Objekte beträchtlich an. Die Erkennungswahrscheinlichkeit gelangt in den Bereich 0,7 bis 0,75. Bei drei Wellenlängenbereichen erhöht sich die Erkennungswahrscheinlichkeit auf etwa 0,8 bis 0,85, bei vier Bereichen auf 0,9 bis 0,92 und bei fünf auf 0,95. Somit kann die Mehrzahl der Objekte bei Verwendung von drei bis fünf Wellenlängenbereichen identifiziert werden. Die Werte dieser Bereiche sind etwa folgende: 0,45 bis 0,55, 0,5 bis 0,6, 0,7 bis 0,8, 0,9 bis 1,15 sowie 1,5 bis 1,7  $\mu\text{m}$ .

Ohne Zweifel würde das Ausfüllen des Gesamtbereiches elektromagnetischer Strahlung mit solchen Intervallen die Herstellung eines vollständigen Spektralbildes von jedem Objekt erlauben, wobei sich die Wahrscheinlichkeit für das Erkennen jedes einzelnen Objektes dem Wert 1 nähern würde. Dies erfordert jedoch einen großen apparativen Aufwand. Die Anwendung dieses Verfahrens ist daher praktisch nicht zu realisieren. Wie wir gesehen haben, genügt auch ein Einzelspektrum nicht, obwohl es sich einfach herstellen läßt und in bezug auf Gewicht, Maße und Kosten bequem erscheint. Drei bis fünf Spektren sind ein brauchbarer Kompromiß. Objekte dagegen, die von diesen Spektren nicht sicher erfaßt werden, lassen sich durch Änderung der Wellenlänge innerhalb der Spektralbereiche identifizieren, wobei jedoch die Anzahl der Spektren insgesamt erhalten bleibt. Auf diesem Wege kann man zwar die Beobachtungsverhältnisse für einen Teil bereits früher identifizierter Objekte verschlechtern, dafür aber werden sich die Verhältnisse für den kleineren Teil nicht identifizierter Objekte verbessern.

Bei der gewöhnlichen Fotografie, also etwa der Amateurfotografie, bestehen die Abbildungen auf dem Film aus unterschiedlich geschwärzten Emulsionselementen. Diese Schwärzung ist dem Lichtstrom proportional, der von jedem auf der Erdoberfläche befindlichen Objekt stammt. In diesem Fall umfaßt der Wellenlängenbereich etwa den gesamten sichtbaren Spektralbereich, d. h., wir sehen auf dem Film die integrale Wirkung des vom Objekt reflektierten Lichtes in einem breiten Wellenlängenbereich. Während

bei der Fotografie in einem schmalen Spektralbereich nur Objekte abgebildet werden, die elektromagnetische Wellen in die verwendete Empfangsapparatur geringer Bandbreite reflektieren (bei den übrigen Objekten kann es geschehen, daß sie überhaupt nicht abgebildet werden), ist die Möglichkeit, ein Bild nahezu aller Objekte zu erhalten, bei der gewöhnlichen Fotografie wesentlich größer. Außerdem sind in diesem Fall die Halbtöne und ihre Konturen besser zu erkennen, was die Unterscheidbarkeit des Bildes insgesamt erhöht. Deshalb ist die gewöhnliche Fotografie unter dem Aspekt des Erkennens häufig informativer als die Fotografie ausschließlich in einem schmalen Spektralbereich.

Werden dagegen gleichzeitig mehrere Fotos in verschiedenen schmalen Spektralbereichen angefertigt, dann ist dieser Weg effektiver als die gewöhnliche Fotografie, weil der Informationsumfang bezüglich der Objekte zunimmt. Tatsächlich entspricht ja die gewöhnliche Fotografie im Grunde genommen einer einzigen Aufnahme in einem schmalen Spektralbereich. Sie besitzt nur wegen des erweiterten Wellenlängenbereiches einen etwas größeren Informationsgehalt. Dabei kann man für jedes Objekt in beiden Fällen nur eine Messung der Intensität der von diesem Objekt stammenden Lichtenergie erhalten. Die Erkennungssicherheit sowie die Information für die weitere Untersuchung dieser Objekte ist bei der gewöhnlichen Fotografie nicht allzu groß und jedenfalls kleiner als in dem Fall, wo mehrere Bilder jeweils in einem schmalen Spektralbereich vorliegen. Hier kann man an jedem Objekt soviel Messungen vornehmen, wie Spektralbereiche benutzt werden.

Natürlich muß man bei der Verwendung von Bildern innerhalb eines engen Spektralbereiches die Spektralcharakteristika der Objekte kennen (und zwar mindestens für die gewählten Spektralbereiche), um die Objekte aufzufinden. Dies ist eine sehr mühsame und umfangreiche Arbeit, da außer der großen Anzahl auch noch ihre jahreszeitlichen Veränderungen sowie die durch den Reife- und Entwicklungsgrad (Vegetation, Brände) und durch andere Gründe bedingten Wandlungen berücksichtigt werden müssen.

Besondere Versuchsfelder und von Wasser bedeckte Gebiete mit typischem Relief, Böden, Vegetationszonen und Bereiche mit spezieller Besiedlung sind für die wissenschaftliche Analyse sehr interessant. Zu verschiedenen Jahreszeiten, bei verschiedenen Zuständen der Atmosphäre sowie zu

verschiedenen Tageszeiten werden deshalb Messungen am Boden, vom Flugzeug aus sowie mittels Satelliten durchgeführt. Die Meßergebnisse werden systematisiert und in die Form eines Katalogs gebracht. Dieser Katalog ist die Grundlage für die Dechiffrierung von Bildern der Erdoberfläche in einem engen Spektralbereich.

Messungen der Wärmestrahlung im Infrarotbereich des Spektrums erlauben es, nicht nur ein visuelles Bild von der Verteilung warmer und kalter Zonen der Erdoberfläche zu erhalten, was sich — unter Einbeziehung anderer Abbildungen — für Erkennungszwecke verwenden läßt, sondern auf dieser Grundlage ist auch gleichzeitig die unmittelbare Temperaturbestimmung von Objekten auf der Erdoberfläche mit relativ hoher Genauigkeit möglich.

Optische Beobachtungen der Erde werden durch Bewölkung sowie schlechte Beleuchtungsverhältnisse der Erdoberfläche im Dämmerungs- und Nachtbereich erheblich erschwert. Obwohl für Infrarotaufnahmen eine nur schwache Beleuchtung durch die Sonne oder das vollständige Fehlen einer Beleuchtung kein Hindernis ist, stellt die Bewölkung auch für Infrarotsysteme ein substantielles Hindernis dar.

Diese Mängel haben Funkortungsanlagen nicht. Funksignale durchdringen die Atmosphäre und die Wolken, werden von irdischen Objekten reflektiert und vom Sputnik empfangen. Der Bildaufbau erfolgt hier analog zum Fernsehen. Der wesentliche Unterschied besteht darin, daß der Satellit beim Funkortungsverfahren selbst für die „Beleuchtung“ der Erde mittels Funktionssignalen sorgen muß, während beim Fernsehverfahren das Sonnenlicht benutzt wird. Der Nachteil der Funkortung besteht darin, daß leistungsintensive Sender benötigt werden, die eine umfangreiche energetische Ausrüstung mit den entsprechenden Apparaturen besitzen. Beträchtlich ist auch die Masse der Empfangsanlagen, die eine hohe Empfindlichkeit aufweisen müssen.

Ein großer Vorzug von Funkortungsbildern ist ihre — vom Standpunkt der Fotografie aus betrachtet — ungewöhnliche Selektivität in bezug auf die Objekte; dieses Ungeöhnliche hängt mit unserer Alltagserfahrung zusammen, denn wir haben es ja hier mit dem sichtbaren Spektralbereich zu tun. Von dieser Erfahrung weichen die mit Hilfe von Funkwellen erzielten Abbildungen ab. Für Funkwellen stellt eine Vegetation beispielsweise kein Hindernis dar,

und sie werden von dieser nicht reflektiert. Deshalb fehlt die Vegetation auf Funkortungsbildern. Insgesamt entsteht so das Bild einer „skalpierten“ Erde bei guter Darstellung des Reliefs.

Eine bemerkenswerte Besonderheit besitzt die thermische Radiofrequenzstrahlung der Erde. Diese wird nicht wie die Infrarotstrahlung an der Oberfläche formiert, sondern in einer Tiefe von einigen Metern unter der Erdoberfläche. Der Empfang dieser Strahlung in einem Satelliten erlaubt es, die Temperatur der unterlagernden Bodenschichten zu ermitteln. Für Landwirtschaft und Hydrologie besitzt das erhebliche Bedeutung.

Anomalien des Gravitations- und Magnetfeldes der Erde charakterisieren die Verteilung von Massen mit unterschiedlichen Dichten und magnetischen Eigenschaften im Körper unseres Planeten. Diese Anomalien lassen sich mit Hilfe einer in einem Satelliten installierten Apparatur messen. Sie weisen auf Lagerstätten wertvoller Bodenschätze hin. Eine Methode der Lagerstätten erkundung besteht beispielsweise darin, hochexakte Beschleunigungsmessungen am Satelliten selbst durchzuführen, da etwaige Änderungen durch Feldstärkeänderungen des Gravitationsfeldes der Erde hervorgerufen werden; die Feldstärke des magnetischen Feldes läßt sich mit Magnetometern messen.

Somit kann von Sputniks die Erde in einem breiten Spektrum der elektromagnetischen Strahlung beobachtet werden. Auch Anomalien im Gravitations- und Magnetfeld lassen sich eindeutig feststellen. Wesentlich ist dabei folgende Frage: Wie intensiv sollten derartige Beobachtungen sein? Denn stets muß man dabei auch die herkömmlichen Mittel (Messungen am Boden sowie Messungen mittels Flugzeugen und Schiffen usw.) und die Interessen der einzelnen Zweige der Volkswirtschaft in Betracht ziehen.

Die Analyse der Nutzerprobleme und -forderungen (Geologen, Forstwirtschaftler, Hydrologen, Melioratoren, Ozeanographen usw.) führt zur Untergliederung dieser Probleme und Forderungen in zwei Hauptgruppen: systematische Erforschung der Erdoberfläche mit dem Ziel, verschiedene thematische Karten zusammenzustellen, die keine hohe Geschwindigkeit der Informationsübermittlung erfordern, sowie operative Beobachtung von Prozessen an der Erdoberfläche, deren Änderungsgeschwindigkeit groß ist (Waldbrände, Vulkanausbrüche, Lageänderungen von Fischeschwär-

men, Seegang usw.) mit hoher Übertragungsgeschwindigkeit der Information an den Nutzer.

Die Mehrzahl der Aufgaben aus der ersten Gruppe kann durch Fotografie der Erdoberfläche von Satelliten aus unter Verwendung von Schwarzweiß- und Farbfilmern sowie von Spezialfilmen für bestimmte Wellenlängen gelöst werden. Der überwiegende Teil von Aufgaben aus der zweiten Gruppe wird durch Verwendung von Fernseh- und Infrarotapparaturen gelöst. Eine Reihe von Aufgaben erfordert die unmittelbare Mitwirkung eines Kosmonauten.

Im Zusammenhang damit zeichnen sich nunmehr drei Typen kosmischer Forschungskomplexe ab: Grundlagenforschung auf der Grundlage der Erdfotografie mittels automatischer Weltraumsonden; operative Beobachtungen mittels Fernseh- und Infrarotapparaturen, ebenfalls von automatischen Apparaten aus, mit dem Ziel, rasch veränderliche Prozesse an der Erdoberfläche zu erfassen und unter Verwendung eines umfangreichen Meßkomplexes von bemannten Objekten aus genau zu beobachten.

Fotoapparate für die Erdbeobachtung aus dem Welt- raum können auch als Spalt- und Einzelbildkameras ausgeführt sein. Bei der Spaltkamera wird der Film in der Brennebene des Objektivs mit der gleichen Geschwindigkeit am Spalt vorübertransportiert, mit der sich das Bild der Erde über diese Ebene hinwegbewegt, damit kein „Verschmieren“ des Bildes erfolgt. Dieses Fotografieverfahren vereinigt gewissermaßen die Prozeduren des Filmtransports und der entsprechenden Kompensationsbewegung. Die Größe des Spalts wird so gewählt, daß unter Berücksichtigung der Filme mpfindlichkeit eine normale Belichtung erfolgt; natürlich muß dabei auch die Lichtstärke des Objektivs und die Beleuchtung der Erdoberfläche durch die Sonne berücksichtigt werden. Beim Übergang vom Pol zum Äquator kann sich die Spaltbreite verringern, um die unterschiedliche Helligkeit auszugleichen. Im Ergebnis erhält man ein kontinuierliches Bild eines Erdstreifens, der unter dem Satelliten „vorbeischwimmt“. Bei einer Mehrkanalaufnahme müssen mehrere derartige Apparate vorhanden sein, wobei jeder von ihnen für die Funktion in einem schmalen Spektralbereich justiert ist.

Die Einzelbildapparatur ist in Konstruktion und Funktionsprinzip komplizierter. Der Film wird hier mit zwei Geschwindigkeiten transportiert: einmal mit hoher Ge-

schwindigkeit, um frisches Filmmaterial in die Aufnahmeebene zu bringen, und im Anschluß daran mit geringer Geschwindigkeit, um die Bilderschiebung („Verschmierung“) während der Belichtungszeit zu verhüten.

Die Einzelbildfotografie liefert exaktere Erdbilder, weil sich eventuelle Verzerrungen, die durch Schwingungen des Fotoapparates mit dem Flugkörper hervorgerufen werden, in geringerem Maße bemerkbar machen. Solche Verzerrungen können in einer Größe auftreten, die der Winkeldrehung des Apparates während der kurzen Belichtungszeit proportional sind. Daher lassen sich auf diesem Wege Fotos von großen Territorien auf der Erde bei geringen Verfälschungen erzielen. Beim Fotografieren des gleichen Territoriums mit einer Spaltkamera werden demgegenüber die Verzerrungen eventuellen Schwenkungen des Apparates während der gesamten Flugzeit über diesem Territorium proportional sein. Sie können deshalb relativ groß ausfallen.

Die Größe der Verfälschung wird in diesem Fall in hohem Maße von der Funktionsgenauigkeit der Fluglageregelung abhängen.

Die Einzelbildapparatur besitzt jedoch noch einen weiteren sehr wichtigen Vorzug: Mit Hilfe eines einzigen Apparates kann man Stereoaufnahmen erhalten. Wird das gleiche Gebiet — wie das bei der Luftbildaufnahme geschieht — von zwei verschiedenen Bahnpunkten des Satelliten fotografiert, so erhält man tatsächlich Halbbilder, die sich überlappen. Bei der Betrachtung entsteht ein räumlicher Bildeindruck. Wir betrachten ein bestimmtes Gebiet der Erde sozusagen mit einem Auge, das sich an einem Bahnpunkt befindet, und gleichzeitig auch mit dem anderen Auge von einem anderen Punkt aus. Deshalb wird bei Betrachtung des einen Fotos mit dem einen Auge und des anderen Fotos mit dem anderen Auge — wie das in gewöhnlichen Stereoskopen geschieht — eine räumliche Ansicht des Objektes erzeugt. Ebenso wie bei Luftbildaufnahmen beträgt die Bildüberlappung längs der Flugbahn etwa 60%, so daß zwei unmittelbar hintereinander aufgenommene Fotos das stereoskopische Bild eines Territoriums enthalten, das 60% der Bildfläche entspricht.

Ein wesentlicher Nachteil fotografischer Beobachtungsverfahren ist die Notwendigkeit, den belichteten Film auf die Erde zu bringen. Zu diesem Zweck muß entweder der gesamte Apparat zurückgeführt werden — wie dies bei be-

mannten Raumflugkörpern geschieht — oder die Kassette mit dem Film muß in einer besonderen Rückkehrkapsel untergebracht werden. Das führt nicht allein zu einer Verteuerung des Raumflugkörpers, sondern auch — was sehr bedeutsam sein kann — zu einer Verlängerung der Informationszustellzeit. Deshalb lassen sich fotografische Beobachtungsverfahren nur zur Untersuchung langsamer Prozesse einsetzen, etwa zur Beobachtung der Waldgrenzen oder der Veränderungen an den Küsten der Kontinente usw.

Für Satelliten zur operativen Erdbeobachtung ist eine Fernsehapparatur geeigneter. Ebenso wie die Fotoausrüstung läßt sich die Fernsehapparatur in Abtast- und Einzelbildapparaturen untergliedern.

Die Abtastapparatur ähnelt ihrer Funktionsweise nach der Spaltkamera. Auch hier wird die Satellitenbewegung zur Bildformierung benutzt. Zeile um Zeile wird das Bild mit der Geschwindigkeit aufgebaut, mit der der Satellit die Erde überfliegt. Im Grunde genommen erfolgt hier ein Registrieren der Helligkeitseindrücke von den Gebieten, die in das Blickfeld der Abtastvorrichtung gelangen. Hierbei wird — wie bei allen fotometrischen Verfahren — die Leuchtdichte bewertet, die von dem unterschiedlichen Reflexionsgrad des auf die beobachteten Objekte auftreffenden Lichtstromes abhängt.

Nehmen wir an, daß die Größe eines mit Hilfe der Abtastvorrichtung erfaßten Abschnittes auf der Erde einem Quadrat mit der Seitenlänge von 100 m entspricht und daß dabei eine völlig ebene Wiese in das Blickfeld der Abtastvorrichtung gelangt ist. Im Fernsehempfänger wird hierbei ein elektrisches Signal aufgebaut, das der Menge der von diesem Feld reflektierten Lichtenergie proportional ist. In das Blickfeld können jedoch außer der Wiese auch andere Objekte mit anderen Reflexionseigenschaften gelangen. In diesem Fall wird ein Signal mit einem anderen Wert erzeugt, und später wird es schwierig sein, herauszubekommen, was dieser Bildpunkt eigentlich darstellt. Zur Ermittlung derartiger relativ kleiner Objekte muß der Blickwinkel der Abtastvorrichtung — und damit also auch die Größe des auf der Erde abgetasteten Elementes — verringert werden.

Ebenso wie bei der Mehrkanalfotografie sind auch bei dieser Art der Erdbeobachtung vom Weltraum aus Aufnahmen in einem schmalen Spektralbereich möglich. Derartige Fotos vermitteln ein äußerst informatives Erdbild.

Über die Nachrichtenkanäle können die jedem Bildelement entsprechenden elektrischen Signale von den Satelliten aus an die Empfangseinrichtungen der Bodenstationen und von da aus in das Informationsverarbeitungszentrum gegeben werden. Dort lassen sie sich in Form eines Fernsehbildes reproduzieren. Werden mehrere Spektralbereiche verwendet, läßt sich jedes Bild farbig wiederherstellen, wobei die Farbe dem entsprechenden Wellenlängenbereich entspricht (grün, rot, gelb usw.).

Der Prozeß zur Erkennung der Objekte läßt sich weitgehend automatisieren. Auf der Grundlage eines Kataloges der spektralen Helligkeiten der Objekte lassen sich Kenndaten für alle bedeutsamen natürlichen Gebilde in verschiedenen Wellenlängenbereichen angeben. Danach erfolgt eine Markierung der entsprechenden Kenndaten eines Objektes anhand der elektrischen Signale, wobei die jeweiligen Aufnahmebedingungen Berücksichtigung finden. Bei der Durchmusterung aller Bildelemente werden die Signale mit den „Eichwerten“ (aus dem Katalog) verglichen, wobei die Punkte herausgefunden werden, deren Niveau in jedem Bild übereinstimmt. Diese Punkte aller Aufnahmen werden nun untereinander verglichen, und diejenigen, die auf dem Bild die gleiche Lage einnehmen, werden auf den Bildschirm gegeben. Dies sind dann mit hoher Wahrscheinlichkeit tatsächlich Elemente der gesuchten Objekte, die in ihrer Gesamtheit die Umrisse dieser Objekte wiedergeben. Eine analoge Automatisierung ist auch bei der Auswertung fotografischer Aufnahmen möglich. In diesem Fall setzt man sie jedoch vorher in ein Fernsehbild um. Das übrige läuft dann analog zur oben angeführten Beschreibung ab.

Die Zeitpunkte für Satellitenstarts im Rahmen der Grundlagenforschung werden durch den Informationsbedarf verschiedener Volkswirtschaftszweige bestimmt. Sollten diese Informationen erneuerungsbedürftig sein, dann sind für die Festlegung der Zeitpunkte die Veränderungen entscheidend, die sich auf der Erdoberfläche in der Hauptsache aus der menschlichen Tätigkeit sowie aus großräumigen Naturprozessen ergeben. Satelliten, die diesen Aufgaben dienen, können zu mehreren gleichzeitig, aber auch nacheinander gestartet werden.

Zur Erdbeobachtung ist eine Kreisbahn am günstigsten, auf der die Umlaufzeit des Satelliten mit der Rotationsdauer der Erde übereinstimmt. Dadurch wird für das jeweils

unter dem Sputnik liegende Gebiet von Umlauf zu Umlauf die gleiche Beleuchtung durch die Sonne gewährleistet. Die Größe des betrachteten Gebietes der Erdoberfläche ist sehr groß, da der Radius einer derartigen Synchronbahn 42 100 km beträgt. Die Satellitenapparatur läßt sich hierbei sehr gut steuern. Der wichtigste Umstand allerdings liegt darin, daß für die Dechiffrierung der Fotos die günstigsten Voraussetzungen bestehen.

Besonders notwendig sind solche Umlaufbahnen für operative Beobachtungssatelliten. Es können sich gleichzeitig zwischen drei und fünf solcher Satelliten auf einer Synchronbahn befinden. Ein System dieser Art müßte ständig existieren. Es verdient sowohl in bezug auf seine unterbrechungsfreie Arbeit als auch in bezug auf seine Steuerung große Aufmerksamkeit.

Es kann vorkommen, daß einige Gebiete eine gewisse Zeit lang relativ „ruhig“ erscheinen, so daß eine sorgfältige Durchmusterung in Abständen von fünf bis sechs Stunden nicht zu erfolgen braucht. Andererseits können bestimmte Gebiete sehr „heiß“ sein. Hier können Waldbrände, Staubstürme oder Vulkanausbrüche toben. In diesem Fall wird natürlich bei jedem Satelliten, der dieses Gebiet überfliegt, die Meßapparatur eingeschaltet.

Bei Bewölkung (deren Lokalisation aus dem Einsatz von Wettersatelliten bekannt ist) erscheint eine Einschaltung der optischen Apparatur unzumutbar. In diesen Fällen läßt sich eine Funkortungsapparatur einsetzen.

# Ozeanographie aus dem Weltraum

Ungefähr drei Viertel der Oberfläche unseres Planeten sind von Meeren und Ozeanen bedeckt. Die weiten Räume dieses riesigen Weltmeeres hatten und haben einen großen Einfluß auf die verschiedenen Prozesse, die in der Erdatmosphäre vor sich gehen und auf diese oder jene Art und Weise Zeugnis von der Entwicklung des Lebens und von der Tätigkeit des Menschen ablegen.

Der Ozean war von jeher ein Anziehungspunkt für den Menschen. Anfangs ging es um die Erschließung anderer Kontinente, den Kontakt zu anderen Ländern und Völkern, um Handel und später um die Gewinnung von Nahrungsmitteln und Rohstoffen.

Auch in unserer Zeit haben die Ozeane ihre Bedeutung noch nicht verloren. Die Geschichte der Eroberung der Meere und Ozeane ist die Geschichte der Entdeckung ihrer Geheimnisse, der Erforschung der Meeresräume. Dazu waren große Anstrengungen von Menschen zahlreicher Generationen notwendig. Aber noch bis auf den heutigen Tag ist der Ozean eigentlich ein unbekannter Kontinent.

Als Ozeanographie bezeichnet man die Wissenschaft, die allseitig das Weltmeer untersucht. Früher beschäftigte sich die Meereskunde hauptsächlich mit der Sammlung und Registrierung von Informationen über die Prozesse, die sich in Meeren und Ozeanen abspielen. Danach wurden qualitative Merkmale der ozeanischen Prozesse und Erscheinungen mit einbezogen. Im 18. Jahrhundert wurden vor allem Untersuchungen in den küstennahen Meeren vorgenommen, da die technischen Möglichkeiten noch keine größeren Unternehmen gestatteten. Der Bau von Schiffen mit großer Wasserverdrängung und die Entwicklung der Navigationsmethoden eröffneten neue Möglichkeiten für die Durchführung

von ozeanographischen Arbeiten auf offener See. In der UdSSR wurden solche Untersuchungen von dem schwimmenden Meeresinstitut begonnen, das nach einem von W. I. Lenin unterzeichneten Dekret im Jahre 1921 gebaut wurde. Mit der Entwicklung der Luftfahrt wurde es möglich, auch größere Gebiete des Meeres, vor allem die atmosphärischen Prozesse, mit Hilfe von Flugzeugen zu untersuchen, und der Fortschritt auf dem Gebiete des Nachrichtenwesens gestattete es, ständig arbeitende automatische Stationen in den Dienst der Ozeanographie zu stellen.

Heute steht der Meeresforschung auch die Raumfahrttechnik zur Verfügung. Sie wird in zunehmendem Maße für ozeanographische Untersuchungen eingesetzt.

Welche Probleme beschäftigen die Ozeanographen heute? Mit welchen Mitteln arbeiten sie an ihrer Lösung? Eines der Hauptprobleme ist die Erforschung des Zustandes der Ozeane, ihrer Strömungen, der Wasserstandsveränderungen, der Temperaturverteilung im Wasser, der Eisbildungen und -bewegungen in den Weiten des Meeres, der chemischen Zusammensetzung des Wassers, des Versalzungsgrades usw. Es gibt noch ein anderes wichtiges Problem, das mit der zunehmenden Bedeutung des Meeres für den Menschen verbunden ist. Zahlreiche Forscher und Wissenschaftler haben festgestellt, daß das tierische und pflanzliche Leben in den Meeren und Ozeanen unseres Planeten gegenüber dem auf der Erdoberfläche weitaus umfangreicher ist. Außerdem gibt es riesige Erdölvorkommen und andere Bodenschätze unter der Oberfläche der Weltmeere. Eine wichtige Rolle kann das Meer auch bei der Gewinnung von Metallen spielen, denn es sind große Mengen vieler Elemente (z.B. Aluminium, Magnesium) im Meereswasser gelöst.

Gegenwärtig ist die Erforschung des biologischen Lebens in den Meeren besonders aktuell. Dazu gehören das Aufsuchen von Fischschwärmen, die Verteilung des Planktons sowie die Bestimmung der Hauptfaktoren, die ihre Entwicklung und Existenz beeinflussen.

Alle wichtigen Prozesse in der Atmosphäre werden von den Vorgängen und Prozessen, die sich in den Meeresräumen abspielen, wesentlich beeinflußt. Die Energieumwandlungen im Meer, vor allem die Wechselwirkungen zwischen der Meeresoberfläche und den Luftschichten, die Strömungen und Gezeiten und viele andere Erscheinungen bestimmen die Wetterlage auf unserem Planeten. Der Hauptteil der auf

die Erde gelangenden Sonnenstrahlen wird vom Weltmeer absorbiert. Diese riesige Energiemenge wird hier gespeichert. Die sich aus der Energieumwandlung ergebenden Bewegungsvorgänge vollziehen sich in großen Räumen. Aus dem Weltmeer verdampfen jährlich mehr als  $3 \cdot 10^6$  Mrd. t Wasser. Und wenn irgendwo auf dem Festland wochenlang Regen fällt, so sind dafür Prozesse verantwortlich, die in den Meereszonen vor sich gehen und langdauernde Wetteränderungen bewirken. Die ozeanographischen Forschungen sind also unmittelbar mit meteorologischen Untersuchungen verbunden. Mit ihrer Hilfe kann man dann auch zuverlässigere Wettervorhersagen treffen.

Die Durchführung von umfangreichen ozeanographischen Arbeiten ist durch die riesigen Flächen des Weltmeeres, durch die beträchtliche Entfernung der Untersuchungsorte vom Festland erschwert. Hinzu kommt noch, daß die Beobachtungen systematisch wiederholt werden müssen. Das macht den Bau von speziellen Forschungsschiffen erforderlich, die mit einer Vielzahl von Meßapparaturen versehen sind. Ein solches Schiff fährt auf einer vorher genau festgelegten Route, und man führt Beobachtungen der Erscheinungen im Meer durch, bestimmt die Temperatur der Wasseroberfläche und der angrenzenden Luftschichten, untersucht die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Wassers, die Umweltbedingungen, die das pflanzliche und tierische Leben bestimmen, usw. In der letzten Zeit werden ozeanographische Untersuchungen auch von speziellen automatischen Stationen durchgeführt, die auf bestimmte Meeresräume verteilt sind. Zu ihren Aufgaben gehören bestimmte Messungen nach einem vorgegebenen Programm und die Übermittlung der Informationen über Funk. Durch diese Methode ist es gewährleistet, daß die Beobachtungen bis zu einem gewissen Grad in den notwendigen Abständen wiederholt werden können. Zur Lösung dieser Forschungsaufgaben zieht man auch Daten von gleichzeitigen Messungen heran, die z.B. auf Frachtschiffen durchgeführt werden, deren Routen durch die gleichen Gebiete führen. Um systematische Beobachtungen und Messungen im Weltmeer über einen längeren Zeitraum durchzuführen, sind globale Beobachtungs- und Meßanlagen notwendig, die unabhängig von den Wetterbedingungen arbeiten. Die Menschheit verfügt heute über solche Mittel in Form der künstlichen Erdtrabanten. Der gegenwärtige Entwicklungsstand der

Raumfahrttechnik und der zunehmende Umfang an Informationen, die von den Satelliten empfangen werden können, gestatten es, planmäßige ozeanographische Untersuchungen der wichtigsten Prozesse im Meer durchzuführen. Die Analyse der Ergebnisse von Beobachtungen, die man von künstlichen Satelliten erhält, ermöglicht eine ziemlich genaue Interpretation der in Raum und Zeit stark variierenden Messungen. Die breiten Beobachtungsfelder, in deren Grenzen man die notwendigen Beobachtungen und Messungen durchführen kann, ersetzen Tausende von Beobachtungsstationen auf der Meeresoberfläche. Obwohl die Information, die man aus dem Weltraum erhält, anfangs — im Vergleich zu den Messungen, die man auf dem Meer selbst durchführt — ungenau sein kann, ist der Einsatz von Satelliten für ozeanographische Arbeiten durch seine Komplexität, die Großräumigkeit und die Wiederholbarkeit der Messungen den herkömmlichen Methoden, auch was die Meßgenauigkeit anbetrifft, auf die Dauer überlegen. Hierin liegen die großen Vorteile der in ihrer Arbeit einheitlichen Informationen, die dann analysiert werden können. Im Zusammenhang mit den Informationen, die man von Schiffen, Flugzeugen, driftenden Stationen, Bojen und anderen Anlagen erhält, ist es möglich, die Ergebnisse der Satellitenmessungen besser zu interpretieren. Unter der Vielzahl der Möglichkeiten, die sich aus dem Einsatz von Satelliten bei ozeanographischen Untersuchungen ergeben, muß man vor allem die Messungen der Temperatur der Meeresoberfläche und die Erforschung der Strömungen erwähnen. Die Ozeanographie untersucht schon seit langer Zeit die Thermalstruktur der Meere und Ozeane, da sie mit allen Prozessen im Meer, darunter auch den Fischzügen, im Zusammenhang steht. Aber bisher war es noch nicht möglich, zuverlässige Mittel für gleichzeitige Temperaturmessungen in Ozeanen auf globaler Grundlage zu schaffen. Das einzige Mittel für die Durchführung solcher Arbeiten sind praktisch die künstlichen Erdsatelliten. Das Temperaturgefälle des Meeres kann vor allem im infraroten Bereich und im Mikrowellenbereich des Spektrums der elektromagnetischen Strahlung beobachtet werden. Wenn keine Bewölkung vorhanden ist, kann das Infrarotstrahlungsmeßgerät des Satelliten für die Erfassung und Messung von starken Wärmekontrasten auf großen Flächen verwendet werden. Auf den Infrarotaufnahmen der Meeresoberfläche sind die gewundenen Grenzen der Strö-

mungen gut sichtbar, und der Kontrast zwischen kaltem und warmem Wasser zeichnet sich ab, wobei das kalte Wasser hell und das warme dunkel erscheint. Die Darstellung der Strömung des Golfstromes, die man mit Hilfe eines abtastenden Infrarotstrahlungsmessers erhält, wie er z. B. auf dem amerikanischen „Nimbus“-Satelliten installiert ist, gestattet es, den Verlauf der Strömung über Tausende von Kilometern zu verfolgen.

Der globale Charakter der mit Hilfe von Satelliten erhaltenen Informationen und die Möglichkeit, diese ozeanographischen Beobachtungen aus dem Weltraum oft zu wiederholen, gestatten es, die Dynamik der Meeresströmungen zu erkennen. Man kann möglicherweise auch Gesetzmäßigkeiten bei den Grenzverschiebungen dieser Strömungen feststellen, die allgemeinen Zusammenhänge zwischen der Temperatur der Wasseroberfläche und der Atmosphäre sowie der Entwicklung des Lebens im Meer und den klimatischen Bedingungen der Küstenregionen bestimmen.

Ein interessantes Beispiel für oft wiederholte Beobachtungen demonstrierte einer der „Nimbus“-Satelliten während seines 174 Tage währenden Freifluges. In dieser Zeit prüfte der Satellit etwa fünfzigmal die Grenzen des Golfstromes. Es liegt auf der Hand, daß eine solche Aufgabe von einem Forschungsschiff nicht bewältigt werden kann.

Ein anderes wichtiges Problem, bei dessen Lösung die künstlichen Erdsatelliten eine große Rolle spielen werden, ist die Erforschung der Meeresoberfläche. Die Wellenbewegung, die durch verschiedene Winde und Meeresbedingungen hervorgerufen wird, hat einen Einfluß auf den Energieaustausch zwischen Meer und Atmosphäre, auf die Sicherheit der Bewegung der verschiedenen Schiffe, auf das biologische Leben im Meer usw. Die Erforschung der Entstehungsmechanismen der Meereswellen ist eine wichtige Aufgabe bei der Eroberung des Weltmeeres. Es existieren Methoden zur Untersuchung der Meereswellen, die auf den Veränderungen der Reflexionseigenschaften der Meeresoberfläche in Abhängigkeit vom Charakter der Wellen beruhen. Eine der möglichen Methoden zur Erforschung der Meeresoberfläche ist die fotografische Aufnahme des Sonnenlichts. Heute kann man unter Verwendung von Lasern die erhaltenen Darstellungen des Sonnenlichts umwandeln und so die Vektoren der Ausbreitung der Meereswellen bestimmen sowie Daten über die Amplituden und Frequenzen dieser Wellen erhalten.

Die Anwendung von optischen Beobachtungsmethoden auf der Grundlage von Satelliten wird durch die umfangreiche Wolkenbildung über den Oberflächen der Meere und Ozeane erschwert. Deshalb sind für diese Untersuchungen Radaranlagen weitaus günstiger. Die theoretische Grundlage dieser Methoden wird durch die Variabilität des Reflexionskoeffizienten des Radarsignals in Abhängigkeit von der Wellenbewegung der Meeresoberfläche und dem Lokationswinkel gegeben. Die Installierung von Radaranlagen auf Satelliten ermöglicht es, periodische Beobachtungen des Zustandes der Meeresoberfläche unabhängig von der Tageszeit und den Wetterbedingungen im Maßstab des Weltmeeres durchzuführen.

Das aktuellste Problem der ozeanographischen Forschungen von großer praktischer Bedeutung sind jedoch meeresbiologische Untersuchungen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen beeinflussen unmittelbar das Fischereiwesen und erhöhen die ökonomische Bedeutung der Meere. Die Wissenschaftler haben den Bevölkerungszuwachs analysiert und festgestellt, daß sich etwa um das Jahr 2000 die Zahl der Menschen auf der Erde verdoppelt haben wird. Im Zusammenhang damit wird das Ernährungsproblem für die Erdbevölkerung akut. Eine aussichtsreiche Möglichkeit, zu seiner Lösung beizutragen, sehen viele Wissenschaftler in der Erforschung und Ausnutzung der Ernährungsreserven, die uns die Meere bieten. Das Meer besitzt tatsächlich große Lebensmittelreserven. Schon heute planen viele Länder, in den nächsten Jahren die Erträge der Hochseefischerei und die Ausnutzung anderer Meeresprodukte um das Zwei- oder Mehrfache zu erhöhen. In der Sowjetunion wird der Fischfang gegenwärtig vorwiegend in den Küstenregionen der Meere und Ozeane betrieben. Die Erträge des Fischfangs können praktisch nur erhöht werden, wenn neue Fangplätze erschlossen werden und Fischereifahrzeuge mit industriellen Verarbeitungsanlagen an Bord die Meere und Ozeane befahren. Deshalb gewinnt die Frage einer organisierten Suche nach Fischschwärmen, die den Fang ökonomischer werden lassen, immer mehr an Bedeutung. Man muß die Regionen zur Beobachtung von Fischen beträchtlich erweitern, wozu Fischereiforschungsschiffe eingesetzt werden können. Ihre Kapitäne orientierten sich früher einfach an solchen Merkmalen wie Bodenrelief und Küstenlinien, die für die Küstenregionen charakteristisch sind. Auf offe-

ner See jedoch fehlen diese Merkmale. Hier können den Fischern die künstlichen Erdsatelliten zu Hilfe kommen. Natürlich ist die Entdeckung von Fischschwärmen unmittelbar von den Umlaufbahnen im Weltraum in der ersten Etappe auch nicht möglich. Aber die Satelliten können die Effektivität der Arbeit der Fischsuchflotten durch ihre Versorgung mit Informationen über das Temperaturgefälle der Meeresoberfläche, die Verteilung von Fischtranfilmen auf dieser Oberfläche, die Meeresvegetation, die Temperatur der angrenzenden Luftschichten usw. wesentlich erhöhen. All diese Merkmale unterstützen indirekt die Suche nach Fischschwärmen auf den entsprechenden Schiffen. Man kann erwarten, daß in den nächsten Jahren große Raumstationen auf erdnahen Umlaufbahnen unter Verwendung von optischen Apparaturen unmittelbare Beobachtungen und Fotoaufnahmen von Fischansammlungen durchführen werden.

Die indirekte Feststellung von Fischschwärmen aus dem Weltraum ist auch mit Hilfe von Spektrometern möglich. Diese Methode beruht auf der Ausnutzung charakteristischer Spektralmerkmale von Fischtranfilmen, die sich auf der Oberfläche des Ozeans bei der Bewegung von Nutzfischen bilden. Die Laboruntersuchungen der dünnen monomolekularen Filme aus Fischtran ergaben, daß sich ihre spektralen Eigenschaften stark von den Merkmalen der Wasseroberfläche und den Mineralölen im nahegelegenen ultravioletten Bereich des Spektrums unterscheiden. Einige Untersuchungen zeigten, daß zuverlässige Merkmale für die Entdeckung von Fischtran im Infrarotbereich des Spektrums existieren. Das Spektrum der Fischtranfilme unterscheidet sich deutlich im Infrarotbereich von den Merkmalen der Diesel- und Schmieröle. Wenn man also spektralanalytische Methoden verwendet und das technische Arsenal der Beobachtungsmethoden vervollkommnet, kann der Umfang der verfügbaren wertvollen Informationen wesentlich erhöht werden. In besonderen Fällen kann man das biologische Leben durch die Verwendung spezieller Fotofilme beobachten. So kann man z. B. durch eine farbige Infrarotfotografie im Wasser Stoffe besser erkennen, die Chlorophyll enthalten. Auf einer normalen Farbfotografie ist die Farbe der Meereswellen kaum erkennbar. Auf einem Infrarotfarbfilm erscheinen die Bezirke mit Chlorophyll als helle, rosafarbene Felder.

Die arktischen und antarktischen Gebiete der Meere und Ozeane sind teilweise oder vollständig von Eis bedeckt.

Für den Menschen ist es sehr wichtig, die Eigenschaften, die Veränderungen und das Verhalten dieses Eises zu kennen. Diese Kenntnis ist wichtig für den meteorologischen Dienst, die Eispatrouillen, den Fischfang und die Schifffahrt. Schon heute werden die Informationen, die man mit Hilfe der Fernseh- und Infrarotapparaturen von den Satellitenbahnen erhält, für die Organisierung der Schifffahrt in der Arktis und Antarktis genutzt. Die internationale Eispatrouille verwendet regelmäßig Satellitendaten über die Eisverhältnisse und präzisiert und vergrößert auf diese Weise den Umfang der Informationen von Schiffen und Flugzeugen. Die Eisverhältnisse können mit Hilfe der Infrarotfotografie untersucht werden. Auf Aufnahmen aus dem Weltraum sind die Grenzen zwischen den Eisrändern und dem Wasser sowie die verschiedenen Spalten im Eis sichtbar. Durch Infrarotaufnahmen erhält man Daten über die Eisverhältnisse im Laufe der langen Periode der Polarnächte in den nördlichen Breiten. Außer den Geräten, die im Infrarotbereich arbeiten, besitzt auch die passive Mikrowellenortung potentielle Möglichkeiten zur Beobachtung des Eises.

Satelliten für ozeanographische Untersuchungen können die Grundlage für die komplexe Erforschung des Ozeans bilden. Es erscheint möglich, in einem einheitlichen globalen System Informationen von automatischen Hochseestationen (Bojen), verschiedenen Schiffen und Flugzeugen, die ozeanographische Beobachtungen und Untersuchungen vornehmen, zu sammeln. Diese Satelliten können nicht nur unmittelbare Beobachtungen durchführen, sondern sie werden gleichsam als Zwischenüberträger von Informationen dienen und damit die Möglichkeit schaffen, die Operativität, Globalität und Geschwindigkeit der Datengewinnung zu erhöhen. Mit der Entwicklung der Weltraumozeanographie wird es möglich, genauere Aufnahmen zu erhalten und moderne Karten zu schaffen. Letzteres ist die wichtigste Grundlage für alle Wissenschaften, die mit der Erforschung der Erde verbunden sind.

In den letzten hundert Jahren wurde das Festland in allen Einzelheiten kartographiert. Für die Ozeane dagegen gab es exakte Karten nur für kleine Gebiete. Was die Genauigkeit anbetrifft, so könnte man die heutigen Seekarten mit den Landkarten aus dem 18. Jahrhundert vergleichen.

Zum Kartographieren sind nicht nur topographische Untersuchungen des Meeresgrundes erforderlich. Es werden

auch solche Karten von den Ozeanen benötigt, die die synoptischen, jahreszeitlich bedingten Temperaturen und die Durchschnittstemperaturen des Meereswassers, seine Dichte und chemischen Eigenschaften sowie die Meeresströmungen berücksichtigen. Biologen z. B. benötigen Karten über die Verteilung der Meeresorganismen in verschiedenen Gebieten des Ozeans.

Die Bedeutung der Satelliten für die Herstellung der für die Wissenschaft und Praxis notwendigen ozeanographischen Karten ist deshalb groß. So eröffnet die Entwicklung der Raumfahrttechnik schon heute prinzipiell neue und vielversprechende Möglichkeiten zur Erforschung des Weltmeeres, für die Schifffahrt, zur Intensivierung des Fischfangs und zur Erschließung neuer Nahrungs- und Rohstoffquellen.

# Hydrologie und Wasserhaushalt

**D**ie Erforschung und Beurteilung der Wasserreserven nimmt einen wichtigen Platz bei der Erforschung der natürlichen Reserven der Erde ein. Der Mensch hat sich daran gewöhnt, sich dem Wasser gegenüber wie zu einem Geschenk der Natur zu verhalten. Tatsächlich sind etwa 71% der Erdoberfläche mit Wasser bedeckt, und durch den natürlichen Wasserkreislauf kann es niemals völlig ausgeschöpft werden.

Wenn man jedoch bedenkt, daß die wichtigsten Nutzer der Wasservorräte auf dem Festland zu finden und diese Vorräte selbst sehr ungleichmäßig über die Oberfläche der Erdkugel verteilt sind, kann man leicht eine Erklärung für die Schwierigkeit finden, die die ständig wachsende Menschheit mit der Wasserversorgung hat. Die Hauptquellen des Süßwassers auf der Erde, die Flüsse und Seen, besitzen nur 0,06% des Wasservolumens des Weltmeeres. Das ist nur ein geringer Teil der Wasservorräte, und er allein ist direkt nutzbar. Zu den größten Wassernutzern gehören Industrie und Landwirtschaft. Mit Hilfe eines Kubikmeters Wassers erzeugt ein Kunstfaserwerk gegenwärtig einen Gewinn von etwa 59 Rubel, eine Schuhfabrik von 270 Rubel und ein metallurgischer Betrieb von 3,7 Rubel. Man kann sich deshalb leicht vorstellen, was für einen Verlust ein Wassermangel für die Industrie bedeuten würde.

Die vor der Sowjetunion stehenden grandiosen Aufgaben zur Erhöhung der Effektivität der Landwirtschaft können nicht losgelöst von den Problemen der Wasservorräte betrachtet werden. Man darf niemals vergessen, daß auch die natürlichen und klimatischen Bedingungen in der UdSSR im Unterschied zu anderen Ländern außerordentlich kompliziert sind. Ein großer Teil des Bodens befindet sich in

trockenen und wenig bewässerten Gebieten, so z. B. im Wolgagebiet, im Steppengürtel der Ukraine, in den Neulandgebieten Sibiriens und Kasachstans oder im Nordkaukasus. Es ist bekannt, daß in diesen Gebieten durch Trockenheit die Getreideernten um Millionen Tonnen zurückgingen. Ein realer Weg zur Überwindung der Abhängigkeit von solchen Zufällen wie Dürre oder übermäßigem Regen kann die Melioration sein. Aber die Ausarbeitung eines Meliorationsprogramms erfordert die Kenntnis der hydrologischen Vorgänge auf der Erdoberfläche, z. B. der Schwankungen des Grundwasserspiegels, des Wasserstandes von Flüssen und Seen, des Feuchtigkeitsgrades verschiedener Regionen usw. Nur eine genaue und rechtzeitige Information über alle hydrologischen Prozesse kann als Grundlage für den Bau ökonomisch günstiger Wasserwirtschaftssysteme dienen.

Eine wichtige Aufgabe hydrologischer Untersuchungen besteht in der Übermittlung aller notwendigen Informationen über die Wasservorräte an die Volkswirtschaft. Da alle hydrologischen Prozesse einen Wahrscheinlichkeitscharakter besitzen, ist die zuverlässige Vorhersage der hydrologischen Situation von besonderer Bedeutung. Das Fehlen einer zuverlässigen Voraussage kann sich katastrophal auswirken. So könnte z. B. eine plötzliche Anhebung des Wasserspiegels an Staudämmen die Gefahr eines Dammbbruchs heraufbeschwören. Rechtzeitig eingeleitete Gegenmaßnahmen können ein derartiges Unglück verhindern.

Die Erforschung von hydrologischen Vorgängen erfolgte bisher von der Erde oder der Luft aus. Man sammelte Daten durch Beobachtungen auf Expeditionen. Der Hauptvorteil dieser Methode besteht in der verhältnismäßig schnellen Erfassung einer ziemlich großen Zahl von hydrologischen Objekten. Die Daten besitzen jedoch nur quantitativen Charakter und gelten nur für einen relativ kurzen Zeitraum.

Bei stationären Methoden handelt es sich um eine ununterbrochene Kontrolle über dieses oder jenes Wasserreservoir und die Durchführung von komplexen Messungen nach einem bestimmten Programm. Systematische und von Jahr zu Jahr durchgeführte Messungen liefern überaus wertvolles statistisches Material für die Beschreibung der Charakteristiken eines Wasserreservoirs, so z. B. Daten über den Wasserstand, die Strömungsgeschwindigkeit, den Wasserverlust usw. Die Methode stationärer Beobachtungen ist jedoch nur für die Untersuchung sehr kleiner Gruppen von

Masserreservoiren möglich, und bei der Auswertung der an den einzelnen Punkten erhaltenen Daten zeigt sich eine beträchtliche Abnahme der Genauigkeit der Voraussage.

In letzter Zeit ging man von den klassischen Methoden immer mehr ab. Es wurde eine prinzipiell neue Methode angewandt — die periodische Messung hydrologischer Parameter an verschiedenen Stellen aus der Luft. Auf diese Weise kann man solche wichtigen Faktoren wie meteorologische und natürliche sowie vom Menschen hervorgerufene Bedingungen in die Untersuchungen mit einbeziehen. Derartige Messungen liefern quantitative und qualitative Daten für ganze Regionen.

Während sich die Messungen von Expeditionen und Stationen durch eine hohe Genauigkeit auszeichnen, ist die Meßgenauigkeit bei einmaligen Untersuchungen aus der Luft nur für die Lösung einer vorgegebenen konkreten Aufgabe ausreichend. Erst wiederholte Messungen in kurzen Abständen von Flugapparaten aus gewährleisten ein besseres Ergebnis.

Das Flugzeug war bisher das einzige Mittel für die Durchführung solcher Beobachtungen. Die an Bord von Flugzeugen installierten Apparaturen zur Messung hydrologischer Parameter ermöglichen die Beobachtung von großen Gebieten und liefern den Wissenschaftlern eine Vielzahl von Informationen. Trotz dieser Vorzüge besitzt die Beobachtung aus der Luft auch Nachteile, die vor allem darin bestehen, daß periodische Messungen, die am besten in kurzen Abständen erfolgen müssen, praktisch unmöglich sind.

Die stürmische Entwicklung der Raumfahrttechnik und besonders die erfolgreiche Realisierung von bemannten Raumflügen im erdnahen Weltraum eröffnen neue Möglichkeiten für die Informationsgewinnung über die hydrologischen Prozesse. Die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten der künstlichen Erdsatelliten übertreffen die Möglichkeiten anderer Mittel um ein Vielfaches.

Eine Hauptforderung der modernen hydrologischen Untersuchungen ist die Wiederholbarkeit der Messungen über große Flächen. Das einzige Mittel, das diese Forderung am vollständigsten erfüllt, ist ein Satellit mit einer vielseitigen Registrierapparatur.

Satelliten gewährleisten erstens die Erfassung großer Gebiete der Erdoberfläche. Für die hydrologische Untersuchung eines bestimmten Gebietes auf der Erdoberfläche

werden dadurch viel weniger Aufnahmen benötigt als bei den Untersuchungen mit Hilfe von Flugzeugen. Zweitens verringern sich die Kosten. Nach amerikanischen Angaben kostet ein Satz von Luftaufnahmen für die hydrologische Erschließung des Territoriums der USA mit Hilfe von Flugzeugen 12 Millionen Dollar. Wenn man Satelliten für die Fotoaufnahmen des gleichen Territoriums einsetzt, sind die Kosten sechzehnmal niedriger.

Drittens erleichtern die aus dem Weltraum gewonnenen Daten die Auswertung und Verallgemeinerung. Ein Komplex von hydrologischen Objekten besitzt beträchtliche Ausmaße. Wird er mit einer einzigen Aufnahme erfaßt, dann kann die gewonnene Information viel leichter verallgemeinert werden, als das bei der Herstellung einer komplexen Karte im Mosaikverfahren aus vielen Fotoaufnahmen möglich ist.

Viertens werden durch die globale Erfassung vergleichbare Daten über einzelne Regionen der Erde gewonnen. Das ist besonders wichtig, weil alle hydrologischen Untersuchungen regionalen Charakters in enger Verbindung mit großräumigen hydrologischen Erscheinungen zur Bestimmung und Überprüfung der Hypothese des ausgewogenen Wasserkreislaufs betrachtet werden müssen.

Schließlich bieten die mit Hilfe der Raumfahrttechnik gewonnenen Daten gute Möglichkeiten zu ihrer Ausnutzung auf der Grundlage der sogenannten Landschaftsmethode bei der Erforschung der natürlichen Reserven. So kann ein und dieselbe Aufnahme für Hydrologen, Geologen, Ozeanographen sowie für Forst- und Landwirte nützlich sein. Die Kosten für eine derartige Erfassung vom Weltraum aus und die daraus gewonnenen Informationen werden mit der Zahl der Bedarfsträger auf diese Weise immer geringer.

Die Ausnutzung von raumfahrttechnischen Mitteln schließt die Verwendung anderer Methoden nicht aus. Es geht vielmehr darum, sämtliche möglichen Methoden hydrologischer Untersuchungen zu einem Komplex zu vereinigen. Hierbei muß beachtet werden, daß die Daten aus den verschiedenen Untersuchungen auch der Größe der Aufgabe entsprechen. Oft ist ein Übermaß an Informationen genauso wenig erwünscht wie ein Mangel in dieser Beziehung. Wenn der untersuchte Raum klein ist und die Genauigkeit der Information nicht sehr groß sein muß, dann sind die herkömmlichen Methoden der Beobachtung durch Bodenstationen

völlig ausreichend. Besitzt die Aufgabe jedoch einen größeren Maßstab, ist es zweckmäßig, Flugkörper einzusetzen und darüber hinaus Bodenkontrollen durchzuführen. Bei sehr großräumigen Vorhaben dürften Beobachtungen aus dem Weltraum, verbunden mit Messungen von Flugzeugen und Bodenstationen aus, die günstigste Lösung darstellen, wobei die letztgenannten zusätzlichen Messungen für Korrekturen verwendet werden können. Eine spezifische Besonderheit der Methode der Beobachtungen aus größeren Höhen besteht darin, daß hier elektromagnetische Wellen als Informationsträger dienen.

Es gibt heute schon eine Vielzahl von Geräten, die in der Lage sind, Informationen aus verschiedenen Bereichen der elektromagnetischen Strahlung zu registrieren. Aber der Stand der heutigen Interpretationsmethoden für die gewonnenen Informationen bei hydrologischen Beobachtungen ist noch nicht einheitlich in bezug auf den Spektralbereich. So übersteigt z. B. die Anwendungsmöglichkeit der fotografischen Information zur Erkennung von Prozessen und Erscheinungen die Möglichkeiten der Radaraufzeichnung um ein Vielfaches. Es handelt sich hierbei jedoch nicht in erster Linie darum, daß die Radaraufzeichnung im Vergleich zu einer Fotografie in bezug auf die Detailtreue von geringerer Qualität ist. Es existieren einfach reichere Erfahrungen bei der Interpretation von Fotografien sowohl nach direkten als auch nach indirekten Merkmalen, als das bei Radarbildern und anderen Darstellungsmethoden der Fall ist. Natürlich werden in Zukunft auch die Informationen, die im Infrarot-, Radar- oder Mikrowellenbereich gewonnen werden, eine große Bedeutung bei hydrologischen Untersuchungen haben, zumal sie eine schnelle Information ermöglichen.

Eine große Bedeutung für die Hydrologen können Infrarotaufnahmen der Erdoberfläche vom Weltraum haben. Mit solchen Aufnahmen können Aufgaben der Einschätzung und Planung des Wasserverbrauchs gelöst werden. Der Wert der Infrarotaufnahmen wurde z. B. bei der Beobachtung des Absinkens von Grundwasser in den Küstenregionen der Meere und Ozeane bestätigt. Es ist bekannt, daß solche Verluste von wertvollem Wasser ein Sechstel der Gesamtmenge des Süßwassers erreichen können, das von der Bevölkerung unseres Planeten benötigt wird. Deshalb ermöglicht eine systematische Beobachtung des Grundwasserpegels auf der Grundlage von Satellitenmessungen eine erfolgreichere Lö-

sung der Planungsaufgaben zur Wasserversorgung. Die charakteristische Farbwertwiedergabe auf Infrarotfarbfilmern gestattet es den Hydrologen, Feuchtigkeitsregionen zu erkennen, die Verunreinigung von Wasserreservoirern zu verfolgen und unterirdische Systeme zu entdecken. Die Infrarotfotografie mit ihrer Fähigkeit, den atmosphärischen Dunst zu durchdringen, schafft gute Voraussetzungen für die Verwendung von künstlichen Erdsatelliten zu dieser Art von Informationsgewinnung. Die aus dem Weltraum gewonnenen Fotografien zeigen die scharf umrissenen Konturen von verschiedenen Wasserreservoirern, ihre Lage und die Farbe der Wasseroberfläche. Durch solche Angaben wird ohne Zweifel die Limnologie (Seenkunde) bei ihrer Untersuchung und Erforschung der Seen, bei deren Klassifizierung und der Erarbeitung eines Gesamtkatalogs der Seen auf der Erdoberfläche unterstützt.

Wenn man bedenkt, daß die Gesamtfläche des ewigen Eises auf dem Territorium der Sowjetunion 75 000 km<sup>2</sup> übersteigt, dann kann man die gewaltige Bedeutung ermessen, die die Gletscher für den Wasserhaushalt besitzen. Die Gletscher sind riesige Quellen für die Wasservorräte. Solche Gebirgsgletschergebiete wie der nördliche Ural, der Kaukasus, das Altaigebirge, das Sajagebirge u. a. speisen viele Flüsse in der UdSSR. Deshalb ist die Erforschung der Gletscher eine so wichtige Aufgabe. Sie wurde zu einem speziellen Zweig der Hydrologie, den man als Glaziologie bezeichnet. Die glaziologischen Arbeiten werden in schwer zugänglichen Regionen durchgeführt. Die Erforschung dieser Gebiete mit Hilfe von künstlichen Erdsatelliten eröffnet große Perspektiven, besonders bei den Untersuchungen der Gebirgsgletscher. Von großem Interesse für die Glaziologen sind die Infrarotaufnahmen aus dem Weltraum. Mit Hilfe solcher Fotos kann man die Grundformen der Gletscherbildungen, die Firnschneefelder, Zungen, Moränen und der wichtigen Einzelheiten wie Brüche, Risse, Verschiebungen und Verwerfungen erkennen. Nach dem Charakter der Spalten und ihrer Lage, nach der Orientierung der Moränengräben und anderen Merkmalen kann man die Richtung und die Besonderheiten der Bewegung der Eisfelder bestimmen. Im Zusammenhang mit der ständigen Bewegung der Gletscher ist es notwendig, die Beobachtungen über die Veränderungen ihrer Form, Größe sowie Lage der unteren Grenzen usw. oft zu wiederholen. Die Schwierigkeiten bei den

herkömmlichen Methoden sind dabei sehr groß. Durch den Einsatz von Satelliten läßt sich diese Aufgabe bedeutend erleichtern.

Die stürmische Entwicklung der Industrie und die Zunahme der Bevölkerung machen schon heute das Problem der Wasserversorgung zu einem der vorrangigsten, und es besteht kein Zweifel daran, daß die Menschheit auch dieses komplizierte Problem erfolgreich lösen wird.

# Auf der Suche nach Bodenschätzen

**D**as Vordringen in den Weltraum ermöglicht es dem Menschen, auch das Leben auf der Erde und die sich vollziehenden geologischen Prozesse genauer zu betrachten. Die Erdoberfläche verändert sich unablässig; Gebirge werden abgetragen, Täler entstehen, es bilden sich Schluchten und Spalten, und die Gletscher bewegen sich. Ja selbst die Kontinente sind nicht unbeweglich. Sie „schwimmen“ gleichsam auf der Erdkugel. Teile der Erdkruste heben und senken sich oder werden von Erdbeben erschüttert. Durch Vulkanausbrüche gelangt Magma aus dem Erdinneren an die Oberfläche. Die Erde lebt, und dieses gesamte Leben wird von den Geologen und Geophysikern sorgfältig erforscht.

Es ist nicht einfach, die Vielfalt der Probleme aufzuzählen, die von der Geologie zu lösen sind. Aber man kann sich leicht vorstellen, wie notwendig es ist, sie zu lösen, und welche gewaltige praktische Bedeutung die Geologie in unserer Zeit erlangt hat.

Mit jedem Jahr werden von den Geologen immer neue Anreicherungen nutzbarer Stoffe in der Erdkruste entdeckt. Steinkohle und Braunkohle, Erdöl und Erdgas, Gold und Diamanten, Kalisalze und Salpeter, Blei und Zinn, Eisen- und Mangan — das ist bei weitem noch keine vollständige Aufzählung jener lebenswichtigen Stoffe, die unmittelbar die Entwicklung unserer Industrie und somit das Leben der Menschen beeinflussen.

Die Geologie sichert das Fundament für die materiell-technische Basis eines jeden Staates. Die Erfolge der Geologen haben entscheidenden Einfluß auf das allgemeine Niveau der technischen Entwicklung und den materiellen Wohlstand der Bevölkerung.

Die Erforschung geologischer Erscheinungen erfolgt vor allem durch den umfassenden Einsatz der zahlreichen geologischen und geophysikalischen Geräte und Methoden vorwiegend von der Erdoberfläche aus. Es werden neuerdings aber auch Flugkörper eingesetzt. Mit der Entwicklung der Luftfahrt entstand z. B. die Möglichkeit, geologische Beobachtungen aus der Luft vorzunehmen, wodurch viele Untersuchungen effektiver gestaltet werden konnten. So gestattet es z. B. eine in einem Flugzeug vom Typ An2 installierte Apparatur zur geologischen Erkundung, ein Gebiet von mehr als 10 000 km<sup>2</sup> während eines einzigen Fluges zu erfassen. Voraussetzung für eine erfolgreiche Arbeit der Geologen ist selbstverständlich das exakte Kartieren, die Erfassung der Form, Größe und Lage aller geologischen Objekte. Dabei spielen Luftaufnahmen der Erdoberfläche mit Hilfe verschiedener Arten von Filmen eine große Rolle. Seit dem Jahre 1960 wurde bei geologischen Arbeiten die Verwendung von Luftaufnahmen im Maßstab 1 : 25 000 und noch kleiner zur Bedingung. Anhand der Luftaufnahmen lassen sich die Sachverhalte mit einer Genauigkeit eintragen, die bei Bodenaufnahmen nicht zu erreichen ist. Nach den Luftaufnahmen werden geomorphologische und strukturgeologische Karten angefertigt, Routen von geophysikalischen Expeditionen festgelegt sowie Standorte für Bohrungen und Bergbaubetriebe projiziert und die älteren geologischen Karten revidiert.

Man arbeitet mit Flugzeugen nicht nur bei Luftaufnahmen, sondern auch bei der Funkvermessung von Gebieten zu geologischen Zwecken, wobei man qualitativ neue Merkmale des geologischen Aufbaus, des jeweiligen Reliefs und der Bruchflächen erhält. Geomagnetische Messungen von Flugzeugen aus, die auf dem Unterschied der magnetischen Charakteristika der kristallinen und Sedimentgesteine beruhen, fanden auch bei der geologischen Kartierung Anwendung.

Trotz der Erfolge, die die Geologie durch die günstige Kopplung von Forschungen auf der Erdoberfläche mit der Luftbeobachtung erzielen konnte, stellt die stürmische Entwicklung unserer Wirtschaft der Geologie die Aufgabe einer noch effektiveren Suche nach Lagerstätten, um die Rohstoffbasis unserer Industrie zu erweitern. Auch hierbei kann die Raumfahrt von Nutzen sein. Es erwies sich, daß man von Umlaufbahnen aus auf der Erde sehr viel

mehr schon mit bloßem Auge erkennen kann als in einem Flugzeug. Gut sichtbar sind die großen Flüsse und Berge, die künstlichen Wasserbecken, die grünen Waldgebiete und die weiten Flächen der bestellten Felder. Kontinente und Ozeane sind leicht an ihrer charakteristischen Färbung, an den Umrissen und am Relief zu erkennen. Auf der Wasseroberfläche ist der Wellengang genau zu beobachten, und der Übergang von kleinen zu großen Tiefen ist gut sichtbar. In den Schelfgebieten hat der Ozean eine hellere Färbung; die tiefen Senken zeichnen sich als dunkelblaue Flecken ab. Keine geologische Karte kann die ganze Vielfalt der geologischen Objekte erfassen wie die Beobachtungen von den Satelliten aus. Mit Hilfe der Raumfahrttechnik wird es möglich, die Beziehungen zwischen ihnen und den Gesetzmäßigkeiten der Veränderungen auf der Erdoberfläche klarer zu bestimmen. Von einem künstlichen Erdsatelliten aus kann man jeden beliebigen Abschnitt auf der Erdoberfläche betrachten. Die Schwierigkeiten, die für den Geologen auf der Erde durch riesige Entfernungen und die Unzugänglichkeit manchen Geländes entstehen, werden auf diese Weise überwunden. So kann man die Sonnenglut der Wüsten und die extrem niedrigen Temperaturen der nördlichen Breiten umgehen.

Spezielle künstliche Erdtrabanten, die in der Lage sind, in globalem Maßstab die für die Geologie notwendigen Informationen zu sammeln, ermöglichen die Gewinnung von qualitativ neuen Daten über viele Prozesse, die an der Bildung und der Zusammensetzung unseres Planeten beteiligt sind, und bringen uns so der Lösung vieler grundlegender geologischer Probleme näher.

Auch die Frage nach dem Ursprung der Erde und den frühen Phasen ihrer Entwicklung wird besser beantwortet werden können.

Die Zweckmäßigkeit der Verwendung von künstlichen Erdsatelliten für die Lösung geologischer Aufgaben wird im wesentlichen durch die Möglichkeiten der Meßgeräte bestimmt, die auf den Satelliten installiert sind, darüber hinaus natürlich auch durch die Fähigkeit der Geologen, die gewonnenen Informationen zu deuten und zu verwenden. Am wichtigsten für die Geologie sind die Fotoaufnahmen von der Erdoberfläche aus dem Weltraum, die auf verschiedenen Arten von Fotomaterial gewonnen werden. Die bisherigen Erfahrungen auf diesem Gebiet zeigen, daß

auch für die Geologie noch viel von dieser Methode zu erwarten ist.

Fotoaufnahmen aus dem Weltraum können Informationen für die Lösung der folgenden geologischen Aufgaben liefern: Erforschung der tektonischen und morphologischen Strukturen auf regionaler Ebene, Suche nach Bodenschätzen, Aufdeckung von geologischen Prozessen im großen Maßstab, Bestimmung der Wechselbeziehungen zwischen den großen geologischen Elementen der Erdoberfläche, Feststellung der Reliefbeziehungen und der Art der Ablagerungen, Erforschung der Dynamik von Erdbeben, Spalten, Küstenlinien usw. Diese Aufnahmen aus dem Weltraum können als wertvolles Material zur Vervollständigung der geologischen Erkundungen beim Bau von Straßen und Eisenbahnen, Kanälen, Rohrleitungen und elektrischen Überlandleitungen dienen. So wird schon bei der Projektierung die Möglichkeit geschaffen, die optimale Trassenführung zu bestimmen. Man kann dadurch die Arbeitszeit und die Baukosten senken.

Am wichtigsten sind Fotoaufnahmen aus dem Weltraum allerdings für die Herstellung von geologischen Karten der Erdoberfläche. Obwohl die Karten das wichtigste Instrument bei der Erforschung der verschiedenen Prozesse auf der Erde darstellen, sind die kartographischen Arbeiten für viele Bezirke der Erdoberfläche bei weitem noch nicht abgeschlossen. Es gibt noch große Territorien auf unserem Planeten, für die es überhaupt keine genauen Karten gibt. So sind z. B. gegenwärtig Karten im Maßstab von 1 : 1 000 000 für 80% der Erde, im Maßstab von 1 : 250 000 für 25%, im Maßstab von 1 : 100 000 für 12% und im Maßstab von 1 : 25 000 für nur 5% der Erdoberfläche vorhanden.

Den Prozeß des Kartographierens kann man wesentlich dadurch beschleunigen, daß jeder beliebige Punkt der Erdoberfläche von Satelliten aus fotografiert wird, denn hierfür wird nur sehr wenig Zeit benötigt. Alle anderen Aufnahmemethoden, z. B. durch Erdbilder vom Boden aus oder durch Luftbilder mit Hilfe von Flugzeugen, können für eine kurzfristige kartographische Erfassung großer Territorien nicht verwendet werden.

Die Möglichkeiten der Luftaufnahmen sind sehr begrenzt. Erstens bewegt sich das Flugzeug in der Atmosphäre, und das bedeutet, daß besondere Maßnahmen zur Lagestabil-

sierung während der Fotoaufnahme in der Erdatmosphäre notwendig sind, um eine verwischte Darstellung zu vermeiden, die dann nur schwer zu entschlüsseln wäre. Darüber hinaus schränken die aerodynamischen Formen eines Flugzeuges die Möglichkeiten zur Unterbringung von Fotoapparaturen ein.

Zweitens sind bei Luftaufnahmen von größeren Gebieten Zehntausende von einzelnen Bildern erforderlich. Wenn man ein quadratisches Gebiet der Erdoberfläche mit einer Größe von  $1000 \text{ km} \times 1000 \text{ km}$  aus einer Höhe von  $10 \text{ km}$  mit einer Kamera, deren Sichtwinkel  $55^\circ$  beträgt (die höchstzulässige Neigung der Aufnahmeachse in bezug auf die Vertikale, weil sonst der Lichteinfall stören würde), bei einer 60%igen, also begrenzten Bedeckung fotografieren wollte, brauchte man etwa 30 000 Einzelaufnahmen, auch wenn die Flugbahnen parallel sind, so daß sich keine wesentlichen Überdeckungen der Bildreihen ergeben.

Bei einem solchen Bildmaßstab kann man viele geologische Objekte nicht völlig erfassen. Um sie miteinander zu verbinden, muß man Montagen verwenden, wodurch die Qualität der Karten infolge des Informationsverlustes und der Abnahme der Genauigkeit vermindert wird. Außerdem muß berücksichtigt werden, daß es die Fluggeschwindigkeit von Flugzeugen, auch wenn sie 800 bis 900 km/h beträgt, nicht gestattet, große Flächen bei unveränderten Aufnahmebedingungen zu fotografieren. Gleichzeitig macht die Aufnahme bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen und Tageszeiten die Reihenbilder schwer vergleichbar. Oft haben sie verschiedene Maßstäbe. All das hat letztlich einen negativen Einfluß auf die Verwendungsmöglichkeiten der Fotoaufnahmen sowohl für die Herstellung von geologischen Karten als auch für andere Zwecke.

Durch das fotografische Erfassen der Erdoberfläche für kartographische Arbeiten von künstlichen Satelliten aus kann man die zahlreichen Schwierigkeiten entweder überwinden oder wenigstens auf ein Minimum beschränken. So kann z.B. bei einer Satellitenaufnahme eines Gebietes von  $1000 \text{ km} \times 1000 \text{ km}$  die notwendige Anzahl der Aufnahmen um das 500fache verringert werden. Die Bahngeschwindigkeit eines Satelliten übersteigt die eines Flugzeuges etwa um das 25fache und gestattet es, Aufnahmen von großen Territorien in kurzer Zeit und bei relativ konstanten Lichtverhältnissen zu erhalten.

Die von einer einzigen Aufnahme erfaßte Fläche auf der Erdoberfläche übersteigt bei Weltraumfotos diejenige der Luftaufnahmen um ein vielfaches. Die Hauptkonturen von großen geologischen Gebilden sind sofort zu erkennen, während man bei Feldarbeiten dazu gewöhnlich eine lange Periode benötigt. Weder Fotoschemata noch Fotopläne, die aus Dutzenden oder Hunderten von Luftaufnahmen zusammengesetzt sind, können der geologischen Wissenschaft das Material liefern, das mit den Aufnahmen aus dem Welt-  
raum zur Verfügung steht.

Zu den Vorzügen der Fotoaufnahmen aus dem Welt-  
raum kann man auch das Fehlen von Vibrationen zählen. Die ausgeglichene beständige Bewegung des Satelliten gewährleistet eine ausreichende Genauigkeit der Einzelaufnahmen, die ja dann zusammengesetzt werden. Außerdem ist der Einfluß der Atmosphäre auf den Flug des Raumflugkörpers unbedeutend. Dieser Umstand gestattet es, eine Fotoapparatur mit langer Brennweite günstiger unterzubringen als in einem Flugzeug.

Aber die Fotoaufnahmen aus dem Weltraum können nicht in allen Fällen die Luftbilder oder auch die Erd-  
bilder ersetzen. All diese Methoden ergänzen einander. Außerdem tritt beim Bau und bei der Verwendung von Satelliten für Fotoaufnahmen der Erdoberfläche eine Vielzahl von Problemen auf: Man muß die Krümmung der Erdoberfläche und den Einfluß der Atmosphäre auf die Änderungen von Kontrast und Färbung berücksichtigen, den Rücktransport der Aufnahmen zur Erde sowie die erforderliche Wärmeregulierung im Flugkörper gewährleisten, den Film vor Strahlungen schützen usw. Trotzdem kann der für Fotoaufnahmen aus dem Weltraum notwendige Aufwand schnell ausgeglichen werden, denn die Geologen erhalten sehr wichtige Informationen über die verschiedensten geologischen Prozesse.

Die Qualität der geologischen Information wird allerdings durch die spezifischen Besonderheiten beeinflusst, denen Messungen und Beobachtungen vom Weltraum aus unterworfen sind. Der atmosphärische Dunst, die Bewölkung, die Absorption der atmosphärischen Strahlung in bestimmten Spektralbereichen — all das stellt bestimmte Anforderungen an die Auswahl der Apparaturen des Satelliten und die jeweils zu messenden Parameter. Zur Überwindung des Einflusses der Atmosphäre auf den Aufnah-

mevorgang aus dem Weltraum verwendet man entweder Lichtfilter oder Filme, die empfindlich gegenüber infraroten Strahlen sind. Durch die Verwendung von Infrarotbeobachtungsgeräten können zahlreiche geologische Informationen gewonnen werden. Fotoaufnahmen im nahen Infrarot-Gebiet (bis  $1,2 \mu\text{m}$ ) gestatten es, zusätzliche indirekte Merkmale bei aufgeschlossenen geologischen Objekten zu erkennen. Die Meßwertgeber, die im mittleren und fernen Bereich des Infrarot arbeiten, sind in der Lage, das Temperaturgefälle des Bodens bis zu  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  zu registrieren. Anhand solcher Aufnahmen kann man besonders die Konturen der trockenen und feuchten Böden, eingebettete Salzdomen, die Kontakte einiger Gesteine (Schiefer, Sandstein, Kalkstein), eine besonders niedrige geothermische Tiefenstufe, die von einer verstärkten vulkanischen Tätigkeit zeugt, usw. unterscheiden. In den USA wurde ein Aufnahmeexperiment mit erkalteter Lava in verschiedenen Abschnitten des Infrarotbereiches des Spektrums durchgeführt. Nach den Aufnahmen der erkalteten Lava, die aus drei Abschnitten des Spektrums ( $3\text{--}5 \mu\text{m}$ ,  $8\text{--}10 \mu\text{m}$  und  $14\text{--}15 \mu\text{m}$ ) stammten, konnte man den Schluß ziehen, daß die letzten Aufnahmen ( $14\text{--}15 \mu\text{m}$ ) die besten Decodiereigenschaften besitzen.

Es gibt auch noch andere Beispiele der Ausnutzung des Infrarotbereiches des Spektrums für geologische Untersuchungen. Die Installierung von Geräten auf Satelliten, die im Infrarotbereich des Spektrums der elektromagnetischen Strahlung arbeiten, ermöglicht es infolge der Eigenstrahlung warmer Körper, Beobachtungen nicht nur am Tag, sondern auch nach Sonnenuntergang und nachts durchzuführen, wenn der Wärmeunterschied der einzelnen Teile am größten ist. Das ist sehr wichtig, denn in der Regel überfliegt ein Satellit die Erde in einer halben Bahn auf ihrer unbeleuchteten Seite.

Auch mit Hilfe von Radar ist es möglich, einige strukturelle Besonderheiten der Erdrinde zu erkennen. Eine verhältnismäßig breite Anwendung findet die Radarmethode bei der Suche nach Eisenerzlagerstätten.

Die wichtigste Besonderheit der Radarsuche besteht in ihrer Unabhängigkeit von den meteorologischen Bedingungen und der Tageszeit. Die Bedeutung dieser Besonderheit wird verständlich, wenn man in Betracht zieht, daß ein großer Teil der Erde gewöhnlich von Wolken bedeckt ist.

Für die Radaraufnahme aus dem Weltraum muß man Spezialantennen von kleiner Größe und Bordrechenmaschinen für die Bildung von Radarbildern verwenden. Durch all das kann man letztlich die Verwendungsmöglichkeiten der Radaranlagen für Fotoaufnahmen aus dem Weltraum erweitern.

Das Haupthindernis für die Ausnutzung des ultravioletten Bereiches des Spektrums ist die starke atmosphärische Absorption und die Streuung dieser Strahlen. Aber die Eigenschaft der Gesteine und Pflanzen, unter dem Einfluß der ultravioletten Strahlung zu fluoreszieren, gestattet es, ihre Konturen unter Verwendung elektronenoptischer Wandler zu bestimmen.

Durch das Leuchten des Kohlenstoffs konnte man positive Ergebnisse bei der Dechiffrierung von Fotografien von Abschnitten der Erdoberfläche erzielen, die Erdöl und Erdgas enthielten. Um diese Methode anzuwenden, muß man an Bord eines Flugkörpers eine Ultraviolettstrahlenquelle installieren. Der Aufnahmevorgang ist nur nachts möglich.

Eine große Bedeutung bei der geologischen Dechiffrierung von Weltraumaufnahmen hat die Erforschung der Reflexionseigenschaften der Elemente der Erdoberfläche, so daß die Spektralkoeffizienten ermittelt werden können.

Die in künstlichen Erdsatelliten installierte Apparatur zur Messung des Magnetfeldes der Erde kann den Geologen wertvolle Informationen über den Charakter der Lagerung verschiedener magnetischer Gesteine liefern. Aus den Höhen der Satelliten (300—800 km) kann man auf der Grundlage der Messung des Magnetfeldes voraussagen, wie tief die Quellen der Magnetanomalie lagern. Als Beispiel für die erfolgreiche Anwendung dieser Methode kann die Untersuchung der ortsibirischen Magnetanomalie dienen, nach deren Ergebnis die Koordinaten des Anomaliemaximums und die Tiefe der Lagerung der magnetischen Gesteine bestimmt wurden. Mit Hilfe eines Satelliten gelang es auch, eine bis dahin unbekannte Magnetanomalie im südlichen Teil des Atlantischen Ozeans zu entdecken.

Zu geologischen Zwecken muß man sehr oft die absoluten Spannungswerte des Magnetfeldes messen. Eine in praktischer Beziehung sehr nützliche Information kann man aus der Messung der relativen Größen ziehen, die die Veränderungen der Spannung des Magnetfeldes beim Über-

gang von einem Abschnitt zum anderen charakterisieren. Das dabei festgestellte Spannungsgefälle weist auf das Vorhandensein von Anomalien hin, deren Kenntnis den Geologen bei der Entdeckung von Bodenschätzen (Eisenerz, Basalt, Gabbro u. a.) unterstützt und bei der Erforschung des Aufbaus und des Charakters von Gesteinsablagerungen hilft.

Eine der Besonderheiten bei Messungen des Magnetfeldes sind kurzzeitige periodische Schwankungen (Variationen) und unperiodische Störungen und Stürme. Die größten Schwierigkeiten sind mit dem Erkennen des Einflusses der tageszeitlichen und kurzperiodischen Störungen des erdmagnetischen Feldes verbunden.

Die Verwendung von Satelliten zur Bestimmung des Erdmagnetismus gestattet es, schnell Messungen auf großen Flächen durchzuführen und damit vergleichbare Daten für große Gebiete der Erde zu erhalten.

Zusammen mit der Messung des Magnetfeldes führt man in der Geologie oft Messungen der Schwerkraft durch. Nach der Veränderung der Schwerkraft kann man über die Art der Gesteine urteilen, aus denen die einzelnen Schichten und Regionen der Erde bestehen. Das können entweder harte Felsgesteine oder z. B. auch poröse Kalksteine sein. Die Rolle des Gravimeters, eines Gerätes zur Bestimmung der Schwerkraft, kann ein künstlicher Erdsatellit selbst spielen, dessen Bahnstörungen das Ergebnis der Veränderungen der Schwerkraft sind. Aber die genannte Methode wird nur zur Untersuchung großer Anomalien der Schwerkraft verwendet. Gegenwärtig werden spezielle, exakt arbeitende Geräte zur Registrierung von ziemlich kleinen Veränderungen der Schwerkraftwirkung auf Satelliten konstruiert.

# Es geht um die Wälder

Die Sowjetunion ist eines der walddreichsten Länder der Erde. Kein anderes Land hat größere Nutzflächen an Wald aufzuweisen. Die Waldgebiete der UdSSR nehmen eine Fläche von 9,1 Mill. km<sup>2</sup> ein, aber die gesamten Waldbestände bedecken 12,3 Mill. km<sup>2</sup>, d. h. mehr als 50% des Territoriums der UdSSR.

Der Waldbestand der Sowjetunion ist sehr verschiedenartig. Den größten Teil (72,7% der gesamten Waldfläche) nehmen Nadelwälder ein, während 20,5% der Gesamtfläche des Nutzwaldes von Laubwäldern und 6,8% von Niedergehölz und Buschwald bedeckt sind. Von den Nadelwaldbeständen der Erde besitzt die UdSSR mehr als 50%.

Wenn man bedenkt, daß der Bedarf an Holz in allen Ländern der Welt im Ansteigen begriffen ist und sein Wert auf dem Weltmarkt steigt, kann angenommen werden, daß die Valutagewinne aus dem Export von Holz in der Sowjetunion ständig zunehmen werden. Schon heute stellt diese Summe einen bedeutenden Teil des Nationaleinkommens dar. Holz und Holzwaren werden nach England, in die DDR, nach Ungarn, Japan, dem Iran, in die Türkei und Mongolei und viele andere Länder der Erde exportiert.

Die Hauptbedarfsträger an Holz sind der Industrie- und Wohnungsbau, die Kohlen- und Stahlindustrie, die Eisenbahn, der Schiffbau und die Papier- und Zelluloseindustrie. Große Zukunft hat die Verwendung von Holz auch in der chemischen Industrie. Bei der chemischen Verarbeitung von einem Kubikmeter Holz kann man 200 kg Zellulose, 200 kg Traubenzucker, 6000 m<sup>2</sup> Zellophan, 20 l Essigsäure oder 165 kg Kunstfasern gewinnen. Der Wald dient als Luftreiniger, und die meisten Kurorte und Sanatorien befinden sich in den großen Waldgebieten.

Der Wald ist an vielen Naturvorgängen beteiligt. Er reguliert z. B. den Oberflächen- und Grundwasserabfluß, schützt den Boden vor Erosion, beeinflusst das Mikroklima und die Wachstumsbedingungen für die landwirtschaftlichen Kulturen usw. Das alles läßt die Aufgabe des Waldschutzes und der Aufforstung zu einem wichtigen Problem werden, das den ganzen Staat angeht.

Um den Wald zu schützen und seinen Bestand zu erhalten, werden in der Sowjetunion eine Reihe von notwendigen Maßnahmen durchgeführt, wobei von den forstwirtschaftlichen Organisationen Vermessungs- und Erfassungsarbeiten durchgeführt, Brandschutzmaßnahmen eingeleitet, die Waldbestände sanitär betreut, Aufforstungspläne erarbeitet werden, die Waldnutzung geplant wird usw. Die Schwierigkeiten, die bei der Durchführung dieser Aufgaben auftreten, sind durch die riesigen Ausmaße der Waldflächen in der Sowjetunion bedingt. Da die Organisation aller forstwirtschaftlichen Maßnahmen in jedem Falle mit einer Besichtigung der Wälder verbunden ist, kann man sich leicht vorstellen, daß mit der Einführung von Beobachtungen aus der Luft mit Hilfe von Flugzeugen ein Qualitätssprung erzielt werden konnte. Durch die günstige Verbindung von Luft- und Bodenbeobachtungen gelang es, die Qualität der in der Forstwirtschaft so wichtigen Taxierungsarbeiten, der Waldschutzmaßnahmen und der forstwirtschaftlichen Programme wesentlich zu erhöhen. Aber in Übereinstimmung mit den objektiven Erfordernissen der wissenschaftlich-technischen Revolution muß jedes Land, um aus seinen natürlichen Reichtümern den größten Nutzen zu erzielen, die Ergebnisse des technischen Fortschritts auf den verschiedensten Gebieten von Wissenschaft und Technik ausnutzen. In der heutigen Zeit bestehen deshalb auch günstige Voraussetzungen, den Fortschritt bei der Eroberung des Weltraums auch zur Lösung praktischer ökonomischer und besonders auch forstwirtschaftlicher Aufgaben zu nutzen. Eine der Methoden der Anwendung von Raumflugkörpern in der Forstwirtschaft ist die Realisierung eines Programms von fotografischen Aufnahmen der Waldgebiete. Auf diese Weise kann man am effektivsten die notwendigen Informationen über den Zustand und die Größe der Wälder erlangen.

Die Erfahrungen, die mit Luftaufnahmen gemacht wurden, können auch bei den Aufnahmen aus dem Weltraum

genutzt werden, denn das Prinzip der fotografischen Aufnahmen bleibt im Prinzip das gleiche. Die Methode der Höhenfotografie eignet sich vorzüglich für die Aufnahme der riesigen Waldgebiete.

In der Forstwirtschaft können Aufnahmen aus dem Weltraum für eine maßstabsgerechte Kartographierung der Waldgebiete, zur Bestimmung von waldfreien Flächen und frischen Holzschlägen, zur Erkennung von beschädigtem oder zerstörtem Wald (Waldbrände, Windbrüche, Schädlingsbefall usw.), zur Bestimmung von Sumpf- und Moorgebieten, Seen, Wiesenflächen und Felsgebieten dienen. Weltraumaufnahmen von entlegenen und unwegsamen Waldregionen sind besonders effektiv.

Dennoch werden gegenwärtig bei weitem noch nicht alle Waldflächen ausreichend kontrolliert. Etwa 80% der Waldflächen bedürfen einer Ertragsregelung. Die künstlichen Erdsatelliten könnten diese Arbeit erfolgreich unterstützen. Die Aufnahmen aus dem Weltraum geben ein zuverlässiges Bild von der Pflanzendecke und ihrer räumlichen Ausdehnung. Mit ihrer Hilfe kann man ziemlich genau die Grenzen der Waldgebiete bestimmen. Es lassen sich genaue Feststellungen über die Zusammensetzung der Wälder, die Altersstruktur, die Wachstumsbedingungen usw. treffen. Nach dem Zustand der Waldanpflanzungen kann man ziemlich genau die Waldvorräte verschiedener Regionen und Gebiete im Maßstab des ganzen Landes bestimmen. Kleinmaßstäbliche Fotoaufnahmen aus dem Weltraum, die auf der Erdoberfläche einige tausend Quadratkilometer erfassen, bieten die Möglichkeit, riesige Wälder unter Zuhilfenahme des gesamten Komplexes der Landschaftsmerkmale zu kontrollieren. Auf solchen Weltraumaufnahmen kann man relativ leicht die Beziehungen zwischen dem Wald und den unterschiedlichen Landschaftskomponenten erkennen, so daß eine zuverlässigere Bestimmung der Waldarten möglich ist.

Fotoaufnahmen aus dem Weltraum zur Erforschung des Zustandes der Wälder in verschiedenen Jahreszeiten sind von großer Bedeutung. Das zusammengestellte Material von wiederholten Fotoaufnahmen kann z. B. die Veränderungen in der Baumvegetation und den phänologischen Besonderheiten einzelner Arten auf großen Flächen im Maßstab des ganzen Landes deutlich machen.

Auch bei der Lösung des Problems, den Waldreichtum

ökonomisch einzuschätzen, können die künstlichen Erdsatelliten eine große Rolle spielen. Die Hauptschwierigkeit dabei besteht nur darin, daß sehr viele verschiedene Faktoren berücksichtigt werden müssen, die mit der Spezifik der Wälder und der Möglichkeit ihrer vielseitigen Nutzung verbunden sind. Bei der Aufstellung eines ökonomisch günstigen Planes zur Nutzung der Waldreichtümer muß man den ganzen Komplex der Funktionen des Waldes als Quelle des Rohstoffs Holz, seine Bedeutung für den Schutz und die Erhaltung der Böden und für die Regulierung hydrologischer und atmosphärischer Prozesse (Wasserabfluß u. a.), seinen Einfluß auf das Mikroklima und schließlich seine Eigenschaft als Erholungsgebiet berücksichtigen.

Man kann annehmen, daß die Fotoaufnahmen aus dem Weltraum jene technische Grundlage bilden, auf der man eine objektive ökonomische Einschätzung des Waldreichtums, der Holzreserven vornehmen und die forstwirtschaftlichen Probleme lösen kann. Durch Vergleich von Weltraumaufnahmen, die zu verschiedener Zeit gewonnen wurden, kann man die Regenerationsprozesse der Wälder erforschen, die Vorräte an verschiedenen Holzarten bestimmen und rationelle Holzschlagtermine festlegen. Die Weltraumaufnahmen können die Grundlage für eine optimale Planung in der Holzverarbeitenden Industrie sein und auch zur Auswahl der Hölzer nach Qualitätsmerkmalen dienen. Dadurch können die forstwirtschaftlichen Arbeiten insgesamt ökonomischer gestaltet werden.

Eine besondere Bedeutung können Erdsatelliten für den Schutz vor Waldbränden haben. Auf dem Territorium der UdSSR entstehen in der kritischen Periode von April bis September durchschnittlich mehr als zwanzigtausend Waldbrände. In einzelnen, sehr trockenen Jahren erreicht die Waldfläche, die dem Feuer zum Opfer fällt, 1 Mill. ha. Das verursacht nicht nur in der Forstwirtschaft, sondern auch in einer Reihe von anderen Wirtschaftszweigen große Verluste. Die Rauchschwaden der Waldbrände schaden der Landwirtschaft, behindern die Flußschifffahrt und beeinträchtigen die Lebensbedingungen verschiedener Tiere, besonders die der Vögel. Zu den Folgen von Waldbränden gehören auch die hydrologische Verschlechterung des Bodens, die Veränderungen des Grundwasserspiegels, der Abflußbedingungen und anderer Parameter.

Die Waldbrände werden nach der Art der Verbrennung und dem verursachten Schaden in drei Hauptgruppen unterteilt. Zur ersten zählen die Bodenfeuer, bei denen vor allem die Waldstreu verbrennt. Die Flammenhöhe beträgt 0,5 bis 2 m, und es verkohlen dabei die unteren Teile der Baumstämme. Die zweite Gruppe bilden Schwelbrände, bei denen die Torfschichten, die in Dürreperioden tief austrocknen, ohne Flammenbildung verglimmen, wobei ein scharfer Rauch entsteht. In den betroffenen Gebieten stürzen die Bäume um. Zur dritten Gruppe gehören die Wipfelbrände, die die gefährlichste Art von Waldbränden darstellen und den gesamten Holzbestand von unten bis oben erfassen. Es bildet sich eine gewaltige Flammenfront, und auf diese Weise können große Waldflächen vernichtet werden.

Gewöhnlich beginnen Waldbrände mit Bodenfeuern; sie sind mit 90% als Entstehungsursache vertreten. Wipfelfeuer treten etwa bei 8 bis 9% auf, während Brände unterhalb der oberen Bodenschicht nur ungefähr 1 bis 2% ausmachen. Ein rechtzeitig erkanntes und gelöschtes Bodenfeuer kann die Entwicklung von Wipfel feuern ausschließen, deren Bekämpfung wesentlich schwieriger ist.

Gegenwärtig werden zum Schutz der Wälder vor Bränden Flugzeuge eingesetzt, und zwar werden Patrouillenflüge mit Flugzeugen der Typen Jak 12 und An 2 sowie mit den Hubschraubern vom Typ Mi 1 und Mi 4 durchgeführt. Aber bei starken Luftbewegungen, also dann, wenn erhöhte Waldbrandgefahr besteht, können die Patrouillenflugzeuge oft nicht eingesetzt werden. In dieser Zeit erfassen die Waldbrände die größten Flächen. Außerdem entfallen auf jedes Flugzeug bzw. jeden Hubschrauber etwa 1 bis 4 Mill. ha Waldfläche. Die Flüge erfolgen auch nur einmal am Tag, und so können jeweils nur Teile des entsprechenden Territoriums erfaßt werden. Mit dem Einsatz von Raumflugkörpern auch zur Beobachtung von Waldbränden kann man effektiver und in größerem Maßstab arbeiten und die Entwicklung von großen Waldbränden verhindern. Auch die Löscharbeiten lassen sich besser organisieren. So kann man nach dem Erhalt von entsprechenden Informationen die Feuerwehren gezielt einsetzen, um die durch den Brand verursachten Verluste so gering wie möglich zu halten.

Die Wärmepfeiler (Infrarotpeilgeräte), die auf einem

Satelliten installiert sind, bieten die Möglichkeit, die Wälder zu jeder Tageszeit und unter allen meteorologischen Bedingungen zu beobachten, was man mit Hilfe der Flugzeuge nicht gewährleisten kann. Dadurch verkürzen sich die Zeiten von der Entdeckung der Brände bis zur Einleitung von Gegenmaßnahmen, und man benötigt dazu weniger Mittel. Je früher man einen Brand entdeckt, um so weniger kann sich das Feuer ausbreiten. Bei den herkömmlichen Methoden mit dem Einsatz von Flugzeugen und Hubschraubern entdeckt man einen Brand im allgemeinen nach etwa zwölf Stunden, während man beim Einsatz von zwei Satelliten diese Zeit auf vier Stunden verkürzen kann.

Die moderne Meteorologie ist nahe daran, Möglichkeiten zu schaffen, um Waldbrände durch künstlich hervorgerufene Niederschläge zu bekämpfen. Die ersten Versuche zur Anwendung dieser Methode wurden im Jahre 1968 im Gebiet von Chabarowsk und in Sibirien durchgeführt. Einige tausend Hektar wertvollen Waldes wurden im Gebiet von Krasnojarsk durch künstlich hervorgerufene Niederschläge gerettet. Diese Methode besteht darin, daß die vorhandenen Wolken durch bestimmte Chemikalien zum Abregnen über den Brandgebieten gebracht werden. Sehr effektiv ist diese Methode beim Löschen von Bränden auf großen Flächen, wo das Feuer über Wochen oder sogar Monate wütet. Herkömmliche Löschmethoden erwiesen sich hier oft als wenig wirksam. Schon schien es, daß einem solchen Brand nicht beizukommen wäre, da lieferte er uns selbst ein Mittel zu seiner Bekämpfung. Es handelt sich darum, daß sich im Gebiet großer Brände gewaltige aufsteigende Haufenwolken bilden, die große Feuchtigkeitsmengen enthalten. Der Mensch braucht nur noch bestimmte Chemikalien auf diese Wolken zu streuen, und es wird ein lawinenartig anwachsender Prozeß hervorgerufen, der mit einem Platzregen endet. Um Waldbrandbekämpfung auf dieser Grundlage zu betreiben, ist es notwendig, die Wolkenfelder, die für „Löscharbeiten“ in Frage kommen, zu beobachten. Diese Aufgabe kann von künstlichen Erdsatelliten übernommen werden, die mit einer Apparatur zur Registrierung dieser Wolken ausgestattet sind. Eine systematische Beobachtung der Wolkenbildung über den Waldgebieten mit Hilfe von Raumflugkörpern gestattet es, die Dynamik der Entwicklung von Regenwolken, ihre

Bewegung und ihre potentiellen Möglichkeiten zur Löschung von Bränden zu verfolgen.

Eine der Ursachen für die Entstehung von Waldbränden sind Gewitter. Die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Waldbränden durch Gewitter erreicht in einzelnen Monaten, z. B. im Juni, 0,5. Im Durchschnitt beträgt sie für die ganze Periode mit erhöhter Waldbrandgefahr 0,3. So entstehen bei zehn Gewittern durchschnittlich 3 bis 5 Waldbrände. Gelingt es, Gewitterfronten exakt zu bestimmen, so wird man die Waldbrandgefahr für das gesamte Territorium einschätzen und die Gebiete mit akuter Waldbrandgefahr ermitteln können. Für die Lösung dieser Aufgabe kann man spezielle Gewitteranzeigergeräte auf den künstlichen Erdsatelliten installieren.

Wenn man das gesamte Waldgebiet mit Hilfe von Satelliten periodisch absucht, kann man die Verteilung der Gewitter nach Raum und Zeit ermitteln. Dadurch erhält man eine Information für die Beurteilung des Grades der Waldbrandgefahr, sowohl für ein einzelnes Gebiet als auch für das Land im ganzen. Die Verwendung von künstlichen Erdsatelliten mit einer entsprechenden Apparatur würde es ermöglichen, das Gesamtbild der Verteilung von Gewittern, der Wahrscheinlichkeit von Waldbränden und der Entstehung von Regenwolken über dem Waldgebiet zu bestimmen. Das wäre eine Grundlage für den umfassenden Schutz der Wälder vor Bränden.

# Hilfe für die Landwirtschaft

Die Menschheit ernährt sich mit Produkten der Tier- und Pflanzenwelt. Deshalb widmen sich alle Menschen unablässig auch den Problemen der Landwirtschaft. Kein anderer Wirtschaftszweig ist allerdings so von den Wetterbedingungen abhängig. Natürlich hängt auch vieles von den richtigen Aussaatterminen, der Qualität des Samens, der Bodenbearbeitung, der Düngung und anderen agrotechnischen Maßnahmen ab. Auch in dieser Beziehung sind in letzter Zeit hervorragende Ergebnisse erzielt worden. Aber noch heute gibt es ausgesprochen günstige, aber auch ungünstige Erntejahre, die durch die Wettererscheinungen bestimmt werden.

Vor allem langfristige Wettervorhersagen sind notwendig. Ihre Zuverlässigkeit gestattet es, die Saatkulturen und Aussaattermine, den Bearbeitungsrythmus und andere agrotechnische Maßnahmen festzulegen, um die besten Ernteerträge unter den Bedingungen des zu erwartenden Wetters zu gewährleisten. Kurzfristige Vorhersagen schaffen die Möglichkeit, rechtzeitig Maßnahmen zum Schutz der landwirtschaftlichen Produkte vor schwer voraussehbaren lokalen Witterungsumstürzen und Abweichungen großen Maßstabs durchzuführen. Dadurch könnte man die Ernte vor plötzlichem frühem Frost oder auch vor Hagelschlag und Dürre schützen. Vielleicht wird es auch einmal möglich, Wettererscheinungen zu korrigieren.

Eine große Hilfe für die Landwirtschaft können Satelliten zur Beobachtung der Erdoberfläche sein. Durch sie kann man objektive Informationen über die klimatischen Verhältnisse erhalten, die für den Pflanzenbau und die Viehzucht notwendig sind. Keinerlei Schwierigkeiten bereitet die Beobachtung der Schneedecke, des Aufbrechens

der Flüsse, des Eisgangs, des Hochwassers und der Bodenfrostgrenze. Prinzipiell möglich ist die Beobachtung des Zustandes der Felder für die Aussaat, der Weideflächen, der Entwicklung der Saaten, ihrer Blüte und der Ernte und anderer Vorgänge großen Maßstabs auf der Erdoberfläche vom Weltraum aus. Hierdurch wäre es möglich, die Produktionsprozesse in der Landwirtschaft im Maßstab der gesamten Volkswirtschaft besser zu steuern. Mit Hilfe der Satelliten könnten die Landwirte Informationen über die Zweckmäßigkeit der Durchführung verschiedener Maßnahmen unter Berücksichtigung des ganzen Komplexes der äußeren Bedingungen erhalten. Für Länder, die wie die Sowjetunion ein großes Territorium mit sehr verschiedenen Klimabedingungen besitzen, könnte ein derartiges Hilfsmittel von großem Nutzen sein.

# Erdbeobachtung und Umweltprobleme

In einer Flughöhe von 10 km können wir Städte, Dörfer, Flüsse, Seen und Berge gut erkennen. Wir unterscheiden einzelne Häuser, fahrende Züge, Kraftfahrzeuge, Schiffe und eine Vielzahl anderer bekannter Objekte. Das grandiose Panorama, das sich uns hier eröffnet, fesselt uns. Viele Einzelheiten verschwinden, doch dafür treten neue Elemente hervor, deren Beobachtung unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht möglich ist. Wir können kleine Wälder insgesamt überblicken. Wir sehen die Grenzen von Feldern und Weiden, Küstenlinien und viele andere gröbere Züge des Reliefs der Erdoberfläche.

Ein weitaus grandioseres Bild lag vor den ersten Kosmonauten: ganze Bergketten, Meere, große Halbinseln und Inseln. Aber dabei konnten sie auch Flüsse, Seen, große Städte, Waldmassive, die Farbe des Wassers in den ufernahen Zonen und andere charakteristische Elemente der Erdoberfläche unterscheiden. Die Verwendung unbemannter Raumsonden und bemannter Raumflugkörper zur Erdbeobachtung erlaubt es, noch umfangreichere Informationen über die Erde zu erhalten, die für die Erhöhung der Effektivität der Geowissenschaften sowie vieler Volkswirtschaftszweige eine bedeutende Rolle spielen.

Die Geographie wird z.B. eine genauere Kenntnis der Konturen der Kontinente, Inseln, Atolle, der Gebirgsmassive, des Süßwasserreservoirs und anderer Besonderheiten der Erdoberfläche erhalten. Eine regelmäßige Beobachtung der Wohnzentren, der Städte und Dörfer und der Verkehrswege wird die Lösung demographischer Probleme erleichtern. Insgesamt kann dadurch die Besiedlungsplanung für die Erdoberfläche verbessert werden.

Die Geologie wird viele neue Informationen über die Erdoberfläche erhalten. Weltraumaufnahmen besitzen näm-

lich die bemerkenswerte Besonderheit der Generalisierung. Sie liefern eine qualitativ hochwertige Darstellung von Gebilden großer Ausdehnung an der Erdoberfläche. Damit ist es nicht nur möglich, die bekannten Besonderheiten des Reliefs (Gebirgsketten, Flüsse, Seen) besser zu erkennen, sondern auch neue, früher unbemerkte Reliefelemente aufzufinden.

Durch Vergleich von Luftbildaufnahmen aus Flugzeugen mit den Ergebnissen von Untersuchungen am Boden innerhalb begrenzter Gebiete erhält man eine Art Mosaik, dessen einzelne Elemente wegen der unterschiedlichen Aufnahmeverhältnisse sowie wegen der unterschiedlichen Erarbeitung einen unterschiedlichen Aufbereitungsgrad und eine unterschiedliche Güte haben können. Die Mehrzahl der charakteristischen Elemente des Reliefs (Gebirgszüge, Küstenlinien) lassen sich in diesem Fall herausfinden und untersuchen. Eine Reihe anderer wichtiger Gebilde, beispielsweise Brüche in der Erdrinde, bleiben dagegen häufig unbemerkt.

Das hat verschiedene Gründe. Erstens besitzen diese Gebilde eine große Ausdehnung (in der Größenordnung von einigen hundert Kilometern), d. h., sie gehen über das Aufnahmeformat bei Luftbildaufnahmen weit hinaus. Deshalb sieht man auf einer derartigen Aufnahme nur ein Fragment des geologischen Gebildes. So kann es geschehen, daß eine einzelne Aufnahme und selbst einige Aufnahmen nicht genügend Informationen enthalten, um das Gebilde zu entdecken.

Zweitens erfolgte im Prozeß der geomorphologischen Evolution der Erde eine Ebnung der Oberfläche und insbesondere eine „Glättung“ der Höhenunterschiede und Brüche sowie ihre „Verschmierung“ mit überlagertem Boden. So konnten die sichtbaren charakteristischen Merkmale von Brüchen verlorengehen. Aus diesem Grunde können einzelne lokale Aufnahmen überhaupt keine Merkmale von Brüchen enthalten, während solche Merkmale auf anderen Aufnahmen unter Umständen als geologische Gebilde anderen Typs angesehen werden.

Weltraumaufnahmen dagegen weisen diese Mängel nicht auf, und so können selbst geringe Helligkeitskontraste einer ausgedehnten Bruchlinie, die sich nur als schwache Oberflächenkrümmung oder in Form von Unterschieden der Boden- und Vegetationstypen zu beiden Seiten des

Bruches bemerkbar machen, ihre Entdeckung vor dem allgemeinen Hintergrund erlauben. In der gleichen Weise kann man anhand von kaum bemerkbaren Einzelheiten ringförmige Faltungen feststellen, die eine schwache Krümmung und einen großen Ringdurchmesser (bis zu 1000 km) aufweisen, oder auch die Struktur großer geologischer Gebilde ermitteln, die von Eruptivgesteinen verdeckt sind.

Diese Informationen sind für Geologen überaus wichtig. Bruchlinien sind beispielsweise häufig Lagerstättengrenzen. Wurde also etwa in einem bestimmten Gebiet Erdöl gefunden, dann ist es zweckmäßig, die weitere Erkundung in erster Linie auf jene Bereiche zu beschränken, die durch die nächstgelegenen Bruchlinien abgegrenzt werden. In einer Reihe von Fällen erlauben Weltraumaufnahmen die Feststellung von charakteristischen Gebilden am Meeresboden (Gebirgszügen, Korallen, ufernahen Sandbänken bzw. Flachwasserzonen).

Die Herstellung von Bildern sehr großer Erdterritorien vom Weltraum aus ist auch ökonomisch effektiver als auf herkömmliche Weise. Man kann ja nicht nur Aufnahmen von schwer zugänglichen Gebieten, sondern auch von allen wenig erforschten Teilen der Erde erhalten. Darüber hinaus können auch Informationsumfang und Informationsdichte beträchtlich erhöht werden. Die Fotografie in einem schmalen Spektralbereich erlaubt es häufig, die Zusammensetzung zutage tretender Gesteine festzustellen. Messungen im Infrarotbereich sowie die Ortung der Radiofrequenz-Eigenstrahlung werden möglicherweise zur Bestimmung der Lagerstättengrenzen bestimmter Bodenschätze beitragen. Die aktive Funkortung wird Erdbilder liefern, die von der Pflanzendecke nicht überschattet werden.

Dies alles dient nicht nur der Erkundung von Bodenschätzen, sondern wird wahrscheinlich auch für die Vorhersage von Vulkanausbrüchen, Erdbeben und z. B. zur Erkundung von Geothermalquellen von Nutzen sein.

Zwei Drittel der Erdoberfläche sind vom Ozean bedeckt. Er beeinflusst das Klima unseres Planeten außerordentlich und ist selbst ein natürlicher Produzent biologischer Produkte im größten Maßstab, beginnend mit dem Zooplankton und kleinen Krebsen (etwa der Garnele) bis hin zu Fischen und Säugetieren. Der Ozean ist noch weniger erforscht als die Erde: Wir benötigen Karten für die Strömungen, über den Salzgehalt, die Durchsichtigkeit des

Wassers, über die Temperaturen in der Oberflächenschicht sowie Karten des Bodenreliefs. Die Grenzen zwischen Eisfeldern und offenen Gewässern müssen bestimmt werden, desgleichen die Lage von Eisbergen usw. Dies alles läßt sich vom Weltraum aus vollständiger und effektiver erreichen als mit den seit längerer Zeit üblichen Methoden. Strömungskarten lassen sich anhand von Farbfotos sowie anhand von Aufnahmen in einem engen Spektralbereich aufstellen. Temperaturkarten erhält man durch Messungen im Infrarotbereich sowie im Bereich der thermischen Radiofrequenzstrahlung. Karten über den Salzgehalt und die Durchsichtigkeit werden mit Hilfe von Fotoaufnahmen in engen Spektralbereichen bzw. anhand von Farbfotografien angefertigt.

Werden die Messungen häufig ausgeführt, kann man die Gesetzmäßigkeiten für die Veränderung von Parametern des Ozeans feststellen und damit zur Prognose, möglicherweise aber auch zur Steuerung dieser Parameter gelangen. Die sorgfältige Erforschung der im Ozean ablaufenden thermischen Prozesse mit Hilfe von Satelliten könnte es z. B. in Zukunft ermöglichen, die Funktion dieses gigantischen Heizungssystems der Erde „aufzubessern“. Gute Kenntnisse über das Bodenrelief sowie über den Mechanismus der Strömungen im Ozean könnten dazu beitragen, die so zu formen, daß das Klima in verschiedenen Gebieten günstiger wird.

Informationen von Satelliten können bereits heute von den Fischern benutzt werden. Das Vorhandensein von Plankton ist ein direkter Hinweis auf mögliche Fischschwärme. Auf Fischreichtum deutet auch die Temperatur der oberflächennahen Wasserschichten hin. Es ist bekannt, daß verschiedene Fischarten in Wasserschichten einer ganz bestimmten Temperatur leben. Sind die Temperaturverhältnisse dagegen anders, dann fehlen die Fische dieser Art in diesem Gebiet des Ozeans mit Sicherheit. Deshalb können Temperaturkarten sowie Karten, die das Vorkommen von Plankton zeigen, als Hinweis auf den wahrscheinlichsten Ort von Fischschwärmen dienen. Auf diese Weise kann die Zeit für das Aufsuchen des Fisches verkürzt, das Fangergebnis und damit die Effektivität der Fischereiflotte erhöht werden.

Dabei ergibt sich natürlich sofort folgende Frage: Kann es nicht geschehen, daß der Ozean überfischt wird?

Bestimmte Fischarten reproduzieren sich nur sehr schwer. Bei unkontrolliertem Fang kann z. B. die Flunder ihre Bedeutung für die Fischerei gänzlich verlieren. Andere Fischarten dagegen, beispielsweise der Hering, reproduzieren sich unter günstigen Verhältnissen sehr rasch. Raumfahrttechnische Mittel werden daher nicht nur zur intensiveren Nutzung der biologischen Ressourcen des Ozeans beitragen, sondern auch zur Reproduktions- und Entwicklungskontrolle. Auf diese Weise kann die Nutzung der Ressourcen des Ozeans reguliert werden, und sicherlich wird man dadurch auch ihre organisierte Reproduktion gewährleisten, so daß eine sinnvolle Ozeanwirtschaft entsteht.

Aus dem Weltraum läßt sich die Eissituation im Ozean gut überblicken. In den höheren Breiten, wo die Beleuchtung schlecht ist und in der Regel eine geschlossene Wolkendecke vorliegt, geschieht dies mit Hilfe der aktiven Funkortung.

Die Temperaturkarten der Erdoberfläche tragen häufig nicht nur zur Bestimmung der Bodentemperatur bei, sondern auch zur Ermittlung der Bodenfeuchtigkeit und häufig auch von Grundwasserkonzentrationen, so daß die Zu- und Abflüsse festgestellt werden können. Dies ist für die Hydrologen zur Einschätzung der Wasserreserven und zur Planung der Wassernutzung außerordentlich wichtig.

Welche Bedeutung der Wald für uns hat, ist allgemein bekannt. Obwohl er auf der Erde weite Räume bedeckt, ist er noch schlecht erforscht. Die Waldgrenzen sowie die Verteilung der Baumarten und ihr Alter sind wenig bekannt. Die Ermittlung dieser Angaben vom Weltraum aus mit Hilfe von Farbfotografien sowie von Aufnahmen in mehreren Spektralbereichen ist relativ einfach. Damit werden die Planungen zur Nutzung des Baumbestandes ebenso wie die Arbeiten zu seiner Wiederherstellung erleichtert. Auf die gleiche Weise können auch etwaige Baumkrankheiten (Schädlingsbefall) in frühen Entwicklungsstadien entdeckt werden, was zur raschen Liquidierung von Infektionsherden beiträgt.

Besonders wichtig ist der Satelliteneinsatz zur Feststellung von Waldbränden. Meist entstehen Waldbrände durch Blitzschlag. Werden innerhalb von 5 bis 15 Stunden keine Löschmaßnahmen eingeleitet, dann dehnt sich der Brand

aus, und es gehen große Waldmassive zugrunde. Mittels Infrarotaufnahmen (Temperaturkontraste) sowie anhand von Fernsichtbildern (Rauchentwicklung) lassen sich Brandherde bereits 10 Minuten nach ihrer Entstehung feststellen. Dadurch kann der Schutz vor Waldbränden wirksamer gestaltet werden.

Besondere Aufmerksamkeit verdient der Einsatz von Satelliten zur Feststellung und Kontrolle der Umweltverschmutzung. Der Verschmutzungsgrad in vielen Industriegebieten der Welt übersteigt die zulässigen Werte bereits merklich. Die natürlichen biochemischen Mechanismen der Selbstreinigung sind häufig nicht mehr imstande, die anfallenden Abfälle „zu verarbeiten“. Diese Mechanismen gehen oft selbst zugrunde und fallen für lange Zeit aus. Dann setzt eine Anhäufung der Abfälle und ihre immer größere Ausbreitung ein.

Die Verunreinigungsquellen sind vielfältig: Bergwerke, Fabriken, Kommunalwirtschaftsbetriebe, der Verkehr und sogar die Landwirtschaft mit ihren Mineraldüngern und Pestiziden. Auch die Zahl der Verunreinigungsarten ist groß: ungereinigte Abwässer, in die Gewässer eingespülte Pestizide und Mineraldünger, Erdölprodukte, die bei Gewinnung, Transport, Tankreinigung und Tankerhavarien in das Meer gelangen, Rauch sowie gasförmige Emissionen aus Industrie und Verkehr, sowie radioaktive Stoffe, die bei der Gewinnung und Anreicherung von Erzen radioaktiver Elemente, beim Betrieb von Kernkraftanlagen sowie bei der Erprobung von Kernwaffen in die Atmosphäre und an die Gewässer abgegeben werden.

Noch eindrucksvoller sind die Zahlen, die die quantitative Seite der Angelegenheit charakterisieren: Das Volumen der ungereinigten Abwässer muß in Hunderten von Kubikkilometern jährlich angegeben werden.

Thermisch kontaminiertes Wasser fällt in einer Größenordnung von  $500 \text{ km}^3$  an. Die Menge an abgelassenen Erdölprodukten sowie ausgespülten Pestiziden und Mineraldüngern zählt nach Millionen Tonnen, und die Menge der radioaktiven Abfälle macht einige hunderttausend Tonnen jährlich aus.

Eine besonders große Menge von Verunreinigungen wird in die Atmosphäre abgegeben: Bei Gasen liegt der Wert in der Größenordnung einer halben Milliarde Tonnen, und etwa ebensoviel feste Partikel werden jährlich in die At-

mosphäre abgeführt. Größere Verunreinigungen der Atmosphäre schädigen nicht nur die Menschen, die Tiere und die Vegetation, sondern beeinflussen auch den gesamten Wärmehaushalt der Atmosphäre und damit das Klima auf der Erde.

Einen vernichtenden Einfluß haben Verunreinigungen auf Süßwasserreservoirs, weil stark verschmutzte Gewässer ihre Selbstreinigungsfähigkeit verlieren und für die weitere Nutzung unbrauchbar werden. Das gleiche gilt auch für die Flüsse. Gerade hier bedarf es noch größerer Vorsicht: Die biologischen Selbstreinigungsmechanismen können durch relativ geringe Verunreinigungsmengen ausgeschaltet werden, wenn diese auf einmal in einen Fluß abgelassen werden. Anfangs wird ein vergleichsweise kleiner Teil des Flusses dem vernichtenden Einfluß der Verunreinigungen ausgesetzt; dieser Abschnitt muß jedoch noch den Weg bis zur Flußmündung zurücklegen. Wegen der nur geringfügigen Vermischung des Flußwassers in Längsrichtung kann das zum Untergang biologischer Formen im gesamten Fluß führen. Geschieht dies, dann können in der Folgezeit auch geringe Verunreinigungsmengen biologisch nicht mehr verkraftet werden, und der Fluß stirbt.

Es existiert eine große Zahl von Verfahren zur Verminderung des Verschmutzungsgrades; das beginnt mit der Verbesserung der Produktionstechnologie, wodurch die Menge der an die Umwelt abgegebenen Schadstoffe reduziert wird, und endet mit dem Aufbau spezieller Reinigungsanlagen. Diese Maßnahmen erfordern — abhängig vom Verunreinigungstyp sowie auch vom notwendigen Reinigungsgrad — nicht selten sehr erhebliche materielle Aufwendungen.

Damit diese Aufwendungen in vernünftigen Grenzen bleiben, braucht man eine gute Information über das Resultat der Wechselwirkung von Verunreinigung und Umwelt. Dann läßt sich ein Zustand erreichen, bei dem der Verunreinigungsgrad nicht zu einer Zerstörung der Umwelt führt.

Diese Informationen können uns Satelliten übermitteln, die zur Umweltbeobachtung eingesetzt sind. Mittels Spezialapparaturen lassen sich Verunreinigungsquellen feststellen und Konzentrationen von Schadstoffen ermitteln. Anhand dieser Daten kann das Ergebnis ihrer Wechselwirkung mit der Umwelt eingeschätzt werden.

Im Endeffekt könnte schließlich ein Satellitenbeobachtungssystem zur Grundlage für die Kontrolle und Bekämpfung von Umweltverschmutzungen werden. Es wird globalen Charakter tragen und auch global genutzt werden müssen. Auf der Grundlage solcher Informationen kann man beispielsweise die Reinigungsanlagen von Industriebetrieben steuern, die an einem Flußlauf liegen, der als Vorfluter für das Abwasser dieser Betriebe dient. Hierbei können verschiedene Faktoren berücksichtigt werden, etwa die Wasserführung des Flusses im betrachteten Zeitraum sowie die unterschiedliche Produktionsintensität der Industriebetriebe, da man von den Satelliten aus ein Bild der Gesamteinwirkung sämtlicher Faktoren erhält.

Vom Weltraum aus läßt sich eine kontinuierliche Beobachtung von Ölflecken im Ozean organisieren. Dabei wird klar werden, wohin sich das Öl bewegt, welche Gefahren drohen und wo bzw. wann man Maßnahmen zur Verhütung noch größerer Schäden ergreifen muß.

Kosmische Erdbeobachtungssysteme werden somit zu einer technischen Grundlage der Geowissenschaften werden und diese effektiver gestalten können.

# Für ein effektiveres Verkehrswesen

Ein riesiger Autopark, die Eisenbahnen, Fluß- und Ozeandampfer, Flugzeuge und Hubschrauber transportieren täglich Hunderte Millionen Passagiere und Dutzende Milliarden Tonnen Güter. Die Steuerung des Auto-, Eisenbahn- und Binnenschiffverkehrs bereitet keine besonderen Schwierigkeiten. Die heutigen technischen Steuerungsanlagen gewährleisten ihre ausreichende Operativität, Zuverlässigkeit und Sicherheit. Der Hochsee- und Luftverkehr verläuft allerdings unter komplizierten Bedingungen. Deshalb sind für eine effektive Steuerung dieser Verkehrsarten vollkommene technische Anlagen notwendig. Ihre Aufgabe ist es, die Position der Transportfahrzeuge zu bestimmen, den Kurs festzulegen, sie vor Zusammenstößen sowohl untereinander als auch mit natürlichen Hindernissen zu warnen, den gegenseitigen Informationsaustausch zu gewährleisten, Mitteilungen über den Fahrtverlauf zu übertragen, Zusammenstöße und Katastrophen zu melden, Hilfe bei Havarien zu leisten usw. Ohne eine zuverlässige Organisation dieser Dienste kann der Hochsee- und Luftverkehr nicht gesichert werden.

Der Transportverkehr nimmt immer mehr globalen Charakter an. Sehr schnell spürt man heute die Unzulänglichkeit der herkömmlichen technischen Nachrichten- und Navigationsanlagen. Die Genauigkeit der Lotsenhandbücher und die Informationen über die Meeres- und Luftströmungen sind noch immer unzureichend. Die heutigen technischen Navigationsmittel haben entweder nur beschränkte Anwendungsmöglichkeiten in bezug auf die Tageszeit, z. B. der Funksextant, oder auf die Wetterbedingungen, wie der gewöhnliche optische Sextant, oder auf den Wirkungsradius, wie die Schiffslokatoren. Sie alle lassen große Fehler in der Berechnung der Route zu.

Karten, Lotsenhandbücher und Mitteilungen über die Meeres- und Luftströmungen sind nicht genau genug und berücksichtigen nicht die Veränderungen des Bodenreliefs, der Geschwindigkeit und der Richtung der Strömungen.

Satelliten für Navigation, Geodäsie, Nachrichtenwesen und zur Beobachtung der Erde weisen im allgemeinen keine derartigen Mängel auf. Sie sind in der Lage, die höchsten Anforderungen des Navigations-, Steuerungs- und Dispatcherdienstes zu erfüllen. Die Navigationsatelliten gestatten es, mit hoher Genauigkeit die Position von Schiffen und Flugzeugen zu jeder Tageszeit und bei jedem Wetter zu bestimmen. Katastrophen, die durch Fehler in der Bestimmung des Kurses sowie durch Wettererscheinungen hervorgerufen werden, können der Vergangenheit angehören. Die geodätischen Satelliten erweitern die Möglichkeiten, exakte Karten nicht nur von Küstenlinien, sondern auch von Inseln, Archipelen, Korallenriffen und Sandbänken herzustellen. Ihre sehr genauen Koordinaten ermöglichen eine zuverlässige Kursbestimmung für Schiffe. Mit Hilfe der Navigation über Satelliten können die Schiffe genau ihre Position in dem Koordinatensystem bestimmen, in dem mit noch größerer Genauigkeit vorher die Positionen aller möglichen Hindernisse bestimmt wurden.

Auch die Bedeutung von Wettersatelliten für den See- und Luftverkehr kann nicht hoch genug eingeschätzt werden. Die Hauptschwierigkeiten beim Schiffsverkehr liegen noch immer in unvorhergesehenen Stürmen, Orkanen und anderen Ereignissen. Eine rechtzeitige Warnung oder, noch besser, die Berücksichtigung solcher Situationen bei der Festlegung des Kurses bewahrt die Schiffe vor vielen Gefahren und Risiken.

Was den Luftverkehr angeht, so sind die meteorologischen Angaben über die Luftströmungen nach ihrer Höhe, ihrer Geschwindigkeit und ihrer Richtung von großer Bedeutung für die Auswahl einer zweckmäßigen Flugroute. Wenn man bedenkt, daß die Strömungen Geschwindigkeiten von 100 m/s erreichen, kann man sich leicht den Gewinn vorstellen, den man erzielt, wenn man in Strömungsrichtung fliegt. Der umgekehrte Effekt wird sich beim Fehlen von Informationen über die Luftströmungen bemerkbar machen.

Heutzutage sind viele Linienflugzeuge mit Navigationsanlagen ausgerüstet, die eine Landung bei allen Sicht-

verhältnissen gestatten. Trotzdem ist man nach wie vor darauf bedacht, Flugzeuge aus Sicherheitsgründen nur bei guten Sichtverhältnissen landen zu lassen. Oft werden bei schlechter Sicht die Flüge verschoben. Ohne Zweifel sind genaue Wettervorhersagen für die Luftfahrt von sehr großer Bedeutung. Dadurch kann man nicht nur die Wetterverhältnisse während eines Fluges genauer einplanen, sondern auch den Fluggästen rechtzeitig Veränderungen der Flugpläne bekanntgeben. So kann sich die Genauigkeit der Arbeit des Luftverkehrs und seine ökonomische Rentabilität um ein vielfaches erhöhen.

Eine große Hilfe leisten Satelliten zur Beobachtung der Erde für den Schiffsverkehr. Vor allem betrifft das die Untersuchungen der dynamischen Prozesse im Ozean. Die genauen Informationen über die Meeresströmungen gestatten es, optimale Routen festzulegen und die Sicherheit des Schiffsverkehrs zu erhöhen.

Die Steuerung des See- und Luftverkehrs wird durch den Einsatz von Satelliten für Navigation, Geodäsie, Meteorologie und zur Beobachtung der Erde vervollkommenet. Durch den globalen Charakter, die Operativität und Zuverlässigkeit dieser Mittel kann man gleichsam die Ausmaße der Erde verringern, sie ganz überschaubar machen und durch den Überwachungsdienst Schiffe und Flugzeuge vor unangenehmen Überraschungen absichern. Die Menschen auf der Erde werden genau wissen, wo sich ihre Schiffe und Flugzeuge befinden, wie die Fahrt verläuft, welche Maßnahmen zum Schutz vor unangenehmen Witterungseinflüssen eingeleitet worden sind, wer Hilfe benötigt und wie sie im Hinblick auf die geographische Lage und andere Bedingungen am besten zu organisieren ist. Die Schaffung eines effektiven Dispatcherdienstes gestattet es, Zusammenstöße von Schiffen zu vermeiden, Wettervorhersagen zu übermitteln und den Zustand des Meeres einzuschätzen, um eventuell den Kurs der Schiffe zu ändern. Dafür werden in den Dispatcherzentralen in elektronischen Rechenmaschinen Informationen über jedes Schiff gespeichert, und zwar über seine technischen Daten, die Positionen, Geschwindigkeiten und Kurse, die Bestimmungsorte und die zu lösende Aufgabe. In übersichtlicher Form werden diese Informationen auf speziellen Wiedergabegeräten, z. B. einem Fernsehschirm, erscheinen. In der Dispatcherzentrale empfängt man Informationen von anderen Dien-

sten, z. B. von den Wetterdienststellen, dem Erdbeobachtungs- und Navigationsdienst. Bei Bedarf können sie sichtbar gemacht werden und so dem Dispatcher zur Einschätzung der Gesamtsituation dienen. Dadurch ist er in der Lage, die äußeren Bedingungen auf den Meeren und Ozeanen zu überprüfen. Ein Computer wird nach einem vorher aufgestellten Programm die Informationen „sortieren“ und sie für jedes Schiff über das Nachrichtensystem weitergeben. Das wird im wesentlichen ein automatischer Dispatcherdienst für den Seeverkehr sein, wobei natürlich der Mensch aktiv als Kontrolleur und Korrektor beteiligt ist.

Die Schaffung ähnlicher Zentralen für die Luftfahrt hätte eine noch größere Bedeutung. Der Flugzeugverkehr mit seinen großen Geschwindigkeiten erfordert sehr genaue Navigationsdaten für die gesamte Fluglinie. Die Flugzeuge bewegen sich nicht willkürlich, sondern in bestimmten Korridoren. Diese Korridore sind in ihrer Breite und Höhe begrenzt, sie können sich nur in unterschiedlichen Höhenlagen überkreuzen. Auf den Luftlinien sind also genau festgelegte Verkehrsregeln einzuhalten. Aus Sicherheitsgründen gelten gegenwärtig die folgenden Einschränkungen: Die Entfernung zwischen Flugzeugen im Luftkorridor darf nicht weniger als 200 km, die Entfernung zwischen den Korridoren nicht weniger als 50 km betragen. Moderne Passagierflugzeuge fliegen mit immer größeren Geschwindigkeiten. Das sowjetische Überschallflugzeug vom Typ Tu 144 und die französisch-englische „Concorde“ können Passagiere mit doppelter Schallgeschwindigkeit befördern.

Mit zunehmender Geschwindigkeit müssen sich die Entfernungen zwischen den Flugzeugen bei gleichbleibender Navigationsgenauigkeit in einem Korridor und zwischen verschiedenen Korridoren vergrößern. Doch die Anzahl der Flugzeuge wächst unaufhörlich. Im Jahre 1975 ist im Vergleich zu 1970 etwa mit einer doppelten Anzahl zu rechnen. Im Luftraum wird es sehr eng. Besonders schwierig wird es sein, auf den viel benutzten Linien die Sicherheit zu gewährleisten. So wird man z. B. nach Berechnung französischer Fachleute auf der Linie Europa—New York im Jahre 1975, wenn sich die Navigations- und Dispatcheranlagen nicht verändern, insgesamt vier Korridore einrichten müssen. Der südliche Korridor muß in der Höhe etwa von Kap Kennedy liegen, und die Entfernung vom nörd-

lichen zum südlichen Korridor wird ungefähr 1000 km betragen. Es liegt auf der Hand, daß es dadurch zu einer Verlängerung der Route und der Flugzeit sowie zu unnötigen ökonomischen Verlusten kommt.

Es kann die Zeit kommen, daß man für einen Flug nach New York den Südpol überfliegen muß. Möglicherweise wird das schon im Jahre 1980 der Fall sein, wenn nicht spezielle Maßnahmen eingeleitet werden.

Die Leitung von Flügen unter Verwendung von Nachrichten-, Navigations- und Wettersatelliten trägt zur Lösung des Problems der Abstände zwischen den Flugzeugen sogar bei noch zunehmenden Geschwindigkeiten bei. Man nimmt an, daß die Abstände innerhalb eines Korridors bis auf 25 km verkürzt werden können.

Man kann sich auch andere Vorteile vorstellen, die Weltraumdispatcherzentralen bringen würden. Eine solche Zentrale könnte auch Anwendung bei der Organisierung des Verkehrs von Luftkissenschiffen finden. Die Verkehrsleitung für diese Art von Schiffen ist eine vordringliche Aufgabe. Dafür sind umfassendere Informationen als für die herkömmlichen Transportmittel notwendig. Notwendig sind hier genaue Informationen sowohl über die Atmosphäre als auch über das Meer und das Festlandrelief.

Und wieder sind es Satellitensysteme, die alle Anforderungen auch dieses Verkehrs erfüllen können. Sie verleihen ihm Sicherheit, gewährleisten seine Steuerung und Rentabilität sowie einen operativen Einsatz der Verkehrsmittel. Der Bau und die Verwendung von Navigations-, geodätischen und Wettersatelliten sowie Weltraumbeobachtungs- und Nachrichtensystemen zur Steuerung und Leitung des See- und Luftverkehrs gestatten es, diese Verkehrsarten so zuverlässig, regelmäßig und alltäglich zu gestalten, wie es heute die Metro der Personenkraftverkehr und der Eisenbahnverkehr sind.

# Einfluß auf Kultur und Bildung

Die neuen Horizonte sozialer Veränderungen, der Errungenschaften von Wissenschaft und Technik sowie der neuen Entdeckungen werden heute überall sichtbar.

Auch im kulturellen Leben der Menschen werden unter dem Einfluß der Raumfahrt schon in nächster Zeit manche Veränderungen zu spüren sein. Der Weltraum eröffnet schon heute reale Perspektiven für die Entwicklung eines globalen Fernsehens. Ein bedeutender kultureller Fortschritt könnte durch die Schaffung von Fernsehsendungen erreicht werden, die die gesamte Erdbevölkerung empfangen kann. Eine solche umfassende Information könnte zu einer gegenseitigen geistig-kulturellen Bereicherung aller Völker führen, vorausgesetzt, daß alle Sendestationen die von der Sowjetunion vorgeschlagene Übereinkunft über die friedliche, völkerverbindende Funktion des Weltfernsehens akzeptieren und beachten. Die Möglichkeiten eines ständigen Kontakts mit Kunst, Wissenschaft, Technik und die Möglichkeit, andere Länder der Erde und den Weltraum kennenzulernen, würden sich erweitern. Wenn die Menschheit die richtigen Wege zur Entwicklung eines allumfassenden Fernsehens findet, würde das ein wichtiger Beitrag zum Frieden sein. Natürlich kann man nicht behaupten, daß das Fernsehen völlig das Vergnügen eines unmittelbaren Kontaktes, z. B. mit den Schauspielern, den Kunstwerken und der Natur, ersetzt. Solche Kontakte werden auch weiterhin Quelle höchster Freude für den Menschen sein. Aber dereinst, wenn auch nur zum Teil mit dem gleichen Vergnügen verbunden, wird der Mensch seine Vorstellung durch das naturgetreue Abbild ergänzen. Wenn das Fernsehen plastisch sein wird, dann bedarf es keinerlei

Anstrengungen mehr, um das Fernsehbild der Wirklichkeit anzunähern.

Schwierig ist es, schon heute etwas über die konkreten organisatorischen Formen dieses Weltfernsehens zu sagen; aber eines ist sicher, es wird ein wichtiges Mittel zur kulturellen Bildung des Menschen sein. Natürlich sind solche kulturellen Wandlungsprozesse nur beim richtigen Einsatz des Fernsehens möglich. Wenn man bedenkt, was von den Fernsehzentralen im kapitalistischen Ausland, besonders in den USA, ausgestrahlt wird, so wäre der schädliche Einfluß dieser Sendung für die Erdbevölkerung allerdings größer als der mögliche Nutzen. Aber der gesellschaftliche Fortschritt der Menschheit erfolgt gesetzmäßig. Die Geschichte lehrt, daß die Kräfte des Friedens und der Gerechtigkeit immer die Sieger waren. So wird das auch beim Weltfernsehen sein. Es wird der Sache des Fortschritts und jenen Kräften dienen, die die Menschheit zur gerechtesten Gesellschaftsordnung, dem Kommunismus, führen.

Der Mensch ist ein schöpferisches Wesen, und darin besteht eine der Hauptfreuden seines Lebens. Schöpferisch kann man sich in Wissenschaft, Kunst, Technik sowie in jedem einfachen und komplizierten Handwerk betätigen. Aber für ein fruchtbares Schaffen sind umfassende Kenntnisse notwendig, die durch die allgemein- und berufsbildenden Schulen vermittelt werden. Durch den Einsatz von Fernsehsatelliten könnte das Bildungssystem erweitert werden. Alle Menschen der Erde könnten erfaßt und so zu Hörern in einem Auditorium werden. Eine besonders große Bedeutung würde das für bisher schwach entwickelte Länder haben, in denen zur Zeit wenig Bildungseinrichtungen bestehen.

In der Sowjetunion werden durch das Fernsehen Fremdsprachenkurse organisiert, die von Studenten der Abend- und Fernstudiumseinrichtungen konsultiert werden, Vorlesungen über die Hauptdisziplinen der Naturwissenschaften gehalten und auch Lektionen zur berufstechnischen Ausbildung erteilt. In einer Reihe von Ländern erprobt man Formen und Methoden des Fernsehunterrichts. Die Versuche zeigten, daß das Fernsehen große Möglichkeiten für den Ausbau eines Unterrichtsnetzes besitzt. Berechnungen ergaben, daß bei weltweiten Bildungsprogrammen über das Fernsehen die Kosten für einen „Schüler“ etwa 1 Rbl. im Jahr betragen würden. Außerdem könnte man große Hö-

rerzahlen mit gut vorbereiteten Lehrveranstaltungen erfassen und so hochqualifizierte Kader ausbilden.

In den verschiedenen Bildungsetappen spielt das Unterrichtsfernsehen eine unterschiedliche Rolle. Man kann sich eine Grundschule vorstellen, wo in jeder Klasse ein Fernsehgerät steht. Der Lehrer unterrichtet wie gewöhnlich durch die Darlegung des neuen Stoffes und die Befragung der Schüler. Den Fernseher schaltet er zur Demonstration von Illustrationen (Tabellen, Zeichnungen und Lehrfilmen) ein. Man kann es sich aber auch anders vorstellen. Der neue Stoff wird vom Telelehrer dargeboten, während der Klassenlehrer die Schüler nur befragt.

Mit der Erhöhung des Bildungsniveaus und entsprechend dem Selbstbewußtsein der Schüler wird die Rolle des Unterrichtsfernsehens wachsen. So können viele Vorlesungen für Studenten von Abend- und Fernstudiumseinrichtungen und Fachschulen vom Fernsehen übertragen werden. Verständlicherweise kann man verschiedene Varianten der Anwendung des Unterrichtsfernsehens aufzeigen. Diejenige wird sich als richtig erweisen, die praxisverbunden ist. Sicher ist, daß das Fernsehen eine wichtige Rolle in der Bildung spielen wird.

Wenn man auch durch das Unterrichtsfernsehen nicht die Ausbildungszeiten verringern kann, so wachsen doch der Umfang und das Niveau des vermittelten Wissens wesentlich. Eine zwangsläufige Folge der stürmischen Entwicklung von Wissenschaft und Technik ist die Notwendigkeit des periodischen Umlernens und der Weiterbildung der wissenschaftlichen Mitarbeiter. Zu diesem Zweck nehmen sie an verschiedenen Weiterbildungskursen teil.

Heutzutage ist die Technik und Industrie überall auf der Erde verbreitet, aber längst noch nicht überall gibt es derartige Kurse und Weiterbildungsmöglichkeiten. Mit Hilfe der Fernsehunterrichtsprogramme könnte hier Abhilfe geschaffen werden.

Besonders interessiert an diesen Vorhaben sind die noch wenig entwickelten Länder, die das Problem der Ausbildung von Fachkräften erst im Laufe von zehn bis fünfzehn Jahren werden lösen können.

# Neue Aufgaben für Medizin und Biologie

Die wichtigste Aufgabe der Medizin ist die Verhütung von Erkrankungen. Viele Leiden des Menschen entstehen durch die Verletzung der elementarsten hygienischen Regeln. Häufig kommt es bei der Arbeit und zu Hause aus Unwissenheit zu Unfällen. Es treten Hauterkrankungen und andere ernsthaftere Krankheiten auf. Mit Hilfe von Fernsatselliten wird es nun auch möglich sein, in interessanter und leichtverständlicher Form darzustellen, wie man seinen Tageslauf bei der Arbeit und zu Hause planen muß, welche Sportart man auswählen sollte und welche gesundheitsfördernden Maßnahmen notwendig sind. Es erweitern sich dadurch die Möglichkeiten der Unterweisung der Menschen über eine gesunde Lebensführung, über die wichtigsten Krankheiten, die Methoden zu ihrer Verhütung und die Heilung, die Krankheitssymptome und die möglichen Komplikationen. Das alles wird in großem Maße die Gesunderhaltung der Menschheit insgesamt fördern.

Eine nicht rechtzeitig eingeleitete Erste Hilfe ist bei Unglücksfällen nicht selten die Ursache für einen tödlichen Ausgang. Diese Hilfeleistung besteht oft nur in einfachen Handgriffen, die jeder erlernen kann. Und lediglich Unkenntnis elementarer Dinge beraubt und der Möglichkeit, den Menschen die notwendige Erste Hilfe zu erweisen, die sie vielleicht dringend benötigen.

Die Raumfahrttechnik ist vor allem aber der Anfang einer neuen Etappe in der Entwicklung der Medizin selbst. Die Medizin beginnt in größerem Umfang ihrer eigentlichen Bestimmung gerecht zu werden, die Gesundheit der Menschen zu erhalten und Krankheiten zu verhüten. In der Sowjetunion wurde der Prophylaxe schon immer sehr große Aufmerksamkeit geschenkt. Es gibt hier sehr viele Propy-

laktorien und Sanatorien. Es werden Impfungen gegen die gefährlichen Infektionskrankheiten durchgeführt. Normale Arbeitsbedingungen wurden geschaffen. Der Bau von Wohnungen, Sanatorien, Ferienheimen und Touristenstationen wurde erweitert. Das alles hat dazu beigetragen, die sowjetischen Völker vor vielen schweren Erkrankungen zu schützen. Trotzdem ist die Medizin noch immer so unvollkommen, daß Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Magenleiden, Darm- und Geschwulstkrankheiten u.a. auch weiterhin auftreten.

Wissenschaften und die Technik müssen hier der Menschheit zu Hilfe kommen. Die Raumflüge der Menschen erfolgen unter außerordentlich harten und komplizierten Bedingungen. Zu ihnen zählen z. B. die Überbelastung, die Schwerelosigkeit, die Begrenztheit und Abgeschlossenheit des Raumes, die Störungen des Tag-Nacht-Rhythmus. Einige sind sehr schwer zu ertragen, wie die angespannte Tagesablauf, die maximale Arbeitsleistung, die unzureichenden Erholungsmöglichkeiten. Vieles ist sehr ungewohnt, wie die konzentrierte Nahrung, das regenerierte Wasser, die Verwendung eines speziellen Assanierungssystems, die beschränkten Kontaktmöglichkeiten und die Entfernung von der Erde.

Die Aufgaben, die mit dem Vordringen des Menschen in den Weltraum verbunden waren, erforderten ein völlig neues Herangehen an ihre Lösung. Die neuesten Errungenschaften von Wissenschaft und Technik wurden dazu herangezogen. Noch immer gibt es beträchtliche Schwierigkeiten bei der Lösung aller Aufgaben. Außer Zweifel steht jedoch, daß eine sorgfältige Untersuchung des menschlichen Organismus notwendig ist. Es müssen die effektivsten Methoden zur Kontrolle und Sicherung seiner Lebenstätigkeit gefunden werden. Wirksame Methoden zur Verhütung und Heilung von Krankheiten sind auszuarbeiten. Unter den weniger belastenden Bedingungen auf der Erde müßte die Anwendung von Methoden der Raumfahrtmedizin noch effektiver sein. Das gewährleistet auch einen bedeutenden Fortschritt in der Entwicklung der Medizin überhaupt. Durch die Weiterentwicklung der Wissenschaft über die Lebenstätigkeit des gesunden Menschen erfüllt die Raumfahrtmedizin die Aufgaben der herkömmlichen medizinischen Wissenschaft in dieser Richtung im eigentlichen Sinne. Schon heute verwendet man in der Medizin Miniatursender zur

Überprüfung des Herz-Kreislauf-Systems, der Atemwege und andere Geräte zur Untersuchung des lebenden Organismus, die auch im Weltraum Anwendung finden. Es wurden in die Medizin auch verschiedene technische Errungenschaften der Raumfahrtforschung einbezogen. So wurden z. B. erfolgreiche Versuche zur Herstellung von beweglichen Stühlen für gehbehinderte Patienten und für solche mit Bein- oder Fußleiden durchgeführt. Die Stühle sind mit sechs bis acht mechanischen „Schreitfüßen“ ausgestattet, mit deren Hilfe sogar Treppen erstiegen werden können. Die Steuerung der Stühle kann auch von Hand erfolgen. Einige Modelle werden durch Kopf- oder sogar Augapfelbewegungen gesteuert.

Als wichtigste Grundlage für den Bau dieser Stühle diente eine der Varianten von automatischen Geräten, die sich auf der Oberfläche des Mondes und der Planeten bewegen können.

Immer neue Errungenschaften der Raumfahrtmedizin werden in den Dienst des Menschen gestellt. Möglicherweise werden in Zukunft viele Menschen Kleinstgeräte zur Kontrolle der Körperfunktionen tragen. Einige dieser Geräte, die man etwa wie Armbanduhren anlegt, werden besonderen Zwecken, d. h. zur Beobachtung einzelner Körperfunktionen, dienen, z. B. des Blutbildes bei Nierenkranken oder des Säurestatus bei Ulkuspatienten usw. Es können auch komplexe Geräte zur Beobachtung der allgemeinen Werte der Körperfunktionen, wie Atem- und Pulsfrequenz, Körpertemperatur u. a., verwendet werden. Derartige Geräte ermöglichen es, rechtzeitig Gesundheitsstörungen zu erkennen und entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Einige dieser Apparate können auch Warnungen vor Krankheiten erteilen. Gesunde können auf Wunsch Signale über die Erreichung der physischen und psychischen Belastungsgrenze erhalten.

Bei einem derartigen Signalsystem verkürzt sich die Zeit zur Einleitung einer Behandlung bei Unfällen, Verletzungen und plötzlich auftretenden Störungen an lebenswichtigen Organen. Die notwendige Hilfe kann bei einigen Herzerkrankungen durch den Apparat selbst erteilt werden. So führt z. B. bei starken Abweichungen von der Norm, die auf mögliche pathologische Veränderungen im Herz-Kreislauf-System hinweisen, der automatische Apparat dem Organismus die entsprechenden Heilmittel zu. In den Fällen, in denen der Automat machtlos ist, ruft er durch Funk-

signale nach Erster Hilfe. Die Suche nach dem Betroffenen kann durch Peilfunk oder irgendwelche anderen Methoden erfolgen.

Diese Automaten ermöglichen also eine ständige und effektive Kontrolle über den Zustand des Organismus. Da die ständige Überprüfung der Körperfunktionen bei Kranken besonders wichtig ist, können komplizierte und universellere Geräte und sogar stationäre Apparaturen geschaffen werden. Sie werden exakt und allseitig die Tätigkeit der lebenswichtigen Organe kontrollieren und sich bei Bedarf in den Heilungsprozeß einschalten. Es verändert sich dadurch in vielem auch die Tätigkeit der zahlreichen Ärzte. Sie wird schöpferischer werden. Nach zwanzig bis dreißig Jahren werden Methoden wie Abhören und Abklopfen nur noch Ausnahmen darstellen. Der Arzt wird vom Schreiben von Rezepten, von der Aufzeichnung der Krankheitsgeschichte usw. befreit sein. Die Kräfte des medizinischen Personals werden hauptsächlich auf die wissenschaftliche Forschung, auf Experimente und die Ausarbeitung von Methoden zur Prophylaxe auf der Grundlage der neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse und unter Verwendung der modernen Technik gerichtet sein.

Es werden spezielle Methoden der Nah- und Ferndiagnostik mit Hilfe elektronischer Datenverarbeitungsanlagen ausgearbeitet. Und wenn der Sieg über die Krankheiten zur Realität geworden ist, kann sich die Menschheit mit besonderer Intensität den Aufgaben zur Verlängerung des Lebens und zur Verhütung des vorzeitigen Alterns des Organismus widmen. Eine große Rolle auf diesem Gebiet spielt die Entwicklung der Raumfahrt, der Raumfahrtmedizin und -biologie. Die Erforschung des menschlichen Organismus im Zusammenhang mit dem Raumflug unter spezifischen extremen Bedingungen hebt die Medizin auf eine höhere Ebene. Niemals zuvor wurde der menschliche Organismus so genau, allseitig und komplex untersucht.

Die Entwicklung der Raumfahrttechnik fördert auch die Untersuchung von Problemen der Sterilität und Desinfektion. Auch die Suche nach außerirdischen Formen von lebender Materie kann, wenn sie von Erfolg gekrönt ist, eine Wandlung im Verständnis vom Wesen des Lebens bewirken.

Die Raumflüge fördern ebenfalls die Entwicklung solcher Wissenschaftszweige wie die Ingenieurpsychologie, die

Untersuchungen zur rationellsten Verbindung der psychophysiologischen Möglichkeiten des Menschen und der Leistungsparameter der Geräte anstellt, mit denen er während der Raumflüge arbeitet.

Eine große Bedeutung hat die Ausarbeitung einer ganzen Reihe von Maßnahmen, die die Widerstandskraft des Organismus gegenüber Strahlen erhöht. Es werden zuverlässige Strahlenschutzmittel geschaffen, die von den Raumfahrern während langdauernder Raumflüge so dringend benötigt werden. Diese Mittel werden den Menschen auch in entsprechenden Situationen auf der Erde dienlich sein.

# Über den indirekten Nutzen der Raumfahrtforschung

Der Nutzen, den die Entwicklung der Raumfahrt für die Menschheit mit sich bringt, erschöpft sich bei weitem nicht in der Lösung anwendungstechnischer Probleme. Die Entstehung einer Raumfahrtindustrie, die Entwicklung kompliziertester Raketenkomplexe und die Lösung von Grundlagenproblemen in Wissenschaft und Technik, die mit den Raumflügen verknüpft sind, haben der Menschheit eine große Zahl von Ideen, technischen Mitteln und neuen Prinzipien gegeben, deren Einführung in die herkömmliche Produktion und deren Einsatz im Alltag in Zukunft außerordentlichen Gewinn bringen wird.

Dieser Anwendungsbereich für die Ergebnisse der Raumfahrttechnik ist so groß, daß man hier nur einige Aspekte berühren kann.

Besonders groß und vielversprechend sind die Errungenschaften im Bereich der Medizin, was zum Teil bereits gesagt worden ist. Mit dem Beginn der Weltraumforschung entwickelten sich Raumfahrtbiologie und Raumfahrtmedizin. Die Probleme im Zusammenhang mit der Gewährleistung der Lebenstätigkeit des Menschen unter den spezifischen Verhältnissen des Raumfluges haben das Studium des menschlichen Organismus in einem gänzlich neuen Licht erscheinen lassen. Beschleunigungsbelastungen und der Einfluß der Schwerelosigkeit, Lärm und Vibrationen sowie der Aufenthalt in engbegrenzten Räumen, die Strahlungsbelastung und die erhöhte psychisch-nervale Belastung, längere Isolierung und Druckabfall usw. wirken sich auf den menschlichen Organismus aus. Erstmals wurde der Organismus völlig gesunder Menschen von den Medizinern sorgfältig studiert, weil ja nur Personen mit ausgezeichneter Gesundheit Kosmonauten werden können. Nun endlich be-

ginnen wir zu begreifen, was Gesundheit eigentlich ist, und wir lernen jene feinen Mechanismen für die Aufrechterhaltung des Normalzustandes und der Funktionsfähigkeit des Organismus wirklich kennen.

Im Zusammenhang mit Langzeitflügen im Weltraum wurden auch so grundlegende Fragen wie der Zellteilungsmechanismus im Verlauf des Lebenszyklus, der Einfluß der Gravitation und des Magnetfeldes der Erde auf die Lebensfunktionen untersucht. Für den physikalischen sowie den chemisch-pharmakologischen Strahlenschutz wurden spezielle Methoden entwickelt. Auch die Fähigkeiten des Menschen, Maschinen und Prozesse unter extremen Bedingungen zu steuern, sowie viele andere Probleme wurden aufgeworfen. Vor allem muß auf die Tatsache hingewiesen werden, daß gerade die Raumflüge eine sorgfältige und allseitige Untersuchung der Sonne und der mit ihr verknüpften Erscheinungen angeregt haben. Dabei wurde ihr großer Einfluß auf das irdische Leben sehr deutlich. So stellte sich beispielsweise heraus, daß die biologischen Rhythmen, aber auch manche Erkrankungen eine unmittelbare Beziehung zu Prozessen aufweisen, die auf der Sonne stattfinden.

Extrem zuverlässige, miniaturisierte Antriebe für die Raumfahrt konnten inzwischen auch bei „künstlichen Herzen“ und „künstlichen Nieren“ eingesetzt werden. Einige Geräte, die für die Fortbewegung von Kosmonauten und Geräten auf dem Mond vorgesehen sind, fanden als „Rollstühle“ für Invaliden Anwendung. Sie funktionieren beispielsweise auch in einem grabendurchzogenen Gelände. Druckkammern sowie entsprechende Schutzhelme werden in großem Umfang zur Behandlung der verschiedensten Erkrankungen verwendet. Viel Neues hat die Raumfahrt auch zur Entwicklung der physikalischen Wissenschaften beigetragen.

Die Bedürfnisse der Raumfahrttechnik haben Forschungsarbeiten im Bereich der Physik von Elektronen- und Ionenbündeln sowie gerichteter Plasmaströme vorangebracht. Der Einsatz von Tieftemperaturtreibstoffen (kryogenen Treibstoffen) brachte die Notwendigkeit mit sich, die Physik der Flüssigkeiten bei tiefen Temperaturen voranzutreiben, das Verhalten solcher Flüssigkeiten bei Schwerelosigkeit gründlich zu erforschen und neue Methoden zur Kryostatierung leichter, zuverlässiger magnetischer Systeme

me mit geringem Energiebedarf zu entwickeln; auch die Physik der Supraleitfähigkeit und der Galliumkryogentechnik wurde stimuliert.

Auch auf dem Gebiete der Energietechnik wurden wesentliche Fortschritte erzielt. So können beispielsweise Brennstoffelemente, die in Raumflugkörpern angewendet werden, in Zukunft sehr umfangreiche Nutzung in Kraftfahrzeugen finden, wodurch eine der Hauptquellen für die Verunreinigung der Atmosphäre, der Verbrennungsmotor, zurückgedrängt werden wird. Brennstoffelemente werden als bequeme und effektive Elektroenergiequellen in Industrie und Landwirtschaft Eingang finden. Das gleiche gilt für Energiequellen auf der Grundlage von radioaktiven Isotopen sowie für kompakte Kernenergieanlagen.

Verbesserte chemische Akkumulatoren (Nickel-Kadmium-, Silber-Kadmium- und Silber-Zink-Akkumulatoren) sowie Sonnenbatterien, die in der Raumfahrttechnik in großem Umfange angewendet werden, lassen sich auch in vielen Bereichen der Volkswirtschaft einsetzen. Große Bedeutung für die Produktion der materiellen Güter hat das Problem der Zuverlässigkeit. Jeder von uns hat den verständlichen Wunsch, bei einem Kauf — sei es eines Fernsehapparates oder eines Autos, einer Uhr oder eines Fotoapparates — ein Produkt zu erwerben, das sich nicht nur durch gute technische Daten, sondern auch durch eine hohe Betriebszuverlässigkeit auszeichnet, so daß eine hohe Lebensdauer garantiert ist. In bestimmten Fällen — denken wir nur an den Luftverkehr — ist das Zuverlässigkeitsproblem schlechthin lebenswichtig.

Die Entwicklung der Raumfahrttechnik, die durch extreme Kompliziertheit gekennzeichnet ist und deren Einsatz unter ganz außergewöhnlich schwierigen und wenig erforschten Verhältnissen erfolgt, brachte auch eine beträchtliche Weiterentwicklung der Zuverlässigkeitstheorie, der Projektierungstheorie (Einführung von Systemmethoden) sowie der experimentellen Methoden mit sich. Da praktisch alle Zweige der Volkswirtschaft für die Raumfahrttechnik arbeiten, sind diese Zuverlässigkeitsprobleme auch in die Elektronik, die Meßtechnik, den Maschinenbau sowie in viele andere Bereiche eingedrungen. Auf diese Weise stimuliert die Raumfahrttechnik auch die Arbeiten zur Erhöhung der Zuverlässigkeit in den unterschiedlichsten Produktionsbereichen, was der Volkswirtschaft bereits un-

geheure Gewinne eingebracht hat und auch in Zukunft noch einbringen wird.

Die Bedeutung der Raumfahrttechnik für die Entwicklung der Mikroelektronik und der elektronischen Datenverarbeitungsanlagen läßt sich kaum überbewerten. Die unabdingbare Forderung nach geringer Größe und geringem Energieverbrauch führte zur Entwicklung superminiaturisierter, kompakter sowie hochzuverlässiger radioelektronischer Geräte und Vorrichtungen. Sie hat die Entwicklung der Transistortechnik und der integrierten Schaltkreise ausgelöst, die in den letzten Jahren nicht nur in Rundfunkempfängern und Fernsehapparaten, sondern auch in Uhren, Programmiervorrichtungen und dergleichen zunehmend Anwendung fanden. Die Einführung vollkommener Elektronenrechner in verschiedene Bereiche der Volkswirtschaft führte zu einem steilen Anstieg der Produktivität und der Rentabilität, wodurch große Zeitreserven für die schöpferische Tätigkeit des Menschen freigesetzt werden konnten.

Die Raumfahrttechnik ist mit der Entwicklung und der industriellen Produktion der unterschiedlichsten Konstruktionswerkstoffe verknüpft, die heute bereits fast überall zum Einsatz gelangen. Es ist bekannt, in welchem großem Umfang Aluminium verwendet wird und wie sich die Einführung von Titan und seinen Legierungen immer mehr intensiviert. Die größte Bedeutung auf diesem Gebiet aber hat vermutlich die Entwicklung von allen möglichen nichtmetallischen Konstruktionswerkstoffen. Wir kennen kombinierte Werkstoffe sowie Schichtwerkstoffe, die sowohl gegen hohe als auch gegen extrem niedrige Temperaturen beständig sind.

Einen sehr großen Beitrag zum Fortschritt hat die Weltraumfahrt jedoch sehr wahrscheinlich in der Arbeitsorganisation und in der Lenkung und Leitung von Entwicklungsarbeiten sowie für die Prognose der Entwicklung von Wissenschaft und Technik geleistet. Die groß angelegten Programme im Zusammenhang mit der Entwicklung von Trägerraketen, Raumsonden und bemannten Raumfahrzeugen führten zur Entwicklung von Methoden und Mitteln, die zur Realisierung jeder noch so großen komplexen Maßnahme unserer Zeit geeignet sind. Die Entwicklung des riesigen Komplexes der Raumfahrttechnik war eine ausgezeichnete Schule für die Leitung und Planung verschiedener Bereiche der Volkswirtschaft.

Bereits heute sind nach Berechnungen einer Reihe von Wissenschaftlern die Ausgaben für die Weltraumfahrt kleiner als jene (mittelbaren und unmittelbaren) Gesamtgewinne, die sie dem Menschen gibt. Es sind bereits mehrere tausend technische Verbesserungen bekannt, die in die verschiedensten Bereiche der Technik Eingang fanden. Es wurden Tausende von Programmen für Elektronenrechner (EDVA) entwickelt, die nun als gedruckte Anweisungen (software) für die Lösung bestimmter Probleme bzw. für das Abrufen gewünschter Daten aus den Speichern von EDVA vorliegen. Die Industrie der USA beispielsweise sowie eine Reihe von Organisationen haben über 15 000 Rechnerprogramme über das Informationszentrum der NASA zu Problemen der Organisations- und Rechentechnik erhalten.

Sowjetische Wissenschaftler und Ingenieure für Elektrotechnik konstruierten z. B. bei der Bearbeitung des Problems der Beleuchtung von Raumstationen außergewöhnlich fortschrittliche Konstruktionen für die Beleuchtung von Produktionshallen sowie anderer großer Räume, die eine gleichmäßige Ausleuchtung erfordern. Dabei fanden Konstruktionen Anwendung, mit deren Hilfe die Betriebskosten für das Beleuchtungssystem bei gleichzeitiger Verbesserung seiner Zuverlässigkeit und unter Reduzierung des ohnehin fehlenden Wartungspersonals auf weniger als ein Zehntel herabgesetzt werden konnte. Solche Beispiele ließen sich sehr viele anführen.

Die Entwicklung der Weltraumfahrt wird es auch weiterhin erlauben, sozusagen an ihrem Wegesrand Früchte zu ernten, die der Menschheit bereits heute einen riesigen Nutzen bringen. In Zukunft wird die „Nützlichkeit“ der Weltraum- und Raumfahrtforschung noch auf ein Mehrfaches steigen. Zur möglichst raschen Einführung von Ergebnissen der Raumfahrttechnik und Raumfahrtforschung in die verschiedenen Sphären der menschlichen Tätigkeit sind jedoch noch spezielle Arbeiten erforderlich, um die Effektivität durch Verkürzung der Fristen für die Überleitung in die Volkswirtschaft zu erhöhen.

# Raumfahrttechnik

Eine große Zahl verschiedenartiger Probleme kann unter Einsatz der Raumfahrt gelöst werden; dazu gehören die Herstellung von Nachrichtenverbindungen, die Ermittlung der Koordinaten von feststehenden und bewegten Objekten, die Beobachtung der Atmosphäre und der Erdoberfläche und schließlich gewisse Spezialproduktionen (besondere Werkstoffe, Medikamente) auf Raumstationen. Diese Probleme werden in unterschiedlichem Maße unter Verwendung kosmischer Mittel (gesehen im Vergleich zu gewöhnlichen „irdischen“ Mitteln) gelöst, und unterschiedlich ist auch ihre Bedeutung für die praktische Tätigkeit der Menschen.

So sind Sputniks zur Beobachtung rasch ablaufender Prozesse an der Erdoberfläche sehr günstig. Häufig jedoch ist der Ablauf solcher Prozesse mit der Ausbildung einer Bewölkung verknüpft, so daß ebenso wie auf der Nachtseite der Erde der Einsatz optischer Geräte nicht die gewünschte hohe Qualität ergibt. Zur Kontrolle rasch ablaufender Prozesse werden deshalb neben den Satelliten auch weiterhin erdgebundene Beobachtungsmittel eingesetzt.

Diese Mittel sind je nach der Situation auch verschieden effektiv. Läßt sich beispielsweise die Telefonverbindung innerhalb eines Betriebes oder innerhalb einer Stadt auch ohne Satelliten ausgezeichnet realisieren, so ist die Telefonverbindung zwischen verschiedenen Städten und weitaus mehr noch die Verbindung zwischen verschiedenen Kontinenten über eine Weltraumstation bedeutend besser. Und schließlich hat jede der mit Hilfe von Satelliten zu lösenden Aufgaben unterschiedliche Bedeutung für die Volkswirtschaft oder, wie man auch sagt, unterschiedliche Wichtigkeit. Niemand zweifelt daran, daß die Übertragung von

Fernsehprogrammen für die Bevölkerung des gesamten Erdballes in der Wertigkeit an erster Stelle steht. Wollte man aber mit Hilfe von Satelliten die Koordinaten eines Korallenriffs, das weitab von allen Schiffahrtswegen liegt, mit hoher Genauigkeit bestimmen, so würde man wohl auf wenig Verständnis stoßen.

Daher ist eine sorgfältige Problemanalyse notwendig, um die wichtigsten Probleme herauszufinden und festzustellen, ob es zweckmäßig ist, sie unter Einsatz von Mitteln der Raumfahrttechnik zu lösen. Darüber hinaus müssen auch die Rolle und der Platz dieser Mittel unter den gewöhnlich dafür verwendeten Mitteln bestimmt werden.

Das ist ein kompliziertes Problem, das mit einem Vergleich der Effektivität und Rentabilität raumfahrttechnischer und herkömmlicher Mittel verbunden ist. Hierbei muß auch die zu erwartende Weiterentwicklung der Raumfahrttechnik und der üblichen Technik ebenso wie die Perspektive des zu lösenden Problems berücksichtigt werden.

Es gibt Probleme, für die sich die Rolle raumfahrttechnischer und üblicher technischer Mittel schwer einschätzen läßt. Soll beispielsweise die Navigation von Handelsschiffen mit Hilfe von Satelliten erfolgen, so muß ja nicht allein ein besonderes raumfahrttechnisches System entwickelt werden, sondern auch für die Ausrüstung der Schiffe mit neuen Empfangsanlagen und Rechenstationen gesorgt werden. Die sehr hohe Genauigkeit der Satellitennavigation erfordert hohe materielle Aufwendungen; eine Navigation dagegen, bei der es nur auf eine durchschnittliche Genauigkeit ankommt, läßt sich auch mit herkömmlichen Mitteln gewährleisten.

Die Nutzung der Raumfahrttechnik muß rationell erfolgen. Sehr wichtig ist es hier, die Perspektive der Handelsflotte zu berücksichtigen, die Entwicklung ihrer Schiffszahl, ihrer Reisegeschwindigkeit und sogar der Fahrtrouten. Gerade von diesen Fakten werden ja die Forderungen hinsichtlich der Genauigkeit der Ortsbestimmung von Schiffen mitbestimmt. Hier ist es auch sehr wichtig, die mögliche Entwicklung der erdgebundenen Navigationsmittel — seien sie nun autonom oder nicht—zu berücksichtigen. Und nur durch eine derartige komplexe Analyse des Problems insgesamt kann das Aufgabengebiet der raumfahrttechnischen Methoden ermittelt werden.

Ihre praktischen Aufgaben können in vier Gruppen un-

tergliedert werden: Informationsübertragung (Nachrichtenübermittlung, Fernsehen, Telefonie usw.); Koordinatenbestimmung (Geodäsie, Navigation); Beobachtungen der Atmosphäre und der Erde (Meteorologie, Erforschung und Kontrolle der natürlichen Ressourcen) sowie Spezialproduktionen im Weltraum, die auf der Ausnutzung seiner charakteristischen physikalischen Bedingungen (Schwerelosigkeit, Hochvakuum) beruhen.

Jede dieser Gruppen enthält ihrerseits eine große Anzahl von Einzelaufgaben. Für alle diese Aufgaben muß eine gründliche Untersuchung vorgenommen werden, mit dem Ziel, zu entscheiden, für welche Aufgaben die Entwicklung raumfahrttechnischer Komplexe zweckmäßig ist, wann sie entwickelt werden sollen, wie die Satelliten und die Bodensysteme aussehen sollen, wie die Aufgaben zusammenzustellen sind (d.h., welche Gesamtheit von Aufgaben zweckmäßigerweise durch den einen oder anderen Komplex zu lösen wären oder — anders ausgedrückt — wie man sämtliche Aufgaben auf die verschiedenen Komplexe verteilen sollte), welche Lebensdauer der Komplex haben soll, welche Prognosen dafür aufgestellt werden müßten.

Dies alles beginnt mit der Erkundung von Aufbauprinzipien raumfahrttechnischer Komplexe: Aus welchen Elementen muß der Komplex bestehen? Welche Spezialapparaturen wird der Satellit enthalten? Wieviel Satelliten müssen im System vorhanden sein? Welche Spezialapparaturen sind auf der Erde zu stationieren, und wie ist die Verbindung mit beweglichen Objekten aufrechtzuerhalten?

Die Suche nach dem Aufbauprinzip ist einer der schöpferischen Prozesse bei der Entwicklung raumfahrttechnischer Komplexe. Hier bedarf es der Flügel der Phantasie, tiefgehenden und weitreichenden Wissens, einer kühnen Vorstellungskraft (kühner Entwürfe) und ungewöhnlicher Hypothesen, einer ungewöhnlichen Bildung und Erfahrung. Diese Suche läßt sich sehr schwer formalisieren und stellt eine vorläufig nur schwach mathematisierte Prozedur dar. Als Ausgangsposition dienen der Inhalt des Problems, mögliche physikalische Lösungsprinzipien, die Besonderheiten der Satellitenbewegung relativ zur Erde sowie der Stand der gegenwärtigen und der zukünftigen Technologie (sowohl der herkömmlichen als auch der raumfahrttechnischen).

Betrachten wir eine besondere Aufgabe dieser Entwicklungsarbeiten. Bekanntlich wird die Information aus dem

Weltraum mit Hilfe elektromagnetischer Signale übertragen. Dafür läßt sich eine große Anzahl von Varianten aufstellen, und an dieser Stelle beginnt ihre Gruppierung nach bestimmten Grundmerkmalen. Für raumfahrttechnische Nachrichtenkomplexe sind dies z. B. die benutzten Wellenlängen, die Rolle des Satelliten für die Umsetzung der Signale sowie der Bahntyp. Werden die Ressourcen der Erde von Satelliten aus erforscht, müssen die bei den Empfängern der elektromagnetischen Strahlung verwendeten Wellenlängenbereiche sowie die erforderliche Geschwindigkeit für die Erzielung der gewünschten Information ausgewählt werden. Hiernach folgt die Analyse jeder Variante, danach eine vergleichende Analyse und schließlich die Auswahl der optimalen Variante.

Als Kriterium für die Vergleichsanalyse der Komplexe gilt die Möglichkeit für eine qualitativ einwandfreie Lösung des Problems bzw. allgemein für die Erfüllung der gestellten Forderungen. Bei Nachrichtenkomplexen ist es das übermittelte Informationsvolumen, bei Geodäsie- und Navigationskomplexen die Genauigkeit der Koordinatenbestimmung, bei Systemen für die Beobachtung der Atmosphäre und der Erde die Erkennungswahrscheinlichkeit für Wolken sowie für Objekte am Boden und die Geschwindigkeit, mit der die Information darüber auf die Erde übertragen werden kann. Alle Aufbauprinzipien, die den gewählten Kriterien oder Forderungen nicht entsprechen, werden aus der weiteren Betrachtung des Problems ausgeschlossen.

Zur Bestimmung der Grundforderungen erfolgt eine Problemanalyse. Die Wertigkeit der Probleme wird festgestellt. Außerdem wird das vorläufige zweckmäßige Niveau ihrer Lösung mit Hilfe der Raumfahrttechnik festgelegt. Hierbei auftretende Fehler können dann bei der weiteren sorgfältigen komplexen Problemanalyse sowie der Analyse der eingesetzten Lösungswege beseitigt werden.

Ist die Tauglichkeit der Varianten für eine qualitativ einwandfreie Lösung des Problems überprüft, erfolgt die vorläufige Bestimmung der zur Entwicklung und für den Betrieb der Komplexe erforderlichen Aufwendungen. Varianten, bei denen die Aufwendungen unter sonst gleichen Bedingungen die übrigen Varianten erheblich übersteigen, werden aus der weiteren Betrachtung eliminiert. Auf dieser Stufe erfolgt eine vorläufige Einschätzung der Komplexe bezüglich ihrer Technologie und der

Schwierigkeiten bei der Steuerung. Vor allem wird die Perspektive des gegenwärtig zwar kompliziertesten, dafür aber fortschrittlichsten Verfahrens beurteilt. So erforderten die Sonnenbatterien in der Anfangsetappe große Aufwendungen für ihre Produktion, da die entsprechenden Industriezweige noch nicht entwickelt waren. Ihre Perspektive jedoch war zweifelsfrei. Die in der Anfangsetappe der Raumfahrt verwendeten Akkumulatoren erwiesen sich als technisch überholt. Darum entwickelten sich in der Energetik neue Richtungen, die aussichtsreicher waren.

Damit endet die Auswahlrunde für die Varianten zur Organisation der Komplexe. Ihre weitere, vergleichende Analyse erfordert „feinere“ Untersuchungsverfahren.

Die Kompliziertheit der betrachteten raumfahrttechnischen Komplexe macht es erforderlich, sie einzeln zu produzieren, d. h., sie in einzelne Funktionsblöcke zu untergliedern: in den Satellitenkörper, die Trägerrakete mit dem Startkomplex, in den Befehls- und Meßkomplex, den Bodenkompex für die Verarbeitung und Übermittlung der Information. Innerhalb dieser Blöcke müssen nunmehr die optimalen Beziehungen gefunden werden, d. h. stabile Wechselbeziehungen zwischen den Parametern der einzelnen Aggregate, die optimale technisch-ökonomische Kenndaten garantieren.

Die optimalen ballistischen Bedingungen können beispielsweise analytisch oder durch Modellierung mittels EDVA festgestellt werden. So kann man anhand der Eingangsinformationen über jene Gebiete der Erde, die für die operative Beobachtung am interessantesten sind, sowohl die Bahnparameter und die Anzahl der Satelliten festlegen, mit deren Hilfe eine möglichst große Anzahl von Vorgängen ermittelt werden kann, als auch die Zeit zwischen dem Augenblick ihrer Entdeckung und dem Augenblick ihrer Entstehung minimieren.

Besondere Aufmerksamkeit gilt Fragen der experimentellen Durchdringung einzelner Elemente des Satelliten sowie des Satelliten insgesamt, da gegenwärtig noch kein System für die materiell-technische Wartung entwickelt worden ist. Der Ausfall eines Aggregates führt zum Funktionsabbruch des Raumflugkörpers. Deshalb werden an die Gesamtausrüstung des raumfahrttechnischen Teiles des Komplexes besonders hohe Forderungen hinsichtlich der Betriebssicherheit gestellt.

Vor allem müssen für jedes Satellitenelement die physikalischen Grundlagen seiner Funktion prinzipiell richtig ausgewählt sowie die mechanischen, elektronischen und optischen Teile fehlerfrei projektiert sein. Die sicherste Kontrolle ist stets der Versuch. Selbstverständlich kann diese Erprobung in einer Umlaufbahn erfolgen. Aber das ist ein sehr teureres Verfahren. Ein Fehler in einem einzelnen Aggregat läßt häufig das Objekt insgesamt ausfallen und verhindert damit die Überprüfung der übrigen Objekte. Dann ist man gezwungen, eine große Anzahl von Satelliten zu starten, um nacheinander alle Aggregate zu überprüfen. Deshalb wird alles auf der Erde geprüft, was dort geprüft werden kann.

Zur größeren Wirklichkeitsnähe des Experimentes werden die Verhältnisse hier den realen Verhältnissen maximal angenähert. Es werden besondere Prüfstände entwickelt, die die Sonnenstrahlung bzw. die thermische Strahlung der Erde imitieren, um die Temperaturregelungssysteme durchzuprüfen. Man baut riesige Druckkammern, in denen ein Hochvakuum erzeugt wird, um die Konstruktion auf ihre Dichtigkeit zu untersuchen sowie den Betrieb der Apparatur unter derartigen Bedingungen zu kontrollieren. Auf Zentrifugen prüft man die Fähigkeit der Satelliten, den Belastungen beim Aufstieg in die Umlaufbahn standzuhalten usw.

Und nur jene Teile des Satelliten, die wegen des spezifischen Charakters ihrer Aufgaben auf der Erde nicht durchgeprüft und nachjustiert werden können, werden dann im Weltraum erprobt.

Im Laufe der Versuchsflüge stellt sich dann heraus, inwieweit die grundsätzlichen Konstruktionsfragen richtig gelöst worden sind und wie effektiv die einzelnen Apparaturen arbeiten. So werden z. B. die Bereiche der Atmosphäre überprüft, durch die die Funkwellen zur Erde gelangen. Außerdem werden die Empfangsstabilität des Satellitensignals, die Möglichkeiten der Fluglageregelung unter Benutzung des Gravitationseffektes, des Magnetfeldes der Erde usw. beurteilt.

Darüber hinaus muß eine Antwort z. B. auf folgende Fragen gesucht werden: Ist die geforderte Orientierungsgenauigkeit des Satelliten garantiert? Werden die gewünschten Temperaturverhältnisse eingehalten? Reicht die Energie aus? Öffnen sich die Antennen und die Solarzellenausle-

ger? Ist die notwendige Funktionssicherheit der Sensoren gewährleistet?

Hat der Satellit wenigstens einmal einwandfrei funktioniert, dann heißt das, daß alles richtig durchdacht war. Trotzdem bleibt noch eine sehr wichtige Frage ungeklärt: Sind vielleicht bestimmte konstruktive oder technologische Fehler übersehen worden, die sich nicht an jedem Objekt bemerkbar machen, jedoch bei einem Teil der Objekte einen Ausfall verursachen?

Auf der Erde wird diese Frage durch mehrfaches Prüfen und durch Aufnahme der statistischen Kenndaten für die Projektierungs- und Entwicklungsgüte der Aggregate beantwortet. Zu diesem Zweck fertigt man sie in großer Stückzahl an und prüft ihre Funktionsfähigkeit. Danach berechnet man das Verhältnis der einwandfreien Teile zu den schlecht funktionierenden. Genügen sie einer zuvor formulierten Forderung, dann gilt das Aggregat als „fertig“. Andernfalls sucht man die „schwachen“ Stellen und bringt die notwendigen Korrekturen an.

Vergleichbare Prüfungen auf der Umlaufbahn werden infolge ihrer außerordentlich hohen Kosten nur in begrenztem Umfang ausgeführt. Deshalb ist es sehr wichtig, das Programm der Boden- und Flugprüfungen so ausgewogen zu kombinieren, daß die Endmontage des Satelliten und des raumfahrttechnischen Komplexes insgesamt nur ein Minimum materieller Aufwendungen erforderlich macht.

Natürlich könnte man fordern, daß die Zuverlässigkeit, des Satelliten extrem hoch ist, damit er nicht den Ausfall des gesamten Komplexes verursachen kann. Dies würde jedoch sehr hohe Aufwendungen erfordern und dadurch würde der gesamte Komplex sehr teuer werden. Andererseits würde eine zu geringe Zuverlässigkeit die Funktion des Komplexes zu oft stören, so daß neue Satelliten anstelle der ausgefallenen Satelliten gestartet werden müßten.

Die Forderungen an die Elemente des Komplexes werden eindeutig vom Stand der Technologie und vom Charakter des zu lösenden Problems bestimmt. Dies ist eine schwierige und mühsame, jedoch lösbare Aufgabe. Ihre Grundlage sind jene Beziehungen, die die Zuverlässigkeit mit den Entwicklungs-, Fertigungs- und Montagekosten für die einzelnen Elemente verknüpfen. Auf ihrer Grundlage werden analoge Beziehungen für die großen Baugruppen des Komplexes festgelegt, also für den Satelliten, die Trägerrakete und die

Bodenmittel. Danach erfolgt die Optimierung des Komplexes entsprechend der Zuverlässigkeit der einzelnen Elemente sowie der großen Baugruppen unter Verwendung verschiedener Verfahren für die Erhöhung der Zuverlässigkeit durch vernünftige Kopplung der Elemente (Auswahl rationeller Strukturen), durch Dopplungen, Dreifachausführung usw.

Deshalb hat die Raumfahrttechnik neue Verfahren für die Steuerung von Entwicklungsarbeiten ins Leben gerufen, die einen modernen mathematischen Apparat sowie elektronische Datenverarbeitungsanlagen verwenden. Diesen Methoden liegt der Algorithmus für die Bestimmung der Grundkenndaten der Betriebsfähigkeit des Komplexes auf der Grundlage der Kenndaten seiner einzelnen Elemente zugrunde. So ist es möglich in jeder Etappe der Projektierung der experimentellen Durchdringung, der Ausführung des Projekts, der Funktionsproben unter Weltraumbedingungen und der Fertigung geeignete Lösungen zur Korrektur früher gewählter Parameter zu finden.

Unter Verwendung dieses Algorithmus kann jeder der zahlreichen Fertigungsbetriebe schnell die richtige Antwort auf Fragen erhalten, die im Laufe der Arbeit auftreten. Damit erfolgt die Koordinierung der Entwicklungen ohne Störung der Ganzheit des Komplexes, ohne das Einbringen zufälliger Fehler und ohne jeglichen Subjektivismus.

# Das sowjetische Raumfahrtprogramm

**K**onstantin Eduardowitsch Ziolkowski, der Begründer der Kosmonautik, sagte: „...ich hoffe, daß meine Arbeiten... der Gesellschaft Berge von Brot und grenzenlose Macht geben werden.“ In diesen bemerkenswerten Worten sind die Grundziele der Erschließung des Weltraums enthalten: eine Vervielfachung der materiellen Güter und der Erwerb eines wissenschaftlichen Potentials, das die Macht des Menschen über die Natur über alle Maßen wachsen läßt. Dieses Ziel verfolgen die sowjetischen Wissenschaftler und Konstrukteure mit ihrem Programm zur Erschließung des Weltraums.

Wie die vergangenen Jahre gezeigt haben, ist für das sowjetische Raumfahrtprogramm die Tatsache seiner Vielschichtigkeit, Zweckmäßigkeit und außerordentlich rationalen Verfahrenstechnik charakteristisch. Hierbei lassen sich folgende Entwicklungslinien klar verfolgen:

- Forschungssatelliten für die Weltraumforschung;
- Nutzanwendungssatelliten für geologische, geographische, ozeanologische, meteorologische Zwecke, für den Einsatz im Nachrichtenwesen und zur Navigation sowie für biologische und andere Experimente;
- Raum-, Mond- und Planetensonden zur Erforschung physikalischer interplanetarer Erscheinungen im Weltraum und zur Erkundung des Mondes und der Nachbarplaneten der Erde;
- Einsatz von ferngesteuerten beweglichen Instrumenten- und Geräteträgern (Lunochods) auf dem Mond sowie von bemannten Raumflugkörpern zur Erkundung des erdnahen Raumes und zur Errichtung einer Raumstation.

Begonnen aber hatte alles am 4. Oktober 1957, als erstmals in der Menschheitsgeschichte ein künstlicher Himmels-

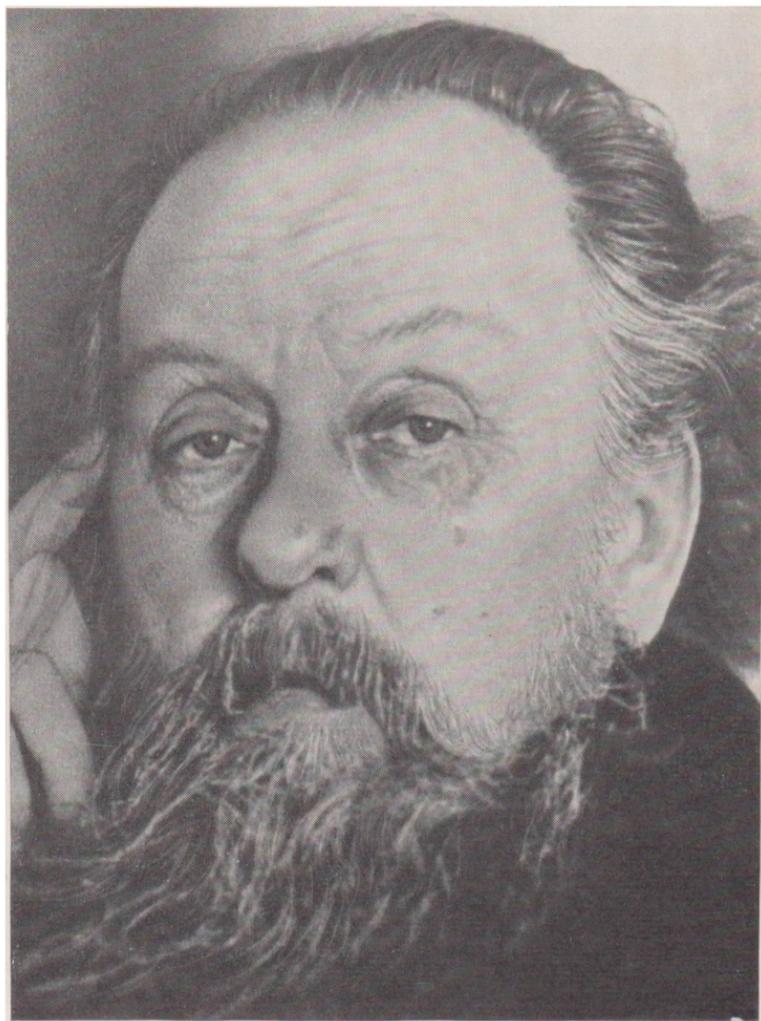
körper geschaffen wurde, der die russische Bezeichnung „Sputnik“ seit diesem Tage bei allen Völkern der Erde zum Begriff werden ließ. Er bewegte sich auf einer erdnahen elliptischen Umlaufbahn, deren Apogäumshöhe 947 km und deren Perigäumshöhe 228 km betrug. Während seiner Lebensdauer, die 92 Tage umfaßte, absolvierte der erste Sputnik etwa 1400 Erdumläufe. Mit seiner Hilfe konnte man an die Erforschung der Durchlässigkeit der Ionosphäre für Funkwellen sowie an die Untersuchung der Dichte unserer Atmosphäre in Höhen gehen, die bis dahin kein einziger Flugapparat erreicht hatte.

Einen Monat später, am 3. November 1957, wurde der zweite künstliche Erdsatellit gestartet. Er war bereits „bewohnt“. Zum erstenmal hatte ein Lebewesen, die Hündin Laika, die Erde verlassen. Die astronautische Freiflugbahn dieses Sputniks besaß ein Apogäum von 1671 km und ein Perigäum von 225 km. Dieser Flug ergab wertvolle Angaben über die Möglichkeiten eines höher entwickelten Organismus, sich relativ lange im schwerelosen Raum aufzuhalten. Darüber hinaus wurde mit Hilfe der Geräte des zweiten Sputniks die Strahlung der Sonne im Ultraviolett- und Röntgenbereich des Spektrums untersucht; auch die kosmischen Strahlungspartikel wurden registriert.

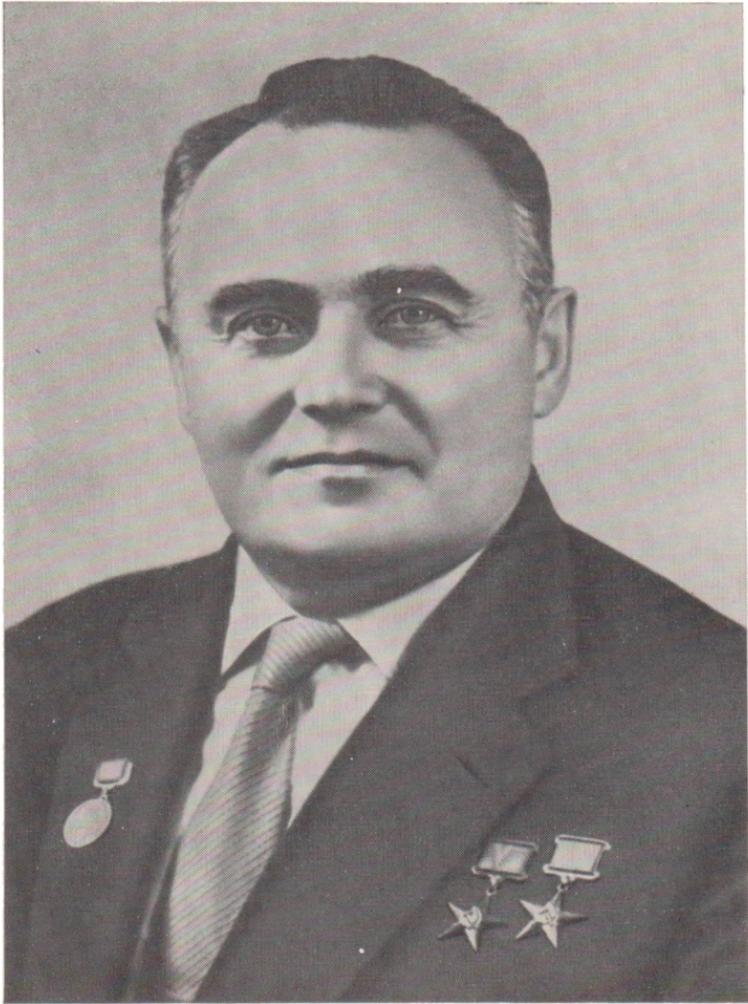
Der dritte künstliche Erdsatellit (15. Mai 1958) stellte ein kompliziertes geophysikalisches Laboratorium im Weltraum dar. Mit seiner Hilfe wurden die Zusammensetzung und Dichte der Hochatmosphäre, die Ionenkonzentration, die Intensität der Korpuskularstrahlung der Sonne, die Zusammensetzung und Änderung der kosmischen Primärstrahlung, die Verteilung der schweren Kerne in kosmischen Strahlen, die Verteilungsdichte der Mikrometeoriten sowie das elektrostatische und das magnetische Feld der Erde untersucht.

Mit diesen Raumflugkörpern begann die allseitige Erforschung des erdnahen Weltraums.

Am 12. April 1961, 9.07 Uhr Moskauer Zeit, erfolgte in der Sowjetunion der Start des berühmt gewordenen Raumflugkörpers „Wostok“. Mit ihm gelangte der erste Kosmonaut in der Menschheitsgeschichte, Juri Gagarin, auf eine Umlaufbahn um die Erde. Die Ära des unmittelbaren Eindringens des Menschen in den Weltraum, von der viele Generationen geträumt hatten, nahm ihren Anfang. Nach seinem Flug berichtete Juri Alexejewitsch Gagarin: „...Un-



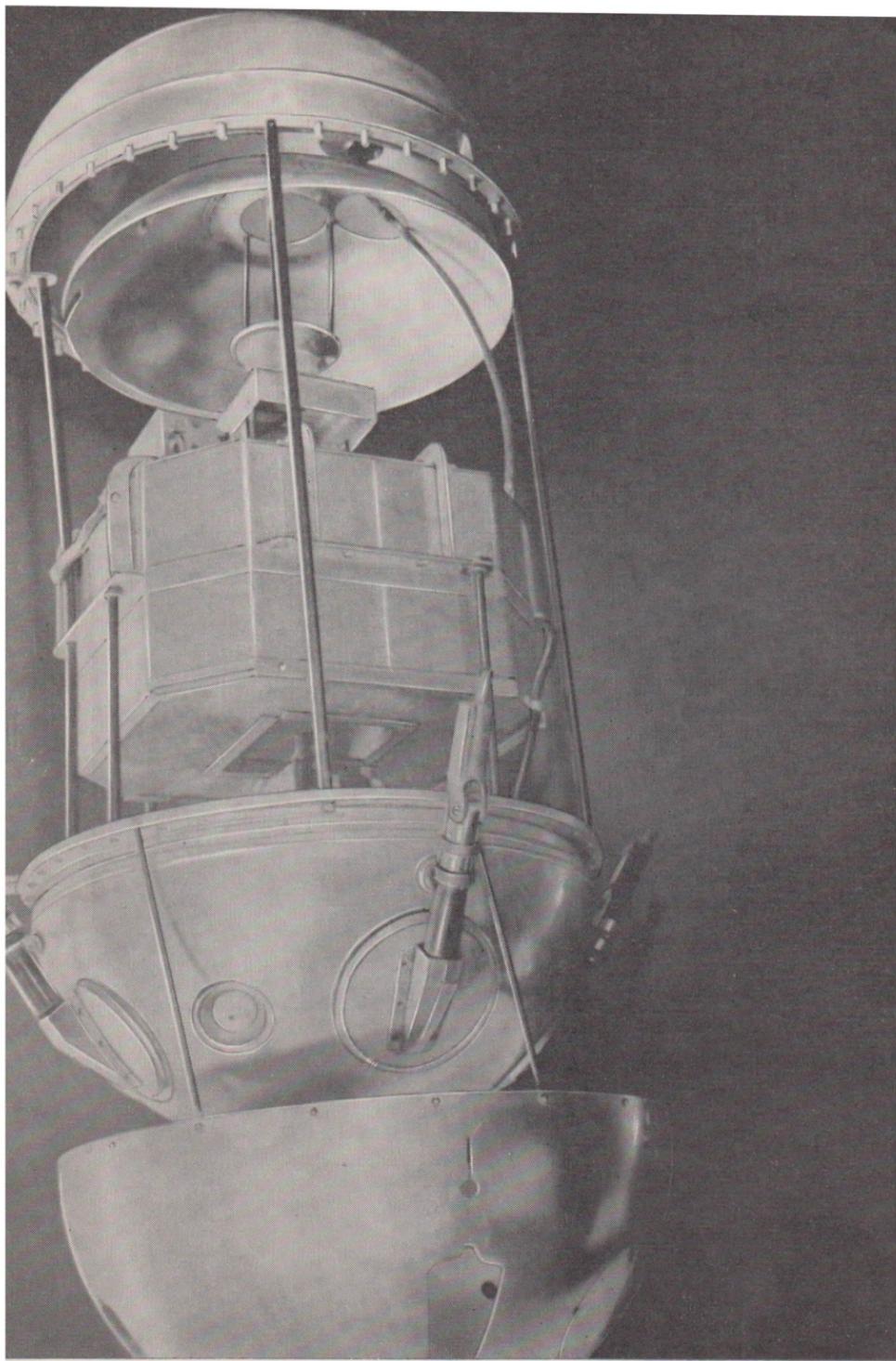
*K. E. Ziolkowski*



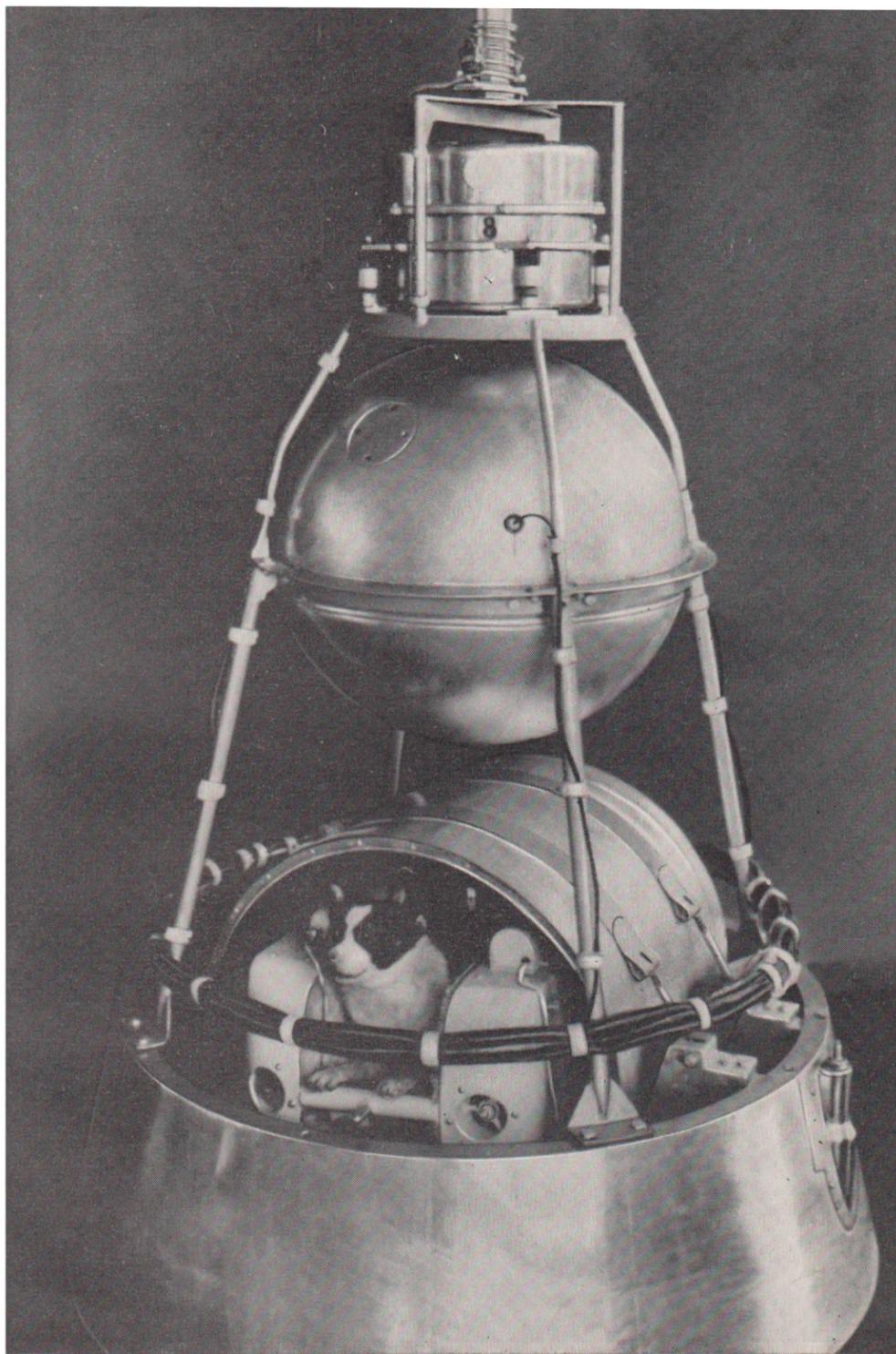
*S. P. Koroljow*



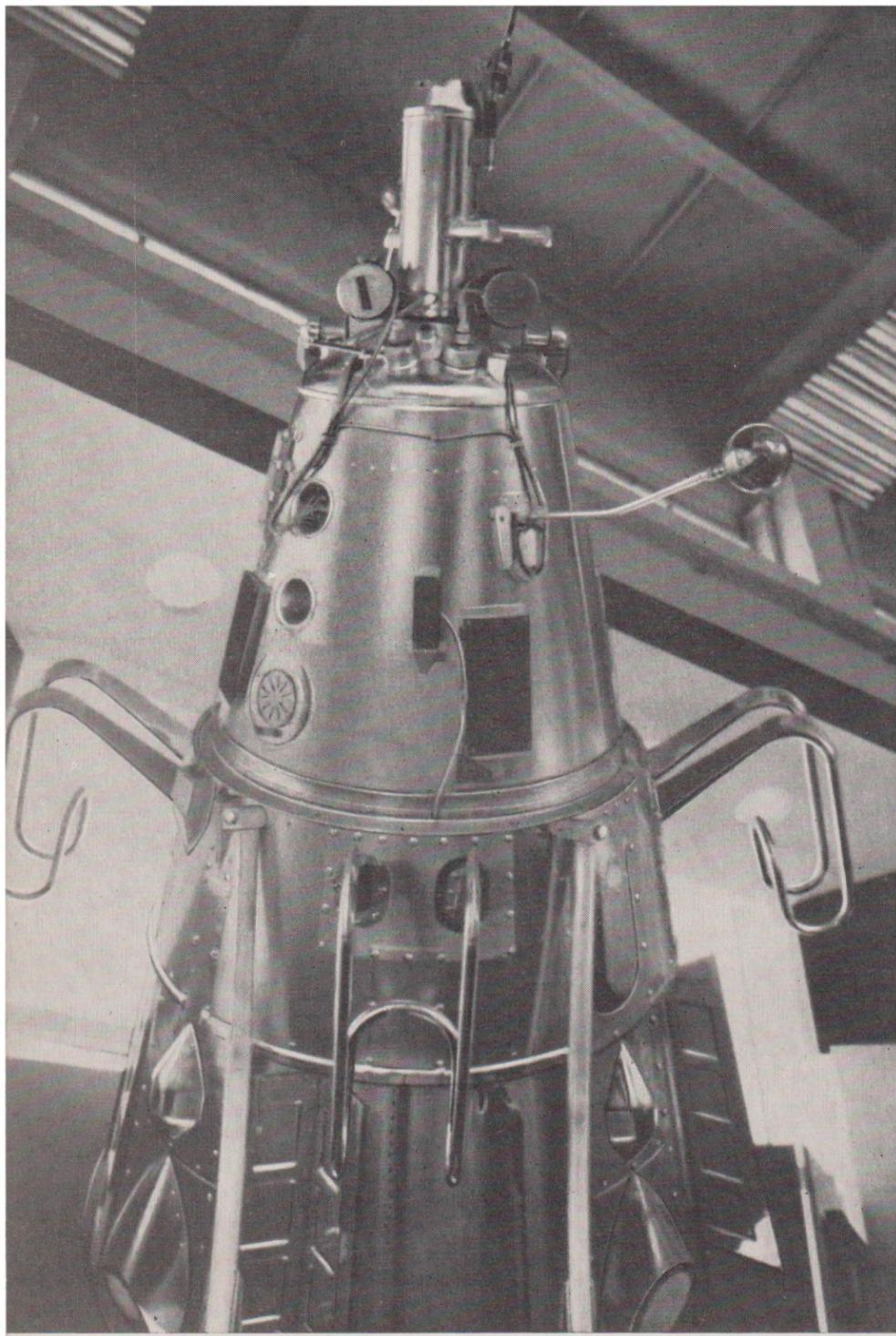
*J. A. Gagarin*



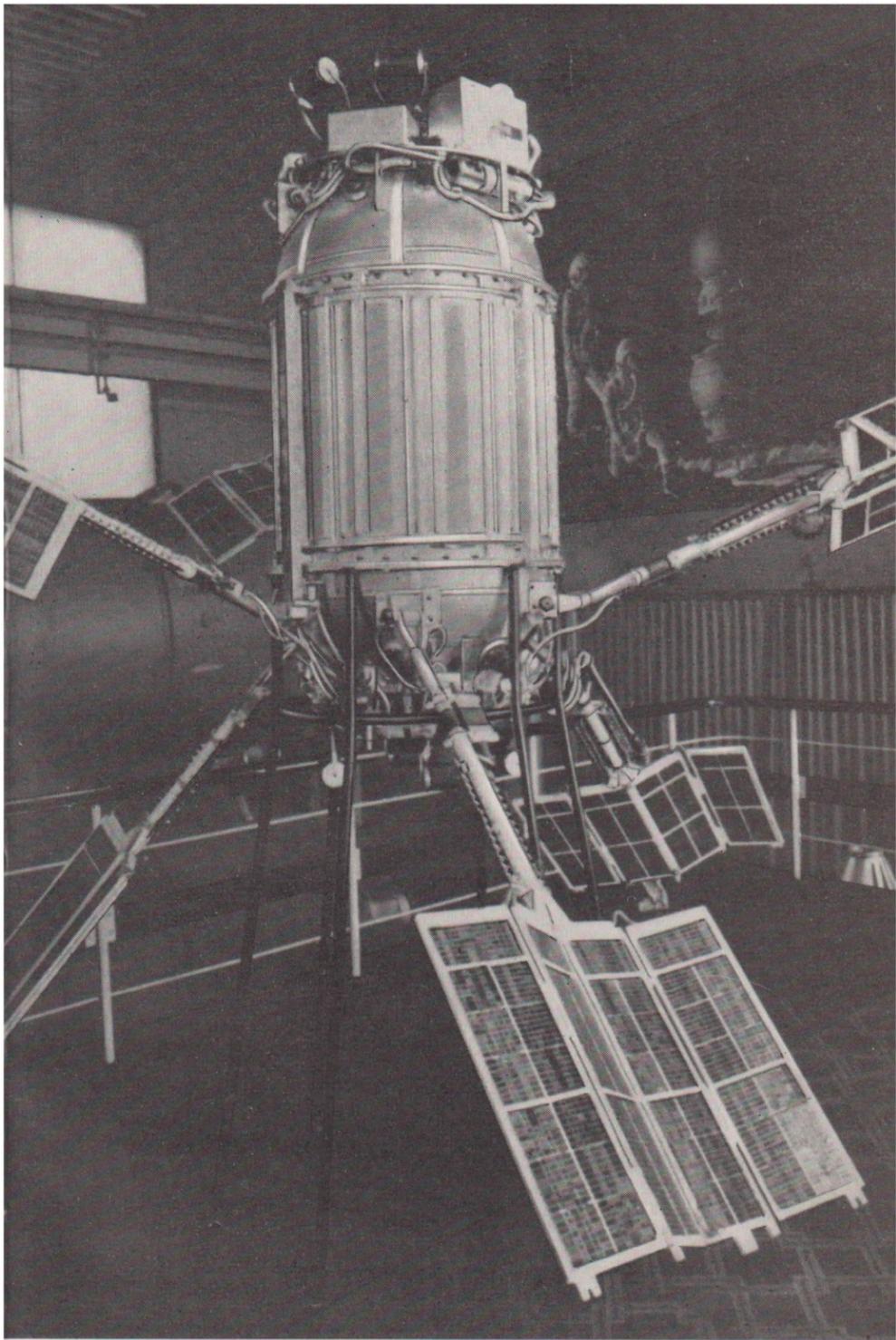
*Erster künstlicher Erdsatellit*



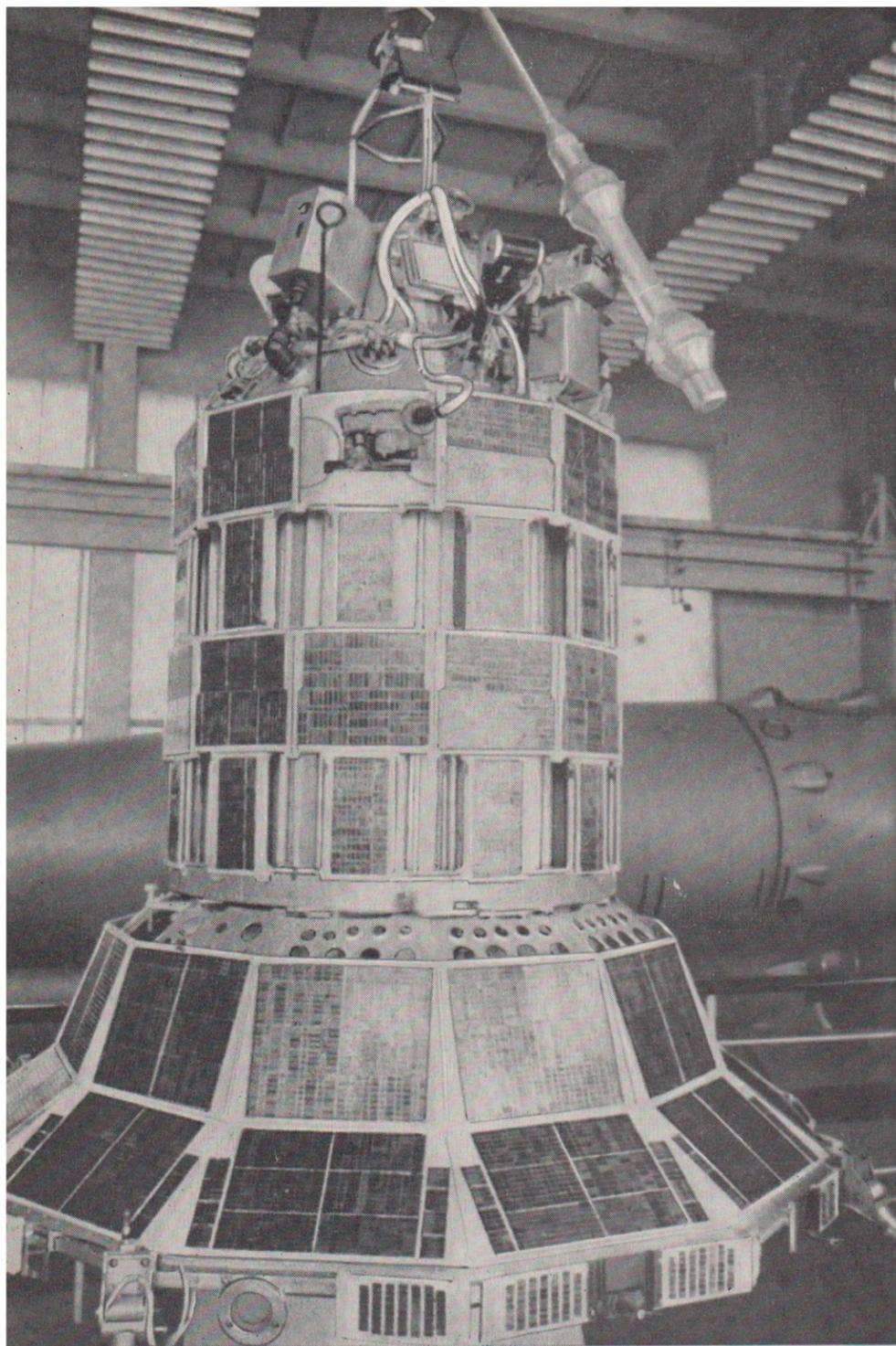
*Zweiter künstlicher Erdsatellit*



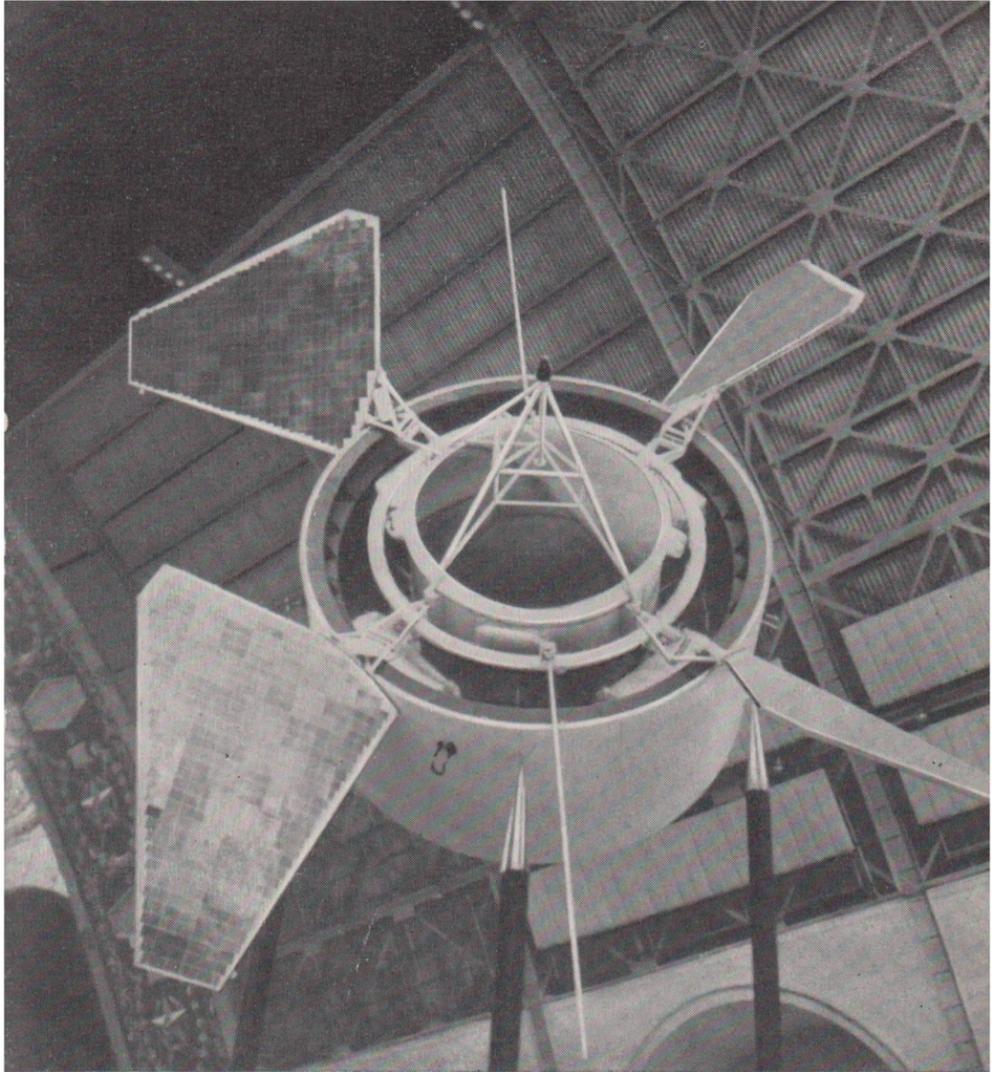
*Dritter künstlicher Erdsatellit*



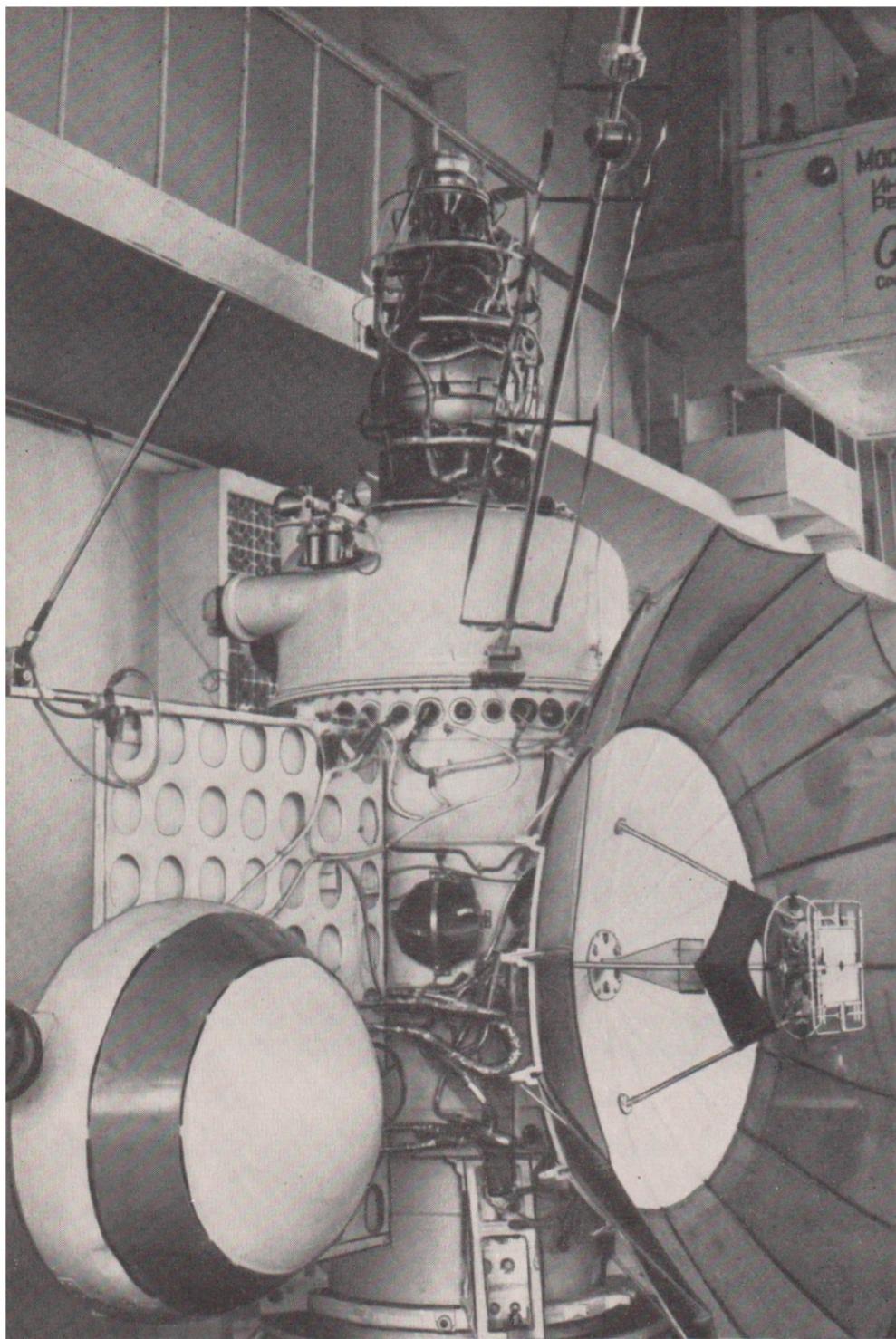
*„Elektron 1“ (zur Untersuchung der Strahlungsgürtel der Erde)*



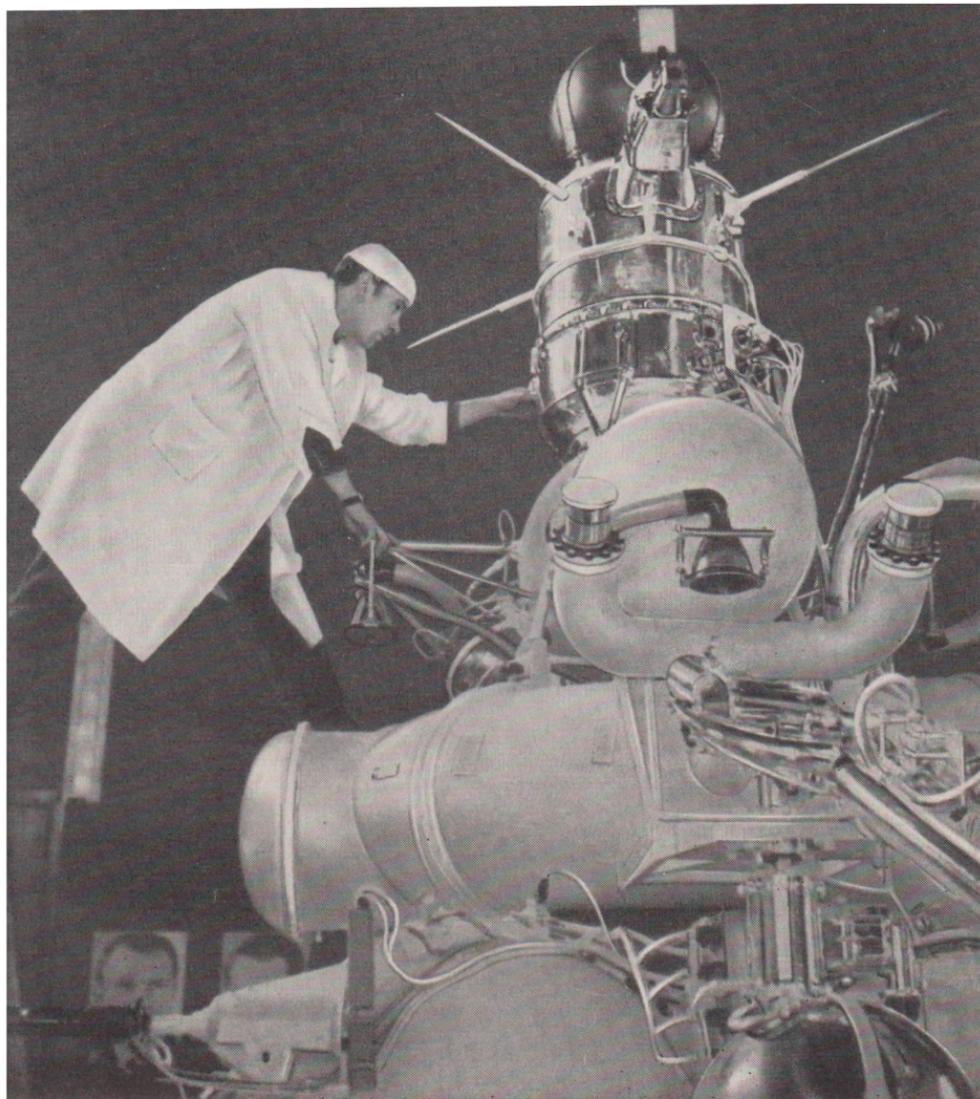
*Satellit „Elektron 2“*



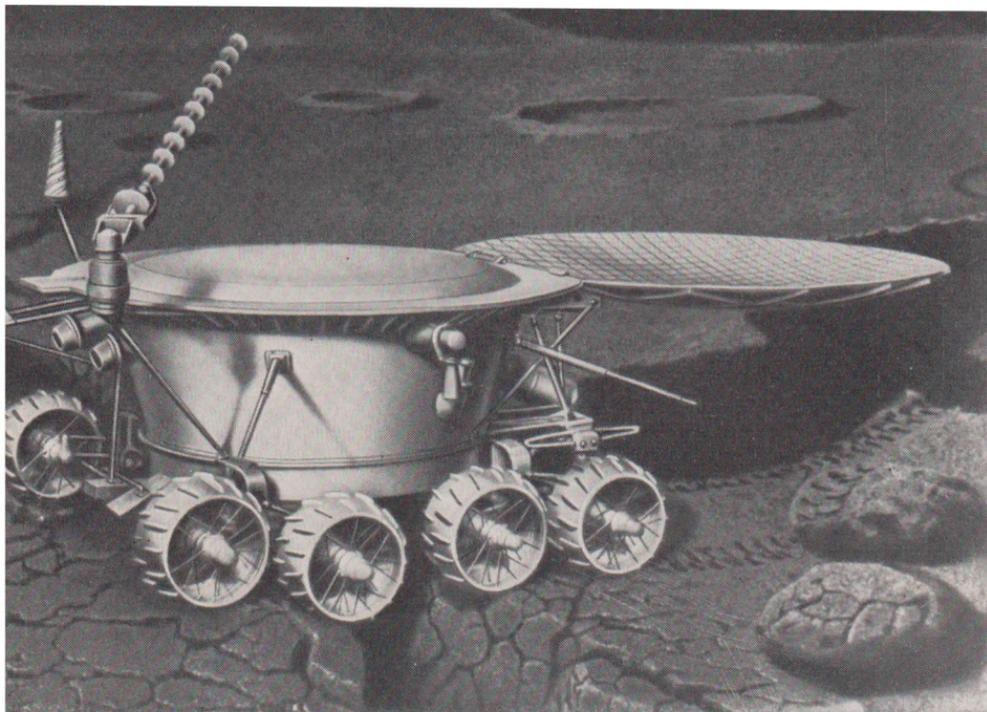
*Forschungssatellit „Proton“ (eingesetzt zur Messung von kosmischen Strahlungsteilchen mit hoher Energie)*



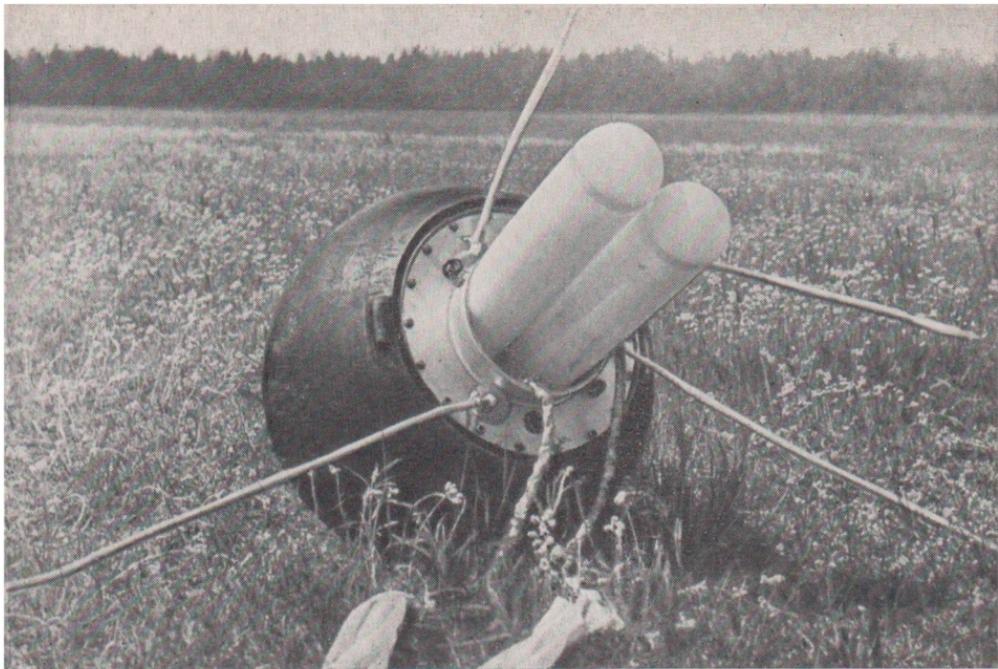
*Automatischer Raumflugkörper „Venus“*



*Mondsonde „Luna 16“*



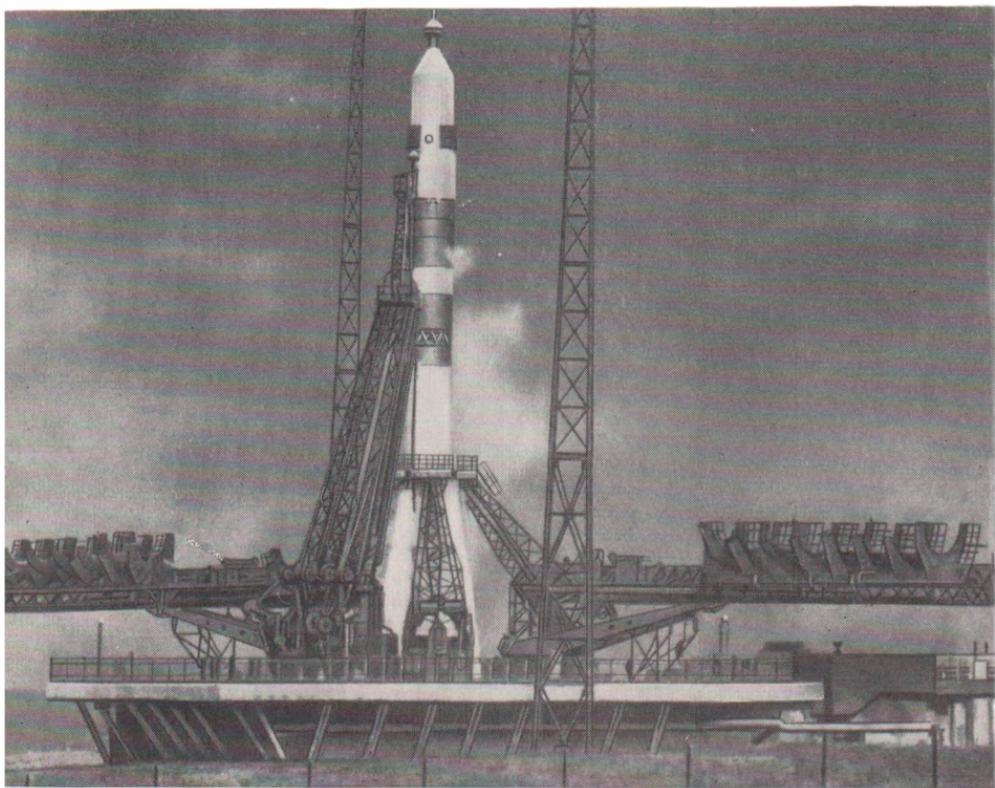
*„Lunochod 1“*



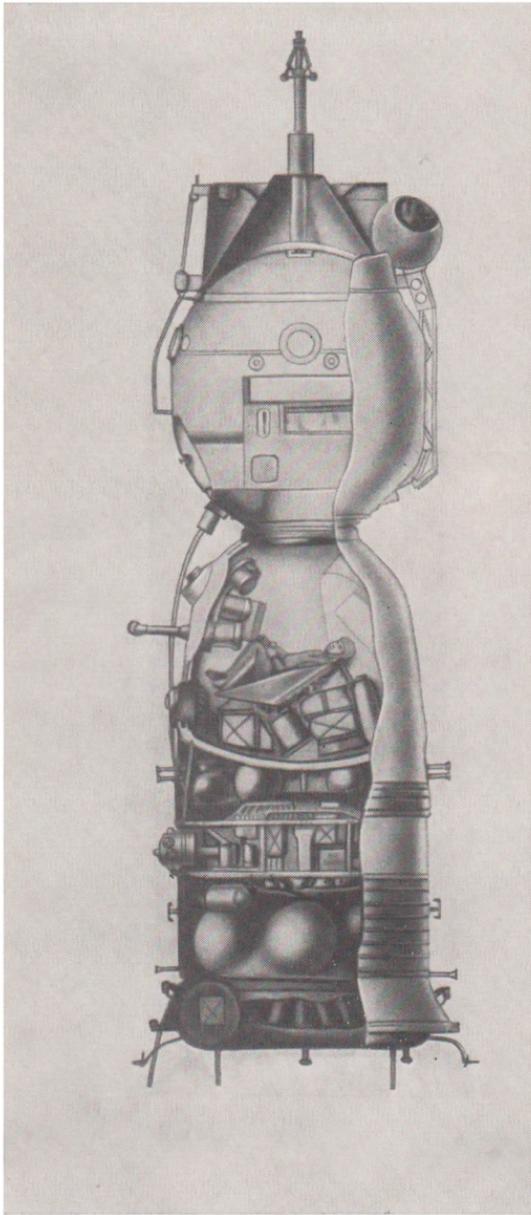
*Container mit dem Mondgestein*

*Mondgestein*

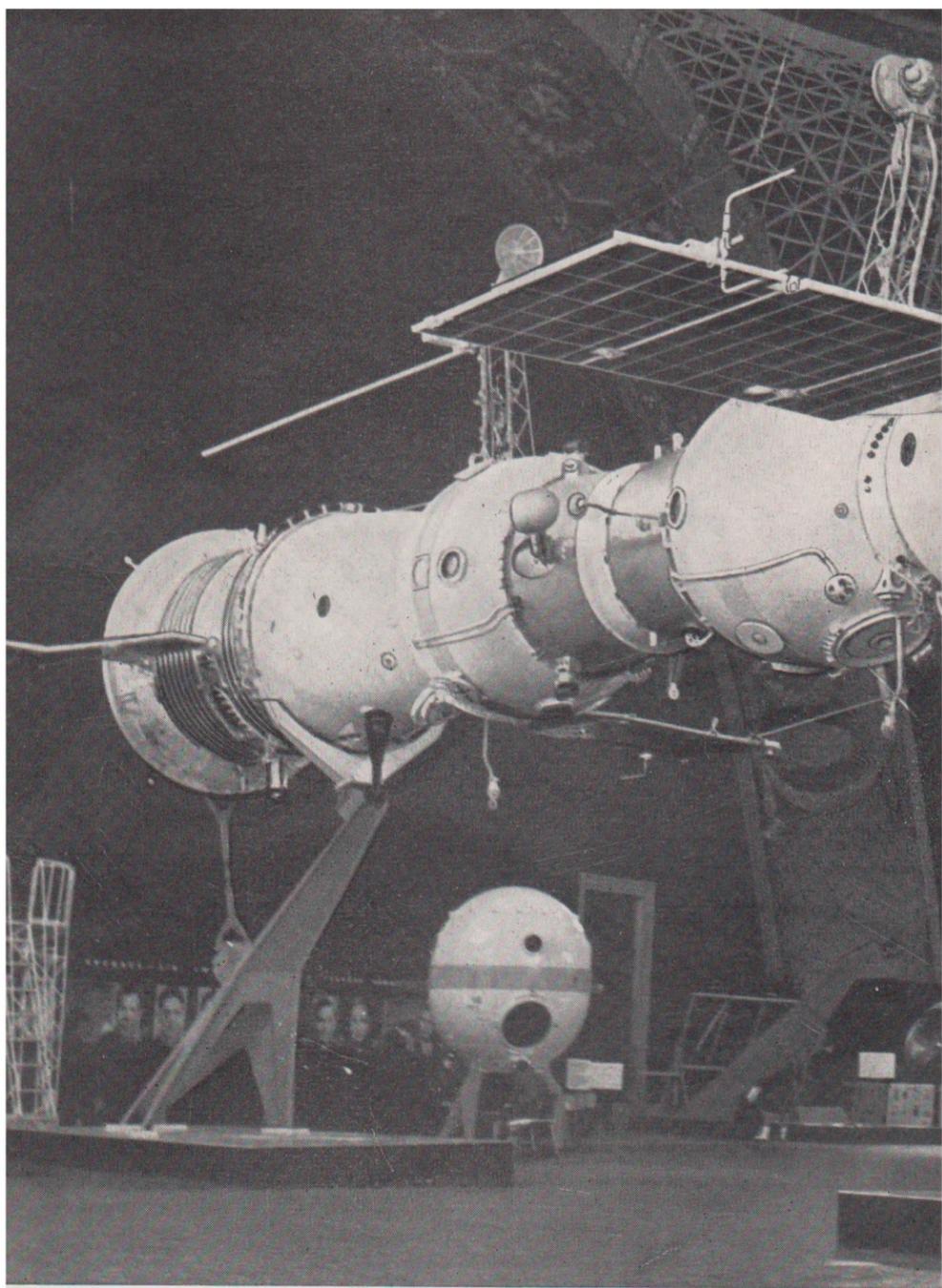




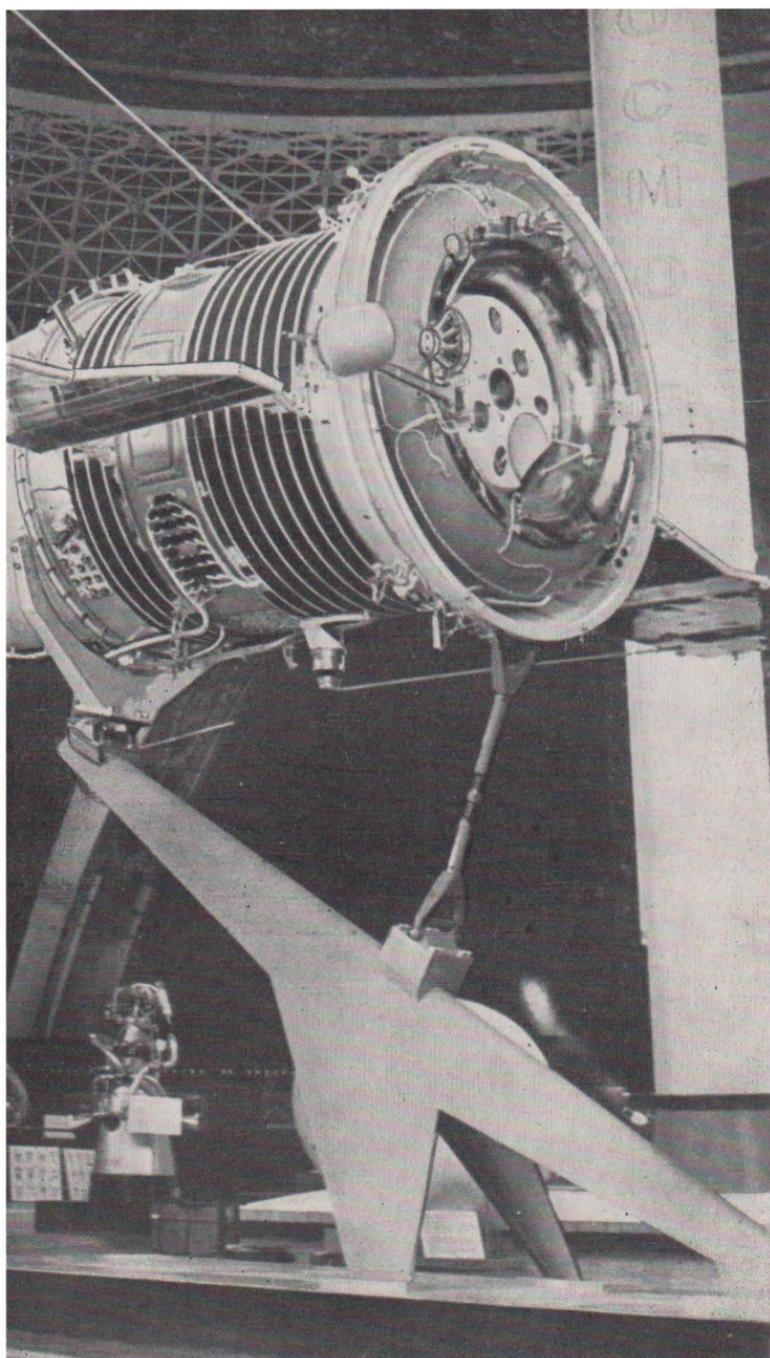
*Trägerrakete vor dem Start*

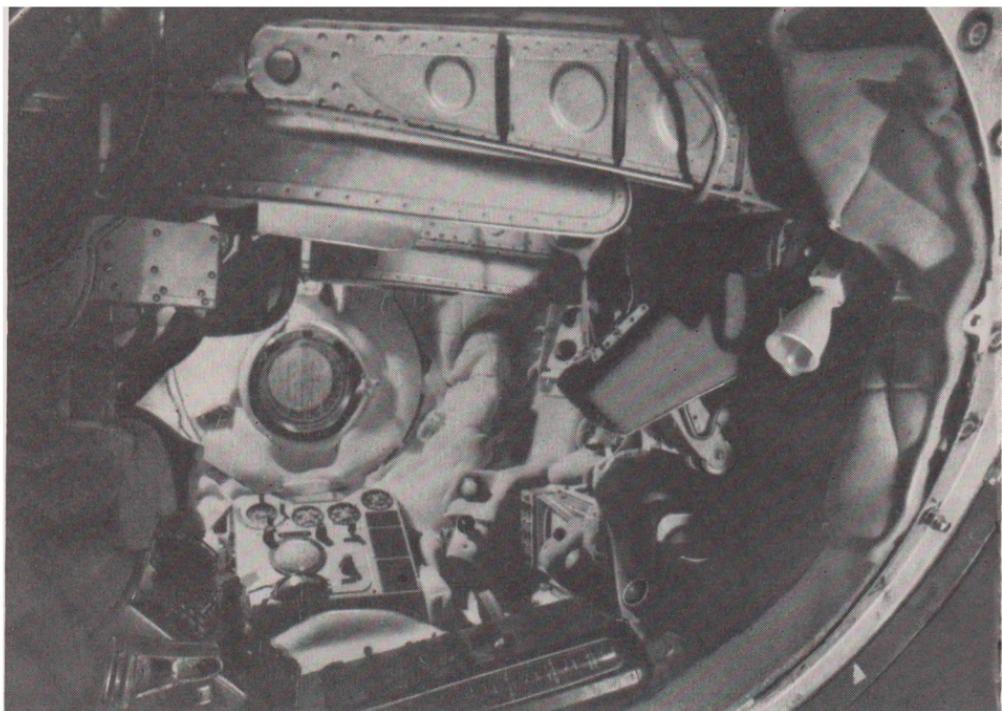


*Aufbau des Raumfahrzeugs „Sojus“*

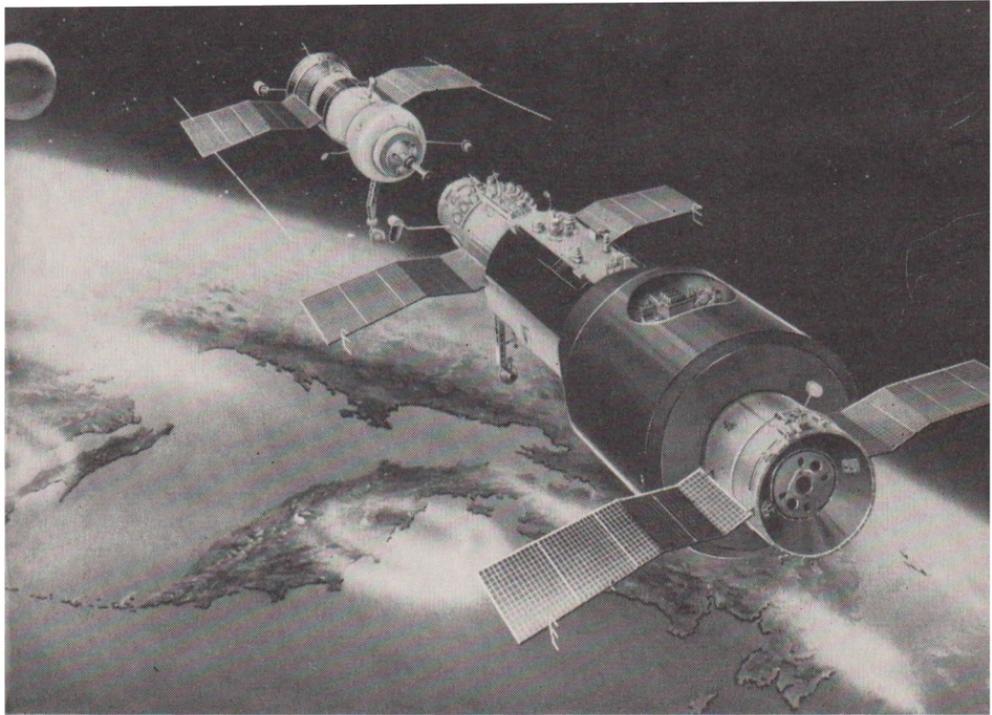


*Raumstation „Sojus“*

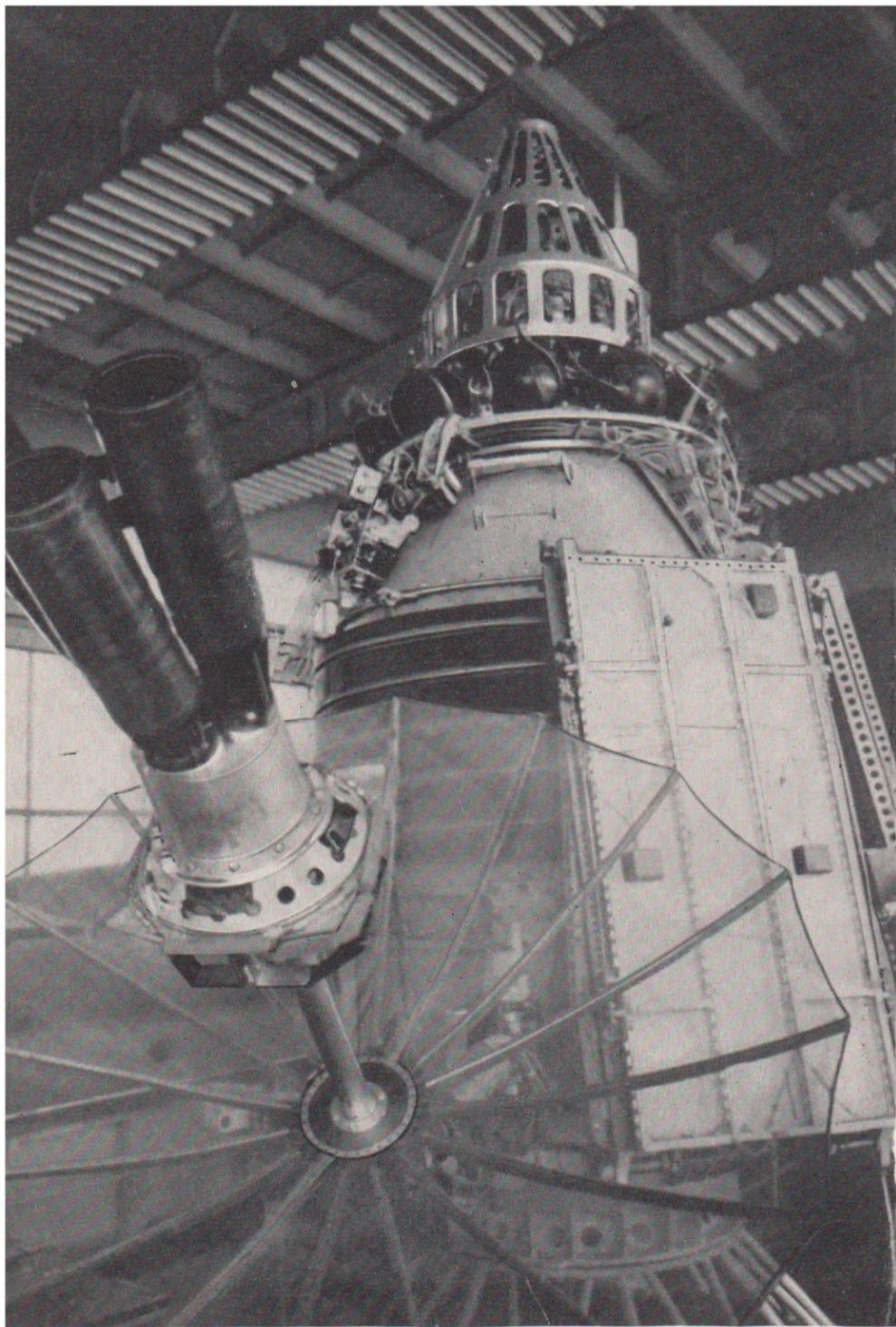




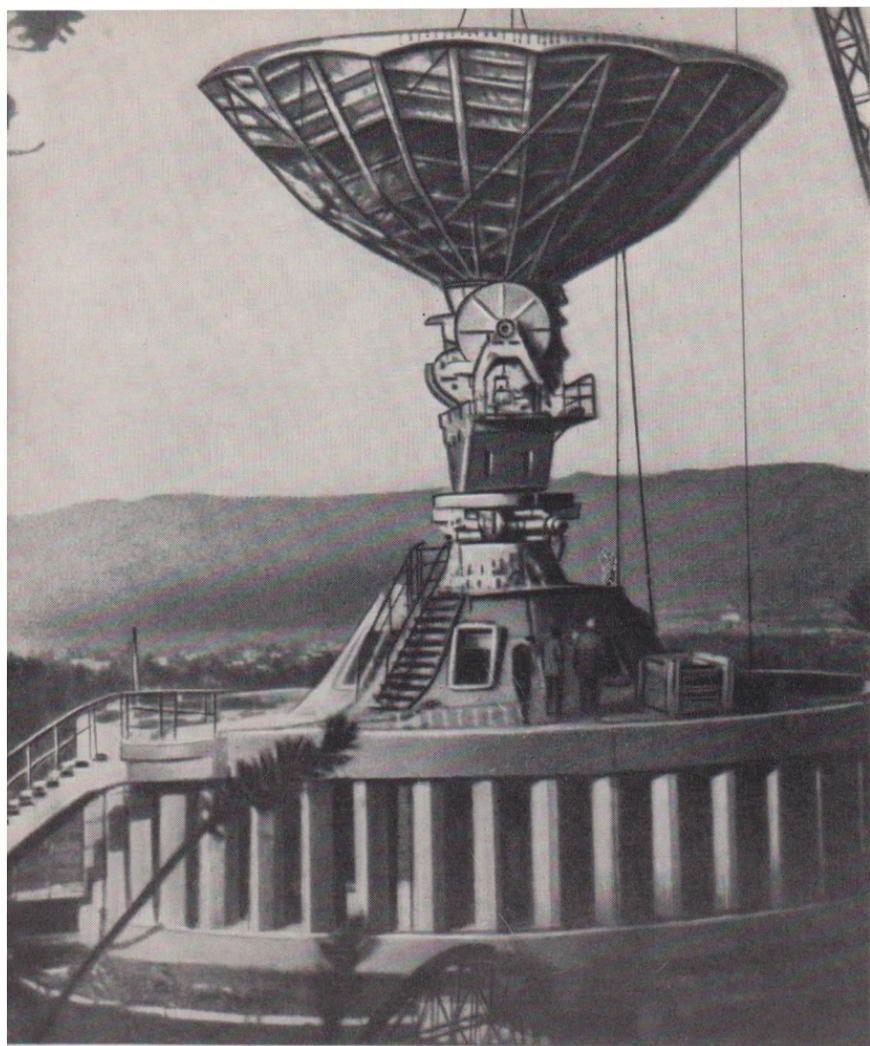
*Im Raumfahrzeug „Woschod“*



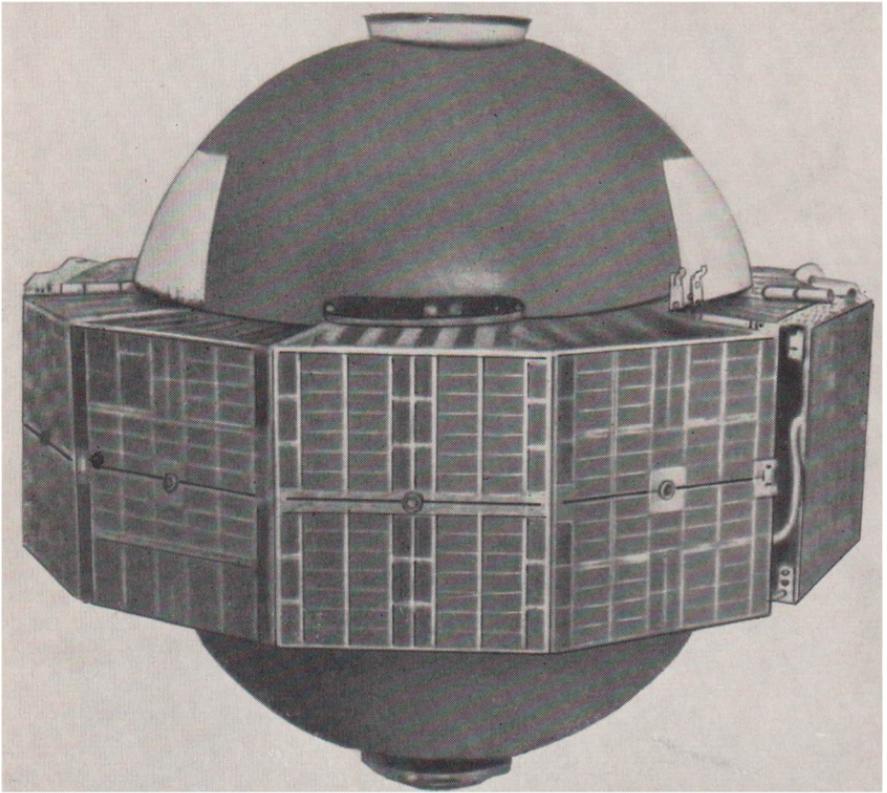
*Raumstation „Salut“*



*Nachrichtensatellit „Molnija 1“*

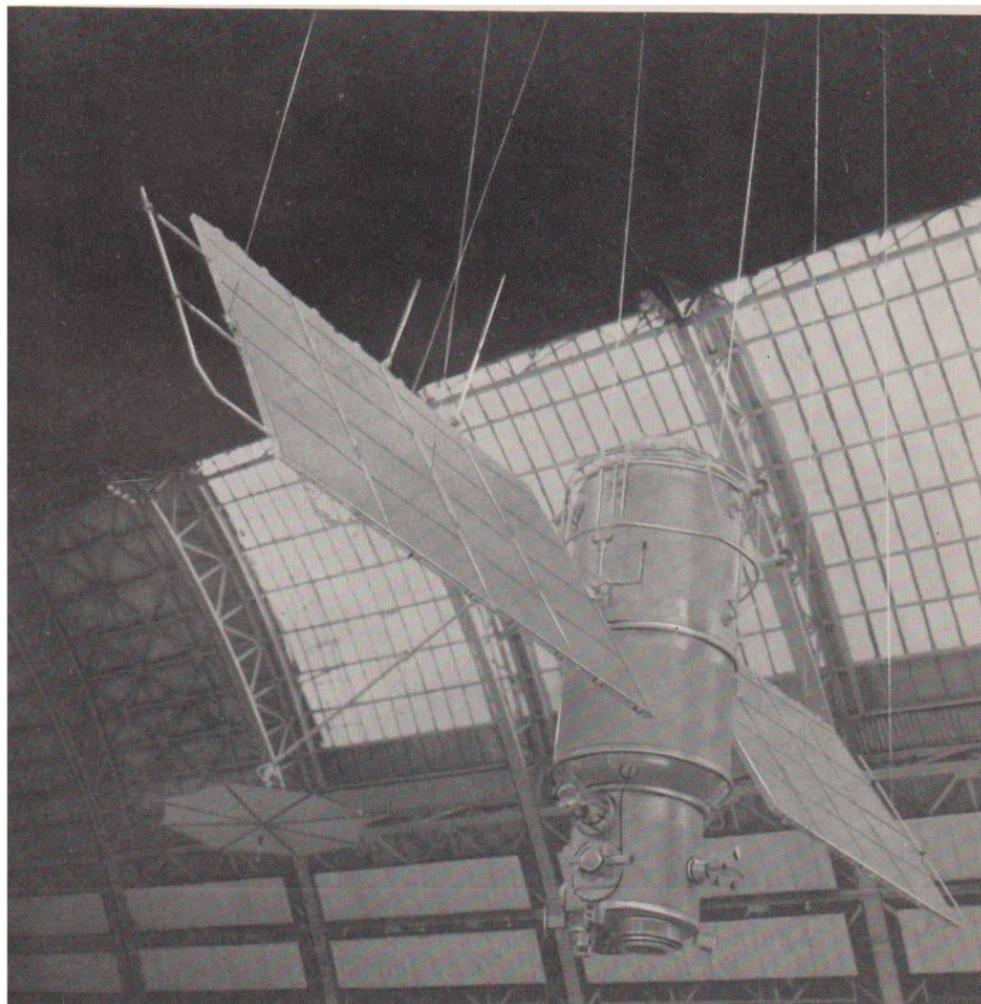


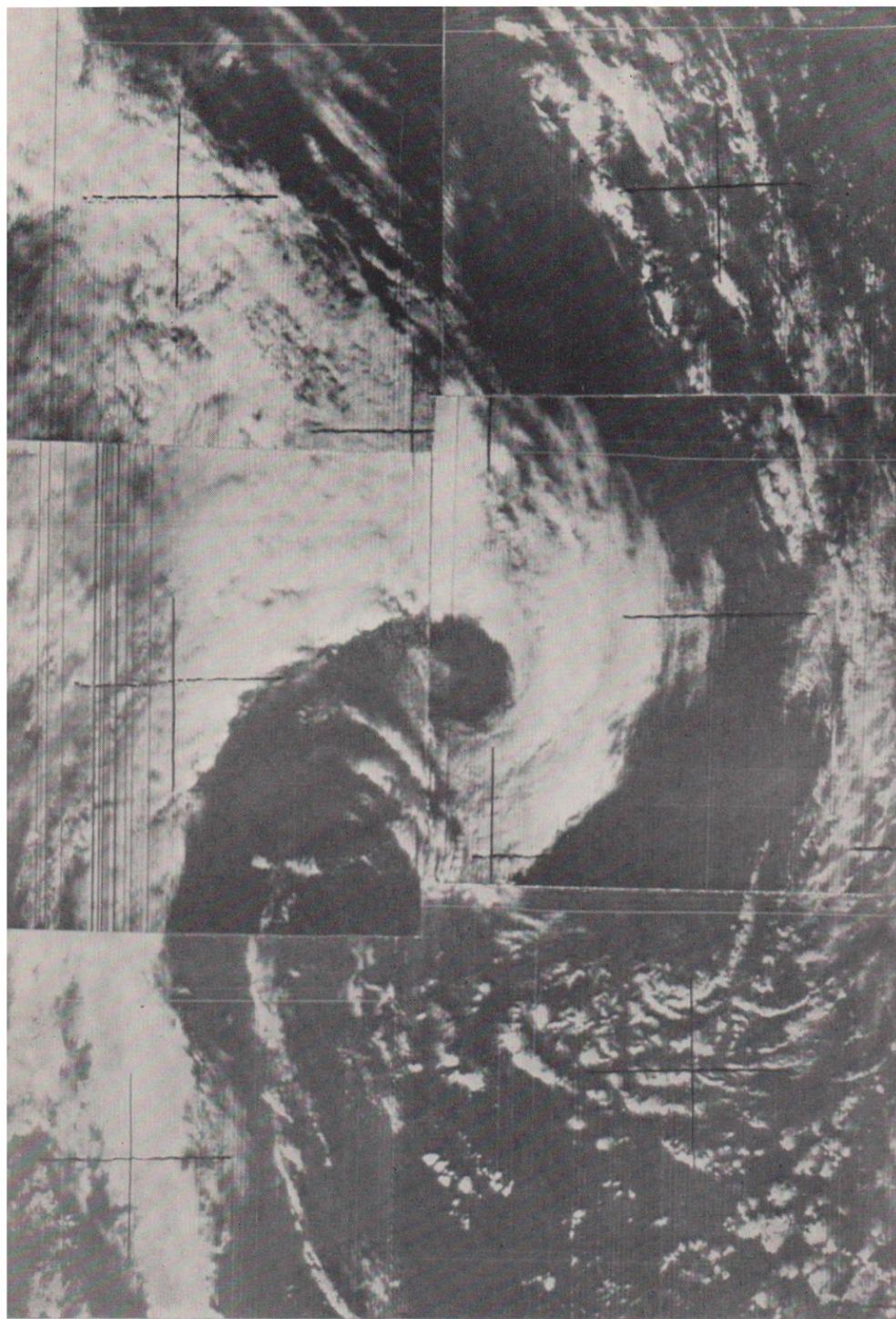
*Antenne der Erdstation des Nachrichtennetzes „Orbita“*



*Amerikanischer geodätischer Erdsatellit „ANNA 1 B“*

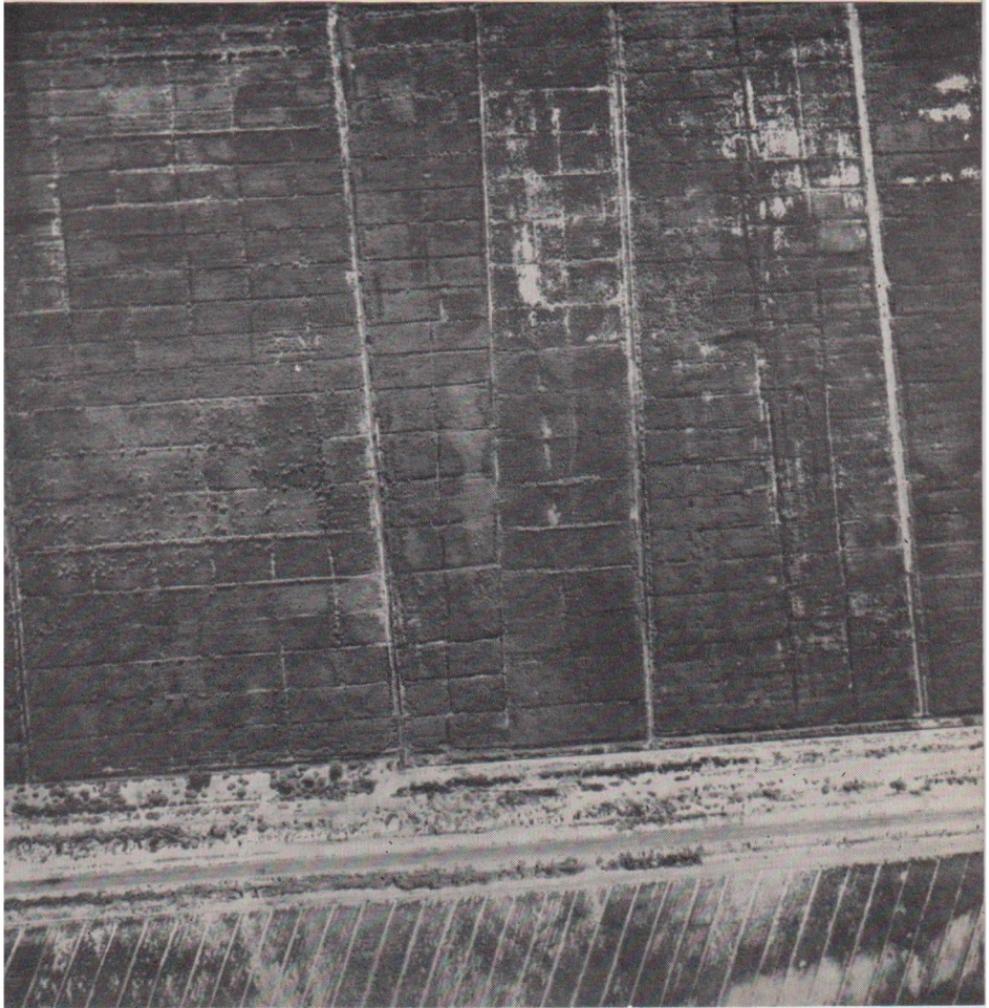
*Wettersatellit „Meteor“*





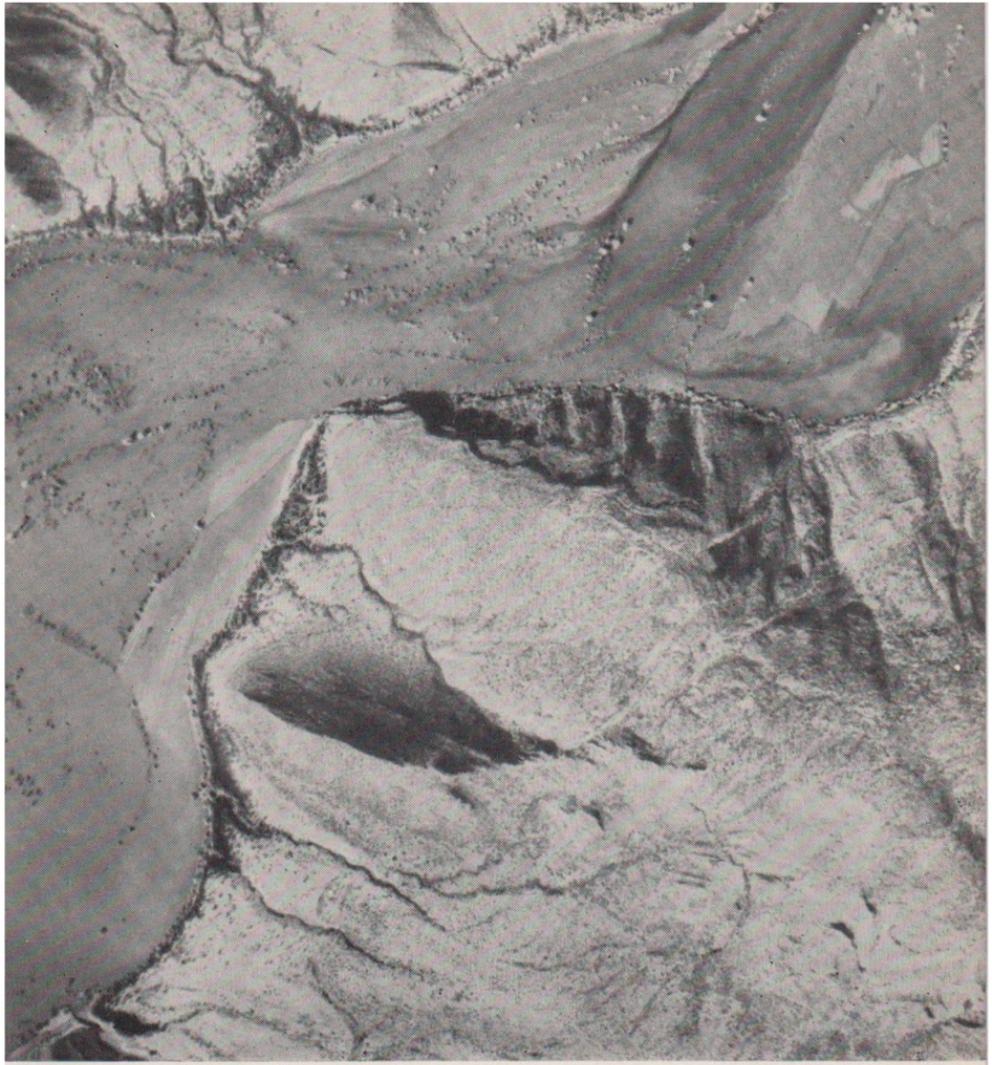
*Durch Sputnik „Meteor“ übermitteltes Fernsehbild eines Zyklons bei der Neuseelandküste*

*Weingarten auf durch Erosion geschädigtem Boden*

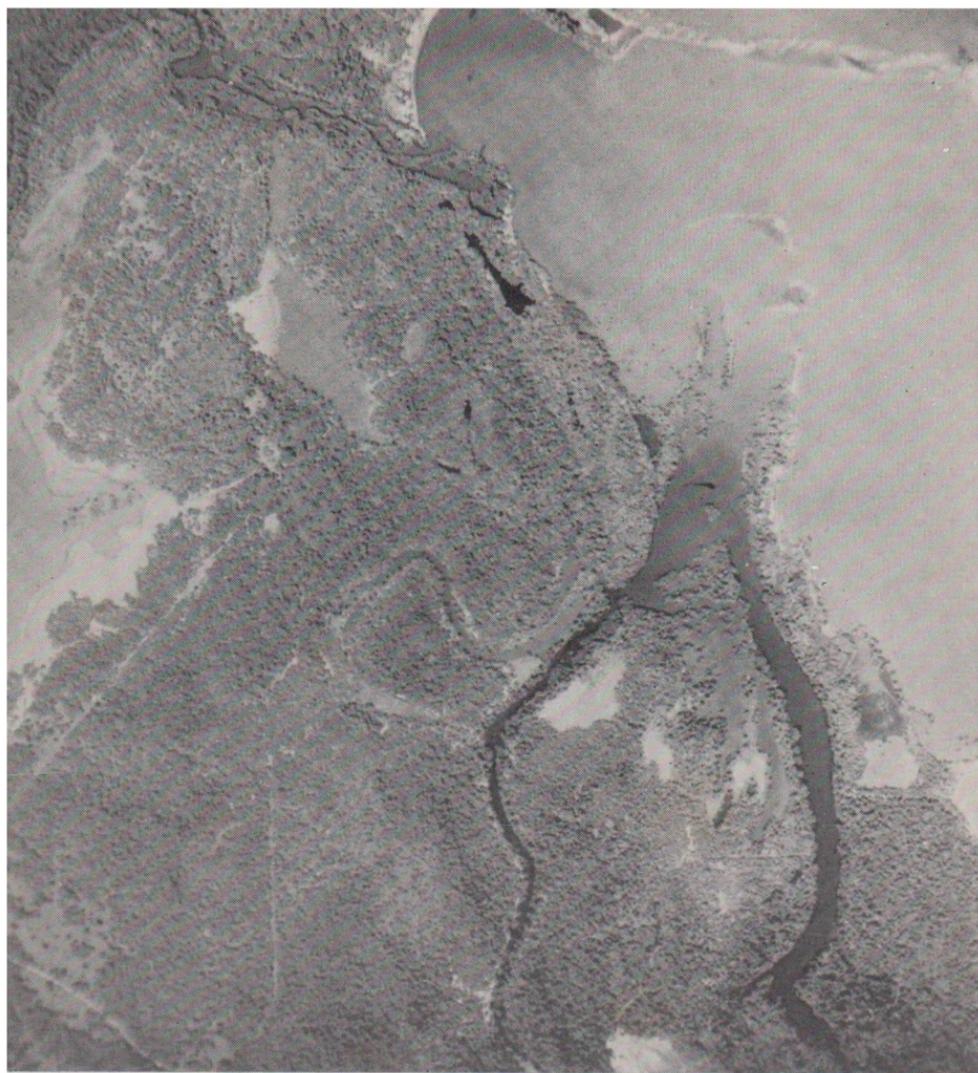




*Baumwollanbau auf durch Erosion geschädigtem Boden*



*Verunreinigter Fluß*



*Vernnreinihte Lagune*

ser Planet sieht etwa genau so aus, wie beim Flug in einem Düsenflugzeug in großen Höhen. Gebirgszüge, große Flußläufe, große Waldmassive, Inseln und die Küstenlinien zeichnen sich deutlich ab.“ Diese Beobachtungen des ersten Kosmonauten waren im Grunde genommen der Beginn für die Nutzung bemannter Raumflüge zu praktischen Zwecken.

Dem ersten bemannten Flug war eine sorgfältige und allseitige Durchprüfung der Raumfahrzeuge vorangegangen. Im Verlauf der Jahre 1960 und 1961 waren fünf „Raumschiff“-Satelliten in einer Testserie gestartet worden. Dabei erfolgte die Prüfung aller Systeme und Aggregate eines bemannten Raumfahrzeuges. In der gleichen Zeit bereiteten sich die Fliegerkosmonauten auf den Aufstieg in den Weltraum vor. Sie studierten Astronomie, Physik, Funktechnik, Elektronik und Telemechanik. Dazu kam eine spezielle physische Vorbereitung. Die zukünftigen Kosmonauten studierten das Raumfahrzeug und das gesamte Raketensystem. Schließlich bestätigte die Staatliche Kommission den Kosmonauten Nr. 1 und sein Double. Es waren Juli Gagarin und German Titow.

Es ist schwer, als erster in unbekannte Räume vorzudringen. Darum ehrt die Menschheit z. B. die Piloten, die unter großen Gefahren für das eigene Leben als erste den Lufthorizont bezwangen. Auch denen, die als erste die Pole erreichten, wird die gebührende Ehrung zuteil. Ebenso wird Juri Gagarin, dem ersten Kosmonauten der Welt, der in 108 Minuten unseren Planeten umflog, ewiger Ruhm zuteil.

Das Raumflugsystem „Wostok“ hatte für die Entwicklung der Weltraumfahrt große Bedeutung. Die Schaffung des Antriebssystems und der Raumflugkörper sowie die Durchführung des gesamten Flugprogramms zeugten von der schöpferischen Kraft und der Begeisterungsfähigkeit der Sowjetmenschen.

Nach Juri Gagarin flogen weitere kühne Eroberer des Weltraums mit „Wostok“-Raumschiffen in den Himmel: German Titow, Andrijan Nikolajew, Pawel Popowitsch, Waleri Bykowski sowie die erste Kosmonautin der Welt, Walentina Tereschkowa. Die bemannten Raumflüge mit den „Wostok“-Raumfahrzeugen (in den Jahren 1961 bis 1963) führten zur Lösung eines großen Kreises wissenschaftlicher und raumfahrttechnischer Probleme. Eines der wichtigsten Probleme war die Klärung der Möglichkeiten für

einen langfristigen Aufenthalt des Menschen im Weltraum sowie seiner Befähigung Steuerungsoperationen im Raumfahrzeug auszuführen. Insgesamt sechs Aufstiege in astronautische Freiflugbahnen waren ausnahmslos erfolgreich.

Die Erfahrungen, die mit den Raumfahrzeugen der „Wostok“-Serie gewonnen worden waren, erlaubten es, die verbesserten, mehrsitzigen Raumfahrzeuge der „Woschod“-Serie zu entwickeln, mit deren Hilfe viele unterschiedliche wissenschaftliche, medizinische und technische Experimente ausgeführt wurden.

Eine wichtige Etappe auf dem Entwicklungsweg der Kosmonautik war der Flug des Raumfahrzeuges „Woschod 2“ im Jahre 1965, in dessen Verlauf der Kosmonaut Alexei Leonow erstmals den Raumflugkörper verließ und den freien Weltraum betrat. Damit war bewiesen, daß der Mensch außerhalb der Raumschiffkabine zu arbeiten vermag.

Mit den bemannten Mehrzweck-Raumfahrzeugen der Serie „Sojus“ entwickelten die sowjetischen Konstrukteure sozusagen die zweite Generation bemannter Raumflugkörper. Sie sind für die Lösung eines weitgestreckten Kreises der unterschiedlichsten Probleme im Verlauf eines langfristigen Raumfluges sowie speziell zum Aufbau von Raumstationen bestimmt.

Im Januar 1969 wurden die beiden Raumfahrzeuge „Sojus 4“ und „Sojus 5“ gekoppelt. Sie bildeten damit die erste bemannte Experimentalstation der Welt.

Große Bedeutung für die Durchführung längerer bemannter Flüge hatte der Start von „Sojus 9“ (1. Juni 1970). Fast 18 Tage dauerte sein Flug mit den Kosmonauten Nikolajew und Sewastjanow an Bord. Die hierbei durchgeführten raumfahrtmedizinischen Untersuchungen erbrachten bis dahin einmaliges Material über den Gesundheitszustand und die Arbeitsfähigkeit des Menschen unter den Bedingungen eines längeren Aufenthaltes im Weltraum.

Der Arbeitstag der Kosmonauten Nikolajew und Sewastjanow umfaßte 14 bis 16 Stunden. Dabei überprüften sie das System für die Handsteuerung des Raumfahrzeuges, die weiter entwickelten autonomen Navigationsgeräte und vieles andere. Dreimal nahmen die Kosmonauten deshalb Bahnkorrekturen unter Verwendung des Lagerferenzsystems (für die Steuerung von Hand) vor. Zur Klärung der Möglichkeiten, irdische Ressourcen vom Weltraum aus zu beobachten, unternahm die Besatzung dieses Raumfahr-

zeuges eine Vielzahl von Versuchen. Außerdem erfolgte eine Untersuchung der Wetterlage im westlichen Teil des Indischen Ozeans. Dieses Gebiet wurde dabei gleichzeitig aus einer Höhe von 632 km durch den Satelliten „Meteor“ sowie mittels Ballonsonden vom Forschungsschiff „Akademik Schirchow“ aus beobachtet.

Am 19. April 1971 erfuhr die Welt davon, daß in der Sowjetunion die wissenschaftliche Raumstation „Salut“ gestartet worden war. Während der ersten Tage arbeitete die Station automatisch. Nach vier Tagen, am 23. April, wurde das Raumfahrzeug „Sojus 10“ auf die berechnete Bahn gebracht. An Bord befanden sich die erfahrenen Fliegerkosmonauten der UdSSR W. A. Schatalow und A. S. Jellissejew sowie der zum erstenmal in den Weltraum aufsteigende N. N. Rukawischnikow. Das Ziel des Fluges bestand in der Überprüfung der Betriebsfähigkeit der Station. Nach Ausführung des vorgesehenen Programms kehrte die Besatzung von „Sojus 10“ am 25. April auf die Erde zurück.

Am 6. Juni startete „Sojus 11“ mit dem Raumschiffkommandanten G. T. Dobrowolski, dem Bordingenieur Fliegerkosmonauten der UdSSR W. N. Wolkow sowie dem Forschungsingenieur V. I. Pazajew. Ihre Aufgabe war es, die Station „Salut“ zu erreichen und während eines längeren Fluges die verschiedenartigsten Untersuchungen durchzuführen. Am 7. Juni 1971 erreichten sie die Station „Salut“, wo sie ihre Arbeit aufnahmen. Damit wurde erstmals die wichtige raumflugtechnische Aufgabe gelöst, eine Besatzung mit Hilfe eines Zubringerraumfahrzeuges an Bord einer wissenschaftlichen Raumstation zu bringen.

Die erste bemannte Raumstation der Welt „Salut“ war eine eindrucksvolle Anlage, die aus einer Reihe von Sektionen bestand. Im Inneren befanden sich Vorräte an Wasser und Nahrungsmitteln in Spezialbehältern, die Lebenserhaltungssysteme, die Funkgeräte, die Apparaturen zur Steuerung des Komplexes, die Energieversorgungsanlagen, das Fluglageregelungssystem, die Vorrichtungen für das physische Training der Besatzung sowie wissenschaftliche und experimentelle Apparaturen.

In den Sektionen der Station „Salut“ sind mehrere Arbeits- und Ruheplätze vorhanden. Die in der Station installierte wissenschaftliche Apparatur gestattet die Ausführung eines großen Komplexes astrophysikalischer, physikalisch-technischer und medizinisch-biologischer Experimente so-

wie die weitere Prüfung der Steuerung und der sonstigen Systeme der Raumstation.

23 Tage hindurch führte die Besatzung der Station „Salut“ eine angestrengte und intensive Arbeit an Bord der Station aus. Insbesondere wurden auch Versuche mit Hilfe eines Gammateleskops durchgeführt. Weitere Arbeiten galten geologisch-geographischen Objekten der Erdoberfläche, verschiedenen atmosphärischen Gebilden, der Schnee- und Eisdecke der Erde sowie der Wetterlage. Einzelne Abschnitte der Erdoberfläche auf dem Territorium der UdSSR wurden zur Untersuchung natürlicher Erscheinungen sowie der Oberfläche von Gewässern spektrographiert.

Über dem Wolgagebiet wurde z. B. die Wolkendecke fotografiert, während gleichzeitig von Bord des Satelliten „Meteor“ die entsprechenden Fernsichtaufnahmen zur Erde gelangten. Im Gebiet des Kaspischen Meeres nahmen die Kosmonauten Spektralaufnahmen vor, die für die Landwirtschaft, die Melioration, die Geodäsie und die Kartographie benötigt wurden. Gleichzeitig erfolgte die Aufnahme der gleichen Gebiete von Flugzeugen aus.

Während des Fluges in der Umlaufbahn wurden viele medizinisch-biologische Untersuchungen ausgeführt. Spezielle Mittel für die notwendige physische Belastung der Kosmonauten wurden hierbei geprüft, desgleichen Anzüge unterschiedlicher Konstruktion, die ein besseres Ertragen der Schwerelosigkeit erlauben, weil sie den Organismus der Kosmonauten sowie ihr Skelett- und Muskelsystem belasten. Dank dieser Tatsache könnte es möglich sein, das bei Schwerelosigkeit eintretende Herauslösen des Kalziums aus den Knochen zu verhüten.

Die Tätigkeit der drei Kosmonauten an Bord der Raumstation „Salut“ erbrachte außerordentlich wertvolles wissenschaftliches Material. Die Besatzung kam jedoch bei der Rückkehr zur Erde ums Leben. Der Heldentat der kühnen Bezwiner des Kosmos G. T. Dobrowolski, W. N. Wolkow und V. I. Pazajew ist für immer in die Geschichte der Kosmonautik eingegangen.

Großen Nutzen bringen nicht nur bemannte Raumflüge, sondern auch Flüge der unterschiedlichsten unbemannten Raumflugkörper. Einen besonderen Platz im Raumfahrtprogramm der UdSSR nehmen die Satelliten der „Kosmos“-Serie ein, von denen bereits einige hundert gestartet wurden. Sie dienen der Erforschung der Sonnenaktivität, der

Beobachtung des Zustandes der Atmosphäre, der Ionosphäre und des Magnetfeldes. Sie führen außerdem medizinisch-biologische Untersuchungen und vieles andere durch. Am 16. März 1962 erreichte der erste Sputnik der „Kosmos“-Serie eine Umlaufbahn. Er diente der Erforschung der Ionosphärenstruktur, untersuchte ihre zeitliche sowie breiten- und längenabhängige Veränderlichkeit und bestimmte insbesondere die Elektronenkonzentration in Abständen von jeweils 1 bis 2 km.

Auf „Kosmos 1“ folgten dann noch viele andere. Am 28. Juli 1962 wurde „Kosmos 7“ gestartet, der die radioaktive Strahlung untersuchte, die nach einer in den USA vorgenommenen Kernexplosion entstanden war. Dies war notwendig, um die Strahlungsgefahr für den bevorstehenden Gruppenflug der Raumfahrzeuge „Wostok 3“ und „Wostok 4“ zu ermitteln. Die Hauptaufgaben der „Kosmos“-Satelliten bestehen in der Untersuchung der Sonnenaktivität und der Primärkomponente der kosmischen Teilchenstrahlung, der Elektronen- und Ionendichte in der Ionosphäre sowie der Messung des Erdmagnetfeldes, der chemischen Zusammensetzung der geladenen und neutralen Teilchen in der Hochatmosphäre, der Verteilungsdichte der Mikrometeoriten und meteorologischen Zwecken. Der erste meteorologische Satellit war „Kosmos 23“ (13. Dezember 1963).

Mit Hilfe der „Kosmos“-Serie wurden auch sehr viele technische Probleme zur Durchprüfung verschiedener neuer Systeme, Geräte und Aggregate gelöst. Insbesondere erfolgte mit Hilfe der Satelliten „Kosmos 186“ und „Kosmos 188“ (1967) die erste automatische Kopplung in der Weltraumfahrt. An den Satelliten „Kosmos 212“ und „Kosmos 213“ wurde dieses wichtige Experiment wiederholt.

Interessante technische Probleme wurden mit Hilfe der unbemannten manövrierfähigen Satelliten aus der Serie „Poljot“ gelöst, mit denen Systeme und Anlagen für größere Bahnmanöver überprüft wurden, um die Rendezvous-technik zu vervollkommen.

Die Erforschung des inneren und äußeren Strahlungsgürtels der Erde erfolgte mit Hilfe des Satellitensystems „Elektron“, das aus zwei Raumflugkörpern bestand. Beide wurden von einer gemeinsamen Trägerrakete in ihre Umlaufbahnen gebracht, die für „Elektron 1“ eine Apogäumshöhe von 7000 km und für „Elektron 2“ eine Apogäumshöhe von 70 000 km ergaben. Es wurden zwei derartige Unternehmen

gestartet. Das erste bestand aus den Satelliten „Elektron 1“ und „Elektron 2“ (30. Januar 1964) und das zweite aus den Satelliten „Elektron 3“ und „Elektron 4“ (11. Juli 1964). Der Start zweier Satellitensysteme des Typs „Elektron“ erlaubte die ununterbrochene Untersuchung der Strahlungsinintensität in unterschiedlichen Höhen und die Aufstellung einer dosimetrischen Karte der Strahlungsgürtel unserer Erde.

Messungen des Energiespektrums und der Zusammensetzung der kosmischen Primärstrahlung hoher und extrem hoher Energie erfolgten in den wissenschaftlichen Forschungssatelliten des Typs „Proton“.

Zur Herstellung einer regelmäßigen Funkverbindung mit Hilfe von Nutzanwendungssatelliten wurden — wie in diesem Buch ausführlich dargestellt — Raumflugkörper des Typs „Molnija“ sowie für systematische meteorologische Beobachtungen die Satelliten der Serie „Meteor“ eingesetzt.

Flüge des Menschen zu anderen Planeten stellen eines der verheißungsvollsten Verlangen des Menschen dar. Solchen Unternehmen muß jedoch eine sorgfältige Vorbereitung vorangehen. Dazu gehört das Studium der Bedingungen auf den Planeten des Sonnensystems.

Heute gehen dem Menschen auf allen kosmischen Bahnen seine Kundschafter, die Automaten, voraus. Da dies der rentabelste Weg für die Entwicklung der Weltraumfahrt ist, wird den automatischen Apparaten im sowjetischen Raumfahrtprogramm eine besondere Rolle zugeordnet. Neben den Raumflugkörpern der Typen „Kosmos“, „Poljot“, „Proton“, „Elektron“, „Meteor“ und „Molnija“ haben die Instrumenten- und Geräteträger der Serien „Sonde“, „Luna“, „Venus“ und „Mars“ große Popularität erlangt.

Schon 15 Monate nach dem Start des ersten künstlichen Erdsatelliten flog die sowjetische Sonde „Luna 1“ in Richtung Mond, dem sie sich nach 34 Flugstunden bis auf etwa 5000 km Entfernung näherte. Im Schwerefeld des Mondes wurde ihre Bahn so abgelenkt, daß sie zum ersten künstlichen Planeten des Sonnensystems wurde.

Im Februar 1961 wurde dann die „Venus 1“ zum ersten Raumflugkörper, den die Menschen zu einem anderen Planeten schickten. Im November 1962 wurde eine neue sowjetische Raumsonde gestartet. Diesmal führte der Weg zum Mars.

Im weiteren Verlauf der Raumfahrtentwicklung wurden

die sowjetischen Raumflugkörper immer komplizierter, und schließlich wurden daraus ganze automatisierte Komplexe.

Der Flug der automatischen Sonde „Luna 3“ verblüffte z. B. durch die Exaktheit der raumflugtechnischen Berechnungen. Auf ihrer primären Flugbahn in Form einer langgestreckten Ellipse mit einem Apogäum von 450 000 km gelangte die Station am 7. Oktober in einer Entfernung von 68 000 km am Mond vorbei. Von diesem Bahnabschnitt aus war die optische Apparatur der Station imstande, die von der Sonne hell beleuchtete Rückseite des Mondes zu erfassen. Erstmals in der Geschichte wurden die von der Erde aus nicht sichtbaren Mondteile fotografiert. Innerhalb von 40 Minuten wurden einige hundert Aufnahmen in verschiedenen Maßstäben gemacht. Danach wurden die Filme unmittelbar an Bord der Station automatisch entwickelt, und ein Foto-Fernsehgerät übertrug die Aufnahmen zur Erde, als sich die Station in einer Entfernung von etwa 40 000 km (Perigäum) befand.

Die dem irdischen Beobachter verborgene Rückseite des Mondes erwies sich als der uns bereits bekannten Seite ähnlich, obwohl es Unterschiede gibt. Auf der Rückseite überwiegt der Kontinentalschild, und die für die sichtbare Mondseite charakteristischen großen „Meeresgebiete“ fehlen. Auf der Grundlage der Fotos wurden der erste Atlas der Mondrückseite sowie ein Mondglobus hergestellt.

Die Station „Luna 3“ hatte jedoch nicht den gesamten von der Erde aus unsichtbaren Teil des Mondes fotografiert. Diese Arbeit wurde 1965 von der automatischen Station „Sonde 3“ abgeschlossen.

Am 3. Februar 1966 vollführte der Meßgerätebehälter der sowjetischen Raumsonde „Luna 9“ erstmals eine weiche Landung auf der Mondoberfläche im Gebiet des Ozeans der Stürme (Mare Procellarum). Die Geräte stellten fest, daß die Radioaktivität an der Mondoberfläche die für den Menschen zulässigen Werte nicht übersteigt.

75 Stunden lang arbeiteten die Systeme der automatischen Sonde einwandfrei. Sie übertrugen Panoramaaufnahmen der Mondlandschaft auf die Erde, die in allen Zeitungen der Welt veröffentlicht wurden.

Am 21. Dezember 1966 ging als zweite Landungssonde „Luna 13“ auf der Mondoberfläche in der Nähe der Westgrenze des Ozeans der Stürme etwa 300 km vom Landeort

der Station „Luna 9“ entfernt nieder. Die Sonde lieferte neue Nahaufnahmen der Mondlandschaft bei unterschiedlichem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen. Ein mechanischer Bodenprüfer und ein Strahlungsmeßgerät wurden mit Hilfe einer Vorrichtung in etwa 1,5 m Entfernung auf den Mondboden gebracht. Erstmals wurden auf diese Weise die Festigkeit der oberflächennahen Schicht und die effektive Temperatur des Mondbodens gemessen.

Die Lösung einer Reihe wichtiger Probleme der Selenologie (Mondkunde) erforderte die Entwicklung eines künstlichen Mondbegleiters. Dies war eine weitere Etappe im sowjetischen Mondforschungsprogramm. Im April 1966 wurde die Raumsonde „Luna 10“ zum ersten künstlichen Mondsatelliten. Die Wissenschaft erhielt durch sie viele wertvolle neue Angaben über das Schwere- bzw. Magnetfeld des Mondes sowie mittelbare Angaben über die chemische Zusammensetzung und die Radioaktivität des Mondbodens.

Zur systematischen Erforschung des Mondes und des mondnahen Raumes wurden die Raumflugkörper „Luna 11“, „Luna 12“, „Luna 14“ und „Luna 19“ auf Mondumlaufbahnen gebracht.

Einen weiteren Beitrag zur Raumfahrttechnik lieferten die sowjetischen Konstrukteure zum 100. Geburtstag W. I. Lenins. Sie entwickelten den automatischen Raumflugkörper „Luna 16“, dessen Rückkehrkapsel am 24. September 1970 eine Mondbodenprobe auf die Erde brachte.

Am 17. November 1970 führte die Station „Luna 17“ eine weiche Landung im Meer des Regens (Mare Imbrium) aus. Über eine Spezialrampe rollte der erste mobile Apparat, „Lunochod 1“, auf den Mondboden. Dieses fernlenkbare Laboratorium löste einen komplizierten Komplex wissenschaftlicher und raumfahrttechnischer Aufgaben. Dazu gehörten das Studium der topographischen und geologisch-morphologischen Besonderheiten der Landschaft, die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung und der physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Mondbodens, die Untersuchung der besonderen Strahlungssituation auf dem Mond sowie Versuche zur Laserortung des Mondes mit Hilfe eines Winkelreflektors, der von französischen Wissenschaftlern entwickelt worden war. Daneben erfolgte zugleich die weitere Erprobung der Landstufe und des Verfahrens für die Landung an der Mondoberfläche. Außerdem wurden die Fernsteuerungsverfahren für Mondfahrzeuge sowie viele

neue Baugruppen und Aggregate des „Mondroboters“ und insbesondere das Fahrgestell in seiner neuartigen Konstruktion überprüft. Alle Aufgaben wurden erfolgreich gelöst.

Wie die Bearbeitung der Daten zeigte, die während der Arbeitsphasen von „Lunochod 1“ erhalten wurden, stellt die Mondoberfläche im Landegebiet eine Ebene dar, die nach Süden hin einen geringen allmählichen Anstieg aufweist. Die lokalen Steigungen außerhalb der Krater sind geringfügig und betragen nur selten wenige Grad. In der Nähe der Krater und an ihren Hängen erreichten Neigung und Schräglage des Mondfahrzeugs  $20^{\circ}$  und mehr. Es wurde festgestellt, daß unter den kleinen Kratern solche mit geglätteten Formen überwiegen und daß die Anzahl frischer Meteoritenkrater mit klar ausgeprägten Reliefformen höchst unbedeutend ist. Das Untersuchungsgebiet ist für die Mondmeere typisch: große Ergüsse von Basaltlava, die an der Oberfläche von einer lockeren Bodenschicht (Regolit) bedeckt sind.

Die physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Mondbodens wurden nach mehreren Verfahren untersucht. Bei einem dieser Verfahren wurde ein kegelförmiger, mit Schaufeln versehener Stempel in den Boden eingedrückt und gedreht. Ein anderes Verfahren beruhte auf der Untersuchung der Wechselwirkung der Räder mit dem Boden. Außerdem wurden die physikalisch-mechanischen Eigenschaften anhand der Radspuren auf den Fernsichtbildern untersucht. Aus der Eindringtiefe der Räder und dem Charakter der Bodendeformation unter den Rädern kam man zu Schätzungen der Festigkeitseigenschaften des Bodens und seiner Struktur. Die Bearbeitung der Daten zeigte, daß der Boden auf der Trasse des Mondmobils ein feinkörniges Material darstellt, das an vulkanischen Sand erinnert. Es wurden Inhomogenitäten der mechanischen Bodeneigenschaften beobachtet.

Ein neuer Schritt in der Weltraumastronomie war der Transport eines Gammastrahlenteleskops auf den Mond. Es wurde dann in Betrieb genommen, wenn „Lunochod 1“ an einer Stelle verweilte. Mit seiner Hilfe wurden das allgemeine Rauschen (diffuses Rauschen) sowie diskrete Röntgenquellen untersucht.

Der Strahlungsmesser von „Lunochod 1“ fixierte wiederholt ein erhebliches Zunehmen der Protonen-, Elektronen- und Alphateilchen-Ströme. So wurde beispielsweise, beginnend mit dem 12. Dezember 1970, ein Anstieg der Intensität

der solaren Korpuskularströme etwa um den Faktor 100 000 registriert. Auf der Erde war zu dieser Zeit ein starker Magnetsturm zu beobachten. Diese Erscheinungen wurden durch eine Reihe intensiver Sonneneruptionen verursacht.

Zur genauen Messung der Entfernung zwischen Mond und Erde führten sowjetische und französische Wissenschaftler gemeinsam eine Laserortung mit Hilfe eines besonderen Laserreflektors aus, der in Frankreich entwickelt und auf „Lunochod 1“ installiert worden war. Die Ortung erfolgte von Mitarbeitern des Astrophysikalischen Laboratoriums der Akademie der Wissenschaften der UdSSR auf der Krim sowie des französischen Observatoriums auf dem Pic du Midi.

„Lunochod 1“ war das erste Transportmittel, das für die Fortbewegung über die unerforschte Oberfläche eines Himmelskörpers bestimmt war. Dieses Mondmobil besteht aus zwei Hauptteilen: dem hermetisch abgeschlossenen Gerätebehälter mit den Antennenanlagen und dem achträdri gen Fahrgestell, das eine hohe Geländegängigkeit aufweist. Die Masse des „Lunochod“ entspricht etwa einem Pkw mit geringem Hubraum.

Das Gehäuse der hermetisch abgeschlossenen Gerätesektion ist aus leichten, hochfesten Magnesiumlegierungen gefertigt. Der obere Teil des Gehäuses dient als Wärmeabstrahlungsfläche des Temperaturregelungssystems und wird während der Mondnacht durch einen Spezialdeckel verschlossen, so daß dann die Abstrahlung von Wärme verhindert wird. Bei Anbruch des Mondtages öffnet sich der Deckel. Dabei erfolgt durch die an der Innenseite angeordneten Solarzellen das Nachladen der Akkumulatoren.

Um die Temperatur im Inneren des Behälters aufrechtzuerhalten, wird das im Apparat zirkulierende Gas durch eine Isotopenbatterie aufgeheizt.

Am Vorderteil des Behälters befinden sich die Objektive der Fernsehkameras, der Schwenkmechanismus für die Richtantenne, die zur Übertragung der Fernsehbilder von der Mondoberfläche an die Erde dient, eine Antenne mit schwacher Richtwirkung, die den Empfang von Befehlen über Funk sowie die Übertragung von Meßwerten gewährleistet, und der Laserreflektor. Links und rechts sind je zwei Panoramafernsehkameras und vier Stabantennen installiert. Innerhalb der eigentlichen Gerätesektion befinden

sich alle Hilfsvorrichtungen sowie sämtliche wissenschaftliche Geräte.

Das achträdrige Fahrgestell ist so ausgeführt, daß seine Geländegängigkeit auf dem Mondboden und sein zuverlässiger Betrieb im Verlauf eines langen Zeitraumes bei minimalem Eigengewicht und Energiebedarf gewährleistet sind. Das Mondfahrzeug kann mit zwei Geschwindigkeiten vorwärts- und rückwärtsfahren und sowohl auf der Stelle als auch in Fahrt wenden. Jedes der acht Antriebsräder besitzt eine eigene Kraftübertragung und eine unabhängige Torsionsaufhängung. Im Inneren jeder Radnabe befinden sich ein Elektromotor, ein Getriebe, die Bremse, die Antriebskupplung sowie ein Drehzahl- und ein Temperaturgeber. Automatikbaugruppen gewährleisten die Steuerung des Fahrzeuges.

Der Gesamtsteuerungsprozeß war äußerst kompliziert. Die Steuerung erfolgte durch eine besondere „Besatzung“ von der Leitzentrale aus. Zu dieser Bodenmannschaft gehörten der Kommandant, der Fahrer, der Navigator, der „Bordingenieur“ und ein Techniker, der für die Funktionssicherheit des irdischen Komplexes der funktechnischen Apparatur verantwortlich war.

Da die Entfernung zum Mond rund 400 000 km beträgt, gelangt jedes Steuerungskommando erst einige Sekunden nach den gerade erfaßten tatsächlichen Situationen zum Mondfahrzeug, denn die Laufzeit eines Signals umfaßt ja den Hin- und Rückweg sowie die Zeit, die zur Einschätzung der erhaltenen Information und zur Entscheidungsfindung notwendig ist. Während dieser Zeit hat aber der Apparat bereits einige Meter zurückgelegt. Aus diesem Grunde arbeitet das Bodenkommando unter einer starken psychischen und physischen Beanspruchung.

Mit „Lunochod 1“ wurde ein wichtiger Schritt zur Schaffung hocheffektiver mobiler Automaten getan, die imstande sind, komplizierte wissenschaftliche und technische Probleme in beliebigen Gebieten der zu untersuchenden Himmelskörper selbständig zu lösen.

Der Februar 1972 brachte einen neuen bedeutenden Erfolg bei der Erforschung des Mondes. Am 14. Februar wurde die Raumsonde „Luna 20“ gestartet. Ihr Landeteil setzte weich auf der Mondoberfläche auf, und am 25. Februar brachte der Rückkehrkörper neue Mondbodenproben zur Erde zurück. Es waren erstmals Mondproben aus einem ge-

birgigen Kontinentalgebiet, das sich zwischen dem Meer der Fruchtbarkeit (Mare Foecundidatis) und dem Meer der Gefahren (Mare Crisium) befindet. Dieses Experiment war besonders kompliziert, da die weiche Landung in einem gebirgigen Gelände mit kompliziertem Relief erfolgen mußte. Der neue automatische „Mondgeologe“ löste seine Aufgaben mit Erfolg.

Durch das Gebirgsmassiv, welches das Meer der Fruchtbarkeit vom Meer der Gefahren trennt, verläuft eine ganze Reihe von Furchen und Verwerfungen, die die relativ alten Mondkordillernen bilden. Ungefähr 10 km vom Landeort der Mondstation „Luna 20“ entfernt befindet sich der junge Krater Apollonius-C, der offenbar ein Meteoritenkrater ist und bei einer Tiefe von etwa 1 km einen Durchmesser von 10 km aufweist. Der Boden in einem derartigen Gebiet enthält relativ viel aus tieferen Lagen emporgeschleudertes Material, so daß interessante Aufschlüsse über die Vielfalt der Zusammensetzung der Mondgesteine erwartet werden konnten.

Diese Forschungen haben nicht nur wissenschaftliche, sondern auch große praktische Bedeutung, da die „Mondgeologie“ den Schlüssel zur Enträtselung der Erdentstehung und damit auch zur Ermittlung von Lagerstätten bildet. In fernerer Zukunft wird auch die Nutzung der eigentlichen Mondressourcen unumgänglich sein.

Der Mond ist der erdnächste Himmelskörper, und man hört hin und wieder die Auffassung, daß er in relativ naher Zukunft so etwas wie ein siebenter Kontinent unseres Planeten werden könnte. Das sowjetische Programm für die Erforschung des Weltraums sieht jedoch auch die Erforschung weiter abgelegener Himmelskörper, nämlich der Planeten des Sonnensystems, vor.

Die erdnächsten Planeten sind die Venus und der Mars. Sie gehören zu den sogenannten Planeten der Erdgruppe. Ihre Erforschung ist von großem wissenschaftlichem Interesse. Wie bereits gesagt wurde, sind die sowjetischen Raumsonden seit 1961 an die systematische Erforschung dieser Planeten gegangen. Die von ihnen zu lösenden Probleme werden immer komplizierter.

Im Laufe der Jahre 1961 bis 1972 wurden acht Raumflugkörper der Serie „Venus“ und drei der Serie „Mars“ gestartet.

Am 17. August 1970 erfolgte der Start der Raumsonde

„Venus 7“. Ihre Masse betrug 1 180 kg. Am 15. Dezember 1970 erreichte sie nach einem 120tägigen Flug die Venus, nachdem sie etwa 320 Mill. km zurückgelegt hatte. Der Landekörper des Raumflugkörpers vollzog einen gleichmäßigen Abstieg in der Planetenatmosphäre und erreichte die Oberfläche.

Zur Messung des Druckes und der Temperatur der Venusatmosphäre enthielt die Landekapsel von „Venus 7“ eine Spezialapparatur, mit der Temperaturmessungen im Bereich von 25 bis 540 °C und Druckmessungen zwischen 0,5 und 150 at möglich waren. Während der Landung wurde die Sinkgeschwindigkeit gemessen und aus der Abstiegszeit der zurückgelegte Weg ermittelt. Am Landeort wurden folgende Atmosphärenparameter registriert: Temperatur  $475 \pm 20^\circ\text{C}$ , Druck  $90 \pm 15$  at.

Somit wurde bestätigt, daß die Venus eine außerordentlich stark aufgeheizte Atmosphäre besitzt, deren Dichte an der Oberfläche etwa 60mal größer ist als die Atmosphärendichte an der Erdoberfläche.

Dieses bedeutende Experiment legte den Grundstein für direkte Versuche an der Venusoberfläche; außerdem wurde das komplizierte raumfahrttechnische Problem gelöst, wissenschaftliche Daten bei extrem hohen Drücken und Temperaturen zu gewinnen.

Die Raumsonde „Venus 8“ erreichte den „Morgenstern“ am 22. Juli 1972 nach 117tägigem Flug, bei dem sie über 300 Mill. km zurückgelegt hatte. Prinzipiell neue Aufgaben waren von ihr zu lösen: Sie sollte erkunden, welche Lichtverhältnisse auf der Tagseite des Planeten unterhalb der Wolkenschicht und an der Planetenoberfläche herrschen. Außerdem sollte sie Daten über die Stoffe erzielen, aus denen die Venus aufgebaut ist.

Zu diesem Zweck waren in der Landekapsel alle notwendigen wissenschaftlichen Geräte installiert. Die Konstruktion des Eintauchkörpers gewährleistete die Funktionsicherheit unter den schwierigen Verhältnissen auf der Venus. Alle Systeme und Aggregate arbeiteten einwandfrei und synchron. Im Verlaufe des Abstiegs innerhalb der Atmosphäre wurden von verschiedenen Höhen aus Angaben über den Druck, die Temperatur und die Lichtstärke erhalten.

Etwa eine Stunde lang setzte die von Menschenhand geschaffene Landungs- sonde „Venus“ ihre Arbeit an der Oberfläche des erdnächsten Planeten fort.

Von außergewöhnlichem Interesse ist die Marsforschung. Dieser Planet hat schon immer die besondere Aufmerksamkeit der Wissenschaftler auf sich gezogen und die Vorstellungskraft der Menschheit stärker als andere Planeten bewegt. Bis in die jüngste Vergangenheit hinein hegte man sehr große Hoffnungen, dort auf vernunftbegabte Wesen zu treffen. Diese Hoffnungen sollten sich nicht erfüllen. Aber auch jetzt noch bewegt die Wissenschaftler die Frage, ob auf dem Mars Leben — und sei es in einfachsten Formen — vorhanden ist.

Am 19. Mai 1971 erfolgte der Start des Raumflugkörpers „Mars 2“ mit Hilfe einer hochleistungsfähigen Trägerrakete. Und am 28. Mai folgte „Mars 3“. Nach einer dritten Bahnkorrektur wurde vom Raumflugkörper „Mars 2“ am 27. November 1971 eine Kapsel abgetrennt, die die Marsoberfläche erreichte. Und am 2. Dezember 1971 löste sich von „Mars 3“ eine Landungssonde, die auf dem Planeten weich aufsetzte.

„Mars 2“ und „Mars 3“ waren mit automatischen Fluglageregunssystemen mit einer Funkfernsteuerung, mit Vorrichtungen für die Bahnvermessung und für die Informationsübermittlung, einer Energieversorgungsanlage, einer Temperaturregelung, einer Programmsteuerung, dem Antriebssystem sowie mit einem Komplex wissenschaftlicher Apparaturen ausgerüstet. Der Landekörper bestand aus der automatischen Marssonde, dem Fallschirm-Behälter, dem aerodynamischen Bremskegel und dem Verbindungsrahmen. Die Landeapparate waren mit Systemen und Geräten ausgerüstet, die das Abtrennen vom Raumflugkörper gewährleisteten sowie den Übergang auf eine Abstiegsbahn einleiteten. Sodann folgten die Bremsung durch das Ausstoßen des Bremsfallschirms, der Abstieg in der Atmosphäre und die weiche Landung an der Oberfläche des Planeten.

„Mars 2“ und „Mars 3“ absolvierten auf ihrer astronautischen Freiflugbahn einen umfangreichen Komplex von Forschungsarbeiten. Sie setzten dieses Programm im planetennahen Raum (d. h. auf der Bahn eines künstlichen Satelliten) und dann auf dem Planeten fort. Mit „Mars 3“ wurde auch ein gemeinsames sowjetisch-französisches Experiment unter der Bezeichnung „Stereo“ zur Untersuchung der Radiofrequenzstrahlung der Sonne durchgeführt. Hierbei wurden die räumliche Struktur, die Richtung und der Mechanismus des Strahlungsprozesses untersucht.

Hochinteressant waren die Marsfotografien, die von den künstlichen Satelliten aus erhalten wurden. In der ersten Zeit war das Fotografieren wegen eines heftigen Staubsturmes erschwert, der einige Monate lang auf dem Planeten tobte. Schließlich legte sich der Sturm wieder, und es gelang, einige gute Aufnahmen von verschiedenen Marsgebieten zu erhalten.

Die Raumsonden „Mars 2“ und „Mars 3“ sind Musterbeispiele für moderne hochkybernetisierte Flugapparate, bei deren Projektierung rationelle raumflugtechnische Lösungen sowie eine hohe Rentabilität die hauptsächlichen Kriterien waren. Es genügt wohl, eine Reihe von Problemen aufzuzählen, die gelöst werden mußten, um den Beitrag der Schöpfer dieser Stationen zur Entwicklung der Kosmonautik zu begreifen. Ein Flug zum Mars bedeutet, daß sich der Raumflugkörper während des Fluges von der Sonne entfernt; mit zunehmender Entfernung der Flugbahn von der Sonne nimmt die Intensität der Sonnenstrahlung wesentlich ab. Aus diesem Grunde war zur Aufrechterhaltung der für die Betriebsfunktionen notwendigen Temperatur ebenso wie für die Funktion der Solarzellen die Lösung einer Reihe komplizierter konstruktiver Fragen erforderlich.

Die Entfernung von der Erde zum Mars beträgt rund 100 Mill. km. Über diese Entfernung mußten große Informationsströme (Fernsehbilder) übertragen werden, was ein kompliziertes funktechnisches Problem darstellt. Die Flugdauer betrug etwa ein halbes Jahr. Dazu kamen noch viele Betriebsmonate auf der Umlaufbahn um den Mars. Die Zuverlässigkeit dieses technischen Systems ist deshalb ein großes Problem. Die Forderung nach autonomer Funktion, die wegen der großen Entfernung von der Erde gestellt werden mußte, und die Kompliziertheit der Operationen erforderten die Entwicklung einer Reihe prinzipiell neuartiger Systeme, darunter auch die Entwicklung eines Bordrechners. Besondere Aufmerksamkeit widmeten die Konstrukteure der optimalen Verteilung der Aufgaben zwischen den Bodenmitteln und der Bordautomatik. Besonders große Schwierigkeiten mußten überwunden werden, als es darum ging, zum ersten Mal das Problem einer weichen Landung auf dem Mars zu lösen. Die nur wenig erforschten Verhältnisse in der Atmosphäre und an der Oberfläche des Planeten selbst, Staubstürme von grandiosen Ausmaßen sowie eine Reihe konstruktiver und energetischer Beschrän-

kungen machten dieses Problem zu einem der interessantesten, aber auch schwierigsten der Raumflugtechnik überhaupt.

Die Abstiegsstrategie erforderte die Entwicklung eines sogenannten Hybridsystems: die Bremsung in den oberen Schichten der Atmosphäre durch ein Stirnschild besonderer Form, danach eine Fallschirmbremsung (wobei erstmals in der Geschichte ein „Überschall“-fallschirm entwickelt werden mußte) und unmittelbar über der Oberfläche das Einschalten des Triebwerks für die weiche Landung und schließlich im Augenblick der Landung die Benutzung einer Stoßdämpfervorrichtung.

Die erfolgreiche Lösung wichtiger wissenschaftlicher Probleme durch die Raumflugkörper „Mars 2“ und „Mars 3“ ist eine der leuchtenden Seiten des sowjetischen Programms zur Erschließung des Weltalls.

Im sowjetischen Raumfahrtprogramm wird der internationalen Zusammenarbeit ein hervorragender Platz eingeräumt. Das Programm sieht nicht allein die gemeinsame Ausführung von Experimenten vor, sondern auch die Schaffung und den Betrieb internationaler Satelliten, beispielsweise der Serie „Interkosmos“.

In Übereinstimmung mit dem „Vertrag über die Rettung von Kosmonauten sowie die Rückführung von Kosmonauten und die Rückführung von in den Kosmos gestarteten Objekten“, der im Oktober 1970 von der XXII. Tagung der Vollversammlung der UNO bestätigt wurde, begannen sowjetisch-amerikanische Gespräche über die Zusammenarbeit bei der Vereinheitlichung der Kopplungselemente von Raumfahrzeugen. Es wurde ein Abkommen erzielt, demzufolge 1975 die Kopplung eines sowjetischen Raumfahrzeuges vom Typ „Sojus“ mit einem amerikanischen „Apollo“-Raumfahrzeug erfolgen soll.

Auf der 61. Generalkonferenz der FAI (Internationale Luftfahrtföderation), die vom 26. bis 30. November 1968 in London stattfand, wurde der Beschluß gefaßt, alljährlich am 12. April den Welttag der Luftfahrt und Kosmonautik zu begehen. Diese Tatsache bezeugt die internationale Anerkennung des hervorragenden Beitrages der Sowjetunion zur Erschließung des Weltraums und ist ein Zeichen der Hochachtung, die der erste Kosmonaut der Welt Juri Gagarin genießt.

Die anwendungstechnische Nutzung der Weltraumfahrt,

Langzeit-Raumstationen, die umfassende Entwicklung von Raumflugkörpern und die internationale Zusammenarbeit sind die Grundelemente des sowjetischen Raumfahrtprogramms, das wohlüberlegt, gesetzmäßig und planmäßig fortentwickelt wird.

In einer Rede anlässlich eines Meetings mit den heldenhaften Besatzungen der Raumflugkörper „Sojus 6“, „Sojus 7“ und „Sojus 8“ sagte der Generalsekretär des ZK der KPdSU, L. I. Breschnew: „Unser Land verfügt über ein umfangreiches Kosmosprogramm, das auf lange Jahre berechnet ist. Wir gehen unseren Weg folgerichtig und zielstrebig...“

Die Sowjetunion faßt die Weltraumforschung als eine große Aufgabe zum Erkennen und praktischen Beherrschen der Naturkräfte und -gesetze im Interesse des arbeitenden Menschen und im Interesse des Weltfriedens auf.“

„Vorwärts, immer nur vorwärts! Das Weltall gehört dem Menschen.“ Diese Worte des Begründers der Kosmonautik, K. E. Ziolkowski, sind die Devise des sowjetischen Programms zur Erschließung des Weltraums.

# Die Erde dem Menschen!

Der Präsident der Akademie der Wissenschaften der UdSSR M. W. Keldysch, der am 11. April des Jahres 1969 auf einer Festveranstaltung zum Tag der Raumfahrt eine Rede hielt, sagte: „Die Raumfahrtforschung gewinnt einen immer größeren Einfluß auf den gegenwärtigen wissenschaftlich-technischen Fortschritt. Die Bedürfnisse der Raumfahrt gaben vielen Industriezweigen einen mächtigen Auftrieb und machten intensive wissenschaftliche Forschungen auf den verschiedensten Gebieten notwendig, stellten uns vor neue wissenschaftliche Aufgaben und führten zur Entstehung neuer Wissenschaftszweige. Gleichzeitig finden die Errungenschaften der Raumfahrt — Wissenschaft und Technik — in zunehmendem Maße praktische Anwendung.“

Natürlich lernen wir noch, konkreten Nutzen aus dem Raumfahrtzweig der Volkswirtschaft zu ziehen. Aber eine richtige Arbeitsorganisation und die rationelle Ausnutzung aller Errungenschaften der Raumfahrttechnik, über die wir gegenwärtig verfügen, ermöglichen es, in den nächsten Jahren die bedeutenden Fortschritte der Raumfahrttechnik stärker als bisher in die Entwicklung anderer Zweige der Volkswirtschaft einzubeziehen.

Diese Entwicklung der Raumfahrttechnik und Raumfahrtforschung ist durch eine Reihe von Besonderheiten gekennzeichnet. Vor allem betrifft das die immense Erweiterung der Grenzen unserer Erkenntnis über die Natur. Das wird für viele Aufgaben von großer Bedeutung sein, und zwar:

für die Lösung der grundlegenden Probleme der theoretischen Physik, wodurch neue qualitative Veränderungen in der gesamten Produktion möglich werden;

für die Entwicklung der Theorie von der Struktur der Erde und anderer Planeten zur Nutzung der natürlichen Reichtümer in großen Tiefen;

für die Entwicklung einer allgemeinen Theorie (oder Hypothese) über die Entstehung und Entwicklung des Lebens zur Ausarbeitung von Methoden zur Umgestaltung der Natur im Interesse des Menschen.

Die zweite Besonderheit besteht in der Schaffung eines globalen Informations- und Steuerungssystems mit Hilfe der Raumfahrttechnik, der elektronischen Rechentechnik und anderer neuester Apparaturen. Sie wird die Voraussetzung für die Schaffung von automatisch gesteuerten Luft-Weltraum-Transportsystemen zur Beförderung von Passagieren und Gütern, zur Schaffung einer automatisierten Produktion, die zentral gesteuert wird, sein.

Die Erde als einheitliches physikalisches System wird weiter erforscht. Methoden zu einer gewissen Korrektur der auf ihr vor sich gehenden Prozesse werden gefunden, wodurch diese Prozesse auch im Sinne eines hocheffektiven Umweltschutzes gesteuert werden können.

Die dritte Besonderheit besteht in der Nutzung des Weltraums, der Himmelskörper des Sonnensystems und der künstlichen Raumflugkörper als riesige physikalische Laboratorien zur Durchführung von Experimenten, die auf der Erde gefährlich oder undurchführbar sind.

Denkbar wäre als vierte Besonderheit schließlich auch die Schaffung einer speziellen Rohstoffgewinnungs- und Verarbeitungsindustrie im Weltraum und auf den Himmelskörpern zur materiellen Sicherung der Raumstationen.

Die Raumfahrtforschungen eröffnen neue Horizonte für die Festigung und Sicherung des Friedens und der Völkerefreundschaft. Auf dieser Ebene gilt es, einige Aspekte etwas näher zu beleuchten. Der erste von ihnen ist mit der Entwicklung des Nachrichtenwesens und des Fernsehens auf der Grundlage der Schaffung effektiver Raumfahrtssysteme verbunden. Die Entwicklung von regionalen und weltweiten Weltraumnachrichtensystemen zum Zwecke der Fernsehübertragung auf normale Hausempfangsgeräte ist eine neue Etappe. Dazu wird in großem Maße die globale Funktion der Weltraumsysteme beitragen sowie das Interesse und die Beteiligung vieler Staaten an ihrer Schaffung und gemeinsamen Nutzung.

Beträchtlich erhöht wird auch das wissenschaftlich-

technische Niveau der Bevölkerung unseres Planeten. Eine besonders große Bedeutung wird das für die Entwicklungsländer und für jene Bevölkerungsteile haben, die in entfernten Winkeln der Erde leben. Die Zugänglichkeit von allumfassenden Informationen und der ständige Kontakt mit jedem beliebigen Gebiet der menschlichen Tätigkeit werden die schöpferischen Neigungen und ihre Ausbildung fördern.

Die Schaffung von Raumstationen erfordert ein hohes Niveau in Wissenschaft und Technik, große Produktionsmöglichkeiten und gewaltige materielle Aufwendungen. Deshalb können gegenwärtig nur wenige Staaten mit einer hochentwickelten Wirtschaft Raumfahrtsysteme bauen. Erfolgreich entwickelt sich die Zusammenarbeit der Länder der sozialistischen Staatengemeinschaft auf der durch ihre gemeinsame Gesellschaftsordnung gegebenen qualitativ neuen Basis. Vor allem werden hier die gemeinsamen Interessen an einer gemeinsamen Schaffung und Nutzung der Raumfahrttechnik sichtbar.

Im Komplexprogramm der Länder des RGW wird auch der Erforschung und Nutzung des Weltraums auf der Basis der Zusammenarbeit große Aufmerksamkeit geschenkt. An der Akademie der Wissenschaften der UdSSR wurde ein spezieller Rat — INTERKOSMOS — geschaffen, der die Koordination der wichtigsten wissenschaftlichen Forschungsarbeiten unter Berücksichtigung des praktischen Beitrags anderer Länder leitet. Immer größere Bedeutung erlangen die Starts und die Nutzung von internationalen „Interkosmos“-Satelliten. An dieser Arbeit sind zusammen mit sowjetischen Wissenschaftlern die wissenschaftliche Organisationen der Volksrepublik Bulgarien, der Ungarischen Volksrepublik, der Deutschen Demokratischen Republik, der Volksrepublik Polen, der Sozialistischen Republik Rumänien und der Tschechoslowakischen Sozialistischen Republik beteiligt.

Die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Raumforschung kann sowohl auf der breiten Basis vielseitiger als auch zweiseitiger Vereinbarungen erfolgen. Beispiele der ersten Art von Zusammenarbeit sind die internationalen Organisationen INTERKOSMOS, ELDO (Europäische Organisation zur Entwicklung von Träger- raketen), ESRO (Europäische Organisation für Weltraum- forschung), INTELSAT (Internationales Nachrichtensatel-

liten-Konsortium) u. a. Beispiele für eine zweiseitige Zusammenarbeit sind die gemeinsamen Experimente der UdSSR und Frankreichs auf dem Gebiet des Nachrichtenwesens unter Verwendung der sowjetischen „Molnija“-Satelliten und der Laserortung des Mondes mit Hilfe des auf „Lunochod 1“ angebrachten Laserreflektors.

Um alle Staaten der Erde in diese Aktivitäten mit einzubeziehen, ist eine allseitige Propagierung der Errungenschaften der Raumfahrttechnik und ihrer zukünftigen Entwicklung notwendig. Zu diesem Zweck führten die Vereinten Nationen z. B. im Jahre 1968 in Wien eine Konferenz zur Erforschung und Nutzung des Weltraums zu friedlichen Zwecken durch, an der Delegierte aus 84 Ländern teilnahmen. Dieses Forum von Wissenschaftlern, Ingenieuren, Politikern, Juristen und Publizisten demonstrierte die gewaltige Bedeutung der Raumfahrtforschung, deren Auswirkungen schon heute spürbar sind. Auf der Konferenz wurden die Möglichkeiten der praktischen Nutzung der Ergebnisse der Raumfahrtforschung erörtert. Zu ihnen gehören die Fortschritte auf den Gebieten des Nachrichtenwesens, der Meteorologie, Navigation, Biologie und Medizin, der Bildung und Berufsausbildung, der Erforschung der natürlichen Ressourcen der Erde und der Geodäsie. Auch ökonomische, rechtliche und soziale Probleme der Erforschung und Nutzung des Weltraums und auch die Möglichkeit, die Raumfahrttechnik für erdgebundene Zwecke zu nutzen, wurden erörtert. Es wurde festgestellt, daß die Staaten ein unterschiedliches Interesse an diesem oder jenem Weltraumprogramm in Abhängigkeit von geographischer Lage, Klima, Charakter der Produktion, sozialem Aufbau usw. haben. Japan z. B., dessen Wirtschaft eng mit dem Meer verbunden ist, interessiert sich vor allem für die Satellitennavigation, für Flugzeuge und Schiffe, für die Meteorologie, die Beobachtung und Vorhersage von Taifunen, für die Ozeanographie zur Bestimmung der günstigsten Fischfanggebiete und der maritimen Verbindungen zur Außenwelt.

Kanada, das eines der Hauptlieferanten der Welt für Holz und landwirtschaftliche Produkte ist und große Wasservorräte besitzt, interessiert sich in erster Linie für die Nutzung von Satelliten zu meteorologischen Zwecken, für die Forstwirtschaft (Beurteilung der Holzvorräte und ihrer Qualität). Die kanadische Delegation zeigte ebenfalls In-

teresse an der Einrichtung von Nachrichtensatelliten zur Erfassung der Bewohner der dünnbesiedelten Gebiete in den nördlichen Regionen und zur Steuerung der gesamten Wirtschaft des Landes.

Die Monsunregen in Indien, die dem Land großen Schaden zufügen können, bestimmen in erster Linie das Interesse Indiens an den meteorologischen Satelliten. Gleichermäßen waren die Vertreter Indiens an den Fernsehbildungsprogrammen interessiert, die zur Beseitigung des Analphabetentums beitragen könnten. Insgesamt kann man feststellen, daß die von den Vereinten Nationen durchgeführte erste internationale Konferenz zur friedlichen Nutzung des Weltraums eine sichtbare Demonstration der Idee war, daß der Weltraum der ganzen Menschheit gehört und die Völker zu verbinden vermag. Die in Wien durchgeführte Konferenz zeigte die Hauptrichtungen des Interesses der Länder an der Realisierung der Weltraumprogramme und die praktischen Vorteile der Aneignung des Weltraums bei der Lösung der ökonomischen und sozialen Probleme, die vor der Menschheit stehen. So wird die Raumfahrt zur Erhöhung des kulturellen Niveaus aller Länder, zu ihrem wissenschaftlichen und technischen Fortschritt, zur Verbesserung des Lebens und der Vervollkommnung der Bildung der Bevölkerung beitragen. Die Weltraumsysteme für Meteorologie und Hydrologie helfen bei der Lösung vieler Probleme der Entwicklung der Landwirtschaft, ermöglichen die rechtzeitige Warnung vor herannahenden Katastrophen und in Zukunft auch effektive Maßnahmen zu ihrer Verhütung. Sie werden auch auf das Wachstum der Energiereserven der Menschheit, die Entwicklung des Wasserbaus und des Bauwesens überhaupt einen großen Einfluß haben. Navigationssatelliten tragen zur Lösung der Transportprobleme bei. Die Nutzung von Raumflugkörpern für die Ozeanographie und Geologie bietet den Menschen die Möglichkeit, in vollem Umfang die Reichtümer der Kontinente und der gewaltigen Meeresräume zu bergen.

Die Errichtung von Satellitenstationen zu unterschiedlichen Zwecken erfordert große materielle Aufwendungen. Sehr wichtig ist daher die Erweiterung des Komplexes der zu lösenden Probleme. Dieses Bestreben führte zu qualitativ neuen Entwicklungen auf verschiedenen Gebieten der Technologie. So wurden z. B. neue Plaste, hitze- und

strahlungsbeständige Stoffe usw. entwickelt. Diese Stoffe fanden auch bei Apparaturen und Geräten, die auf der Erde unter extremen Bedingungen arbeiten, breite Anwendung.

Die Ergebnisse der Raumfahrtforschung versetzten uns in die Lage, die Qualität der biologischen und medizinischen Meßapparaturen zu erhöhen und führten zu ihrer Anwendung nicht nur bei praktischen Laborarbeiten, sondern auch in der industriellen Produktion.

Wissenschaftler und Ingenieure vertreten einhellig die Meinung, daß es notwendig ist, die Methoden der Organisation und Planung der Raumfahrttechnik, die hochentwickelte Technik selbst, die Sendeapparaturen, Meßgeräte und andere Errungenschaften der Raumfahrttechnik in den verschiedenen anderen Wirtschaftszweigen zu nutzen. Das hat eine große Auswirkung auf die Vervollkommnung der Sphäre der gesamten materiellen Produktion.

Viele Länder messen gegenwärtig der Entwicklung der internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der wissenschaftlichen Erforschung des Weltraums und seiner praktischen Nutzung große Bedeutung bei. Es wächst die Erkenntnis, daß der grandiose technische Fortschritt nichts bedeutet, wenn nicht Hunderte Millionen Menschen, die in den vom Kapitalismus noch ausgebeuteten oder abhängigen Ländern Hungers sterben oder elend dahingehtieren, aus ihren Fesseln befreit werden. Die Zukunft wird auch für sie eine Welt der sozialen Gerechtigkeit und des glücklichen, erfüllten Lebens sein. Das leuchtende Beispiel dafür ist die Sowjetunion, das Land, in dem der Kommunismus aufgebaut wird. Die Vereinigung der Anstrengungen aller Menschen unseres Planeten bringt uns der Lösung dieser großartigen Aufgaben ein Stück näher. Die Eroberung des Weltraums wird zu einem wichtigen Faktor auf dem Wege des Fortschritts und der Entwicklung der Menschheit.

А. Д. Коваль, Г. Р. Успенский, В. П. Яснов  
**КОСМОС — ЧЕЛОВЕКУ**

Контрольный редактор Л. М. Глотов  
Издательский редактор Л. А. Короткова  
Художественный редактор Ю. Л. Максимов  
Технический редактор В. Л. Сизова  
Корректор И. Д. Кустова

Сдано в набор 5/VI 1973 г.  
Подписано к печати 5/XI 1973 г.  
Бумага тип. № 1 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>=4,82 б. л.  
Усл. печ. л. 16,17. В т/ч 1,47 п. л. илл.  
на мел. бум. Уч.-изд. л. 16,88. Изд. № 34/6824  
Цена 1 р. 89 к. Зак. 436.

Тираж 15.750 экз.  
Темплан изд-ва «Мир» 1973 г., пор. № 248.

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»**  
Москва, 1-й Рижский пер., 2.

Ордена Трудового Красного Знамени  
Московская типография № 7 «Искра революции»  
«Союзполиграфпрома» при Государственном  
комитете Совета Министров СССР по делам  
издательств, полиграфии и книжной торговли.  
Москва, Г-19, пер. Аксакова, 13.