

akzent

Wladimir Lewantowski

Raum- transporter





Mit Beiträgen von Horst Hoffmann

Wladimir I. Lewantowski
Raumtransporter

Urania-Verlag Leipzig Jena Berlin

Originaltitel:

Владимир И. Левантовский. ТРАНСПОРТНЫЕ
КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.

Издательство »знание«,

Москва 1976

Autoren des »akzent«-Bandes:

Wladimir I. Lewantowski, Moskau

Horst Hoffmann, Journalist, Berlin

Übersetzer: Leo Korniljew, Leipzig

Zeichnungen: Klaus Thieme, Leipzig

1. Auflage 1979

1.–20. Tausend. Alle Rechte vorbehalten

©Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin

Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig 1979

VLN 212-475/29/79. LSV 3879

Lektor: Ewald Oetzel

Einbandreihenentwurf: Helmut Selle

Typografie: Claus Ritter

Printed in German Democratic Republic

Gesamtherstellung: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb

Leipzig – III/18/97

Best.-Nr.: 653 592 4

DDR 4,50 M

Inhalt

Vorwort 7

von Horst Hoffmann

Von der Flügelrakete zum Kosmoljot 7

Teure Wegwerfraketen 8

Huckepack in den Weltraum 10

Notizen von H. G. Wells 14

Ideen Ziolkowskis 15

Zanders Raketenflugzeug 17

Volkswirtschafts- und Weltraumpläne 18

Fünf Fünfjahrpläne des Raumfahrtzeitalters 20

Die ersten Salut-Zyklen 22

Neun neue Weltraum-Weltrekorde 30

Koroljows Konzept 32

Verlängerung der Lebensdauer 36

Milliarden verpulvert? 38

Produktivkraft Kosmonautik 39

Nahverkehr ins All? 41

»Astronomische Kosten«? 41

Ein Raumflugkörper – ein »Ding an sich«? 45

Umlauffahrzeuge im Pendelverkehr 49

Die Entwicklung der Idee des Raumtransporters 49

Projekt »Space Shuttle« 55

Aussichtsreiche Orbitalflugzeuge 65

Das »Orbitalflugzeug« im Einsatz 71

Automatische Satelliten auf Umlaufbahnen 71

Der Orbiter als Raumlabor 74

Operationen auf Umlaufbahnen 77
Interorbitale Transportsysteme 82
Montage auf der Umlaufbahn 87
Die Wartung von Raumstationen 95

Wege zum Mond 97

Varianten 97
Mondtransporter 100
Mondfrachter mit geringem Schub 102
Eine mondnahe Orbitalstation als Raumflughafen 104

Raumtransporter von Planet zu Planet 111

Montageprobleme 111
Auf interplanetaren Expeditionen 112

Nachwort 119

von Horst Hoffmann

Am Cockpit der »Enterprise« 119
Erprobung in der Wüste 120
Fortgeschrittene Technologie – rückläufige Ökonomie 122

Anhang 124

Das Salut-Space-Shuttle-Projekt 124

Vorwort

von Horst Hoffmann

Von der Flügelrakete zum Kosmoljot

In den gut 20 Jahren aktiver Raumfahrt wurden weit über 2000 künstliche Erdsatelliten und etwa 200 Raumsonden, Raumschiffe und Raumstationen gestartet. Jeden dritten Tag beginnt heute ein neues Weltraumunternehmen, und nur wenige Spezialisten wissen genau, wieviel von Menschenhand geschaffene Sterne jeweils am Himmelszelt stehen. Das Hauptbuch über alle künstlichen kosmischen Objekte wird am Place des Nations in Genf geführt, wo die Union Internationale des Télécommunications UIT, der Internationale Fernmeldeverein, seinen Sitz hat. Jede Woche erscheint hier ein auf den letzten Stand gebrachtes Register von der Größe und dem Umfang eines Taschenbuches, in dem nicht nur alle Raumflugkörper selbst, sondern auch die Raketenendstufen und Raketenbruchstücke, Verkleidungsteile und Verbindungsstücke verzeichnet sind. Sogar kosmische Wrackteile und himmlisches Strandgut gehören dazu, das von Explosions- und Kollisionsrückständen bis zu Handschuhen und Werkzeugen, Verschlußdeckeln und sogar einer Hasselblad-Kamera reicht, die von Weltraumfliegern vergessen oder verloren wurden.

Alle Kombinationsmöglichkeiten zwischen dem Alphabet und der Zahlenskala finden bei der Individualisierung der Raumflugkörper Verwendung. So sind z. B. unter dem 7. Dezember 1976 und dem Signum »1976–118–A bis H« die acht sowjetischen Satelliten Kosmos 871 bis 878 verzeichnet, die an diesem Tage mit einer Rakete in 1450 bis 1520 km hohe Umlaufbahnen geschossen wurden. Ein

amerikanischer Satellit, der auseinanderbarst, ist mit 108 Teilen in diesem Register Spitzenreiter.

Summa summarum konnte die UIT-Bilanz weit mehr als 10 000 Raumflugkörper registrieren, von denen fast 60% landeten bzw. verglühten und über 40% noch auf verschiedenen kosmischen Bahnen kreisen. Etwa 80% dieser künstlichen kosmischen Projektile zählen zum Weltraummüll, ungefähr 20% sind Nutzlasten, d. h. Satelliten und Sonden, Raumschiffe und Orbitalstationen. Davon wiederum kommen 55% aus der UdSSR, 40% aus den USA, und 5% stammen aus anderen Staaten bzw. von internationalen Organisationen.

Teure Wegwerfraketen

Die Entwicklung der Kosmonautik in den ersten beiden Jahrzehnten seit Sputnik 1 ist durch folgende Tatsachen gekennzeichnet:

Die Anzahl der gestarteten Raumflugkörper stieg von zwei im Jahre 1957 auf 158 im Jahre 1967, also auf das 80fache im ersten Jahrzehnt. Seitdem ist die jährliche Startfolge, insgesamt gesehen, etwa konstant geblieben. Allerdings gingen die Aktivitäten der USA von 74 im Jahre 1966 auf 24 im Jahre 1976 zurück, während die der UdSSR im gleichen Zeitraum von 42 auf 121 anstiegen. Allein in den ersten zehn Monaten des Jahres 1978 startete die Sowjetunion 93 Raumflugkörper, viermal soviel, wie die Vereinigten Staaten von Nordamerika für das ganze Jahr vorgesehen hatten.

Die Nutzlastkapazität der Trägerraketen erhöhte sich in den vergangenen zwei Jahrzehnten von knapp 100 kg auf fast 100 000 kg, also auf das 1 000fache. Der am 4. Oktober 1957 gestartete Sputnik 1 entsprach mit einer Masse von 83,6 kg dem Gewicht eines ausgewachsenen Mannes, die Skylab-Station, die am 14. Mai 1973 ihre Umlaufbahn erreichte, hatte eine Masse von 85 000 kg, was fast genau der Abflugmasse eines Verkehrsflugzeugs vom Typ Con-
vair 990 gleichkommt.

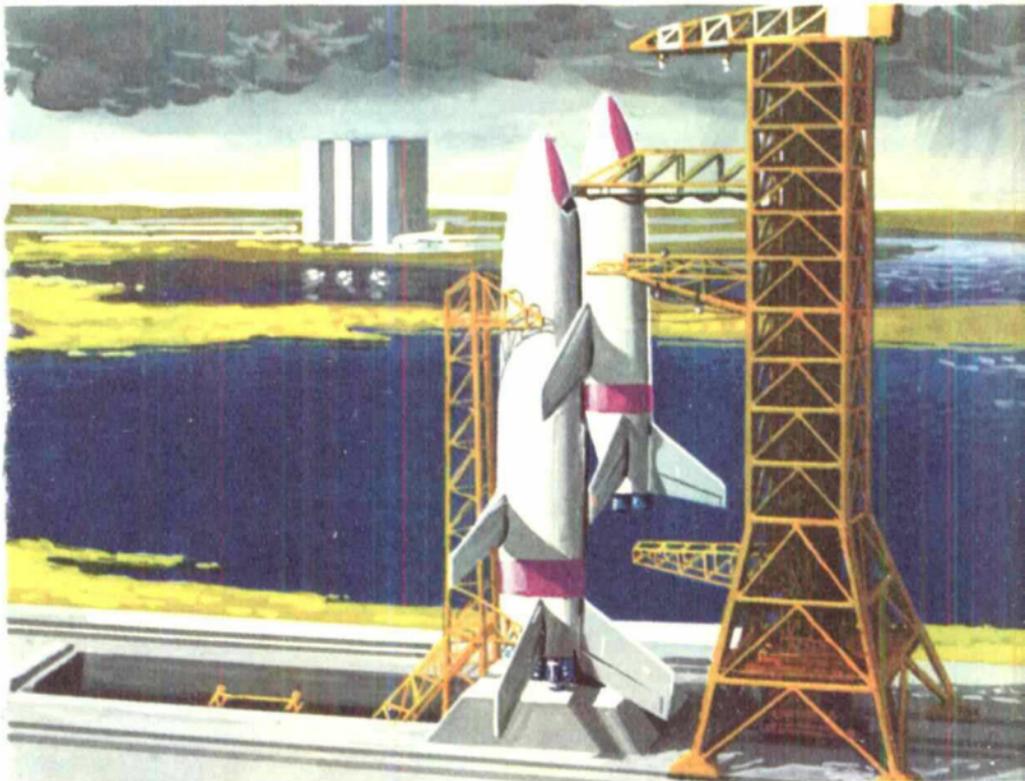
Die Transportkosten für 1 kg Weltraum-Nutzlast auf mittleren Erdumlaufbahnen sanken in den letzten 20 Jah-

ren von etwa 200 000 Dollar auf rund 2 000 Dollar, also auf ein Hundertstel (vgl.: Kosten für die Beförderung auf niedrige Umlaufbahnen, S. 47).

Die hohen Kosten für die bisher gestarteten Nutzlasten kamen dadurch zustande, daß ausschließlich Wegwerfraketen verwendet wurden. Das sind Trägerraketensysteme, die nur einmal zum Einsatz kommen. Danach stürzen sie zur Erde zurück, wobei sie verglühen. Viele von ihnen kreisen als leergebrannte Wracks lange Zeit im Orbit.

Würden Luftfahrtgesellschaften ebenso verfahren, dann müßten sie jeden Jumbo-Jet nach einem Atlantikflug aufgeben und die Passagiere an Fallschirmen landen lassen. Moderne Verkehrsmaschinen haben heute jedoch eine durchschnittliche Betriebsdauer von 30 000 Stunden, was etwa 3 000 interkontinentalen Flügen entspricht.

Eine Startstufe in Huckepackanordnung mit der Kreisbahnstufe (Orbiter). In etwa 65 km Höhe trennen sich beide Fahrzeuge. Beide Stufen landen aerodynamisch auf einer Landepiste.



Huckepack in den Weltraum

Sowjetische Wissenschaftler und Techniker beschäftigen sich seit längerem mit verschiedenen Projekten wiederverwendbarer Raumschiffe für den Personen- und Materialtransport zwischen Erde und Orbit. Eines davon trägt den Namen »Kosmoljot« (Raumflugzeug), der erstmalig 1962 von Professor Dr. Artjom Iwanowitsch Mikojan (1905–1970), dem Konstrukteur der berühmten MiG-Überschallflugzeuge, verwendet wurde.

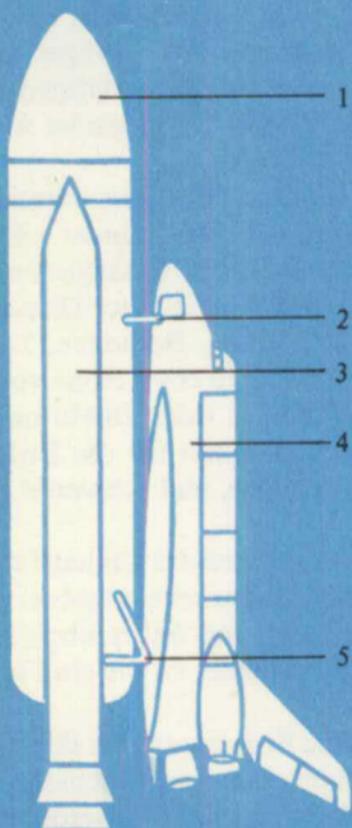
Es gibt zwei Versionen des Kosmoljot: Die eine sieht den senkrechten Raketenstart von einer Rampe vor, die andere, fortgeschrittenere, aber technologisch kompliziertere das waagerechte Abheben von einer Flughafenspiste. Dafür wurde eine ganze Reihe verschiedener Starthilfen und Beschleunigungsmethoden, wie z. B. Raketen und Katalpultschlitten, erprobt. Letzteres Projekt sieht zwei autonome, bemannte Flugkörper vor, die die Form eines Nur-Deltaflüglers haben und als aerodynamische Hochgeschwindigkeitsflugkörper für den Hyperschallbereich ausgelegt sind:

Die Trägerflugzeug genannte mächtige Unterstufe, die mit luftatmenden Triebwerken ausgerüstet ist, erinnert in Aussehen und Abmessungen an ein Überschallflugzeug vom Typ Tu 144.

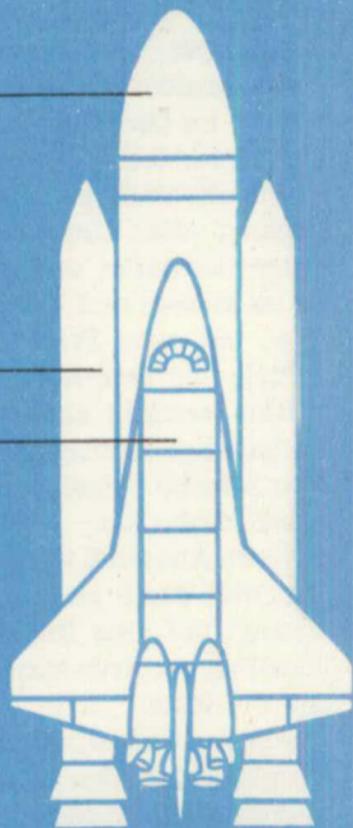
Die als Umlauffahrzeug bezeichnete aufgesetzte Oberstufe, die über Raketentriebwerke verfügt, ähnelt einem kleineren Zwillingsflugzeug, etwa einer Jak 40, auf dem Rücken der großen Maschine.

Das Trägerflugzeug soll mit dem Umlauffahrzeug im Huckepack starten; das gesamte System soll auf 2,2 km/s oder 7920 km/h, also auf etwa die sechsfache Schallgeschwindigkeit, gebracht werden. Der dabei auftretende Beschleunigungsandruck würde nicht mehr als 2 bis 3 g betragen, so daß auch nicht speziell ausgebildete Personen mitfliegen könnten.

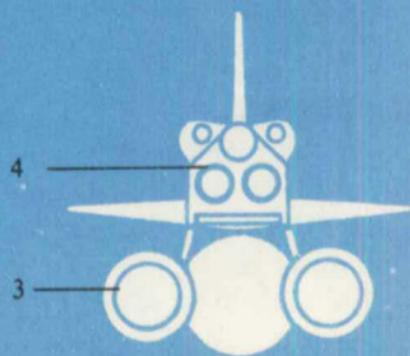
Prinzipdarstellung eines Raumtransportersystems. 1 – äußerer Sauerstoff-Wasserstofftank der Orbitalstufe (Durchmesser 8,4 m); 2 – vorderes Verbindungsstück; 3 – Feststofftriebwerke der Startstufe (Durchmesser 3,7 m); 4 – Orbitalstufe; 5 – hinteres Verbindungsstück



23,1 m



23,8 m



6,25 m

In einer Höhe von etwa 30 km werden dann die beiden Flugkörper voneinander getrennt. Das Trägerflugzeug kehrt, gesteuert von seiner zwei- bis dreiköpfigen Mannschaft, im Gleitflug zur Erde zurück und landet wie eine normale Maschine auf der Rollbahn.

Die ebenfalls aus zwei bis drei Mann bestehende Besatzung des Umlauffahrzeugs aber zündet die Raketentriebwerke und steigt mit ihren Passagieren, Wissenschaftlern und Technikern verschiedener Disziplinen, bzw. mit einer Fracht, mit Geräten, Bauteilen, Lebensmitteln und Treibstoff, weiter auf. In einer Höhe von etwa 100 km erreicht es mit 7,912 km/s oder 28 440 km/h die notwendige Kreisbahngeschwindigkeit für die Erde, also fast 24fache Schallgeschwindigkeit, und schwenkt in eine Umlaufbahn ein.

Nach Abschluß seiner Mission wird das Umlauffahrzeug im Orbit durch seine Raketentriebwerke abgebremst. Es gelangt auf eine Rückkehrbahn und kehrt ebenfalls im Gleitflug zur Erde zurück. Dort landet es wie ein Flugzeug auf der Piste.

Für den Wiedereintritt in die Erdatmosphäre läßt sich ein Effekt nutzen, den jeder schon einmal erprobt hat. Ähnlich wie ein flach geworfener Stein von der Wasseroberfläche abprallt, kann die Bahn der heimkehrenden Orbitalstufe des Kosmoljot noch einmal von der Erdatmosphäre angehoben werden. Mit großem Erfolg haben sowjetische Wissenschaftler und Techniker diese Methode bei der Rückkehr der Sonden 5 bis 8 vom Mond angewendet. Obwohl sich die Raumflugkörper der Erde mit großer Geschwindigkeit näherten, landeten sie wohlbehalten im Indischen Ozean bzw. auf dem Territorium der Sowjetunion. Berechnungen ergaben, daß es dieses Verfahren einem Kosmoljot gestatten würde, vom Punkt des Wiedereintritts in die irdische Lufthülle bei etwa 120 km Höhe im Gleitflug einen Flugplatz anzusteuern, der bis zu 10 000 km entfernt ist.

»In nächster Zukunft wird es zu einer starken An-

Ein Raumgleiter (nach einer Kosmoljot-Idee gezeichnet) als »Umlauffahrzeug« hat an einem Raumflugkörper angelegt, der einer heutigen Salut-Station ähnelt.



näherung zwischen Luftfahrt und Raumfahrt kommen«, schrieb der Fliegerkosmonaut und Kommandeur des Kosmonautenkorps der UdSSR, Generalleutnant Dr. Ing. Wladimir Schatalow in der Zeitschrift »Nauka i shisn« vom November 1974. »Die Entwicklung eines Kosmoljots wird die Perspektiven der erdnahen Kosmonautik wesentlich verbessern. Bis wir Zeugen des ersten Fluges eines solchen Raumflugzeuges sind, muß jedoch noch viel getan werden. Als Beispiel kann der Wärmeschutz beim Eindringen der Orbitalstufe in die Atmosphäre dienen. Hier wird es erforderlich sein, neue Methoden des Wärmeschutzes und neue wärmeresistente Werkstoffe zu entwickeln. Die Notwendigkeit, das Raumflugzeug in zwei so unterschiedlichen Medien wie der Erdatmosphäre und dem Vakuum des Weltraumes zu steuern, erfordert eine Kombination von Höhen-, Seiten- und Querruder eines Flugzeuges mit Steuer- und Lenkraketen der bisherigen Raumschiffe. Eine solche Kombination gilt in der Technik als Notlösung, erscheint hier jedoch als unvermeidbar, um ein Problem anzupacken, dessen Lösung – die Entwicklung eines Raumflugzeuges – sicher bald realisiert sein wird.«

Der international bekannte Weltraumwissenschaftler Akademiemitglied Professor Dr. Georgi Petrow erklärte am 13. Juni 1977 in einem Interview der »Prawda«: »Die Schaffung von Orbitaltransportschiffen, die zur Erde zurückkehren und wiederverwendet werden können, ist eine der Hauptrichtungen der weiteren Entwicklung der Raumfahrt.«

Notizen von H. G. Wells

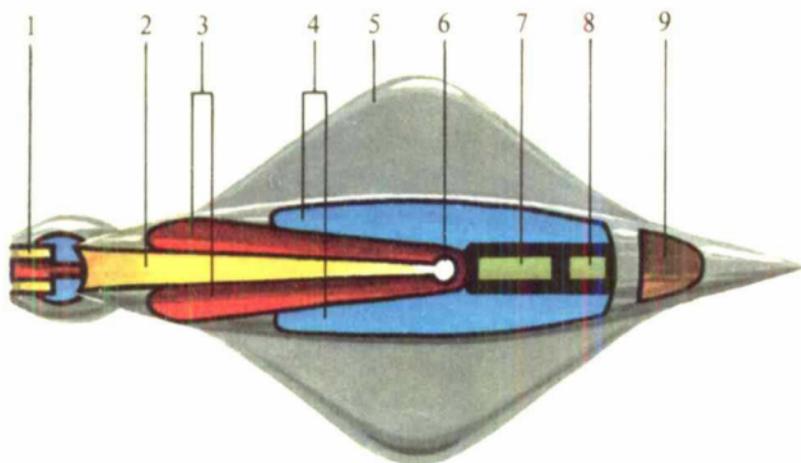
Die sechzigjährige Geschichte der sowjetischen Raketentechnik und Kosmonautik veranschaulicht, daß für sie – so absurd das zunächst auch klingen mag – das Hauptziel der blaue Planet selbst ist, d. h. die Erhaltung und Verbesserung des Lebens der Menschen auf der Erde. Die »Hauptstraße« auf diesem Wege wird, wie Leonid Breshnew einmal formulierte, von Orbitalstationen markiert, die optimalen Nutzen bringen.

»Alle menschlichen Vorstellungen wurden in den Maßstäben unseres Planetensystems geschaffen. Sie fußen auf der Vermutung, das technische Potential werde in seiner Entwicklung die Grenzen der Erde nie überschreiten. Aber wenn wir interplanetare Verbindungen herstellen können, wird es notwendig sein, alle philosophischen, sozialen und ethischen Vorstellungen zu überprüfen.«

Diese Gedanken Lenins notierte sich der englische Schriftsteller Herbert George Wells im Jahre 1920 während eines Gesprächs im Kreml. Damals betrat die junge Sowjetmacht Terra incognita, unbekanntes Gebiet, als sie im Dezember 1920 den ersten Wirtschafts- und Wissenschaftsplan in der Geschichte der Menschheit beschloß: den GOELRO-Plan, der vorsah, in einem Zeitraum von 10 bis 15 Jahren 30 Kraftwerke zu bauen, die eine Leistung von 1,5 Millionen kWh erbringen, und zur modernen Großproduktion überzugehen. Diese Zielsetzung, die Lenin in die Gleichung »Sowjetmacht + Elektrifizierung = Kommunismus« zusammenfaßte, bezeichneten Zeitgenossen wie H. G. Wells als »Elektrofiktion« des »Träumers im Kreml«. Doch die Geschichte, »... diese Alte, die klüger ist als wir alle ...«, wie Albert Einstein sie einmal nannte, gab Lenin recht. Seitdem das Staatliche Komitee für die Elektrifizierung Rußlands GOELRO seinen Plan aufstellte, stieg die Energieerzeugung der Sowjetunion auf weit mehr als das Tausendfache, und aus dem zurückgebliebensten Land Europas wurde eine der führenden Industriemächte der Welt.

Ideen Ziolkowskis

Weniger bekannt hingegen ist, daß Lenin der erste Politiker war, der die Bedeutung der Raketentechnik und Raumfahrtwissenschaft erkannte. Bereits 1919 sorgte er dafür, daß der Begründer der Theorie vom Raketenflug, Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski (1857–1935), den die zaristische Bürokratie verhöhnt hatte, zum Mitglied der Akademie der Wissenschaften berufen wurde. Unter Vorsitz Lenins beschloß der Rat der Volkskommissare am 9. November 1921, Ziolkowski »... angesichts der beson-



Ziolkowskis Projekt eines Raumtransporters. 1 – Lageregelungstriebwerk (Strahlruder); 2 – Düse; 3 – Treibstofftanks; 4 – Behälter für Oxydationsmittel; 5 – Flügel; 6 – Brennkammer; 7 – Treibstoffpumpen; 8 – Motor für die Pumpen; 9 – Kabine

deren Verdienste des Gelehrten, Erfinders und Forschers auf dem Gebiet des Flugwesens« eine lebenslängliche Pension zu zahlen. Ziolkowski hatte unter dem Zarenadler in 40 Jahren 130 Arbeiten geschrieben, von denen er 50 unter großen persönlichen Entbehrungen veröffentlichen konnte. In den 18 Jahren, die er unter der Roten Fahne lebte, verfaßte er 450 Beiträge, die alle im Staatsverlag herausgegeben wurden.

»Uns kann es gelingen«, schrieb der »Vater der Raumfahrt« im Jahre 1926, »das Sonnensystem mit einer sehr einfachen Taktik zu erobern. Anfangs werden wir die leichteste Aufgabe lösen: eine erdnahe Weltraumsiedlung einrichten, als Erdtrabanten ... Der Aufbau dieser ersten Siedlung in der Nähe unseres Planeten benötigt unablässige Hilfe von der Erde, denn sie kann nicht gleich selbständig werden. Deshalb ist ständiger Verkehr mit dem Heimatplaneten notwendig. Von ihm wird man Maschinen, Baustoffe, verschiedene Anlagen, Lebensmittel und Menschen erhalten müssen. Auch ein häufiger Personalaustausch ist in Anbetracht der ungewöhnlichen Umwelt erforderlich ...«

Für die Verbindung zwischen Erde und Orbit dachte Ziolkowski auch an eine Flügelrakete. Diese Mischung

zwischen Rakete mit Brennkammer, Düse und Strahlruder und Flugzeug mit Tragflächen geringer Spannweite und scharfer Vorderkante sollte über eine Kabine für Passagiere und Fracht verfügen.

Zanders Raketenflugzeug

Ziolkowskis Schüler, der lettische Flugzeugingenieur Friedrich A. Zander (1887–1933), entwarf 1924 ein Raketenflugzeug. Es sollte die dichten Schichten der Atmosphäre wie ein Flugzeug mit Tragflächen, Leitwerk und Luftschraubenmotor durchqueren. Der für die Verbrennung des Treibstoffs im Flugzeugmotor erforderliche Sauerstoff konnte dabei der Luft entnommen werden. Eine siebzigprozentige Einsparung des Treibstoffs für diese Flugphase wäre der Gewinn! Erst in Höhen, in denen ein aerodynamischer Flug infolge der fehlenden Atmosphäre unmöglich wird, sollten die Raketentriebwerke zum Einsatz kommen.

Auf der Gouvernements-Erfinderkonferenz des Jahres 1920 in Moskau hatte Zander Lenin seine Pläne vorgetragen. In seinen Erinnerungen schrieb der »Vater des Raketenflugzeugs«: »Dort versprach mir Wladimir Iljitsch Unterstützung. Danach arbeitete ich mit dem Ziel, ein ausgereiftes Projekt zu entwickeln.«

Lenin ermöglichte es Zander, der Mitarbeiter des Chefkonstruktors der Flugzeugwerke »Motor«, Oberingenieur im Zentralen Konstruktionsbüro »Avia Trust« und wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Flugzeugbau war, monatelang ausschließlich zu Hause zu arbeiten, um seine theoretischen Untersuchungen schneller abzuschließen. Mit diesem ersten staatlichen Raketenauftrag fällt Lenin eine weit in die Zukunft weisende Entscheidung, die sich auf die Gleichung »Sowjetmacht + Raketentechnik = Kosmonautik zum Wohle der Menschheit« bringen läßt. Damit legte er das Fundament für die moderne Raumfahrtforschung seines Landes. Im industriell hochentwickelten Deutschland wurde der erste Staatsauftrag zur Entwicklung von Raketen, die überdies ausschließlich militärischen Zwecken dienten (Goebbels verbot aus

Gründen der Geheimhaltung, das Wort »Rakete« überhaupt in der Presse zu erwähnen), erst Anfang der dreißiger Jahre erteilt. In den USA geschah das sogar erst Ende der dreißiger, Anfang der vierziger Jahre.

Volkswirtschafts- und Weltraumpläne

Bereits im Rahmen des GOELRO-Planes wurde 1921 in Moskau und Leningrad das Gasdynamische Laboratorium GDL für die Entwicklung von Raketen gegründet. 1924 entstand in der sowjetischen Metropole die »Gesellschaft zum Studium des interplanetaren Verkehrs« als erste wissenschaftliche Raumfahrtorganisation. Zu den Gründungsmitgliedern gehörte neben Ziolkowski und Zander auch Feliks Dzierzynski (1877–1926), der damals auch Volkskommissar für Verkehrswesen war. Von April bis Juni 1927 fand an der Moskwa die erste internationale Raumfahrtausstellung statt, in der theoretische Arbeiten zur Astronautik sowie Entwürfe und Modelle interplanetarer Flugkörper von Konstantin E. Ziolkowski und Friedrich A. Zander (UdSSR), Robert Goddard (USA), Hermann Oberth und Walter Hohmann (Deutschland), Robert Ésnault-Peltérie (Frankreich), Max Valier (Österreich) und vielen anderen zu sehen waren.

Der erste Fünfjahrplan (1928–1933) stellte Mittel des Staatshaushaltes für die Raketentechnik und Raumfahrtwissenschaft zur Verfügung. Auf dieser Grundlage nahm das GDL ab Frühjahr 1928 Starts von Feststoffraketen vor, und am 15. Mai 1929 erfolgten erstmalig Experimente zur Entwicklung von Flüssigkeitstriebwerken und elektrischen Raketentriebwerken. Ende 1928 wurde an der Leningrader Technischen Hochschule für Verkehrswesen eine Raumfahrtsektion geschaffen. Ihr Vorsitzender, Professor Dr. Nikolai Rynin (1877–1942), veröffentlichte von 1928 bis 1932 eine einzigartige Enzyklopädie der Raketentechnik und Raumfahrtwissenschaft in neun Bänden. 1931 bildeten sich die Gruppen zum Studium der Rückstößbewegung GIRD mit ihren beiden Zentren, der MOSGIRD an der Moskwa und der LENGIRD an der Newa, sowie Zweigstellen in Charkow, Baku, Tiflis, Archangelsk, No-

wotscherkask, Brjansk u. a. Städten. 1932 wurde die Versuchsanstalt für die Entwicklung von Raketen und Triebwerken in Moskau unter Leitung von Sergei Koroljow (1907–1966) gegründet. Am 17. August 1933 startete um 17 Uhr auf dem Versuchsgelände im Walde von Nachabino bei Moskau die erste sowjetische Rakete 09 mit Hybridtreibstoff; am 25. November des gleichen Jahres folgte die erste Flüssigkeitsrakete GIRD-X.

Der zweite Fünfjahrplan (1933–1937) begann mit der Fusion des GDL und der GIRD zum ersten großen Forschungszentrum für Raketen, dem RNII, in Moskau. 1934 veranstaltete die Akademie der Wissenschaften der UdSSR in Leningrad die I. Unionskonferenz über Stratosphärenforschung unter Leitung von Akademiemitglied Sergei I. Wawilow, und ein Jahr später führte die Fluggesellschaft »Awiawno« in Moskau einen Kongreß über Raketentechnik durch. Bis 1937 wurden in den verschiedensten sowjetischen Instituten etwa 100 Triebwerke für Raketen, Flügelraketen, Raketengleiter und Raketenflugzeuge sowie Stabilisierungs- und Lenksysteme entwickelt und erprobt.

Der dritte Fünfjahrplan (1938–1941), dessen Abschluß der faschistische Überfall verhinderte, führte zu einer rationellen Standortverteilung der Industrie, in die auch der junge Raketebau einbezogen wurde. 1940 absolvierten der Raketengleiter RP-318-1 und 1942 das Raketenflugzeug BI-1 ihre Jungfernflüge. In dieser Zeit lösten die sowjetischen Wissenschaftler und Techniker Grundprobleme des Überschallfluges.

Im vierten Fünfjahrplan (1946–1950) wurden die Arbeiten zur friedlichen Erforschung und Nutzung des Weltraumes wieder aufgenommen. Sie führten zur Entwicklung einer Reihe neuer Flüssigkeits-Raketentriebwerke und zum Aufstieg geophysikalischer und meteorologischer Forschungsraketen in die oberen Schichten der Atmosphäre. Bereits 1949 erreichte eine Nutzlast von mehr als einer Tonne eine Höhe von über 100 km. Bei diesen Aufstiegen konnten auch volkswirtschaftlich bedeutsame Erkenntnisse z. B. für die Nachrichtenübermittlung und die Wettervorhersage gewonnen werden.

Der fünfte Fünfjahrplan (1951–1955) schuf die wis-

senschaftlichen und technischen Voraussetzungen für den Beginn der aktiven Raumfahrt. So stieg 1951 eine Forschungsrakete der UdSSR bis zu einer Höhe von 450 km auf – damals der absolute Weltrekord. Die in der Spitze mitgeführten Tiere, mit denen während des Fluges biologische und medizinische Experimente durchgeführt wurden, kehrten wohlbehalten an Fallschirmen zur Erde zurück.

Fünf Fünfjahrpläne des Raumfahrtzeitalters

Im sechsten Fünfjahrplan (1956–1960) erfolgte der Start von Sputnik 1. Der 4. Oktober 1957 wurde damit zu einem historisch bedeutsamen Tag. Im Vordergrund der Raumfahrtforschung standen in dieser ersten Phase der Raumfahrt die Erkundung des erdnahen Raums und des Mondes mit unbemannten Satelliten und Sonden sowie die Vorbereitung eines bemannten Orbitalfluges mit Hilfe von Tierexperimenten. Zu den wichtigsten Ergebnissen dieser Etappe gehören die Entdeckung des Strahlungsgürtels der Erde durch Sputnik 2, die Fotoerkundung der Mondrückseite durch Luna 3 sowie Flüge mit der Eskimohündin Laika sowie mit anderen Tieren, die den Nachweis erbrachten, daß hochorganisierte Lebewesen ohne Schaden in den Weltraum fliegen können.

Die siebente Fünfjahrplanperiode (1961–1965) war auf dem Gebiete der Raumfahrt vorrangig durch koordinierte Grundlagenforschung mit Hilfe von Automaten und bemannten Raumflugkörpern in der Erdumlaufbahn, durch Flüge zum Mond und erste Vorstöße zu den Nachbarplaneten Venus und Mars bestimmt. Die bemannte Raumfahrt legte in dieser Zeit den Weg vom ersten Orbitalflug Juri Gagarins mit Wostok 1 am 12. April 1961 bis zum ersten Ausstieg eines Menschen in den freien Raum (Alexei Leonow aus Woßchod 2) am 18. März 1965 zurück. In dieser ersten Etappe bemannter Raumflüge wurden einige Grundprobleme gelöst, wie mehrtägige Flüge, Rendezvous zweier Raumschiffe, Bau und Einsatz mehrsitziger Raumschiffe und der Ausstieg des Menschen in den freien Raum.

Vom ersten bemannten Flug an gehörten zum Programm der Kosmonauten Beobachtungen und Untersuchungen, die der Volkswirtschaft direkt und indirekt Nutzen bringen, wie beispielsweise die seit dem Flug von German Titow immer umfangreicher werdenden fotografischen und spektrografischen Aufnahmen von der Erdoberfläche.

Neben über 100 Satelliten vom Typ Kosmos, die wissenschaftlich oder volkswirtschaftlich wichtige Programme ausführten, erforschten Spezialspatniks des Typs Elektron und Proton die physikalischen Bedingungen des Kosmos und der Sonne, erprobten Technologiesatelliten wie die des Typs Poljot den Einsatz vollmanövrierfähiger Raumflugkörper, nahmen Molnija-Nachrichtensatelliten den kosmischen Funkverkehr auf.

Der achte Fünfjahrplan (1966–1970) brachte der sowjetischen Kosmonautik einen weiteren Aufschwung bei der Erforschung des erdnahen Raumes, des Mondes und der Planeten. In der bemannten Raumfahrt konnten so komplizierte Aufgaben wie die Annäherung und Kopplung zweier Raumschiffe, das Umsteigen durch den freien Raum, der Verbandsflug von drei Sojus-Raumschiffen, Schweißarbeiten im Vakuum des Universums und mehrwöchige Einsätze gemeistert werden.

Über 300 Forschungs- und Anwendungssatelliten gelangten in dieser Periode auf Erdumlaufbahnen, wobei mit Kosmos 186 und 188 bzw. mit Kosmos 212 und 213 die ersten vollautomatischen Kopplungen zweier Raumflugkörper gelangen. Durch den Start von bisher 65 Molnija-Nachrichtensatelliten verschiedener Typen und die Errichtung von 80 Orbital-Bodenstationen können über 30 Millionen Bürger der UdSSR im Hohen Norden und Fernen Osten, in Mittelasien und Sibirien das Zentrale Moskauer Fernsehen empfangen.

Im neunten Fünfjahrplan (1971–1975) gelangte mit Salut 1 am 19. April 1971 die erste bemannte Raumstation der Welt in eine Umlaufbahn. An Bord weiterer Außenstationen konnten eine Reihe von Problemen wie Zubringermissionen, Mannschaftswechsel und monatelange Flüge erfolgreich gelöst werden. 1975 fand das erste internationale Unternehmen der bemannten Raumfahrt statt, das Sojus-

Apollo-Test-Projekt, mit dem nachgewiesen wurde, daß friedliche Koexistenz und Kooperation statt Konfrontation auch bei der Erschließung des erdnahen Weltraums den Völkern zum Nutzen gereichen.

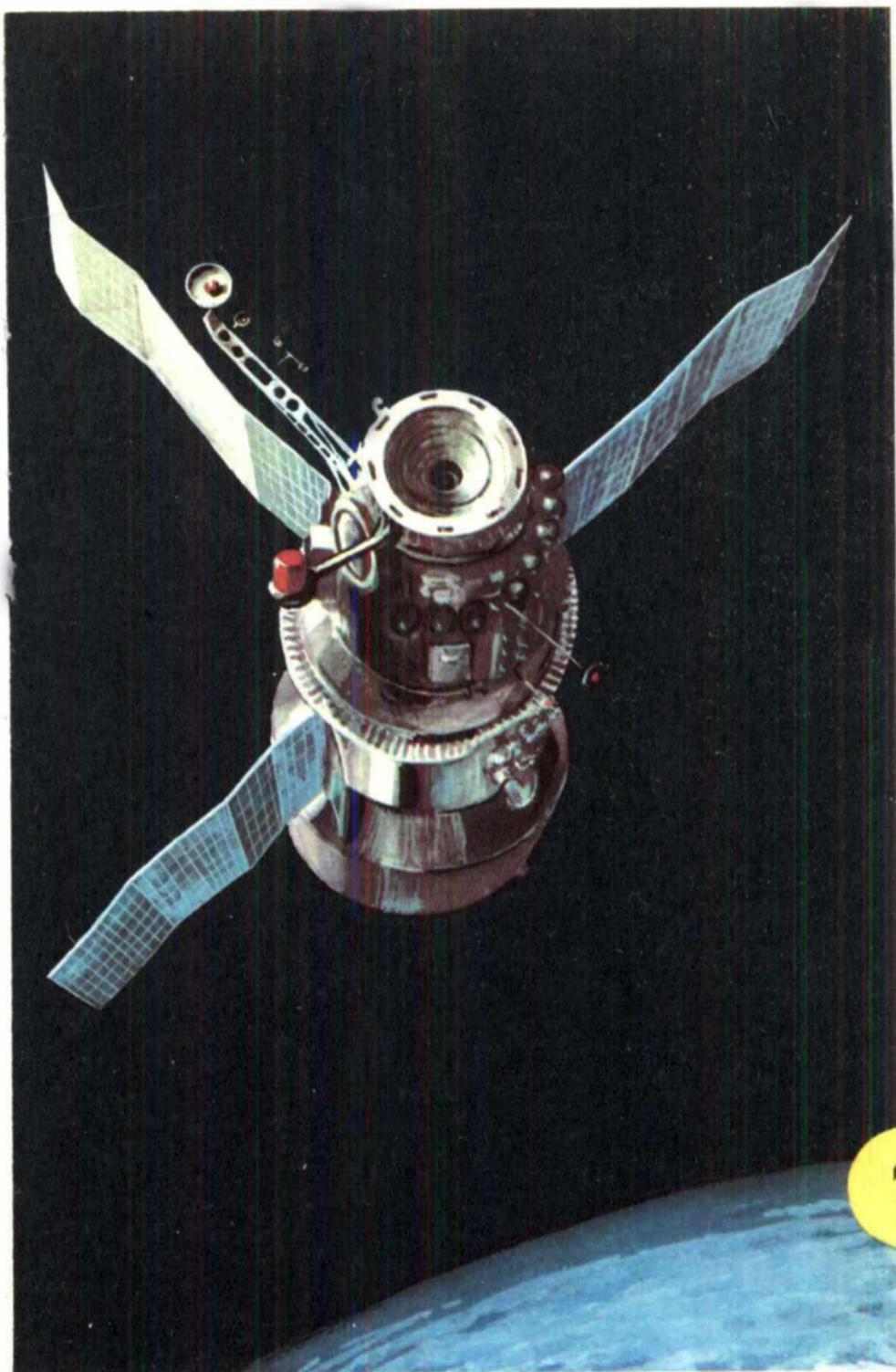
In diesem Fünfjahrplanzeitraum starteten rund 500 Raumflugkörper, darunter 400 Forschungssatelliten mit Aufgaben, die mittelbar der Gesellschaft zugute kommen, und über 50 Anwendungssatelliten, die direkten volkswirtschaftlichen Nutzen bringen. Die Flugprogramme aller 10 bemannten sowjetischen Sojus-Raumfahrzeuge und Salut-Stationen enthielten Aufträge von über 20 Ministerien und Wirtschaftsvereinigungen.

Der zehnte Fünfjahrplan (1976–1980) hat der sowjetischen Raumfahrt folgende Aufgaben gestellt: »Die Erforschung und Erschließung des Weltraumes sind fortzusetzen. Zu erweitern sind Untersuchungen über den Einsatz von Mitteln der Raumfahrttechnik zur Erforschung der Naturschätze der Erde, in der Meteorologie und der Navigation, im Nachrichtenwesen und für andere volkswirtschaftliche Zwecke.« Allein in der ersten Hälfte dieses Planungszeitraumes starteten über 250 Forschungs-, 32 Anwendungs-, 5 Gemeinschaftssatelliten, 11 bemannte Raumschiffe, 2 Orbitalstationen und 4 unbemannte Transporthaumschiffe.

Die ersten Salut-Zyklen

In der Chronik der Orbitalstationen wurde mit Salut 6 ein neues Kapitel aufgeschlagen: die Ära der ständigen Außenstationen. Innerhalb des ersten Jahres durchlief dieses Komplexexperiment zwei in sich geschlossene Zyklen, die mit elf Kosmonauten, elf Raumflugkörpern, elf Kopplungen und Entkopplungen, sechs Mannschaften, vier Besuchergruppen und zwei Stammbesatzungen bestritten wurden. Fünf Pionierleistungen der sowjetischen Raumfahrt sind dabei besonders hervorzuheben: die erste Außenstation mit zwei »Ankerplätzen« für Raum-

1. Salut 6, eine Raumstation neuen Typs mit zwei Andockvorrichtungen





2

schiffe; die erste aus drei Raumflugkörpern montierte »Orbitage«; das erste »Quartett« von Kosmonauten in einem Himmelslabor; die erste »Tankstelle« im Weltraum, die erste Umkopplung eines Raumschiffes vom Heck zum Bug der Orbitalstation und die ersten »Interkosmonauten«.

Mit der sicheren und sanften Landung des Raumschiffes Sojus 27 mit den beiden Kosmonauten Juri Romanenko und Dr. Georgi Gretscho fand der erste Zyklus des Salut-Sojus-Progreß-Programms seinen erfolgreichen Abschluß.

Wie der Verlauf des gesamten Unternehmens bewies, handelte es sich bei Salut 6 um eine weiterentwickelte Station, die sich durch vier Vorzüge auszeichnet. Sie besitzt ein universelles Steuerungssystem, das auf eine wesentliche Erhöhung der Masse der gekoppelten Raumflugkörper berechnet ist. Zwei Kopplungsstützen, je einer am Bug und am Heck, gestatten es, gleichzeitig zwei Raumschiffe anzudocken. Sie vermag große Mengen von Lebensmitteln mitzuführen sowie Wasservorräte, Elektrizität und wissenschaftliche Geräte, die in den geräumigen Schotten gespeichert sind. Auf Monate sind auch die Reserven von Treibstoff für die Lageregelungs- und Steuertriebwerke berechnet.

Eine Analyse der vorläufigen Ergebnisse des Salut-Sojus-Progreß-Programms macht deutlich, mit welchem Tempo und mit welcher Dynamik die sowjetische Kosmonautik voranschreitet. Für sie hat die Zukunft permanenter Raumstationen schon begonnen. So gelang es ihr, allein innerhalb der ersten beiden Zyklen von Salut 6 drei Probleme der Perspektiven bemannter Weltraumflüge zu lösen. Vor dem Start des ersten Kosmonauten lautete die biomedizinische Hauptfrage: »Kann der Mensch im All die Schwerelosigkeit ertragen?« Inzwischen hat sich jedoch die Fragestellung geändert: »Wie lange kann der Mensch im Zustand der Schwerelosigkeit leben, ohne Schaden zu nehmen?« Die Expeditionen der beiden Stammesatzungen von Salut 6, Juri Romanenko und Georgi Gretscho sowie Wladimir Kowaljonok und Alexander Iwantschenkow, sind die bisher letzten Glieder

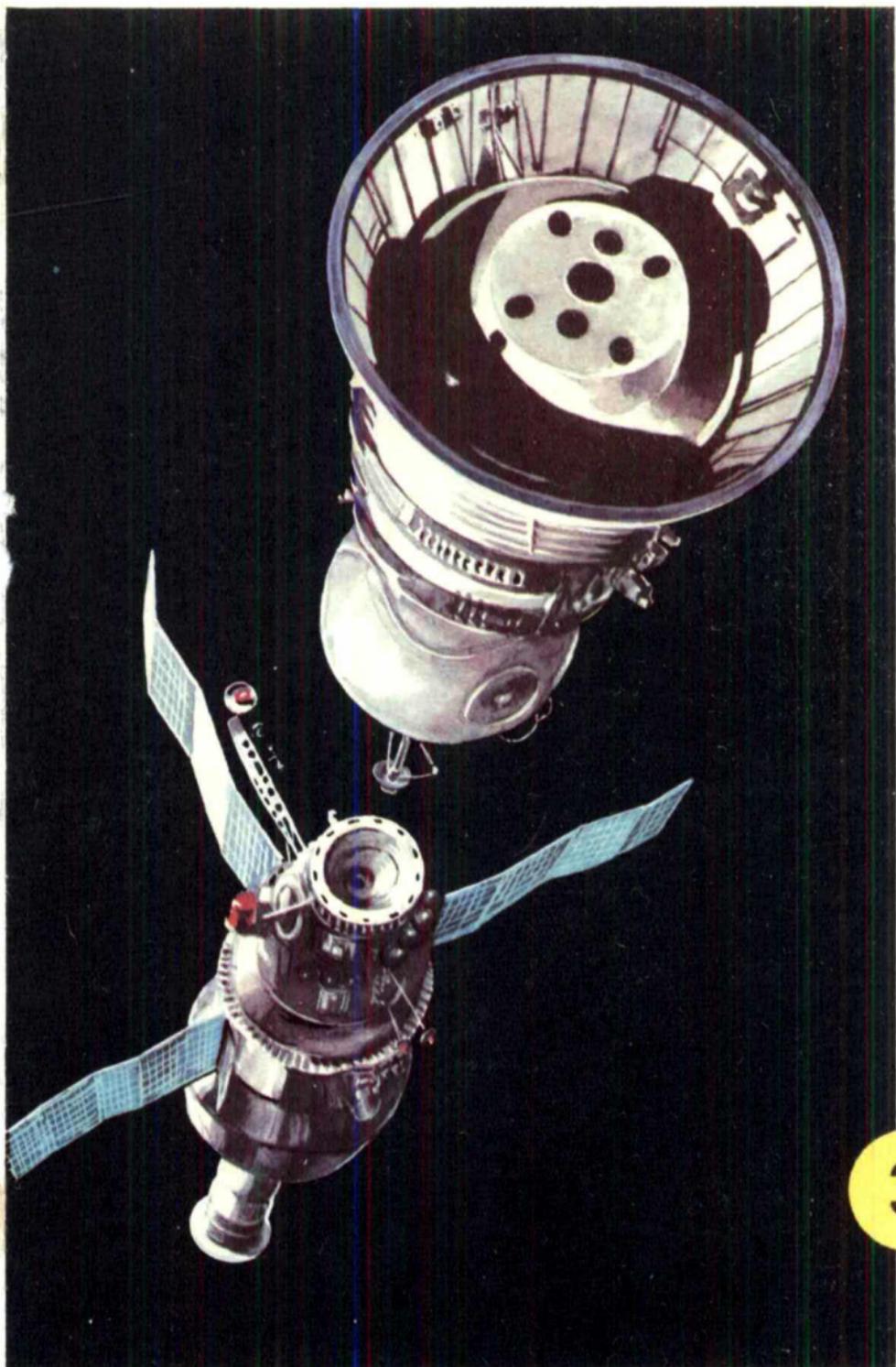
2. Sojus 26 legt an Salut 6 an.

in einer langen Kette von Experimenten, mit denen die Flugdauer der Kosmonauten systematisch erhöht wurde: Auf Juri Gagarins 108minütige Erdumrundung im April 1961 folgten Orbitalflüge von 1, 4, 5, 18, 24, 30, 63, 96 auf 140 Tagen Dauer. Diese Schritte lassen erkennen, mit welcher Weitsicht, Umsicht, aber auch Vorsicht die sowjetischen Raumfahrtmediziner vorgehen.

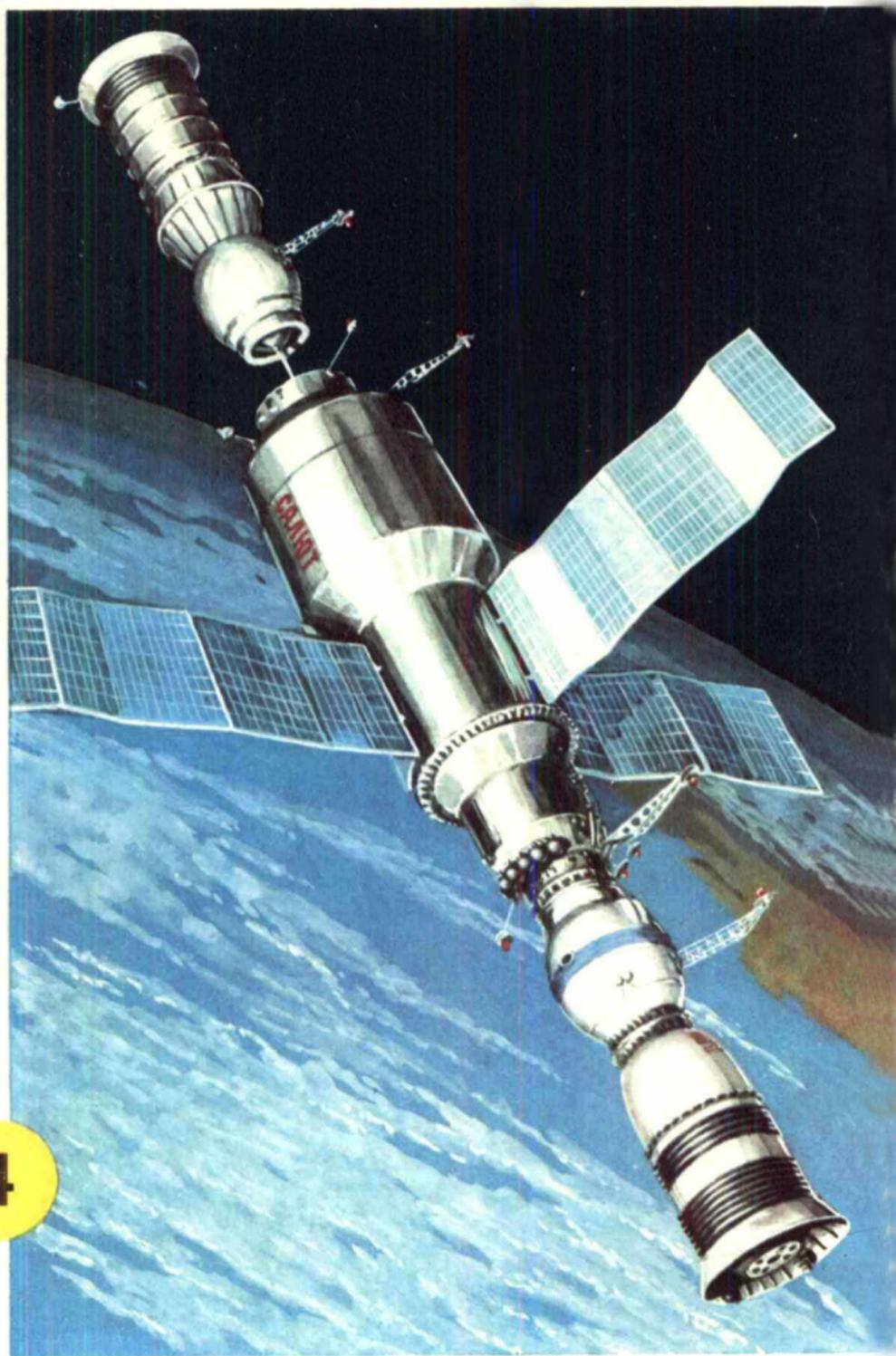
Die letzten »Sprünge« waren mit 33 bzw. 44 Tagen die bisher größten. Ihr wichtigstes Ergebnis ist die Aussage, daß der Mensch drei bis fünf Monate Raumflug ohne irreversible Schäden, ja ohne gesundheitliche Beeinträchtigungen überstehen kann. Deshalb ist es wahrscheinlich, daß nach gründlicher Auswertung der insgesamt achtmonatigen Flugzeit der beiden Stammesbesetzungen von Salut 6 eine weitere Erhöhung der Expeditionsdauer auf etwa 180 Tage erfolgt. Der ehemalige Chefarzt der amerikanischen Astronauten Dr. Charles Berry erklärte in diesem Zusammenhang: »Biomedizinische Flugdaten über einen Zeitraum von sechs Monaten reichen als solide Basis einer sicheren Extrapolation für den Flug zum Mars aus. Während dieses Zeitraumes würden nämlich alle physiologischen und psychologischen Veränderungen offenkundig werden.« Dr. Berry zeichnete übrigens für die Steigerung der Aufenthaltsdauer amerikanischer Astronauten verantwortlich, die nach dem fünfzehnminütigen ballistischen »Hüpfen« Alan Shepards im Mai 1961 zunächst auf 4, 9 und 34 Stunden und dann auf 4, 8, 14, 28, 59 und 84 Tage erhöht wurde. Da die Flugzeiten des Space Shuttle zwischen 7 und 30 Tagen liegen, können die Biologen und Mediziner der NASA vor Ende dieses Jahrhunderts in dieser Hinsicht kaum mit neuartigen wissenschaftlichen Daten rechnen. »Die Russen fliegen uns davon«, kommentierte Charles Conrad, erster Kommandant des Skylab, dritter Mann auf dem Mond und heute als Vizepräsident zweiter Boss des US-Konzerns Douglas. »Die Sowjets verfügen jetzt über ausreichende medizinische Daten, um auch die Auswirkung jahrelanger Flüge hochrechnen zu können.«

Außerordentlichen Eindruck machte auf die internatio-

3. Raumfahrzeug Sojus 27 koppelt mit dem Raumflugkomplex Salut 6/Sojus 26.



3



4

nale Fachwelt aber auch die Technologie des Salut-Sojus-Progreß-Programms. So hoben amerikanische Experten hervor, daß die sowjetischen Raketentechniker und Raumfahrtkonstrukteure mit einem Minimum an Aufwand ein Maximum an Erfolg sicherten. Allein im ersten Jahr des Fluges von Salut 6 erfolgten ebenso viele Rendezvous- und Kopplungsmanöver wie in den beiden vorangegangenen Jahrzehnten sowjetischer Kosmonautik. Mehr als ein halbes Dutzend Bahnmanöver sorgten dafür, daß Salut 6 über ein Jahr lang auf einer nahezu idealen Kreisbahn von 350 km Höhe die Erde umrundet. Länger als insgesamt zwei Monate lagen vier Progreß-Versorgungsraumschiffe am Heck der Orbitalstation vor Anker. Sie brachten den Besatzungen fünf Tonnen Stückgut 400 verschiedener Positionen, was der Ladung eines großen Lkw entspricht, und 4000 Liter Treibstoff, mit der ein Pkw einmal um die Erde fahren könnte.

Interessante Hinweise für die Perspektiven dieser Technologie gab der Wissenschafts-Kosmonaut und Raumschiffkonstrukteur Prof. Dr. Konstantin Feoktistow: »Schon in naher Zukunft ließen sich im erdnahen Raum Modul-Stationen errichten, deren einzelne Bauelemente für spezielle wissenschaftlich-technische Experimente genutzt werden könnten. Wichtigste Voraussetzung für den Bau derartiger komplettierungsfähiger Außenstationen wäre die Ausstattung der »Mutterschiffe« mit mehreren Kopplungsvorrichtungen, mindestens mit sieben bis acht. An diese Anlegestellen ließen sich dann Blöcke für die Durchführung spezieller technologischer, astronomischer und geophysikalischer Forschungen an koppeln. Wenn z. B. eine wissenschaftliche Apparatur verbessert und das Programm geändert würde – was hinderte uns daran, ein Modul abzukoppeln und neue in die Erdumlaufbahn zu bringen? Ich denke, eben derartigen Modulstationen wird die nahe Zukunft gehören!«

Denkbar wäre auch, daß als Bausteine solcher Komplexe die Orbitalsektionen von Sojusschiffen bzw. die Frachtsektionen von Progreßtransportern dienen. Diese

4. Der Raumtransporter Progreß 1 versorgt die Raumstation Salut 6, an die das Raumfahrzeug Sojus 27 angekoppelt ist.

Module verglühen gegenwärtig beim Eindringen in die dichten Schichten der Erdatmosphäre, wenn sie ihre Aufgabe erfüllt haben. Sie könnten jedoch ebensogut als Anbau genutzt werden, der jeweils mit einem freien Kopplungsstutzen der Orbitalstation verbunden wird. Die Einrichtung der Module würde bereits auf der Erde erfolgen; z. B. entstünde durch Installation eines Teleskops eine Sternwarte, durch Schmelzöfen eine Werkstatt, durch biologisch-medizinische Geräte ein Labor, durch verschiedene Kameras ein Fotoatelier für die Erderkundung.

Bereits das erste Lebensjahr der Orbitalstation Salut 6 brachte eine enorme Erhöhung der Effektivität und Rentabilität, die bei den relativ hohen Transportkosten in der Raumfahrt von erstrangiger Bedeutung sind. In den sechs Jahren zwischen 1971 und 1976 kamen 13 Raumflugkörper für bemannte Raumfahrtunternehmen zum Einsatz: fünf Salut-Stationen und acht Sojusschiffe für die Verbindung Erde—Orbitalstation. Die Gesamtmasse dieser Objekte betrug 148,9 t, die Aufenthaltsdauer der 13 Kosmonauten an Bord der Raumstation zusammengerechnet 190 Tage oder gut sechs Monate. Demgegenüber wurden die ersten beiden Zyklen von Salut 6 mit 11 Raumflugkörpern, einer Orbitalstation, sechs Passagierraumschiffen und vier Versorgungsraumschiffen, bestritten. Ihre Gesamtmasse lag bei 87,7 t, und die Aufenthaltsdauer der 12 Kosmonauten erreichte insgesamt 231 Tage, fast acht Monate. Das bedeutet, daß mit einer über 40% geringeren Umlaufmasse ein weit höherer Nutzeffekt erzielt werden konnte.

Mit dem Salut-Sojus-Progreß-Programm wird Realität, was bisher Domäne der Utopie war: die Arbeit von Menschen verschiedener Länder und Erdteile an Bord einer Außenstation im Dienst der Wissenschaft, zum Nutzen der Volkswirtschaft und zum Wohle der Menschheit. Die Forschungskosmonauten der ČSSR, der VRP und der DDR – Vladimir Remek, Mirosław Hermaszewski und Sigmund Jähn – haben 1978 für jeweils eine Woche gemeinsam mit ihren sowjetischen Genossen im Orbit gearbeitet. Bulgarische, ungarische, kubanische, mongolische und rumänische Kollegen werden ihnen in den nächsten Jahren folgen.

Neun neue Weltraum-Weltrekorde

Mit rund 3 351 Raumflugstunden oder fast 140 Tagen weilten Kowaljonok und Iwantschenko länger im Kosmos als jemals Menschen vor ihnen. Um 1 335 Stunden oder mehr als 56 Tage überboten sie den 84-Tage-Flug der letzten Skylab-Besatzung. Sie entsprachen auch den Anforderungen der FAI, der Internationalen Aeronautischen Föderation, die für die Überbietung eines Weltrekordes eine Mehrleistung von 10% verlangt. Gleichzeitig erhöhten die beiden sowjetischen »Weltall-Marathonläufer« den Streckenrekord auf rund 90 Millionen km und den Rundenrekord auf 2 240 Erdumkreisungen. Kowaljonok ist mit zwei Raumflügen von 3 399 Stunden oder 142 Tagen Dauer bisher der einzige Mensch, der die 3 360-Stunden- bzw. 140-Tage-Marke überschritten hat. Während dieser Zeit legte er über 90 Millionen km zurück und umrundete unseren Planeten 2 272 mal.

Das Verhältnis zwischen dem automatischen und bemannten Betrieb sowjetischer Orbitalstationen, das in den letzten sieben Jahren etwa bei 8:1 lag, beträgt für die 399 Tage des Komplexexperimentes zwischen dem Start von Salut 6 und der Landung der zweiten Stammbesatzung 166:233 Tage. Deutlich wird das Schema eines in sich geschlossenen Zyklus erkennbar, für den die sowjetische Kosmonautik ihr aus vier Grundelementen bestehendes Raumflugsystem in Zukunft nutzen will:

- Salut-Stationen als Kerne wechselnder, linear angeordneter Orbitalkomplexe, die verschiedenen Mannschaften nebeneinander und nacheinander – als Besuchergruppen oder im fliegenden Schichtwechsel – Arbeitsmöglichkeiten bieten;
- Sojus-Passagiertraumschiffe, die Besucher oder Ablösungen und Abgelöste zwischen Erde und Orbit befördern und auch kleinere Mengen Nachschub zur Station bringen bzw. Forschungsergebnisse zurücktransportieren;
- Progreß-Transportraumschiffe, die als Frachter und Tanker die Orbitalstation versorgen.

Für das »Stückgut« (frische Nahrung, neue Kleidung und Wäsche, Filmkassetten und Tonbänder, Meßinstrumente und Forschungsapparaturen, Luftfilter und Kohlendioxid-

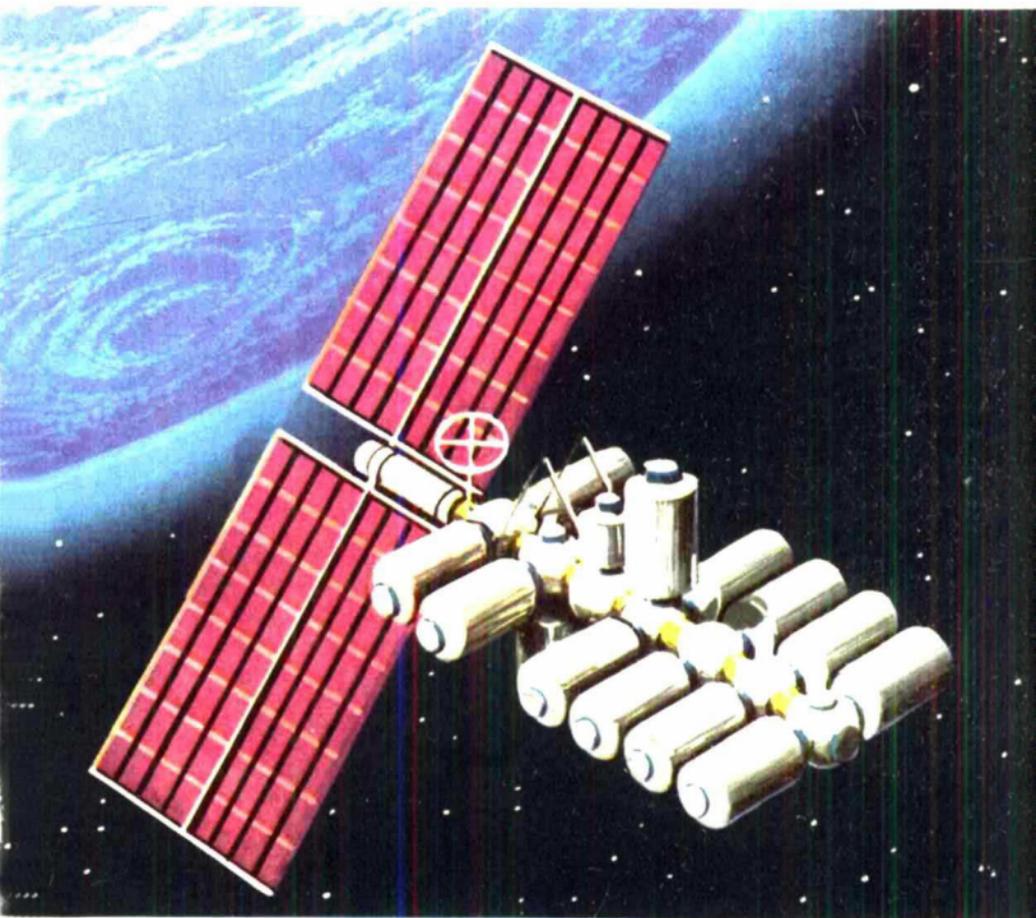
absorber, Ventile und Ventilatoren, frisches Wasser sowie Sauerstoff und Stickstoff für die Kabinenatmosphäre) dient der Laderaum im »Vorderdeck« mit einer Kapazität von 1,3 t. Der Tankraum »mittschiffs« für den flüssigen Brennstoff und Sauerstoff sowie für das Druckgas faßt 1 t.

An eine weitere Variante des Güterverkehrs zwischen Erde und Orbit erinnerte kürzlich der erste Wissenschaftskosmonaut und Raumschiffkonstrukteur Professor Dr. Konstantin Feoktistow: an unbemannte Sojus-Transportraumschiffe. Sie würden »Eilpost« befördern, z. B. »Wissenschafts-Pakete« mit Versuchsergebnissen, die nicht bis zur Ablösung der Besatzung oder bis auf den Rückstart von Besuchern warten können, oder größere »Gerätekisten«, z. B. mit einer Multispektralkamera, die in der Rückkehrkapsel der bemannten Sojus-Raumschiffe keinen Platz findet. Mit den beiden unbemannten Raumflugkörpern Sojus 20 und Salut 4 konnte diese Methode 1975/76 bereits erfolgreich erprobt werden.

Koroljows Konzept

Die kühne Idee Ziolkowskis, des »Träumers von Kaluga«, im Weltraum »Inseln des Lebens« zu schaffen und mit »Raketoplanen« (Flughöhen: 500 bis 1 000 km) zu versorgen, wurde von seinen Schülern systematisch verwirklicht. Der bedeutendste unter ihnen, Akademiemitglied Sergei Koroljow, der »Vater des Sputniks«, der die Entwicklung der großen sowjetischen Trägerraketensysteme, der Mond-, Venus- und Marssonden sowie die Unternehmen der Wostok-, Woßchod- und ersten Sojus-Raumschiffe leitete, notierte 1960 – also noch vor dem ersten Raumflug eines Menschen – in sein Arbeitsbuch:

»b. Die bewohnbare Orbitalstation als Erdbegleiter zur Abfertigung und Annahme von Raumschiffen. Eine wichtige Frage dabei ist die Montagemöglichkeit auf der Umlaufbahn. Die Bedeutung einer solchen Zwischenstufe in 300 bis 400 km ist riesig. Es wären sehr schwere Satelliten-Raumschiffe mit einem Gewicht von 50 bis 70 und sogar von 100 und mehr Tonnen.



Nach dem Baukastenprinzip aufgebaute Raumstation für 12 Personen

c. Das gleiche, jedoch weit von der Erde entfernt – eine Variante auf dem Mond und dem Mars.

d. Der Flug zu anderen Planeten. Man könnte die Sonnenenergie für den Flug ausnutzen. Forschungs- und Erkenntnisziele – die Ausbeutung ihrer materiellen Ressourcen. Viel Sonne – ein reiches Wachstum an Getreidearten u.ä. Errichtung von Stationen und Ansiedlungen auf den Planeten zur Ausbeutung der Bodenschätze und zur Sicherung der interplanetaren Flüge, der überweiten Funkverbindungen usw.

Und an einer anderen Stelle schrieb er nach den ersten Flügen sowjetischer Kosmonauten:

»Zur Lösung der einen oder anderen Aufgabe, die mit der Eroberung des Weltalls zusammenhängt, wäre es nicht günstig, in jedem Fall und jedesmal einen eigenen Satelliten auf eine Bahn zu bringen. Offensichtlich ist ein gut durchdachtes System von kosmischen Orbitalanlagen erforderlich ...

Wahrscheinlich wird auch bald die Frage gestellt werden, was es denn für einen Sinn habe, solche teure Sy-

Dreistufenplan der UdSSR für Raumstationen

Zeitraum	Typ	Aufbau
70er Jahre	Kleinere Orbitalstationen, z. B. zylinderförmig Prototyp: Salut Masse: 18,9t Länge: 15 m Durchmesser: 4,15 m Volumen: 90m ³	Ganzheitsmethode: als komplette Station in den Orbit befördert Sektionsbauweise: aus zwei oder mehr Stationen durch Kopplung verbunden
80er Jahre	Mittlere Außenstationen, z. B. hantelförmig	Fertigteilbauweise: vorgefertigte Segmente in der Umlaufbahn durch Monteure zusammengesetzt
90er Jahre	Große Raumbasen, z. B. toroidförmig (reifenartig)	Blockbauweise: vorgefertigte Blöcke im Orbit mit Hilfe von Bugsier-Raum- schiffen (Raumschleppern) montiert

steme, wie es bemannte Raumflugkörper sind, für ein paar Tage in den Kosmos zu starten. Sicherlich muß man sie auf eine Umlaufbahn bringen und sie längere Zeit fliegen lassen. Die Versorgung dieser Orbitalstationen mit allem Erforderlichen sowie die Auswechslung der Mannschaft kann mit Hilfe von einfachen Typen kosmischer Flugkörper erfolgen ...«

Der große Gelehrte und geniale Techniker machte sich

Aufgaben	Transportmittel	Anzahl der Besatzungsmitglieder	Funktionsdauer in Jahren
Mehrzweckstation: Erderkundung, Werkstoffprobung, Lebenserforschung, Himmelsbeobachtung	Raketen: Proton Triebwerksleistung 60 Mill. PS Passagier-Raumschiffe: Sojus Masse: 6,5 t Länge: 9,3 m Durchmesser: 2,6 m Volumen: 10 m ³ Fracht-Raumschiffe: Progreß Masse: 7,02 t Länge: 9,94 m Stauraum: 6.6 m ³ Ladekapazität: 2,3 t	2 bis 8, z. B. Salut 6: 4 Mann	0,1 bis 5, z. B. Salut 4: 2 Jahre, davon 3 Monate bemannt
Vielzweckstationen: Forschungslaboratorien, Fertigungswerkstätten, Dispatcherzentralen für diverse Dienste	Raketen Raumschiffe Raumfähren (Kosmoljot)	12 bis 24	5 bis 10
Allzweckstationen: Forschungsinstitute, Fabrikationsbetriebe, Raumreparaturstützpunkte, Raumschiffhäfen, Raumschiffwerften	Raumfähren Raumschlepper	50 bis 120	10 bis 100

auch Gedanken über den Verkehr zwischen größeren Raumschiffen und Orbitalstationen, die in einer bestimmten Entfernung voneinander fliegen: »Es fragt sich, wie soll man da aus einem in das andere überwechseln? Bestimmt nicht im Raumanzug mit Hilfe irgendeines kleinen Motors in Form einer Rückstoßpistole. Dann muß schon so etwas wie ein Weltraumtaxi, eine kosmische Schaluppe, gebaut werden ...«

Koroljows Konzept, das Schritt für Schritt verwirklicht wird, fand seinen Niederschlag in einem Dreistufenplan, der vom Beginn der 70er Jahre unseres Jahrhunderts bis zum Übergang in das nächste Säkulum reicht.

Das Salut-Sojus-Progreß-Programm der Jahre 1977/78 wurde mit einem Raumflugsystem betrieben, das aus mehreren Elementen bestand: einer langlebigen Orbitalstation, Einweg-Versorgungsschiffen und Zweiweg-Transportraumschiffen.

Damit haben die sowjetischen Wissenschaftler und Techniker eine außerordentlich rationelle Methode des Raumtransportes gefunden, die es gestattet, die in großer Zahl vorhandenen konventionellen Flüssigkeitsraketen zweckmäßig einzusetzen und die Entwicklung, Erprobung und Einführung des Kosmoljot ohne Zeitdruck und mit dem Ziel höchster Wirtschaftlichkeit zu betreiben.

Verlängerung der Lebensdauer

Die Wirtschaftlichkeit der Salut-Stationen hat ständig zugenommen, stieg doch ihre Funktionsdauer von sechs Monaten auf mehr als zwei Jahre, die Anzahl der Besatzungen von einer auf sechs und deren Aufenthalt an Bord von drei Wochen auf fast fünf Monate.

Der Einsatz solcher Weltraumtanker und -frachter wie Progreß, die den Treibstoff, den Lebensmittel- und Wasservorrat von Zeit zu Zeit auffüllen, erlaubt es, die »Lebensdauer« der Salut-Stationen erheblich zu verlängern; denn nur durch wiederholtes Zünden der Triebwerke kann die Umlaufbahn stabil gehalten werden.

Bekanntlich wirken die Ausläufer der Erdatmosphäre wie eine Bremse auf Raumflugkörper im erdnahen Orbit.

Eine größere »Lebenserwartung« der Station bedeutet aber auch, daß sie mehr Besatzungen empfangen kann, die länger an Bord bleiben. Nach dem ersten Salut-Sojus-Progreß-Zyklus, dem weitere folgen werden, rechnen internationale Experten in Zukunft mit einer »Lebensdauer« der sowjetischen Orbitalstationen bis zu fünf Jahren, einer Ausdehnung der »Arbeitszeit«, d. h. der Gesamtaufenthaltsdauer ihrer Besatzungen im All, auf Jahre und mit vielfachen Schichtwechseln: Progreß selbst ist ein relativ billiges Raumschiff, benötigt es doch nicht die teuren Anlagen zur Lebenserhaltung sowie Systeme für die Rückführung, für eine weiche Landung, wie sie die bemannten Sojus-Raumschiffe besitzen. Man könnte sie mit einer »Einwegflasche« vergleichen, die gefüllt von der Erde zur »Baustelle« im All »hinaufgeworfen« wird und, nachdem sie geleert ist, zurückfällt und in der Atmosphäre verglüht.

Eine hohe Wirtschaftlichkeit wird in der sowjetischen Kosmonautik durch weitgehende Standardisierung erreicht. So konnten die über 1300 Nutzlasten mit nur 20 Grundtypen von Raumflugkörpern und fünf Standardausführungen von Trägerraketen gestartet werden, die in Serienproduktion entstehen und nach dem Baukastenprinzip variierbar sind. Demgegenüber kamen in der Astronautik der USA infolge des Konkurrenzkampfes der Luft- und Raumfahrtkonzerne und der Rivalität der Teilstreitkräfte für rund 900 Nutzlasten etwa 80 verschiedene Raumflugkörper und 20 diverse Raketentypen zum Einsatz.

In den nächsten Jahren ist innerhalb des Salut-Sojus-Progreß-Programms eine weitere Erhöhung der Effektivität zu erwarten, und zwar durch den »fliegenden Wechsel« sich »überlappender Schichten« von Besatzungen, die »rund um die Uhr« arbeiten. So wären Außenstationen denkbar, die durch die lineare Kopplung von zwei Salut-Stationen oder auch durch die radiale Montage eines Orbitalkomplexes aus drei oder vier Raumstationen dieses Typs entstehen. Sie würden die Arbeit von acht, zwölf oder 16 Kosmonauten und Weltraumwissenschaftlern gleichzeitig erlauben.

Milliarden verpulvert?

Seit Beginn der Raumfahrt kommt immer wieder Zweifel auf, ob es denn überhaupt zu rechtfertigen sei, angesichts der vielen ungelösten Probleme auf der Erde Milliarden im Weltraum zu »verpulvern«. Eine Frage, die durchaus berechtigt ist, gaben doch nach vorsichtigen Schätzungen die beiden führenden Raumfahrtnationen, die UdSSR und die USA, bisher etwa je 40 Milliarden Dollar für zivile Weltraumunternehmen aus. Eine hohe Summe, doch – verglichen mit den 400 Milliarden Dollar, die nach Angaben der UNO jährlich für militärische Zwecke ausgegeben werden – machen die insgesamt 80 Milliarden Dollar für die Raumfahrt in mehr als 20 Jahren gerade 4 Milliarden Dollar pro Jahr oder 1% der Rüstungsausgaben aus. Die jährlichen Militärausgaben entsprechen dem Bruttosozialprodukt von über zwei Milliarden Menschen in den Entwicklungsländern – der Hälfte der Menschheit. Nach einer Analyse der PIRGIM (Public Interest Research Group in Michigan, der Forschungsgruppe für Öffentliches Interesse in Michigan) könnten die Steuern um fast die Hälfte gesenkt und die dringendsten sozialen und kulturellen Bedürfnisse der Bevölkerung der »dritten Welt« befriedigt werden, würde man die Rüstungslasten um 150 Milliarden Dollar verringern.

Die Kosmonautik aber hat längst die Rentabilitätszone erreicht. Zu Beginn der Raumfahrtära war das Kosten-Nutzen-Verhältnis mit etwa 4:1 negativ. Doch heute kann die sowjetische Kosmonautik bereits eine positive Bilanz von über 1:2 aufweisen. Die Orbitalstationen spielen für diesen Anstieg der Rentabilität eine immer größere Rolle. So sagte der Wissenschaftskosmonaut und Raumschiffkonstrukteur Dr. Witali Sewastjanow, daß allein der volkswirtschaftliche Nutzen des Fluges von Salut 4, in Rubel umgerechnet, nicht nur die Kosten dieses Experimentes deckte, sondern auch die Mittel für das folgende Experiment mit Salut 5 bereitstellte. Während des zweijährigen Einsatzes von Salut 4 arbeiteten zwei Mannschaften von zusammen vier Kosmonauten 89 Tage an Bord und erfüllten Aufträge von 20 verschiedenen Ministerien und Volkswirtschaftszweigen der UdSSR. Die Station Salut 6

hingegen beherbergte bereits in ihrem ersten »Lebensjahr« zwölf Kosmonauten bei sechs Besatzungen bzw. Besuchergruppen insgesamt 233 Tage lang. Das Forschungsprogramm umfaßte Versuchsanordnungen von fünf Staaten: der UdSSR, der DDR (22 verschiedene Experimente), der ČSSR (Morav), der VR Polen (Syrena) und Frankreichs (Zytos). Sicherlich können Ökonomen nach Abschluß des Komplexexperiments mit Salut 6 ein Kosten-Nutzen-Verhältnis von 3:1 und mehr ausweisen. Auf einigen Gebieten der Anwendung von Weltraumtechnologien, wie z. B. in der Schweißtechnik, der Metallurgie und der Kristallzüchtung, übertraf der volkswirtschaftliche Nutzen die investierten Mittel sogar um das Fünffache.

Produktivkraft Kosmonautik

Die Raumfahrt hat der Menschheit einen neuen reichen Quell der Produktivkraft Wissenschaft erschlossen. Wie in der Vergangenheit Schifffahrt und Luftfahrt neue technische Entwicklungen initiierten, z. B. die Antriebsmaschinen und die Leichtbauweise, so ist heute die Kosmonautik Katalysator des wissenschaftlich-technischen Fortschritts.

Erkenntnisse und Erfahrungen, die im Weltraum gewonnen wurden, finden in die Produktion Eingang. So sind z. B. Transistorradios und Taschenrechner, Halbleiter und Herzschrittmacher, Digitaluhr und Diffusions-schweißen eindeutig »Abfallprodukte« der Raumfahrttechnik.

Bedingungen, die im Universum herrschen, werden auf die Erde geholt, d. h. in der Produktionsphäre nachgebildet oder für die Lösung von Menschheitsproblemen genutzt, z. B. das Hochvakuum für die Bildröhrenherstellung, Tieftemperaturen für die Lebensmittelkonservierung, das Hochtemperaturplasma für die Meisterung der Kernfusion, die Intensivstrahlung für die Krebsforschung.

Gegenwärtig stehen wir am Anfang der Verlagerung bestimmter Teile von Produktionskomplexen in den Kosmos, wo unbeschränkt und praktisch kostenlos Verhältnisse zur Verfügung stehen, die auf der Erde überhaupt

nicht oder nur annähernd und mit hohem Aufwand nachahmbar sind: ständige Schwerelosigkeit, höchstes Vakuum, energiereiche Strahlung, extreme Temperaturen, unbegrenzter Raum, absolute Lautlosigkeit. Unter diesen Bedingungen laufen viele Produktionsprozesse anders ab als auf der Erde. Bekannte Materialien verändern ihre Eigenschaften, völlig neue, »exotische« Werkstoffe entstehen.

Zu dieser Zukunft, die schon begonnen hat, gehören auch die verschiedenen Projekte wiederverwendbarer Raumtransporter, einer Art Kombination von Rakete und Flugzeug.

Berlin, im November 1978

Nahverkehr ins All?

»Astronomische Kosten«?

Die Raumfahrttechnik, insbesondere auch die Satellitentechnik, wird immer komplizierter. In der Sowjetunion und in den USA werden in fast regelmäßigen Abständen künstliche Erdsatelliten verschiedener spezieller Zweckbestimmung auf die unterschiedlichsten Umlaufbahnen gebracht. Die Sowjetunion betreibt planmäßige Forschungsarbeiten mittels Salut-Orbitalstationen. Die Erforschung des Mondes, des mondnahen Raumes und der Planeten wird mit Hilfe von automatischen Apparaten fortgesetzt. Die Startfenster für Marsflüge (ein Startfenster von 1 bis 2 Monaten Dauer bei einem mittleren Zyklus von 26 Monaten) und für Venusflüge (ein Startfenster von einem Monat Dauer nach jeweils 19 Monaten) werden in der Regel zumindest von einem der beiden Länder, der UdSSR oder den USA, genutzt. Die Erforschung des Jupiters und der fernen Randgebiete des Sonnensystems mit Hilfe der Raumfahrttechnik hat begonnen.

Sowjetische Trägerraketen brachten bis Ende 1977 mehr als 20 Satelliten auf Umlaufbahnen, deren Apparaturen das Ergebnis der gemeinsamen Anstrengungen von Wissenschaftlern der sozialistischen Länder waren oder Sputniks indischer und französischer Herkunft. Mit Hilfe von US-Raketen wurden eine ganze Reihe von Satelliten Großbritanniens, Italiens, Kanadas, der BRD usw. gestartet sowie Satelliten der ESA (European Space Agency), der (west)europäischen Weltraumorganisation. Mittels eigener Raketen wurden Satelliten Großbritanniens, Chinas, Frankreichs und Japans auf Umlaufbahnen gebracht.

Anwendungssatelliten (Nachrichtensatelliten, Wettersatelliten, Navigationssatelliten, Erderkundungssatelliten, ozeanographische, geodätische Satelliten usw.) beginnen, im Wirtschaftsleben der verschiedenen Länder eine immer größere Rolle zu spielen. Wenn sich dann auch noch eines Tages eine regelrechte Raumindustrie entwickelt haben wird, deren erste Ansätze wir während der Arbeit der Besatzungen von sowjetischen und amerikanischen Raumstationen des Typs Salut und Skylab bereits beobachten konnten, wird die Bevölkerung unseres Planeten den praktischen Nutzen der Raumfahrt in nicht geringerem Maße verspüren als gegenwärtig den Nutzen der Luftfahrt. Allerdings müßte bis dahin eine wesentliche Verbilligung von Raumflugkörpern und Weltraumunternehmen erreicht sein. Die hohen Kosten heutiger Geräte und Unternehmen sind ja hinlänglich bekannt. Erforderlich wären Trägermittel, die den Transport von 1 kg Nutzmasse auf eine Umlaufbahn (genauer: auf eine niedrige Umlaufbahn, die in der Nähe der dichteren Atmosphärenschichten liegt, mit einer Höhe in der Größenordnung von 160 bis 200 km) beträchtlich billiger werden lassen. Auch die Raumflugkörper selbst mit ihren Geräten und Einrichtungen sind heute noch sehr teuer; sie müßten selbstverständlich auch zu weitaus niedrigeren Kosten gebaut und genutzt werden können.

Eine amerikanische Trägerrakete Scout (8 Starts jährlich) kostete nach dem »Vorinflationkurs« von 1972 1,3 Millionen Dollar; die Aufwendungen für ihren Start und ihre Wartung betragen damals 1,2 Millionen Dollar. Verschiedene Modifikationen der in großem Umfang eingesetzten Thor-Delta-Rakete (später nur als Delta-Rakete bezeichnet) kosteten zwischen 3,1 und 3,9 Millionen Dollar; die Aufwendungen für ihren Start und für ihre Wartung lagen bei 1,6 Millionen Dollar. Entsprechend galten für andere Raketen folgende Werte: Atlas-Centaur 10,1 bzw. 3,1 Millionen Dollar; Atlas-Centaur-2 10,7 bzw. 3,1 Millionen Dollar; Titan-3 B-Centaur 12,0 bzw. 5,0 Millionen Dollar; Titan-3 C 15,6 bzw. 7,7 Millionen Dollar; Titan-3 D-Centaur 17,0 bzw. 7,7 Millionen Dollar und Titan-3 D-Centaur-2 17,7 bzw. 7,7 Millionen Dollar. Daß die inflationistischen Tendenzen der kapitalistischen

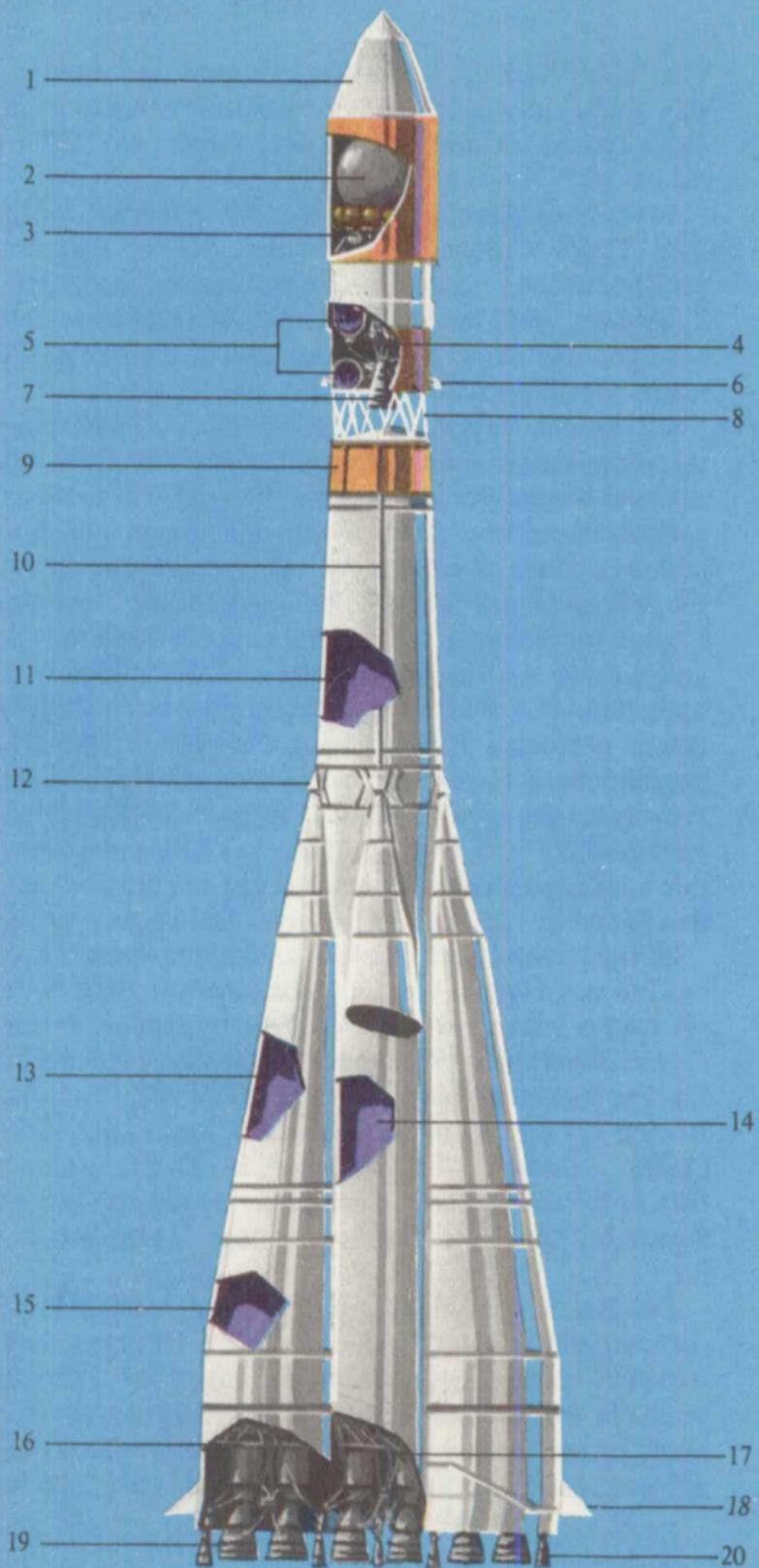
Wirtschaft auch die Raumfahrtindustrie beeinflussen, läßt sich daran erkennen, daß sich beispielsweise die Thor-Delta-Rakete in den letzten drei Jahren um 120% verteuerte!

Viele Nutzmassen sind aber noch erheblich teurer als ihre Trägerraketen. Die Kosten des amerikanischen astronomischen Satelliten Copernicus (gestartet am 21. August 1972 mit Hilfe einer Atlas-Centaur-Rakete) betragen damals 81,6 Millionen Dollar, die des geostationären Satelliten ATS-6 120 Millionen Dollar.

Die Kosten für jede Mondexpedition, die im Rahmen des amerikanischen Apollo-Programms durchgeführt wurde, nahmen wegen der immer komplizierter werdenden Aufgabenstellung und auch wegen der immer längeren Expeditionsdauer allmählich zu; sie betragen für die letzten Flüge jeweils ungefähr 450 Millionen Dollar. Darin sind die Kosten der Trägerrakete Saturn 5 mit 185 Millionen Dollar und die des Apollo-Raumschiffes mit 95 Millionen Dollar enthalten. Die Kosten des gesamten Apollo-Programms (sechs geglückte Expeditionen und eine infolge Havarie abgebrochene Expedition) werden einschließlich der theoretischen und experimentellen Entwicklungsarbeiten, der Entwicklung und Durchprüfung verschiedener Systeme, der vorangegangenen Versuchsflüge um die Erde und um den Mond auf 25 bis 26 Milliarden Dollar geschätzt.

Übrigens lassen sich die hier genannten Angaben durchaus mit den Kosten von Luftfahrtobjekten vergleichen, ja sie treten sogar hinter deren Kosten zurück. Nach den Preisen des Jahres 1972 verzeichnete man folgende Kosten für Passagierflugzeuge: Boeing 707 10 Millionen Dollar, Boeing 727 8,5 Millionen Dollar, Boeing 737 5,2 Millionen Dollar, Boeing 747 24 Millionen Dollar, Concorde 34,1 Millionen Dollar; ein moderner amerikanischer Mehrzweck-Militär-Hubschrauber kostete 1,4 Millionen Dollar.

Der Fluch, der alle Raumfahrtunternehmen belastet, ist nicht so sehr der Umstand, daß sie mit Hilfe einer außergewöhnlich teuren Ausrüstung durchgeführt werden, als vielmehr die Tatsache, daß diese Ausrüstung jeweils einmalig ist und auch nur ein einziges Mal benutzt wird. Dies gilt sowohl für die Raumflugkörper selbst als auch für die



Mittel, die notwendig sind, um sie auf eine Umlaufbahn oder auf die Oberfläche von Himmelskörpern zu bringen. Diesbezüglich stellen auch bemannte Raumschiffe keine Ausnahme dar: Nur ein Teil des Raumschiffes (der Landeapparat) kehrt zur Erde zurück und könnte zumindest theoretisch wieder verwendet werden. Aber diese erneute Nutzung wäre ja auch nur bei dem kleineren Teil des Raumfahrtssystems möglich. Die Rückkehrkapsel des Raumschiffes Wostok hatte eine Masse von 2,3 t, während die Startmasse der Trägerrakete des Wostok-Systems 400 t betrug.

Ein Raumflugkörper – ein »Ding an sich«?

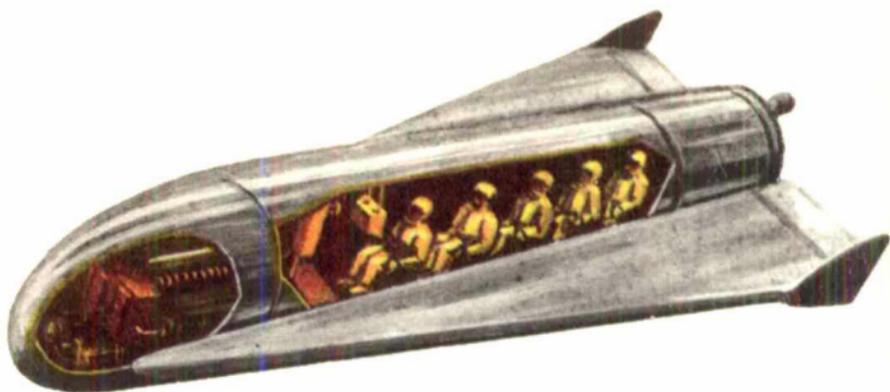
Die gegenwärtige Situation besteht darin, daß sich ein künstlicher Erdsatellit – wenn er erst einmal auf eine Umlaufbahn gebracht worden ist – in einem bestimmten Sinn in ein »Ding an sich« verwandelt. Der geringste Defekt kann ihn für immer ausfallen lassen, und keinerlei Reparatur ist möglich. Der Verlust beträgt einige Dutzend Millionen Rubel; es muß ein neuer Satellit gestartet werden. Dabei hätte die Havarie vielleicht mit Hilfe eines Schraubenziehers oder eines Lötkolbens behoben werden können. Eine einfache Verbesserung der Konstruktion, die im Auswechseln eines moralisch verschlissenen Teils gegen ein neues besteht, ist ebenfalls nicht zu realisieren. Die Unmöglichkeit, eine Reparatur vorzunehmen, erzwingt deshalb eine übermäßig hohe Zuverlässigkeit aller

Prinzipdarstellung einer sowjetischen Wostok-Trägerrakete (Länge 38 m). 1 – Schutzkegel der Orbitalstufe; 2 – Kommandosektion des Raumfahrzeuges; 3 – Geräteteil des Raumfahrzeuges; 4 – Triebwerke für Bahnkorrekturen; 5 – Treibstoffbehälter der dritten Stufe; 6 – Lageregelungstriebwerke; 7 – Ausströmdüse des Triebwerks der dritten Stufe; 8 – Verbindungs- und Abtrennteil (Stufenadapter); 9 – Elektronik- und Lenksystem; 10 – Kabelableitung; 11 – Treibstoffbehälter; 12 – obere Aufhängung der Außenblocks; 13 – Treibstoffbehälter; 14, 15 – Flüssigsauerstoff; 16 – Triebwerke; 18 – Stabilisierungsflächen; 19 – Ausströmdüsen der Haupttriebwerke; 20 – Steuertriebwerke

Satellitensysteme, die für den Langzeitbetrieb bestimmt sind, und dies wiederum läßt sie außerordentlich teuer werden. Stellen wir uns nur einmal vor, wir wären gezwungen, beim ersten noch so geringfügigen Defekt unseren Rundfunkempfänger, unser Tonbandgerät, unseren Staubsauger, das Fahrrad, den Kühlschrank oder das Auto auf den Müllhaufen zu werfen und alle diese Dinge neu anzuschaffen. (Freilich sind Fälle bekannt, in denen dank automatischer Steuerung von der Erde aus gewisse Beschädigungen an Raumflugkörpern beseitigt werden konnten. So gelang es in einem Fall, für diesen Zweck die Grabvorrichtung des amerikanischen Mondlandeapparates Surveyor 7 zu verwenden, die ganz und gar nicht als Werkzeug für den Reparaturdienst gedacht gewesen ist. Doch derartige Ausnahmefälle bestätigen nur die Regel.)

Ganz zu schweigen von den Trägerraketen, die nach Erfüllung ihrer Aufgabe verlorengehen! Es sind »Einweg-« oder »Wegwerfraketen«. Die unteren Stufen der Trägerraketen (eine, zwei oder mehrere) fallen auf die Erdoberfläche zurück und werden zerstört; die Stufe, die den Satelliten auf die erdnahe Umlaufbahn bringt, kreist selbst mehr oder weniger lange um die Erde, d. h., sie bleibt unbeschädigt (und hat nur keinen Treibstoff mehr), verwandelt sich jedoch ebenfalls in ein »Ding an sich«.

Die Lösung des Problems, Raumfahrtunternehmen zu verbilligen, besteht offenbar darin, wiederverwendungsfähige Mittel für den Transport unbemannter und bemannter Objekte auf Orbitalbahnen – im Unterschied zu den gegenwärtig existierenden und nicht wiederverwendungsfähigen Trägerraketen – zu schaffen. Diese Idee ist im Grunde genommen nicht neu. In den Arbeiten der Begründer der Raumfahrt, K. E. Ziolkowskis, F. A. Zanders, J. W. Kondratjuks, H. Oberths, R. Ésnault-Peltéries u. a., waren schon immer die Rückkehr der Raumfahrer zur Erde mit Hilfe eines geflügelten Raumschiffes (des »Raketoplans«, wie es K. E. Ziolkowski nannte) oder der Abstieg des Raumfahrzeuges an Fallschirmen vorgesehen. Auch der Aufstieg von der Erdoberfläche aus sollte, so war es gelegentlich vorgeschlagen worden, mit Hilfe eines geflügelten Apparates erfolgen (F. A. Zander benutzte in diesem Sinne den Begriff »Superaviation«).



Ein amerikanisches Projekt aus dem Jahre 1960

In den Jahren, die dem Start des ersten sowjetischen künstlichen Erdsatelliten vorangingen, besonders aber in den unmittelbar darauf folgenden bis zum Ende der sechziger Jahre, entstanden viele neue Projekte geflügelter, wiederverwendungsfähiger Raumfahrzeuge. Dennoch wurden immer neue, nicht wieder verwendungsfähige Trägerraketen entwickelt, die in der Raumfahrt auch Anwendung fanden.

Obwohl in den USA von 1958 bis 1972 die Kosten für die Beförderung der Nutzlasten auf niedrige Umlaufbahnen von 80 000 auf 5 000 Dollar je Kilogramm fielen, blieb der finanzielle Aufwand für derartige Raumfahrtunternehmen extrem hoch. Amerikanische Fachleute meinten, daß es gelingen müsse, mit Hilfe eines *wiederverwendbaren Raumtransporters* diesen Preis auf höchstens 200 Dollar zu senken. Allerdings liegen die heutigen Bilanzen z. B. bei Raumflugkörpern, die hohe Umlaufbahnen erreichen, noch beträchtlich höher. Ein Intelsat-IV-Nachrichtensatellit (etwa 900 kg schwer) erfordert Startkosten von 28 000 Dollar je Kilogramm.

Es ist wichtig, zu unterstreichen, daß es hier um die ökonomische Seite der Sache geht, die sich logischerweise gerade aus der Tatsache ergibt, daß sich die Nutzung künstlicher Erdsatelliten für die verschiedensten Aufgaben immer mehr ausweitet. Sollte es sich im Gegensatz dazu herausstellen, daß die Anzahl der Starts in Zukunft nicht allzu groß ist, dann könnte die Entwicklung von Raumtransportern, die außerordentlich hohe Aufwendungen erfordert, zumindest für einen bestimmten, übersehbaren

Zeitabschnitt unzweckmäßig erscheinen, da die bereits vorhandenen Trägerraketen zur Lösung aller Aufgaben ausreichen würden.

Eine detaillierte Betrachtung der ökonomischen Probleme geht jedoch über den Rahmen dieses »akzent«-Bandes hinaus. Wir werden im folgenden ausschließlich die wissenschaftlich-technischen Aspekte berühren, da wir nicht ohne Grund einen recht hohen Stand der Raumfahrtoperationen in den bevorstehenden Jahren und deren wachsende Rolle für die Weltwirtschaft voraussetzen.

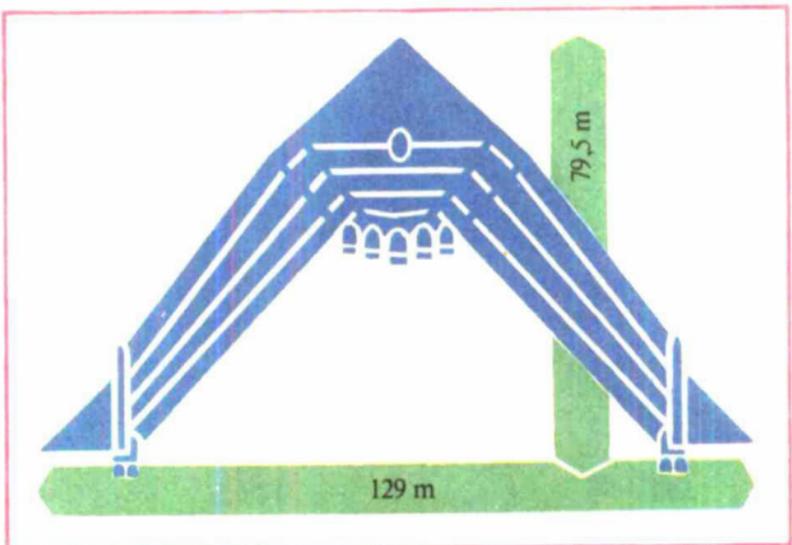
Wie wir im weiteren sehen werden, kann das Problem, die Kosten für die Beförderung einer Nutzlast in eine Umlaufbahn zu verringern, auch mit Hilfe von Raumtransportern gelöst werden. Raumtransporter könnten Element eines komplizierten Raumtransportsystems werden, das zunächst den erdnahen Raum umfaßt, später auch das Gebiet des Mondes, um dann den interplanetaren Raum zu erschließen. Hierin liegt der wichtigste Unterschied der modernen Konzeption eines wiederverwendbaren Trägersystems im Vergleich zum »klassischen« geflügelten Apparat, der in der Vergangenheit überwiegend als »Raumfähre« aufgefaßt wurde, um die Verbindung zu einem großen bemannten künstlichen Erdsatelliten aufrechtzuerhalten.

Umlauffahrzeuge im Pendelverkehr

Die Entwicklung der Idee des Raumtransporters

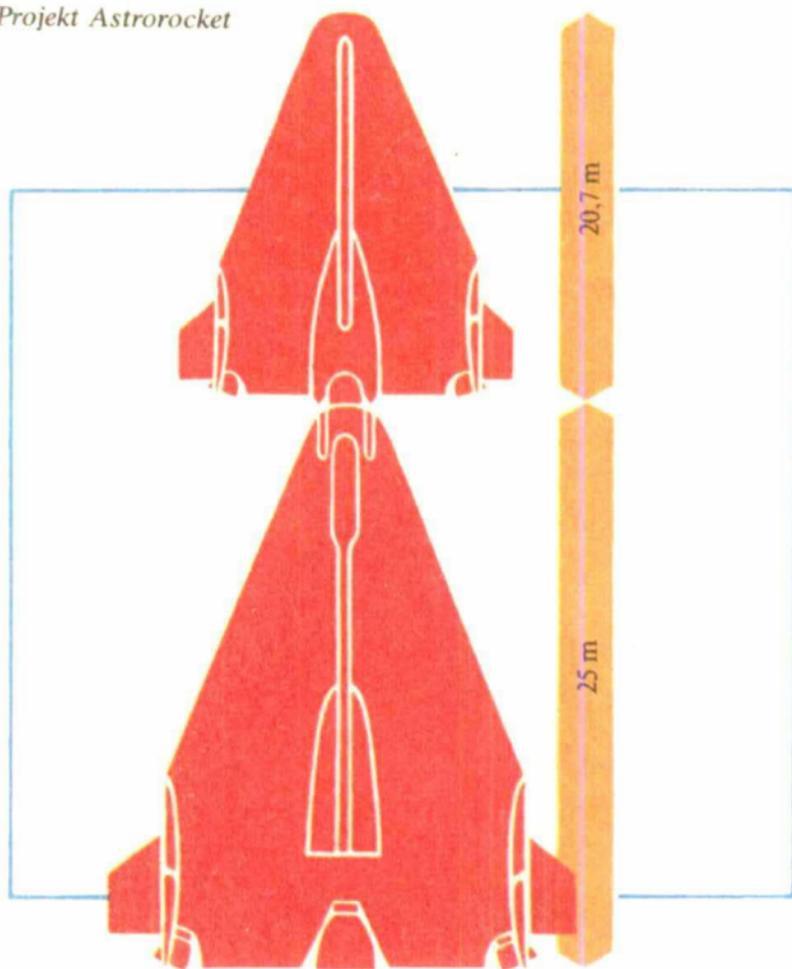
Theoretisch sind folgende Möglichkeiten für die Bergung und Wiederverwendung eines Raumtransportsystems denkbar, das einen künstlichen Erdsatelliten auf eine nicht allzu hohe Umlaufbahn bringt. Die einzelnen Stufen des Trägergeräts, die als Starthilfe fungieren und die Kreisbahngeschwindigkeit nicht erreichen, landen an Fallschirmen oder im Gleitflug (unter Einsatz von Flügeln). Der obersten Stufe, der Kreisbahnstufe (Orbiter), die die

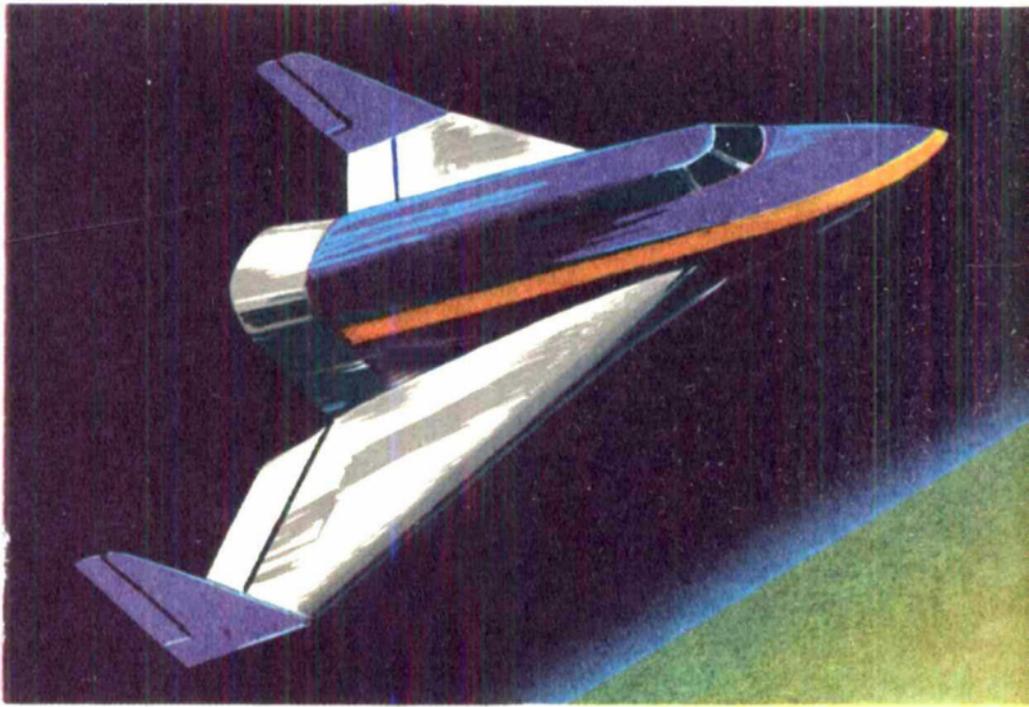
Projekt Astroplan mit einer Länge von 79,5 m und einer Spannweite von 129 m



Nutzmasse befördert, wird nach der Erfüllung der Aufgaben in der Umlaufbahn mit Hilfe eines Bremstriebwerkes ein schwacher Impuls erteilt, durch den sie in die Atmosphäre zurückgeführt wird. Sie vollzieht einen aerodynamisch gleitenden und gesteuerten Rückkehrflug und eine Pistenlandung ähnlich einem gewöhnlichen Flugzeug. Möglich ist auch ein »suborbitaler« Flug, bei dem der Flugkörper mit einer Beschleunigung, die nicht ausreicht, um in eine Umlaufbahn einzuschwenken (und der infolgedessen auch kein Trägersystem ist), ein- oder zweimal die Erde umrundet, wobei er beim Aufprall auf die dichteren Schichten der Atmosphäre mehrfach zurückgeschleudert wird, bis er in eine langgestreckte Eintauch-

Projekt Astrorocket





Projekt Dyna Soar

bahn gelangt. Das Projekt eines derartigen Apparates, der als »Antipodenbomber« bezeichnet wurde und eine Reichweite von 23 500 km haben könnte, wurde 1944 von dem deutschen Raumfahrtforscher E. Sänger vorgeschlagen. Mit diesem Projekt beginnen manche westlichen Autoren ihre Berichte über die Entwicklung des Raumtransportergedankens.

Bereits im Jahre 1924 schlug F. A. Zander als geeignetes Mittel für die Landung der zurückkehrenden Raumfahrer geflügelte Raketen vor, und auch K. E. Ziolkowski war der Meinung, daß Raumfahrzeuge, die zwischen Erde und Weltall verkehrten, Tragflächen von geringer Spannweite besitzen müßten.

Neue Projekte für wiederverwendbare Trägersysteme tauchten dann Ende der vierziger Jahre auf. Im Jahre 1952 schlug W. von Braun das Projekt einer Rakete mit 700 t Startmasse vor, bei dem alle drei Stufen mit Flügeln versehen waren. Mehrere derartige Raketen sollten dann zur Montage einer großen Raumstation in 1 730 km Höhe ver-

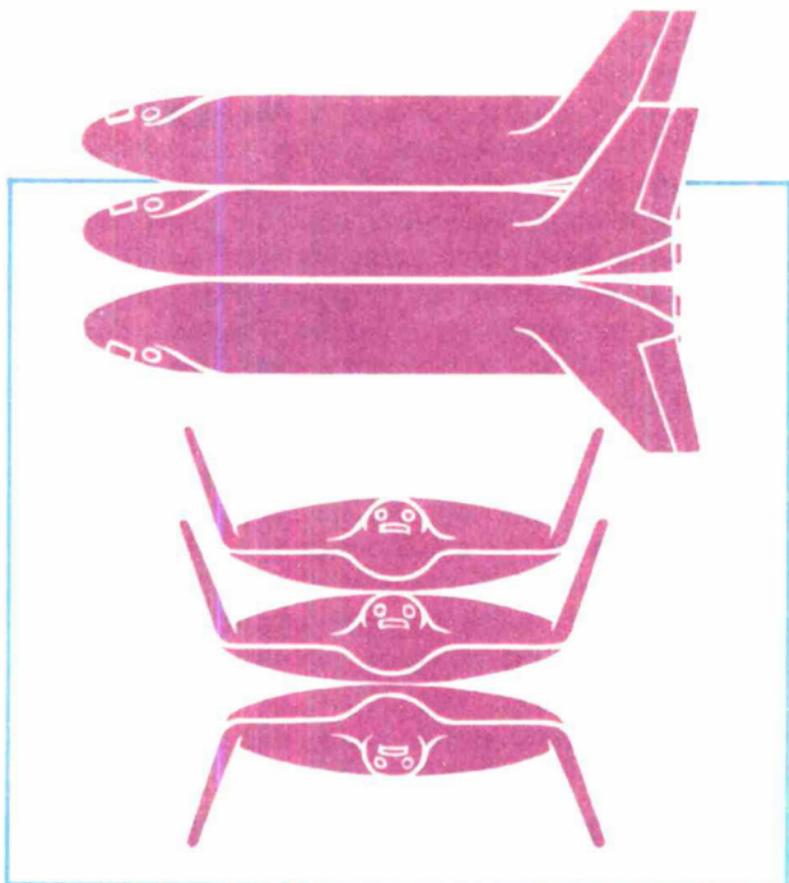
wendet werden. Im Jahre 1960 begann die US-Luftwaffe, einen bemannten geflügelten Apparat zu entwickeln, der imstande sein sollte, fünf Personen zu einer Raumstation zu befördern. In die gleiche Zeit fällt das amerikanische Projekt Astroplan, ein einstufiger Apparat mit Sauerstoff-Wasserstoff-Antrieb, dessen Flügel aus Wasserstofftanks bestehen (Startmasse: 4 540 t, Nutzlast bei einer niedrigen Umlaufbahn: 200 t, Landemasse: 331 t).

Wir wollen nun auch noch die bescheideneren Projekte aus dem Jahre 1964 erwähnen: Astro, ein zweistufiges Raumschiff (bei dem nur die zweite Stufe bemannt ist) mit 400 t Startmasse und 10 t Nutzlast für eine Umlaufbahn von 550 km Höhe, sowie Astrorocket, einen Apparat mit 1 100 t Startmasse und 23 t Nutzlast für eine Umlaufbahn in 500 km Höhe (jede der beiden parallel gekoppelten Stufen besitzt einen Deltaflügel).

Zur gleichen Zeit wurde, schon sehr detailliert, auch das Projekt Dyna Soar (Abkürzung von »dynamic soaring«, dynamischer Gleitflug) entwickelt, ein zweisitziger Raketoplan, der mit Hilfe der Trägerrakete Titan-3 C auf eine Umlaufbahn gebracht und als Zubringer für Raumstationen dienen sollte. Die Entwicklungsarbeiten waren sehr teuer. Sie wurden nach einigen Jahren aufgegeben. Aus dem Jahre 1966 stammt ein interessantes englisches Projekt, das aus drei Flugkörpern mit seitlich an den Deltaflügeln angebrachten Leitwerken besteht.

Ebenfalls in diesen Jahren erfolgten in den USA Untersuchungen zum Problem der Entwicklung eines einstufigen Apparates mit Luftstrahltriebwerk; man stieß dabei jedoch auf große Schwierigkeiten, so daß dem Projekt keine Chancen gegeben wurden.

Auch Kerntriebwerke wurden in Erwägung gezogen. Man mußte schließlich auf sie verzichten, weil die Gefahr bestand, daß bei Havarien Kernreaktoren in die unteren Schichten der Atmosphäre bzw. auf die Erdoberfläche zurückgelangten und weite Gebiete verseuchten. Es wurden zahlreiche Flugversuche mit Modellen von Überschallflugkörpern durchgeführt, aber auch mit dem Raketenflugzeug X-15, das von einem Bomber in eine große Höhe getragen wurde, dort sich ablöste und mit Hilfe seines eigenen Triebwerkes eine Geschwindigkeit von



Ein englisches Projekt sieht Leitwerke an den Deltaflügeln vor.

7260 km/h entwickelte, wobei es eine Höhe von 108 km erreichte.

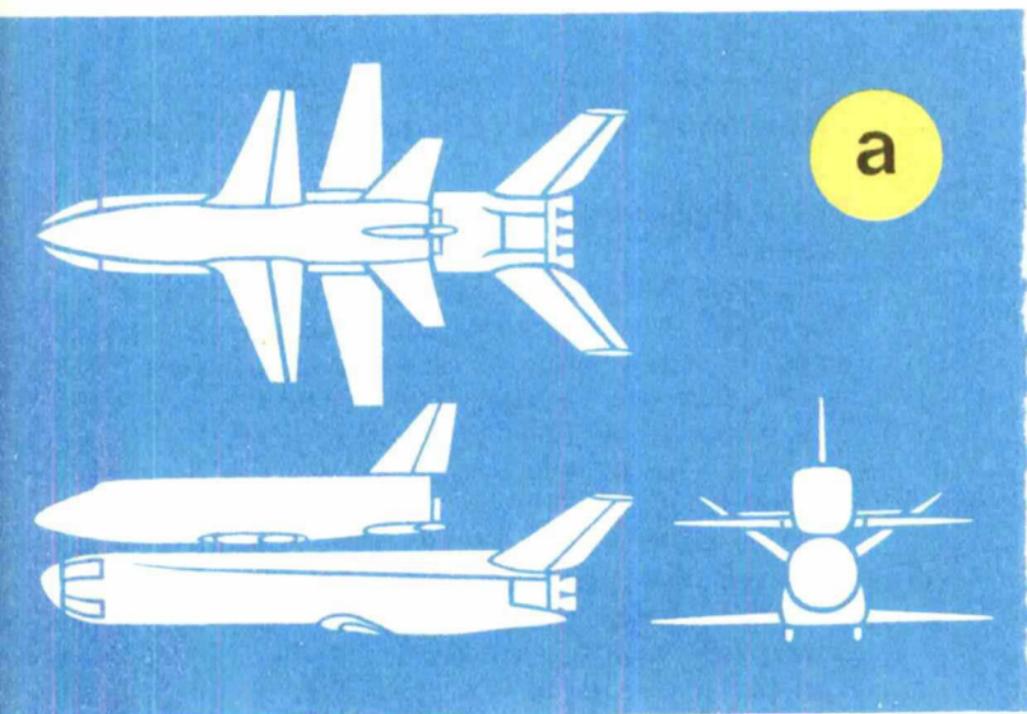
Im Jahre 1968, am Vorabend der Mondflüge, beschloß die NASA, zur Versorgung zukünftiger Raumstationen einen Raumtransporter zu entwickeln. Im Januar 1969 wurden die ersten Verträge mit vier Firmen zu Grundsatzuntersuchungen für Raumtransporterprojekte abgeschlossen. Zu den Ausschreibungen wurden mehrere Vorschläge eingereicht.

In den Jahren 1970 und 1971 wurden Projekte bekannt, bei denen die Startstufen bemannte geflügelte Geräte darstellen, deren Länge ungefähr dem Jumbo-Jet Boeing 747 (etwa 70 m) entspricht.

In dem Maße, wie die Entwicklung fortschritt, stiegen

die Forderungen an die Nutzlast des Raumtransporters (dessen Projekte bereits deutlich das Aussehen eines aerodynamisch geformten Flugapparates mit stummeligen Dreiecksflügeln angenommen hatten). Gleichzeitig aber wurde auch die Forderung nach maximaler Nutzung der bereits existierenden Technik erhoben. Im Jahre 1972 legte man fest, daß die Kreisbahnstufe (Orbiter) einen Deltaflügel und einen großen Außentank haben müsse (auf dem der Flugapparat sozusagen sitzt). Bei der Projektierung dieser Orbitalstufe wurden Erfahrungen aus der Entwicklung der zweiten Stufe S-2 der Mondrakete Saturn 5 genutzt. Die Orbitalstufe sollte entweder hintereinander oder parallel (siehe Abb. S. 56/57) mit der Startstufe gekoppelt sein. Bei einer Parallelkopplung stellte die Startstufe bei den meisten Varianten zwei Blöcke dar, die seitlich an einen äußeren Treibstofftank angekoppelt waren. Die Startstufe beruhte entweder auf einem Flüssigkeits- oder einem Feststofftriebwerk, wobei eine Bergung des Feststofftriebwerks

Raumtransporter mit einer Orbitalstufe geringer (a) und großer (b) Reichweite (Projekte aus dem Jahr 1970)



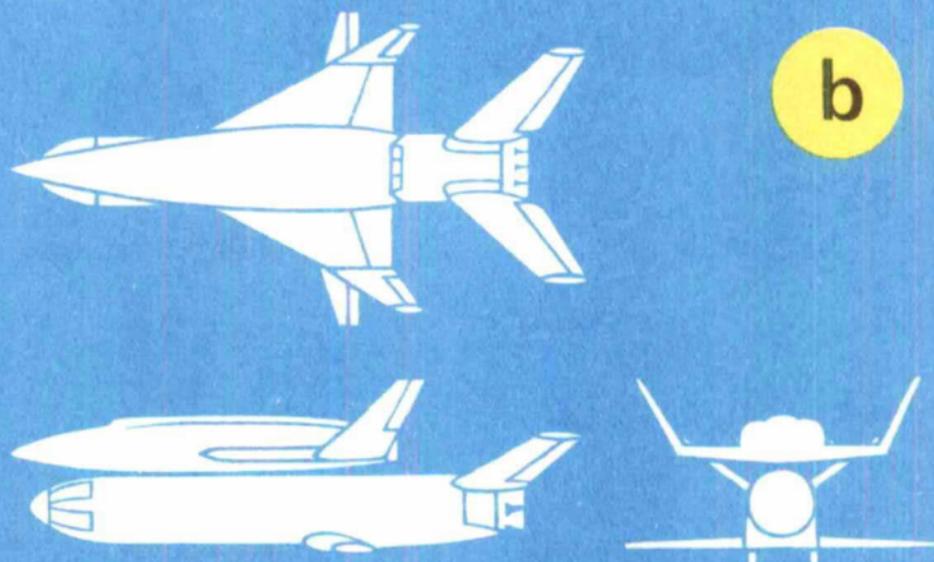
zunächst nicht vorgesehen war. Am 15. März 1972 wählte die NASA eine Startstufenvariante in Gestalt zweier Feststofftriebwerke, die mit Hilfe von Fallschirmen geborgen werden sollten. Nun begann eine detaillierte Projektierung dieses Raumtransportersystems.

Projekt »Space Shuttle«

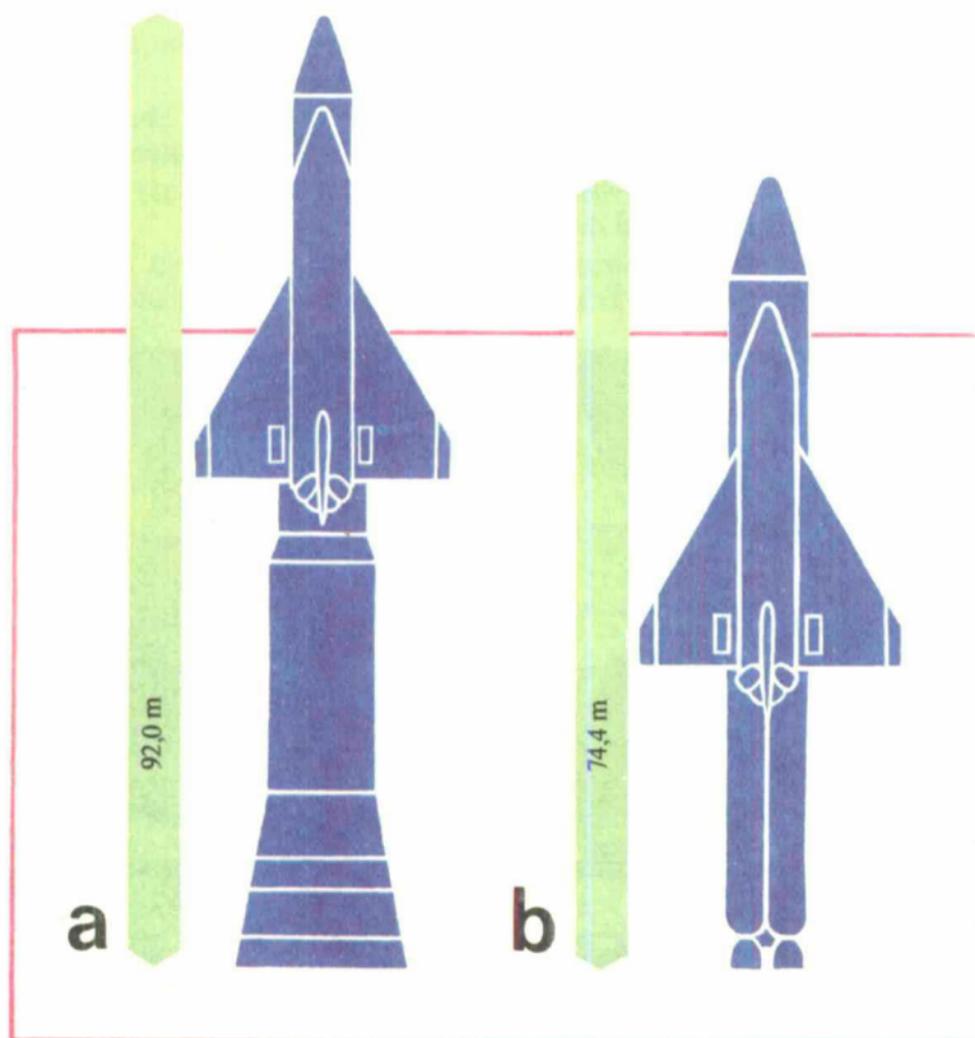
Betrachten wir nun etwas ausführlicher einen der bemannten Raumflugapparate, der in der Literatur unterschiedlich bezeichnet wird: als Raumtransporter, Orbitalflugzeug, Raumflugzeug oder auch Raumgleiter. In den USA ist die offizielle Bezeichnung »Space Shuttle« festgelegt worden, auch kurz »Shuttle« genannt.

Shuttle heißt soviel wie Pendler, Space Shuttle also Raumpendler. Dieser Name soll darauf hindeuten, daß das Raumschiff wie ein Weberschiffchen zwischen der Umlaufbahn und der Erde hin und her pendelt.

Als Raumtransporter bezeichnet man heute allgemein das gesamte Trägersystem dieses Typs, bei dem sowohl die



Trägerstufe als auch die Orbitalstufe – in der Art eines zweistufigen Systems gekoppelt – aerodynamische Eigenschaften besitzen, also in einen Landeanflug übergehen und gleitend auf einer Landepiste niedergehen können. Die Oberstufe, auch als Kreisbahn- oder Orbitalstufe bezeichnet, ist der Raumgleiter, der nach der Lostrennung von der zur Erde zurückkehrenden Start- oder Trägerstufe in eine Umlaufbahn einschwenkt. Auch der Begriff »Raumfähre« oder »Raumschlepper« wird oft verwendet, neuerdings aber nicht nur als Synonym für Raumgleiter – als Zubringerfahrzeug zu Raumstationen –, sondern auch für

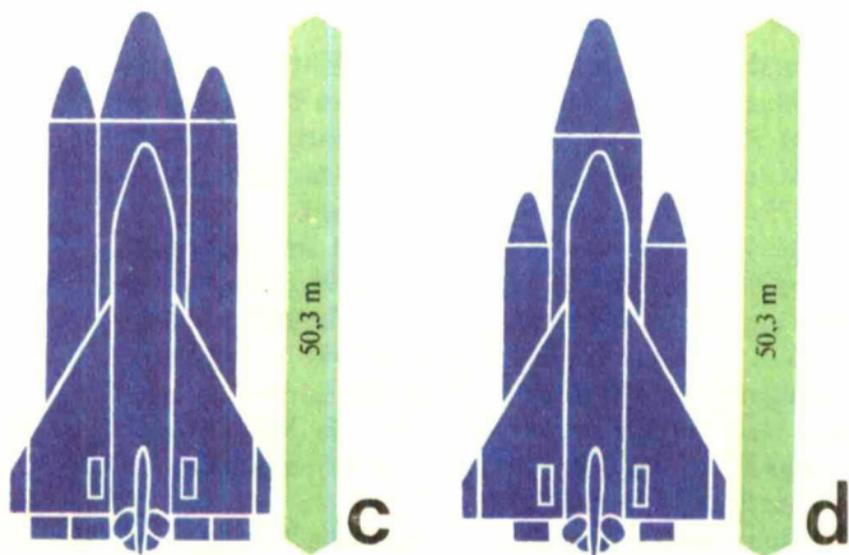


besondere Raumfluggeräte, die im Frachtraum eines Raumgleiters in das All gelangen und dort als Wartungsfahrzeuge für die Arbeit an Raumflugkörpern oder als Taxis zwischen zwei oder mehreren Raumstationen dienen.

Die im folgenden angeführten Daten entsprechen im wesentlichen dem Entwicklungsstand von Ende 1973 (dies gilt insbesondere für die Zahlenwerte); Änderungen nicht grundsätzlicher Art wurden seitdem ständig in das in Entwicklung befindliche System eingebracht (gewöhnlich aus finanziellen Überlegungen heraus).

Der Space Shuttle ist das wichtigste Raumfahrtprojekt der USA nach dem Apollo-Programm. Der erste Flug des »Shuttle« bedeutet demzufolge die Wiederaufnahme der amerikanischen bemannten Raumflüge, die nach Abschluß

Raumtransportvarianten in Reihenkopplung (a, b) und Parallelkopplung (c, d) der Start- und Orbitalstufen: a, b – die Startstufe hat ein Flüssigkeitstriebwerk; c, d – die Startstufe besteht aus zwei Feststofftriebwerken. Die Maße des Außentanks: $5,6 \times 33$ m (a, b) und $7,1 \times 37,6$ m (c, d).



der Programme »Apollo« (1972), »Skylab« (1973) und »Sojus-Apollo« (1975) längere Zeit unterbrochen waren.

Die Startmasse des Space Shuttle (ohne Nutzlast) beträgt nach Angaben aus dem Jahre 1974 1 814 t, die Masse der beiden Feststofftriebwerke 1 056 t. Die Masse des Außentanks, der vorn eine Flüssig-Sauerstoff-Sektion und hinten eine Flüssig-Wasserstoff-Sektion enthält, wurde mit 40 t angegeben. Die Masse der Orbitalstufe (ohne Nutzlast) beträgt 68 t.

Wie sieht es mit der Nutzlast-Kapazität aus? Beim Start von Cape Canaveral, wo der Aufstieg genau nach Osten erfolgt (Bahnneigung $28,5^\circ$ entsprechend der Breite von Cape Canaveral), beträgt die Nutzmasse 29,5 t bei einer Kreisbahn von 400 km Höhe; bei einer Flugbahn mit einer Äquatorneigung von 53° entspricht die Nutzmasse 11,3 t für eine Umlaufbahn von 400 km; ohne Nutzlast und bei einem Start in östliche Richtung wird eine Kreisbahn von 550 km Höhe erreicht.

Starts von Cape Canaveral/Florida gestatten eine Bahnneigung von $28,5^\circ$ bis 57° ; Starts von der Luftwaffenbasis Vandenberg in Kalifornien von 56° bis 104° .

Beim Aufstieg in südliche Richtung von Vandenberg aus, an der Westküste der USA gelegen, können 18,2 t Nutzlast auf eine 275 km hohe Kreisbahn gebracht werden.

Die Nutzlast ist in einem besonderen, nicht abgedichteten Frachtraum von 18,3 m Länge und 4,6 m Durchmesser (Volumen 365 m^3) untergebracht. Die Besatzungsmitglieder können über eine vor der Kabine befindliche Schleusenkammer in diese Sektion gelangen.

Für die Landung des Orbiters wurde im Kennedy-Raumflug-Zentrum Cape Canaveral eine 91 m breite und 4 572 m lange Betonpiste errichtet. Eine ähnliche »Rollbahn« steht auf dem Luftwaffenstützpunkt Vandenberg zur Verfügung. Zwei weitere Landeplätze können genutzt werden. Bekanntlich sollen mehr als ein Viertel aller amerikanischen Space-Shuttle-Einsätze rein militärischen und militärstrategischen Zwecken dienen.

Die »Reichweite« des Raumtransporters könnte vergrößert werden, wenn man einen Teil der Frachtsektion für Ergänzungssätze (bis zu 3 Sätzen) von Tanks benutzt. Mit

diesen drei Zusatztanks ausgestattet, könnte der Raumtransporter 11,0 t Nutzlast auf eine Umlaufbahn in 1 120 km Höhe bringen, wenn er von Cape Canaveral aus in Ost-richtung startet. Von der Basis Vandenberg aus gelangte er – nach Süden startend – ohne Nutzlast in eine 1 200 km hohe Kreisbahn.

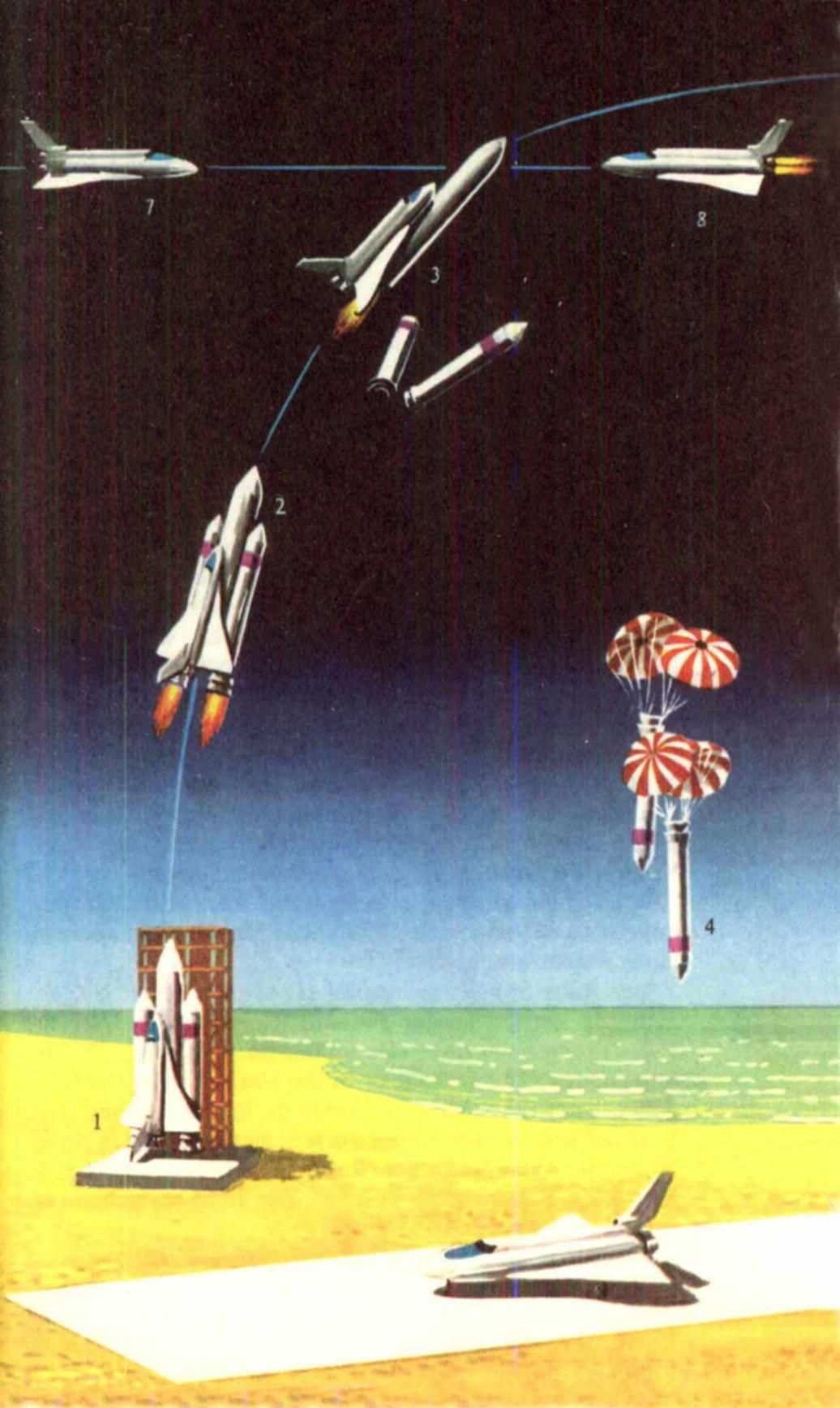
Die Masse der Nutzlast, die von der Umlaufbahn auf die Erde zurückbefördert wird, beträgt bis zu 14,5 t.

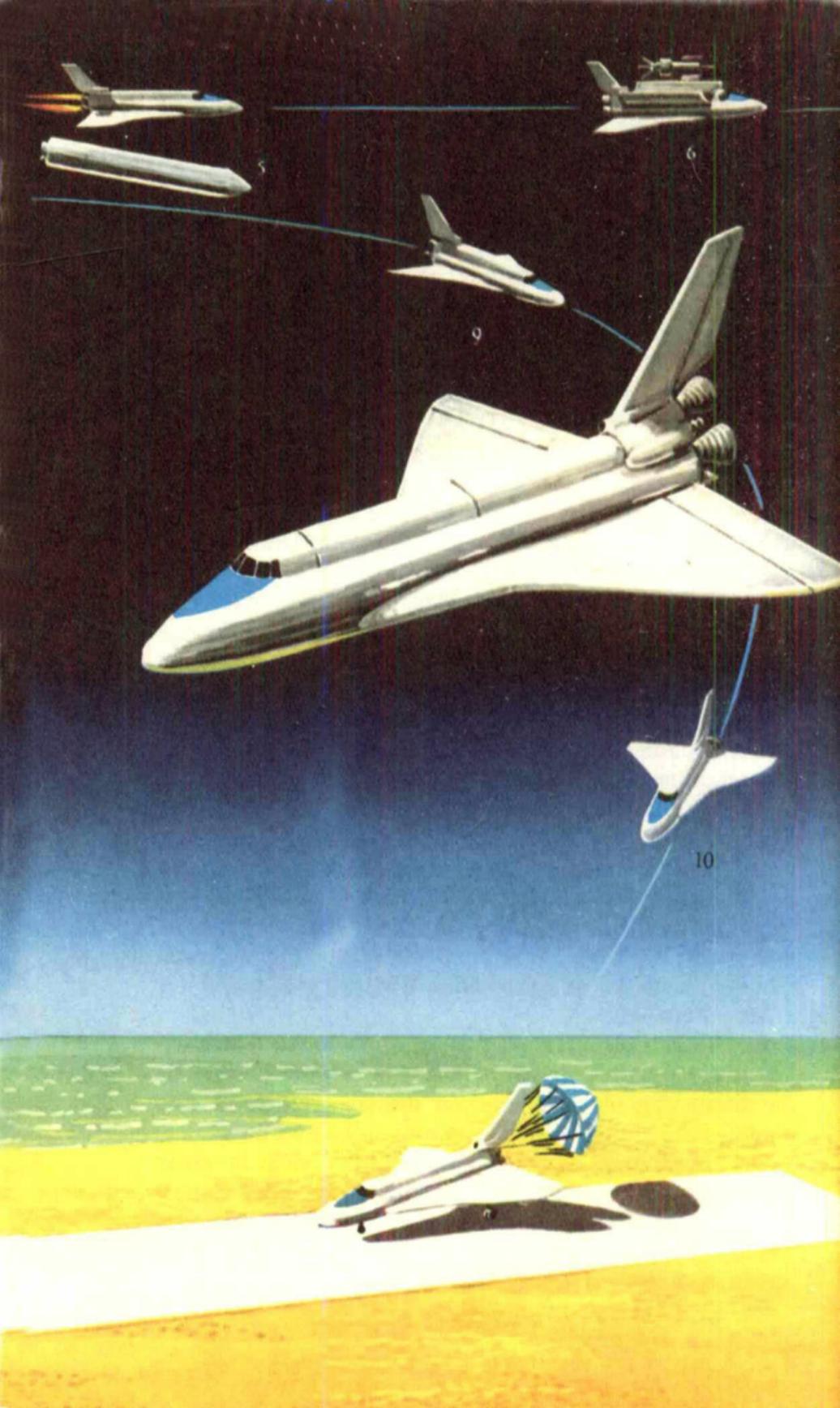
Der Gesamtstartschub der beiden Feststofftriebwerke der Startstufe beträgt 2 325 Mp. Die drei Haupttriebwerke des Orbiters, die über Rohrleitungen Flüssigsauerstoff und Flüssigwasserstoff aus dem äußeren Treibstoffbehälter (Treibstoffvorrat: 708 t) beziehen, erzeugen einen Gesamtschub in Meereshöhe von 510 Mp (639 Mp im Vakuum) und besitzen einen spezifischen Impuls von 4 260 m/s. Kardanische Aufhängungen ermöglichen die Schwenkung der Haupttriebwerke. Die Manöver in der Umlaufbahn werden von zwei Flüssigkeitstriebwerken mit einem Schub von jeweils 2,7 Mp bei einem spezifischen Impuls von 3 020 m/s gewährleistet. Die Flüssigkeitstriebwerke werden mit Monomethylhydrazin und Stickstofftetroxid betrieben. Der Treibstoffvorrat im Inneren des Orbiters (ohne die zusätzlichen Tanks) entspricht einer Schubbeschleunigung von 300 m/s bei einer Nutzmasse von 29,5 t. 40 Fluglageregelungs-Flüssigkeitstriebwerke (16 im vorderen Block und je 12 in den beiden hinteren Blöcken) besitzen einen Schub von je 400 kp; die übrigen 6 haben je 11,3 kp; sie arbeiten mit dem gleichen Treibstoff.

Betrachten wir nun eine typische, aber natürlich nur ungefähre schematische Darstellung für die Operationen eines Raumtransporters.

Der Raumtransporter startet (1) senkrecht bei gleichzeitigem Betrieb zweier Feststofftriebwerke und dreier Flüssigkeitstriebwerke (Gesamtschub 2 835 Mp). Nach 6 Sekunden (2) schwenkt er in die Umlenkbahn ein. Ungefähr nach 125 Sekunden werden die leeren Behälter der Feststofftriebwerke (3) abgeworfen; dies geschieht in einer Höhe von 43 km, bei einer Geschwindigkeit von 1 440 m/s und einer Bahnneigung von 28°. Die Behälter gehen an

Prinzipdarstellung der Raumtransporteroperationen (S. 60/61)



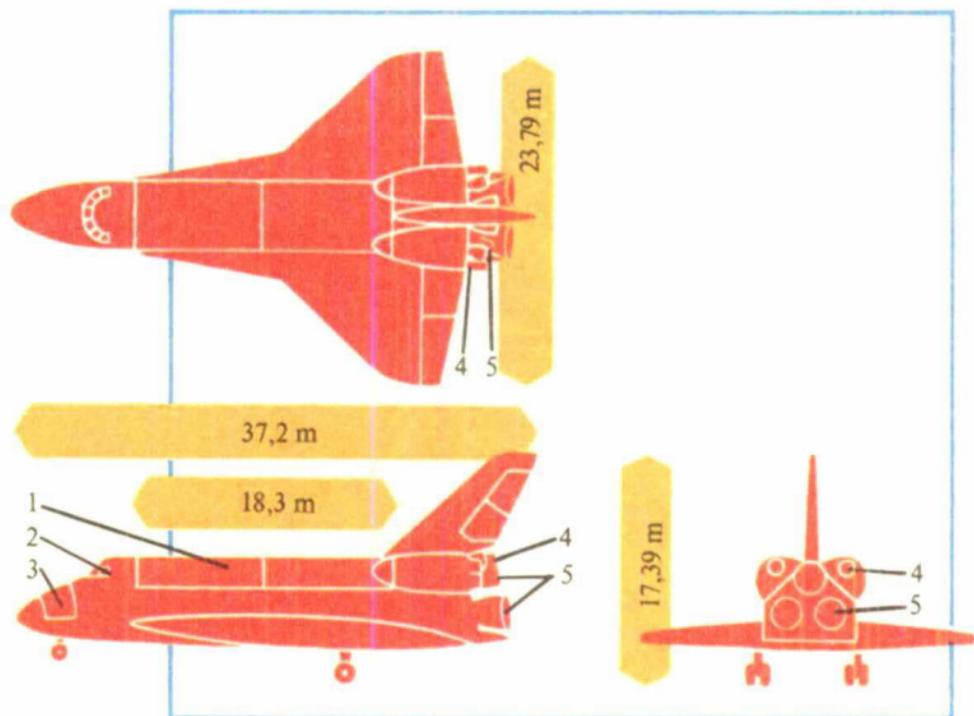


10

Fallschirmen (4) nieder (zulässige Aufschlaggeschwindigkeit 24 m/s); sie werden geborgen und zwecks Wiederverwendung zur Startbasis zurückgebracht. 490 Sekunden nach dem Start, wenn zum Übergang auf die Umlaufbahn noch ungefähr 30 m/s fehlen, werden die Haupttriebwerke für den Aufstieg abgeschaltet; der leere äußere Treibstofftank wird abgetrennt; es erfolgt das Einschalten der Flüssigkeitstriebwerke für die Bahnmanöver (5). Der Tank fällt ab, verglüht bzw. wird zerstört. (Die Kosten des Tanks betragen 1,8 Millionen Dollar – nach Schätzwerten aus dem Jahre 1971, während die Kosten eines Fluges mit dem Orbiter immerhin rund 10,5 Millionen Dollar ausmachen.) 700 Sekunden nach dem Start geht der Orbiter in einer Höhe von 120 km auf eine elliptische Übergangsbahn über. Danach bringt ein Impuls im Apogäum den Raumgleiter auf eine Kreisbahn. Die nun sich anschließenden Operationen in der Umlaufbahn (6) können einige Stunden bis einige Monate dauern. Vor dem Abstieg (7) wendet der Orbiter das Heck nach vorn; die Flüssigkeitstriebwerke für die Bahnmanöver vermitteln ihm einen Bremsimpuls (8). Danach schwenkt das Raumfahrzeug erneut. Der Eintritt in die Erdatmosphäre vollzieht sich in einem großen Anstellwinkel (9). Vor dem eigentlichen Landeanflug erfolgt ein seitliches Manövrieren im Bereich eines Korridors von 2000 km Breite. In einer Höhe von 21 km beginnt der Endabschnitt des Abstiegs mit einer ungefähr konstanten Geschwindigkeit (560 bis 610 km/h). 3,5 Minuten später schwenkt der Gleiter in einer Höhe von 3 km (536 km/h) zur Landung ein. Die Landegeschwindigkeit beträgt 330 bis 350 km/h (10). 14 Tage (160 Arbeitsstunden) nach der nun folgenden Wartung ist der Orbiter erneut flugbereit.

Ein Raumtransporter wird im allgemeinen automatisch gesteuert; jedoch kann seine Besatzung erforderlichenfalls die Steuerung übernehmen. Zu diesem Zweck ist eine ähnliche Steuerung wie in einem Raumschiff vorhanden.

Die Besatzung des Orbiters befindet sich in einer Doppeldeck-Kabine (Volumen: 73 m³) mit einer Sauerstoff-Stickstoff-Mikroatmosphäre und besteht aus vier Mann: dem Kommandanten (1. Pilot), dem 2. Piloten, einem technischen Leiter, der das Arbeitsprogramm zu



Prinzipdarstellung der Orbitalstufe eines Raumtransporters (in drei Ansichten): 1 – Frachtraum; 2 – Kabine; 3 – Lageregelungstriebwerke; 4 – Flüssigkeitstriebwerke für Bahnmanöver und Lageregelung; 5 – Flüssigkeitstriebwerke für die Beschleunigung und Abbremsung

verantworten hat und die Stromversorgung sowie die Temperaturregelung überwacht, und einem Wissenschaftler. Der 2. Pilot unterstützt den Kommandanten bei der Steuerung des Flugapparates; er bedient außerdem die Manipulatoren bei Arbeiten auf der Umlaufbahn. Der für wissenschaftliche Arbeiten Verantwortliche hat im Unterschied zu den übrigen Besatzungsmitgliedern keine spezielle Raumfahrerausbildung.

Das untere Kabinendeck ist generell als Ruheraum gedacht; außerdem sind Sitze für eventuelle »Passagiere« vorhanden, für Wissenschaftler und Ingenieure, ebenfalls ohne spezielle Raumfahrerausbildung (unter ihnen können auch Frauen sein). Sie alle brauchen in der Start- bzw. Landephase keiner Andruckbelastung standzuhalten, die 3 g überschreitet.

Es ist für eine Reihe von Havariesituationen Vorsorge



Über der Mojave-Wüste Kaliforniens wurde im Jahre 1977 die Enterprise auf dem Rücken eines Jumbo-Jets (B 747) mehrmals in 6 000 bis 8 000 m Höhe geschleppt. Der Raumtransporter kehrte dann auf kurzen »Gleitflügen« zur Landepiste zurück.

getroffen. Sollte eines der Haupttriebwerke oder ein anderes System zu einem frühen Zeitpunkt – also schon auf der Aufstiegsbahn – ausfallen, dann wird der Flug bis zum Ausbrennen der Feststofftriebwerke fortgesetzt (deren Ausfall als sehr wenig wahrscheinlich gilt). Anschließend werden die Feststofftriebwerke abgeworfen; der Orbiter vollzieht mit Hilfe seiner Flüssigkeitstriebwerke eine Schwenkung in der Vertikalen; durch das nun erfolgende Abbremsen erreicht er die Rückkehrbahn; jetzt erst wird der Treibstofftank abgeworfen. Nach einer erneuten Schwenkung wird die Landung ausgeführt (möglicherweise auf einer Reservepiste).

Bei einem Defekt kurz vor dem Erreichen der Umlaufbahn wird die Erde auf einer sehr langgestreckten Abstiegsbahn umkreist. Der Raumgleiter landet dann auf der US-Luftwaffen-Basis Vandenberg, wenn der Start von Cape Canaveral aus erfolgte, bzw. auf dem NASA-Versuchsgelände in der Nähe von Edwards (Kalifornien) nach einem Start von der Basis Vandenberg.

Ist der Ausfall an sich ungefährlich, behindert er jedoch die Ausführung der vorgesehenen Arbeiten auf der Um-

laufbahn, so erfolgt das normale Einschwenken in eine niedrige Umlaufbahn, von der aus die Standard-Rückkehr eingeleitet wird.

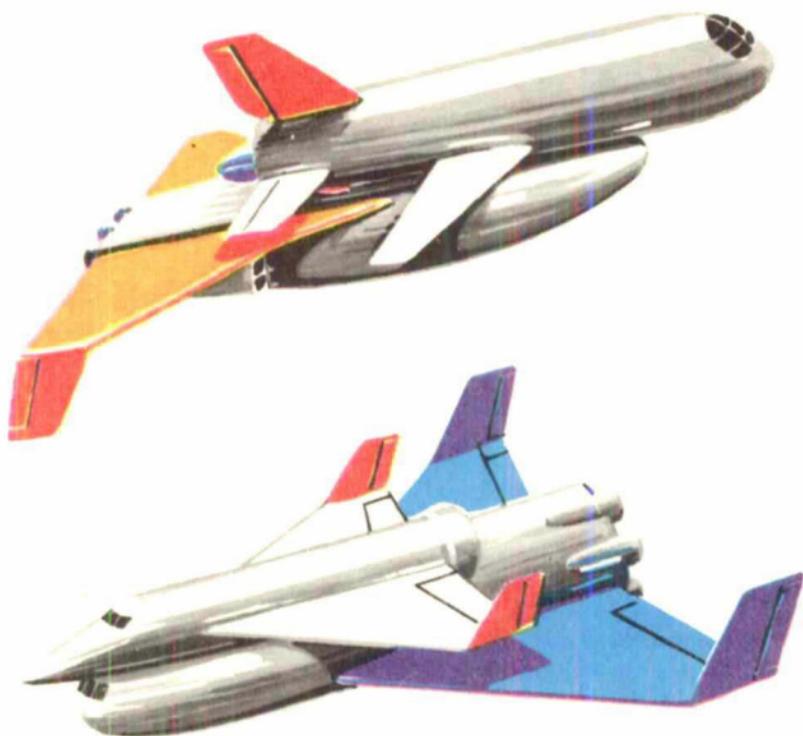
Seine ersten »horizontalen« Versuchsflüge führte der Orbiter im Jahre 1977 im Huckepack auf einer modifizierten Boeing 747 durch. Bei fünf weiteren Tests kehrte der Gleiter nach der Lostrennung von dem ausrangierten Jumbo-Jet aus 6 000 bis 8 000 m Höhe im gesteuerten Gleitflug, mit zwei »Pilot-Astronauten« besetzt, in jeweils 119 bis 321 Sekunden zur Erde zurück. Die Landung erfolgte auf einer Sandpiste eines kalifornischen Trockensees.

Für das Entwicklungsprogramm des Raumtransporters wurden zunächst 5,5 Milliarden Dollar angewiesen. Die Stückkosten des Raumtransporters sollen nach Schätzungen aus dem Jahre 1975 250 bis 350 Millionen Dollar betragen.

Aussichtsreiche Orbitalflugzeuge

Das eben beschriebene Projekt eines Raumtransporters wurde als Vertreter der ersten Generation angesehen, dessen Konstruktion eher den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln entspricht als den wirklichen ökonomischen Forderungen und Perspektiven der Raumfahrt von morgen.

Inzwischen wurden Verbesserungen der bereits existierenden Variante nach zwei Richtungen vorgesehen: Ersatz der Startstufe, die gegenwärtig aus zwei Feststofftriebwerken besteht, durch eine echt wiederverwendbare, mit Flügeln ausgestattete Stufe; Ersatz der beiden Feststofftriebwerke und des äußeren Treibstofftanks durch eine mit Flügeln ausgestattete Stufe, d. h. die Rückkehr zu zweistufigen Apparaten, wie sie in den Abbildungen auf S. 54 dargestellt sind. Erwähnt sei, daß die gegenwärtige Raumtransportervariante halb im Scherz als 2,5stufig bezeichnet wird; gewiß könnte man sie auch dreistufig nennen (da die Beschleunigung auch nach der zweiten Abtrennung nicht mehr benötigter Masse, d. h. des äußeren Tanks, fortgesetzt wird), doch wäre das insofern ungenau, als ja beim Start beide Stufen gleichzeitig gezündet werden.



Raumtransporterprojekte aus dem Jahr 1970

(In diesem Sinne war beispielsweise die sowjetische Trägerrakete Wostok ebenfalls 2,5stufig.)

Im Jahre 1975 ist eine interessante Modifikation des gegenwärtig in den USA in Entwicklung befindlichen Space Shuttle vorgeschlagen worden, die diesen zwar nicht völlig wiederverwendbar macht, dafür aber die Bergungsoperationen der Einzelteile entweder unnötig werden läßt oder doch stark vereinfacht. Dabei wird auch das Problem der Umweltverschmutzung bewältigt (das ja beim Einsatz von Feststofftriebwerken nicht lösbar ist), und die Kosten für jedes auf die Umlaufbahn gebrachte Kilogramm sinken auf 220 Dollar (d. h. um 30 bis 40%). Schließlich entfällt die Notwendigkeit, auch in der Folgezeit die Kosten für die Entwicklung des Feststofftriebwerkes der Startstufe aufzubringen (die Entwicklung der Orbitalstufe ist praktisch bereits bezahlt): In dieser Modifikation werden die Feststofftriebwerke gänzlich eliminiert; an ihrer Stelle soll eine Baugruppe aus fünf Sauerstoff-Kohlenwasserstoff-Flüssigkeitstriebwerken entwickelt werden, die mit Hoch-

druckbrennkammern ausgestattet sind. Diese Baugruppe wird hinter dem äußeren Tank angeordnet. Der äußere Tank wird auf 53,6 m verlängert, und zwar auf Kosten des Vorderteils, in dem ein Zusatzbehälter für den Kohlenwasserstoff-Treibstoff untergebracht wird. Die Startmasse des Systems beträgt 1 730 t. Beim Start laufen fünf Flüssigkeitstriebwerke des beschriebenen Blocks und drei Haupttriebwerke (ebenfalls Flüssigkeitstriebwerke) des Flugkörpers.

Nach dem Ausbrennen des Kohlenwasserstoffs werden die fünf ersten Flüssigkeitstriebwerke nicht abgetrennt. Die drei letzten Flüssigkeitstriebwerke laufen weiter und bringen das Gesamtsystem auf eine Übergangsbahn (Perigäum 92,5 km, Apogäum 370 km); danach befördert ein Beschleunigungsimpuls im Apogäum das System auf eine 370 km hohe Kreisbahn.

Die Nutzmasse beträgt 27,2 t (Start von Cape Canaveral nach Osten). Nachdem die Frachtsektion von der Nutzlast

Raumtransporterprojekte aus dem Jahr 1971



befreit ist, trennt die Besatzung den aus fünf Flüssigkeitstriebwerken bestehenden Block vom äußeren Tank ab und verstaut ihn im Frachtraum, in dem er auf die Erde zurückgebracht wird. Der äußere Tank bleibt auf der Umlaufbahn oder wird mittels kleiner Feststofftriebwerke in die Atmosphäre zurückgeführt, wo er verglüht.

Man sieht leicht, daß wir es hier mit einem einstufigen Raketensystem zu tun haben. Seine Effektivität läßt sich steigern, wenn man den Block der Sauerstoff-Kohlenwasserstoff-Flüssigkeitstriebwerke nach der Benutzung abtrennt und an Fallschirmen zur Erde zurückführt; damit erhält man ein 1,5stufiges System. So kann eine Nutzlast von 40 t auf eine Umlaufbahn gebracht und der Frachtraum für Gegenstände frei gemacht werden, die zurückbefördert werden sollen.

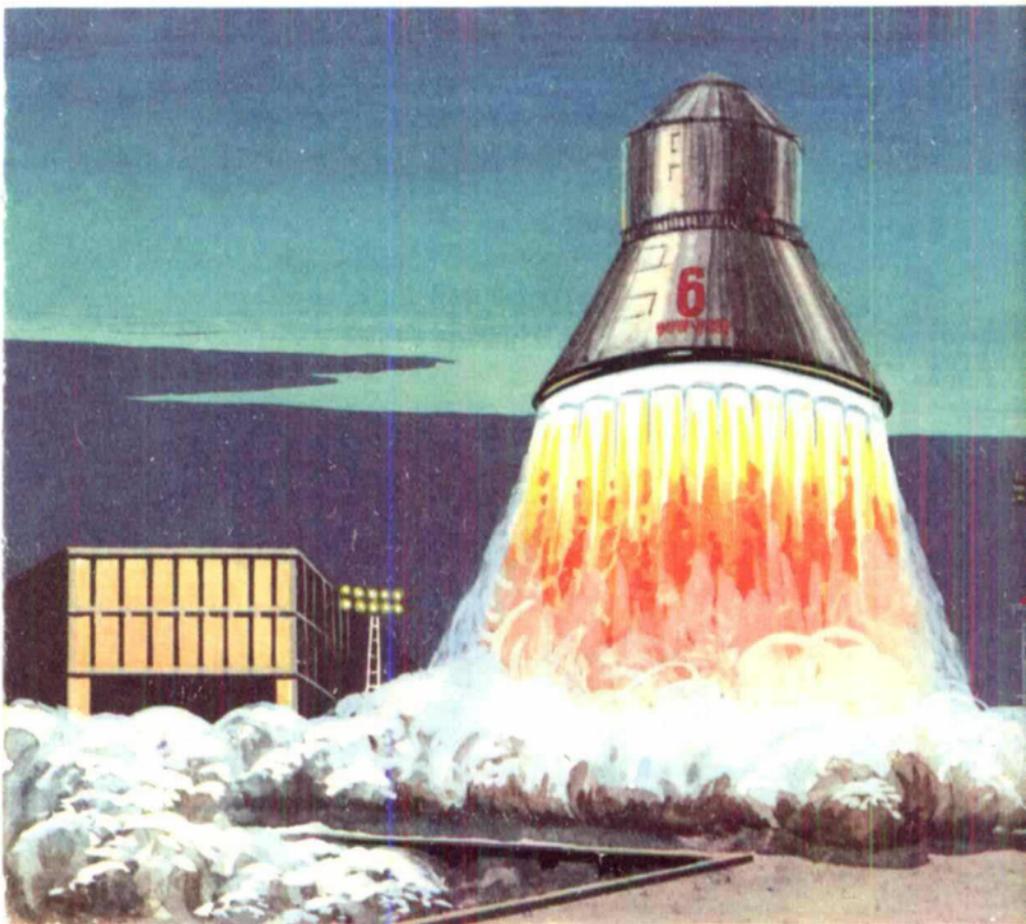
Die beschriebene Modifikation behält den Nachteil bei, den auch das Projekt Space Shuttle hat, nämlich den Verlust des äußeren Treibstofftanks. Der Hauptweg zur Verbesserung des Verfahrens besteht aber in der Entwicklung eines im echten Sinne wiederverwendbaren, einstufigen Orbitalflugzeugs. Nur auf diesem Wege, so meinen amerikanische Fachleute, ließe sich der Preis für den Transport von 1 kg Nutzmasse auf eine niedrige Umlaufbahn unter 200 Dollar senken.

Wir wissen, daß die für den Start eines Erdsatelliten auf eine niedrige Bahn charakteristische Geschwindigkeit etwa 9,5 km/s beträgt (die Kreisbahngeschwindigkeit 7,8 km/s plus 1,7 km/s gravitative und aerodynamische Verluste). Aus der bekannten Ziolkowskischen Formel folgt, daß nur eine außerordentlich hohe Ausströmgeschwindigkeit der Verbrennungsprodukte (d. h. ein hoher spezifischer Impuls des Triebwerkes) mit einstufigen Raketen das Erreichen dieser charakteristischen Geschwindigkeit erlaubt. Ohne Einsatz der Kombination Flüssigsauerstoff-Flüssigwasserstoff, die heute bei chemischen Triebwerken die größte Ausströmgeschwindigkeit liefert (in der Größenordnung 4,5 km/s), kommt man daher nicht aus. (Der Ersatz des Sauerstoffs durch Fluor brächte zwar eine höhere Ausströmgeschwindigkeit, hätte aber zugleich eine Umweltverschmutzung zur Folge.) Eine Triebwerksverbesserung durch Drucksteigerung in der Verbrennungskammer

führt ebenfalls zu einer höheren Ausströmgeschwindigkeit.

Nach Mitteilungen amerikanischer wissenschaftlicher Zeitschriften wird vom Einsatz der in Entwicklung befindlichen und mit zwei verschiedenen Treibstoffen arbeitenden Triebwerke ein großer Effekt erwartet; sie verwenden beim Start schwere Kohlenwasserstoffe (mit Flüssigsauerstoff als Oxydator) und schalten dann auf leichten Treibstoff (Flüssigwasserstoff) um. Der erstgenannte

Weltraumsonnenkraftwerke, die riesige Dimensionen haben müßten, könnten mit Hilfe von gewaltigen, mit gebündelten Raketentriebwerken versehenen Raumschleppern auf ihre Positionen gebracht werden. Ein derartiges einstufiges, unbemanntes Gerät müßte jedoch wegen der hohen Kosten für den Transport der 80 000 bis 100 000 Tonnen schweren Konstruktion wiederverwendungsfähig sein.



Treibstoff vergrößert den Startschub (wegen der Zunahme des Brennstoffverbrauchs je Sekunde) und bewirkt als Folge hiervon eine Verminderung der gravitativen Verluste (größere Beschleunigung).

Es existiert bereits eine Vielzahl von Projekten einstufiger Orbitalflugzeuge, die große (über 60 t), mittlere (in der Größenordnung von 18 t) und kleine (unter 2 t) Nutzlasten auf eine Umlaufbahn befördern sollen. Bei manchen Projekten wird dabei der Start von Bord eines Flugzeuges vorausgesetzt, bei anderen dagegen ein Auftanken mit Treibstoff in der Luft. Sowohl die Nutzlasten als auch die Treibstofftanks werden in einigen Vorschlägen außen am Mantel des Orbitalflugzeuges angeordnet.

Gelegentlich wird auch ein Horizontalstart unter Benutzung eines Katapults erwogen. Weiterhin wird vorgeschlagen, den Startplatz hoch über dem Meeresspiegel anzuordnen: Bei 1 500 m Höhe erzielt man einen Nutzlastgewinn von 7 t.

In vielen Projekten wird der ballistische Abstieg in der Atmosphäre mit vertikaler Bremsung auf dem letzten Bahnabschnitt vorgeschlagen. Solche mehrfach verwendbaren Raumtransporter ähneln keinem Flugzeug mehr: Sie haben keine Flügel, sind (bei großem Durchmesser) von gedrungener Form und erinnern an den Mondlandeapparat.

Leider stehen dem Einsatz von Luftstrahltriebwerken, die als Oxydator Luft verwenden, sehr große technische Schwierigkeiten im Wege. Sie stellen im Vergleich zu Raketenantrieben auch eine größere Gefahr für die Umwelt dar.

Einstufige Orbitalflugzeuge werden im Betrieb wesentlich billiger sein als 2- und 2,5stufige, doch hat man noch keine Klarheit über ihre Entwicklungskosten. Modifikationen solcher Flugzeuge könnten globale Frachttransporter werden.

Die einstufigen Orbitalflugzeuge werden, wenn sie erst einmal in Dienst gestellt sind, an jene »echten« Raumschiffe erinnern, deren Reiz uns in der wissenschaftlich-phantastischen Literatur so sehr in seinen Bann zieht. Sie werden von jedem beliebigen Punkt auf der Erdoberfläche starten bzw. auf ihm auch wieder landen können.

Das »Orbitalflugzeug« im Einsatz

Automatische Satelliten auf Umlaufbahnen

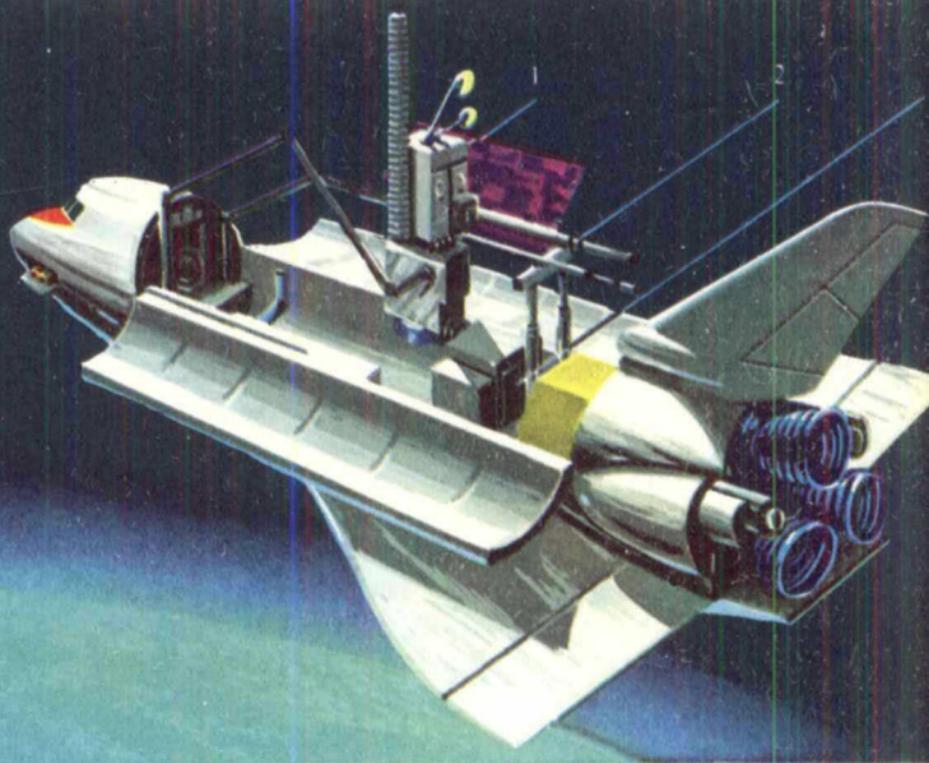
Um einen künstlichen Erdsatelliten auf eine geforderte (nicht allzu hohe) Umlaufbahn zu bringen, schwenkt das Orbitalflugzeug zunächst selbst auf diese Umlaufbahn ein. Hier prüft die Besatzung erforderlichenfalls den einwandfreien Zustand des Satelliten. Dann werden die Längsklappen der Frachtsektion geöffnet, die die Nutzlast vor aerodynamischen und thermischen Einwirkungen beim Start von der Erdoberfläche und beim Flug durch die Atmosphäre schützen. Ein Manipulator, der von der Kabine aus durch den zweiten Piloten gesteuert wird und der über ein Sichtfenster oder mit Hilfe einer Fernsehkamera beobachtet werden kann, setzt den Satelliten in den Weltraum aus (wenn es erforderlich ist, wird ein eigens zu diesem Zweck eingebauter zweiter Manipulator verwendet). Danach entfernt sich der Raumtransporter von dem auf die Umlaufbahn beförderten Raumflugkörper.

Satelliten, die auf eine Umlaufbahn gebracht bzw. von einer Umlaufbahn eingeholt werden sollen, müssen nach Masse und Maßen den Möglichkeiten des Raumtransporters entsprechen. Wenn Satelliten funktionsunfähig geworden sind, können sie auf die Erde zurückgebracht und durch neue ersetzt werden. Vorteilhafter jedoch ist es nach Meinung von Fachleuten, Reparaturen unmittelbar auf der Umlaufbahn auszuführen. Sollte sich der Satellit dabei in einer Höhe befinden, in der eine Arbeit von mehr oder weniger langer Dauer für die Raumfahrer gefährlich ist (Strahlungsgürtel!), dann ist es zweckmäßiger, den Satelliten mit Hilfe eines Bordtriebwerkes auf eine gün-

stige »Reparaturbahn« zu überführen, als ihn mit Hilfe des Orbitalflugzeuges in Schlepp zu nehmen und über eine Übergangsbahn in eine geeignete Umlaufbahn zu bringen.

Um auf der Umlaufbahn repariert werden zu können, müssen die Satelliten in der Regel nach dem Baukastenprinzip konstruiert sein. Die größte Serie dieser Art bilden die über 1000 sowjetischen Sputniks vom Typ Kosmos. Eine derartige Standardisierung der Konstruktionen wird auch in den USA bei den ERTS-Satelliten zur Erforschung der natürlichen Ressourcen unserer Erde durchgeführt. Man nimmt an, daß ein Satellit dieser Art im Verlauf einer zehnjährigen Betriebszeit im Mittel fünfmal gewartet werden muß. Der Raumtransporter, der zur Ausführung von Reparaturarbeiten auf eine Umlaufbahn startet, wird in einem Abschnitt seines Frachtraumes Ersatzteile mitführen, im anderen kann sich ein zusätzlicher Satellit befinden.

Das Rendezvous des Raumtransporters mit dem zu reparierenden Satelliten erfolgt genauso wie jedes beliebige andere Annäherungsmanöver zweier Raumflugkörper auf einer Umlaufbahn. Es vollzieht sich also auf ähnliche Weise wie vor der Kopplung der Raumschiffe Sojus und Apollo im Apollo-Sojus-Test-Programm (ASTP) oder wie in unserer Abbildung auf der Seite 24 dargestellt ist (Sojus 26/Salut 6). Insbesondere muß der Start des Raumtransporters in dem Augenblick erfolgen, in dem sich das Kosmodrom infolge der Erdrotation in der Bahnebene des Zielsatelliten befindet. Höchstwahrscheinlich ist aber gerade in diesem Augenblick die Lage dieses Sputniks auf seiner Umlaufbahn so beschaffen, daß ein Rendezvous unmöglich wird. Deshalb bringt man den Raumtransporter zunächst auf eine Parkbahn und wartet so lange, bis die Lage beider Raumflugkörper relativ zum Erdmittelpunkt für den Übergang des Transporters auf die Sputnikbahn geeignet ist. Danach beginnt die Annäherung, die jedoch nicht mit einer Kopplung, sondern in einem Abstand von 9 m zwischen Satellit und Raumtransporter zum Abschluß gelangt. Danach beendet der Raumtransporter mit Hilfe seiner Lagestabilisierungstriebwerke die Eigenrotation relativ zum Satelliten (die Winkelgeschwindigkeiten beider



Reparatur eines Satelliten für die Erkundung natürlicher Ressourcen: 1 – Satellit; 2 – Mechanismus für den Austausch der Bauteile; 3 – Antriebs- und Steuerungsaggregate

Körper müssen mit hoher Genauigkeit aufeinander abgestimmt sein). Nunmehr ergreift der ferngesteuerte Manipulator den Satelliten und koppelt ihn an den Aufnahme­teil des Mechanismus für den Austausch von Bauelementen. Der Mechanismus entfernt die alten Teile aus dem Satelliten, fixiert sie zeitweilig und setzt aus einer Magazin­vorrichtung neue in den Satelliten ein, der dabei entsprechend gedreht wird. Im Anschluß daran werden die alten Bauelemente im Magazin abgelegt. Diese Arbeits­gänge erfolgen automatisch; sie werden von der Besatzung, die sich in der Kabine aufhält, beobachtet. Danach wird der Satellit abgekoppelt, mit Hilfe des Manipulators in eine bestimmte Entfernung vom Raumtransporter gebracht und »freigelassen«.

Im Prinzip besteht bei Wartungsoperationen keine

Notwendigkeit dafür, daß ein Raumfahrer in den freien Raum steigt. Zumindest für die ersten beiden Einsatzjahre des Raumtransporters sieht das amerikanische Programm keinen Ausstieg vor, von Havariesituationen einmal abgesehen.

Nach Berechnungen amerikanischer Firmen würde das Aussetzen von Wettersatelliten der Serien Nimbus und ITOS sowie deren Reparatur auf den Umlaufbahnen mit Hilfe von Raumtransportern die gegenwärtigen Betriebskosten um 57% senken.

Als Beispiel für eine »nichtserienmäßige« Nutzlast, deren Ausbringung auf eine Umlaufbahn von Wissenschaftlern der USA unter Verwendung eines Raumtransporters geplant ist, muß in erster Linie ein großes Raumteleskop von 2,4m Durchmesser und 10t Masse erwähnt werden. Sein Start soll 1983 erfolgen, seine Nutzungsdauer 10 Jahre betragen. Das Teleskop wird von der Erde aus gesteuert; ein Auswechseln von Ausrüstungsteilen geschieht auf der Umlaufbahn mit Hilfe eines Raumtransporters. Das Gerät kann aber auch, falls größere Reparaturen erforderlich sind, vorübergehend auf die Erde zurückbefördert werden.

Ein weiteres Ziel eines Raumtransporterfluges (möglicherweise des sechsten Versuchsfluges) ist die Raumstation Skylab, die 1973 von den amerikanischen Astronauten verlassen worden ist. Die Besatzung des Raumtransporters soll dort ein Feststofftriebwerk installieren, um das Welt-raumlabor auf eine höhere Umlaufbahn zu befördern und damit seine Betriebsdauer zu verlängern. Dadurch wäre die Möglichkeit gegeben, die Station im automatischen Betrieb weiter zu nutzen (ein Aufenthalt an Bord der Station ist nicht möglich, da ihre Ausrüstung verschlissen ist).

Der Orbiter als Raumlabor

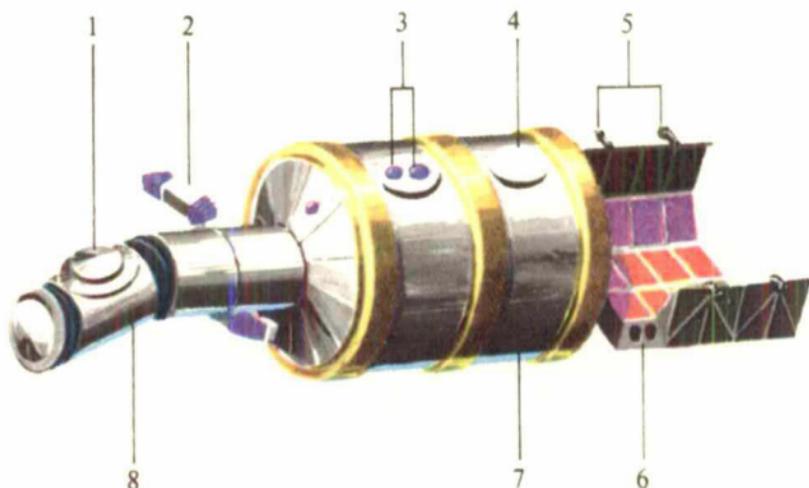
Neben seiner Rolle als Verkehrsmittel kann der Orbiter auch als Raumlabor auf einer Umlaufbahn dienen, wenn er in seinem Frachtraum eine nichtabtrennbare Nutzlast in Gestalt von Spezialausrüstungen für wissenschaftliche

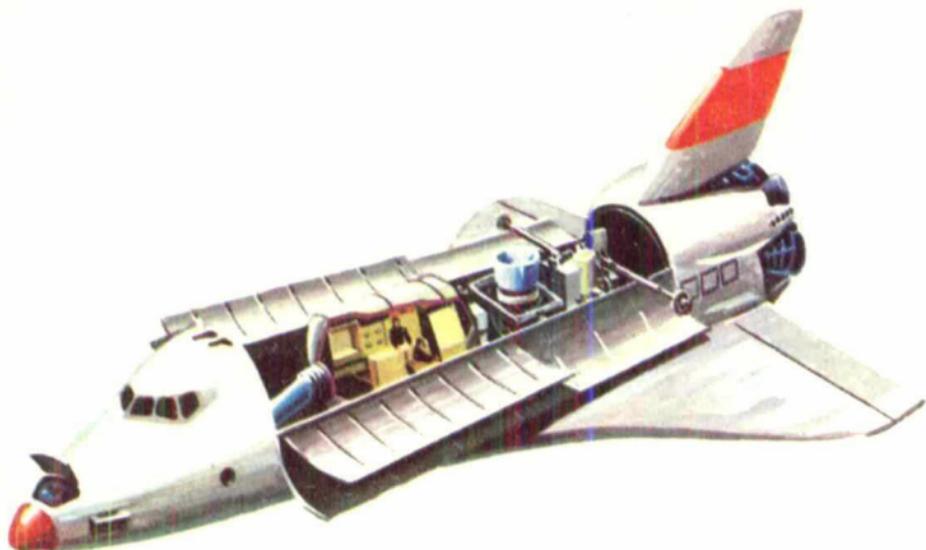
Untersuchungen mit sich führt. Nach dem amerikanischen Space-Shuttle-Projekt soll das Spacelab (ein Raumlaboratorium) als Nutzlast dienen, das gegenwärtig von 17 westeuropäischen und drei amerikanischen Firmen entwickelt wird. Die Herstellungskosten für Spacelab werden auf 420 Millionen Dollar geschätzt.

Das Weltraumlabor wird sich im hinteren Teil des Frachtraumes befinden; sein abgedichteter Teil wird über einen flexiblen Tunnel mit der Kabine des Orbiters verbunden, damit die Raumfahrer in das Spacelab gelangen können (im gleichen Tunnel werden auch die Rohrleitungen des Lebenserhaltungssystems verlaufen). Die Masse des Labors darf höchstens 11,34 t betragen, da der Orbiter nur 14,5 t von der Umlaufbahn zurückführen kann und auch noch eine gewisse Reserve verbleiben muß, um in bestimmten Fällen autonome Satelliten an Bord zu nehmen.

Das Raumlabor wird allem Anschein nach in drei Varianten ausgeführt, die unterschiedlichen Flugprogrammen entsprechen. In seiner ersten Variante wird das Spacelab

Eine der Varianten für Spacelab: 1 – Schleusenkammer zum Verlassen des Raumschiffs und zum Austritt in den freien Raum; 2 – Anschluß der Lebenserhaltungssysteme und der Gerätesektionen; 3 – vordere Sektion; 4 – Sichtfenster; 5 – Instrumentenplattform für Geräte (Teleskope, Antennen u. a.); 7 – hintere Sektion (für Versuchsgeräte); 8 – Verbindungstunnel vom Raumtransporter zum Labor





Fast alle Raumtransporterprojekte sehen zweistufige Systeme vor. Hier befindet sich die Kreisbahnstufe (Orbiter) nach der Abtrennung von der Startstufe in der Umlaufbahn. Als Nutzlast befördert dieser Raumtransporter in seinem Frachtraum ein Weltraumlabor. Die Wissenschaftler haben die Passagierkabine des Trägerfahrzeugs durch einen Tunnel verlassen und befinden sich im Labor.

nur aus einem abgedichteten Teil von 4,3 m Länge bestehen; hierbei wird die Masse der Versuchsausrüstung 5 t betragen. Bei der zweiten Variante wird sich an den abgedichteten Teil eine kurze, offene Plattform anschließen. Die Masse der Versuchsausrüstung wird 6 t betragen. Das ganze Labor ist 12 m lang. Bei der dritten Variante wird der abgedichtete Teil überhaupt fehlen; hier besteht das ganze Weltraumlabor aus einer Plattform von 15 m Länge, auf der sich Ausrüstungen mit 9,1 t Masse befinden. Der Durchmesser des Spacelab beträgt in allen Fällen 4,3 m. Die Plattformen können aus dem Frachtraum herausgeschoben werden. Die darauf befindlichen Geräte sind schwenkbar (die Teleskope werden mit einem autonomen Orientierungssystem ausgestattet). Die Überschußwärme des Spacelab wird mit Hilfe der Radiatoren des Orbiters abgestrahlt.

Jedes Exemplar des Spacelab ist für eine Betriebszeit von 5 Jahren berechnet und soll 50 Flüge mit einer Dauer von jeweils bis zu 30 Tagen ausführen. Die Bedienung erfolgt durch drei bis sieben Spezialisten, die sich ausschließlich mit der wissenschaftlichen Arbeit befassen und

von allen Aufgaben im Zusammenhang mit der Steuerung des Fahrzeugs frei sind (die Gesamtzahl der Besatzung dieses als Laboratorium dienenden Orbiters kann somit 10 Personen erreichen). Der Raumtransporter mit dem Spacelab an Bord wird auf Kreisbahnen von 200 bis 500 km Höhe gebracht.

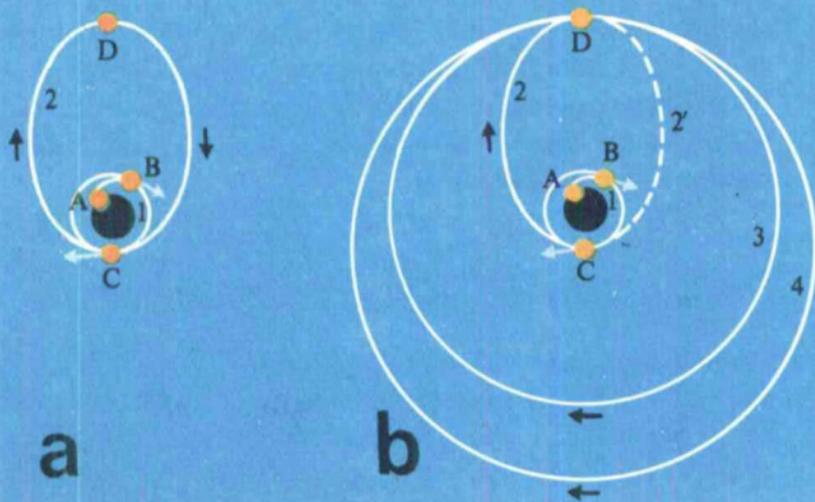
Operationen auf hohen Umlaufbahnen

Orbitalflugzeuge werden nur in relativ geringe Höhen über die Erdoberfläche aufsteigen. Für den Raumtransporter, der gegenwärtig in den USA entwickelt wird, beträgt diese Höhe allenfalls bis 300 km. Damit fällt aus der Reichweite eines solchen Raumflugkörpers ein sehr wichtiger, wenn auch zahlenmäßig geringerer Teil von Satelliten heraus, die auf hohen Bahnen umlaufen. Um diese Schwierigkeit zu überwinden, wäre es natürlich, den größeren Teil des Frachtraumes mit einem Raketensystem vollzupacken, das an den auf die Bahn zu bringenden Satelliten angekoppelt ist. Dieser Apparat heißt *interorbitaler Transporter* oder auch Raumschlepper (engl. Space Tug).

Sobald der Raumtransporter die Umlaufbahn erreicht hat, holt sein Manipulator den interorbitalen Transporter aus dem Frachtraum. Nun geht der Raumtransporter »zur Seite«, und der Raumschlepper beginnt selbständig die Operation zur Überführung des Satelliten auf eine neue Umlaufbahn.

Das ballistische Prinzip für den Einsatz der interorbitalen Transporter entspricht durchaus dem Verfahren, mit dem Satelliten unter Verwendung von nicht wieder verwendbaren Trägerraketen von Parkbahnen aus in Umlaufbahnen gebracht werden.

Besteht das Ziel der Operation darin, den Satelliten auf eine elliptische Bahn mit niedrigem Perigäum und hohem Apogäum zu bringen (also auf ähnliche Bahnen wie die sowjetischen Nachrichtensatelliten der Typen Molnija 2 und 3), so erfolgt der Start des Raumschleppers im Punkt C (siehe Abb. a, S. 78), nachdem der Raumtransporter im Punkt A gestartet ist und im Punkt B die niedrige Umlaufbahn I erreicht hat; der Punkt C wird auf der Umlauf-



Das Überführen interorbitaler Transporter, der »Raumfähren«, auf verschiedene Umlaufbahnen und ihr Einsatz: a – elliptische Umlaufbahn mit hohem Apogäum; b – hohe Kreisbahn und elliptische Bahn mit hohem Apogäum. Durch Pfeile sind die Impulse der Raumfähren-Triebwerke angedeutet.

bahn 1 so gewählt, daß die Achse CD der berechneten Bahn 2 die gewünschte Lage hat. Die Beschleunigungsrichtung fällt dabei mit der Bewegungsrichtung des Raumtransporters zusammen. Hierbei erhält der interorbitale Transporter eine Geschwindigkeit, die die des Raumtransporters so ergänzt, daß der geforderte Wert für die Anfangsgeschwindigkeit auf Bahn 2 erreicht wird; damit wird der Punkt C zum Perigäum und der Punkt D zum Apogäum von Bahn 2.

Soll der Satellit auf eine hohe Kreisbahn gebracht werden, dann sind die oben erwähnten Operationen durch Einschaltung des Triebwerkes im Apogäum D zu ergänzen, wobei die Apogäumsgeschwindigkeit auf die lokale Kreisbahngeschwindigkeit gesteigert wird. Auf diesem Wege sollen insbesondere Satelliten auf eine geostationäre Bahn übergeführt werden, d. h. auf eine Äquatorialbahn, für die die Umlaufzeit mit der Rotationsdauer der Erde übereinstimmt. Liegt der Raketenstartplatz A allerdings nicht auf dem Äquator, dann ist eine weitere Einschaltung des Triebwerkes in dem Augenblick erforderlich, in dem die

halbelliptische Übergangsbahn 2 die Äquatorialebene der Erde schneidet. Auf diese Weise kann der Raumschlepper in diese Ebene einschwenken.

Veranlaßt man den interorbitalen Transporter schließlich durch einen zusätzlichen Impuls im Punkt D dazu, die lokale Kreisbahngeschwindigkeit zu überschreiten, dann gelangt der Satellit auf eine elliptische Umlaufbahn mit hohem Perigäum (wobei das Perigäum um Punkt D liegt).

Auf der erreichten Bahn setzt der Raumschlepper den Satelliten frei, er »geht zur Seite«, und die Operation ist beendet.

Die Rückführung eines Satelliten zur Erde (oder seine Reparatur) besteht darin, daß der interorbitale Transporter ohne Nutzlast (oder mit einer Nutzlast von auswechselbaren Bauteilen) den bereits beschriebenen Weg zurücklegt, mit dem Sputnik ein Rendezvous-Manöver veranstaltet, ihn aufnimmt bzw. greift (bzw. auf der Bahn zurückläßt, wenn die Reparatur abgeschlossen ist) und dann zur Ausgangsbahn des Raumtransporters zurückkehrt. Hat der Raumschlepper den defekten Satelliten zum Orbiter befördert, »übergibt« er ihn dort dem Frachtraum des Transporters, in dem er zur Erde zurückgebracht wird (wenn die Reparatur nicht gleich an Bord des Raumtransporters erfolgt). Der Raumschlepper selbst verbleibt auf der Anfangsbahn (einer »Parkbahn«) und ist unter der Voraussetzung, daß Treibstoff nachgetankt wird, zu neuen Operationen bereit.

Der Abstieg von Bahn 3 (siehe Abbildung auf Seite 78) erfolgt durch einen Bremsimpuls, der dem Beschleunigungsimpuls gleich ist, der zum Aufstieg auf die Umlaufbahn 3 erforderlich war. Der Abstieg zur Bahn 1 erfolgt auf der halbelliptischen Bahn 2', die symmetrisch zur Bahn 2 angeordnet ist (wobei der Abstiegsunkt von der Bahn ganz und gar nicht mit dem Punkt D zusammenfallen muß). Der Übergang zur Bahn 1 geschieht mit Hilfe eines Bremsimpulses, der gleich dem Beschleunigungsimpuls des Übergangs von Bahn 1 auf Bahn 2 ist.

Die Operation für das Rendezvous mit dem Satelliten kann nicht zu jedem beliebigen Zeitpunkt, sondern nur dann begonnen werden, wenn der interorbitale Transporter auf seiner Ausgangsbahn 1 und der Sputnik auf seiner

hohen Kreisbahn 3 so angeordnet sind, daß der vorteilhafteste halbelliptische Übergang 2 — dargestellt in der Abbildung auf Seite 78 — oder ein anderer (aber keineswegs jeder beliebige) Wechsel möglich wird, sofern ihn die Energiereserven des Raumschleppers gestatten.

Die Rückkehr von Bahn 3 auf die Anfangsbahn 1 muß ebenfalls zu einem günstigen Zeitpunkt beginnen, dergestalt nämlich, daß das Rendezvous mit dem bereits auf Bahn 1 befindlichen Raumtransporter gewährleistet wird. Unter diesem Aspekt hört das Problem des Aufsuchens und Wartens mehrerer Satelliten mit Hilfe eines über hinreichende energetische Möglichkeiten verfügenden Raumflugkörpers allerdings auf, ein einfaches Problem zu sein.

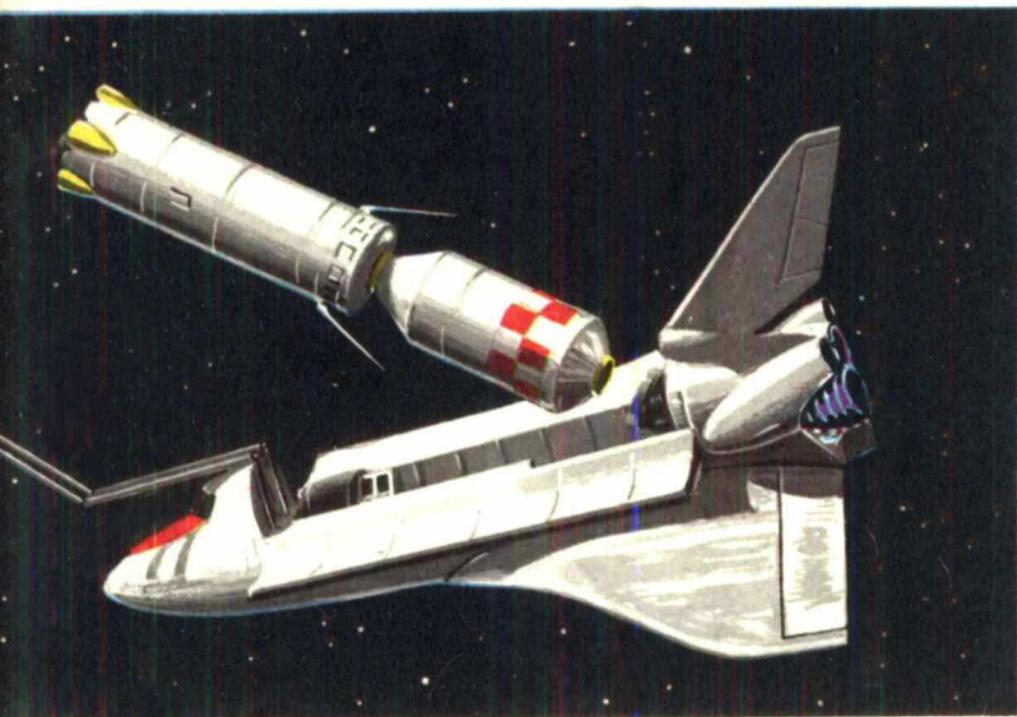
Es muß auch berücksichtigt werden, daß die notwendigen Geschwindigkeiten für Operationen des interorbitalen Transporters keinesfalls gering sind. Die Standardoperation für den Übergang von einer niedrigen zu einer geostationären Bahn sowie die Rückkehr in umgekehrter Richtung erfordern eine Geschwindigkeit von 8,5 km/s. Deshalb ist die Erhöhung der Ausströmgeschwindigkeit für die Triebwerke von Raumschleppern höchst wünschenswert. Aussichtsreich erscheint die Anwendung von Kerntriebwerken, bei denen eine Ausströmgeschwindigkeit von 8 bis 10 km/s gewährleistet werden könnte. Eine Verunreinigungsgefahr für die Erdoberfläche und die Atmosphäre erwachse daraus nicht, da die interorbitalen Transporter im Prinzip ewig in den Weiten des Raumes umherfliegen könnten.

Eine bemerkenswerte Besonderheit der Raumschlepper wird darin bestehen, daß sie mit verhältnismäßig geringen Beschleunigungen (weniger als 1 g) angetrieben bzw. gebremst werden können, da sie weder von der Erde starten noch in die Atmosphäre eintauchen müssen. Dies erleichtert nicht nur die Arbeit der Besatzungen, sondern vereinfacht auch die Konstruktion der Raumschlepper. Nur die Hauptbaugruppen dieser interorbitalen Transporter würden zwecks Reparatur bzw. Modernisierung zur Erde zurückgeführt werden müssen. Die Lebensdauer dieser Systeme wird eher durch ihren moralischen Verschleiß als etwa durch Festigkeitsverlust bestimmt.

Sehr aussichtsreich für die Zukunft erscheint die Verwendung von interorbitalen Transportsystemen unter Einsatz elektrischer Triebwerke (elektrothermischer, elektrostatischer und magnetohydrodynamischer), die durch Kernreaktoren oder von Sonnenbatterien gespeist werden. Dadurch würde es möglich, große (wegen der hohen Ausströmgeschwindigkeit) Nutzlasten, wenn auch langsam, nämlich im Verlauf einiger Wochen, von einer niedrigen Umlaufbahn spiralförmig auf eine stationäre Umlaufbahn zu befördern; die lange Flugdauer ergibt sich aus der geringen Beschleunigung (in der Größenordnung von 10^{-5} bis 10^{-4} g). Die Nutzlast könnte dabei außerordentlich empfindlich sein (und z. B. in einem großen Radioteleskop bestehen), da praktisch keine Überbelastungen auftreten. Frachtraumschiffe dieser Art werden sehr wahrscheinlich unbemannt sein, da ein langer Aufenthalt des Menschen im Strahlungsgürtel (in dem diese Aufstiegs- oder Umlaufbahnen liegen werden) lebensgefährlich ist.

Statt mit elektrischen Rückstoßtriebwerken kann ein Raumschlepper auch mit einem sogenannten Sonnensegel ausgerüstet werden. Dieses stellt eine extrem dünne Folie von einigen hundert oder sogar einigen tausend Metern Durchmesser dar. Infolge des Strahlungsdrucks der Sonne erzeugt es einen geringen Schub, der der Nutzlast eine geringfügige Beschleunigung verleiht und diese spiralförmig von einer niedrigen Basisbahn auf eine stationäre Bahn befördert. Auf analogem Wege kann die Nutzlast auf eine niedrige Umlaufbahn zurückbefördert werden. Das Sonnensegel wird in zusammengefalteter Form in der Nutzlastsektion des Orbitalflugzeuges auf eine niedrige Umlaufbahn befördert und im Weltraum dann durch die Raumfahrer entfaltet. Ein erster Versuch zur Ausführung dieses Entfaltungsmanövers wird möglicherweise schon 1980 unternommen.

Schließlich könnte der Raumschlepper Operationen ausführen, die, streng genommen, nicht seiner Zweckbestimmung entsprechen. Durch Erhöhung der Geschwindigkeit eines Orbitalflugzeuges bis zu einem Wert, der die Fluchtgeschwindigkeit übersteigt, könnte der interorbitale Transporter über die Grenzen der Wirkungssphäre unserer Erde hinausgelangen und Nutzlasten auf eine



Ein mit einer Raketenstufe versehener Satellit löst sich vom Raumtransporter, um auf einer Übergangsbahn in eine hohe Umlaufbahn zu gelangen.

Umlaufbahn um die Sonne oder zu den Planeten des Sonnensystems befördern. Der Mond wird zum Einsatzbereich interorbitaler Transportsysteme gehören. Lunare Umlaufbahnen (davon wird weiter unten die Rede sein) sind für sie erreichbar.

Raumschlepper könnten auch Satelliten auf neue Bahnen befördern, dem Zusammenfügen von Bauteilen größerer Raumflugkörper dienen, bei der Rettung der Besatzungen von Raumstationen eingesetzt werden und bei der Inspektion von Sputniks Verwendung finden.

Interorbitale Transportsysteme

Der erste amerikanische Raumschlepper, den die NASA zu entwickeln beabsichtigt, kann frühestens Ende 1983 in Dienst gestellt werden. Es wird sich dabei um einen un-

bemannten wiederverwendbaren Raumflugkörper handeln, der nicht nur imstande ist, einen Satelliten auf eine hohe Umlaufbahn zu bringen, sondern der auch auf die Ausgangsbahn des Raumtransporters zurückkehrt.

Um Satelliten im Zeitraum von 1980 bis 1983 auf hohe Umlaufbahnen zu befördern, wo bereits ein Park von Raumfähren in Betrieb sein wird, entwickelt die US-Luftwaffe eine vereinfachte Variante des interorbitalen Transporters, die auf vorhandenen Flüssigkeitsraketen fußt (Centaur, Agena, Transtage), die als Oberstufen von Trägerraketen dienen, oder auch auf der Grundlage von Raketenoberstufen mit Feststofftriebwerk (Thor-Delta oder Scout).

Dabei wird es sich möglicherweise um ein nicht wieder verwendbares System handeln, das imstande ist, einen Satelliten mit einer Masse von 5,4 t von einer niedrigen Umlaufbahn auf eine geostationäre, eine »24-Stunden-Bahn«, zu bringen. Es wird jedoch der Hoffnung Ausdruck gegeben, daß es gelingt, auf der Grundlage einer der drei Raketen Centaur, Agena und Transtage einen wiederverwendbaren Raumschlepper zu schaffen, der imstande ist, 1,6 bis 2,3 t auf eine geostationäre Bahn, eine »Synchronbahn«, zu bringen. Der von der NASA eigens dafür projektierte interorbitale Transporter wird im ungünstigsten Fall 2,3 t auf eine hohe Umlaufbahn befördern und leer zum Orbiter zurückkehren. In seiner verbesserten Variante wird er 2,95 t auf eine geostationäre Bahn bringen und »ohne Fracht« zurückkehren oder leer auf eine hohe Umlaufbahn aufsteigen und von dort eine Last von 2 t auf die Ausgangsbahn befördern oder schließlich 1,85 t auf eine geostationäre Umlaufbahn überführen und die gleiche Last auch zurückbringen.

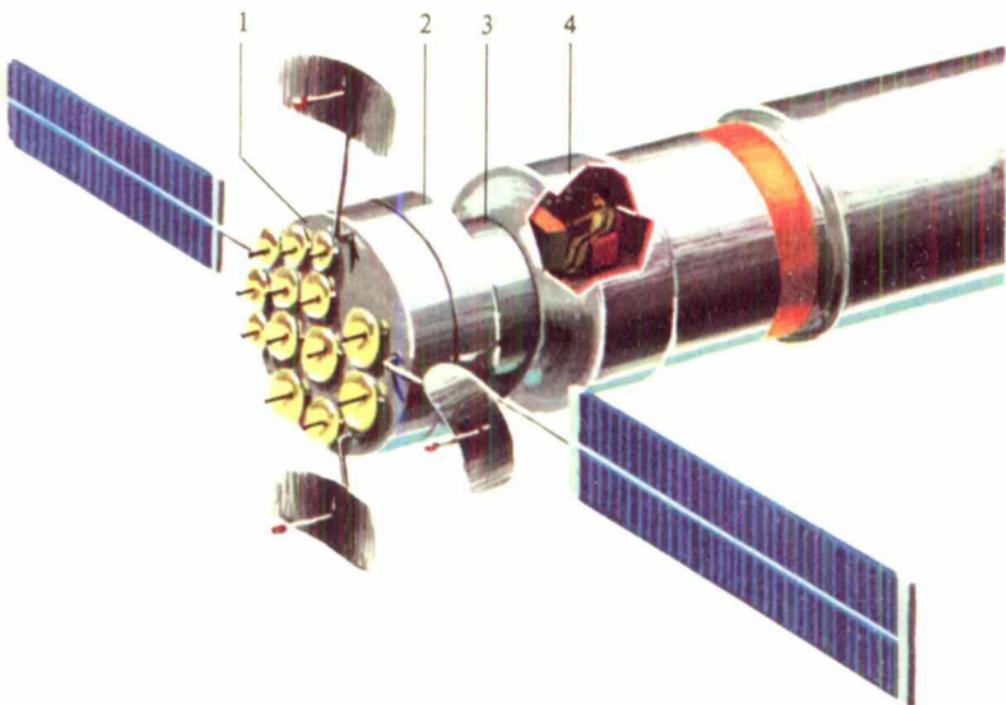
Letztlich könnte der Raumschlepper in der Perspektive auch 3,6 t auf eine geostationäre Umlaufbahn bringen und leer zurückkehren oder leer auf diese Bahn aufsteigen und 1,8 t auf eine niedrige Bahn überführen oder schließlich eine Nutzlast von 2,7 t hin- und zurückbringen. Nach anderen Angaben sind für die letzte Variante folgende Werte typisch: 3,6 t; 1,6 t und 0,9 t, wobei die Masse des interorbitalen Transporters 25,7 t, seine Länge 9 m und sein Durchmesser 4,57 m betragen soll.

Nach bestimmten Angaben offizieller Vertreter der NASA soll die Flotte von Raumschleppern im Jahre 1990 bereits fünf bis sieben Fahrzeuge umfassen. Die Gesamtkosten werden 800 Millionen Dollar (Stand von 1972) erreichen, und zwar einschließlich der Entwicklungskosten (400 Millionen Dollar) und der Betriebskosten (250 Millionen Dollar, 900 000 Dollar je Reise).

Es scheint durchaus möglich zu sein, in Zukunft auch einen interorbitalen Transporter für eine Besatzung von vier Mann zu entwickeln. Dieser könnte 7 Tage lang auf einer geostationären Umlaufbahn bleiben. Die Konstruktion könnte aus standardisierten Bauteilen bestehen. Am günstigsten dürfte es allem Anschein nach sein, die Reparatur eines geostationären Satelliten durch Menschenhand vorzunehmen.

In einem 1974 veröffentlichten amerikanischen Projekt wird vorgeschlagen, daß der bemannte wiederverwendbare Raumschlepper mit einer Besatzung von vier Mann aus einem Wohnblock und zwei Raketenstufen bestehen soll, die als Bauteile von zwei Raumtransportern auf die Ausgangsbahn gebracht und dort montiert werden. Eine Stufe erzeugt die Beschleunigung sämtlicher Systeme beim Verlassen des niedrigen Orbits, wird danach sofort abgetrennt, vollzieht einen Umlauf auf einer elliptischen Bahn und kehrt auf die Umlaufbahn der Raumfähre zurück. Die andere Stufe bewerkstelligt den Übergang auf die geostationäre Bahn, wo sie mit dem »Wohnblock« auch nach dessen Ankoppelung an den Satelliten verbunden bleibt, um später dann mit diesem Block in die niedrige Umlaufbahn zurückzukehren. Der Ersatz von Bauelementen im zu reparierenden Satelliten erfolgt ungefähr so, wie es weiter oben in bezug auf die Reparatur an Bord eines Raumtransporters beschrieben worden ist.

Es gibt auch Projekte für einen interorbitalen Auftankkomplex, der Raumtransporter und Raumschlepper versorgt. Der Kern des Komplexes ist eine Kombination aus drei Bauteilen, die durch drei Raumtransporterflüge auf die Umlaufbahn gebracht werden; der Treibstoff schließlich könnte durch einen neuen Träger angeliefert werden, der auf Elementen des in Entwicklung befindlichen Raumtransporters mit einer Nutzlast von 90t beruht.



Bemannter interorbitaler Transportapparat: 1 – Sektion für die Installation von Spezialausrüstungen; 2 – Standardsektion für Lebenserhaltungssysteme und Geräte; 3 – Übergangsteil; 4 – Sektion für die Besatzung

Bekannt sind auch Startpläne für automatische interplanetare Stationen unter Einsatz von Raumschleppern. Beispielsweise ist für Dezember 1981/Januar 1982 der Start eines Raumflugapparats zum Jupiter vorgesehen, von dem sich 50 bis 60 Tage vor Erreichen des Planeten eine Atmosphärensonde abtrennen soll; der Hauptteil des Apparates dagegen schwenkt auf eine Umlaufbahn um den Jupiter ein und wird nicht nur den Jupiter, sondern auch die vier großen Jupitermonde untersuchen.

Im Februar 1983 könnte ein Flug zweier Stationen unter Verwendung nur eines Raumschleppers zum Jupiter beginnen; beide Stationen trennen sich in Jupiternähe und umfliegen den Jupiter in verschiedenen Richtungen; danach werden sie vom starken Schwerefeld des Planeten zur Sonne zurückgeworfen. Sie überfliegen den Nord- bzw. Südpol der Sonne im Oktober 1986. Für 1984 wird ein Flug zum Mars unter Einschwenken auf eine Marsumlauf-

bahn und unter Absetzen einer automatischen Station mit autonomem Antrieb auf der Marsoberfläche erwartet.

Für 1984 bis 1986 sind Starts zum Saturn geplant; auch hier soll ein Einschwenken auf eine Saturnumlaufbahn erfolgen und außerdem eine Sonde zum Marsmond Titan gestartet werden; weiterhin sollen ein oder zwei Apparate zum Uranus entsandt werden, die am Saturn vorbeifliegen. Für das Ende der 80er Jahre läßt sich das Eintreffen von Marsbodenproben auf der Erde erwarten.

In letzter Zeit wird die Möglichkeit untersucht, einen Raumflugapparat zum Halleyschen Kometen bereits im Jahre 1982 zu entsenden; dieser Raumflugkörper soll mit einem Sonnensegel ausgestattet sein, das auf einer niedrigen erdnahen Umlaufbahn von einer Raumschlepperbesatzung entfaltet wird. Der Raumflugkörper könnte den Planeten im März des Jahres 1986 in der Nähe seines Perihels erreichen, und zwar mit der relativen Geschwindigkeit Null. Der gleiche Effekt ließe sich auch mit Hilfe eines Apparates erzielen, der eine Sonnen-Elektroraketenanlage besitzt.

Die Erfahrungen mit dem Einsatz des Sonnensegels ließen sich später für den Transport von 160 kg Marsboden von einer Marsumlaufbahn auf eine Erdumlaufbahn benutzen. Ohne den Einsatz eines Sonnensegels könnte man nur 1 kg transportieren.

Unter den neuen Aufgaben, deren Lösung ohne Raumtransporter und ohne Raumschlepper nicht denkbar ist, muß eine erwähnt werden, die grundsätzliche Bedeutung hat. Es ist die Entfernung radioaktiver Abfälle der Kernindustrie von der Erde, was Berechnungen zufolge im Jahr 2000 jährlich 200 Raumtransporterflüge erforderlich machen wird. Die Produktionskosten von Elektroenergie mittels Kernkraftwerken werden dabei nur um 5% zunehmen. Man beabsichtigt, die Container mit den Abfällen auf künstliche Planetenbahnen zu überführen, die weit von der Erdbahn entfernt liegen, oder sie sogar aus dem Bereich des Sonnensystems hinauszukatapultieren. Angesichts des Energieproblems und der Gefahr einer Umweltverschmutzung stimmt dieser Plan optimistisch.

Montage auf der Umlaufbahn

Wie soll man die immer größer werdende Vielfalt von Objekten in den Weltraum befördern, deren Masse und Größe die energetischen Möglichkeiten des Trägersystems übersteigen? Gewiß könnte man aufblasbare, aushärtende Konstruktionen (wie z. B. bei den kugelförmigen Satelliten Echo 1 und Echo 2 mit 30 bzw. 40 m Durchmesser) verwenden (was auch mehrfach geschah). Schließlich könnten auch aufklappbare bzw. entfaltbare Konstruktionen eingesetzt werden. Sie müßten regenschirmartig oder teleskopartig ausfahrbar sein wie z. B. die großen Parabolantennen der automatischen interplanetaren Stationen oder die herauschiebbaren 200 m langen Stabantennen des radioastronomischen Satelliten Explorer 38.

Im Prinzip jedoch läßt sich jeder beliebige Orbitalkomplex durch Montage von Baugruppen auf der Umlaufbahn aufbauen, die mittels einzelner Trägerraketen von der Erde aus angeliefert werden, oder auch mit Hilfe eines Raumtransporters, der mehrere Flüge ausführt. Der ökonomische Vorteil des Raumtransporters im Vergleich zu Trägerraketen ist dabei offensichtlich. Es könnte sich auch herausstellen, daß mehrere Starts von Standardraumtransportern günstiger sind als ein Start einer eigens zu diesem Zweck geschaffenen großen Trägerrakete, die imstande wäre, das Objekt insgesamt auf die Umlaufbahn zu befördern.

Bei den Objekten, von denen hier die Rede ist, handelt es sich vor allem um die bereits erwähnten Langzeit-Raumstationen.

Nach einem amerikanischen Projekt, dessen Weiterentwicklung allerdings wegen einer Kürzung der Mittel für zivile Raumflugunternehmen eingestellt worden ist, wäre es bei 17 Flügen eines Raumtransporters möglich, aus Standardbaugruppen zweier Typen (überwiegend mit einer Länge von 8,8 m und einem Durchmesser von 4,2 m) eine Langzeit-Raumstation von 110,8 t Masse für 12 Personen zu montieren. In noch nicht völlig ausgebautem Zustand könnte die Station bereits nach acht Starts ihren Betrieb mit sechs Fachleuten aufnehmen. Die Montage geschieht wie folgt: Der Raumtransporter wird zunächst fest mit

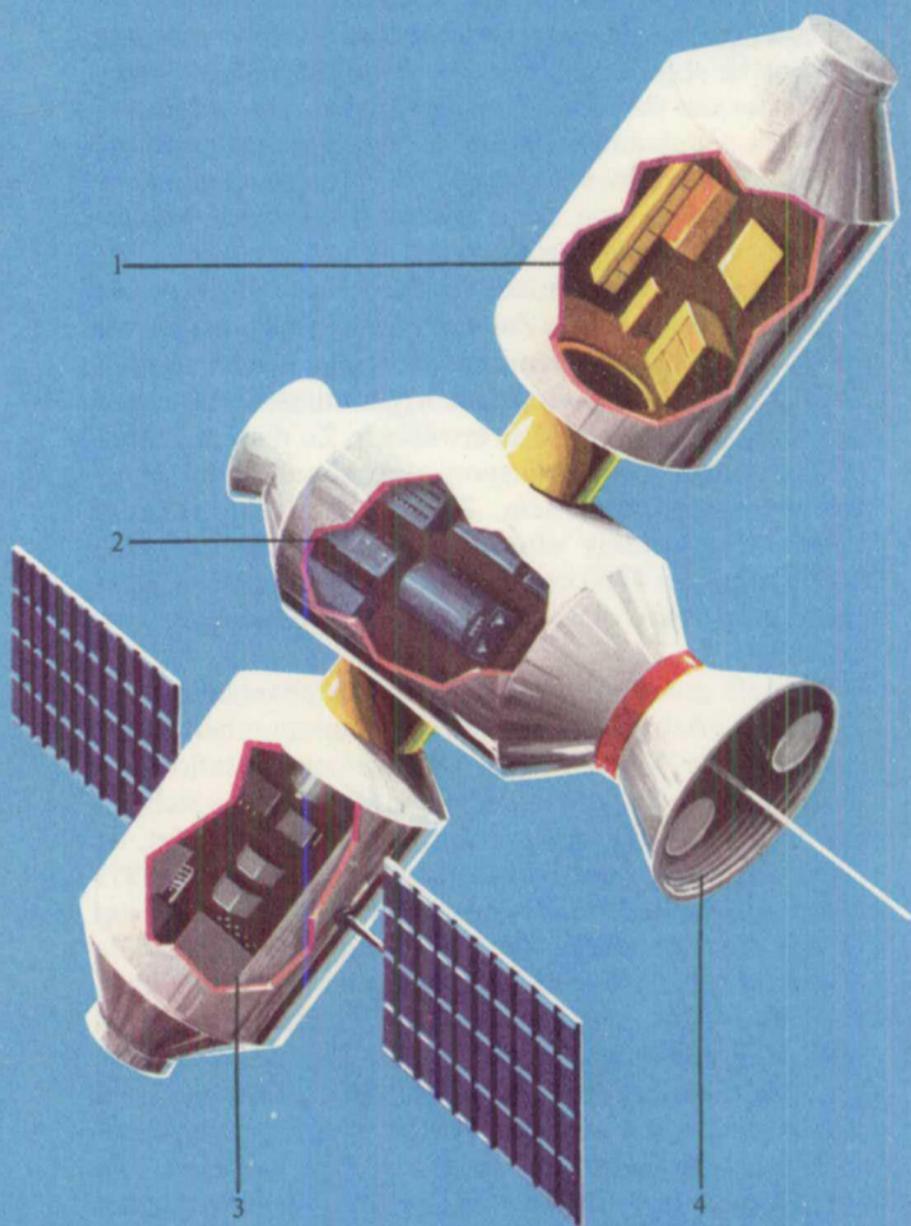
einem Komplex zusammengekoppelt, der sich bereits auf der Umlaufbahn befindet, und erst danach holen die Manipulatoren die von der Erde herantransportierte Baugruppe aus dem Frachtraum heraus und koppeln sie an den Zentralteil an; danach wird der Raumtransporter abgekoppelt. Er kehrt zur Erde zurück, um die nächste Baugruppe heranzuführen.

Nach Angaben amerikanischer Fachleute könnte dieses Projekt, das seinerzeit mit einer ausgiebigen Reklame bedacht worden ist, eine Renaissance erleben, wenn es sich in ein internationales verwandelte.

In letzter Zeit diskutiert man in den USA die Verwendung eines umgerüsteten äußeren Treibstofftanks (Volumen: 480 m^3) der Orbitalstufe eines Raumtransporters als Bauteil einer Langzeit-Raumstation; dieser Treibstofftank müßte also auf eine Umlaufbahn mitgeführt werden. In einem kleinen, abgeschirmten Teil des Treibstofftanks würde bereits auf der Erde die Ausrüstung der Station untergebracht werden (dies wäre die einzige Nutzlast für diesen Raumtransporterflug). Ein weiterer Raumtransporter befördert dann den Block der Sonnenbatterien auf die Umlaufbahn, der in seiner Form dem entsprechenden Block der astronomischen Sektion der Skylab-Station ähnelt und so aussieht wie die Flügel einer Windmühle.

Noch vor verhältnismäßig kurzer Zeit wurden zahlreiche Projekte großer rotierender (also mit künstlicher Schwere versehener) Raumstationen geschaffen. Sie bestanden aus Baugruppen, die durch große, nicht wieder verwendbare Trägerraketen auf eine Umlaufbahn gebracht werden sollten. Heute sind diese Projekte durch Entwicklungen abgelöst worden, die auf dem Einsatz eines Raumtransporters beruhen. Im Jahre 1974 erklärte der bekannte Raumfahrtexperte K. Ericke (dessen Projektvorschläge in Fachkreisen jedoch mit sehr viel Zurückhaltung bewertet werden), daß nach 1985 eine aus einzelnen Baugruppen aufgebaute Außenstation für 25 bis 100 Personen entwickelt werden müßte, von der aus – ablegerartig – weitere

Zeitweilige Raumstation in Baukastenkonstruktion. Die Bauteile werden auf drei Flügen vom Orbiter herangebracht: 1 – bewohnter Block; 2 -- Block für die Experimente; 3 – Sektionen für Energie- und Lebenserhaltungssysteme; 4 – Ankopplungsbaugruppe



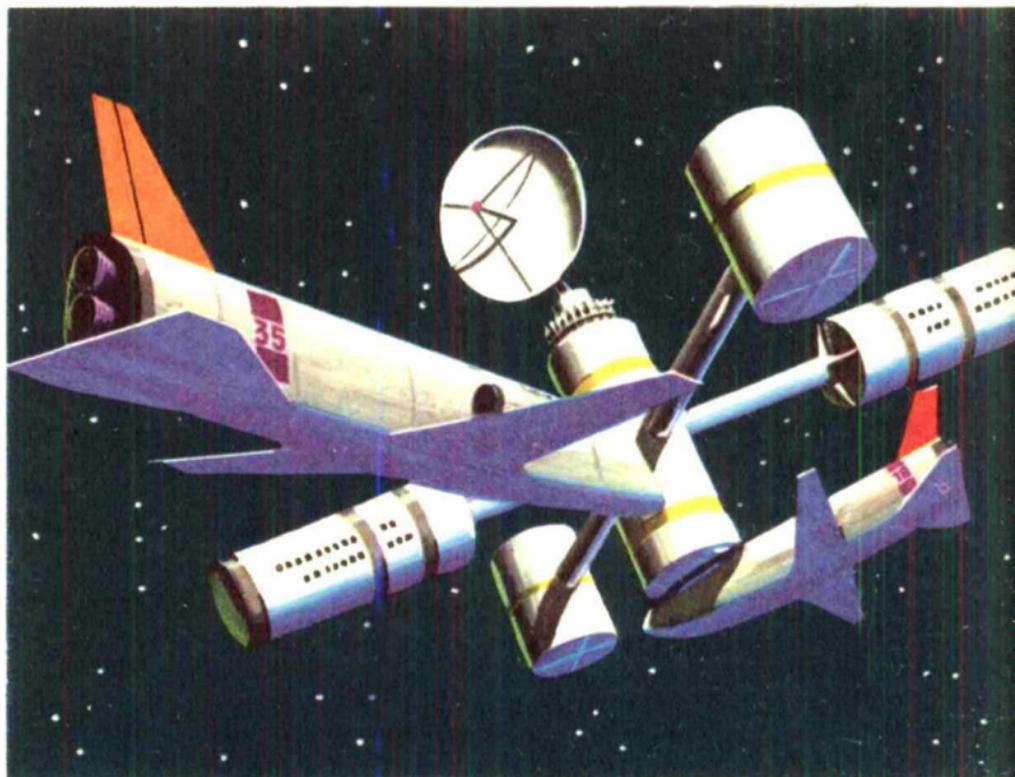
Stationen errichtet werden. Nach K. Erickes Meinung ist der Aufbau eines riesigen Orbitalkomplexes (»Astropolis«) zu erwarten, wofür Starts von wiederverwendbaren Trägern mit Nutzlasten zwischen 400 und 1000 t notwendig sind. Solche »Sternenstädte«, die ein selbständiges ökologisches System darstellen, werden später auch auf künstlichen Planetenbahnen umlaufen. Es fällt nicht schwer, hier die Weiterentwicklung des berühmten Gedankens K. E. Ziolkowskis von den »Städten im Äther« wiederzuerkennen, die sein Traum waren.

Von den viel bescheideneren Projekten, die man als Aufgaben für die nächste Zukunft ansehen darf, wollen wir hier den Vorschlag zur Montage eines gigantischen Radioteleskops im Submillimeterbereich (Durchmesser 90 m) auf einer niedrigen Umlaufbahn erwähnen. Zu diesem Zweck werden einige Raumtransporterflüge auf eine Montagebahn erforderlich sein. Danach wird die gesamte Konstruktion mittels eines Raumschleppers auf eine Umlaufbahn von 1300 km Höhe gebracht; der interorbitale Transporter wäre dabei mit einem Sonnensegel ausgestattet.

Wahrhaft grandios und nicht weniger phantastisch als das Projekt »Astropolis« ist die 1968 ausgesprochene Idee, ein gigantisches Sonnenkraftwerk auf einer geostationären Umlaufbahn zu schaffen. Dieses Kraftwerk, das sich gegenwärtig im Stadium der Vorprojektierung befindet, ist – amerikanischen Veröffentlichungen aus dem Jahre 1975 zufolge – auf eine Betriebsdauer von 30 Jahren berechnet und soll etwa im Jahre 2000 in Dienst gestellt werden. Es ist vorgesehen, dafür Silizium-Solarzellen zu verwenden, die schon oft im Weltraum erprobt worden sind, sowie moderne Werkstoffe für die Konstruktion einzusetzen. Damit die Leistung der Sonnenbatterien 5 Millionen kWh erreicht, müssen sie über eine Fläche von 45 km² verfügen. Die Masse der Gesamtanlage wird 9570 t betragen. Die erzeugte elektrische Energie wird in Mikrowellenstrahlung umgewandelt, die mit Hilfe einer stabilisierten Antenne von 1 km Durchmesser auf die Erde gesandt wird. Der Empfang dieser Energie wird mit Hilfe eines Antennensystems erfolgen, deren einzelne Funktionsteile auf eine hinreichend große Fläche verteilt sind, damit die Intensität

des elektromagnetischen Feldes nicht sehr viel höher liegt als der Pegel, der von Funk- und Fernsehsendern erzeugt wird. Die Energie wird in Gleichstrom hoher Spannung (zwecks Übertragung auf große Entfernungen) oder in industriell verwendbaren Wechselstrom umgewandelt. Man hofft, auf der Erde – unter Berücksichtigung der Verluste – eine Leistung zwischen 2 und 20 Millionen kWh zu empfangen (abhängig von der Fläche der Sonnenbatterie-)

Ein Raumtransporter an einer Außenstation, bei der die aus Raketentstufen zusammengesetzten Wohn- und Arbeitszellen um den Mittelteil rotieren sollen, um die Belastungen der Schwerelosigkeit zu mindern. Neuerdings sind jedoch derartige Lösungen mit der Roto-Gravitation, einem Pseudo-Gravitationseffekt mittels rascher Umdrehung, wieder verworfen worden, weil die Besatzung ohne Ausnahme unter starken Störungen der Gleichgewichtsorgane zu leiden hätte. Experimente zeigten, daß bereits in nur mit 2 U/min rotierenden Räumen lediglich die Hälfte der Versuchspersonen zu normaler Arbeit in der Lage war. Außerdem hat sich erwiesen, daß die Schwerelosigkeit bei entsprechenden Trainingsmethoden auch über einen längeren Zeitraum relativ gut vertragen wird.



rien, die nicht übermäßig groß sein kann: Es wird unmöglich sein, die Überschußwärme der Generatoren in den Raum abzustrahlen).

Man nimmt an, daß die Station auf einer Umlaufbahn von 400 km Höhe montiert werden wird, und zwar mit Hilfe von Raumtransportern mit 180 t Nutzmasse oder – auf einer Umlaufbahn von 13 000 km Höhe (was wirtschaftlich vorteilhafter ist) – unter Einsatz von interorbitalen Transportsystemen mit Sauerstoff-Wasserstoff-Flüssigkeitstriebwerken oder Kerntriebwerken (Ausströmgeschwindigkeit 8 km/s). Diese müßten eine Startmasse von 363 t ohne Berücksichtigung der Nutzlast haben (die Nutzlast ist gleich 268 t bei Verwendung von Flüssigkeitstriebwerken und 468 t bei Verwendung von Kerntriebwerken). In beiden Varianten wird das Kraftwerk unter Einsatz eines Raumschleppers mit Ionentriebwerk (auf der Grundlage von Sonnen- oder Kernenergie und mit einer Ausströmgeschwindigkeit bis 80 km/s) von der Montagebahn auf die geostationäre Umlaufbahn gebracht. Nicht ausgeschlossen ist auch die Möglichkeit, diese riesige Anlage unmittelbar auf der Synchronbahn unter Verwendung der soeben erwähnten interorbitalen Transporter (nun beträgt die Nutzlast 82 t für Flüssigkeitstriebwerke und 205 t für Kerntriebwerke) zu montieren. Der Bau eines Prototyps dieses Kernkraftwerks auf einer niedrigen Umlaufbahn ist für 1990 bis 1992 vorgesehen. Das Versuchsmuster des Kraftwerkes könnte 1997 auf einer stationären Umlaufbahn fertiggestellt werden.

Was die Kosten anbelangt, so wird ein derartiges Kraftwerk durchaus mit Wärme-, Kern- und Wasserkraftwerken konkurrieren können. Zunächst aber müssen noch die möglichen schädlichen Auswirkungen untersucht werden, die die von den Empfangsantennen abgestrahlte Wärme hervorrufen kann: Schäden infolge der Zerstörung der Bodenschicht auf der Fläche, wo die Antennen installiert werden; aber auch die Verschmutzung der Atmosphäre durch Abgase der Raumtransporter sowie Schäden aus der Einwirkung der Mikrowellenstrahlung auf Pflanzen, Tiere, Menschen, Flugzeuge und Kommunikationssysteme.

Ein anderes Orbital-Sonnenkraftwerk, das »Powersat«, mit einer Masse von 100 000 t stellt ein System von Spiegeln

dar, die Sonnenstrahlen konzentrieren, um die notwendige Wärme für den Antrieb von Gasturbinen zu liefern, die ihrerseits Wechselstromgeneratoren antreiben. Die erzeugte elektrische Energie wird in ein Mikrowellenbündel transformiert, das auf die Erde gerichtet wird. Zur Montage der Station auf einer niedrigen Umlaufbahn wäre ein Raumtransporter von 10400 t Startmasse, mit einer Eigenmasse von 900 t und einer Nutzlast von 230 t erforderlich. Dieses Raumtransportersystem könnte mehrmals täglich vom Wasser aus starten. Schon 1983 oder 1984 sollen experimentelle Arbeiten zum Aufbau großer Konstruktionen im Weltraum beginnen. Man hofft, daß es dabei gelingen wird, das Versuchsmuster eines kleinen Satelliten-Sonnenkraftwerks mit einer Leistung von 100 kW herzustellen.

Es existieren unterschiedliche Meinungen über das Verhältnis zwischen Automaten und Menschen bei Arbeiten auf Umlaufbahnen. Schon die Auswahl der Höhe einer Montagebahn kann, jedenfalls zum Teil, für die Rolle bestimmend sein, die zur Lösung des Problems dem Menschen überlassen bleibt. In Zonen mit erhöhtem Strahlungspegel kann sich der Mensch nur sehr kurze Zeit aufhalten. Bemannte Flüge haben deutlich gezeigt, welche Vorzüge der Raumfahrer in komplizierten Situationen selbst im Vergleich zu vollkommenen automatischen Vorrichtungen hat. Man darf annehmen, daß die Montage komplizierter Anlagen im Kosmos der unmittelbaren Beteiligung des Menschen bedarf. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache werden sowohl Projekte von individuellen Rückstoßtriebwerken für Raumfahrer geschaffen (»Raketentornister«, »Raketensitz«, »Raketenschuhe«), die bereits erfolgreich im Inneren von Raumstationen erprobt wurden, aber auch »Minischlepper«, die mit Manipulatoren ausgerüstet sind und eine Zwischenstellung zwischen den vorher erwähnten Apparaten und regelrechten Raumschleppern einnehmen. Solche »Minischlepper« werden unmittelbar im Gebiet der »Weltraum-Baustelle« arbeiten, massereiche Bauteile transportieren, die Montage vornehmen, die Raumstation versorgen (z. B. autonome Satelliten zur Raumstation holen, die mit dieser zusammen einen Gruppenflug ausführen) usw.



*Einsitziger »Miniraumschlepper« mit einer Anfangsmasse von 3,6 t
(Projekt aus dem Jahre 1961)*

In allgemeinen Zügen können wir uns das grandiose und in seinem Schweigen erhabene Bild des zukünftigen Bauplatzes im Weltraum so vorstellen:

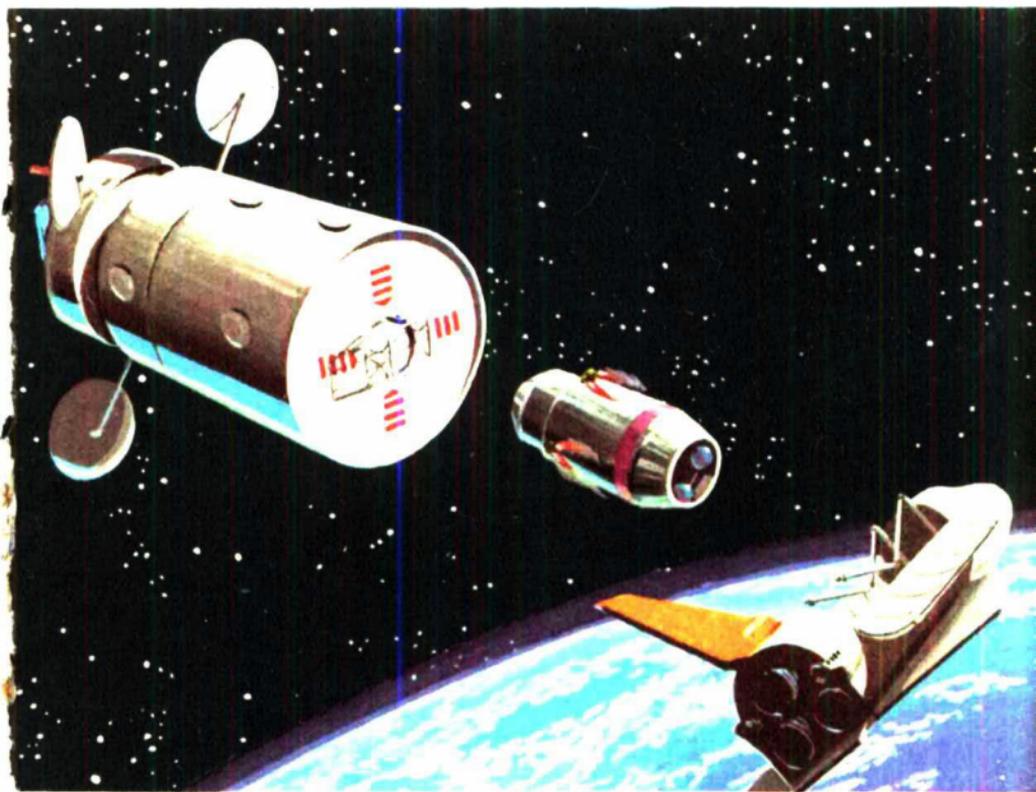
Riesige Baugruppen – noch unvollendete Strukturen – bewegen sich gemächlich dahin, von »Minischleppern« geschoben. Um die Baukonstruktion schweben geschäftige Kosmonauten, mit individuellen Rückstoßtriebwerken ausgerüstet. In einiger Entfernung sieht man den massigen Körper eines transportablen Atomkraftwerkes, das zum Arbeitsplatz hin abgeschirmt ist, so daß die Bauleute vor der Strahlung geschützt sind. Flexible Kabelschlangen führen – ohne durchzuhängen – vom Kraftwerk zur Baustelle. In der Nähe flammt blendend hell der Triebwerksstrahl eines Raumschleppers auf, der die neue Schicht aus dem Wohnheim herangebracht hat (die Lichter der als Wohnheim dienenden Station sind ebenfalls sichtbar). Vor dem tiefschwarzen Hintergrund des Alls gleitet die blaue Oberfläche der Erde dahin. Plötzlich geht die Sonne unter. Und sofort leuchten die Scheinwerfer auf: Die Arbeit wird auch während der 45 Minuten dauernden Nacht fortgesetzt, die auf der niedrigen Umlaufbahn von 45 Minuten Tag abgelöst wird. Ein neuer Lichtblitz von der Erdoberfläche her: Eine Raumfähre kommt an...

Die Wartung von Raumstationen

Die regelmäßige Ablösung der Besatzungen von Langzeit-Raumstationen ist die klassische Aufgabe der Raumtransporter. Selbst zu der Zeit, als man noch annahm, die Raumstation würde aus Baugruppen montiert, die durch nicht wieder verwendbare Trägerraketen auf die Umlaufbahn gebracht werden (man dachte ja auch an die Verwendung der ausgebrannten letzten Stufen), selbst damals also sollten Raketenflugzeuge dem Besatzungswechsel dienen. Wahrscheinlich wird dies auch die einfachste Aufgabe eines Raumtransporters sein, wenn sich die Raumstation auf einer niedrigen Bahn befindet.

Bei einer hohen Umlaufbahn dagegen werden inter-

So könnte sich die Ablösung der Besatzung einer Raumstation vollziehen. Ein Raumgleiter hat eine Raumfähre abgesetzt, die an der Station anlegen wird und dann mit der abgelösten Mannschaft im Gleitflug zur Erde zurückkehrt.



orbitale Transportsysteme in Aktion treten und auf Übergangsbahnen verkehren. Doch bei einem hinreichend hohen Stand der Erschließung des erdnahen Raumes, wenn die Flugtrassen im geostationären Orbit sowie auf anderen Bahnen den Charakter ständiger Versorgungslinien annehmen, wird es notwendig sein, alle Operationen unter wirtschaftlichem Aspekt zweckmäßig zu organisieren.

Nach Meinung von K. Ericke, der nicht daran zweifelt, daß auf der Synchronbahn eine Langzeit-Raumstation entsteht und sich weiterentwickelt, dürfte es erforderlich sein, eine ständige Hilfsstation auf einer elliptischen Übergangsbahn einzurichten, die zwischen dem niedrigen Orbit und der quasistationären Bahn liegt. Der Übergang auf diese Zwischenstation von der niedrigen Bahn aus (und umgekehrt) wird mit Hilfe eines vereinfachten interorbitalen »Perigäums-Transporters« bewerkstelligt. Der Übergang von dieser Zwischenstation zur geostationären Bahn (und umgekehrt) erfolgt mit Hilfe eines anderen Raumschleppers, den man analog als »Apogäums-Transporter« bezeichnen müßte. Alle diese Raumflugkörper würden sich zu verschiedenen Zeiten auf der einen oder anderen der genannten drei Bahnen befinden. Die Einsparung wird durch eine Vereinfachung der Konstruktionen erreicht (an Triebwerke im Perigäum und im Apogäum werden unterschiedliche Forderungen gestellt, der Wegfall von Navigationsausrüstungen, die nur auf der Übergangsbahn benötigt werden, sowie der Verzicht auf Komfortelemente usw.). Nach K. Ericke ist es (unter Berücksichtigung einer großen Anzahl von Flügen) ökonomisch vorteilhafter, ein System mit Sauerstoff-Wasserstoff-Flüssigtriebwerk anstelle eines Raumschleppers mit Kerntriebwerk zu verwenden. Noch vorteilhafter wäre es, die Station auf der Übergangsbahn mit einem elektrischen Triebwerk zu versehen.

Es muß bemerkt werden, daß der Flug eines Raumschleppers auf einer so langgestreckten Bahn wie der hier angegebenen Übergangsbahn beträchtlichen Störungen von seiten des Mondes und der Sonne ausgesetzt ist. Sie wären imstande, das Perigäum anzuheben oder, was noch ungünstiger ist, den erdnächsten Bahnpunkt in die Atmosphäre eintauchen zu lassen und die Höhe des Apogäums zu verändern.

Wege zum Mond

Varianten

Die ungewöhnlich hohen Kosten einer Expedition zum Mond haben bekanntlich zur Reduzierung der ursprünglich geplanten Anzahl von Flügen im Rahmen des Apollo-Programms geführt. Die amerikanischen Raumflugpläne sehen für das nächste Jahrzehnt keinen bemannten Flug zu unserem natürlichen Trabanten vor. Eine ständige wissenschaftliche Station auf dem Mond mit regelmäßig abzulösender Besatzung, was doch offenbar viel zweckmäßiger wäre als Kurzbesuche, kann man sich unter den bisherigen Verhältnissen, unter denen ein Flugticket zum Mond einige hundert Millionen Dollar kostet, überhaupt nicht vorstellen!

Um Klarheit über die Möglichkeiten zu erlangen, die Kosten einer Mondexpedition zu verringern, wollen wir einige Varianten des bemannten Fluges zu unserem natürlichen Begleiter betrachten. Es sind drei derartige Hauptvarianten bekannt:

Die erste sieht einen Direktflug vor. Eine mehrstufige Rakete bringt einen Raumflugkörper, der ebenfalls mehrere Raketstufen umfaßt, auf eine Flugbahn zum Mond. Zunächst schwenkt das Raumschiff auf eine erdnahe Parkbahn ein, von der aus im richtigen Moment der Start zum Mond erfolgt (es ist unwesentlich, ob dies mit Hilfe der letzten Trägerraketstufe oder einer eigenen Triebwerksanlage erfolgt; wo die Trägerrakete zu Ende ist und das eigentliche Raumschiff beginnt, ist in diesem Falle eine Sache der Definition). Auf diese Weise können die durch die Erdgravitation bedingten »Energieverluste« dank der

allmählichen Beschleunigung auf ein Minimum reduziert werden, wann immer im Verlauf des siderischen Monats der Flug stattfindet. Die Anfangsgeschwindigkeit des antriebslosen Fluges zum Mond beträgt ungefähr 11 km/s.

Die Flugbahn kann so gewählt werden, daß das Raumschiff unmittelbar auf den Mond »fällt«. Dann muß die Fallgeschwindigkeit (etwas über 2,5 km/s) durch Rückstoßtriebwerke abgefangen werden. Aber auch der Übergang auf eine niedrige mondnahe Parkbahn ist möglich. Dies bringt zwar energieseitig keinen Gewinn, ist jedoch in mancher Beziehung bequem (die Landung kann an einem Punkt erfolgen, der einer Direktlandung unzugänglich ist; es ist die Möglichkeit eines Not-Rückstarts zur Erde gegeben; der Landeort kann präzisiert werden, auch dann, wenn der Punkt durch eine Direktlandung erreicht werden kann usw.). Beim Abstieg von der mondnahen Umlaufbahn kann eine abgeworfene Stufe (z. B. ein leerer Treibstofftank) auf dieser Bahn verbleiben.

Beim Rückstart kann die bei der Landung verbrauchte Stufe (die dann die Rolle einer Startrampe spielt) auf dem Mond bleiben. Nach dem Aufstieg gelangt das Raumschiff auf eine mondnahe Parkbahn (wenn der direkte Abflug zur Erde nicht möglich ist). Beim Abflug von dieser Bahn zur Erde wird die Geschwindigkeit auf 2,5 bis 3 km/s gebracht. In die Atmosphäre dringt der Landeapparat dann mit der Geschwindigkeit von 11 km/s flach ein. Er vollzieht den Abstieg im Gleitflug, während der übrige Teil des Raumschiffs beim Eintauchen in die dichten Schichten zerstört wird. Der vorherige Übergang auf eine erdnahe Bahn mit Hilfe von Bremstriebwerken hat keinen Sinn, da diese technische Ausrüstung die Masse des Raumschiffs und damit auch die Startmasse der Trägerrakete auf ein Mehrfaches ansteigen lassen würde.

Bei der zweiten Variante wird das Raumschiff auf einer erdnahen Umlaufbahn, die damit zugleich zur Parkbahn wird, montiert. Das erschien so lange als sehr zweckmäßig, solange es leichter war, zwei oder drei kleinere Raketen zu bauen als eine große für eine zwei- oder dreifach größere Gesamtnutzlast. In energetischer Hinsicht gehört keinem dieser beiden Verfahren der Vorzug; auch hinsichtlich der

Masseparameter ergeben sich keine Vorteile (die Gesamtstartmasse von zwei oder drei kleinen Raketen ist der Startmasse einer großen Rakete ungefähr gleich). Was aber die ökonomische Seite betrifft, so sind die Raketenkosten ganz und gar nicht der Raketenmasse proportional: Eine große Rakete beispielsweise besitzt ein teures Steuerungssystem; für drei kleine Raketen sind drei jeweils ebenso teure Systeme erforderlich. Daher ist es generell sehr viel vorteilhafter, große Raketen zu bauen, wenn man möglichst geringe Kosten je Kilogramm Nutzmasse erreichen will. Die Praxis des Raumraketenbaus bestätigt das.

Hinsichtlich der anschließenden Etappen des Fluges zum Mond und zurück läuft alles genau so ab wie bei Variante 1.

Die dritte Variante sieht einen Raumschiffkomplex vor, der auf eine mondnahe Umlaufbahn einschwenkt und dann eine Mondfähre aussetzt, die auf der Oberfläche des Erdtrabanten landet, während auf der Umlaufbahn nun kein Schrott (also nicht eine ausgebrannte Stufe) zurückbleibt, sondern das eigentliche Raumschiff, das man für den Rückflug zur Erde braucht. Nach vollendeter Mission auf dem natürlichen Erdtrabanten wird die Startstufe der Mondfähre gezündet (wobei sie ihre Landestufe zurückläßt). Das Fahrzeug koppelt dann wieder an dem auf der Umlaufbahn zurückgebliebenen Mutterschiff an. Nachdem die Raumfahrer in das Raumschiff umgestiegen sind, wird die Startstufe der Mondfähre auf der Umlaufbahn zurückgelassen. Das Mutterschiff fliegt wieder zur Erde.

Ein diesem Expeditionsschema ähnliches Prinzip wurde bekanntlich auch beim amerikanischen Apollo-Programm verwendet. Obwohl die Trägerrakete Saturn 5 ein riesiges Gebilde darstellte (zusammen mit dem Raumschiff mit einer Länge von 111 m bei einer Startmasse von etwa 3000 t), war sie doch wesentlich kleiner als die Raketen, die man zuvor nach Variante 1 projiziert hatte.

Der Vorzug von Variante 3 besteht darin, daß auf dem Mond eine beträchtlich geringere Masse landet und dann wieder vom Mond startet als bei den ersten beiden Varianten. Dies bedeutet eine Energieeinsparung und senkt daher (wenn auch nicht direkt proportional) die Kosten der gesamten Expedition.

Mondtransporter

Manche Gründe sprechen für die Bergung und Wiederverwendung von Teilen des Raumschiffkomplexes, der für eine Mondexpedition eingesetzt wird. In der Tat werden viele Teile des Raumschiffes zwar nicht zur Erdoberfläche zurückgeführt, doch werden sie auch nicht endgültig zerstört, da sie unbeschädigt auf Umlaufbahnen um den Mond bzw. auf dessen Oberfläche erhalten bleiben. Die Stufen, die – gemäß der zweiten Variante – Raumschiffteile auf eine erdnahe Montagebahn bringen, verbleiben ebenfalls längere Zeit unbeschädigt im Weltall, bis sie in die dichten Atmosphärenschichten eintreten und verglühen. Bei der ersten und dritten Variante können derartige Stufen auf einer erdnahen Bahn verbleiben, sie können jedoch auch von dieser Bahn aus starten, wie es beim Apollo-Programm der Fall war.

Die auf die Erde zurückfallenden unteren Stufen der Trägerraketen können grundsätzlich bei allen drei Varianten geborgen werden, obwohl es sich dabei um ein sehr schwieriges Problem handelt. Hätte man beispielsweise an der ersten Stufe der Saturn-5-Mondrakete Flügel angebracht, wäre deren Masse um 10% vergrößert worden. In einer amerikanischen Arbeit aus dem Jahre 1967 war deshalb vorgeschlagen worden, ohne Flügel auszukommen, jedoch die Raketentanks auf eine besondere Weise zu konstruieren: In montierter Form hat die Raketenstufe das gewohnte zylindrische Aussehen, doch nach dem Verbrauch des Treibstoffs nehmen die Tanks, ohne dabei ihre Starrheit zu verlieren, eine neue Konfiguration an. Sie besitzen jetzt den erforderlichen aerodynamischen Auftrieb, so daß eine horizontale Landung auf einer Piste möglich wird.

Doch die Schwierigkeiten, derart riesige Stufen, wie sie für die erste und dritte Variante einer Mondexpedition charakteristisch sind, zu bergen, existieren nicht für die zweite Variante, da die Montage des Raumflugsystems hier mittels kleiner Raketen, am besten aber unter Verwendung von Raumtransportern, erfolgen könnte. Wenn dann jedoch, der dritten Variante entsprechend, eine Masse von etwa 100t in eine erdnahe Parkbahn gelangen soll (wie das

beim Apollo-Programm der Fall war), würden auch zur Montage des Expeditions-Raumschiffes ungefähr vier Flüge eines Raumtransporters der Größe des Space Shuttle ausreichen.

Nunmehr müssen wir uns mit dem Teil des Raumschiffes befassen, der bei der Rückkehr nach dem Eintritt in die Erdatmosphäre zerstört wird. Hier lassen sich zwei Lösungen vorschlagen. Zum einen könnte das gesamte Raumschiff (mit Triebwerk) auf eine niedrige Erdumlaufbahn übergehen: Ein Bremsimpuls vermindert die Geschwindigkeit um 3 km/s bis zur Minimum-Kreisbahngeschwindigkeit. Wir wissen freilich, daß dies zu sehr großen, zusätzlichen Energieaufwendungen und damit zu bedeutend höheren Kosten führen muß. Doch wenn sich der auf der Umlaufbahn geborgene Teil des Raumschiffes später wieder verwenden ließe, dann änderte sich das Bild wesentlich. Zum zweiten ist theoretisch ein Verfahren für das Einschwenken in eine niedrige Erdumlaufbahn möglich, das energetisch fast nichts kostet, nämlich die aerodynamische Bremsung, die Benutzung der Erdatmosphäre als »Bremse«, als »federndes Polster«.

Hierbei ist insbesondere die Variante zweckmäßig, bei der das Raumschiff mehrmals an der Atmosphäre abprallt. Wir erinnern in diesem Zusammenhang daran, daß bei dem Abbremsen der Landeapparate der sowjetischen Raumflugkörper der Sonde-Serie infolge des Auftriebs, den sie beim Aufgleiten auf die Erdatmosphäre erhielten, schon beim ersten Eintauchen in die oberen atmosphärischen Schichten die Geschwindigkeit von 11 auf 7,6 km/s vermindert wurde; danach prallten sie noch einmal in der gleichen Weise an der Atmosphäre ab, ehe sie endgültig in sie eintauchten. Am höchsten Punkt der Austrittsbahn aus der Atmosphäre könnte ein schwacher Beschleunigungsimpuls die Geschwindigkeit des Apparates grundsätzlich bis auf die Minimum-Kreisbahngeschwindigkeit steigern. Dieses Verfahren des Übergangs auf eine Umlaufbahn wurde in einer großen Zahl wissenschaftlicher Arbeiten untersucht, vor allem auch hinsichtlich seiner praktischen Anwendung bei Flügen von Mars-, Venus- und Jupitersatelliten.

Nunmehr können wir, aus dem Dargestellten schluß-

folgernd, in allgemeinen Zügen das Mondtransportsystem skizzieren. Das Mondschiff, ob nun zur Fracht- oder zur Personenbeförderung vorgesehen, wird auf einer erdnahen Bahn aus Baugruppen montiert, die von Raumgleitern angeliefert werden; somit stellt das Mondschiff im Grunde genommen ein interorbitales Transportsystem dar, das zwischen einer erdnahen und einer mondnahen Umlaufbahn verkehrt. Die Flüge zwischen der mondnahen Umlaufbahn und der Mondoberfläche werden dann (gemäß der dritten Variante) mit Hilfe besonderer Landeapparate ausgeführt, die man Mondfähren nennen könnte.

Versieht man den Mondtransporter jedoch mit Landebeinen, dann könnte er selbst auf dem Mond landen (analog zu Variante 1 und 2). Daß sich der Apparat so leicht für eine Landung modifizieren läßt, erklärt sich aus dem Fehlen einer Mondatmosphäre.

Mondfrachter mit geringem Schub

Die relativ lange Zeit, während der sich ein Mondtransporter mit elektrischem Antrieb auf einer Übergangsbahn in vielen spiralförmigen Windungen durch den erdnahen Raum bewegen würde, macht den Aufenthalt von Menschen an Bord dieses Flugapparates zum Problem. Sie befänden sich viel zu lange innerhalb des für jeden Organismus gefährlichen Strahlungsgürtels der Erde. Deshalb werden solche Mondschiffe mit geringem Schub sehr wahrscheinlich nur für größere Gütertransporte von einer Erdsatellitenbahn zu einer Mondparkbahn Verwendung finden. Die tragende Konstruktion eines derartigen Mondtransporters braucht keine große Masse zu haben, da man sich um deren Festigkeit angesichts der verschwindend geringen Belastungen, die bei kleinem Schub erzeugt werden, fast keine Gedanken zu machen braucht. Bei einigen Projekten von elektrischen Raumschiffen werden die einzelnen Sektionen (Wohnsektion, Triebwerkssektion, Energiesektion) miteinander nicht einmal durch eine starre Konstruktion verbunden, sondern nur durch Stränge, die wegen der verschwindend geringen Beschleunigung nur schwach gespannt sind.

Die spiralförmige Übergangsbahn, auf der sich ein elektrisches Frachtraumschiff bewegt, verwandelt sich im Verlaufe der letzten Windung – nach dem Brennschluß – in eine elliptische Bahn, die in den Wirkungsbereich des Mondes führt. Die Geschwindigkeit des Mondtransporters relativ zum Mond wird innerhalb der Wirkungssphäre des Mondes jedoch so groß sein, daß die Anziehungskraft des Mondes das Raumschiff nicht selbständig einzufangen vermag. Aus diesem Grunde ist eine zusätzliche Bremsung mit Hilfe eines Triebwerkes von geringem Schub notwendig. Diese Bremsung muß im Wirkungsbereich des Mondes beginnen oder sogar schon auf halbem Wege zum Mond. Infolge des Abbremsens innerhalb der Wirkungssphäre des Mondes gelangt das Raumschiff auf eine niedrige Mondsatellitenbahn. Von hier aus wird die Nutzlast dann durch Fahren zur Mondoberfläche befördert.

In einer Arbeit aus dem Jahre 1963 ist vorgeschlagen worden, ein Frachtraumschiff mit Kernkraftanlage und Ionentriebwerk mittels einer Saturn-5-Rakete auf eine erdnahe Umlaufbahn von 480 km Höhe oder noch darüber hinaus zu bringen. Anstelle dieses Verfahrens könnten natürlich auch mehrere Raumtransportereinsätze erfolgen. Bei einer der möglichen Varianten dauert der gesamte Flug etwa 63 Tage. Die Nutzlast, die auf eine mondnahe Umlaufbahn befördert wird, beträgt 20 bis 30% der gesamten Masse des Raumschiffes im Augenblick seines Starts von einer Erdsatellitenbahn (hierzu gehört auch das Antriebssystem für die weiche Landung auf dem Mond, auf das 56% der Nutzmasse entfallen).

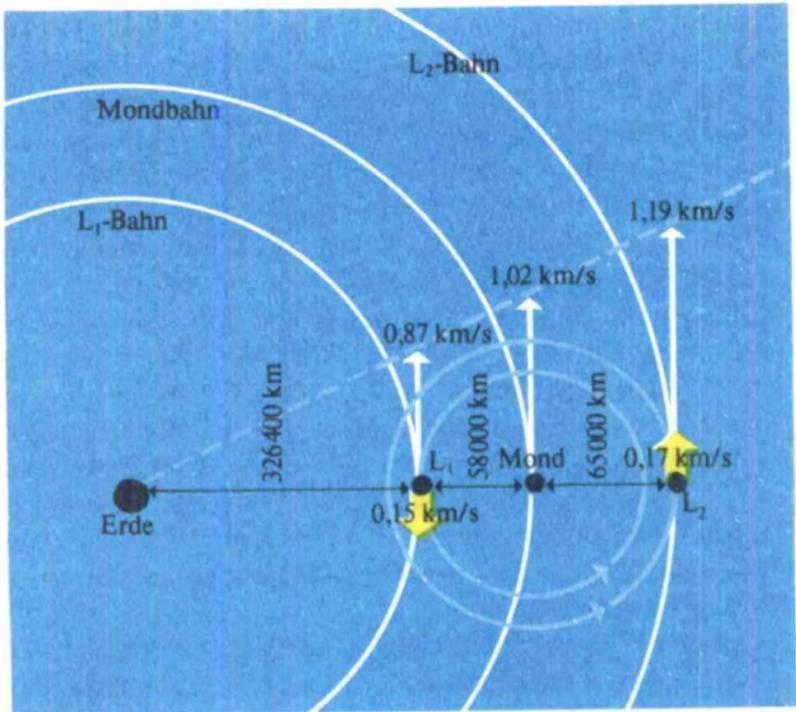
Für die Zukunft kann man sich regelmäßige Flüge großer, wiederverwendbarer elektrischer Mondfrachter vorstellen, die automatisch gesteuert werden und über einen mondnahen Raumflughafen die ständigen Basen auf dem natürlichen Erdtrabanten mit allem Notwendigen versorgen. Diese Reisen werden parallel zu »schnellen« Flügen von Passagier-Mondtransportern stattfinden.

Eine mondnahe Orbitalstation als Raumflughafen

Die normale Funktion des oben beschriebenen Mondtransportersystems setzt die Einrichtung ständig in Betrieb befindlicher Raumflughäfen in der Nähe der Erde und in der Nähe des Mondes voraus, d. h. die Existenz von Raumstationen, in denen es Treibstoffvorräte gibt und die die Wartung der Mondfrachter gewährleisten. Ein mondnaher Raumflughafen könnte zugleich auch als Observatorium zur Erforschung des Mondes dienen. In diesem Falle müßte er sich allerdings in geringer Höhe über dem Himmelskörper befinden. Betrachten wir die Funktion eines mondnahen Raumflughafens einmal eingehender:

Der von einer erdnahen Umlaufbahn angekommene Mondfrachter bringt außer Gütern und Passagieren auch den Treibstoff für die Mondfähren mit, die hier stationiert sind. Diese Schlepper transportieren dann sowohl Brennstoffe und Treibstoffe, Geräte, Instrumente und Material, Lebensmittel und andere Güter als auch die Kosmonauten auf die Mondoberfläche, und sie nehmen dort wissenschaftliche Unterlagen, Mineralien und Gesteine, auszuwechselnde Geräte und Apparaturen und anderes sowie das zur Erde zurückkehrende Personal an Bord und starten dann zum Rückflug zur Raumbasis im Mondorbit. Der Raumflughafen muß gleichzeitig als Nachrichten- und Steuerungszentrum für alle Operationen auf dem Mond sowie auf Mondumlaufbahnen dienen. Das gilt besonders für Rendezvous- und Kopplungsmanöver von Raumfrachtern, für Landungen und Starts unbemannter Mondschlepper sowie für Fahrten von Lunochods. Der Raumflughafen dient der ständigen Verbindung zu Expeditionen auf der Mondoberfläche. Das Personal dieses Flughafens muß z. B. auch die Manipulatoren auf Orbitalstationen steuern, die die automatischen Mondsatelliten warten. Für diese Raumflugkörper und möglicherweise auch für Lunochods wird der Raumflughafen als Hangar und als Reparaturwerkstatt dienen. Zudem wäre er die Basis für eventuelle Rettungsoperationen.

In welcher Höhe und in welcher Ebene müßte die Umlaufbahn des Raumflughafens liegen?



Satelliten auf Librationsbahnen (L_1 und L_2). Die Umlaufbahnen sowie die Kreisbahngeschwindigkeiten sind durch weiße Linien und Pfeile angegeben. Die gelben, kurzen Pfeile kennzeichnen die Kreisbahngeschwindigkeiten von L_1 und L_2 um den Mond.

Ende der sechziger Jahre wurden Arbeiten veröffentlicht, in denen günstige Umlaufbahnen für eine als Raumflughafen dienende mondnahe Station diskutiert wurden. Die Autoren dieser Publikationen schlugen vor, die Raumflughäfen an den sogenannten kollinearen Librationspunkten L_1 und L_2 anzuordnen, an »Gleichgewichtspunkten« auf der Verbindungslinie Erde–Mond.

Aus der Lösung des Dreikörperproblems für Erde, Mond und Raumflugkörper in seiner idealisierten Formulierung (wobei angenommen wird, daß sich der Mond auf einer Kreisbahn mit einem Radius von 384 000 km um die Erde bewegt und nicht auf einer schwach elliptischen Bahn, wie es in Wirklichkeit der Fall ist), ergibt sich insbesondere folgendes: Bringt man einen Raumflugkörper in den Punkt L_1 , der sich in einer Entfernung von 326 000 km vom Erdmittelpunkt und 58 000 km vom Mondmittelpunkt auf

der Verbindungslinie Erde–Mond befindet, und verleiht man ihm senkrecht zu dieser Linie eine Beschleunigung von $0,87 \text{ km/s}$ relativ zur Erde (genauer: im geozentrischen Koordinatensystem), dann wird sich dieser Apparat auf einer Kreisbahn mit dem Radius $326\,400 \text{ km}$ um die Erde bewegen, und zwar mit der gleichen Umlaufzeit wie der Mond. Diese Feststellung besagt, daß die hier zutage tretende Bewegung im »schreienden« Gegensatz zu den üblicherweise für Satelliten geltenden »Verkehrsregeln« steht, worin der Einfluß »dritter Körper« (in unserem Fall des Mondes) nicht berücksichtigt wird.

Eine analoge Situation existiert auch im Punkt L_2 , der jetzt allerdings in einer Entfernung von $65\,000 \text{ km}$ vom Mondmittelpunkt *hinter* dem Mond liegt. Der Raumflugkörper bewegt sich dabei auf einer Kreisbahn mit dem Radius $449\,400 \text{ km}$ und einer Relativgeschwindigkeit von $1,19 \text{ km/s}$ um die Erde.

Interessanterweise sind die Körper in den Punkten L_1 und L_2 nicht nur *Satelliten der Erde*, sondern auch *Satelliten des Mondes*; sie beschreiben relativ zum Mond (d. h. »im selenozentrischen Bezugssystem«) ebenfalls Kreisbahnen. Man kann sich leicht hiervon überzeugen, indem man den Mond in Gedanken auf seiner dargestellten Bahn fortbewegt und dabei die Stellungen der Körper L_1 und L_2 beachtet, die auf der Verbindungslinie Erde–Mond bleiben: Schon nach einer Vierteldrehung werden sie sich nicht links und rechts vom Mond befinden, sondern unterhalb und oberhalb von ihm und nach einer weiteren Vierteldrehung rechts und links von ihm usw. Ihre Umlaufzeiten betragen jeweils 27 Tage und sind damit beträchtlich größer, als dies dann der Fall sein müßte, wenn die Mondanziehungskraft allein wirksam wäre.

Satelliten in den Punkten L_1 und L_2 wollen wir als *Librationssatelliten* bezeichnen, wobei man auf die Präzisierung verzichten kann, um wessen Satelliten es sich handelt: um Erd- oder Mondsatelliten. Die Bewegungen der Librationssatelliten sind völlig irregulär, wenn man nur ein Gravitationsfeld – das der Erde oder das des Mondes – allein betrachtet. Berücksichtigt man hingegen die Anziehungskraft des Mondes und der Erde gleichzeitig, dann sind ihre Bewegungen durchaus gesetzmäßig.

Leider sind diese Bewegungen instabil: Geringfügige Störungen lassen die Satelliten aus den Punkten L_1 und L_2 herausdriften. Dabei existieren stets Gravitationsstörungen von seiten des Mondes, und im übrigen ist die Mondbahn in Wahrheit ja auch keine Kreisbahn. Trotzdem könnten die Raumflughäfen mit Hilfe elektrischer Rückstoßtriebwerke oder sogar mit Hilfe eines Sonnensegels in der Nähe der Librationspunkte gehalten werden, die den notwendigen Schub für die Kompensation schwacher Störungen erzeugen, so daß diese Konstellation bahnmechanisch stabil bliebe. (Außer den Librationspunkten L_1 und L_2 existieren beim Dreikörperproblem noch drei weitere Librationspunkte, die wir hier jedoch nicht in Betracht ziehen, da sie nicht für mondnahe Raumflughäfen in Frage kommen.) – Übrigens erfordert auch eine niedrige polare mondnahe Umlaufbahn, ständig um die Kompensation von Störungen besorgt zu sein, deren Quellen hier die Mascons (engl. mass-concentration) sind, Massekonzentrationen unter bestimmten Punkten der Mondoberfläche. – Interessant ist auch der Hinweis, daß Satelliten auf *Librationsbahnen* für den Mond stationäre Satelliten darstellen, da der Mond der Erde ja immer nur eine Seite zuwendet und gewissermaßen starr auf die Verbindungslinie Erde–Mond aufgesteckt ist. Darin liegt noch ein Vorzug von Raumflughäfen in den Punkten L_1 und L_2 .

Die Beförderung eines Librationssatelliten in den Punkt L_1 muß folgendermaßen geschehen: Auf einer Bahn, die einer halb elliptischen nahekommst (wegen der vom Mondkörper verursachten Störungen weicht sie in der Nähe des Apogäums L_1 von der elliptischen Form ab), wird der Satellit in den Punkt L_1 gebracht, wo er einen Impuls erhält, der ihn um 0,65 km/s auf 0,87 km/s relativ zur Erde (0,15 km/s relativ zum Mond) beschleunigt.

Sehr viel komplizierter ist die Bahn, mit der ein Satellit in den Punkt L_2 gebracht wird, da der Raumflugkörper einem sehr starken Einfluß der Mondanziehung ausgesetzt ist, während er tief durch den Wirkungsbereich des Mondes geht. Im mondnächsten Punkt hält eine Einschaltung des Bordtriebwerkes den Raumflugkörper in der Wirkungssphäre des Mondes fest und überführt ihn auf

eine Bahn, die durch den Punkt L_2 läuft. Hier bringt ihn ein weiterer Impuls auf eine mondnahe Kreisbahn mit dem Radius 65 000 km; dadurch wird der Satellit auf der rotierenden Verbindungslinie Erde–Mond angehalten, oder – und das ist ebenfalls die gleiche Aussage – der Satellit gelangt auf eine Erdumlaufbahn mit dem Radius 449 400 km. (Wir haben hier verschiedene Ausdrücke zur Darstellung ein und derselben Erscheinung verwendet, indem wir verschiedene Koordinatensysteme benutzten: 1. das selenozentrische Koordinatensystem, 2. das Koordinatensystem, das mit der Verbindungslinie Erde–Mond gekoppelt ist, und 3. das geozentrische Koordinatensystem.)

Die Rückführung der Raumschiffe, die an den Punkten L_1 und L_2 »auf Reede« liegen, erfolgt auf Bahnen, die den bereits beschriebenen analog sind, nur in umgekehrter Richtung.

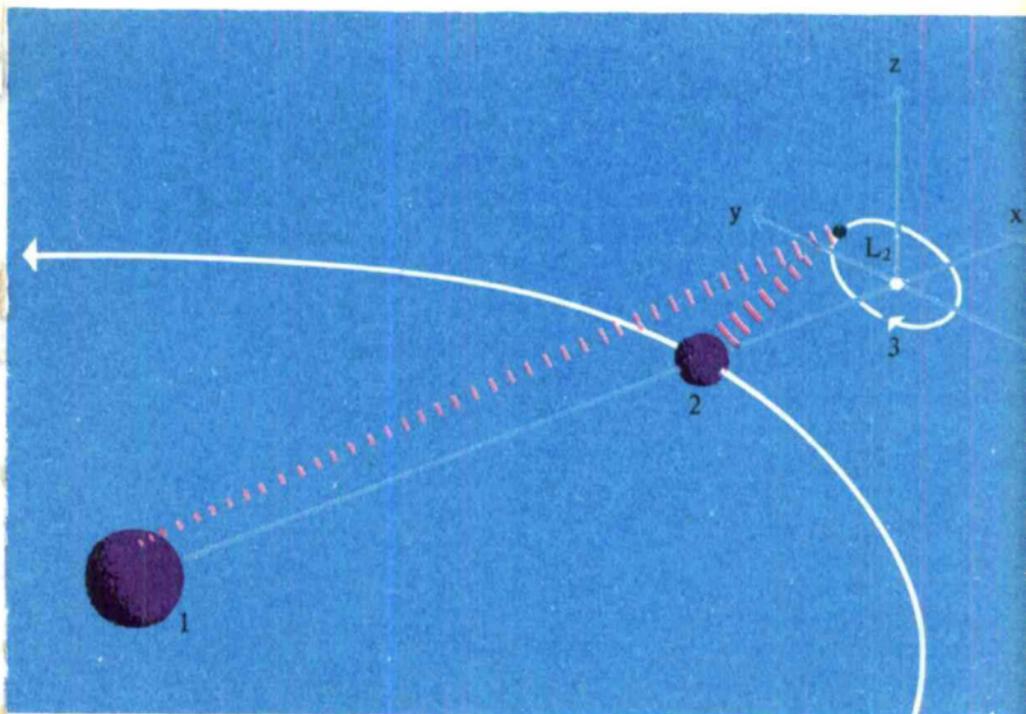
Die Mondtransporter, die Librationsbahnen erreichen (wie übrigens auch Mondtransporter, die auf eine niedrige Mondumlaufbahn einschwenken), dürften wahrscheinlich zweistufig sein (ausgenommen, sie hätten Kernkraftantrieb); dabei kehrt die erste Stufe sozusagen automatisch auf einer elliptischen Bahn zum Startpunkt zurück, und sie schwenkt dort mit Hilfe eines Bremsimpulses auf die Bahn des erdnahen Raumflughafens ein. Zweistufig werden auch die Mondschlepper sein, die von Librationspunkten aus zum Mond fliegen; ihre ersten Stufen werden auf eine niedrige mondnahe Parkbahn einschwenken, die zweite Stufe absetzen und dann von hier aus zum Raumflughafen zurückkehren.

Die Mondschlepper, die auf Librationsbahnen stationiert sind, benötigen eine größere Treibstoffmenge als Schlepper, die einen Raumflughafen auf niedriger Umlaufbahn versorgen, da sich die ersteren dem Mond mit einer Geschwindigkeit nahe der (Mond-)Entweichgeschwindigkeit (2,4 km/s) nähern und zum Übergang auf eine niedrige Umlaufbahn einen Bremsimpuls benötigen, der die Geschwindigkeit um etwa 0,7 km/s mindert (diese Größe ist es auch, die den Überschub bei der charakteristischen Geschwindigkeit während des Abstiegs zum Mond aus einem Librationspunkt im Vergleich mit dem Abstieg aus einer niedrigen Umlaufbahn darstellt). Doch dafür sind

Raumfahrzeugen vom Librationsbahn-Raumflughafen praktisch alle Punkte der Mondoberfläche zugänglich (einschließlich der vom Raumflughafen aus nicht sichtbaren Mondseite), da zur Schwenkung der selenozentrischen Bahnebene um jeden beliebigen Winkel nur sehr geringe Energien notwendig sind, weil die Stationen auf Librationsbahnen nur kleine selenozentrische Geschwindigkeiten haben (0,15 km/s im Punkt L_1 und 0,17 km/s im Punkt L_2).

Der Hauptvorteil der Raumflughäfen auf Librationsbahnen besteht jedoch darin, daß sie die Rolle von Knotenpunkten sämtlicher Nachrichtenverbindungen und Steuerungszentren für alle Operationen in Mondnähe und auf dem Mond spielen. Freilich wäre es sehr viel vorteilhafter, einen Raumflughafen »hinter dem Mond« nicht im Punkt L_2 anzuordnen, sondern in dessen Nähe, damit er gemäß einer der Lösungen des Dreikörperproblems eine Bewegung auf einer geschlossenen Bahn um den Punkt L_2

Relaissatellit auf einer Halobahn (3) um den Punkt L_2 ; 1 – Erde; 2 – Mond



(Halobahn) vollzieht und natürlich gemeinsam mit dem Punkt L_2 eine Bahn um die Erde. Bei einem Radius der Halobahn von 3 500 km wird die Station innerhalb von zwei Wochen einen Umlauf vollenden. Im Unterschied zum Satelliten im Punkt L_2 würde ein Satellit auf der Halobahn stets von der Erde aus zu sehen sein (und der Mond bliebe gleichzeitig im Inneren seiner Halobahn sichtbar). Dieser Satellit könnte die Nachrichtenverbindung zur Erde und zu jedem beliebigen Punkt der von der Erde aus unsichtbaren Mondhalbkugel gewährleisten. Die Erde wiederum könnte die Nachrichtenverbindung zwischen einem Raumflughafen auf einer Halobahn und jedem beliebigen Punkt der sichtbaren Mondhalbkugel herstellen.

Die Eliminierung der Störungen auf der Halobahn wird eine Beschleunigung in der Größenordnung von 150 m/s pro Jahr notwendig machen. Findet man sich jedoch damit ab, daß die Station ganz selten einmal auch hinter dem Mond verschwindet, dann genügen auch 30 m/s im Jahr.

Als Nachrichten- und Steuerungszentrum hält ein Raumflughafen auf einer niedrigen polaren Umlaufbahn (mit einer Höhe in der Größenordnung von 110 km) keiner Konkurrenz mit einem Raumflughafen auf der Halobahn stand. Höchstens drei Tage im Monat verschwindet er nicht hinter dem Mond; die Mondbasis wird also jeweils 11 Tage lang keine Kontakte mit der Raumstation auf der Umlaufbahn haben (der Mond bewegt sich zu langsam innerhalb der Satellitenbahn); wenn derartige Kontakte aber stattfinden, dann wird jeder von ihnen nur etwa 10 Minuten dauern (Flugzeit des Satelliten am Mondhimmel). Ein Raumflughafen dieses Typs kann nicht ohne ein ganzes System von Relaisatelliten auskommen.

Raumtransporter von Planet zu Planet

Montageprobleme

Die Kompliziertheit und lange Dauer von Expeditionen zu den anderen Planeten des Sonnensystems führen zu großen theoretischen Werten für die Nutzmasse eines interplanetaren Raumschiffes. Bei den vorläufigen (noch sehr skizzenhaften) Projekten für interplanetare Expeditionen wird dieser Wert mit 50 bis 100 t angesetzt.

Lassen Sie uns daraus die Startmasse eines Raumtransportersystems für eine Expedition zum Mars bei verhältnismäßig optimistischen Annahmen abschätzen. Der Flug zum Mars und zurück soll auf Bahnen erfolgen, die beim Start von der erdnahen Umlaufbahn (200 km Höhe) sowie von der Marsoberfläche nur minimale Geschwindigkeiten erfordern; die Landung auf dem Mars ebenso wie die Landung auf der Erde sollen keine Bremsung mit Hilfe von Raketentriebwerken erforderlich machen (bezüglich der Landung auf dem Mars haben wir Bedenken, da die Masse des Raumschiffes groß und die Atmosphäre sehr dünn ist). Um ein Raumschiff dieser Art auf der Umlaufbahn zu montieren, wären fünf Starts von Trägerraketen wie der Saturn 5 notwendig oder etwa 18 Flüge von Raumtransportern des Typs Space Shuttle. Bei einem Kerntriebwerk hätte ein einstufiges Raumschiff eine Startmasse von 155 t; um es auf eine Umlaufbahn zu bringen, genügten entweder eine modifizierte Saturn-5-Rakete oder sechs Space-Shuttle-Einsätze oder schließlich ein Flug des einstufigen wiederverwendbaren Flugapparates Astroplan, der auf den Seiten 49 und 52 erwähnt wurde.

Bis ins einzelne durchgearbeitete Projekte, die in der

wissenschaftlichen Literatur veröffentlicht worden sind, sehen gewöhnlich einen Flug zum Mars oder vom Mars zurück auf einer »nichtminimalen« Bahn vor, die die Planetenbahn schneidet (und nicht tangiert), was die Expeditionsdauer von 1 000 auf 400 bis 500 Tage vermindert, doch dafür die erforderliche Geschwindigkeit um 3 bis 4 km/s und die Anfangsmasse des Raumschiffs auf der Umlaufbahn auf 700 bis 1 000 t erhöht (für die verschiedenen Zeiten, zu denen die Expedition stattfindet; die Treibstoffkombination besteht aus Sauerstoff-Wasserstoff). Dadurch wächst die Zahl der Raumtransporterflüge auf 40. Ingefolgedessen stellt die Organisation einer Marsexpedition ohne Benutzung von Kerntriebwerken ein beträchtlich schwierigeres Unternehmen als die Schaffung einer großen Raumstation dar.

Noch schwieriger ist eine Expedition zur Oberfläche des Merkurs: Mit einem Kerntriebwerk in einer Zweistufenrakete würde bei einer Nutzmasse von 50 t die Startmasse 1 500 t betragen. Für Operationen, die einen so hohen Energieaufwand erfordern, ist es offenbar wünschenswert, Orbitalflugzeuge mit Nutzlasten in der Größenordnung zu verwenden, für die in der Anfangsperiode der Raumtransporterentwicklung der Astroplan projektiert wurde.

Auf interplanetaren Expeditionen

Bei der Rückkehr von einer interplanetaren Expedition kann das Raumschiff auf eine Parkbahn um die Erde einschwenken. Liegt diese Bahn niedrig, dann fliegt die Raumschiffbesatzung mit dem Raumtransporter anschließend zur Erde. Befindet sich die Parkbahn dagegen in großer Höhe, dann bringt ein Raumschlepper zunächst die Besatzung (vielleicht sogar das ganze Raumschiff) auf eine niedrige Umlaufbahn, und von hier aus landet die Besatzung dann mit einem Raumtransporter auf der Erde.

Der Übergang auf eine hohe Parkbahn kann zweckmäßig sein, wenn die Notwendigkeit besteht, die Geschwindigkeit auf der Rückkehrbahn erst einmal beträchtlich zu verringern. Bei einer Rückkehr vom Mars auf einer Hohmannbahn (d. h. einer Bahn, die minimalen Energieaufwand

erfordert) wäre eine derartige optimale Kreisbahn in 85 500 km Höhe gelegen. Bei der Rückkehr von der Venus betrüge der Abstand von der Erde 122 000 km. Bei einer Rückkehr von den Planeten Uranus, Neptun und Pluto auf Hohmannbahnen liegt die optimale kreisförmige Parkbahn niedriger. Bei der Heimkehr von den Planeten Jupiter, Saturn und Merkur befinden sich die entsprechenden Bahnen innerhalb des Strahlungsgürtels.

Schließlich wäre auch eine elliptische Parkbahn möglich, von der aus die Besatzung mit Hilfe eines interorbitalen Transporters auf eine niedrige Kreisbahn befördert wird. Liegt das Perigäum der elliptischen Bahn auf der niedrigen Kreisbahn, dann wird der Raumschlepper, der sich auf der Kreisbahn befindet, zunächst beschleunigt, damit seine Geschwindigkeit mit der des interplanetaren Raumschiffes im Perigäum übereinstimmt. Hat er gemeinsam mit dem Raumschiff eine Umrückung auf der Parkbahn vollzogen, erfolgt eine Abbremsung im Perigäum. Auf der dadurch erreichten niedrigen Parkbahn wird nun die Ankunft des Raumtransporters abgewartet. Ein Manöver dieser Art war z. B. bei dem Projekt einer Expedition vorgesehen, die auf eine niedrige Bahn um den Jupiter und dann auf dessen Satelliten Io, Europa, Ganymed und Kallisto gelangen soll. Dabei wird auf einer Umlaufbahn um die Kallisto ein Treibstofflager eingerichtet, das den in der Jupiteratmosphäre gewonnenen Wasserstoff speichert (veröffentlicht 1972 in der Zeitschrift »Astronautica and Aeronautics«). Dieses geradezu phantastisch erscheinende Projekt setzt jedoch die Verwendung eines Kerntriebwerkes mit dem spezifischen Schub von über 8 000 m/s voraus. Ein Raumschiff mit einer Besatzung von sechs Personen kehrt dann auf eine erdnahe Parkbahn mit 160 km hohem Perigäum und 19 000 km hohem Apogäum zurück.

Wie auch immer die Parkbahn aussehen würde, auf die ein interplanetares Raumschiff bei seiner Rückkehr gelangt, sie hätte nur dann Sinn, wenn eine mehrmalige Wiederverwendung des Raumschiffes beabsichtigt ist. Im gegenteiligen Fall genügte die Bergung der Kapsel mit der darin befindlichen Besatzung, die an Fallschirmen oder im Gleitflug in der Atmosphäre niedergeht. Das Eintauchen

in die Atmosphäre kann dabei mit sehr großen Geschwindigkeiten erfolgen. Selbst bei der Rückkehr vom Mars wird sie beispielsweise mehr als 20 km/s betragen.

Entstehen Schwierigkeiten mit der Landung auf der Erde und hat das zurückkehrende Raumschiff auch keinen Treibstoff zum Manövrieren mehr, dann könnte auf einer Übergangsbahn ein Rendezvous mit einem Transportapparat stattfinden, der sich bis dahin auf einer elliptischen Bahn befunden hat. Nach dem Umstieg der Kosmonauten in den Raumschlepper wird dieser sofort gebremst, um eine neue elliptische Bahn zu erreichen (die sich nur wenig von der alten unterscheidet), von der aus ein weiteres Rendezvous mit einem anderen Transporter eingeleitet werden kann. Ist das Raumfahrzeug aber mit einem Kerntriebwerk ausgerüstet, könnte es auch selbständig auf eine niedrigere Kreisbahn übergehen, da es ja für umfangreichere Manöver über genügend Energie verfügt.

Ein Flug zum Mars und zurück in einem Raumschiff, dessen Dreistufen-Flüssigkeitstriebwerke eine Beschleunigung von insgesamt 10 km/s ermöglichen, würde wohl nicht mit der Rückführung der einzelnen Raumschiffstufen auf die Erde zum Abschluß gelangen. Jede der drei Stufen kann dem Raumschiff einen spezifischen Schub von 3,33 km/s verleihen, wobei während des Starts von der Parkbahn bereits ein wenig Treibstoff der zweiten Stufe verbraucht werden müßte; die zweite Stufe allein reichte beim Start vom Mars nicht aus, die Kreisbahngeschwindigkeit zu erreichen (die hier 3,5 km/s beträgt); mit Hilfe der dritten gelangte das Raumschiff auf eine niedrige Parkbahn und von hier aus auf die Abstiegsbahn zur Erde. Die erste Stufe also bliebe auf der Bahn eines künstlichen Planeten zurück, die zweite wäre auf den Mars gestürzt, und die dritte schließlich würde entweder beim Eintritt in die Erdatmosphäre zerstört oder durch aerodynamische Bremsung in eine Umlaufbahn einschwenken (denn für ein Abbremsen mit Hilfe eines Triebwerkes haben wir keinen Treibstoff vorgesehen). Zumindest die beiden ersten Stufen wären unwiederbringlich verloren.

Versieht man ein Raumschiff, das zum Mars und zurück fliegt, mit einem Kerntriebwerk von einem spezifischen Schub von 10 km/s, dann könnte man das Raumschiff mit

Hilfe von Bremstriebwerken ohne weiteres bei seiner Rückkehr in eine erdnahe Umlaufbahn einschwenken lassen (Abbremsung: 3,6 km/s). Das Raumschiff könnte durchaus als Einstufensystem fungieren. Eine Steigerung der Brennschlußgeschwindigkeit auf 15 km/s (mit über 1 km/s Geschwindigkeitsreserve) ließe eine Startmasse von 298 t zu! Das wären nur 75 % der Masse eines dreistufigen Raumschiffes mit Flüssigkeitstriebwerk auf der Grundlage von Fluor und Wasserstoff, das nach dem Rückstoßverfahren jedoch nicht einmal eine erdnahe Umlaufbahn erreichen könnte!

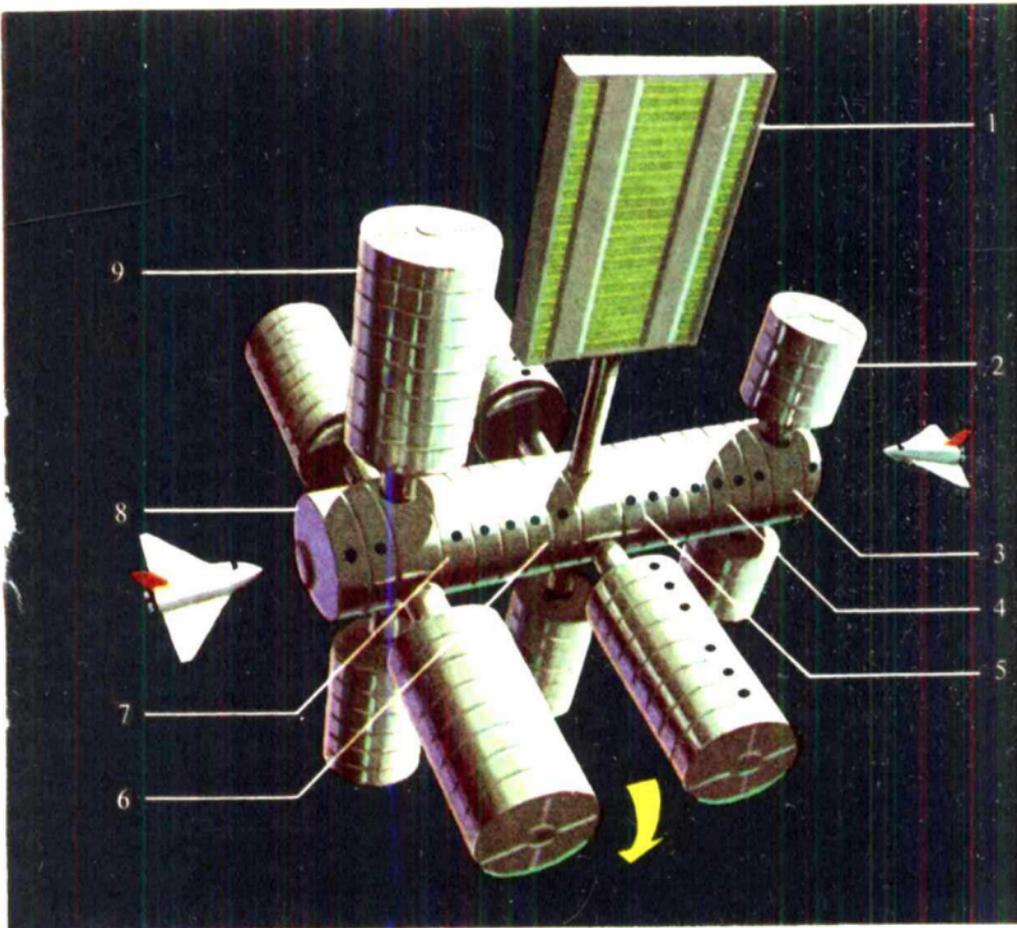
Aus diesem Beispiel wird ersichtlich, wie wichtig eine zur entscheidenden Steigerung der Ausströmgeschwindigkeit (bzw. des spezifischen Schubs) führende Verbesserung der Raketentriebwerkssysteme ist. Es wird erwartet, daß zu gegebener Zeit (gelegentlich wird gesagt: in einigen Dutzend Jahren; manchmal auch: Ende des 20. Jahrhunderts) sogenannte Gasphasen-Kerntriebwerke entwickelt sein werden, die eine Ausströmgeschwindigkeit bis 70 km/s gewährleisten. Dann werden Flüge möglich, die zur Zeit schlechthin phantastisch erscheinen. Bei einer Ausströmgeschwindigkeit von 30 km/s beispielsweise würde ein einstufiges Raumschiff von 150 t in 153 Tagen eine Expedition zum Mars und zurück auf die Erde befördern. Bei einer Ausströmgeschwindigkeit von 60 km/s hätte ein Raumschiff für die gleiche Operation nur eine Masse von 85 t zur Verfügung, und dieses Raumschiff könnte auch eine Expedition zur Oberfläche des Merkurs durchführen, während ein dreistufiges Raumfahrzeug mit einem Flüssigkeitstriebwerk auf Fluor- und Wasserstoffbasis auf der Umlaufbahn eine Masse von 50 000 t haben müßte, ein fünfstufiges dagegen ungefähr die Hälfte davon. Interessant ist, daß ein Raumschiff zum sonnennächsten Planeten selbst bei einem Feststoff-Kerntriebwerk mit einer Ausströmgeschwindigkeit von 10 km/s die ungeheure Masse von 1 500 t hätte, eine Nutzlast von 50 t vorausgesetzt.

Ebenfalls im echten Sinne wiederverwendungsfähig wird ein interplanetares Raumschiff sein, das mit elektrischem Antrieb ausgestattet ist. Flugkörper dieser Art werden relativ große Nutzmassen haben (und zwar wegen

der hohen Ausströmgeschwindigkeiten), jedoch besitzen sie nur sehr geringe Schübe und entsprechend kleine Rückstoßbeschleunigungen (in der Größenordnung von 10^{-5} bis 10^{-4} g). Dies zwingt sie zu einer sehr langen Reisezeit auf dem spiralförmigen Anfangsabschnitt der Übergangsbahn bis zum spiralförmigen Endabschnitt vor dem Einschwenken auf eine Umlaufbahn um den Zielplaneten, und zwar sowohl auf dem Hin- als auch auf dem Rückflug. Es darf als wahrscheinlich angenommen werden, daß solche Raumschiffe keine Expeditionen, sondern nur Güter z. B. von einer Erdumlaufbahn auf eine Marsumlaufbahn befördern werden, wenn die Versorgung von bewohnten Stationen auf dem Mars Realität geworden ist. Die Landung auf der Marsoberfläche könnte mittels besonderer Flugkörper erfolgen, die in der Marsatmosphäre aerodynamisch abgebremst werden.

Wahrscheinlich müssen Raumschiffe mit Kerntriebwerken auf einer niedrigen Marsumlaufbahn »auf Reede liegen«, ohne abzustiegen, damit die Marsoberfläche nicht durch radioaktive Stoffe verunreinigt wird.

So haben wir nun die Prinzipdarstellung eines zukünftigen interplanetaren Transportsystems vor uns, das für jene ferne Epoche vernünftig erscheint, wo bemannte Flüge zwischen Erde und Mars zur Regel geworden sind. Einstufige Orbitalflugzeuge gewährleisten die Versorgung des Raumflughafens auf einer niedrigen Erdumlaufbahn mit Wasserstoff sowie die Montage einstufiger Raumschiffe, die den Linienverkehr zwischen diesem Orbit und einer niedrigen Marsumlaufbahn sichern. Derartige Raumschiffe, mit Kerntriebwerken ausgerüstet, transportieren Menschen und Eilgüter; große interplanetare Raumschiffe hingegen, die mit elektrischen Antrieben versehen sind, befördern »langsame« Frachten für die Stationen auf dem Mars sowie Tanks mit Wasserstoff und Sauerstoff, die auf einer marsnahen Station in einer Umlaufbahn gespeichert werden. Raumfahrer und Güter werden von einer niedrigen Marsumlaufbahn aus mittels Raumtransportern auf dem Planeten abgesetzt bzw. von dort aus auf die Raumbasis im Orbit zurückgebracht. Dort können die Raumfahrzeuge zugleich Sauerstoff und Wasserstoff tanken (Fluor dagegen dürfte für den Mars Gift sein!).



Raumstation mit einer Ausdehnung von etwa 150 m für 400 Mann, ein Entwurf aus dem Jahre 1967. Sie soll eine Lebensdauer von 20 Jahren haben, 8700t Masse besitzen und würde nach der Meinung ihrer Konstrukteure nach dem Jahre 2000 gebaut werden können. Auch bei diesem Projekt ist die inzwischen überholte Roto-Gravitation vorgesehen.

1 – Treibhauszellen (90 m) mit Hydrokulturen; 2 – Mannschaftsräume; 3 – Speicher; 4 – Aufenthaltsräume; 5 – Kommandozentrale; 6 – Lager; 7 – Geräte und Maschinen; 8 – Lager, Laderampe und Andockmodul (Kopplungsaggregat); 9 – Produktionsstätten und Labors

Nur bei Expeditionen zu den Randgebieten des Sonnensystems wird es möglicherweise gelingen – das jedenfalls hoffen viele –, Wasserstoff zu benutzen, der in den Atmosphären von Planeten, beispielsweise in der Jupiteratmosphäre, und auf der Oberfläche der Planeten-

monde gewonnen wird und nicht von der Erde herantransportiert zu werden braucht.

Erlauben wir uns, noch ein wenig zu träumen. Manche Fachleute sind davon überzeugt, daß es irgendwann, am Ende dieses oder am Beginn des folgenden Jahrhunderts, gelingen wird, Kerntriebwerke zu entwickeln, die nicht die Umwelt verseuchen. Dann wird der Start eines Raumschiffes mit einem Kerntriebwerk direkt von der Erdoberfläche möglich sein. Wenn eine Ausströmgeschwindigkeit von 50 km/s Realität geworden sein wird, beträgt die Masse des Arbeitsmediums (Wasserstoff) nur noch höchstens 20% seiner Startmasse, sofern eine niedrige Erdumlaufbahn erreicht werden soll. Im Orbit genügt es dann, nur jene Wasserstoffmenge zu ersetzen, die verbraucht worden ist, um den Raumflugkörper zum Mars und zurück zu schicken (Gesamtflugdauer 972 Tage, vom Start an gerechnet, und zwar auf Hohmannbahnen). Dieses Raumschiff würde den Trägerraketensystemen von heute nicht im geringsten ähneln (die, bildlich gesprochen, eigentlich nur Kerosinkanister darstellen), sondern sich fast gar nicht mehr von den schnellen »Raumkreuzern« aus utopischen Romanen unterscheiden. Bei einem großen Wasserstoffvorrat könnten solche Flugkörper sehr lange auf Umlaufbahnen bleiben. Ein einstufiges 150-t-Raumschiff (Nutzmasse: 50 t), das von der Erdoberfläche startet, könnte, ohne irgendwo nachzutanken, eine sechsjährige Expedition zum Saturn unternehmen, wo es in eine Umlaufbahn einschwenkt.

Nachwort

von Horst Hoffmann

Am Cockpit der »Enterprise«

Anlässlich des 27. Internationalen Astronautischen Kongresses im Herbst 1976 in Anaheim bei Los Angeles hatte ich Gelegenheit, eine Reihe von Institutionen zu besuchen, die für die Entwicklung und den Einsatz des Space Shuttle verantwortlich sind: das Headquarters der NASA in Washington, D. C., das die Gesamtleitung des Programms innehat; das Kennedy Space Center auf Cape Canaveral, Florida, wo die Apollo-Mondrampe für den ersten Senkrechtstart des Systems umgerüstet und eine neue, nahezu 5 km lange und 91 m breite Landepiste für den Orbiter angelegt wurde; den Unternehmungsbereich Raumfahrt der Herstellerfirma Rockwell International in Downey, Kalifornien, wo die Projektleitung für die Raumfähre ihren Sitz hat, und die Rockwell International Space Shuttle Facility in Palmdale am Rand der Mojave-Wüste, wo die erste Umlaufeinheit, das Orbiter Vehicel OV-101, in seiner Montagehalle besichtigt werden konnte.

Am 17. September 1976 fand hier die Zeremonie des ersten Ausrollens des Orbiters statt, den der damalige Präsident der USA Gerald Ford auf den Namen »Enterprise« (d. h. Unternehmungsgeist) taufte. Er hatte dem Drängen von TV-Fans nachgegeben, die diese Benennung nach dem gleichnamigen »Raumkreuzer« der amerikanischen Fernsehserie »Star Trek« (d. h. Sternenzug) forderten. Damit setzte sich der Präsident über den Vorschlag der NASA hinweg, die erste Raumfähre zu Ehren des 200. Jahrestages der amerikanischen Unabhängigkeitserklärung »Constitution« (d. h. Verfassung) zu nennen.

Das erste, was an dem in Pastellfarben leuchtenden Orbiter auffällt, ist der doppelstöckige Cockpit am Bug und die drei mächtigen Haupttriebwerke am Heck. Der Raumpendler wirkt mit seiner Nur-Deltaform und dem gedrun-genen Rumpf zugleich massig und elegant. In seiner Größe entspricht er etwa dem amerikanischen Mittelstrecken-Düsenklipper DC 9 oder der britischen BAC 111.

Erprobung in der Wüste

56 km von Palmdale entfernt befinden sich mitten in der Wüste der USA-Luftwaffenstützpunkt Edwards und das Dryden-Forschungszentrum, wo 1977 die Flugerprobung des Orbiters begann.

Im Januar und Februar 1977 wurden drei unbemannte Flugsimulationen durchgeführt, bei denen die »Enterprise« huckepack auf einem Jumbo-Jet bis auf 8 230 m Höhe transportiert wurde. Die NASA hatte zu diesem Zweck von der Trans World Airlines eine Boeing 747 gekauft. Der besseren Stabilisierung wegen erhielt der Düsenklipper unter dem Rumpf und am Höhenruder zusätzliche Flossen. Im Juni und Juli 1977 folgten dann drei Flüge der gleichen Art, bei denen jedoch der Orbiter mit je zwei Astronauten dreier verschiedener Mannschaften besetzt war.

Von August bis Oktober 1977 wurden fünf bemannte Gleitflüge durchgeführt, bei denen die »Enterprise«, in etwa 7 315 m Höhe bei 486 km/h von der Boeing getrennt, zur Erde segelte und auf einer Sandpiste landete. Um eine Kollision zu vermeiden, war der Orbiter mit einem Anstellwinkel von 8 Grad auf dem Jumbo montiert. Bei der Abtrennung passierte er innerhalb von 7 s dessen Leitwerk. Die Boeing 747 flog ebenfalls mit einem hohen Anstellwinkel, damit sich die »Enterprise« leicht nach hinten und oben lösen konnte. Landeklappen und Fahrgestell waren dabei ausgefahren, um die Geschwindigkeit zu reduzieren. Beim letzten Versuch dieser Serie am 26. Oktober 1977 unter Rückkehrbedingungen aus dem Weltraum, d. h. bei einer Landung auf einer Betonpiste mit einem Neigungswinkel von 26 Grad, wäre die Raumfähre beinahe zu Bruch gegangen. Beamte der NASA erklärten auf der Air Force

Base Edwards, die »Enterprise« sei beim harten Aufsetzen bis an die Grenze ihrer Belastbarkeit beansprucht worden. Der Orbiter setzte zunächst nur mit dem Rad des linken Fahrgestells auf, legte sich dann auf die rechte Seite und federte noch einmal 300 m in die Höhe, bevor er schließlich landete. Bei keinem dieser Versuchsflüge konnte der Aufsetzpunkt genau getroffen und die optimale Landegeschwindigkeit erreicht werden. Sowohl bei den Test- wie auch später bei den Orbitalflügen muß die Landung beim ersten Mal funktionieren. Ein Durchstarten und ein neuer Landeanflug wie in der Luftfahrt sind nicht möglich, da der Orbiter über keine Triebwerke für den aerodynamischen Flug verfügt. Er landet wie ein Segelflugzeug.

Das Jahr 1978 war weiteren Prüfstandsversuchen und Belastungstests sowie der Überprüfung und Behebung technischer Mängel vorbehalten.

Die bisher aufgetretenen Schwierigkeiten wirken sich natürlich auch auf die Wirtschaftlichkeit des Systems aus. So ist z. B. der Hitzeschild aus 40 000 Kacheln an der Unterseite des Orbiters, der Temperaturen von über 1 600 °C widerstehen muß, nicht so haltbar wie ursprünglich vorgesehen. Vorzeitige Ermüdungserscheinungen zeigten sich auch bei den Turbinenblättern der neuartigen Hochdrucktriebwerke. Andere Mängel wie Störungen bei den Sauerstoffpumpen des Haupttriebwerkes und den Dichtungen und Lagern der Triebwerkspumpen lassen sich beheben, haben aber zu einer Verschiebung des Termins für den orbitalen Jungfernflug vom März auf Oktober 1979 geführt.

Für das Jahr 1980 ist der erste Flug eines Space Shuttle mit dem von der westeuropäischen Weltraumbehörde ESA entwickelten Himmelslaboratorium Spacelab vorgesehen, in dem auch Wissenschaftler der beteiligten Länder arbeiten können. 1981 sollen dann die regulären Shuttle-Missionen laufen und bis 1982 die konventionellen Trägerraketen durch das neue Raumtransportersystem abgelöst werden.

Für diese Einsätze stehen zwei Startrampen zur Verfügung: im Kennedy Space Center auf Cape Canaveral in Florida und auf der Vandenberg Air Force Base in Ka-

lifornien. Landepisten gibt es im Kennedy Space Center auf Cape Canaveral in Florida, auf der Vandenberg Air Force Base in Kalifornien, auf der Edwards Air Force Base in Kalifornien sowie in White Sand, New-Mexico. Für die Zeit zwischen 1980 und 1992 sind 565 Einsätze mit 883 Nutzlasten, für die Zeit von 1980 bis 1994 sogar 725 Starts mit 986 Nutzlasten vorgesehen. 30% dieser Flüge haben rein militärischen Charakter und erfolgen in direktem Auftrag des Pentagon; 37% der Unternehmen werden von der NASA ausgeführt und 33% als kommerzielle Kundenaufträge.

Fortgeschrittene Technologie – rückläufige Ökonomie

Zunächst sollen drei Exemplare des Space-Shuttle-Systems produziert werden, bis Mitte der 80er Jahre zwei weitere, wobei über den Bau der Umlaufeinheiten OV-104 und OV-105 noch Ungewißheit herrscht. Amerikanische Kritiker des Programms wiesen darauf hin, daß nach Außerdienststellung aller herkömmlichen Trägersysteme bei der Havarie einer einzigen Raumfähre ein Drittel der gesamten Startkapazität der USA verlorenginge.

So fortgeschritten der Space Shuttle technologisch auch ist, so rückläufig sind jedoch seine ökonomischen Bedingungen. Der sieben Jahre alte Traum vom billigen Raumflug ist längst ausgeträumt. Auf dem Höhepunkt der Raumfähren-Euphorie Anfang der 70er Jahre glaubte die NASA, die Transportkosten gegenüber den »Wegwerfraketen« auf ein Zehntel senken zu können. Doch heute steht bereits fest, daß mit dem Shuttle der Aufwand im günstigsten Fall halbiert, im Normalfall wohl kaum geringer sein wird als bei den »Verlustraketen«.

Von 10,5 Millionen Dollar stiegen die reinen Flugkosten auf 18 bis 24 Millionen Dollar pro Einsatz in einer 200 km hohen Umlaufbahn. Der Transport auf eine 36 000 km hohe Synchronbahn erhöht die Kosten mindestens um eine Million Dollar für die zusätzliche Rakete. Hinzu kommen weitere Aufwendungen für die Integration des Spacelab in das Shuttle-System und die Betriebskosten von 8 Millionen

Dollar für einen 7-Tage-Einsatz. Bis 1980 wird mit Gesamtkosten pro Mission von rund 40 Millionen Dollar gerechnet – dem Vierfachen der Ausgangssumme. Dabei sind die Entwicklungskosten des Systems von über 9 Milliarden Dollar nicht berücksichtigt. Diese enorme Teuerung hat vor allem vier Ursachen:

Zwei Drittel der zusätzlichen Kosten entfallen auf die inflationistische Dollarentwertung, die von der NASA mit durchschnittlich 8 bis 10% pro Jahr veranschlagt wird.

Verteuernd wirkt sich auch die Tatsache aus, daß der Orbiter nicht wie vorgesehen 100mal, sondern nur 50mal wiederverwendbar ist.

Hinzu kommt der Verzicht auf die Fallschirmbergung, die Wiederverwendung einzelner Teile des Systems. So geht nach neuesten Informationen der Außentank verloren, die Bergung der beiden Startraketen ist ungewiß.

Schließlich rechnet die NASA mit einer durchschnittlichen Auslastung der Nutzlasten des Orbiters von höchstens 75%. Aber das auch nur dann, wenn etwa je ein Drittel der Aufträge vom Pentagon bzw. von anderen Kunden kommen. Die Diskrepanz wird deutlich, wenn man bedenkt, daß die USA seit 1972 jährlich etwa 25 Raumflugkörper starteten. Allein der Nutzlastcontainer für die Umlaufeinheit des Space Shuttle, der bereits ab Juli 1979 einsatzbereit sein soll, besitzt 72 Kammern, die an Interessenten vermietet sein wollen.

Wie erbittert der kapitalistische Konkurrenzkampf selbst im Kosmos ist, zeigte das kürzlich erfolgte Angebot der westeuropäischen Weltraumbehörde ESA an die internationale Nachrichtensatelliten-Organisation Intelsat. Die ESA hat sich bereit erklärt, jeden der drei Satelliten vom Typ Intelsat V mit ihrer konventionellen Trägerrakete Ariane für 20 Millionen Dollar zu starten. Die nordamerikanische Weltraumbehörde NASA forderte für jeden dieser Starts mit der wiederverwendbaren Raumfähre 22,5 Millionen Dollar.

Anhang

Das Salut-Space-Shuttle-Projekt

Am 17. November 1977 unterzeichneten in Moskau Professor Dr. Boris Petrow, Vorsitzender des Interkosmos-Rates der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, und Dr. Noel Hinners, Direktor der Nationalen Luft- und Raumfahrtbehörde der USA, ein Kommuniqué über die Gespräche zwischen Vertretern beider Institutionen, die einen gemeinsamen Experimentalflug einer sowjetischen Orbitalstation Salut und einer amerikanischen Raumfähre Space Shuttle zum Inhalt hatten.

Für die Diskussion der wissenschaftlichen und technischen Fragen wurden zwei Arbeitsgruppen gebildet: eine gemeinsame Arbeitsgruppe für die Experimente auf dem Gebiet der Grundlagen- und der Anwendungsforschung, kurz Experimentalgruppe genannt; eine gemeinsame Arbeitsgruppe für das Flugprogramm, kurz Operationsgruppe genannt.

Die Experimentalgruppe schlug für das wissenschaftliche Arbeitsprogramm eines Salut-Shuttle-Experimentes folgende Gebiete vor:

1. radioastronomische Experimente unter Nutzung eines offenen künstlichen Systems;
2. Infrarot-Interferometrie;
3. Röntgenstrahlen-Astronomie;
4. Gammastrahlen-Astronomie;
5. Erforschung der kosmischen Strahlung;
6. Erforschung der physikalischen Zustände in den aktiven Regionen auf der Sonne;

7. Raumfahrtbiologie und -medizin;
8. Laser-Absorptions-Spektroskopie zum Studium der Verunreinigung der oberen Atmosphäre;
9. Radiosondierung zur radiophysikalischen Erforschung der Erdatmosphäre;
10. Werkstoffexperimente;
11. aktive kontrollierte Experimente in der Erdatmosphäre und Ionosphäre;
12. Weltraummeteorologie und Studium der Erdressourcen.

Die Operationsgruppe schlug folgende drei Arten von Flugexperimenten vor:

1. Manöver zur gegenseitigen Orientierung der beiden Raumflugkörper und ihrer Zusammenführung;
2. Transport einiger wissenschaftlicher Versuchsanlagen, die innerhalb oder außerhalb der Salut-Station installiert werden, durch Space Shuttle;
3. Transport einiger Experimentalkomplexe mit der Orbitalstation Salut für wissenschaftliche Experimente in die Erdumlaufbahn.

Außerdem schlug die Operationsgruppe drei Arten des Gemeinschaftsfluges vor, die auch untereinander kombinierbar sind:

1. Salut und Shuttle fliegen als zwei gegenseitig orientierte Raumflugkörper.
2. Salut und Shuttle koppeln jeder mit dem anderen.
3. Salut und Shuttle führen die Experimente getrennt voneinander durch.

Für die Zeit nach 1980 wurde eine Kopplung beider Raumflugkörper bis zu fünf Tagen in einer Höhe zwischen 350 und 400 km diskutiert.

Wechselseitig tagen die Arbeitsgruppen in der UdSSR und in den USA, um zunächst ein vorläufiges Programm zu erarbeiten, in dem die einzelnen Etappen des Unternehmens, die Dockungssysteme, die gemeinsame Flugdynamik, die Installation der Ausrüstung (einschließlich

der Nutzung eines Manipulators), die Anpassung der Bordenergieanlagen, der Nachrichtenverbindungen, der Lebenserhaltungssysteme enthalten sind.

Diese Arbeiten erfolgen auf der Grundlage der Vereinbarung zwischen der Akademie der Wissenschaften der UdSSR und der Nationalen Luft- und Raumfahrtbehörde der USA über die Zusammenarbeit auf dem Gebiet des bemannten Raumfluges. Sie können die guten Erfahrungen nutzen, die bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung des sowjetisch-amerikanischen Sojus-Apollo-Test-Projektes von 1975 gesammelt wurden.

»akzent«-Reihe*

(1974–1979)

*Nur über den Buchhandel zu beziehen.

1. Brosin, Vorstoß ins Ungewisse
2. Kobrinski, Achtung – Roboter!
3. Kirchberg, Oldtimer – Autos von einst
4. Lindner, Der Sternhimmel
5. Dorschner, Sind wir allein im Weltall?
6. Rast, Aus dem Tagebuch der Erde
7. Lindner, Kraftquell Kernenergie
8. Raths, Tiere im Winterschlaf
9. Lehmann, Mathe mit Pfiff
10. Peters, Mensch und Tierwelt
11. Brentjes, Die Erfindung des Haustieres
12. Mothes, Tiere am Fließband
13. Eyermann, Sojus-Apollo 1975
14. Thomas/Thomas, Milliarden Jahre Leben
15. Schönknecht, Schneller – aber wie?
16. Freytag, Vom Wasser- zum Landleben
17. Raubach, Rätsel um das Molekül
18. Rudolph, Olympische Spiele in der Antike
19. Krause, Gehirn contra Computer?
20. Friedemann, Leben wir unter kosmischen Einflüssen?
21. Mohrig, Wieviel Menschen trägt die Erde?
22. Günther, Gebaute Umwelt
23. Kéki, 5 000 Jahre Schrift
24. Krumbiegel, Tiere und Pflanzen der Vorzeit
25. Windelband, Woher der Mensch kam
26. Winde/Knoll, Schlagadern des Seeverkehrs
27. Dorschner, Planeten – Geschwister der Erde?
28. Becher, Ist das Eigentum ewig?

29. Kurze, Leichter als Luft
30. Ritzhaupt u. a., Nahrung aus dem Meer
31. Kehnscherper, Auf der Suche nach Atlantis
32. Gränz/Kirchberg, Klassiker auf vier Rädern
33. Lange, Die Farben der Tiere
34. Wille, Sibirien – Erschließung eines Kontinents
35. Zimmermann, Nur eine Münze . . .
36. Kolb, Lebensvorgänge unter der Lupe
37. Rührdanz, Bagdad – Hauptstadt der Kalifen
38. Lewantowski, Raumtransporter
39. Szécsényi-Nagy, Jenseits der Milchstraße
40. Odening, Parasiten – Geißel der Menschheit?
41. Brentjes, Vom Stamm zum Staat
42. Conrad, Vom Jakobsstab zur Satellitennavigation
43. Wassilewski, Vulkane – Feuer des Pluto
44. Petrik, Kurioses aus der Technik

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

Weitere Bände:

Szécsényi-Nagy, Jenseits der Milchstraße
Petrik, Technische Kuriositäten
Wasilewsky, Vulkane – die Feuer des Pluto
Gränz, Kirchberg,
Klassiker auf vier Rädern
Kurze, Leichter als Luft
Dorschner, Planeten –
 Geschwister der Erde?
Brentjes, Vom Stamm zum Staat