

Raumfahrttechnik 1986 - Entwicklungsstand und Perspektiven

Dr. Erhard Keppler, Jahrgang 1930, Studium der Physik an den Universitäten Tübingen und Göttingen, wissenschaftlicher Leiter des ersten deutschen Satellitenprojekts „AZUR“ (Start 1969), Untersuchungen auf dem Gebiet der kosmischen Strahlung, der Magnetosphärenphysik und der Physik des interplanetaren Raumes, war beteiligt an zahlreichen Raketen- und Satellitenprogrammen im nationalen Rahmen, mit ESA, NASA, zuletzt mit der UdSSR im Rahmen von VEGA (Kometen-Mission) und PHOBOS (Mars-Mission). Seit 1958 arbeitet er am Max-Planck-Institut (MPI) für Stratosphären-Physik, später am MPI für Aeronomie, in Lindau/Harz, seit 1976 als dessen Technischer Geschäftsführer. Gleichzeitig ist er Berater des BMFT in mehreren Ausschüssen, zur Zeit Vorsitzender der Arbeitsgemeinschaft Extraterrestrische Physik der Bundesrepublik.

Im Rahmen des Internationalen Geophysikalischen Jahres 1957/58 wurde auf Vorschlag der Internationalen Wissenschaftlichen Unionen von den USA und der UdSSR der Einsatz künstlicher Erdsatelliten geplant. Wie man weiß hatten die Sowjets mit dem Start des Sputnik am 4. Oktober 1957 die Nase vorn. Erst am 31. Januar 1958 konnten die Amerikaner mit Explorer I nachziehen. Diesem technischen Auftakt folgte J. Van Aliens Interpretation seiner Explorer-I-Meßdaten - die Entdeckung des Erdstrahlungsgürtels. Das löste ein Jahrzehnt aufregender wissenschaftlicher Entdeckungen aus, an dessen Ende ein verändertes Weltbild stand¹. Immer neue Fragen beschäftigten die Wissenschaftler; sie trieben die Techniker an, immer leistungsfähigere Satelliten, immer bessere Raketen zu bauen. In den USA trennten sich die Wege der zivilen (NASA-)Forschung sehr bald von denen der militärischen. Die USA waren auch willens, ihre neue Technik und Technologie mit anderen zu teilen: Bereitwillig halfen sie einzelnen europäischen Ländern, eigene Kapazitäten in der Weltraumtechnik zu entwickeln und aufzubauen. 1964 wurde ein entsprechender Vertrag mit der Bundesrepublik unterzeichnet. Man sollte ganz offen anerkennen: Die USA haben in jenen Jahren durch die Vermittlung von know how den Europäern auf einem Gebiet, das als das technisch modernste und schwierigste galt, ganz wesentlich geholfen.

Warum war Weltraumtechnik „schwierig“?

Geräte, die im Weltraum eingesetzt werden sollen, müssen zuerst den Start mit einer Rakete überstehen, müssen also hohe Vibrationsbelastungen aushal-

¹ E. Keppler: „Der Sonnenwind reicht weit in den Weltraum hinaus“, Umschau 80, S. 586, 1980.

ten; Fliehkräfte treten auf und Stoßbeschleunigungen; solche Systeme müssen sehr stabil gebaut sein. Beschränkungen des Gewichts verbieten, Stabilität durch größere Materialdicke zu suchen; konstruktive Kunstgriffe, spezielle Materialien sind gefragt. Entsprechendes gilt für den Verbrauch elektrischer Leistung. Immer kompliziertere technische Abläufe, höhere Arbeitsgeschwindigkeiten wurden verlangt. So entstand Druck in Richtung auf höhere Energieumwandlungs-Wirkungsgrade und immer geringeren Leistungsverbrauch einzelner Baugruppen. Begierig griff die Raumfahrttechnik kleine, leistungsarme Mikroschaltkreise auf. Besonders komplementäre MOS-Schaltkreise („CMOS“), deren Leistungsverbrauch ein Tausendstel des Verbrauchs anderer betrug, wurden stimuliert. Bald konnten beliebige Ablaufsteuerungen in dieser Technik auch in irdischen Anwendungen realisiert werden (z. B. Uhren, Taschenrechner). Heute versorgen überwiegend die USA und Japan den ständig wachsenden Weltmarkt mit dieser Technologie.

Geräte in Satelliten arbeiten im Vakuum, in weiten Temperaturbereichen (zwischen - 30 Grad und + 40 Grad Celsius), wo Verlustwärme nicht durch Konvektion sondern nur durch Wärmeleitung und/oder Wärmestrahlung weggeschafft werden kann. Der Satellit muß die überschüssige Wärme abstrahlen können: mittels schwarzer, nicht von der Sonne beschienener Flächen.

Der Bau eines Satelliten ist also keine einfache Aufgabe. Gegenseitige Beeinflussung der Teilsysteme zwingt zur Betrachtung des Gesamtsystems - konsequenter als in anderen technischen Bereichen. Der teure Raketenstart (Größenordnung 40 Mio. Dollar) erzwingt, daß die Funktion in der Umlaufbahn gewährleistet ist. Darum wurde über Zuverlässigkeit von Systemen nachgedacht. Eine „Zuverlässigkeitstheorie“ entstand im Umfeld des US-Raumfahrtprogramms und wird heute in viele technische Entwicklungen mit einbezogen.

Raumfahrtprojekte sind häufig zu einem bestimmten Zeitpunkt fertigzustellen, etwa weil zum Beispiel das Startdatum von astronomischen Daten abhängt (wie z. B. bei GIOTTO). Das führte zum Nachdenken über Managementmethoden: Wenn technisches Risiko, zeitlicher Ablauf und Kosten erstmals gemeinsam betrachtet werden, steigt die Verlässlichkeit von Kostenschätzungen. Diese zuerst in den USA entwickelten Planungsmethoden (wie zum Beispiel PERT) sind in der Bundesrepublik erst bekannt geworden, als 1964 mit fühlbarer amerikanischer Hilfe nationale deutsche Raumfahrtanstrengungen begannen.

Mikroschaltkreise, Zuverlässigkeitsanalyse, Management-Methoden waren keine Ziele des US-Raumfahrtprogramms. Aber sie wurden im Umfeld der Bemühungen um dessen Realisierung entwickelt, aufgegriffen und vorangetrieben. Die genannten Begriffe gab es zu Beginn des Vorhabens noch nicht. Vielleicht war es ein Glücksfall, daß die USA in der Raumfahrt von Anfang an mit Gewichtsproblemen zu kämpfen hatten. Die UdSSR dagegen hat zielstrebig „große“ Raketen gebaut, indem sie kleinere Raketen zu „Bündeln“ zusammenfaßte, um große Nutzlasten transportieren zu können- Gewichtsprobleme

haben daher in der sowjetischen Raumfahrt mindestens keine prägende Bedeutung gehabt. Die Sowjetunion ist aber heute auch nicht im Besitz der die Überlegenheit westlicher Technik (klein, schnell, leicht) ausmachenden Elektronik. Erst in den letzten Jahren konnte sie vergleichbare CMOS-Technologie entwickeln. Wie, mag man sich fragen, wäre die Entwicklung verlaufen, wenn die Amerikaner ähnlich verfahren wären und nicht klein, leicht, energiesparend hätten bauen müssen? Gäbe es dann diese „extreme“ Technologie heute? Erst sie hat jene besonders kleinen Strukturen möglich gemacht, die die heutige Mikrotechnologie zur Voraussetzung hat. Weltraumtechnik war der wichtigste Wegbereiter, der früheste Anwender dieser Technik. Darum war Weltraumtechnik als schwierig angesehen worden. Viele dafür benötigte Bauelemente sind - auch heute noch - nur in den USA erhältlich.

Welchen Nutzen hat die unbemannte Raumfahrt gebracht?

Nachdem man gelernt hatte, Satelliten im Raum zu steuern, die Telemetrieübertragung leistungsfähig und störsticher zu machen, ließ sich Weltraumtechnik rasch praktisch anwenden.

Mit Hilfe von Satelliten wurde die Kenntnis des Schwerefeldes der Erde um eine Größenordnung verbessert. Damit läßt sich die genaue Form der Meeresoberfläche angeben; das ist wichtig, um die Position von Schiffen auf den Meeren sehr genau bestimmen zu können (Geodäsie, Ozeanographie). Ganz erhebliche Navigationsverbesserungen erlaubte daraufhin das NAVSTAR-Projekt, das einmal aus 18 die Erde umrundenden Satelliten bestehen soll. Die geographische Position (Länge, Breite und Höhe) kann damit mit einer Mindestgenauigkeit von zehn Metern (früher: 100 m) angegeben werden. Sechs solche Satelliten arbeiten bereits. Schiffsgeschwindigkeiten lassen sich auf 10 cm/s genau bestimmen. Jeder Satellit enthält eine Atomuhr, weil genaue Zeitmessung die Basis für genaue Ortsbestimmung ist. Luft- und Seeschifffahrt profitieren davon. Aber auch an Land ist diese Technik, z. B. für Explorationen, Grenzfestlegungen usw. von größter Bedeutung.

Geographie profitiert von der Herstellung genauer Karten mit Hilfe metrischer Satelliten-Kameras. Erdbeobachtungs-Satelliten eröffnen eine Fülle neuer Möglichkeiten: Lachsfischer finden die Lachse schneller; Öltanker legen ihre Route in die Meeresströmungen, die sie aus solchen Beobachtungen finden. Die Exxon Corporation hat so 1973 für ihre damals aus 50 Tankern bestehende Flotte für 360 000 US-Dollar Treibstoff eingespart. In Hawaii kontrollieren Farmer die Zuckerrohrernte mit Hilfe von Wettersatelliten. Südfruchtplantagen werden früher vor Frosteinbrüchen gewarnt, so daß die Ernten geschützt werden können; Tornados und Hurricans werden eher erkannt, damit wird die Zeitspanne größer, innerhalb der man Menschen aus bedrohten Gebieten evakuieren oder Schutzmaßnahmen treffen kann. Die Treffsicherheit der Bahnvorhersage eines Wirbelsturms steigt. Explorationsteams von Ölfirmen senden ihre Meßergebnisse heute über Nachrichtensatelliten direkt in die Firmenzentrale. Dort werden die Daten im Rechner analysiert,

die Ergebnisse ebenso zurückgeschickt, so daß vor Ort bereits nach kurzer Zeit sehr objektiv beurteilt werden kann, ob die Arbeit fortgesetzt werden soll oder nicht. Automatische Bojen in unzugänglichen Gegenden setzen ihre Daten an Nachrichtensatelliten ab; aus der Verfolgung von mit kleinen Sendern versehenen Tieren können Tierwanderungen beobachtet werden. Natürlich benutzt Weltraumforschung unbemannte Satelliten. Diese lassen sich praktisch auf behebige Bahnen bringen (hoch exzentrische, polare, geostationäre). Geophysik braucht Satelliten auf solchen Bahnen, desgleichen Studien zur Untersuchung des Sonnenwindes, mit denen die Klärung so wichtiger Fragen wie die der Einkopplung von Energie in Magnetosphäre und Atmosphäre zusammenhängt.

Die in geophysikalischen Untersuchungen typisch anfallenden Datenmengen haben zu bedeutenden Fortschritten bei der Massen-Datenaufbereitung geführt, dazu gehört auch das Gebiet der rechnergestützten Bildauswertung. Durch die Auswertung von Bildern, wie z. B. die mit den die Erde in 800 Kilometern Höhe umkreisenden amerikanischen LANDSAT-Satelliten gewonnenen, haben wir unglaublich viel Neues über unsere Erde gelernt. Diese Satelliten beobachten die Erde im Infraroten. Sie entdeckten Trockengebiete, mit Wasservorkommen verknüpfte Bruchstrukturen, Ölvorkommen, Pflanzenerkrankungen. Der Beginn der Baumwollernte ließ sich an Hand des so festgestellten Reifezustands regional optimal festlegen; präzise Vorhersagen von Ernteerträgen sind möglich. LANDSAT-Bilder zeigten eine geologische Bruchzone in Bolivien, über die eine Pipeline hätte gebaut werden sollen. In den USA ließ sich binnen 36 Stunden ein exakter Überblick über das Ausmaß von Überschwemmungen im Mississippi-Gebiet gewinnen. Mit Hilfe von LAND-SAT-Bildern ließ sich zum ersten Mal die gesamte Biomasse der Erde (auch der in den Ozeanen enthaltenen) abschätzen, was für die Beurteilung der globalen Kohlenstoffbilanz (CO₂-Problem, Klimaproblem) von größter Bedeutung ist. Der Satellit NOAA-8 brachte ein „SARSAT“ genanntes Notrufsystem ins All, das notgelandete Flugzeuge oder Schiffe in Seenot aufspüren kann und mit dem sowjetischen COSPAS-System kompatibel ist - und es funktioniert gut.

Vor allen anderen Nutzungen ist indessen die Kommunikationstechnik zu nennen. Auf geostationärer Bahn plaziert, stets über demselben Ort, werden Satelliten zur Übermittlung von Telefongesprächen, Daten, Funk und Fernsehen benutzt. In der Bahn herrscht längst drangvolle Enge. 1963 hatten die USA als ersten SYNCOM II in diese Bahn gebracht. 1964 wurde die INTELSAT (International Telecommunication Satellite)-Organisation gegründet, der heute 105 Staaten angeschlossen sind. INTELSAT baut und betreibt Nachrichtensatelliten für kommerzielle Zwecke. 20 000 Telefonkanäle kann einer dieser Nachrichtensatelliten übertragen! Neben dem INTELSAT-System werden auch andere, nationale, Kommunikationssatelliten betrieben: Seit dem Start von SYNCOM sind es über 80 Satelliten. Das Satelliten-Kommunikationsnetz ist auch für die Datenverarbeitung interessant (billige Nutzung von Rechnerkapazität auf der Nachtseite der Erde via Satellit). Die Verfügbarkeit großer

Solarzellenanlagen macht inzwischen Satelliten möglich, deren Signale mit etlichen Kilowatt Sendeleistung am Boden mit Hilfe eines Parabolspiegels und eines Dekoders direkt empfangen werden können. Entwicklungsländer sparen durch solche Systeme den Aufbau bodengebundener Datenübertragungssysteme und Versorgungsnetze für Telefon, Funk- und Fernsehen.

Auch die deutsche Post beginnt, sich nach viel zu langem Zögern für modernere Methoden der Kommunikation zu interessieren. Der gemeinsam mit Frankreich entwickelte TV-SAT soll als Neuheit den Ton erstmalig digital- d. h. praktisch rauschfrei - übertragen. Europa hat mit dem SateHitensystem MARECS mit Hilfe der INMARSAT Organisation den ersten Schritt zu einem eigenen Schiffs-Kommunikationssystem getan.

Das sind wirtschaftlich wichtige Nutzungen der Raumfahrttechnik. Der Globus ist längst zu einem Punkt geschrumpft: Wir nehmen unmittelbar teil an Ereignissen an beliebigen Orten - als geschähe es in unserer Stadt.

Technologischen „Spill-Off“ - Nebenprodukte dieser Technik - hat es außerdem gegeben. NASA publiziert lange Listen - vom sprachgesteuerten Rollstuhl, der Lesemaschine OPTACON für Bünde, von flammenresistenten neuen Materialien, Solarzellen, Leckstromdetektoren bis zum einpflanzbaren Herzschrittmacher.

In ihren ersten Jahren machte die Weltraumtechnik so viele Entwicklungen erforderlich, daß sie alsbald im Ruf stand, technologieerzeugend zu sein. Das hat viele Regierungen bewogen, im eigenen Land Weltraumaktivitäten zu starten oder zu fördern. Allerdings zeigt sich in jüngerer Zeit, daß die Entwicklung „irdischer“ Technologien die Raumfahrt-Technik weit hinter sich gelassen hat. Die Entwicklung von Megabit-Halbleiterspeichern etwa zielt auf Anwendung am Boden, obwohl Weltraumtechnik ein (dem Umfang nach kleiner) Anwender sein wird. Kommerzielle Satelliten sind in ihrer Technologie - gemessen am Stand der Technik - eher konservativ. Neue Elemente werden nur zögerlich aufgenommen; Projektmanager bauen eher auf die Erfahrungen früherer Projekte. Programme dieser Art sind daher eher geeignet, die Nutzung vorhandener Technologie in gewisser Breite voranzutreiben. Deswegen sind sie sicher unverzichtbar.

Studien, den Transfer von Technologie, von „know how“ aus militärischen Projekten und Weltraumfahrt in den allgemeinen Industriebereich hinein betreffend, ergeben, daß der Transfer nicht nennenswert ist.

Inzwischen wird auch der Fortschritt der Informationstechnologie, dessen frühe Stimulation aus der Raumfahrt kam, von anderen Kräften getrieben: durch Kostenreduktion als Folge der Miniaturisierung (und sich daraus ergebenden neuen Möglichkeiten) und durch die Kombination von Rechnern und Kommunikationssystemen. Anreize, in der Raumfahrt technisches Neuland zu betreten, darf man eher von wissenschaftlich motivierten Missionen erhoffen, insbesondere dann, wenn ihre Ziele utopisch sind.

Die rigorose Durchführung einer Systemkonzeption, ihre Untersuchung in allen Auswirkungen, Betriebszuständen, in der konsequenten Planung von Bau, Start, Betrieb, Datenübertragung, Datenempfang, Datenaufbereitung, Massendatenspeicherung und Datenverarbeitung ist typisch für Raumfahrtprojekte. Der Lerneffekt für Unternehmen, die sich daran beteiligen, liegt hauptsächlich in diesem ganzheitlichen Ansatz. Für die Raumfahrt-Industrie ist Kontinuität der Programme wichtig. Erworbenes know how ist in den Köpfen der Mitarbeiter gespeichert und verschwindet leicht, wenn sich Teams auflösen.

Was nützt bemannte Raumfahrt?

SKYLAB, das erste „Himmelslaboratorium“ (1973), war für die USA der vorläufige Endpunkt der ersten Phase. Ihr folgte der Bau des „SPACE-SHUTTLE“. Die Sowjetunion apostrophierte, nach zahllosen bemannten Flügen, SALYUT 7 schließlich als erste „Produktionsstätte im All“. Der bemannte Shuttle COLUMBIA flog zum ersten Mal am 12. April 1981. Damit begann für die USA eine neue Phase bemannter Raumflüge. Europa beteiligte sich daran, um nach Fallversuchen, nach Versuchen in Flugzeugen, die Parabelbahnen flogen, oder in Höhenforschungsraketen (TEXUS-Programm) im Rahmen von SPACELAB die Forschungsarbeiten im Bereich der Materialforschung, der Medizin und Biologie unter Schwerelosigkeit fortzusetzen. Dabei handelt es sich zunächst um Grundlagenforschung, die ausloten soll, ob und wie z. B. die Herstellung extrem homogener, ultrareiner Materialien möglich ist, schließlich ob Produktionsstätten im All möglich, notwendig, zweckmäßig und rentabel sind.

Das Vorgehen der USA - dem sich Europa Anfang der siebziger Jahre ziemlich unkritisch angeschlossen hatte - ist auf zum Teil heftige Kritik gestoßen². Heute muß festgestellt werden, daß sich mehrere Erwartungen nicht erfüllt haben:

- Die Kosten pro SHUTTLE-Start haben sich in astronomische Höhen entwickelt: von geplanten 200 auf 11 000 US-Dollar pro Kilogramm (1985)³. Für die Bundesrepublik wurden SPACELAB-Flüge fast unbezahlbar - ablesbar an bisher einem nationalen SPACELAB-Flug (statt einem halben Dutzend).
- Die Zahl der SHUTTLE-Flüge blieb hinter den Hoffnungen zurück, zum Teil deshalb, weil die Störanfälligkeit des Systems immer wieder zu Verzögerungen führte.
- Der Glaube an die Zuverlässigkeit des Transportsystems, von der NASA dreist durch Mitflugeinladung an Kongreßabgeordnete, Journalisten, gar an eine Lehrerin, der Öffentlichkeit suggeriert, wurde durch die CHALLENGER-Katastrophe zerstört.
- Der Beweis, daß die Ergebnisse von in bemannten Laboratorien durchge-

² J. Van Auen: „Bemannte Raumstation: Schaden für die Forschung?“, Spektrum der Wissenschaft, Heft 3, S. 36, 1986.

³ C. Covault: „NASA Curtails Shuttle Flights“, Aviation Week, S. 16, June 21, 1982; „U. S. Space Strategy“, EOS, Dec. 4, 1984, S. 1201.

führten Versuchen die Notwendigkeit der Einrichtung von Produktionsstätten im All demonstrieren würden, konnte bisher nicht erbracht werden⁴.

Warum sind Regierungen trotz dieser belegbaren Risiken versessen darauf, bemannte Raumfahrt zu treiben? Fragt man z. B. nach dem Nutzen von APOLLO, den Landungen auf dem Mond, wird man wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn nicht leugnen, diesen aber auch nicht weit über die unbemannten Gesteinssammler-Sonden stellen, die die UdSSR zum Mond geschickt und sicher wieder zurückgebracht hat. Die Medien haben die Landung auf dem Mond glorifiziert, die Science Fiction Literatur blüht - der Traum vom Leben in Raumstationen oder gar auf anderen Planeten⁵ berauschte die Menschen wie eine Droge. Die Träume wurden weiter geträumt, Neil Armstrongs erster Schritt auf dem Mond wurde kein großer Schritt für die Menschheit, und seit CHALLENGER und Tschernobyl sollten wir vorsichtiger - und skeptischer - geworden sein.

Die immensen Kosten sollten eigentlich die Präsenz des Menschen im Weltall verbieten, mindestens so lange bis es zwingende Gründe gibt, Menschen vor Ort in lebensförderlicher Umgebung zu haben, völlig vom Funktionieren technischer Systeme abhängig. Solange Automaten den Menschen zu ersetzen imstande sind, sollte unbemannten Flügen der Vorzug gegeben werden⁶. Aber diese Auslotung des Potentials bemannter Stationen muß vor der Entscheidung für derartige Einrichtungen stehen. Käme man zur Verneinung solchen Potentials, wären die erheblichen Aufwendungen für diese Station entbehrlich. Wo nicht, käme sie auch im Jahr 2 000 oder 2 010 noch früh genug.

Die Raumstation - ein lohnendes Ziel?

Ziel von NASA und ESA ist, Mitte der neunziger Jahre eine bemannte Raumstation zur Verfügung zu haben. Aber gibt es ein sicheres Transportsystem? Die Fehlerquote oft geflogener amerikanischer Raketen wie SCOUT und DELTA liegt bei drei Prozent, beim TLTAN-System, dem leistungsstärksten amerikanischen Raketensystem, liegt sie bei 24 Prozent, beim SHUTTLE führte der 25. Flug zur Katastrophe. Auch die Sowjetunion fliegt mit Risiko. Verlässlichen Berichten zufolge explodierte am 12. Oktober 1983 eine A2-Rakete im Tynratam-Kosmodrom. Aus anderen Gründen hatten die Kosmonauten Sekunden vor der Explosion ihre Kapsel wegkatapultiert und entgingen so dem sicheren Tod. 1971 starben die Kosmonauten von SOJUS 11 bei der Rückkehr zur Erde. Die Frage, wie sicher ein System sein muß, um damit Menschen transportieren zu können, ist schwer zu beantworten. Man darf sie nicht vermengen mit der Bereitschaft von Astronauten, Risiko auf sich zu nehmen. Der wohlfeile Spruch, die Erkundung von Neuland sei immer mit Risiken für das

4 E. Keppler: „Ist die Raumstation unvermeidlich?“, Phys. Bl. 40, S. 339,1984.

5 K. Ehrlicke: „Die Industrialisierung des Mondes“, Fusion, S. 40,1982.

6 H. Kleinwächter: „Syntelmann - und die möglichen Konsequenzen“, Bild der Wissenschaft, Heft 7,1970; H. O. Ruppe: „Fundamentale Auslegungsgesichtspunkte für Träger von Raumfahrtlasten“, Z. Flugwiss. Welt-raumforsch. 9, S. 312,1965.

Leben der Entdecker verbunden, gilt hier nicht: Jene, die ihr Leben einsetzen, taten es völlig freiwillig, trugen Lasten und Kosten selbst. Unsere Arbeitsschutzgesetze verbieten einem Arbeitgeber schlicht, seinen Arbeitnehmern unverhältnismäßige Risiken aufzubürden - ob diese das akzeptieren würden, ist nicht relevant. Würde einem deutschen Astronauten etwas passieren, müßte dessen Arbeitgeber mit einem Strafprozeß rechnen.

Es gibt derzeit keinen Grund zu erwarten, wir hätten demnächst dringenden Bedarf an einer Fertigungsstätte im All. Welchen anderen Grund gäbe es, bemannte Raumfahrt zu finanzieren? Die Beteiligung an ARIANE V befriedigt den Bedarf nach höherer Trägerkapazität. Unbemannte Plattformen wie EUREKA erlauben in erdnahe Bahn Erdbeobachtung und Experimente unter Schwerelosigkeit und lassen sich auch auf polare Bahnen bringen. COLUMBUS, andockbar an die amerikanische Raumstation, wird wohl gebaut werden. HERMES, der europäische Mini-Shuttle, würde einzig dem Transport von Astronauten dienen und würde nur für eine von den Amerikanern unabhängige bemannte Raumstation benötigt. Er wäre beim Verzicht auf bemannte Missionen oder schon beim Verzicht auf eine unabhängige Station entbehrlich.

Es ist bemerkenswert, daß die deutsche Industrie bezüglich einer Beteiligung an SPACELAB-Missionen deutliche Zurückhaltung übt. Für die D2-Mission hat der Forschungsminister den Unternehmen Mitfluggelegenheiten gar zum Nulltarif angeboten. Wenn man den Hund so zum Jagen tragen muß, darf man wohl mit Recht vermuten, daß die rechengewohnten Vorstände der Firmen offenbar gar keine Erwartungen hegen. Allein die Betreiber scheinen hoffnungsfroh zu sein.

Militärische Nutzung des Weltraums

Militärs in Ost und West haben die Möglichkeiten der Raumfahrt von Anfang an auch als militärischen Zwecken dienlich erkannt. Deshalb gab es schon früh auf beiden Seiten zivile und militärische Satelliten, deren Funktion bis vor kurzem auf Aufklärung und Nachrichtenübermittlung beschränkt war. Bis zum Anfang der achtziger Jahre gab es in der UdSSR auch bemannte militärische Flüge. Seit SALYUT 6 läßt sich kein Unterschied mehr erkennen; vermutlich haben auch die Sowjets die bemannte Raumfahrt für militärische Zwecke aufgegeben. In den USA hat das Militär an bemannten Flügen, gar bemannten Stationen, längst kein Interesse mehr. Die militärische Nutzung des SHUTTLE ist nur in der 25-Tonnen-Transportkapazität begründet.

Moderne militärische Satelliten sind gigantische Zusammenballungen von Antennenfeldern, Sensoren in allen Wellenlängenbereichen, vom Röntgenlicht bis zu den Längstwellen (über die Kommunikation mit getauchten U-Booten weltweit möglich ist). Die FERRET-Satelliten der USA (500 km Bahn, 1-2 Tonnen) waren noch mit Subsatelliten (60 kg) ausgerüstet, die z. B. Filme sicher zum Boden zurückbringen konnten; die RHYOLTTE-Satelliten erlaubten

die Abhörung (1973-1978) des gesamten militärischen, diplomatischen, kommerziellen Funkverkehrs der UdSSR und Chinas. Die neue Klasse der TEAL RUBY oder SIRE Satelliten ist mit modernen Infrarot-Detektoren ausgerüstet, die z. B. Flugzeuge gegen den Strahlungshintergrund („Clutter“) der Erde erkennen können. Die für 1990 geplante Satellitengeneration wird noch komplizierter sein: HALO steht für High Altitude Large Optics. Diesem Satelliten wird praktisch nichts mehr verborgen bleiben, was auf der Erde geschieht. Moderne ELINT-Satelliten schließlich sollen den gesamten Funkverkehr überwachen - sie sind auf Mustererkennung programmiert, also auf die Erkennung charakteristischer Signalmuster, die auf bestimmte militärische Operationen schließen lassen. Erst in jüngerer Zeit haben zuerst die Sowjets, dann auch die USA, „Killer“-Satelliten entwickelt, die imstande sind, andere Satelliten in der Umlaufbahn zu zerstören.

SDI - eine gefährliche Utopie?

SDI steht für Strategie Defence Initiative und beschreibt - von Präsident Reagan vorangetrieben - die Errichtung eines „Verteidigungsschirmes“ über den USA (und ihren Verbündeten). Dessen technische Durchführbarkeit wird kontrovers diskutiert. Gegenwärtig ist keine der benötigten Komponenten eines solchen Verteidigungssystems verfügbar. Viele Wissenschaftler halten das Ziel prinzipiell für nicht realisierbar, andere fürchten eine Steigerung des Wettrüstens, weil, selbst wenn es SDI gäbe, das strategische Gleichgewicht instabiler werden würde (beide Seiten würden auch ihre Offensivstreitkräfte aufstocken). Das erste Argument zielt auf den Energiebedarf. Würde man die zur Zerstörung einer Rakete (200 Megajoule/cm²) erforderliche Energie über Kampfspiegel auf eine Rakete richten, könnte man diese sicher vernichten. Um quasi „gleichzeitig“ 1 400 Raketenköpfe zu vernichten, wären die Kapazitäten von 60 Prozent der heutigen Stromerzeugungskapazität der USA erforderlich.

SDI ist heute also nicht viel mehr als der Name für ein Forschungsprogramm, in dessen Rahmen eine ganze Reihe physikalischer Prozesse untersucht werden soll, zum Beispiel die Umsetzung großer Energiemengen auf kleinem Raum in extrem kurzen Zeiten. Dabei treten besonders nichtlineare Zusammenhänge in Erscheinung. Zu deren Beschreibung müssen Grundlagen erweitert, neue Denkansätze gefunden werden. Theoretische Vorhersage und experimenteller Befund ergänzen sich gegenseitig, so daß schließlich tastende Schritte in Neuland möglich werden. In dieser oder jener Disziplin würden solche Schritte aus völlig unterschiedlichen Gründen ohnehin getan. Wo Denken an Grenzen stößt, sucht der praktische Verstand nach Wegen, diese Grenzen weiter hinauszuschieben. Beispielsweise werden im Rahmen von SDI turbulente Abläufe eine wichtige Rolle spielen. Turbulenzforschung, die Untersuchung chaotischer Systeme, ist aber heute aktuelle Physik, eines der interessantesten Themen in einer unglaublich großen Zahl physikalischer Disziplinen.

Wissenschaftliche Forschung ist Befriedigung von Neugier; aus demselben Grund malt der Maler Bilder, erfindet der Musiker Klänge und Melodien. Der frühere Bundeskanzler Schmidt hat auf der Jahreshauptversammlung der Max-Planck-Gesellschaft 1983 erklärt, daß nicht alles, was erforschbar sei, erforscht werden dürfe. Wir haben keine Möglichkeiten, vorherzusagen, zu welchem Ergebnis eine bestimmte Untersuchung führen wird. Darum kann eine bestimmte Forschungsrichtung nicht von vornherein ausgeschlossen werden, indem man erklärt: Das machen wir nicht. Wir hätten beispielsweise 1950 erklären können, wir wollen in der Bundesrepublik keine Halbleiterphysik mehr betreiben. Nach der Entdeckung des Transistors hätten wir diese Position kein Jahr durchhalten können. Das Ergebnis von Forschung ist prinzipiell nicht vorhersagbar, ist daher völlig wertfrei. Die Anwendung des Forschungsergebnisses durch die Mitglieder der Gesellschaft erst unterwirft dieses einer Bewertung; erst die Anwendung von Forschungsergebnissen ist eine moralische Kategorie. Die Diskussion um SDI übersieht diesen wichtigen Punkt ebenso wie Schmidt - merkwürdigerweise - seinen Irrtum nicht bemerkte. Ich halte die Aufregung um SDI für übertrieben, die Frage nach der Beteiligung deutscher Firmen für nebensächlich; das Engagement der Regierung war unnötig. Die USA werden eine Weile Geld in die Sache stecken. Ich würde mich wundern, wenn die Wissenschaftler unrecht hätten, die, wie gesagt, das Ganze für nicht machbar halten. Die Physik aber wird sich - danach - eine ganze Strecke Wegs bewegt haben.