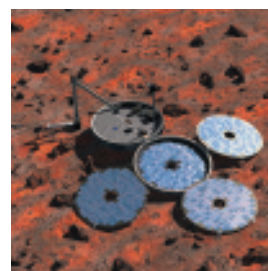
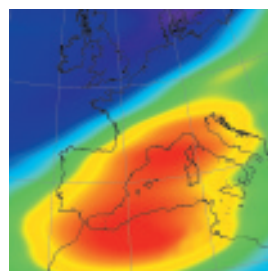
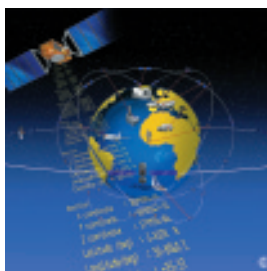


# Fachprogramme Raumfahrt



Aktualisierung 2002/2003



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.

**Herausgeber:**

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**

**Raumfahrtmanagement**

**Königswinterer Str. 522 – 524**

**53227 Bonn-Oberkassel**

# Fachprogramme Raumfahrt

Aktualisierung 2002/2003



**DLR**

Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.

# Gliederung

## TEIL 1 - ALLGEMEINE ASPEKTE

1. PROGRAMMRAHMEN UND -UMFELD .....	5
2. STRUKTUR UND MITTELEINSATZ .....	6

## TEIL 2 - FACHPROGRAMME

EINFÜHRUNG .....	11
1. FACHPROGRAMM KOMMUNIKATION .....	13
2. FACHPROGRAMM NAVIGATION .....	23
3. FACHPROGRAMM ERDBEOBACHTUNG .....	31
4. FACHPROGRAMM ERFORSCHUNG DES WELTRAUMS.....	43
5. FACHPROGRAMM FORSCHUNG UNTER WELTRAUMBEDINGUNGEN.....	55
6. FACHPROGRAMM RAUMSTATION .....	69
7. FACHPROGRAMM RAUMTRANSPORT .....	79
8. FACHPROGRAMM TECHNIK FÜR RAUMFAHRTSYSTEME.....	85

## ANHANG

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN .....	95
-----------------------------------	----

# Teil 1: Allgemeine Aspekte

## 1. Programmrahmen und -umfeld

Mit Kabinettsbeschluss vom 16. Mai 2001 wurde das Deutsche Raumfahrtprogramm als Programm der Bundesregierung in Kraft gesetzt. Den Entwurf dieses Programms hatte das DLR in einem intensiven Beratungs- und Abstimmungsprozess mit den zuständigen Bundesressorts, den Beratungsgremien des DLR - Programmkommission und Programmausschüsse -, mit Wissenschaft und Industrie, mit der ESA und mit den Raumfahrtorganisationen europäischer Partner erarbeitet.

Das Deutsche Raumfahrtprogramm fügt

- die deutsche Beteiligung an den europäischen Programmen von ESA und EUMETSAT,
- die Projektförderung im Nationalen Programm sowie
- das FuE-Programm im Schwerpunkt Raumfahrt des DLR im Rahmen der HGF-Förderung des Bundes und der Länder

zu einem abgestimmten, strategisch ausgerichteten Gesamtansatz zusammen. Es wird ergänzt und flankiert durch Raumfahrtforschung in der Max-Planck-Gesellschaft (MPG), der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF), der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und in Instituten und Sonderforschungsbereichen der Hochschulen sowie durch Beiträge zu internationalen Nutzer- und Betreiberorganisationen.

Wesentliche Eckpunkte und Leitlinien des Raumfahrtprogramms sind:

- eine konsequente Ausrichtung auf Nutzen und Bedarf als Beitrag zur Lösung gesellschaftlicher Aufgaben und zur Erschließung neuer, kommerziell tragfähiger Geschäftsfelder;
- eine verstärkte europäische Zusammenarbeit im Sinne einer Bündelung der Kräfte als unabdingbare Maßnahme zur Behauptung der europäischen Raumfahrtindustrie im globalen Wettbewerb;
- eine Konzentration auf thematische Schwerpunkte und Kernfelder im Sinne wissenschaftlicher Exzellenz beziehungsweise aussichtsreicher kommerzieller Perspektiven und mit den Zielen der Besetzung von Spitzenpositionen in diesen Bereichen und der Steigerung der Kooperationsfähigkeit Deutschlands und Europas bei nicht dem Wettbewerb unterliegenden Vorhaben globalen Ausmaßes;
- eine weitere Steigerung der Effizienz durch Rationalisierung im Rahmen arbeitsteiliger europäischer Netzwerke, mehr Wettbewerb, Aktivierung privatwirtschaftlichen Engagements für ‚Public-Private-Partnerships‘ (PPP) und Abbau von Effizienzhemmnissen.

Fast 20 Jahre nach Verabschiedung des 4. Weltraumprogramms sind mit der Vorgabe übergeordneter politischer Ziele und Rahmenbedingungen die programmatischen Handlungsfelder neu bestimmt. Das Programm der Bundesregierung weist der deutschen Raumfahrt eine politische Richtung und gibt die finanzielle Perspektive vor. Für die Partner in Industrie und Wissenschaft schafft es Transparenz und Planungssicherheit für eigenverantwortliche Entscheidungen und unternehmerisches Handeln; gegenüber unseren europäischen Partnern wird unsere Attraktivität und Verlässlichkeit als Kooperationspartner und Wettbewerber gestärkt; das DLR als Managementorganisation setzt das Programm um und schreibt es in Anlehnung an die Weiterentwicklung der Finanzplanung fort.

Letzterem dienen die hiermit vorgelegten *fortgeschriebenen Fachprogramme Raumfahrt des DLR*. Diese beschreiben die geplante Umsetzung der durch das Programm der Bundesregierung vorgegebenen übergeordneten Ziele in abgestimmte Einzelmaßnahmen zu konkreten Raumfahrtprojekten. Deren Auswahl folgt den maßgeblichen Kriterien des Programms der Bundesregierung: nachweislicher Nutzerbedarf, günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis, wissenschaftliche Exzellenz beziehungsweise wirtschaftliche Perspektive. Diese Planung richtet das DLR für den mittelfristigen Zeitraum an der Finanzplanung der Bundesregierung aus und legt darüber hinaus auch längerfristige Planungsperspektiven jenseits des finanziellen Planungshorizontes dar.

Dokumentiert wird der Programmstatus per Dezember 2002. Jüngste, teilweise dramatische Ereignisse und Entwicklungen (ARIANE 517-Fehlschlag, Galileo-Disput, Columbia-Unfall) müssen - sobald ihre programmatischen Auswirkungen geklärt sind - innerhalb des aktuellen Programm- und Vorhabensmanagement aufgenommen und bewältigt werden.

## 2. Struktur und Mitteleinsatz

Das Deutsche Raumfahrtprogramm integriert die Elemente ESA-Programm und EUMETSAT-Aktivitäten, Nationales Programm (Projektförderung) sowie das Forschungs- und Entwicklungsprogramm des DLR (HGF-Förderung) zu einem harmonisierten Gesamtansatz. Hinzu treten Aktivitäten der universitären und außeruniversitären Forschung in Deutschland sowie europäische Programme mit Raumfahrtbezug (kostenteilige Förderung im 6. Forschungsrahmenprogramm der EU, EUMETSAT), ferner öffentliche Märkte im nationalen und europäischen Rahmen. Das Programm umfasst acht Fachprogramme für die wesentlichen Forschungs-, Anwendungs- bzw. Technologiebereiche der Raumfahrt.

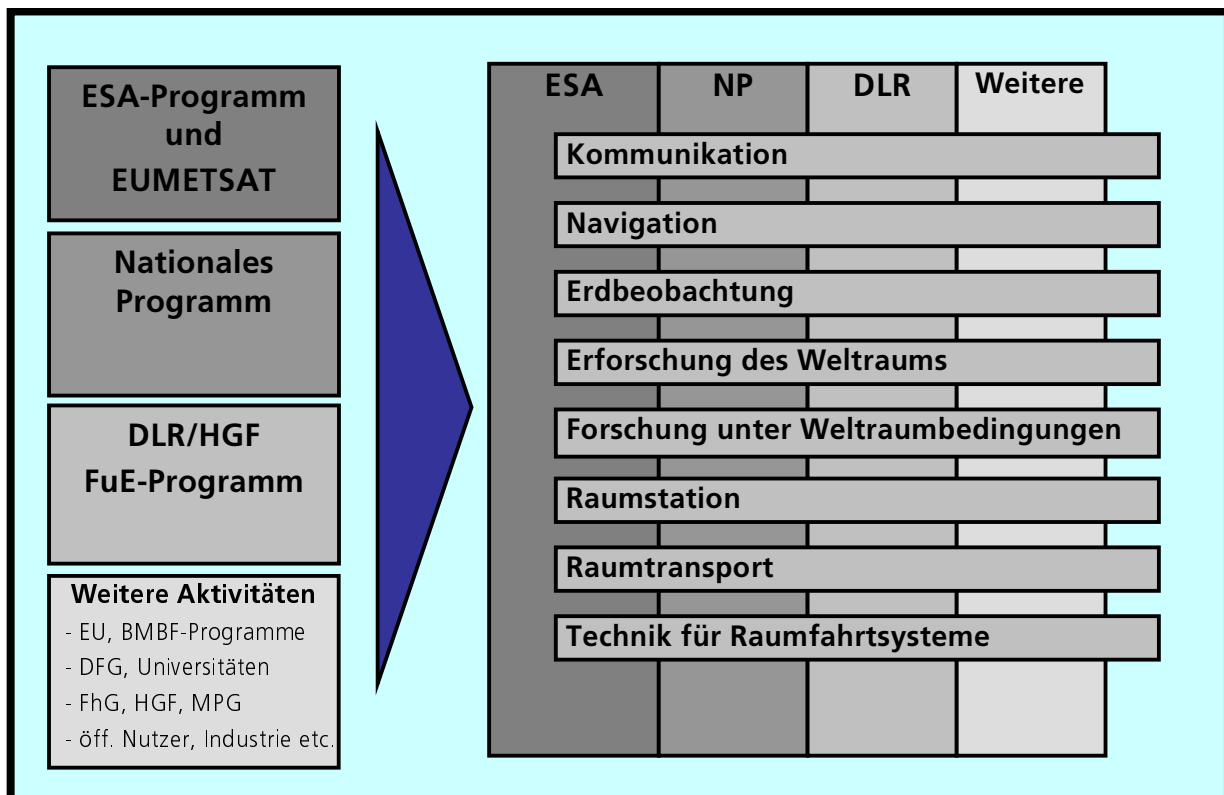
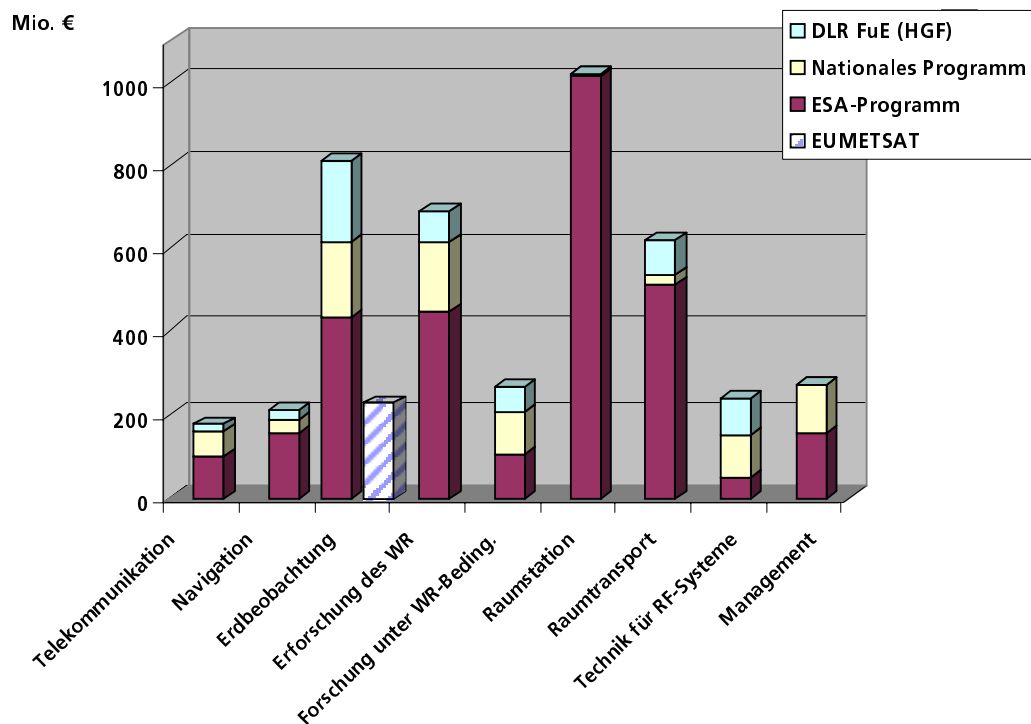


Abbildung 1 Struktur des Deutschen Raumfahrtprogramms



**Abbildung 2 Mitteleinsatz in den Programmen, kumuliert über den Zeitraum der mittelfristigen Finanzplanung 2002-2006**

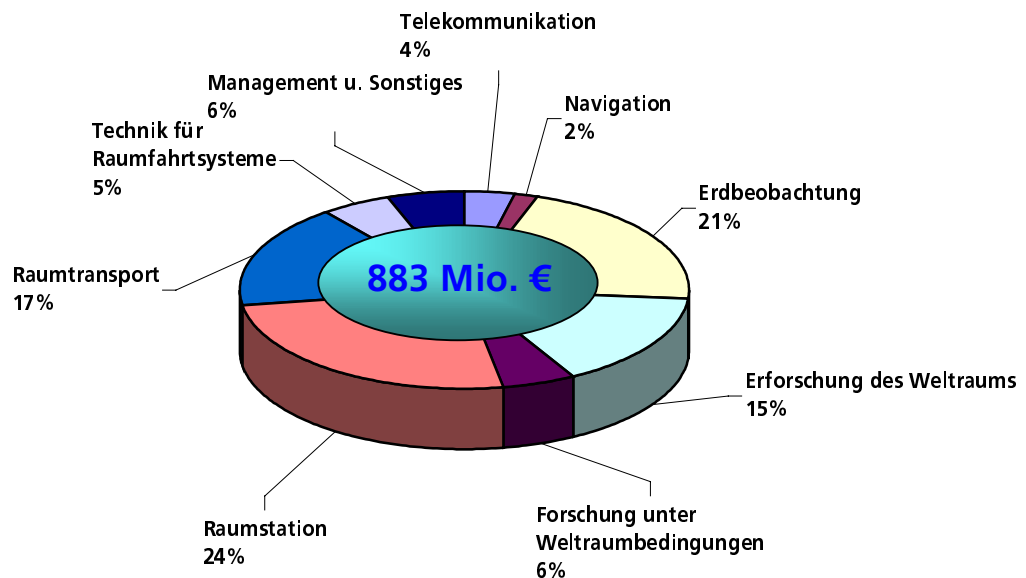
- Die deutschen Beiträge zum ESA-Programm werden überwiegend aus Mitteln des BMBF finanziert. Die programmatische Schwerpunktsetzung und Ressourcenzuordnung für den Mittelfristzeitraum ist mit den Beschlüssen der ESA-Ministerratskonferenz vom November 2001 in Edinburgh bestätigt worden. Die Satellitenprogramme des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg) zur Aufklärung und Kommunikation sind nicht Gegenstand des ESA- oder des Nationalen Programms, allerdings arbeitet DLR im Management- und Institutsbereich im Auftrag des BMVg an allen Projekten mit.
- Für das Nationale Programm werden die Mittel ausschließlich vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bereitgestellt. Sie werden im Rahmen von Aufträgen und Zuwendungen überwiegend für Projekte und Programme in der deutschen Industrie und Forschung eingesetzt. Das Nationale Programm bietet größere Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten zur Durchsetzung nationaler Interessen als das ESA-Programm. Es beinhaltet auch die Kosten des deutschen Raumfahrtmanagements.
- Zu den grundfinanzierten FuE-Aktivitäten des DLR tragen neben der HGF-Förderung aus dem Haushalt des BMBF auch Mittel des (BMVg) und der Bundesländer (10%) bei. Diese Mittel setzt das DLR für seine Forschungsschwerpunkte Raumfahrt, Luftfahrt, Energie und Verkehr ein. Inhalte und die Mittel des BMBF stehen unter dem Vorbehalt einer positiven gutachterlichen Beurteilung durch die HGF.
- Zu ausgewählten Projekten mit überwiegend öffentlichem Interesse stellen weitere Ressorts Mittel bereit, insbesondere das BMVBW mit den deutschen Beiträgen für das ESA-Satelliten-navigationsprogramm GalileoSat sowie die meteorologischen ESA-Programme MSG und

METOP. Darüber hinaus finanziert das BMVBW über seine Beiträge zu EUMETSAT die operationellen Nachfolgeeinheiten zu MSG und METOP, deren Beschaffung durch die ESA erfolgt.

- Eine Vielzahl von operationellen Aktivitäten werden durch nachgeordnete Bundesbehörden in Eigenfinanzierung sowie in Ko-Finanzierung mit dem Nationalen Programm durchgeführt; sie werden ergänzt durch FuE-Aktivitäten in Forschungseinrichtungen und Universitäten.
- Im EU-Forschungsrahmenprogramm war die Raumfahrt bisher lediglich indirekt - als Querschnittsaktivität (Informations- und Kommunikationstechnologien, Telekommunikation, Umwelt und Klima, Verkehr) - in Erscheinung getreten. Im jetzt angelaufenen 6. EU-Forschungsrahmenprogramm (Ende 2002 – Ende 2006) erhält die Raumfahrt erstmals als Teil der Thematischen Priorität 4 (Luft- und Raumfahrt) einen ausgewiesenen Platz. Das für die Raumfahrt vorgesehene Budget von 235 Mio. € verteilt sich folgendermaßen auf die Aktivitätsbereiche:
  - GALILEO 100 Mio. €
  - GMES 100 Mio. €
  - Satellitengestützte Telekommunikation 35 Mio. €.

Außerhalb des Forschungsrahmenprogramms stellt die Europäische Union für die GALILEO-Entwicklungsphase bis 2005 weitere 450 Mio. € aus dem TEN-Haushalt zur Verfügung.

Die nachfolgende grafische und tabellarische Übersicht der Programmfinanzierung reflektiert den derzeit gültigen mittelfristigen Planungsstand.



**Abbildung 3** Mitteleinsatz für das Jahr 2002

<i>Angaben in Mio. € (gerundet)</i>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>Summe 2002-2006</b>
Telekommunikation	14	10	20	22	28	94
Navigation	5	0	0	0	0	5
Erdbeobachtung	46	46	80	103	118	392
Erforschung des Weltraums	88	86	88	90	93	445
Forschung unter Weltraumbedingungen	19	18	23	29	16	104
Raumstation	221	217	217	169	188	1012
Raumtransport	128	127	95	108	78	536
Technik für Raumfahrtsysteme	14	12	12	12	13	62
Management, allgemeine Studien etc.	29	26	27	28	29	139
Summe BMBF	562	542	562	562	562	2789
Navigation BMVBW *)	1	30	50	54	16	150
Erdbeobachtung/EUMETSAT BMVBW	64	56	48	38	32	238
Summe BMBF + BMVBW	627	628	660	653	610	3178

\*) *einschl. vorläufige Ansätze für Galileo*

**Tabelle 1: Aufteilung der deutschen Beiträge zu den ESA- und EUMETSAT-Programmen im Zeitraum 2002-2006**

(Stand: März 2003; Abweichungen in den Zeilen- und Spaltensummen möglich wg. Rundungen)

<i>Angaben in Mio. € (gerundet)</i>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>Summe 2002-2006</b>
Telekommunikation	14	11	14	12	12	62
Navigation	5	6	7	8	8	33
Erdbeobachtung	36	35	42	38	32	183
Erforschung des Weltraums	33	30	26	31	36	157
Forschung unter Weltraumbedingungen	19	17	19	20	20	95
Raumstation	1	1	1	1	1	5
Raumtransport	6	7	5	4	5	26
Technik für Raumfahrtsysteme	14	18	21	20	19	91
Management	21	24	24	25	25	121
Summe (BMBF)	149	149	159	159	159	773

**Tabelle 2: Aufteilung des Nationalen Programms im Zeitraum 2002-2006**

(Stand: März 2003; Abweichungen in den Zeilen- und Spaltensummen möglich wg. Rundungen)

<i>Angaben in Mio. € (gerundet)</i>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>Summe 2002-2006</b>
Telekommunikation	3	3	3	3	3	15
Navigation	5	5	5	5	5	25
Erdbeobachtung	40	42	43	44	44	214
Erforschung des Weltraums	16	14	15	13	13	71
Forschung unter Weltraumbedingungen	11	11	11	11	11	56
Raumstation	0	0	0	0	0	0
Raumtransport	16	16	17	17	17	83
Technik für Raumfahrtssysteme	16	15	15	15	15	76
Summe	107	107	108	108	108	538

**Tabelle 3: Aufteilung des HGF-finanzierten DLR-internen FuE-Programms Weltraum im Zeitraum 2002-2006**

(Stand: März 2003; Abweichungen in den Zeilen- und Spaltensummen möglich wg. Rundungen)

## Teil 2: Fachprogramme

### Einführung

Die *Fachprogramme Raumfahrt des DLR* umfassen die acht Teile:

- Kommunikation
- Navigation
- Erdbeobachtung
- Erforschung des Weltraums
- Forschung unter Weltraumbedingungen
- Raumstation
- Raumtransport
- Technik für Raumfahrtsysteme

Die nachstehende Abhandlung dieser acht Programmlinien folgt einer einheitlichen Struktur; dadurch werden - wo sinnvoll - Quervergleiche möglich.

Ausgehend von einer Kurzanalyse hinsichtlich Bedarf und Markt, Kunden beziehungsweise Nutzer sowie der spezifischen deutschen Stärken und Defizite einschließlich der daraus folgenden Wettbewerbssituation im europäischen und globalen Kontext werden die Bedeutung und die Ausgangslage des Programms heraus gestellt (*Abschnitt X.1*).

Der darauf folgende Abschnitt beschreibt den aktuellen Status des Programms (*Abschnitt X.2*). Hier wird eine die drei Elemente europäische Programme (ESA- und EUMETSAT-Beteiligung), nationales Förderprogramm und DLR-internes Forschungs- und Entwicklungsprogramm integrierende, zusammenfassende Übersicht der laufenden Vorhaben, einschließlich erwarteter Ergebnisse gegeben.

Danach werden - anknüpfend an und konform mit den strategischen Zielsetzungen des Deutschen Raumfahrtprogramms der Bundesregierung vom Mai 2001 - für einen Planungszeitraum von etwa fünf Jahren konkrete, operative Ziele sowie die zugehörigen Maßnahmen und Meilensteine benannt (*Abschnitt X.3*). Die hier vorgestellten Projekte und Aktivitäten orientieren sich an der gültigen mittelfristigen Finanzplanung. Darüber hinaus werden weitere programmatische Voraussetzungen (politische Rahmenbedingungen, Partnerschaften) sowie erkennbare Risiken aufgeführt.

Schließlich wird ein Ausblick auf einen Planungshorizont von etwa 15 Jahren gegeben. Hier (*Abschnitt X.4*) wird abgeschätzt, wohin die heute erkennbaren globalen Trends zeigen, und es wird skizziert, in welche Richtung sich die Aktivitäten für das jeweilige Programm oder Fachgebiet entwickeln sollen. Die deutschen Prioritäten werden benannt, der mögliche deutsche Beitrag zu den Langfristzielen wird identifiziert und neue programmatische Akzente werden herausgearbeitet. Diese orientieren sich nicht in jedem Fall strikt an einer konstanten Fortschreibung der mittelfristigen Finanzlinie, sollen jedoch auch nicht überzogene Erwartungen wecken.

Fachprogramm Kommunikation



# 1. Fachprogramm Kommunikation

## 1.1 Bedeutung des Programms, internationaler Kontext

Die Satellitenkommunikation ist von allen Raumfahrtanwendungen mit Abstand der kommerziell erfolgreichste Sektor mit weltweiten Umsätzen von 34,5 Milliarden US\$ im Jahr 2000. Dabei erzielt die Vermarktung der Endgeräte und Dienstleistungen, bei zunehmender Nachfrage nach breitbandigen Kommunikations-Dienstleistungen, die höchste Wertschöpfung. Darüber hinaus existiert der „klassische“ Markt der Broadcast-Dienste im TV-Bereich auf einem hohen kommerziellen Niveau.

Zwar konkurriert die satellitengestützte Informationsinfrastruktur mit Glasfaserverbindungen und terrestrischen Mobilfunknetzen, wird diese aber - wie schon heute in der Fernsehsignalverteilung - in Zukunft als unverzichtbares Element sinnvoll ergänzen. In Ballungszentren erhält die terrestrische Infrastruktur den Vorzug, Satelliten sind dagegen für die großflächige Informationsverteilung von Vorteil. Besonders in den Bereichen Multimedia, Internetanbindung und in strukturschwachen Gebieten auch bei den Mobilfunksystemen der 3. und 4. Generation werden zukünftige Satellitensysteme maßgeblich zur Entlastung der terrestrischen Netze beitragen und darüber hinaus eine globale Verfügbarkeit von Informationen, Daten und Diensten ermöglichen. Um ausreichende Kapazitäten für die dann anfallenden Datenmengen gewährleisten zu können, ist die Erschließung höherer Frequenzbereiche (Ka-Band) für eine breitbandigere Übertragung sowie die In-Orbit-Vernetzung der Satellitensysteme (SkyLan) notwendig. Die zur Zeit eingesetzten und geplanten Satellitensysteme für asynchrone und vollständige DSL (Digital Subscriber Line)-Internetverbindungen via Satellit (z.B. SES-ASTRA, EUTELSAT) verdeutlichen aber bereits heute das vorhandene Potential auch für den deutschen Markt, der über eine gute terrestrische Infrastruktur verfügt. Mit Blick auf die EU-Osterweiterung – oftmals Flächenstaaten mit schlechterer Infrastruktur – eröffnen sich weitere vielversprechende Märkte.

Neben ihrer Bedeutung für die „Global Information Infrastructure“ hat die Satellitenkommunikation auch in Krisensituationen wie z.B. Naturkatastrophen, bei Friedenssicherungsmissionen und für die Wahrung der inneren Sicherheit eine zunehmend wichtigere logistische Funktion. Die Daten- und Kommunikationsanbindung ist in Situationen, wo keine terrestrische Infrastruktur besteht oder diese zerstört wurde, unverzichtbar. Insbesondere in Entwicklungsländern spielen Satelliten eine zunehmend größere Rolle für die Aus- und Weiterbildung sowie die Grundversorgung der Bevölkerung mit Informationen.

Die gesamte Informationstechnologie-Branche erlebte im Jahr 2001 weltweit einen wirtschaftlichen Einbruch, der sich auch in den Aufträgen und Planungen der satellitengestützten Kommunikation niederschlug. So erwies sich etwa der Markteintritt von Satellitenkonstellationen (Iridium, Globalstar) als massiver Fehlschlag, der den Investoren erhebliche Verluste bescherte und das Vertrauen in die Rentabilität von Konstellationssystemen im LEO/MEO-Orbit nachhaltig geschwächt hat. Für den Erfolg zukünftiger Konstellationen wird entscheidend sein, dass deren inhärente Vorteile (z. B. die Abdeckung höherer Breitengrade etwa für Luftfahrtanwendungen) konsequent genutzt, die Systemkosten drastisch reduziert und die Systeme in die terrestrische Infrastruktur integriert werden.

Der konjunkturelle Einbruch auf dem Kommunikationsmarkt, der 2002 begann, und die damit einhergehende Zurückhaltung potenzieller Investoren berührt das gesamte Satellitengeschäft, auch das Marktsegment der geostationären Satelliten und Dienste. Der unausweichliche Konzentrationsprozess in dieser Branche macht es wahrscheinlich, dass in wenigen Jahren statt bisher drei Satellitenherstellern in Europa (Alenia, Alcatel und Astrium) lediglich einer vertreten sein wird, der einem oder zwei amerikanischen Konkurrenten gegenübersteht. Dies muss mit einer strategischen Weichenstellung einhergehen: Einem politisch in Europa fest verankerten autonomen Zugang zum All sollen gleichermaßen europäische Fähigkeiten in der Satellitentechnologie gegenüberstehen. Deutsche Raumfahrtfirmen müssen dabei auch weiterhin mit signifikanten und technologisch hochwertigen Anteilen in eine europäische Satelliten-Industrie eingebunden sein und eine global wettbewerbsfähige Rolle spielen.

Trotz der derzeitigen Marktschwäche in der gesamten Kommunikations- und IT-Branche und der Konsolidierung der Industrie ist das Wachstumspotenzial für die Satellitenkommunikation beträchtlich. In 2001 erstellte Marktprognosen sind weiterhin als realistisch einzustufen, bei allerdings gestreckter Zeitachse. Demzufolge wird erwartet, dass bis 2010 der Anteil an Internet-Diensten via Satellite von 5 auf 18 Prozent steigen, während der reine Datenverkehr von momentan 40 auf 20 Prozent sinken wird. Die Entwicklung von dedizierten Ka-Band Systemen wird sich daher verzögern, da die zu erwartenden Kapazitätswolumina, u.a. durch den Einsatz von Datenkompressionstechniken, von Ku-Band Systemen abgedeckt werden können. Entgegen dem Markttrend steigt die Nachfrage nach militärischer Satellitenkommunikation in Europa zur Zeit stark an. Dabei werden zunehmend komplette end-to-end Dienstleistungen von der Industrie gefordert.

## **1.2 Gegenwärtiger Status, laufende Projekte**

Das Kommunikationsprogramm wird in drei unterschiedlichen Programmelementen durchgeführt.

Das *Nationale Förderprogramm*, obwohl etwas niedriger dotiert als das ESA-Programm, ist die zentrale Komponente des Kommunikationsprogramms, da hier alle Entwicklungen, die im internationalen Wettbewerb durchgeführt werden, unterstützt werden können. Das Technologieprogramm ARTES (Advanced Research in Telecommunication Systems) im *ESA-Programm* unterstützt und ergänzt die Aktivitäten komplementär zum nationalen Förderprogramm und fördert insbesondere die Konsortialfähigkeit der deutschen Industrie für den außereuropäischen Wettbewerb. Das *DLR-interne Forschungs- und Entwicklungs-Programm* ist der Bearbeitung wissenschaftlicher Fragestellungen der Satellitenkommunikation gewidmet. Es zielt dabei auf eine Unterstützung der Industrie im vorwettbewerblichen und grundlagenorientierten Bereich. Diese Bedarfsorientierung mit Ausrichtung auf Schrittmacher- und Schlüsseltechnologien hat sich bewährt und wird fortgeführt.

### *Nationales Förderprogramm*

Das nationale Förderprogramm wird in Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten und Industriefirmen – bei letzteren auf Basis einer Eigenbeteiligung – durchgeführt, wobei Kooperationen zwischen Industrie und Forschung angestrebt werden. Es ist aktuell in sechs Programmlinien unterteilt:

#### a) Satellitennetze – Grundlagen

Diese Linie dient der Analyse langfristiger Trends und der Vorbereitung künftiger Entwicklungslinien. Dementsprechend werden hier vornehmlich Studien und Untersuchungen durchgeführt, welche die Rolle von Satellitensystemen – in Abgrenzung zu terrestrischen Glasfaser- und Mobilfunknetzen – bei der Bereitstellung fixer und mobiler Dienste beleuchten. Aktuell steht die technische und wirtschaftliche Bedeutung nicht-geostationärer Satellitensysteme für die Verteilung von Breitbanddiensten im Vordergrund.

#### b) Nutzlastgeräte und Antennen-Flughardware

Diese Programmlinie stellt das Rückgrat des Fachprogramms Kommunikation dar. Es beinhaltet die industriellen Entwicklungen der klassischen Nutzlastgeräte, insbesondere im C- und Ku-Frequenzband: Verstärker, Filter, Schalter, Multiplexer, aktive und passive Antennen mit denen sich die deutsche Industrie erfolgreich am Markt etablieren konnte. Bei einigen Nutzlastgeräten wird im internationalen Wettbewerb von den deutschen Firmen der erste oder zweite Platz am Weltmarkt eingenommen. Diese erreichte Position gilt es zu sichern und weiter auszubauen.

#### c) Multimedia

Ziel dieses Programmteils ist die Stärkung der deutschen Industrie in Ihrer Rolle als führende Komponenten- und Systemlieferanten und damit als potenzielle Systempartner in Satellitensystemen

für breitbandige Multimedia-Dienste, vornehmlich im Ka-Band. Das zentrale Element ist dabei COMED (Constellations and Multimedia Programme). In COMED-Phase 1 werden die Technologien für Konstellationsprogramme entwickelt und sollen nachfolgend im Weltraum demonstriert werden. Hierbei wird ein breites Spektrum an Bustechnologien (Solargeneratoren, AODS-Systeme, Serienfertigungskonzepte) und Nutzlasttechnologien (Ka-Band-Verstärker, On-Board-Processing-Komponenten, Bauteilekonzepte) abgedeckt.

#### d) Optische Kommunikation

Für den Aufbau von Satellitenkonstellationen mit Inter Satellite Links, aber auch für die Vernetzung von GEO-Satelliten für eine effizientere Nutzung von Orbitpositionen – stellt die optische Kommunikation mit Laserterminals eine höchst attraktive Technologie dar. Optische Verbindungen bieten eminente Vorteile (hohe Datenraten, geringe Stöempfindlichkeit, keine Frequenzkoordination), aufgrund derer sie auch in der Satellitennavigation oder in Erdbeobachtungs-Konstellationen mit Kleinsatelliten zum Einsatz kommen könnten. Durch ein groß angelegtes Förderprogramm haben deutsche Firmen eine weltweite Führungsposition bei der Entwicklung kleiner und leistungsfähiger Laser Communication Terminals (LCTs) eingenommen. Vordringlich ist nun die frühzeitige In-Orbit-Verifikation (IOV) dieser Terminals, um potenzielle Kunden von der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit dieser innovativen Technologie zu überzeugen. Gegenwärtig werden verschiedene Szenarien für eine IOV sowohl der LCT- als auch der COMED-Technologien untersucht.

#### e) Bodengeräte

Ziel dieser noch recht jungen Linie ist die Erhöhung des deutschen Anteils in diesem umsatzkräftigen Segment in der Wertschöpfungskette der Satellitenkommunikation. Deutsche Firmen verfügen bereits in speziellen Nischen über eine gute Marktposition (INMARSAT-Terminals, Pager). Diese soll aber für den Endgerätemarkt im Multimediabereich, wo bereits Nachfrage besteht, deutlich ausgebaut und verstärkt werden. Daher ist ein signifikanter Aufwuchs dieser Linie vorgesehen. Ein wichtiges Vorhaben ist SANTANA (Smart Antenna Terminal). Hier soll der technologische Grundstein für eine voll ausgebaute aktive Terminal-Antenne mit der Fähigkeit zum Digital Beam Forming im Ka-Band gelegt werden. Ziel ist der Aufbau eines hochintegrierten Moduls mit mindestens 3 x 3 Antennenelementen inklusive zugehöriger Sende- und Empfängerschaltungen und digitaler Signalverarbeitung. Dieser Technologiedemonstrator vereint als Sub-Einheit eines Terminals bereits viele der technischen Eigenschaften, die eine Terminalantenne auszeichnet.

#### f) Bustechnologien für MEO-Kommunikationssatelliten

Neu eingerichtet wurde eine Programmlinie, die der Entwicklung von generischen Plattformtechnologien für nicht-geostationäre Satelliten gewidmet ist. Nach dem Verlust der Systemfähigkeit für GEO-Satelliten in Deutschland soll hiermit die Systemfähigkeit für MEO-Konstellationen in Deutschland aufgebaut und verankert werden.

Für den Zeitraum 2002 – 2006 stehen dem Gesamt-Programm 59 Mio. € zur Verfügung. Für die größeren Projekte, die in den verschiedenen Programmlinien realisiert werden, sind im folgenden Laufzeiten und Kosten angegeben.

Projekt	Laufzeit	Kosten (Mio. €)
Optische Kommunikation	2001 – 2005	25
COMED	2001 – 2004	18
Multimedia	2001 – 2005	14
Antennentechnologie (Santana)	2001- 2005	3

## ESA-Programm ARTES

Das ARTES-Programm (Advanced Research in Telecommunications Systems) soll der Aufrechterhaltung und Verbesserung der Kapazität und Wettbewerbsfähigkeit der Industrie der Teilnehmerstaaten auf dem Weltmarkt für Satellitenkommunikation dienen. Es besteht aus mehreren Programnteilen, von denen jeder innerhalb eines gesonderten Finanzteilrahmens finanziert wird. Deutschland beteiligt sich an den Elementen:

- ARTES-1: Vorstudien und Untersuchungen
- ARTES-3: Multimedia-Satelliten
- ARTES-5: Innovative Systeme und Telekommunikationsgeräte
- ARTES-8: Große Satellitenplattform

ARTES-1 ist das Strategie- und Studienprogramm der ESA. Es hat die Funktion eines Einstiegsprogramms für die Satellitenkommunikation. Inhalt ist die Durchführung von Missions-, System- und allgemeinen Konfigurationsstudien, um neue Programmaktivitäten vorzubereiten, sowie von Standardisierungsaktivitäten.

Mit ARTES-3 versucht Europa Anschluss an die Ka-Band-Technologie zu finden und den in den nächsten drei Jahren auf den Weltmarkt – auch nach Europa – drängenden amerikanischen Systemen eigene Systeme entgegenzusetzen. In einem wachsenden Markt für Internetdienste hat die Ka-Band-Technologie eine strategische Bedeutung für Europa, vergleichbar mit einem eigenen Satellitennavigations- oder einem eigenen Trägersystem. Wesentliches Kennzeichen ist die 50%ige Eigenbeteiligung der Industrie.

ARTES-5 ist das zentrale ESA-Technologieprogramm für satellitengestützte Telekommunikation. Es beinhaltet die fortlaufende Entwicklung von Subsystemen und Komponenten für kommerzielle Anwendungen. Übergeordnete Zielsetzung ist, die technologische Kompetenz der europäischen Raumfahrtindustrie in Themenbereichen mit hohen Markterwartungen zu stärken.

Der Programnteil ARTES-8 soll sicherstellen, dass die europäische Industrie auf dem Weltmarkt für Nachrichtensatelliten der Leistungsklasse oberhalb von 12 KW wettbewerbsfähig wird. Untersuchungen über die Marktentwicklung im Bereich der Satellitenkommunikation haben gezeigt, dass zur Deckung des Bedarfs der Betreiber zukünftig größere Plattformen benötigt werden. Plattformen dieser Leistungsklasse setzen die Entwicklung verschiedenster innovativer Technologien voraus. Das Programm schließt außerdem die Entwicklung von ausgewählten Nutzlasten sowie des entsprechenden Bodensegments samt präoperationellem Betrieb mit ein. Die Beschaffung und der Start eines flugfähigen Prototyps garantiert eine In-Orbit-Verifikation der entwickelten Technologien und sichert damit die Wettbewerbschancen der europäischen und kanadischen Industrie in diesem Marktsegment.

Die Entwicklung der Plattform wird in enger Zusammenarbeit zwischen dem CNES und der ESA durchgeführt und wurde über eine nationale französische Förderung bereits eingeleitet. Für die Entwicklung der Nutzlasten und des Bodensegments sowie den Betrieb und die Missionsdurchführung haben bereits mehrere Mitgliedsstaaten ihr Interesse bekundet. Neben der Entwicklung generischer Technologien für die Plattform selbst, können deutsche Firmen insbesondere im Bereich der Payload-Entwicklung und des Bodensegments ihre Industriekompetenz einbringen und somit ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern.

Auf der ESA-Ministerratstagung im November 2001 in Edinburgh wurde eine neue Priorität im ESA-Rahmen mit der deutlichen Verstärkung der deutschen Beteiligung an der Entwicklung von Multi-mediasatelliten gesetzt. Dieses Gebiet dürfte sich in den kommenden Jahren zu einem bedeutenden Geschäftsfeld für die Telekommunikationsindustrie in Europa entwickeln. Deutschland hat die ARTES-Programme für den Zeitraum 2002-2006 mit einem Budget von 75,8 Mio. € gezeichnet, die sich wie folgt aufteilen (in Klammern: D-Anteil am Gesamtprogramm):

Element	D-Kosten (in Mio €)	D-Anteil	Laufzeit
ARTES 1:	3,7	(7,4 %)	2002- 2006
ARTES 3:	53,0	(11,4 %)	2002 - 2006
ARTES 5:	14,5	(3,92 %)	2002 - 2006
ARTES 8:	4,6	(0,92 %)	2002 – 2006

Ein zusätzlicher Faktor für zukünftige Erfolge in der Kommunikation ist der Kooperationsansatz zwischen ESA und Europäischer Kommission. Die EU gibt in ihrem sechsten Forschungsrahmenprogramm weitere Impulse für die generellen Anforderungen der Informationsgesellschaft. Das Satellitenkommunikations-Budget, als Element des thematischen Programms Luft- und Raumfahrt beträgt darin 35 Mio. € für den Zeitraum 2002-2006 und unterstützt drei technologische Gebiete:

- Interoperabilität von Netzwerk und Dienst
  - Ziel ist die nahtlose Integration der Satellitenkommunikationsstrukturen mit terrestrischen Systemen.
- End-to-End Satellitenkommunikationssysteme
  - Ziel ist die Integration und Validierung von innovativen und kostengünstigen Technologien und Systemen, bei der die Satellitenkommunikation einen potenziellen Vorteil gegenüber terrestrischen Infrastrukturen haben.
- Konvergenz und Integration der Satellitenkommunikation mit anderen Anwendungen im Weltraum
  - Ziel ist die Integration der Satellitenkommunikationskapazitäten mit den GALILEO- und GMES-Infrastrukturen und die Entwicklung optimierter Architekturen und Technologien durch die Kopplung unterschiedlicher Satellitendienste.

#### *DLR-internes FuE-Programm*

Komplementär zu den Aufgaben der Industrie bearbeitet das DLR wissenschaftliche Fragen der Satellitenkommunikation: Entwicklung von Verfahren und Protokollen sowie die Untersuchung von Netzaspekten, insbesondere zur Integration von Satellitenkommunikationssystemen in die globale Kommunikations-Infrastruktur.

Bei der Zusammenarbeit mit terrestrischen Breitbandnetzen sehen sich Satellitennetze Herausforderungen bezüglich Dienstkosten, Kapazität, Skalierbarkeit und Flexibilität ausgesetzt. Dies erfordert eine ständige Weiterentwicklung von Verfahren und Protokollen und die Schaffung einheitlicher Standards.

Ziel ist daher die Entwicklung von Konzepten und Protokollen für das Raumsegment breitbandiger Satellitennetze. Dies umfasst die Entwicklung eines durchgängigen MPLS-basierten (MultiProtocol Label Switching) Datentransfersystems für breitbandige GEO- und MEO-Satellitenkonstellationen. Durchgehend optische Transportnetze ermöglichen den Aufbau eines höchstratigen weltweiten Backbone-Netzes für ein leistungsfähiges „Internet-in-the-Sky“.

Ein weiteres Interesse gilt der Entwicklung von Verfahren und Protokollen für die Anbindung mobiler Teilnehmer an breitbandige Satellitennetze. Dies umfasst die Entwicklung von Tools für ein integrales Systemdesign aeronautischer Satellitensysteme und die Entwicklung von Verfahren für die Anbindung landmobiler Teilnehmer (Vielfachzugriff, Multicast). Primäre Anwendungen der aeronautischen Satellitenkommunikation sind live TV-Broadcastdienste, Internetdienste, GSM/UMTS-Anbindung, Flugsicherung/Air Traffic Control. Auf der Basis von Flugverkehrs- und Marktda-

ten sollen verschiedene Satellitenkonstellationen im Design verglichen, Anforderungen an das Antennendesign definiert und eine Kapazitätsdimensionierung für das Netz durchgeführt werden.

Der Einsatz aktiver Antennen mit relativ hohem Gewinn, verbunden mit intelligenter Strahlformung wird die Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit und Messgenauigkeit zukünftiger (kombinierter) Navigations-, Kommunikations- und Erderkundungssysteme entscheidend verbessern. Die Realisierung von mehreren unabhängig voneinander steuerbaren Antennenkeulen kann mit Hilfe der digitalen Strahlformung elegant gelöst werden. Sie verbinden die Eigenschaften einer Mehrkeulenantenne mit den Vorteilen der bewährten Phased-Array-Technologie, jedoch ohne aufwendige Architekturen und elektronisch gesteuerte Hochfrequenzkomponenten. Den Schlüssel hierzu bildet die verteilte Signalverarbeitung mittels Mikroprozessoren. Intelligente Antenne und Signalempfänger verschmelzen zu einer integrierten Einheit. Diese Technologie soll bis 2007 so weit entwickelt werden, dass ihr Einsatz auf operationellen mobilen Plattformen möglich wird.

Für die Aktivitäten im DLR FuE-Programm stehen im Zeitraum 2002-2006 dem Bereich Kommunikation 17,6 Mio. € zur Verfügung.

### **1.3 Operative Ziele, Meilensteine**

#### *Nationales Programm*

Die Entwicklung der optischen Laserterminals (LCTs) hat in Deutschland einen technischen Stand erreicht, der insbesondere im Hinblick auf die Verfügbarkeit eines raumfahrttauglichen Lasers weltweit eine Spitzenposition markiert. Die Vorteile von Inter Satellite Links sind am Markt prinzipiell akzeptiert, nach den erfolgreichen Experimenten mit der optischen SILEX-Nutzlast auf ARTEMIS ist das Interesse an optischer Datenübertragung stark gestiegen. Was fehlt, ist die In-Orbit-Demonstration der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von LCTs. Vordringlich ist daher die Bereitstellung einer Flug Gelegenheit für die LCTs. Das erste von insgesamt 2 flugtauglichen LCTs soll Ende 2004 auf dem Erderkundungssatelliten TerraSAR integriert und die notwendige Demonstration zunächst als Space-to-Ground-Experiment geplant und ausgeführt werden. In einem solchen Experiment sind alle wesentlichen und kritischen Aspekte eines Inter-Satellite-Links (z.B. Orbitvorhersage, Relativbewegungen, Dopplervershift, Störungen) mit einem reinen Satellite-to-Satellite-Szenario vergleichbar. Zusätzlich können aber die atmosphärischen Einflüsse auf kohärente Übertragungsverfahren untersucht werden – ein Thema, das nicht nur von wissenschaftlichem Interesse ist, sondern insbesondere für die Entwicklung terrestrischer und luftfahrttechnischer Kommunikationsanbindungen via Laserterminals genutzt werden wird. Parallel zu dieser Planung stehen weitere Demonstrationsplattformen zur Diskussion, beispielsweise der GEO-Multimedia-Satellit „Ka-Sat“ der ESA (Weiterführung EuroSkyWay bzw. West/Web), das ebenfalls über die ESA verfolgte „Geodem“-Konzept, das auf die Entwicklung bzw. Nutzung kostengünstiger Plattformen für Technologiedemonstrationen abzielt, sowie kommerzielle und institutionelle Satelliten in den USA.

Nach wie vor ist auch eine In-Orbit-Verifikation ausgewählter Technologieentwicklungen – wenn dies für ihre kommerzielle Verwertung notwendig ist – aus der COMED-Phase 1 geplant. Idealerweise sollte sie zusammen mit der LCT-IOV erfolgen, denkbar ist aber auch die Nutzung anderer Flug Gelegenheiten.

Die neu eingerichtete Programmlinie zur Technologieentwicklung für nicht-geostationäre Plattformen soll die Konkurrenzfähigkeit der deutschen Satellitenindustrie in Konstellationsprogrammen stärken und mittelfristig in den Vorhaben „New Teledesic“ und dem Navigationssystem Galileo zur Anwendung kommen. Hier wird es darauf ankommen, in technologischer Hinsicht flexibel auf die Anforderungen der avisierten Systeme zu reagieren und darüber hinaus die deutschen Industrieinteressen auch politisch zu stützen.

In Anbetracht der mittelfristig deutlich gedämpften Umsatzerwartungen der Satellitenindustrie und der damit verbundenen höheren wirtschaftlichen Risiken bis zum Markteintritt für innovative Technologien sollte die bisher strikt geforderte 50%-Eigenbeteiligung der Industrie im Einzelfall überdacht

werden, insbesondere bei der Durchführung von In-Orbit-Demonstrationsexperimenten für LCT & COMED.

Darüber hinaus ist im Anwendungsbereich eine enge Abstimmung mit relevanten nationalen Förderprogrammen sowie dem 6. Forschungsrahmenprogramm der EU anzustreben.

### *ESA-Programm*

Die Schwerpunkte im ARTES-Programm werden im Wesentlichen komplementär zum nationalen Förderprogramm definiert. Mit den zur Verfügung stehenden Mitteln im ARTES-1-Programm werden von deutscher Seite in erster Linie Studien für die Bereiche Technologie, Marktentwicklung sowie Standardisierungs-Initiativen/Aktivitäten unterstützt. Das Multimediaprogramm ARTES-3 bildet z.Z. den Hauptschwerpunkt innerhalb der deutschen ESA-Kommunikationsaktivitäten. Die in Themenbereiche zusammengefassten Projektvorschläge dieses Programms stammen direkt von der europäischen Industrie. Die marktnahe Produktentwicklung mit kommerziellem Fokus und die internationale Kooperationsbereitschaft werden durch dieses Programm unterstützt. Die Bereiche Mobilfunk (z.B. S-UMTS), Air Traffic Management, Tele-Medizin, Tele-Education, Network-Management, Security, Low Cost Equipment, High Power Equipment und High-End Multimedia Applications genießen hier Vorrang. Darüber hinaus ist die deutsche Beteiligung an der Entwicklung der Multimediasysteme West/Web und EuroSkyWay von fundamentaler Bedeutung, auch wenn zum jetzigen Planungstand, aufgrund der bereits angesprochenen Zurückhaltung bei Investoren und Satellitenbetreibern, diese Systeme nur als Mitfluggelegenheiten (piggy-back) realisiert werden können. Die kommerzielle Ausrichtung der unterstützten Projekte hat in diesem, zu 50% geförderten, Programm absolute Priorität. Vorhaben aus den Bereichen Antennentechnologie, aktive Mikrowellengeräte, Multimedia- und Netzwerksysteme sowie die Applikationsentwicklung zeigen die kommerziellen Einsatzgebiete der deutschen Industrie.

Im Gegensatz dazu sind 100%ige Förderungen von innovativen Technologien innerhalb des ARTES-5-Programms für die deutsche Industrie ebenso unerlässlich. Hier werden, in Fortführung der Aktivitäten in ARTES-1, innovative Netzwerktechnologien und -managementsysteme, Codierungsverfahren und Protokollentwicklungen im Rahmen von Demonstratoren bearbeitet. Die (Weiter-)Entwicklung von Flug- und Bodenhardware nimmt naturgemäß einen breiten Raum für die Projektförderung ein, um der deutschen Industrie die notwendige Kompetenz in den Bereichen Multi-Beam Antennen, On-Board Processing, Sende- und Empfangselektronik und Terminalentwicklung im End-User Segment zu sichern. In diesem Zusammenhang hat die In-Orbit-Verifikation der entwickelten Komponenten einen besonders hohen Stellenwert. Diese Verifikationsgelegenheiten sollen auch für die national geförderten Themen zur Verfügung stehen.

Obwohl die Gesamtzeichnung der ARTES-Programme aufgewertet wurde, ist die aktuelle Beteiligung im ARTES-8-Programm nicht ausreichend, um der deutschen Industrie eine frühzeitige Mitgestaltung der Programminhalte sowie die Besetzung strategisch wichtiger Positionen im Rahmen der geplanten internationalen Zusammenarbeit ermöglichen zu können. Von größter Bedeutung ist dabei die Teilnahme an plattform-relevanten Entwicklungen, an Nutzlastentwicklungen sowie die Rolle im Bodensegment. Ein deutsches Interesse in diesen Bereichen muss allerdings auch mit entsprechenden Budgets hinterlegt werden, um wichtige Themen wie zum Beispiel Solargeneratoren, Lageregelungssysteme oder elektrische Treibwerke in angemessener Form in die Entwicklung der grossen Plattform einbringen zu können. Diese Technologien sind als generisch zu betrachten und auch unabhängig vom Erfolg des ARTES-8 Programms mit entsprechender Priorität zu belegen.

## **1.4 Langfristige Zielsetzung**

### *Strategische Ziele*

Trotz ihrer Marktreife ist die Satellitenkommunikation eine immer noch sehr forschungsintensive Technologie. Weltweit werden in Programmen der öffentlichen Hand Satellitentechnologien und

Übertragungsverfahren gefördert, deren zukünftiges kommerzielles Potenzial heute nicht abschließend bewertet werden kann. Im Einklang mit der Zielsetzung des deutschen Raumfahrtprogramms, nämlich den Weltraum für Wissenschaft und Wirtschaft zu erschließen, zielen ESA-Programm und nationale Förderung im Bereich Satellitenkommunikation auf die erfolgreiche Beteiligung deutscher Firmen in der gesamten Wertschöpfungskette, bestehend aus Gesamtsystem, Satellitennutzlast, -Bus, Endgeräten und Dienstleistungen. In den Bereichen Nutzlast und Applikationen soll der derzeitige Weltmarktanteil deutlich gesteigert werden und die deutsche Industrie in der Rolle eines Lieferanten von Satelliten-Kernkomponenten (Systempartner) und Diensteanbieters gestärkt werden. Darüber hinaus ist der Erhalt der Systemkompetenz für wesentliche Subsysteme und für Konstellationen ein wichtiges Ziel.

Gerade in Zeiten des Markteinbruchs kommt den FuE-Programmen aber gesteigerte Bedeutung zu, da mit den freien Industriekapazitäten anti-zyklisch neue Produkte für den wiederanziehenden Markt vorbereitet werden können.

Strategisches Ziel der Förderung in der Satellitenkommunikation ist die Stärkung dieses Wirtschaftszweigs, im primären- aber auch angegliederten Märkten, sowie der Erhalt der deutschen und europäischen Technologiekompetenz. Jedoch ist diese Zielsetzung gerade im Bereich der Satellitenkommunikation ein schwieriges Unterfangen – wie uns die unvorhergesehenen Marktentwicklungen der jüngsten Vergangenheit eindrucksvoll gezeigt haben. In Konkurrenz zu zukünftigen terrestrischen Infrastrukturen, mit Systemen, die bei Bedarf die benötigten Netze intelligent neu konfigurieren können, ist die Identifikation der notwendigen Technologien für Satellitennetze langfristig gesehen fast unmöglich. Zielrichtung muss es, sowohl aus technologischer, aber auch aus logistischer Sicht sein, die Satellitenkommunikation zu einem integralen Bestandteil dieser hochentwickelten terrestrischen Infrastruktur zu machen. Für die Akzeptanz solcher Satellitendienste müssen die Bereitstellungskosten für Inhalte und Kapazitäten um Faktoren gegenüber dem heutigen Niveau fallen. Für die nahtlose Integration in bestehende Netzwerke wird außerdem die sogenannte Point-to-Point-Verbindung immer wichtiger werden, und die Entwicklung der notwendigen Technologien muss Vorrang vor den klassischen Broadcast-Technologien haben. Die Satellitensysteme der nächsten Generation müssen den Kapazitätsanforderungen durch entsprechende Entwicklungen im Ku-, Ka- und V-Band, On-Board-Processing, Coding sowie im Bereich von Netzwerkmanagement, Clustering und damit verbunden Inter-Satellite-Links gerecht werden. Gerade diese Themen sollen prioritär im ESA- und im nationalen Programm vorangetrieben werden, obwohl die Multicast- und Broadcast-Anwendungen weiterhin ein Rückgrad dieser Branche sein werden. Darüber hinaus muss Deutschland die Chancen im Rahmen der Large Platform Mission (ARTES-8) nutzen und seine Beteiligung möglichst ausbauen. Vorrangig werden hier die Bereiche der Solargeneratoren, der Lageregelung, der Antriebe, aber auch die Entwicklung der multimedialen Nutzlast erachtet.

Im Verbund mit Marktanalysen und dem Feedback seitens der deutschen Industrie und Wissenschaft können grob strategische Ziele aus technologischer Sicht für einen längeren Zeitraum identifiziert werden.

#### *Roadmap der nationalen und ESA-Aktivitäten*

Folgende Themen werden für die nächsten Jahre anvisiert:

- In-Orbit-Verifikation von entwickelten Technologien, beispielsweise im Rahmen der LCT & COMED-Programme
- Definition eines nationalen Leitprojekts
- Erhalt von Systemkompetenz für Satellitensysteme;
- Entwicklung von Multimedia-Satellitensystemen:
  - Bereitstellung von mobilen und breitbandigen Internet- und Multimediadiensten;

- deutsche Beteiligung an den Ka-Sat Systemen der ESA (EuroSkyWay, West/WEB);
- Plattformentwicklungen entsprechend den Anforderungen der Multimedia-Nutzlasten über ARTES-8.
- Entwicklung von Satellitenkomponenten:
  - On-Board-Processing-Technologie;
  - Rekonfigurierbare Multibeam-Antennen;
  - Kodierungs- und Modulationsverfahren;
  - Ka-Band und V-Band-Technologien;
  - Aufbau von intelligenten Netzwerktechnologien und –konzepten, Implementierung von Inter Satellite Links.
- Entwicklung von Komponenten für das Bodensegment:
  - Integration von terrestrischer und satellitengestützter Infrastruktur und Erweiterung des Dienstangebots (Mobilfunk, Digitales Fernsehen, Digital Rundfunk, Software Defined Radio, etc.);
  - Intelligente Cache-Verfahren für die Übertragung von Internet- und Videoinhalten;
  - Unterstützung von Standardisierungs-Initiativen.

### *Nationale und globale Trends*

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es auch weiterhin die vorrangige Aufgabe sein wird, risikobehaftete Technologieentwicklungen, sowohl im Raum- als auch im Bodensegment, zu fördern. Besonderes Augenmerk verdient darüber hinaus die Applikationsentwicklung, die mit ihren Diensten erst die Akzeptanz und die Marktrelevanz für die entwickelten Systeme herbeiführen wird.

Das Zusammenwachsen von Erdbeobachtungs-, Navigations- und Kommunikationsdiensten wird den Nutzer vom Leistungspotenzial der Satellitentechnologie überzeugen und so langfristig den kommerziellen Markt sichern.

Die Komplementarität des nationalen Programms und des ESA-Programms ermöglicht einen sinnvollen Einsatz der zur Verfügung stehenden Mittel mit den Zielen:

Nationales Programm (inkl. DLR internes FuE-Programm):

- Stärken erhalten und ausbauen!  
(beispielsweise Antennen, Avionik, elektrische Antriebe, Drallräder, Mikrowellenverstärker, Filter, Mikrowellenschalter, Multiplexer, Solargeneratoren)

ESA-Programm:

- Stärkung durch Kooperation im europäischen und globalen Umfeld;
- Internationale Präsenz als Marketingelement;
- Chancen nutzen zur Vergrößerung der Marktanteile in der gesamten Wertschöpfungskette.

Hauptziel der Förderpolitik - national oder europäisch - ist es langfristig, die Abhängigkeit der industriellen FuE-Aktivitäten von staatlichen Mitteln zu mindern. Die Schaffung einer „flight heritage“ als Voraussetzung für den Marktzugang neu entwickelter Technologien, Produkte oder Dienste übersteigt jedoch in vielen Fällen die Eigenfinanzierungsmöglichkeiten der Firmen. Darüber hinaus

werden für marktferne oder technologisch risikobehaftete Entwicklungen weiterhin staatliche Unterstützung notwendig sein, ggf. sogar über die derzeit üblichen Förderquoten hinaus. Hier ist nach wie vor staatliche Unterstützung notwendig.

Um die deutsche Raumfahrt-Industrie erfolgreich unterstützen zu können und deutsche Kompetenzen für den internationalen Markt weiter auszubauen, ist eine Bündelung der Interessen aus dem primären, dem sekundären und dem tertiären Segment notwendig. Darüber hinaus wird die Zusammenarbeit mit Frequenzregulierungsinstitutionen und mit internationalen Standardisierungsgremien an Bedeutung zunehmen. Die erfolgreiche Entwicklung des europäischen DVB-Standards, der mittlerweile weltweit eingesetzt wird, ist hierfür ein gutes Beispiel. Der Aufbau einer Community unter Einbeziehung der öffentlichen Institutionen (Agenturen, Bundesressorts, ESA, EU, Gremien) und die Förderung von Kooperationen der Firmen untereinander ist daher ein vordringliches Ziel.

# Fachprogramm Navigation



## 2. Fachprogramm Navigation

### 2.1 Bedeutung des Programms, internationaler Kontext

Die satellitengestützte Navigation stellt eine Technologie der mobilen Informationsgesellschaft dar, die durch die rasch anwachsende Zahl von Anwendungsfeldern einen zunehmend größer werdenden Stellenwert erlangt und gleichzeitig ein enormes Marktpotenzial verspricht.

Die beiden existierenden Satellitennavigationssysteme GPS (USA) und GLONASS (Russland) stehen unter militärischer Kontrolle und waren ursprünglich für die rein militärische Nutzung konzipiert. Inzwischen nutzen weltweit mehr als 100 Millionen Menschen die GPS-Satelliten zur Positionsbestimmung.

Die weltweiten Erträge durch den Verkauf von GPS-Ausrüstung betragen nach US-Angaben in 2000 ca. 8 Mrd. US\$, wobei mehr als 50% der GPS-Geräte von amerikanischen Herstellerfirmen vertrieben wurden. Für 2002 wird ein Anstieg auf etwa 12 Mrd. US\$ prognostiziert und für 2003 werden bereits 16 Mrd. US\$ erwartet.

Der Umfang des europäischen Marktes für Satellitennavigation wird auf ca. 1 Mrd. € für 1999 beziffert (davon 70% aus dem Marktsegment Fahrzeugnavigation), Schätzungen für 2005 ergeben etwa 6 Mrd. €. Laut Angaben der Europäischen Kommission (EK) hat die europäische Industrie bisher (in 2001) nur einen Anteil von 5% am heutigen Weltmarkt für Navigationsgeräte, der Anteil am europäischen Markt selber beträgt ca. 15%. Insgesamt wird das globale Marktvolumen für den Verkauf von Empfängern und angebotenen Dienstleistungen auf 40 Mrd. € in 2005 geschätzt. Der Bau des europäischen Satellitennavigationssystems Galileo wird entsprechend den Aussagen der Kommission bis 2008 ca. 100.000 Arbeitsplätze im Bereich Empfangsgeräte und Dienstleistungen schaffen. Der Nutzeneffekt von Galileo bis 2020 wird auf 17,8 Mrd. € angesetzt.

Das auf dem amerikanischen Satellitensystem basierende Dienstleistungsangebot in Deutschland nimmt laufend zu. Es reicht vom Flottenmanagement großer Expeditionen, der logistischen Steuerung von Containern in Häfen bis zu Anwendungen in der Landwirtschaft oder bei der Deutschen Bahn AG. Auch für PKWs bieten Fahrzeughersteller zunehmend Telematik-Dienste an, die im Fahrzeug abgerufen werden können (Navigation, Notruf, Pannenhilfe, Verkehrsinformationen, Auskunftsdienste). Die in Kraftfahrzeug-Navigationssystemen eingesetzten Navigations-Chips stammen hauptsächlich aus den USA, während alle anderen Komponenten in Deutschland entwickelt werden.

Neben der Nutzung von GPS zur genauen Ortsbestimmung gewinnt auch der hochgenaue GPS-Zeitstandard an Bedeutung, der z.B. bei der Synchronisation von Telekommunikationsnetzen, bei der Messung von Energieentnahmezeiten bei den Energieversorgern oder bei der präzisen Datierung komplexer Transaktionen im Bank-, Finanz- und Versicherungswesen genutzt wird.

Wegen des amerikanischen Quasi-Monopols auf dem Feld der Satellitennavigation sind europäische Anbieter aus wesentlichen Bereichen der Wertschöpfungskette - von der Satellitentechnik bis zur Empfängertechnologie - ausgeschlossen. Gleichzeitig haben amerikanische Konkurrenten einen Vorsprung bei der Entwicklung von zivilen und militärischen Empfängern und Diensten, da sie in die kontinuierliche Weiterentwicklung der GPS-Infrastruktur eingebunden sind, lange bevor europäische Firmen Zugang zu den nötigen Informationen und Standards bekommen.

Die Satellitennavigationssysteme GPS und GLONASS haben die Einsatzmöglichkeiten der Satellitennavigation in eindrucksvoller Weise demonstriert. Jedoch sind beide Systeme auf militärische Anwendungen zugeschnitten und garantieren nicht die für sicherheitsrelevante und hoheitliche Anwendungen notwendigen Grundanforderungen nach Kontinuität, Integrität und Präzision. Dies hat sich auch mit der Abschaltung der „künstlichen Ungenauigkeit“ von GPS (Selective Availability: SA) seit dem 02. Mai 2000 nicht geändert. Insbesondere für Anwendungsbereiche mit hohen Ansprüchen an die Genauigkeit und Zuverlässigkeit, wie z.B. dem vollautomatischen Präzisionsanflug im Luftfahrtbereich, reicht die Signalqualität nach wie vor nicht aus.

Ziel der europäischen Anstrengungen in der Navigation ist daher der Aufbau eines globalen Satellitennavigationssystems unter ziviler Kontrolle mit uneingeschränkter Zulassung für alle Anwendungen, d. h. mit garantierter Genauigkeit, Verfügbarkeit und Kontinuität sowie mit Haftungsregelungen. Damit soll neben der Unabhängigkeit von national kontrollierten Systemen auch ein angemessener Anteil am wachsenden Weltmarkt der Navigationsgeräte und -anwendungen für die europäische Industrie gesichert werden.

Ein solches ziviles System eröffnet neue kommerzielle Chancen in der gesamten Wertschöpfungskette, was vor allem der europäischen Informations- und Telekommunikationsindustrie helfen würde, neue Marktsegmente und Dienstleistungen für den europäischen Binnenmarkt und darüber hinaus zu erschließen.

Erster Schritt in Richtung auf ein europäisches Navigationssystem ist der Aufbau einer zivilen, europäischen Systemerweiterung zu GPS, dem European Geostationary Navigation Overlay System. EGNOS ist eine Ergänzung zu den bereits bestehenden Systemen der USA und Russlands und wird bereits zu 30% durch zivile Nutzer (u.a. nationale Flugsicherungsorganisationen) finanziert. In einem zweiten Schritt erfolgt die Realisierung des unter ziviler Kontrolle vorgesehenen Satellitennavigationssystems Galileo (30 Satelliten in der vollen Ausbaustufe), dessen Entwicklungs- und Validierungsphase mit der positiven Entscheidung des EU-Verkehrsministerrats am 25./26. März 2002 beginnen kann.

Die zukunftsweisenden Entscheidungen zum Aufbau der Systeme EGNOS und insbesondere Galileo waren auch von verkehrspolitischen Aspekten geleitet. Galileo kann zum Schlüsselement für den Aufbau einer verkehrsträgerübergreifenden Infrastruktur in den Anwendungsbereichen Luftfahrt, Schifffahrt und Landverkehr werden und damit einen wesentlichen Beitrag zur wirksameren Nutzung der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur, zur Erhöhung der Sicherheit, zur Verringerung der Umweltbelastung und des Energieverbrauchs, sowie zur Schaffung eines integrierten Gesamtverkehrssystems in Europa leisten.

## **2.2 Gegenwärtiger Status/laufende Projekte**

### *ARTES*

Im Rahmen des ESA-Programms ARTES (Advanced Research in Telecommunication Systems) beteiligt sich Deutschland u.a. an den Elementen ARTES 5 und ARTES 9. Letzteres widmet sich den Aktivitäten auf dem Gebiet der Satellitennavigation und beinhaltet den Aufbau der zivilen Systemerweiterung EGNOS sowie Vorbereitungsarbeiten für Galileo, vor allem die Erstellung von Konzepten und die Entwicklung neuer Technologien.

ARTES Element 5 (auch genannt ASTE: Advanced Systems Telecommunications Equipment) ist das Hauptprogramm für vorbereitende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf dem Gebiet der Satelliten-Kommunikation. ARTES 5 beinhaltet aber auch Navigationsthemen (z.B. Empfängertechnologien, FuE zu Anwendungen im Transportsektor, Bahnkontrolle von Satelliten), an denen sich Deutschland ebenfalls beteiligt.

### *EGNOS*

Mit EGNOS wird in Europa eine Navigationsinfrastruktur bis 2004 aufgebaut. Die EGNOS-Bodenanlagen empfangen und verarbeiten Signale von Navigationstranspondern auf 3 geostationären Satelliten (2 Inmarsat-Einheiten und Artemis) und den Systemen der USA und Russlands, berechnen Korrekturdaten und leiten diese über die in 36.000 km Höhe befindlichen Satelliten an die Nutzer auf der Erde weiter. Dadurch wird die Positionsgenauigkeit des verfügbaren zivilen Signals (ca. 20 Meter) im europäischen Raum auf etwa  $\pm 7$  Meter verbessert, jedoch immer in Abhängigkeit von den vorhandenen Systemen als Kernelementen in diesem Szenario. Die Entwicklung von EGNOS hat Ende 1998 begonnen und wird als ESA-Programm durchgeführt. Die Finanzierung erfolgt gemeinsam durch EK und ESA, wobei sich die Gesamtkosten gegenwärtig auf ca. 325 Mio. €

belaufen. Der finanzielle Anteil der ESA, an dem sich 11 europäische Staaten, Kanada und 8 Flugsicherungsorganisationen beteiligen, umfasst ca. 247 Mio. € Hierbei beträgt der deutsche Programmanteil ca. 16% und wird durch Beiträge aus dem Bundeshaushalt und der Deutschen Flugsicherung (DFS) gedeckt, die sich von EGNOS Kostenreduktionen für die Luftfahrt verspricht. EGNOS wird getragen durch die Zusammenarbeit von EU, ESA und Eurocontrol in der sogenannten „Europäischen Dreiergruppe (ETG)“. Für den zukünftigen Betrieb von EGNOS haben die beteiligten Flugsicherungsorganisationen die Gesellschaft „European Satellite Services Provider“ (ESSP) gegründet. Ähnliche regionale Erweiterungssysteme entstehen in den USA („Wide Area Augmentation System“) und Japan („Satellite Based Augmentation System“) mit der Zielsetzung einer globalen Abdeckung und Standardisierung, damit Anwender alle drei Systeme mit einheitlichen Empfängern nutzen können.

### Galileo

Das Programm Galileo, welches auf einer Initiative der Europäischen Kommission (EK) beruht, kann eine Vorreiterrolle mit Blick auf zukünftige europäische Raumfahrtprogramme einnehmen, da es sich um das erste Großprojekt handelt, das in enger Zusammenarbeit zwischen der EK und der Europäischen Raumfahrtagentur (ESA) realisiert wird. Galileo umfasst zum einen die Entwicklung und Validierung des Raum- und Bodensegments, was als separates ESA-Programm GalileoSat aufgelegt ist. Die anderen Themen wie Dienstkonzept, öffentlich-private Partnerschaft PPP, Frequenzen, Security und Verhandlungen mit anderen Ländern liegen wesentlich im Aufgabenbereich der EK.

Die Steuerung des Galileo Projektes soll über das Galileo Joint Undertaking (GJU) erfolgen, dessen Gründungsmitglieder die Europäische Kommission und die ESA sind. Die Beteiligung von Privatinvestoren ist nicht ausgeschlossen, sofern gewährleistet ist, dass daraus keine Interessenskollisionen/Wettbewerbsverzerrung erwachsen (Anbieter auf Ausschreibungen der GJU sollten nicht gleichzeitig GJU-Mitglieder sein). Das GJU ist Sammelbecken für die öffentlichen Finanzmittel (ESA und EK) für die Entwicklungs- und Validierungsphase sowie ggf. für Mittel der Privatwirtschaft. Seine Aufgabe besteht im Management und der Durchführung der Galileo Entwicklungsphase bis Ende 2005 und in der Beauftragung der ESA für die technischen Managementarbeiten im Rahmen von GalileoSat. Des weiteren ist das GJU verantwortlich für die Sicherstellung einer finanziellen Beteiligung der Privatwirtschaft auf der Basis von Ausschreibungen für die Ausbauphase von 2006 bis 2008 und der nachfolgenden Betriebsphase. Neben den zukünftigen Strukturen für den operativen Betrieb unter privater Verwaltung ist auch eine zukünftige Europäische Agentur für Satellitennavigation, inkl. deren terrestrischen Anwendungen, mit Blick auf hoheitliche Aufgaben und Aufsicht vorzubereiten.

Nach derzeitiger Planung soll in der Entwicklungs- und Validierungsphase von Galileo im Zeitraum 2003 bis 2004 im Rahmen von GSTB (Galileo System Test Bed) eine experimentelle Galileo Nutzlast im Orbit getestet werden. In 2005 werden dann 3 bis 4 Prototypen der Galileo-Satelliten ein „In Orbit Validation and Test Programme“ durchlaufen. Parallel zu dieser Testphase beginnt bereits die Serienproduktion der restlichen Satelliten. In diesem Zeitraum müssen die endgültigen Frequenz-Zuweisungen für Radionavigation auf der WRC-2003 (WRC = World Radio Conference) erfolgen. Bis zum Jahr 2008 soll Galileo dann mit 27 Satelliten (+ 3 Ersatzsatelliten) und entsprechenden Bodensegmenten global in vollem Umfang zur Verfügung stehen und privatwirtschaftlich betrieben werden. Die USA sehen für den gleichen Zeitraum eine Erneuerung ihres Systems vor, mit besonderem Blick auf zivile Anwendungen. Dieser Zeitpunkt ist für Europa von besonderer Bedeutung, weil das erneuerte amerikanische System neue Empfänger erfordert und sich somit zu diesem Zeitpunkt für Galileo und für andere Systeme ein Marktfenster öffnet.

Hinsichtlich der Marktakzeptanz von Galileo ist auch das vorläufige Dienstkonzept zu sehen, auf dessen Basis die Ausschreibung für das GalileoSat-System erfolgt. Dieses Konzept, welches bis Ende 2003 von den Verkehrsministern endgültig zu bestätigen ist, sieht im wesentlichen folgende Dienste vor: a.) einen kostenlosen *Dienst von allgemeinem Interesse* zu Ortungs-, Navigations- und

Zeitsynchronisationszwecken, dessen Hauptanwendung im Straßenverkehr und als Zeitstandard zu sehen ist; b.) einen *kommerziellen Dienst* mit Zusatzinformationen zur Aufwertung der Produktpalette von Diensteanbietern. Dieser mit einer an den Diensteanbieter zu entrichtenden Gebühr versehene Dienst soll einer Zugangskontrolle unterliegen und ist für den professionellen Endanwender z.B. in den Bereichen Vermessungswesen, Netzsynchronisation, Flottenmanagement gedacht; c.) einen *Safety-of-Life Dienst* mit Schwerpunkt auf sicherheitskritischen Anwendungen in der Luft- und Schifffahrt sowie beim Bahnverkehr; d.) einen *Dienst von öffentlichem Interesse*, der ein Signal mit sehr hoher Genauigkeit, Qualität, Zuverlässigkeit und Integrität für hoheitliche Anwendungen bereitstellt und auch in Krisenzeiten zur Verfügung stehen soll und e.) einen Dienst für Such- und Rettungszwecke. Über die Forderung nach einer Integration von EGNOS stellt Galileo auch die Überprüfung und Verbesserung der GPS-Signale sicher, wodurch sich für die Nutzer eine hohe Verfügbarkeit und Redundanz der Signale im Gesamtsystem ergibt.

Die Kosten für die Entwicklung und Erprobung von Galileo in Höhe von 1,1Mrd. € werden je zur Hälfte von EU und ESA getragen. Die öffentlichen Gelder stammen sowohl aus EU-Programmen (Transeuropäisches Netzwerk TEN, 5. und 6. Forschungsrahmenprogramm) als auch aus den Beiträgen der ESA-Mitgliedsstaaten in das ESA-Programm GalileoSat (Gesamtvolumen 547 Mio. €).

#### *Nationales Programm / DLR FuE-Programm*

Während das europäische Satellitennavigationsprogramm auf den Aufbau der notwendigen Infrastruktur abzielt, konzentriert sich das nationale Programm sowie das DLR-interne FuE-Programm auf die Entwicklung von wichtigen Schlüsseltechnologien. Hierbei haben neben dem Galileo-Raumsegment und dem Aufbau der notwendigen Bodeninfrastruktur insbesondere der Bereich der zukünftigen Nutzerendgeräte sowie neue Anwendungsprojekte zur Verbreiterung der Nutzerbasis eine große Bedeutung. Im Rahmen des Nationalen Programms werden vor allem Demonstrationsprojekte für zukünftige Anwendungen in den Bereichen Landverkehr, Luftfahrt und Vermessungswesen gefördert, um den attraktiven Bereich der Dienstleistungen zu stimulieren.

Das DLR FuE-Programm zur Satellitennavigation ist auf den Aufbau und die Implementierung der Navigationsinfrastruktur, ihre Applikation in den Bereichen Verkehr, Infomobilität und Weltraumwetter sowie die Entwicklung innovativer Endgeräte ausgerichtet. Neben der Modellierung und Vermessung von Satellitenuhren sowie der Entwicklung von Verfahren zur Uhrensynchronisation in Navigationssatelliten stellt die Verifikation der Galileo-Signale während der Galileo Test- und Validierungsphase eine wichtige Aufgabe dar. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf dem Gebiet der aktiven Antennen, die durch intelligente Strahlformung eine drastische Verbesserung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses ermöglichen.

In der mittelfristigen Finanzplanung sind für das nationale Förderprogramm ca. 7-8 Mio. € p.a. eingestellt. Durch die Eigenbeteiligung der Industrie ist das Gesamtbudget der Maßnahmen aber höher anzusetzen.

Im Rahmen des DLR internen FuE-Programms werden pro Jahr ca. 3,5 - 4 Mio. € für Personalmittel, Sachkosten und Investitionen für Arbeiten auf dem Gebiet der Satellitennavigation eingesetzt. Wegen der wachsenden Bedeutung dieses Gebietes ist eine weitere Personalaufstockung im DLR Forschungs- und Entwicklungsbereich beschlossen worden.

Darüber hinaus ist im Anwendungsbereich eine enge Abstimmung mit relevanten nationalen Förderprogrammen sowie dem 6. Forschungsrahmenprogramm der EU anzustreben.

### **2.3 Operative Ziele, Meilensteine**

#### *EGNOS*

Die im Rahmen des Programms EGNOS durchgeführten Entwicklungsarbeiten sollen Anfang 2004 mit der Überprüfung der Betriebsbereitschaft des Systems abgeschlossen werden. Da das ESA-Programm nicht den Betrieb und die Erhaltung der entwickelten Infrastruktur einschließt, soll das

System dann an eine Betreibergesellschaft übertragen werden. Bis zum Erreichen eines vollständigen kundenfinanzierten Betriebs könnte für einen Übergangszeitraum eine zusätzliche Finanzierung notwendig werden. Nach Integration der EGNOS-Infrastruktur in Galileo könnte die geplante Betreibergesellschaft für EGNOS in die Verantwortung der künftigen Betreiberorganisation für Galileo übergehen.

### Galileo

Mit der positiven Entscheidung der EU-Verkehrsminister Ende März 2002 kann die Entwicklungs- und Validierungsphase von Galileo beginnen. Der Zeitplan für den Aufbau von Galileo gestaltet sich wie folgt:

Bis März 2002	verlängerte Definitionsphase mit Preliminary Design Review bei Beendigung
2003 bis Ende 2005 - 2003 bis 2005 - bis Ende 2005	Galileo Entwicklungs- und Validierungsphase - Phase C/D mit Critical Design Review Anfang 2004 und System Qualification Review Anfang 2005 - In-Orbit Validation mit Review
2006 bis Ende 2007	Ausbau zum operationellen System
Ab 2008	operationeller Betrieb

Die vorgesehenen Aufgaben des Galileo Joint Undertaking (GJU) sind das Management und die Durchführung der Galileo-Entwicklungs- und Validierungsphase sowie auf der Basis von Ausschreibungen eine finanzielle Beteiligung der Privatwirtschaft für die Ausbauphase (2006 bis 2007) und die sich anschließende Betriebsphase ab 2008 sicherzustellen. Weiterhin sind die Modalitäten für eine zukünftige Europäische Agentur für Satellitennavigation zu erarbeiten.

Parallel zu den genannten Aktivitäten des GJU verhandelt die Europäische Kommission mit den USA über die Frequenznutzung. Zu ihrer Unterstützung hat die Kommission im März 2001 eine „Signal Task Force“ (STF) etabliert, die aus Experten der Mitgliedsstaaten, der ESA, der Industrie sowie aus Vertretern der in den Ländern für Frequenzen zuständigen Behörden besteht (in D: Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post). Eine der Aufgaben der STF ist die Behandlung der Interoperabilität von Galileo und GPS. Vor diesem Hintergrund ist ein Frequenz- und Signal-Design für Galileo zu entwerfen, welches eine größtmögliche Leistungsfähigkeit von Galileo auch im Hinblick auf die bereitzustellenden Dienste garantiert. Andererseits ist sicherzustellen, dass die von Galileo verwendeten Signale keine unzulässigen Störungen der GPS-Signale verursachen. Hier werden Sicherheitsbelange tangiert, die begleitende Abstimmungsgespräche notwendig machen.

Auf nationaler Ebene soll die angestrebte hohe Beteiligung Deutschlands am ESA-Programm GalileoSat zu dem industriepolitischen Ziel führen, dass

die deutsche Industrie entsprechend dem finanziellen Beitrag Deutschlands am ESA-Programmteil eine Führungsrolle einnimmt. Ein weiteres Ziel ist es, dass deutsche Firmen bei der Entwicklung und dem Verkauf von Nutzerendgeräten sowie auf dem Gebiet zukünftiger Dienstleistungen, also am Ende der Wertschöpfungskette, eine bedeutende Rolle spielen. Dazu ist es notwendig, dass deutsches Know-how in wesentliche Felder bei der Auslegung des Gesamtsystems und der Beauftragung für Subsysteme wie Satelliten und Bodenanlagen sowie bei Satellitennutzlasten, Bussystemen und Nutzerendgeräten einfließt und deutsche Industriestandorte in angemessenem Umfang an Entwicklung und Produktion beteiligt werden. Es wird angestrebt, dass nach dem Abschluss der Entwicklungsphase von Deutschland eine wesentliche Rolle im Galileo-Systembetrieb

wahrgenommen wird. Dies dient sowohl dem Erhalt und Ausbau von Know-how als auch einer adäquaten wirtschaftlichen Beteiligung in der Betriebsphase und ist damit der Schlüssel zu langfristigen Vorteilen für den Hochtechnologie-Standort Deutschland.

Deutschland hat bereits bei der Konzeptdefinition und der Festlegung neuer Standards, insbesondere für Satellitennutzlasten, gestaltend mitgewirkt. Hier werden die Weichen für die späteren Empfängertechnologien und Nutzerendgeräte gestellt, welche die größten kommerziellen Wirkungen erwarten lassen. Mit Blick auf zukünftige integrierte Anwendungen aus den Disziplinen Telekommunikation, Navigation und Erdbeobachtung ist die Einrichtung eines Anwendungszentrums in Deutschland vorgesehen. Ein solches Zentrum soll mit Länderhilfe am DLR-Standort Oberpfaffenhofen aufgebaut werden (Mercator-Park), um neue Nutzer und Entwickler von Endgeräten an Galileo heranzuführen und innovative Dienstleistungen zu fördern, damit schon frühzeitig und aktiv der Eintritt in die sich öffnenden Märkte vorbereitet wird.

#### *Nationales Programm / DLR FuE-Programm*

Die Aktivitäten im nationalen Förderprogramm und im DLR internen Forschungs- und Entwicklungsprogramm werden verstärkt auf kommerziell umsetzbare Technologiefelder und auf Mehrwertdienste ausgerichtet werden.

Im Rahmen des nationalen Programms wird bis Ende 2004 eine Galileo-Test- und Entwicklungsumgebung GATE entwickelt, deren Ziel die Schaffung einer nationalen Infrastruktur ist, die Forschung und Industrie frühzeitig eine Vorentwicklung neuer Galileo-Produkte und wertschöpfender Dienste ermöglicht, die Leistungsfähigkeit und Chancen Deutschlands für die Beteiligung an künftigen Galileo-Entwicklungsprojekten verbessern und einen frühen Einblick in die Leistungsfähigkeit des europäischen Satellitennavigationssystems gewähren soll.

GATE wird eine „end-to-end“-Testumgebung darstellen, die von der Generierung und Ausstrahlung von Galileo-Testsignalen bis hin zur dreidimensionalen Positionierung und Navigation die gesamte Messkette möglichst realitätsnah abbilden soll. Da das eigentliche Galileo-Raumsegment erst einige Jahre später zur Verfügung stehen wird, sollen bei GATE die Satelliten durch statische und/oder bewegte Signalquellen (Ausstrahlung von z.B. Türmen, Flugzeugen etc.) ersetzt werden, jedoch so weit wie möglich die tatsächlichen Dopplerverhältnisse zwischen Satellit und Nutzer widerspiegeln. Mit dieser kostengünstigen Lösung sollen dann im Bereich des Nutzersegmentes die ausgestrahlten Galileo-Testsignale empfangen und daraus Zeit, Geschwindigkeit und Position ermittelt werden.

Noch während des Aufbaus von GATE wird mit einem Experimentalprogramm begonnen. Mit ihm sollen Anwender frühe Erfahrungen mit den Galileo-Signalen sammeln sowie entsprechende Produkte und Dienstleistungen entwickeln und testen können. GATE wird für diesen operationellen Betrieb als Serviceeinrichtung ausgelegt.

Im DLR FuE-Programm unterstützt das Projekt GalileoNAV durch Mitwirkung an der Entwicklungs- und Validierungsphase von Galileo die Aktivitäten von EU und ESA zum Aufbau und zur Verifikation von Galileo. Weiterhin werden frühzeitige Vorarbeiten für die Endgeräteentwicklung und die spätere Nutzung des Systems sowie seine Durchsetzung am Markt geleistet. Die durchzuführenden Arbeiten sollen die Beteiligung an externen Studien und Projekten - besonders der EU und ESA, aber auch der Industrie - unterstützen und ergänzen, und umgekehrt die Voraussetzungen zur Beteiligung des DLR an solchen Studien und Projekten schaffen und verbessern.

Das Vorhaben GNSS2/Neue Dienste und Produkte umfasst die Entwicklung GNSS2-basierter neuer Dienste und Produkte durch Verknüpfung mit Kommunikation und Erdbeobachtung als ergänzende Arbeiten, sowie die Vorlaufforschung für die Industrie in den Bereichen kombinierte KOM/NAV-Endgeräte (E-Kit) und lokale Komponenten für neue Dienste („Space Weather“). Weiterhin beinhaltet das Vorhaben die Demonstration von Pilotanwendungen („Eye in the Sky“) und die Verifikation GNSS2-basierter neuer Dienste und Produkte unter Verwendung und Adaption des DLR-Verifikationsnetzwerkes (LORAN-C-Komponente) zur Ausführung von experimentellen Leistungsnach-

weisen (Test- und Vergleichsmessungen inklusive Analyse) sowie durch Überführung erzielter Expertisen in neue Anwendungen / Regionen.

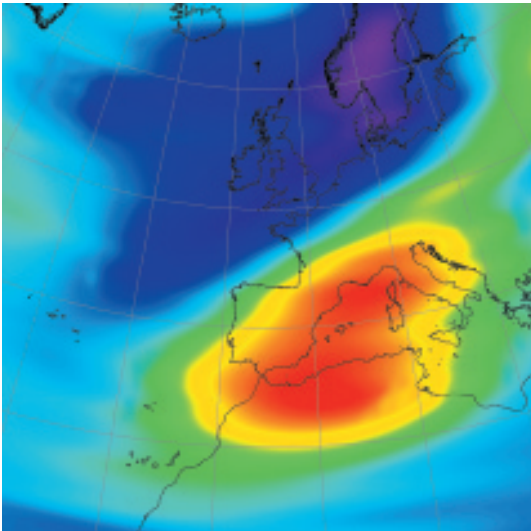
## **2.4 Langfristige Zielsetzung**

Nach Beendigung der Entwicklungs- und Validierungsphase (2002 – 2005) und der darauf folgenden Errichtungsphase (2006 – 2007) soll ab 2008 die kommerzielle Betriebsphase von Galileo beginnen. Dieser Zeitpunkt ist ein wichtiger Meilenstein, da die USA gegenwärtig die Modernisierung von GPS planen und im selben Zeitraum mit dem Betrieb von ersten Satelliten der neuen Generation GPS III möglich ist. Da mit GPS III auch neue Dienste verbunden sind, können die künftigen Marktanteile von Galileo nur gesichert werden, wenn der Zeitplan für dessen Errichtung weitgehend eingehalten wird.

Um auch über die erste Generation von Galileo hinaus gegenüber dem amerikanischen System konkurrenzfähig zu bleiben und die Marktposition von Galileo zu stärken, ist es notwendig, bereits frühzeitig die Anforderungen für die zweite Generation von Galileo zu definieren. Diese Definition darf nicht alleine mit Blick auf den Einsatz neuer Technologien erfolgen (z.B. C-Band, das für die erste Generation von Galileo noch nicht in Frage kommt), sondern muss auch die Anforderungen des Marktes berücksichtigen, dessen Bedürfnisse sich mit Galileo und GPS III weiterentwickeln und ändern werden. Hierbei wird die Verknüpfung von Kommunikation, Navigation und Teilbereichen der Erderkundung zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Mit Galileo sind wir in einen völlig neuen Bereich der europäischen Raumfahrt eingestiegen. Kurz- bis mittelfristiges Ziel ist die europäische Unabhängigkeit und langfristig soll Galileo kontinuierlich der technologischen Entwicklung angepasst werden. Darüber hinaus eröffnen sich für die europäische Industrie vielfältige Chancen - nicht nur im Raumsegment - es gilt die gesamte Wertschöpfungskette bis hin zu innovativen Endgeräten und Dienstleistungen für den Bürger zu bedienen.

# Fachprogramm Erdbeobachtung



## 3. Fachprogramm Erdbeobachtung

### 3.1 Bedeutung des Programms, internationaler Kontext

Die Erdbeobachtung unterstützt ein breites Feld öffentlicher, kommerzieller und wissenschaftlicher Anwendungen. Sie bildet eine unverzichtbare Grundlage für die tägliche Wettervorhersage und meereskundliche Routineprodukte wie Karten der Eisbedeckung und Oberflächentemperatur, für die Erstellung von digitalen Karten und der Dokumentation von Umweltveränderungen wie z.B. Ozonabbau, Folgen des Klimawandels auf den Landoberflächen, den Meeren und der Atmosphäre. Daneben dient die Erdbeobachtung auch dem Schutz der Umwelt (z.B. durch Monitoring der Meere auf Öl und Algenblüten), wie auch in (inter-)nationalen Krisen und Katastrophensituationen zur Evaluation der Ereignisse und zur Unterstützung von Maßnahmen (z.B. bei Hochwassersituationen). Satelliten liefern bereits heute Daten für Raumordnung, Biotopkartierungen und Monitoring-Aufgaben in vielfältigen öffentlichen und privaten Bereichen, z.B. in der Optimierung landwirtschaftlicher Subventionsmaßnahmen, beim Aufbau von Mobilfunksystemen oder für die Unterstützung von internationalen Krisen- und Katastropheneinsätzen. Damit stehen wir derzeit erst am Anfang künftiger operationeller Dienste durch Einsatz von Satellitendaten. Die Europäische Kommission hat Ende 2000 gemeinsam mit der ESA die Europäische Weltraumstrategie verabschiedet. Ein wesentliches Element der Strategie ist die Einrichtung einer unabhängigen europäischen Informationsinfrastruktur für europäische Politiken unter Einbeziehung der Erderkundung, genannt Global Monitoring for Environment and Security (GMES). Der Europäische Rat hat beim Gipfel in Göteborg im Juni 2001 den politischen Auftrag präzisiert und gefordert, die Gemeinschaft solle „zur Schaffung einer europäischen Kapazität für die globale Umwelt- und Klimaüberwachung bis zum Jahr 2008 beitragen“. Der EU-Forschungsministerrat hat im Oktober 2001 auf der Grundlage einer Mitteilung der Kommission über einen Aktionsplan für eine GMES-Vorbereitungsphase der Durchführung einer GMES-Definitionsphase im Zeitraum 2001 bis 2003 zugestimmt. Einen entsprechenden Entschluss zum Beitrag der ESA hierzu hat der ESA-Ministerrat im November 2001 gefasst.

Für dieses Anwendungsspektrum benötigte operationelle Beobachtungssysteme erfordern hohes Leistungspotential und eine internationale Wettbewerbsfähigkeit in technologischer und wissenschaftlicher Hinsicht, die in Deutschland insbesondere auf den folgenden Gebieten erreicht wurden:

- in der Radar-Technologie (X-Band SAR mit SRTM, TerraSAR und SARLupe) und Auswertung (u.a. Erzeugung digitaler Höhenmodelle aus interferometrischen SAR-Daten);
- im Bereich der Fernerkundung der Atmosphäre sowie der Entwicklungen von Fernerkundungssensoren für Klimaforschung und Geowissenschaften (z.B. hochauflösende optische Atmosphärenspektrometer im UV-, VIS- und IR-Bereich wie SCIAMACHY und MIPAS, Lidar-Systeme Aeolus/ADM und WALES, Infrarot Mission BIRD);
- in der Systemführung beim Bau kompletter Satellitensysteme - die deutsche Industrie war bzw. ist Hauptauftragnehmer bei den ESA-Umweltsatelliten (ERS-1, ERS-2, ENVISAT, Cryosat) und beim Bau von dedizierten Kleinsatelliten wie CHAMP und GRACE;
- in der Bodeninfrastruktur: Nutzlastbodensegmente mit festen und mobilen Bodenstationen weltweit, schnelle Datennetze, robotergestützte Archivierung und Verteilung, Hochgeschwindigkeitsprozessoren und Datenauswertungssysteme sowie Vorentwicklungen von Fernerkundungsinstrumenten und deren Validierung durch den Einsatz hochspezialisierter Forschungsschiffe und -flugzeuge.

Auf diesen Stärken aufbauend werden die Prioritäten der Erdbeobachtung auf folgende Gebiete ausgerichtet:

- die Förderung von Pilot- und Leitprojekten mit dem Ziel der Entwicklung privatwirtschaftlicher Fernerkundungssysteme sowie entsprechender Produkte und Dienstleistungen, die die gesamte Wertschöpfungskette abdecken und moderne Arbeitsplätze insbesondere auch bei Dienstleistungsunternehmen und KMUs schaffen;
- die Weiterentwicklung und Stärkung staatlicher Vorsorgesysteme in den Bereichen Meteorologie und Ozeanographie, Umweltbeobachtung, Klimamonitoring, Verifikation von internationalen Vereinbarungen (u.a. Kyoto-Deklaration) und Krisenüberwachung, unter Mitwirkung aller betroffenen Ressorts;
- die Weiterentwicklung von wissenschaftlichen Methoden der Signal- und Informationsverarbeitung als Basis für eine anwendungs- und nutzungsorientierte Informationstechnologie;
- die Durchführung eines kontinuierlichen europäischen wissenschaftlichen Erdbeobachtungsprogramms, das die Stärken Deutschlands in der satellitengestützten Fernerkundung optimal einbindet.

Die Gestaltung des Programms wird sich weiterhin stark am Nutzungsbedarf orientieren.

Vom Anwendungsbezug her wird das Programm in die Teilprogramme *Öffentliche Anwendungen*, *Kommerzielle Anwendungen* und *Wissenschaftliche Erdbeobachtung* untergliedert.

## **3.2 Gegenwärtiger Status, laufende Projekte**

### *3.2.1 Öffentliche Anwendungen der Erdbeobachtung*

Anwendungen der Erdbeobachtung für öffentliche Aufgaben haben eine hohe Priorität im Deutschen Erderkundungsprogramm. Die derzeit bekannteste öffentliche Anwendung besteht im Bereich der Wettervorhersage, ihr weiterer Ausbau hat erheblichen volkswirtschaftlichen Nutzen, der weit über den eingesetzten Investitionen liegt. Teile der Wettervorhersageprodukte werden kommerziell genutzt, z.B. bei der Umsetzung in Informationsprodukte für den Luft- und Schiffsverkehr.

Weitere öffentliche Anwendungen der Erderkundung ergeben sich aus den gesetzlich vorgeschriebenen Aufgaben des Bundes, der Länder und der EU. Sie reichen von sicherheitspolitischen Aufgaben oder der Überwachung internationaler Abkommen beim Umweltschutz, bis hin zu Dienstleistungsaufgaben, wie z.B. die Bereitstellung von Basiskarten, Verkehrs-, Umwelt- oder statistischen Informationen sowie dem Betrieb operationeller nationaler meteorologischer und maritimer Dienste. Zur Koordination der Anwendungen von allgemeinen Geoinformationen auf Bundesebene wurde der IMAGI (Inter-Ministerieller Ausschuss für Geo-Informationswesen) eingerichtet, der den Aufbau einer nationalen Geodaten-Infrastruktur betreibt.

Teil der Beschlüsse der *Unispace III*-Konferenz von Wien in 1999 war der Aufbau eines globalen Umweltbeobachtungssystems über die *Integrated Global Observing Strategy* (IGOS). Im „Ersten Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland über systematische Klimabeobachtungen in Deutschland zum 3. Nationalbericht nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen“ (DWD, 2001) wird die Bedeutung weltraumgestützter Beobachtungen für das „Global Climate Observing System (GCOS)“ besonders hervorgehoben. Im „IPCC Special Report on Land Use, Land Use Change and Forestry LULUCF“ (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2000) werden die gegenwärtigen Potenziale der Fernerkundung beschrieben. Im europäischen Rahmen wird die Überwachung der Umwelt und die Einhaltung abgeschlossener Verträge unter der EU/ESA-Initiative GMES verfolgt. Die erweiterte Konvention von EUMETSAT schließt nun operationelle Klimaüberwachung ein und legt die Übernahme entsprechender Betreiberaufgaben nahe.

Neben der bereits routinemäßigen meteorologischen und meereskundlichen Anwendung haben bisherige Studien und Pilotprojekte erhebliche Einsatzpotenziale der Erdbeobachtung für die Belange der Bundesressorts aufgezeigt. Satellitengestützte Fernerkundung kann über die operationelle Nutzung in der raumgestützten Meteorologie und Aufklärung hinaus auch bei anderen öffentlichen Aufgaben zu einer deutlichen Effizienzsteigerung beitragen oder ganz neue Informationen bereitstellen.

Im Rahmen von GMES werden einerseits von der ESA Ausschreibungen zur Schaffung von Dienstleistungen durchgeführt, in denen auf der Grundlage von Pilot- und Demonstrationsprojekten nun die Überleitung in die operationelle Nutzung (marktreife Services) vollzogen werden soll. Von der Europäischen Kommission werden im Rahmen des 6. Forschungsrahmenprogramms andererseits Ausschreibungen zur Vorentwicklung von neuen GMES-Services durchgeführt. Das DLR hat dafür einen Dialog auf Ressortebene und zwischen Anbietern und Anwendern initiiert, um aufbauend auf konkreten und prioritären deutschen Nutzeranforderungen die Bildung von Konsortien zu diesen Ausschreibungen anzuregen. Als Resultat sind eine Reihe von Anwendungen dargelegt worden, z.B. in der Landwirtschaft, bei Biotopkartierungen, dem Energiewetter, der maritimen Überwachung, der humanitären Hilfe, zur Waldbeobachtung, zum Katastrophen- und Hochwassermanagement.

Mit den neuen Wettersatelliten der EPS/METOP-Serie bereitet Europa derzeit seinen Beitrag zum künftigen internationalen System polar umlaufender Satelliten für meteorologische, ozeanographische und umweltrelevante Dienste vor. In diesem Rahmen werden sogenannte *Satellite Application Facilities* (SAF) in Europa eingerichtet, die Daten zu jeweils speziellen Themen aufbereiten und vor allem für öffentliche Nutzer bereitstellen. In Deutschland wird der DWD ein Klima-SAF betreiben. Daneben existieren weitere SAF-Aktivitäten mit deutscher Beteiligung in Europa. Damit werden umfassende und langzeitliche Datensätze bereitstehen, die auch Daten aus anderen Quellen umfassen und notwendige Informationen unter anderem für die Klimaforschung liefern. Dabei setzt METOP wie auch schon Meteosat auf experimentellen Sensorentwicklungen der ESA auf: Auf den METOP Satelliten werden die bisherigen Ozonbeobachtungen mit GOME auf ERS-2 fortgesetzt. Der Start des ersten geostationären Meteosat-Satelliten der zweiten Generation MSG ist im August 2002 erfolgt. Mit der MSG-Serie (MSG-2 Anfang 2005, MSG-3 in 2009) wird EUMETSAT das bisherige Meteosat-System zukünftig ablösen.

Mit der Beauftragung der OHB System AG zum Bau von SAR-Lupe wird erstmalig ein Satellitensystem für die Belange des Bundesministeriums für Verteidigung, entwickelt und gebaut. SAR-Lupe wird der Bundeswehr als nationales Aufklärungssystem dienen und schafft eine unabhängige Aufklärungskapazität. Das SAR-Lupe System wird vor allem für Aufklärungszwecke optimiert und bedient sich dabei im Unterschied zum wissenschaftlich/kommerziell ausgerichteten TerraSAR-X Satelliten einer klassischen Radar-Technologie.

Gegenwärtig beinhaltet das deutsche Erdbeobachtungsprogramm folgende Kernelemente:

- Meteorologie: Beiträge zu den Programmen Meteosat Second Generation und polares System EPS/METOP - mit ca. 64 Mio. € in 2002 aus Mitteln des BMVBW für ESA und EUMETSAT sowie Beteiligung an den SAF's;
- Nutzung von Wissenschaftssatelliten durch öffentliche Anwender (machte bei ERS ca. 20% der gesamten Nutzung aus, zukünftig durch ENVISAT), z.B. Eisdienst im Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie und Erstellung von Ozonkarten im Deutschen Wetterdienst und durch das EZMW (Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage).
- Entwicklung und Bereitstellung von Daten und Produkten sowie die Betreuung von Nutzern durch auf diesen Gebieten tätige DLR Institute, z.B. Aktualisierung von CORINE (CoORDination of Information of the Environment) Landcover beim Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum im DLR (DFD im Auftrag des Umweltbundesamtes) und Herstellung von Ozonkarten;

- Pilotprojekte öffentlicher Anwender, gefördert aus dem nationalen Weltraumprogramm. Diese Projekte haben den Zweck, die operationelle Nutzung im öffentlichen Bereich (Bundes-, Landes- oder Kommunalbehörden) durch Demonstrations- und Pilotprojekte zu entwickeln (in der Regel bei einer 50%igen Eigenbeteiligung). Anwendungsfelder sind: Naturschutz, Hydrographie bzw. Hochwasservorhersage, Landschaftsplanung, Land- und Forstwirtschaft (z.B. Unterstützung der Bundeswaldinventur bei der Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft BFH), marines Monitoring.
- Sicherheitsrelevante Erdbeobachtung: Studien des BMVg und Amt für Militärisches Geowesen (AmilGeo), Datenauswertung im Satelliten-Zentrum der WEU in Torrejon (der deutsche Anteil liegt bei 17%, entsprechend 6,6 Mio. € p.a., aus dem Einzelplan des AA) und sicherheitsrelevante interne FuE-Arbeiten des DLR;

### 3.2.2 Kommerzielle Erdbeobachtung

Der Weltmarkt für Erdbeobachtungssatelliten teilt sich derzeit zu ca. 63% auf U.S.-amerikanische Raumfahrtprogramme mit einem mehrheitlich militärisch ausgerichteten Programmanteil, zu ca. 26% auf Programme aus Europa und zu 11% auf Programme anderer Nationen auf. Der sich anschließende Markt an Datenprodukten und Dienstleistungen wird für Europa in den kommenden Jahren auf ca. 220 Mio. € p.a. abgeschätzt. Im Dienstleistungsbereich werden die größten Zuwachsraten erwartet. Schätzungen für den weltweiten Daten- und Dienstleistungssektor variieren zwischen 0,5 bis 1 Mrd. € p.a..

Die deutsche Industrie ist im Begriff, sich einen angemessenen Anteil an den bestehenden und künftigen Märkten der Erderkundung zu sichern. Die Vorbereitung hierauf soll staatlich flankiert werden, insbesondere dort, wo Deutschland aufgrund einer technologischen Spitzenstellung bereits gute Voraussetzungen mitbringt. Wettbewerbsentscheidend werden zudem frühzeitige Markt-reife („first-to-market“) und die dafür notwendigen Strukturen sein, z.B. globale Vertriebswege. Internationale Partnerschaften werden hier industrie- und agenturseitig angestrebt. Das mittelfristige Ziel von öffentlich geförderten Vorhaben ist der Transfer in sich dauerhaft selbst tragende privatwirtschaftliche Unternehmungen.

Die derzeit laufenden Vorhaben und Projekte umfassen im Teilprogramm „kommerzielle Anwendungen“ die Planung, Entwicklung und Fertigung von Satelliten bzw. Sensoren, die Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen, technologische Entwicklungen, die Förderung von Pilot- und Demonstrationsvorhaben zum Nachweis der Einsatzreife und die Durchführung von Pilotprojekten zur staatlichen Flankierung erfolgversprechender kommerzieller Unternehmungen.

Beispiele für die kommerzielle Anwendung von Satellitendaten sind digitale topographische und thematische Karten, digitale Höhen- und Geländemodelle - u.a. für die Auslegung terrestrischer Mobilfunknetze -, landwirtschaftliche Nutzung wie zum Beispiel die Schätzung von Ertragsmenge und -qualität, Monitoring von Landnutzungsflächen, Überwachung der Umwelt und Umweltverschmutzung, die zunehmende Integration von Informationsprodukten in Geo-Informationssysteme und die Erstellung von Multimediaprodukten.

Die öffentliche Hand (z.B. auch über GMES) stellt als Nachfrager von Daten, Produkten und Dienstleistungen ein wichtiges kommerzielles Marktsegment dar. Abnahmegarantien der öffentlichen Bedarfsträger würden als verlässliche Grundlage für eigene Investitionsentscheidungen der Industrie den Aufbau kommerzieller Systeme deutlich erleichtern. Dadurch sollten solche Systeme verstärkt in den privatwirtschaftlichen Bereich verlagert werden können.

1999 wurden die beiden industriegeführten Projekte Infoterra/TerraSAR und RapidEye begonnen. Sie werden Geodaten anbieten - beispielsweise zur Kartierung, für „Precision Farming“-Anwendungen, Warenterminbörsen und Versicherungen, Tourismus und Immobiliengeschäft, aber auch Umweltmonitoring und Daten mit sicherheitspolitischem Anwendungspotenzial.

TerraSAR ist ein Pilotprojekt zur Überführung der in Deutschland entwickelten SAR-Technologie in ein operationelles, in der nächsten Generation sich selbsttragendes Radar-Satellitensystem (X-Band-plus L-Band-SAR) mit der hohen räumlichen Auflösung von etwa 1 bis 2 Metern. Auf diesem Sektor soll TerraSAR eine weltweit führende Marktposition erreichen. TerraSAR wird hochauflösende Daten und Informationen für Aufgaben des Staates und der Wirtschaft wie für die Überwachung der Umwelt, z.B. dem Waldmonitoring, für die Regionalplanung durch die Bereitstellung großmaßstäblicher thematischer Karten, für den Katastrophenschutz durch eine schnelle und von Wetter und Tageslicht unabhängige Datenlieferung und für den Luftverkehr sowie für mobile Telekommunikationsdienste durch die Bereitstellung topographischer Information bieten. Für den TerraSAR-X-Band Satelliten wurde am 25.03.2002 eine PPP-Vereinbarung zwischen dem Bund und der Industrie geschlossen, die eine wissenschaftliche und kommerzielle Nutzung der Daten zum Ziel hat. Zur Europäisierung von InfoTerra/TerraSAR wurde das System als Vorschlag im ESA-Earth-Watch-Programm eingereicht und eine Konsolidierungsphase beschlossen, um einerseits die Realisierung des komplementären L-Band-TerraSAR und damit die Gesamtmission und andererseits auch die Nutzung von InfoTerra/TerraSAR mit europäischen Partnern vorzubereiten. Folgende weitere Projekte zielen derzeit auf die Vorbereitung entsprechender Anwendungen:

- Das Projekt ProSmart dient der Vorbereitung von Produkten von InfoTerra/TerraSAR durch Servicepartnerschaften mit Instituten und Pilotkunden.
- Im Projekt LISA werden die notwendigen Vorbereitungen für eine Nutzung des Systems RapidEye geschaffen.
- Kommerzialisierungschancen bietet auch der vom DLR entwickelten Kleinsatellit BIRD, der seit Oktober 2001 erfolgreich Daten zu Hochtemperaturreignissen wie Vulkanausbrüchen und Waldbränden liefert. Zudem ist das DLR an der Earth Watch Bridging Phase zu FUEGO beteiligt und hat gemeinsam mit der Industrie die Phase-A-Studie für das Projekt FOCUS erfolgreich abgeschlossen. Konkrete Vorschläge zum Einsatz dieser Technologie werden derzeit im Zuge von Projekten der Entwicklungszusammenarbeit geprüft. Deutsche IR-Technologie könnte dabei im Auftrag hoheitlicher Endbedarfsträger zum Einsatz kommen. Denkbar wäre zudem auch ein teilweise kommerzielles Serviceelement im Rahmen eines Waldbrand-GMES-Services.

Von den weltraumorientierten Fernerkundungssystemen profitieren auch terrestrische Anwendungen: Die im DLR entwickelte digitale Kameratechnologie wurde im Rahmen einer Wagniskooperation mit der Industrie bei flugzeuggetragenen Kameras in den Markt eingeführt. Damit beginnt auch im Bereich der Befliegungen die Ablösung der klassischen Analogkameras. Das Unternehmen strebt dabei die Marktführerschaft an. Die bisherigen, erfolgreichen Privatisierungen bestätigen den kommerziellen Nutzen: Durch Ausgründung aus dem DLR bzw. als Neugründungen mit Unterstützung des DLR sind bereits neue Firmen entstanden, deren Geschäftsfelder die Akquisition, Prozessierung und den Vertrieb von Fernerkundungsdaten umfassen. Weitere Gründungen werden folgen.

### 3.2.3 Wissenschaftliche Erdbeobachtung

Wissenschaftliche Erdbeobachtung hat zwei unterschiedliche Zielsetzungen:

- Entwicklung neuer, zukunftssträchtiger Fernerkundungsmethoden und –anwendungen;
- Nutzung von Satellitendaten für wissenschaftliche Fragestellungen.

Die Satellitenfernerkundung ist in den vergangenen Jahren zu einem wichtigen Instrument zur Lösung dringender wissenschaftlicher Fragestellungen geworden. Atmosphären-, Klima-, Geo-, Polar- und Meeresforschung sind ohne Satellitendaten nicht mehr denkbar. In diesen Forschungsbereichen nimmt Deutschland international eine Spitzenstellung ein. Wissenschaftliche und industrielle Beiträge aus Deutschland haben wesentlich zur Weiterentwicklung der internationalen Erdbeobachtung beigetragen. Deutsche Wissenschaftler haben das Umweltsatelliten- und das Wissenschaftsprogramm (Living Planet Programme) der ESA wesentlich geprägt. Der Auswahlprozess zu

neuen Erdbeobachtungsmissionen findet routinemäßig unter Beteiligung der einschlägigen Fachprogramme des BMBF, der DFG und des Nationalen Komitees für Global Change Forschung statt. Innovative Einsatzfelder für künftige Anwendungen werden durch entsprechende Grundlagenforschung eröffnet, wie das Beispiel der SAR-Interferometrie und der aktiven Sondierung der Atmosphäre mit Hilfe der LIDAR Technologie zeigt. In beiden Bereichen nehmen deutsche Wissenschaftler technologisch und anwendungsbezogen Führungspositionen ein.

Der Umweltsatellit ENVISAT wird nach Abschluss seiner Commissioning Phase die bisher erfolgreichste europäische Umweltmission ERS-2 fortsetzen. ERS-2 liefert weiterhin Daten zu den Teilsystemen Ozean/Eis/Land und deren Wechselwirkung: ERS-2 erlaubt mit den Höhenmessdaten des RA-Instruments – auf ENVISAT das RA-2 - die Meerestopographie zu bestimmen und daraus indirekt auch Strömungsfelder abzuleiten. Mit dem Ozon-Instrument GOME – auf ENVISAT SCIAMACHY und GOMOS - hat Europa erstmals ein eigenes und auch vom Messprinzip her unabhängiges Instrument zur Überwachung der stratosphärischen Ozonschicht, was mit Blick auf die Umsetzung des Montreal-Protokolls und dem inzwischen beobachteten Ozonschwund auch auf der Nordhalbkugel von besonderer Bedeutung ist. Deutsche Wissenschaftler haben den größten Anteil an den im Wettbewerb ausgeschriebenen ERS-Daten für ihre Forschungsarbeiten. Das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum betreibt im Auftrag der ESA die sogenannte PAF („Processing and Archiving Facility“) und hat ein weltweit verteiltes Bodenstationsnetz (u.a. eine Antarktisstation) im Einsatz. Die Kontinuität der ERS-Beobachtungen wird durch verbesserte Sensoren auf ENVISAT sichergestellt.

Für die Bestimmung und Beurteilung sowohl des aktuellen Zustands des Erdsystems als auch seiner Veränderungen werden den Forschern mit dem Einsatz des Umweltsatelliten ENVISAT (gestartet am 01.03.02) die seit langem geforderten Atmosphären-Daten zur Verfügung stehen. So werden die mit GOME begonnenen Messungen durch erhebliches nationales Engagement bei der Atmosphärennutzlast des Umweltsatelliten ENVISAT und bei der Prozessierung sowie effektiven Verteilung, Archivierung und Nutzerunterstützung der Daten der Atmosphärennutzlast fortgesetzt. SCIAMACHY baut in seinem Messprinzip direkt auf GOME auf und weitet das Spektrum der beobachtbaren Spurengase auf die wesentlichen direkt am Ozonabbau beteiligten Spurengase aus. Zusätzlich ermöglicht SCIAMACHY erstmals wichtige Spurengase in der gesamten Atmosphäre, bis hinab in die Troposphäre zu beobachten. Mit MIPAS, dessen Projektwissenschaftler aus Deutschland stammt, wird der beobachtete Spektralbereich tief ins IR ausgeweitet und dadurch Zugriff auf eine ganz entscheidende Familie weiterer Spurengase, darunter auch alle wesentlichen Reservoirgase, ermöglicht. Mit wesentlichen Beiträgen bei der Prozessierung der GOMOS-Daten stehen weitere unabhängige Daten für Präzisionsprofile des Ozons in der oberen Atmosphäre zur Verfügung. Wie bei ERS betreibt das DLR das nationale „*Processing and Archiving Center*“, in dem höherwertige Datenprodukte erstellt werden. Der Atmosphärensondierer SCIAMACHY auf ENVISAT wurde von Deutschland zusammen mit den Niederlanden und unter Beteiligung von Belgien gebaut. Mit MERIS stehen Daten eines abbildenden Spektrometers für Biosphärenforschung und Meeresforschung zur Verfügung, so dass die mit dem DLR-Instrument MOS begonnenen Untersuchungen auf diesem Gebiet nahtlos fortgeführt werden können.

Im nationalen Raumfahrtprogramm werden Nutzungsvorhaben mit Schwerpunkt Validation, Pilot- und Demonstrationsprojekte sowie methodische Entwicklungen unterstützt. Besondere Priorität genießt dabei die Förderung von Vorhaben zur Kalibration der Sensoren SCIAMACHY und MIPAS. Unter Beteiligung der Wissenschaftler wurde dafür ein Programm zusammengestellt, das die erforderlichen Messungen von Flugzeugen, von Ballonaufstiegen und vom Boden sowie deren Auswertungen umfasst. Wissenschaftliche Nutzungsvorhaben zu ENVISAT werden über die Fachprogramme des BMBF und die DFG gefördert.

Der Einsatz von Infrarotsensoren zur Erkennung und Klassifizierung von Hochtemperaturereignissen wie Waldbränden, brennenden Ölfeldern und aktiven Vulkanen wurde mit Hilfe des experimentellen BIRD-Satelliten erprobt. Zwei verschiedene Kameras und ein on-board-Prozessierungssystem haben sich z.B. bei den verheerenden Busch- und Waldbränden in der Umgebung von Sydney zum Jahreswechsel 2001/2002 besonders bewährt. Die Empfindlichkeit der Sensoren erlaubt die Erken-

nung von kleineren Feuern im Meterbereich und bietet so die Möglichkeit zur Früherkennung größerer Waldbrände.

Durch die Missionen GRACE und deren Vorläufer CHAMP wird eine um 2-3 Zehnerpotenzen genauere Bestimmung des Erdschwerefeldes möglich. Dadurch lassen sich Effekte wie die Mantelkonvektion, Plattentektonik, postglaziale Hebung der Kontinente, Änderungen im kontinentalen Wasserhaushalt und großräumige Ozeanströmungen erforschen. Darüber hinaus ist die Kenntnis des Gravitationsfeldes ein wichtiger Parameter bei der exakten Bahnbestimmung von Satelliten (z.B. für die Satellitennavigation). Der Start der CHAMP-Mission erfolgte im Juni 2000 in der Verantwortung des Geoforschungszentrums Potsdams. Als deutsch/amerikanische Kooperation bestimmt GRACE (Start war am 16.03.2002) mit bisher höchster Auflösung und Präzision das Schwerefeld der Erde.

### 3.3 Operative Ziele, Meilensteine

Im nationalen Förderprogramm wird das Projekt TerraSAR zur Vorbereitung und Unterstützung wissenschaftlicher, öffentlicher und kommerzieller Anwendungen der Erdbeobachtung den größten Anteil in den nächsten vier Jahren haben.

Die wissenschaftliche Erdbeobachtung wird darüber hinaus im ESA-Programm durchgeführt werden, während die öffentlichen Anwendungen, schwerpunktmäßig in der Förderung durch das GMES-Earth-Watch-Element, mit derzeit noch geringeren Ansätzen mit Mitteln aus dem nationalen und dem DLR-FuE-Programm ergänzt werden. Alle diese Aktivitäten sind der *Forschung und Entwicklung* zuzuordnen, die Meteorologie – und in zunehmenden Maße die Meereskunde - dagegen als *operationelle* Nutzungsbereiche der Erdbeobachtung dominieren derzeit die öffentlichen Anwendungen. Mit der Erweiterung des EUMETSAT Mandats werden nun aber erste Vorbereitungen zur Operationalisierung der Klimabeobachtungen in Angriff genommen.

#### 3.3.1 Öffentliche Anwendungen der Erdbeobachtung

Ziel ist die Nutzung der satellitengestützten Fernerkundung für staatliche Aufgaben. Die kontinuierliche Bereitstellung von Umweltinformationen, hergestellt in integrierten Systemen, die auf allen dafür notwendigen Mess- und Analysesystemen basieren, stellt den wesentlichen Schwerpunkt dar. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die Eignung von Fernerkundungsdaten für die Überwachung international vereinbarter Konventionen (Klima, Wüstenbildung, Biodiversität etc.), für die Analyse von Umweltstressfaktoren und für die Unterstützung humanitärer Maßnahmen im Zusammenhang mit Naturkatastrophen im Rahmen von GMES. Zunächst wird dies mit den überwiegend wissenschaftlich ausgerichteten Erderkundungssystemen in entsprechenden Pilotphasen vorbereitet. EUMETSAT liefert mit seinen Meteosat-Satelliten und mit seinen Langzeitarchiven bereits heute wertvolle Beiträge zur Klimabeobachtung und wird dies mit den MSG- und METOP-Satelliten in Zukunft in verstärktem Maße tun. Später werden für diese Aufgaben auch kommerzielle Systeme (z.B. TerraSAR, RapidEye) genutzt werden. Das DLR wird sich hieran im Verbund mit Bedarfsträgern und Kompetenzzentren auf der Anwendungsseite mit Forschungskapazitäten in seinen Instituten und der Erstellung langfristiger Datensätze aktiv beteiligen. Ein besonderer Schwerpunkt innerhalb der umweltorientierten Themen bildet der Einsatz der Erderkundung für die Kartierung des Waldzustandes (z.B. Bundeswaldinventur).

Durch folgende Maßnahmen sollen die o.g. Ziele erreicht werden:

- Durchführung von Datennutzungsprojekten zur Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen, mit denen die öffentlichen Aufgaben effizienter als bisher erledigt werden können;
- Aufbau und Pflege eines Archivs von Daten und Erzeugung bedarfsgerechter Produkte für die öffentliche Nutzung;

- DLR-interne Forschung und Entwicklung für die sicherheitsrelevante Erdbeobachtung im Rahmen der BMVg-Finanzierung;
- Unterstützung und Beratung des Auftraggebers Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (BWB) in technischen Fragestellungen beim Aufbau eines Radar-Satellitensystems SAR-Lupe für die strategische sicherheitsrelevante Aufklärung;
- Entwicklung der nächsten Generation von meteorologischen Systemen nach Meteosat Second Generation (MSG) und EUMETSAT European Polar System (EPS) sowie von Sensoren zur Beobachtung von klimarelevanten Größen, wie z.B. Spurengasen;
- Konkretisierung eines nationalen Anteils an einem globalen Umweltüberwachungssystem im Rahmen von GMES und Earth Watch. InfoTerra/TerraSAR einerseits und Vorbereitung von GMES Service Netzwerken unter Einbeziehung hoheitlicher Nutzereinrichtungen andererseits sind die Schwerpunkte der Strategie. Deutschland hat dazu InfoTerra/TerraSAR als Element einer zukünftigen europäischen Beobachtungsinfrastruktur in EarthWatch eingebracht. Sechs Nationen aus Europa beteiligen sich bisher daran. Außerdem wurde das EarthWatch-Programm „GMES Service Element“ beschlossen, in dem die Voraussetzung für eine routinemäßige Nutzung von Fernerkundungsdaten für europäische Politiken geschaffen werden sollen.

Im Rahmen von GMES soll:

- eine angemessene Beteiligung deutscher Firmen und Nutzer beim Aufbau einer europäischen Informationsinfrastruktur in strategisch wichtigen Anwendungsbereichen sichergestellt werden;
- durch ein aktives Mitgestalten in den entsprechenden Gremien ein geeignetes Zusammenspiel zwischen den Anbietern von Satellitenfernerkundungsinformationen (ESA, EUMETSAT, Agenturen, Industrie, EU Kommission Forschung) einerseits und Nutzern (nationale Behörden, Ministerien, Kommunalverbände, EU Kommissariate Umwelt, Landwirtschaft etc.) erreicht werden;
- die logische und zeitliche Abfolge von Methodenentwicklungen und Pilot- und Demonstrationsvorhaben – bezogen auf örtlich begrenzte Probleme und Testgebiete und überwiegend gefördert durch nationale Programme – auf überregionale bis europäische und globale Dienstleistungen – gefördert durch die ESA und das Forschungsprogramm der Europäischen Kommission – ausgeweitet werden. Nach deren Etablierung und dem Aufbau entsprechender Zentren soll anschließend eine nachhaltige Nutzung dieser Dienstleistungen und die Zusammenführung mit anderen Datenströmen (terrestrische Messnetze, sozioökonomische Daten etc.) durch die nationalen und europäischen öffentlichen Anwender erreicht werden.

Wesentliche Kriterien für die Förderung anwendungsbezogener Entwicklungsprojekte werden sein:

- enge Kooperation von Anwendern und Wissenschaftlern zur Absicherung des notwendigen Know-how-Transfers;
- Langzeitnutzung der Daten - unterstützt durch ein operatives Bodensegment (Datensicherung, -aufbereitung und -verteilung, Erstellung von Standardprodukten);
- Vernetzung der für die Operationalisierung notwendigen Datenquellen (terrestrisch und Fernerkundung), Modellierern und Dienstleistungsunternehmen;
- Aussicht auf eine umfangreiche Folgenutzung im Erfolgsfall.

### 3.3.2 Kommerzielle Erdbeobachtung

Ziel ist der Transfer von mit öffentlichen Mitteln entwickelten Systemen in eine sich dauerhaft selbsttragende privatwirtschaftliche Nutzung. Darauf basierende Märkte und Mehrwertdienstleistungen sollen private und volkswirtschaftliche Gewinne generieren sowie hochqualifizierte Arbeitsplätze schaffen. Wesentliche Voraussetzung für die Förderung kommerziell ausgerichteter Vorhaben ist eine maßgebliche finanzielle Eigenbeteiligung der Industrie.

Das Projekt TerraSAR ist das erste vollständig nationale Erderkundungsprojekt, das zudem ein Pilotprojekt für die Kommerzialisierung darstellt. Dazu wurde frühzeitig eine Partnerschaft zwischen dem DLR und dem kommerziellen Betreiber abgeschlossen, die die Interessen des Bundes auf der wissenschaftlichen Seite sowie die kommerziellen Interesse der Firma Astrium GmbH regelt. Der Bund verfügt demnach über das DLR über die ausschließlichen Nutzungsrechte aller Daten des X-Band SAR Satelliten „TerraSAR-X“ zu wissenschaftlichen, nicht kommerziellen Verwertungszwecken. Die Firma Astrium verfügt über die ausschließlichen Nutzungsrechte aller Daten zum Zwecke der Kommerzialisierung und finanziert in diesem Zusammenhang den Aufbau des gesamten Service- und Vertriebssteils des Bodensegmentes. Weitere TerraSAR-Systeme sind geplant und sollen mit Mitteln der Industrie gebaut werden.

Das Projekt RapidEye zielt auf den Aufbau eines satellitengestützten optischen Fernerkundungssystems, das von jedem Punkt der Erde mindestens einmal täglich eine multispektrale Stereo-Aufnahme der Erdoberfläche mit ca. 5 m Auflösung bereitstellen kann, sofern Bewölkungs- und Sichtverhältnisse ausreichend sind. Erreicht werden soll dies durch eine Konstellation von Kleinsatelliten. Die Daten, die mit den RapidEye-Satelliten aufgenommen werden sollen, stellen zu TerraSAR komplementäre Informationen dar. Für die Datenrechte werden ähnliche Konditionen angestrebt wie bei TerraSAR. Der Aufbau von RapidEye soll im wesentlichen in einer Finanzierung durch die Nutzer, durch den Einsatz von Risikokapital, einer Länderbeihilfe aus einem der neuen Bundesländer sowie durch Mittel aus dem nationalen Erderkundungsprogramm erfolgen.

Die größte Wertschöpfung findet in Form von kommerziellen Produkten und Dienstleistungen statt. Die bisherigen Förderthemen sollen daher in Kooperation mit anderen Förderprogrammen der Bundesregierung erweitert werden um:

- Kombinierte Anwendungen von Kommunikation, Navigation und Erdbeobachtung (Geo-Telematik), sowie durch Fusion von Daten aus verschiedenen Quellen;
- Anteilige Unterstützung von Produktentwicklungen in Kooperation mit den Endnutzern.

### 3.3.3 Wissenschaftliche Erdbeobachtung

Bei der Umsetzung von Projekten im Rahmen der wissenschaftlichen Erdbeobachtung sollen folgende Randbedingungen berücksichtigt werden:

- Ausrichtung an prioritären wissenschaftlichen Themen, orientiert an nationalen Forschungsprogrammen, insbesondere an solchen im Bereich der Umwelt;
- Einbindung in internationale Programme, insbesondere in die der EU und ESA;
- Verkürzung der bisher für satellitengestützte Einsätze typischen Entwicklungszeiträume;
- Langfristige Verfügbarkeit von Sensoren (Operationalität).

Das Erdbeobachtungs-Rahmenprogramm der ESA („Earth Observation Envelope Programme“, EOEP) bildet das zentrale Element der Erdbeobachtung in Europa. Das EOEP basiert auf der Europäischen Weltraumstrategie, die gemeinsam zwischen ESA, EU und EUMETSAT verabschiedet worden ist. Damit ist ein langfristiges europäisches Programm zur Erkundung des Planeten Erde und unserer Umwelt eingerichtet worden. Es stützt sich auf das „Living Planet Programme“, das mit einer Vielzahl von Wissenschaftlern und Fernerkundungsnutzern in Europa umfassend abgestimmt

wurde. Deutschland beteiligt sich an der zweiten Phase des EOEP mit über 22% und ist damit größter Beitragszahler. Das Programm soll jeweils in 5-Jahres-Phasen verlängert werden.

Unter dem Dach des Rahmenprogramms werden folgende Programmkomponenten zusammengefasst:

- EARTH EXPLORER-Kernmissionen und „Opportunity“-Missionen (Kleinsatelliten, Instrumente) mit wissenschaftlicher Zielsetzung;
- Entwicklungs- und Nutzungskomponenten, unterteilt in: Technologieentwicklung und Instrumentenvorentwicklung, Nutzungs- und Marktentwicklungsaktivitäten, Erhaltung und Nutzung von Datenarchiven der ESA, Betrieb laufender Missionen (z.B. ERS), Entwicklung und Demonstration neuer Anwendungen.

Auf mehreren europäischen Konferenzen wurden Missionsvorschläge für Kernmissionen unter maßgeblicher Beteiligung deutscher Wissenschaftler abgestimmt.

- Die *Gravity and Ocean Circulation Mission (GOCE)* wird von Klimaforschern seit langem gefordert. Die Bestimmung des Erdschwerefeldes mit hoher räumlicher Auflösung ist eine Voraussetzung, um Meeresströmungen aus Satelliten-Höhenmessdaten ableiten zu können. Daten über Meeresströmungen und Meeresspiegelhöhen wiederum sind wesentliche Parameter zum Beispiel für Untersuchungen des El Niño-Effektes oder auch von Klimaeinflüssen auf den Golfstrom. GOCE setzt die Missionen CHAMP und GRACE ab 2005 mit deutlich verbesserter räumlicher Auflösung fort.
- Die *Atmospheric Dynamics Mission (Aeolus/ADM)*, die in 2007 gestartet werden soll, zielt auf die großskalige Bestimmung des Windfeldes als ein Schlüsselparameter für die numerische Wettervorhersage und die Klimaforschung. Wettervorhersagen können durch präzise Winddaten um 1 bis 2 Tage ausgedehnt werden. Zudem dienen entsprechende Messungen der Erforschung des Windfeldes in den Tropen und auf der Südhemisphäre, wo bisher nur wenige Beobachtungsstationen existieren. Zentrales Instrument wird ein Wind-LIDAR sein. Das DLR wird die Aeolus/ADM Mission mit einem eigenen flugzeuggetragenen Wind-Lidar unterstützen.

GOCE und ADM wurden als vordringlich bewertet und ihre Realisierung beschlossen. Drei weitere Missionskandidaten sind Earth Clouds Aerosol and Radiation Explorer (EarthCARE), Water Vapour Lidar Experiment in Space (WALEX) und Surface Processes and Ecosystem Changes Through Response Analysis (SPECTRA). Neben den Kernmissionen wird es kleine dedizierte Opportunity Missions geben. Zwei speziell auf aktuelle Fragestellungen ausgerichtete Missionen wurden ausgewählt:

- *CRYOSAT* Bestimmung und Beobachtung der globalen Eis- und Schneebedeckungen (Start: 2004);
- *SMOS* Bestimmung der Bodenfeuchte und des Salzgehaltes der Ozeane (Start: 2006).

Im Rahmen des EOEP-Programms sollen zudem gemeinsam mit potenziellen Partnern die notwendigen Vorbereitungen im Hinblick auf mögliche operationelle Missionen („EarthWatch“-Missionen) getroffen werden.

Die Nutzung der Erdbeobachtungsdaten ist nicht Bestandteil der ESA-Programme. Eine finanzielle Förderung von entsprechenden Nutzungsvorhaben zu den ESA-Vorhaben erfolgt im Rahmen der nationalen und der EU-Programme. Auf nationaler Ebene wurde u.a. zur Abstimmung der Förderzuständigkeiten ein ENVISAT-Förderleitfaden zwischen dem BMBF, der DFG und der DLR vereinbart. Nutzungsvorbereitung zum Zweck der Schaffung einer unabhängigen europäischen Informationsinfrastruktur (GMES) dagegen ist Bestandteil des entsprechenden EarthWatch-Programms und Teil der ESA/EU-Strategie.

Das nationale Förderprogramm Raumfahrt konzentriert sich auf nutzungsvorbereitende Aufgaben, insbesondere in Ergänzung zu den ESA- und EUMETSAT-Missionen. Dies wird sowohl die Förderung von Pilot- und Demonstrationsvorhaben umfassen als auch die Durchführung von Vorhaben zu Algorithmenentwicklungen und zur Datenqualifikation. Zudem sollen nationale Vorentwicklungen zu neuen Instrumenten und Fernerkundungsverfahren durchgeführt werden, um die Konkurrenzfähigkeit im internationalen Wettbewerb in technologischen und wissenschaftlichen Schlüsselbereichen zu erhalten oder auszubauen. Insbesondere für die Auswahl künftiger ESA-Missionen gilt es, langfristig technologisch/wissenschaftliche Vorbereitungen zu treffen. Ansätze hierfür sind die Entwicklung von Technologien für weltraumgestützte Lidare zum Zweck der aktiven Atmosphärensondierung und Anwendung auf der Erdoberfläche, auf die Erarbeitung von Grundlagen für passive Atmosphärensondierung vom geostationären Orbit aus sowie auf hyperspektrale Erderkundung als nächste Generation von hochauflösenden abbildenden „Geo-Informationen“-Sensoren. Im SAR Bereich stehen die Verbesserung der bisherigen Systeme, neue und kostengünstige Antennenkonzepte, softwaregesteuerte SAR-Systeme sowie bi- und multistatische Konstellationen im Fokus zukünftiger Entwicklungen.

Das DLR FuE-Programm hat die Schwerpunkte: Vorentwicklung neuer, zukunftssträchtiger Fernerkundungsmethoden und deren Anwendungen; Beteiligung an der Durchführung nationaler und ESA-Missionen im Raum- und Bodensegment; Demonstration des Nutzungspotenzials der satellitengestützten Erdbeobachtung durch geeignete Anwendungs- und Technologietransferprojekte. Sowohl SAR- als auch LIDAR-Anwendungen werden hier zwei Schwerpunkte für die Entwicklung künftiger Fernerkundungstechnologien bilden.

### **3.4 Langfristperspektive**

Eine wesentliche Aufgabe der Zukunft wird sein, die Nachfrage einer wachsenden Weltbevölkerung nach Ressourcen wie Boden, Luft, Trinkwasser, Wälder und fossile Brennstoffe im Sinne einer nachhaltigen weltweiten Bewirtschaftung so zu steuern, dass auch nachfolgende Generationen lebenswerte Bedingungen vorfinden. Dazu bedarf es objektiver und globaler Überwachungsmethoden für Wetter, Klima, Landnutzung, Überschwemmungen, Erosion, Umweltmonitoring, Desertifikation, El-Niño-Effekte, Vulkanausbrüche, Brände, Schadstoff- oder Verkehrsströme. Wichtig wird sein, die Konsequenzen menschlichen Handelns für das System Erde von jenen natürlichen Ursprungs abgrenzen und in ihrem Zusammenwirken beurteilen zu können. Hier bieten heute absehbare neue technische Möglichkeiten der Fernerkundung aus dem Weltraum die Chance, wichtige neue Erkenntnisse über die globalen Zusammenhänge zu gewinnen. Diese langfristig angelegten Forschungen bilden einen Schwerpunkt sowohl im ESA-, im nationalen als auch im DLR FuE Programm.

EUMETSAT soll auf der Basis seiner Fähigkeiten, Kapazitäten und Erfahrungen die führende Rolle beim Betrieb operationeller Satellitensysteme in den Feldern Meteorologie, Klima- und Umweltmonitoring übernehmen und ausbauen. Dies schließt die Bereitstellung von Daten bezüglich Ozean, Atmosphäre und Biosphäre sowie Naturkatastrophen ein. EUMETSAT soll darüber hinaus einen unabhängigen und komplementären europäischen Beitrag zu globalen Programmen der Erdbeobachtung bezüglich Meteorologie und Klima liefern, die auf internationalen Vereinbarungen basieren. Hierfür wird EUMETSAT nicht nur Satelliten betreiben, sondern auch relevante Daten anderer weltweiter Betreiber beschaffen und Langzeitarchive unterhalten.

Geoinformationen bilden weltweit ein Wirtschaftsgut ersten Ranges mit zunehmender volkswirtschaftlicher Bedeutung. Sie sind in der modernen Wissensgesellschaft eine wichtige Grundlage für planerisches Handeln in vielen Bereichen (z.B. Standort- und Investitionsentscheidung, Telematik/Verkehrslenkung, Umwelt/Naturschutz, Landesverteidigung, Zivilschutz, und Bürgerbeteiligung an Verwaltungsentscheidungen). Darüber hinaus ist die Herstellung, Entwicklung und Nutzung der auf die Verarbeitung von Geoinformationen angelegten Technologie ein wichtiger arbeitsplatzschaffender Wachstumsbereich. Ziel ist es daher, den Zugang zu Geodaten durch eine verbesserte Koordinierung sowie Ausschöpfung der Möglichkeiten der modernen Informationstechnologie für

Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und den Bürger wesentlich zu erleichtern und kosteneffizienter zu gestalten. Im nationalen Interesse ist es notwendig, öffentliche Anwendungen der Fernerkundung zu verstärken und langfristig unter angemessener Berücksichtigung aller Elemente der Datenkette – vom Sensor bis hin zur Einrichtung zur Herstellung der Informationsprodukte – für die operationelle Nutzung zu sichern.

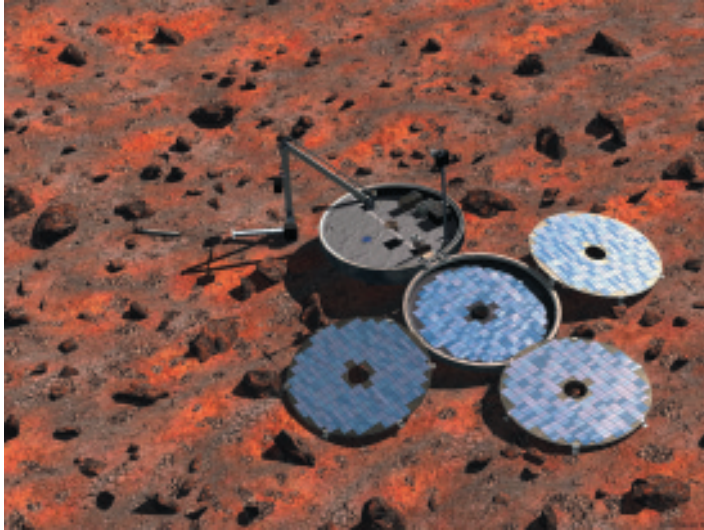
Die Beteiligung an globalen und europäischen Beobachtungssystemen für Umweltüberwachung und Verifikation von Abkommen sowie zum Management von Krisen- und Katastropheneinsätzen im In- und Ausland gehört zu den Zielen im Rahmen von GMES, die in Zusammenarbeit mit den verantwortlichen Ressorts erreicht werden soll. Dabei muss als wesentliche Voraussetzung zur erfolgreichen Implementierung solcher Systeme, neben der Platzierung von Satelliten im Orbit, gemeinsam mit den Bundesressorts und der europäischen Kommission eine nachhaltige und Übergangslose Förderung von der Methodenentwicklung über Pilot- und Demonstrationsvorhaben bis hin zu prä-operationellen Nutzungsvorhaben erreicht werden, an die sich letztlich die operationellen Nutzungen anschließen.

Als konkrete Maßnahme sollen in Vorbereitung auf ein internationales Umweltüberwachungssystem geeignete Instrumente auf der Basis bestehender optischer Sondierer sowie SAR- und LIDAR-Systeme für langfristig angelegte, operationelle Beobachtungsaufgaben entwickelt werden. Im ersten Schritt wird dies entsprechende Analysen zum Abgleich der Anforderungen an solche Instrumente erfordern. Mittelfristig soll dies im Rahmen des nationalen Weltraumprogramms in eine voroperationelle Pilotmission mit internationaler Beteiligung münden.

Bei den Satellitensystemen werden zunehmend autonome Fernerkundungssysteme benötigt, die in der Lage sein werden, Nutzern direkt und in Echtzeit Informationen zu liefern. Passive Systeme werden vielfach durch aktive, wie Radar und LIDAR, ergänzt werden. „On-Board Prozessierung“ wird eine zunehmende Rolle spielen, um die Sensoren „intelligenter“ zu machen und die Datenmenge auf den aktuellen Bedarf zu konzentrieren. Das Kosten/Nutzen-Verhältnis muss laufend verbessert werden, wobei die Entwicklung preiswerterer Radartechnologie und die kontinuierliche Miniaturisierung Schlüsselbereiche sein werden. Bei der Verarbeitung der Daten werden neben der Sensor- und Datenfusion informationstechnologische Entwicklungen wie intelligente Datensuche, Online-Architekturen, Prozessierung-on-demand sowie GIS-Technologien eine Schlüsselrolle spielen. Verfahren zum automatischen Bildverstehen, zu inhaltsbasierten Suchfunktionen und zum „Information Mining“ in großen heterogenen Fernerkundungsdatenbeständen an denen derzeit u.a. im Institut für Methodik der Fernerkundung des DLR gearbeitet wird, sind dabei von entscheidender Bedeutung. Für den kommerziellen Erfolg der Erdbeobachtung am Markt wird die Reduktion der Gesamtsystemkosten und der Schritt von den datenliefernden Satelliten von heute zu Informations- und Dienstleistungssystemen von morgen entscheidend sein. Für die künftigen Märkte, z.B. im Bereich „Precision Farming“ und Forstwirtschaft, werden multispektrale Scanner und Radarsysteme im Weltraum wichtige Informationen liefern. Etablierte und zukünftige Systeme aus Navigation/Ortung und Kommunikation spielen bereits heute eine wichtige Rolle als unterstützende Systeme zur Erdbeobachtung und werden auch zukünftig aus Effizienz- und Kostengründen in das Gesamtkonzept zu integrieren sein. Die in verschiedenen Instituten des DLR vorhandene Erfahrung mit verschiedensten Sensoren sollen dazu gezielt eingesetzt und weiterentwickelt werden..

Auch weiterhin sollen im nationalen Programm neue Instrumente und Missionen zur Erreichung von gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Zielen realisiert werden. Dies soll unter Fortsetzung der bewährten Beteiligung an bi- oder multilateralen Kooperationen erreicht werden. Die seit zwei Jahrzehnten andauernde Kooperation mit den USA in der Erdbeobachtung auch nach Abschluss der SRTM-, CHAMP- und GRACE-Missionen ist dafür ein gutes Beispiel. Für das ESA-Programm verfolgt Deutschland das längerfristige Ziel, das Erdbeobachtungswissenschaftsprogramm als Pflichtprogramm weiterzuführen.

## Fachprogramm Erforschung des Weltraums



## 4. Fachprogramm Erforschung des Weltraums

### 4.1 Bedeutung des Programms, internationaler Kontext

Die Erforschung des Weltalls ist einer der spektakulärsten Bereiche der Raumfahrt. Sowohl die Erkundung unseres eigenen Planetensystems mit den zahlreichen Planeten, Monden, Kometen, Asteroiden und nicht zuletzt der Sonne, als auch die Erforschung des Kosmos mit Weltraumteleskopen übt eine große Faszination aus. Wissenschaftlich stehen Fragen nach der Stellung des Menschen in der unermäßlichen Größe des Weltalls, nach der Entstehung und Verbreitung von Leben und nach den physikalischen Grundgesetzen im Vordergrund.

Im Fachprogramm Erforschung des Weltraums stellen folgende Fragen die derzeitigen Forschungsschwerpunkte in drei Unterprogrammen dar:

#### 1. Erforschung unseres eigenen Sonnensystems

- Wie entwickelte sich das frühe Sonnensystem?
- Wie verlief die Entwicklung der Körper im Sonnensystem?
- Wie ist der Lebensraum Erde in das Sonnensystem eingebettet und wie wird er von der Sonne beeinflusst?

#### 2. Weltraumastronomie

- Wie ist das Universum entstanden?
- Wie bildeten sich Galaxien mit ihren Schwarzen Löchern, Sterne und Planeten?
- Woraus besteht die nichtleuchtende (dunkle) Materie im Kosmos?
- Gibt es Leben auf anderen - extrasolaren - Planeten?

#### 3. Fundamentale Physik

- Gibt es Antimaterie im Weltraum?
- Welche grundlegende Theorie verbindet die Quantenphysik mit der Gravitation und der Raum-Zeit auf kleinen und großen Skalen?

Beim Versuch, Antworten auf diese Fragen zu finden, erweitert die Weltraumforschung unser Wissen und öffnet neue Horizonte für das Selbstverständnis des Menschen. Weltraumforschung begeistert die jüngere Generation, legt Kreativitätspotenzial frei und trägt so auch zur Innovationsfähigkeit der Gesellschaft bei. Über das Interesse an extraterrestrischen Fragestellungen lassen sich insbesondere junge Menschen an die Naturwissenschaften heranzuführen. Deshalb sind die nachhaltige Förderung und Ausbildung des wissenschaftlich-technischen Nachwuchses wesentliches Element des Wirkens der beteiligten Institute bis hin zum Hervorbringen weltweit anerkannter Spitzenforscher. Die besonders beeindruckenden Beobachtungsergebnisse der extraterrestrischen Forschung, die erst durch den Einsatz von Raumfahrtssystemen erschlossen werden konnten, finden in der breiten Öffentlichkeit großes Interesse.

Die Raumfahrt ermöglicht uns heute, Sonne, Planeten, Monde und Kleinkörper unseres Sonnensystems, wie Kometen und Asteroide aus der Nähe zu erkunden und den Kosmos mit Weltraumteleskopen auch in den Bereichen des elektromagnetischen Spektrums zu untersuchen, die von der Erde aus nicht zugänglich sind, z. B. Röntgen- und Gammastrahlungsregionen sowie Teile des Infrarot- und Submillimeterbereichs. Damit wird die Raumfahrt zum unverzichtbaren Instrument der extraterrestrischen Forschung komplementär zu und abgestimmt mit der bodengebundenen Astronomie sowie mit Laborexperimenten, die von der Physik bis zur Mineralogie reichen.

Für Experimente der Fundamentalen Physik bietet der Weltraum Bedingungen, wie sie sich in terrestrischen Laboratorien nicht darstellen lassen. Zum einen eröffnet dies einen Zugang zur fundamentalen Frage der Verbindung von Quantenphysik mit der Gravitation bzw. der Raum-Zeit. Zum anderen haben neue Methoden des Quantenengineering in der Metrologie, Quantenoptik und Atom-

physik Präzisionsgrade erreicht, deren fundamentale physikalische Grenzen nur unter Weltraumbedingungen erreichbar werden.

Über die bestehenden Vernetzungen mit anderen Naturwissenschaften hinaus entwickeln sich heute grundlegende Zusammenhänge einerseits zwischen der Quanten- bzw. Elementarteilchenphysik und der Astrophysik sowie andererseits zwischen Geowissenschaften und Sonnensystemforschung. Die DFG Sonderforschungsbereiche *Astro-Teilchenphysik* und *Quantenlimitierte Messprozesse* sowie die erwähnten DFG-Schwerpunkte tragen dieser Entwicklung bereits Rechnung.

Die Erforschung des Weltraums ist in den letzten drei Jahrzehnten zu einem breiten Spektrum von Disziplinen aufgefüllt mit primären und sekundären Nutzern aus Ausbildung, Forschung und Bildung. Institutionell spiegelt sich dies in Deutschland in 7 Max-Planck-Instituten, 2 Wilhelm-Gottfried-Leibniz-Instituten, 4 Sonderforschungsbereichen bzw. Schwerpunkten der DFG und ca. 25 Hochschulinstituten wider. In fast allen Bereichen der Erforschung des Weltalls haben deutsche Wissenschaftler eine international beachtete Stellung erarbeitet.

Mehr noch als in den vergangenen zwei Jahrzehnten wird in den nächsten 20 Jahren der Versuch im Vordergrund stehen, den Kosmos als Ganzes, d. h. die Entstehung und Entwicklung von Raum, Zeit und Materie - konzentriert in Galaxien, Sternen, Planeten und interstellarem/interplanetarem Gas und Staub - auf physikalischer Grundlage zu verstehen. Zu diesem Thema fördert die DFG den Sonderforschungsbereich *Galaxien im jungen Universum*, die Schwerpunkte *Physik der Sternentstehung* und *Mars und die terrestrischen Planeten*; ein Sonderforschungsbereich-Transregio *Extrasolare Planeten* ist in Vorbereitung.

Raumfahrtprojekte erfordern von der Industrie neue technische Entwicklungen an der Grenze zur Machbarkeit und stellen immer aufs Neue eine besondere Herausforderung an Physiker und Ingenieure dar. Die dabei gewonnene Problemlösungskompetenz qualifiziert auch für andere technisch-wissenschaftliche Aufgaben. In Teilbereichen der deutschen Industrie wirkt die Extraterrestrik als wichtiger technologischer Impulsgeber.

Deutschland hat auf dem Gebiet der Extraterrestrik, das international einerseits durch Kooperation, andererseits durch scharfen innerwissenschaftlichen Wettbewerb charakterisiert ist, einen hervorragenden Platz errungen. Wegen ihrer wissenschaftlichen und technischen Kompetenz sind deutsche Wissenschaftler bei den Missionen im Wissenschaftsprogramm von NASA und ESA gefragte Partner.

### *Beteiligungen an ESA Programmen*

Das ESA-Wissenschaftsprogramm „Horizonte 2000“ und das Nachfolge-Programm „COSMIC VISION 2020“ (vgl. Kapitel 4.3) stellt für Deutschland das Rückgrat der Aktivitäten im Extraterrestrik-Programm dar. Deutschland trägt bei diesem sehr erfolgreichen ESA Pflichtprogramm einen Finanzierungsanteil von rund 24%. In den letzten zehn Jahren hat dieses Programm erhebliche Leistungssteigerungen erzielt. Außerdem wurde durch Einsatz neuer Träger, Wiederverwendung von Plattformen und Subsystemen sowie neuen Managementmethoden die Effizienz gesteigert. In den kommenden Jahren ist eine Erhöhung der Missionsfolge vorgesehen, damit das wissenschaftliche Programm im weltweiten Wettbewerb seine exzellente Position beibehalten und seiner strategischen Rolle als Informationsquelle gerecht werden kann.

Ergänzt wird das ESA Programm durch nationale Programmelemente mit kleinen Missionen und Beteiligungen an multinationalen Projekten, die aus dem nationalen Haushalt finanziert werden. Die zukünftigen Schwerpunkte werden sich an den Bereichen orientieren, in denen deutsche Wissenschaftler international wettbewerbsfähig sind, und die ein hohes Potenzial für wissenschaftliche und technische Innovationen aufweisen.

Von den ca. 37 Mio. € pro Jahr des nationalen Programms werden etwa 50 % zur Instrumentierung und Datenaufbereitung bei ESA-Missionen eingesetzt. Die von den Instituten außerhalb des DLR zusätzlich im Rahmen der Erforschung des Weltraums eingesetzten Eigenmittel betragen ab-

hängig von der Bewertung des Aufwands für Infrastruktur rund 35 bis 55 Mio. €. Weitere ca. 15 Mio. € setzt das DLR an eigenen Forschungs- und Entwicklungsmitteln vornehmlich in der Planetenforschung ein. Darüber hinaus beteiligt sich Deutschland am „Erange-Andoya Special Project“. Es dient der Bereitstellung der Infrastruktur und der Durchführung von Höhenforschungsraketen- und Ballonkampagnen in den Forschungsbereichen obere Atmosphäre, Klimaforschung, Validierung von Erdbeobachtungssatelliten und Mikrogravitation.

#### *Situation der Forschungsinstitute auf dem Gebiet Extraterrestrik*

Die Extraterrestrik in Deutschland wird von zahlreichen Gruppen an Universitäten, Max-Planck-, DLR-, Leibniz-, Fraunhofer- und Landes-Instituten getragen. Dabei hat sich eine intensive Zusammenarbeit zwischen diesen Forschungseinrichtungen entwickelt. Die Behandlung extraterrestrischer Themen ist im Lehr- und Ausbildungsbetrieb an Universitäten erheblich gewachsen. Es wird angestrebt, diesen Trend auf breiterer Basis als einen wichtigen Bestandteil naturwissenschaftlicher Ausbildung fortzusetzen.

Für die Durchführung und wissenschaftliche Betreuung der Projekte stellen die beteiligten Institute erhebliche eigene Ressourcen zur Verfügung. Anregungen für neue Programme und Projektvorschläge kommen überwiegend von einzelnen Wissenschaftlern oder Wissenschaftlergruppen. Über ein umfangreiches Beratungs- und Begutachtungswesen, an dem die wissenschaftlichen Nutzer sich aktiv beteiligen, werden die konkreten Inhalte der Programme definiert. Künftig soll die Nutzung der Satelliten und die Nutzung der bodengebundenen Infrastruktur, wie Teleskope, noch enger miteinander verknüpft werden.

#### *Rolle des DLR*

Das DLR setzt seine wissenschaftliche und technologische Kompetenz kooperativ mit und komplementär zu anderen Forschungseinrichtungen, insbesondere der MPG, Universitäten und Hochschulen, ein. Übergreifendes Ziel ist die enge Verzahnung der astronomischen, planetenwissenschaftlichen und technologisch-methodischen Aspekte von der wissenschaftlichen Idee und der Konzeptstudie, über die Geräteentwicklung und Kalibrierung, Experimentdurchführung und Datenerfassung, bis hin zur vollständigen Datenaufbereitung und der Datenauswertung, die in der Regel in nationaler und internationaler Kooperation stattfindet. Die Beiträge des DLR zur Erforschung des Weltraums sind dabei konzentriert auf die Beteiligung an ESA Eckpfeiler-Missionen und weiteren internationalen Vorhaben der Planetenforschung.

Zusätzlich stellt das DLR das Kontroll- und Operationszentrum GSOC für Satellitenmissionen (wie ROSAT) und die weltweit einsetzbaren mobilen Startanlagen für Höhenforschungsraketen (MORABA) bereit.

## **4.2 Gegenwärtiger Status, laufende Projekte**

Die programmatische Ausrichtung der laufenden Projekte wird geprägt durch die Missionsfolge des Wissenschaftsprogramms HORIZONTE 2000 der ESA. Die Untersuchungsziele im Programm *Erforschung des Weltraums* lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Entstehung, Entwicklung und großräumige Struktur des Universums
- Entwicklung der Galaxien und Rolle der Schwarzen Löcher
- Sternentwicklung und interstellare Materie
- Stern- und Planetenentstehung
- Entstehung und Entwicklung des Sonnensystems
- Vergleich zwischen Erde und „terrestrischen Planeten“

- Die Sonne und ihre Wechselwirkung mit ihrer Umgebung einschl. der Erde
- Zustand und Dynamik der oberen Atmosphäre
- Suche nach Lebensspuren (auch extrasolar)
- Überprüfung physikalischer Grundgesetze, Klärung von fundamentalen Fragen der Physik und der Nachweis von Gravitationswellen

Die konkreten wissenschaftlichen Ziele der extraterrestrischen Forschung werden langfristig im nationalen Programmausschuss, im ad-hoc-Gutachterausschuss sowie in internationalen Gremien abgestimmt.

<b>Mission</b>	<b>wissenschaftliches Ziel</b>	<b>Start</b>	<b>Vorgesehenes Missionsende</b>
Hubble Space Telescope	Astronomie im Sichtbaren und Nahinfrarot-Bereich	04/1990	ca. 2010
ULYSSES	Sonnenforschung außerhalb der Ekliptik	10/1990	2004
SOHO	Sonnenforschung	12/1995	2007
HUYGENS/CASSINI	Saturn und Saturnmond Titan	10/1997	2008
XMM Newton	Röntgenastronomie	10/1999	2006
CLUSTER (4 Sonden)	Wechselwirkung von Sonnenwind mit Erdmagnetfeld	Mitte 2000	2005
Integral	Gammastrahlen-Observatorium	10/2002	2005
SMART-2	Technologie-Erprobung für Merkurmission am Mond	2003	2005
Mars Express	Fernerkundung und Landung auf dem Mars	06/2003	2006
ROSETTA	Fernerkundung und Landung auf einem Kometen	2004	2013

#### **Missionen des ESA-Wissenschaftsprogramms HORIZONTE 2000**

Obwohl Europa auf einigen Gebieten wie Röntgenastronomie, Infrarotastronomie, Astrometrie und der Fundamentalen Physik führend ist, sind die USA (NASA) weiterhin Schrittmacher im gesamten Spektrum der extraterrestrischen Astronomie und bei der Exploration des Sonnensystems. Der Schwerpunkt der in Betrieb befindlichen europäischen Missionen liegt derzeit bei der Erforschung des Sonnensystems; im Langzeitmittel ist das Verhältnis zur Disziplin Astronomie ausgeglichen. Die Teilprogramme werden im Folgenden beschrieben.

#### *Astronomie*

Ziel ist es, die Entwicklung des Kosmos und seiner Objekte von seinen frühesten Anfängen her zu verstehen. Um elektromagnetische Wellen von weit entfernten Protogalaxien und aus der Frühzeit des Kosmos zu empfangen, ist es notwendig, Teleskope und Detektoren mit hoher Empfindlichkeit für die visuellen und von der Erdatmosphäre absorbierten Wellenlängen jenseits irdischer Störungen oberhalb der Transmissionsgrenzen zu positionieren.

Die Denkschrift Astronomie /Astrophysik des Rates deutscher Sternwarten im Auftrag der DFG gibt die Forschungsschwerpunkte für bodengebundene und weltraumgestützte Astronomie vor, die sich gegenseitig ergänzen sollen. Die derzeitigen Weltraummissionen mit deutscher Beteiligung konzentrieren sich auf die Hochenergie-Astrophysik und die Infrarot-Astronomie: die Röntgenmissionen CHANDRA und XMM-Newton sowie die Datenaufbereitung der ISO-Mission. Darüber hinaus sind deutsche Wissenschaftler wesentlich an der Nutzung des NASA/ESA Hubble Weltraumteleskops

beteiligt. Im Rahmen des ESA-Wissenschaftsprogramms ist mit dem Gamma-Observatorium INTEGRAL (2002) ein weiterer Energiebereich für spektroskopische Messungen geöffnet worden.

Nach der erfolgreich abgeschlossenen Mission des „Infrared Space Observatory“ (ISO) der ESA, an der deutsche Wissenschaftler und die deutsche Industrie wegen ihrer Kompetenz im Bereich der Kryotechnologie überproportional beteiligt waren, konzentriert sich die Forschung auf diesem Gebiet in den nächsten Jahren auf das flugzeuggetragene Infrarotteleskop SOFIA (Erprobungsphase ab 2003). Zum Gamma-Strahlen-Teleskop mit großer Sammelfläche GLAST (Start: 2006) der NASA soll ein Gamma Burst Monitor beigestellt werden.

COROT ist eine französische Mission mit deutscher Beteiligung. Die Mission soll hochgenaue Langzeituntersuchungen an etwa 20 bis 30 Sternen vornehmen, mit ähnlicher Zielsetzung wie die ESA Mission Eddington, die mit COROT vorbereitet werden soll.

### *Planetenforschung und die Erforschung der kleinen Körper im Sonnensystem*

Ziel der Sonnensystemforschung ist es, Entstehung, Struktur und Entwicklung der Körper in unserem Sonnensystem zu verstehen, insbesondere angesichts der Sonderstellung des Planeten Erde mit seinem einzigartigen komplexen Ökosystem.

Bis heute haben mit wissenschaftlichen Geräten ausgerüstete Raumflugkörper nahezu alle Planeten des Sonnensystems sondiert, Daten und Bilder über die Monde und die Ringsysteme der äußeren Planeten, über Kometen und Asteroiden geliefert. Bis auf Venus, die von einer dichten Atmosphäre umgeben ist, konnten die Oberflächen der erdähnlichen Planeten im optischen Bereich direkt beobachtet werden, das gleiche ermöglichte die GALILEO-Sonde bei mehreren Jupitermonden. Im Fall von Erdmond, Venus, Mars und sogar der Jupiteratmosphäre waren in-situ Messungen möglich. Vom Erdmond sowie von Mars und Asteroiden liegen sogar Gesteine zur direkten Laboruntersuchung vor. Damit wurden die Körper des Sonnensystems geo-wissenschaftlichen Forschung zugänglich, um Fragen ihrer Struktur, Entstehung und Entwicklung zu beantworten.

Das Verständnis unseres Sonnensystems ist weiterhin ein Schlüssel zur Beantwortung der Frage, wie Planeten bei fremden Sternen entstehen - bis heute konnten zahlreiche extrasolare Planetensysteme nachgewiesen werden - und für die Frage nach Leben außerhalb unseres Sonnensystems.

Gegenwärtig ist Deutschland an der Jupitermission GALILEO (Missionsende: 2003), an der auf dem Weg zum Saturn befindlichen NASA/ESA Raumsonde CASSINI/HUYGENS, an Mars Express (Start: 2003), an den Mars Exploration Rover (Start: 2003) und an den NetLändern (Teil des CNES PREMIER Programms; Start: 2007), an der „sample-return“-Kometenmission STARDUST (Rückkehr zur Erde 2006) und insbesondere an der europäischen Kometen Mission ROSETTA mit vielen Instrumenten und dem Rosetta Lander beteiligt.

Dem Planeten Mars kommt als erdähnlichstem Körper unseres Sonnensystems und als Bindeglied zwischen dem inneren und äußeren Sonnensystem eine besondere Bedeutung zu mit Blick auf die (unterschiedliche) Entwicklung der erdähnlichen Planeten Venus, Erde und Mars sowie wegen seiner Bedeutung für Fragen nach extraterrestrischen Lebensformen. An zukünftigen ESA- und NASA-Missionen zur detaillierten Erforschung des Planeten beteiligt sich Deutschland wissenschaftlich mit Instrumentbeistellungen. Im Mittelpunkt wird die Beteiligung an der 2003 startenden ESA-Mission MARS-EXPRESS stehen. Durch den DFG Schwerpunkt „Mars und die terrestrischen Planeten“ ergeben sich gewollte Synergien zu den Mars-Missionen in der Vorbereitung künftiger Missionen und in der Analyse der Daten aktueller Experimente.

Die Kometenmission ROSETTA (dritte Eckpfeiler-Mission der ESA) soll 2004 starten und ab etwa 2013 einen Kometen auf seinem Flug um die Sonne begleiten. Die Tochtersonde ROSETTA-Lander, die unter DLR-Führung entwickelt wird, soll auf dem Kometen landen und den Kometenkern in-situ analysieren. Mit ROSETTA und NASA Kometen-Missionen wie STARDUST werden zentrale Untersuchungen zum Verständnis primitiver Materie im Sonnensystem durchgeführt.

Die Erforschung der Physik des Gases und des Staubs im Sonnensystem, zu der verschiedene Weltraummissionen beitragen, erhält nach der Entdeckung der interstellaren Komponenten zunehmende Bedeutung.

Im Rahmen der CASSINI/HUYGENS-Mission sind deutsche Wissenschaftler an der Erforschung der Atmosphäre des Saturnmondes Titan, die durch die HUYGENS-Sonde analysiert werden soll, und an der vierjährigen Erkundung des Saturnsystems (Ankunft: 2004) mit dem CASSINI-Orbiter beteiligt.

### *Sonnenforschung*

Ziel der Sonnenforschung ist das physikalische Verständnis der Sonne und ihrer Heliosphäre, d. h. des von Plasma und Magnetfeld des Sonnenwindes erfüllten Raumes zwischen den Planeten. Die Sonne ist unser nächster Stern und der einzige, an dem sich fundamentale astrophysikalische Prozesse mit hoher Auflösung „vor Ort“ studieren lassen. Die ESA-Raumsonden SOHO und ULYSSES erforschen zur Zeit die Sonne und ihre Heliosphäre. Das Raumsonden-Quartett CLUSTER II erforscht seit dem Jahr 2000 die Wechselwirkung des Sonnenwindes mit dem Magnetfeld der Erde; dies soll auch zur besseren Vorhersage von „Weltraumwetter“ führen, das von gewaltigen Eruptionen auf der Sonnenoberfläche bestimmt wird, welche die Elektronik von Kommunikations- und Wettersatelliten und sogar terrestrische Strom- und Computernetze beschädigen können. Die NASA Mission STEREO wird ab 2004 koronale Massenauswürfe der Sonne untersuchen, an 3 von 4 Instrumenten sind deutsche Institute beteiligt. Die räumlich, zeitlich und spektral hochaufgelösten Beobachtungen der Sonne mit dem Ballon-Teleskop SUNRISE (Erstflug: 2005) dienen dabei auch der Vorbereitung der ESA Flexi-Mission Solar Orbiter (Start: ca. 2012).

### *Fundamentale Physik*

Ziel dieses Bereiches ist die Überprüfung physikalischer Grundgesetze sowie die Klärung fundamentaler Fragestellungen der Physik. Hierzu zählen neben der Überprüfung, ob Naturkonstanten wirklich Konstanten sind, auch äußerst präzise Tests der Allgemeinen Relativitätstheorie wie der Nachweis und die Messung von Gravitationswellen. Die ESA/NASA-Mission LISA (Laser Interferometer in Space) versucht Gravitationswellen zu messen. Bei Erfolg böte dies ein völlig neues Beobachtungsfenster, das uns - über den Horizont optischer Beobachtung hinaus - einen Zugang bis zu den Anfängen unseres Universums erlaubt. Das Instrument AMS (Alpha Magnetometer in Space) unter wissenschaftlicher Leitung des Nobelpreisträgers Ting, soll an der Raumstation die Materie-Antimaterie Symmetrie überprüfen und „Dunkle Materie“ im Weltraum aufspüren.

## **4.3 Operative Ziele, Meilensteine**

Die Forschungsstrategie der extraterrestrischen Grundlagenforschung folgt der nachstehenden Sequenz, die in den Programmen, soweit es die technischen und finanziellen Rahmenbedingungen erlauben, schrittweise abgearbeitet wird:

Schritt	<b>Astronomie/Astrophysik</b>	<b>Erforschung des Sonnensystems</b>
1	Erschließung neuer Beobachtungsfenster	Vorbeiflug/Orbitermissionen
2	Durchmusterung	Landungen und in-situ Messungen
3	Spektroskopie und hochaufgelöste Einzelobjekte	Probenrückführungs-Missionen

### **Forschungsstrategie bei der Erforschung des Weltraums**

Dabei überlappen sich die verschiedenen Schritte, weil im Zuge wachsender Erkenntnisse und verbesserter Technologien vorhergehende Experimente mit „sensibleren“ Instrumenten (höherer

räumlicher, zeitlicher, spektroskopischer und radiometrischer Auflösung; größerer Beweglichkeit; mit neuen Analyseverfahren) „verbessert“ werden. Die Schritte sind nicht notwendig konsekutiv.

Deutschland spielt bei diesen international verflochtenen Forschungen eine bedeutende Rolle. Zwar kann es nicht alle Disziplinen der extraterrestrischen Grundlagenforschung mit einer gleichmäßigen Tiefe abdecken. Die deutschen Wissenschaftler nutzen jedoch die Potenziale der internationalen Kooperationen, insbesondere innerhalb Europas und mit den USA. Das Programm *Erforschung des Weltraums* fördert die Beteiligung deutscher Wissenschaftler an internationalen Projekten der Weltraumastronomie und der Exploration des Sonnensystems und führt ausgewählte eigenständige Missionen in Gebieten speziellen deutschen Interesses/Kompetenz ggf. auch in Kooperation mit Partnern durch.

Zwischen ESA- und nationalem Programm bestand bisher eine Arbeitsteilung, bei der ESA die Kosten des Raumfahrzeugs und der Mission finanzierte und die beteiligten Länder die Finanzierung für Instrumente und die Datennutzung übernahmen. Diese Aufteilung muss überprüft werden, da das nationale Programm - im Gegensatz zum ESA Programm - einem ständigen Kaufkraftverlust ausgesetzt war. Es ist nicht zu erwarten, dass immer mehr ESA-Missionen von den nationalen (schrumpfenden) Budgets der Mitgliedsländer mit wissenschaftlichen Instrumenten ausgestattet werden können. Um auch in Zukunft exzellente Wissenschaft zu ermöglichen, werden die Messinstrumente weiterhin Unikate an der vordersten Front der Entwicklung sein müssen. Sie werden teuer bleiben. Eine Steigerung der Finanzierung der nationalen Beistellungen ist nicht zu erwarten. Hier müssen ESA und die nationalen Agenturen gemeinsam eine Lösung finden. Dabei wird es zu Verschiebungen der Finanzierung von (Teilen von) Instrumenten weg von den nationalen Programmen hin zu ESA kommen müssen.

Im Mai 2002 stellte die ESA ihr neues ehrgeiziges Programm COSMIC VISION 2020 vor, in dem 10 Missionen in den nächsten zehn Jahren realisiert werden sollen (siehe Tabelle). Die Missionen wurden nach wissenschaftlichen Kriterien selektiert, und stellen eine Balance zwischen den unterschiedlichen Disziplinen der Extraterrestrik her. Die hohe Missionsfrequenz soll dafür sorgen, dass auf den Gebieten, in denen europäische Wissenschaftler Spitzenpositionen errungen haben oder anstreben, ein kontinuierliches Angebot an auszuwertenden Daten vorhanden ist.

<b>Mission</b>	<b>wissenschaftliches Ziel</b>	<b>geplanter Start</b>
Venus Express	Erforschung der Venus-Atmosphäre	2005
SMART-2	Technologie -Mission zur Vorbereitung von LISA	2006
Herschel/Planck	IR-Astronomie/kosmischer Strahlungshintergrund	2007
Eddington	Astroseismologie und extrasolare Planeten	2008
JWST	James Webb Space Telescope	2010
BepiColombo	Fernerkundung und Landung auf dem Merkur	2011
LISA	Gravitationswellenastronomie	2011
GAIA	Astrometrie-Mission	2012
Solar Orbiter	Sonnenforschung	2012

#### **Missionen des ESA-Wissenschaftsprogramms COSMIC VISION 2020**

Außerhalb der ESA wird das Engagement in der Astronomie und Sonnensystemforschung in internationaler Kooperation, insbesondere mit der NASA, fortgesetzt.

## *Astronomie/Astrophysik*

Die Fern-Infrarot-ESA-Eckpfeiler-Mission Herschel (früher FIRST) ist die 4. Eckpfeiler-Mission im Wissenschaftsprogramm. Sie soll 2007 gemeinsam mit dem Satelliten Planck gestartet werden. Mit Herschel werden astronomische Messungen im Fern-Infrarot- und Submillimeter-Wellenlängenbereich durchgeführt. Schwerpunkt der wissenschaftlichen Zielsetzung ist die Erforschung der Entstehung von Milchstraßensystemen, insbesondere in den frühen Phasen des Universums. Mit Planck soll die kosmische Mikrowellen-Hintergrundstrahlung sehr genau vermessen werden. Wegen der großen Beteiligung an Herschel wurde vereinbart die Mitarbeit bei Planck auf das Datenzentrum zu beschränken. Die hochgenaue Bestimmung der Positionen, der Parallaxen und Bewegungen von mehr als 1 Milliarde Sternen sowie deren Katalogisierung ist das Ziel der geplanten Astrometrie-Mission GAIA (geplanter Start: 2012), eine der nächsten Eckpfeiler-Missionen der ESA. Im Infrarot-Bereich soll JWST (James Webb Space Telescope, Start: 2010) unter Beteiligung der ESA die erfolgreichen Arbeiten des Hubble Space Teleskops fortsetzen. Helioseismologie und die Suche nach extrasolaren Planeten ist das Ziel der Eddington Mission, die im L2-Lagrange-Punkt in 1,5 Mio. km Entfernung die Strahlungsschwankungen von Sternen genau messen soll. Technologisch bereitet ESA im Hinblick auf die kommenden Eckpfeiler-Missionen 8 und 9 die nächste Generation eines Röntgen-Observatoriums (XEUS) und einer Infrarot-Mission (Darwin) vor.

## *Erforschung des Sonnensystems*

Die zentralen Fragestellungen der gegenwärtigen Erforschung des Sonnensystems sind:

- die Untersuchung der Entwicklung primitiver Materie im Sonnensystem. Sie kann einerseits Auskunft geben über die Entstehung von Planetesimalen - kleinen Körpern, die sich aus der ursprünglich gasförmigen Materie gebildet haben und als Grundlage für das Wachstum der Planeten betrachtet werden - und das Wachstum von Planeten und andererseits über die chemisch/mineralogischen Grundvoraussetzungen der späteren Entwicklung des Lebens.
- die Untersuchung der Entwicklung der terrestrischen Planeten. Sie gelten als mögliche „bewohnbare“ Planeten, auf denen sich eine Biosphäre ausbilden kann und als mögliche Zeugen früherer biologischer Aktivität.
- die Untersuchung der Entwicklung planetarer Atmosphären. Sie stellen die Randbedingungen für die Entstehung und Entwicklung der Biosphären dar und dienen als "Anschauungsobjekte" zum besseren Verständnis unserer eigenen terrestrischen Atmosphäre.

Auch an zukünftigen ESA- und NASA-Marsmissionen zur detaillierten Erforschung des Mars will sich Deutschland wieder mit wissenschaftlich mit Instrumentbeistellungen beteiligen.

Nächstes Ziel nach der Erforschung des Mars mit Mars Express und der Venus mit Venus Express ist die Untersuchung des noch relativ unerforschten Planeten Merkur mit der anspruchsvollen Mission BepiColombo bestehend aus einem Magnetosphären-Orbiter, einem planetaren Orbiter (Fernerkundung) und einem Lander. Diese Mission stellt wegen der Sonnennähe hohe technologische Anforderungen.

Die Venus Express-Mission kann durch die Verwendung des Designs der Mars Express-Mission relativ kostengünstig durchgeführt werden. Sie soll die Venusoberfläche erforschen und weitere Erkenntnisse über die Zusammensetzung und Struktur der verschiedenen Atmosphäreschichten liefern.

## *Sonnenforschung*

Die Raumsonden SOHO und ULYSSES erforschen bereits seit 7 bzw. 12 Jahren die Sonne und ihre Heliosphäre. Die vier CLUSTER II – Satelliten messen seit dem Jahr 2000 die Wechselwirkungen des Sonnenwindes mit dem Magnetfeld der Erde und solarerterrestrischen Beziehungen. Zukünftige Mis-

sionen zur Sonne, STEREO und Solar Dynamics Observatory (SDO; NASA), Sunrise (national) und Solar Orbiter (ESA) werden vorbereitet oder sind in der Planung. Dabei sollen zwischen Solar Orbiter, der auf einer sonnennahen Bahn fliegen wird, und der Merkurmission BepiColombo Synergiepotenziale zur Überwindung gemeinsamer technologischer Herausforderungen genutzt werden.

Traditionell hat Sonnenforschung in Deutschland einen hohen Stellenwert; daher wird eine Beteiligung an den zukünftigen NASA-Missionen mit Beiträgen zu den Instrumenten weiterhin angestrebt.

### *Fundamentalphysik*

Während die Astrophysik die Gültigkeit der Naturgesetze für die Deutung der mit Raumsonden und bodengebundenen Detektoren beobachteten Phänomene voraussetzt, befasst sich die *Fundamental Physics* insbesondere mit der Überprüfung von Naturgesetzen und grundlegenden Prinzipien selbst. Als Beispiele seien erwähnt: Der europäische Projektvorschlag HYPER (Hyper Precision Atominterferometry in Space) sowie die deutsche Initiative OPTIS, die beide verschiedene Tests zur Allgemeinen Relativitätstheorie zum Ziele haben, belegen die herausragende Position deutscher Wissenschaftler auf dem Gebiet Fundamentaler Physik.

Deutschland nimmt in diesem Bereich eine international hervorragende Rolle ein und beabsichtigt, im Rahmen der ESA/NASA-Kooperation einen substanziellen technologischen und wissenschaftlichen Beitrag zum Projekt LISA zu leisten.

### *Bedeutung der Raumstation*

Die Internationale Raumstation bietet der Extraterrestrik einige interessante Forschungsmöglichkeiten wie SOL-ACES auf dem Gebiet der Erforschung der Wechselwirkung Sonne/Erde und AMS zur Messung kosmischer Teilchenstrahlung. Bei der Erkundung des Sonnensystems kommt es hingegen auf nahe Vorbeiflüge und in-situ Messungen an. Für die Astronomie ist die Raumstation bedingt geeignet, da die Instrumente dort durch die Umgebungsbedingungen der Gefahr der Verschmutzung ausgesetzt sind und die Station als Basis zur hochgenauen Ausrichtung von Teleskopen nur eingeschränkt genutzt werden kann. Bei ESA laufen Voruntersuchungen zu Instrumentierungen, die unter diesen Randbedingungen arbeiten können und Vorteile durch die Möglichkeiten zur Installation großflächiger Detektoren nutzen wollen, wie einen Teilchendetektor, ein Teleskop zur Durchmusterung des Himmels bei, im Vergleich zu ROSAT, harten Röntgenstrahlen (ROSITA) und den XMM-Newton Nachfolger XEUS.

### *Umsetzung des Programms*

Die Festlegungen auf der Ministerkonferenz in Edinburgh im November 2001 geben dem ESA-Wissenschaftsprogramm eine stabile Finanzierungsbasis. Um im Budgetrahmen möglichst viele Missionen realisieren zu können, soll aufbauend auf der bisher gewonnenen technologischen Basis, durch Wiederverwendung bereits entwickelter Untereinheiten, durch Verkürzung von Entwicklungszeiten, durch stärkere Übertragung von Verantwortung an die industriellen Auftragnehmer und durch verstärkte internationale Kooperation erhebliche Einsparpotenziale aktiviert werden. So werden in Zukunft die Kostenrahmen für „Eckpfeiler“-Missionen von über 2 auf 1,5 Jahresbudgets und die für „Mittlere“, heute „Flexi“-Missionen von einem auf ein halbes Jahresbudget reduziert. Da außerdem kleine, Technologie vorbereitende Missionen („SMART“) eingeführt werden, steigert sich die Effizienz des ESA-Wissenschaftsprogramms erheblich, und das Programm gewinnt Flexibilität für die Umsetzung neuer, wissenschaftlich herausfordernder Projekte.

Als erstes Ergebnis der Diskussion mit ESA zu Beistellungen von Instrumenten bei knapperen nationalen Mitteln plant ESA, gemeinsam mit den nationalen Agenturen, in Zukunft die Beistellungen auf die für die Wissenschaft essenziellen Elemente zu reduzieren, interne Nahtstellen zu standardisieren und die Wissenschaftler in der Weiterentwicklung ihrer Geräte zu unterstützen. Aus deut-

scher Sicht muss ESA in Zukunft die Finanzierung aller Kerninstrumente einer Mission übernehmen, so wie das auch im Erdbeobachtungsprogramm stattfindet.

Sofern es die Entwicklung des nationalen Raumfahrtprogramms erlaubt, sollen auch eigenständige Kleinsatellitenmissionen wieder in Betracht gezogen werden, um den deutschen Wissenschaftlern und der Industrie eine Teilnahme an sichtbaren „Leuchtturmprojekten“ zu ermöglichen.

Als Maßnahme zur Sicherung der Qualität der deutschen Extraterrestrik ist eine stärkere Vernetzung zwischen den wissenschaftlichen Arbeiten im Weltraum und am Boden geplant, insbesondere durch die Nutzung der Förderinstrumente der DFG, aber auch der Universitäten und Max-Planck-Institute. Hier wirkt insbesondere die Selbstorganisation der Astronomen und Sonnensystemforscher, die diese Aktivitäten eigenständig vorantreiben.

In diesem Zusammenhang ist von Bedeutung, auf die wichtige Rolle der *Verbundforschung* hinzuweisen. Durch sie ist es insbesondere für Universitäten möglich, sich im konkurrierenden Wettstreit mit anderen Bewerbern wissenschaftlich an zahlreichen Projekten der Extraterrestrik zu beteiligen. Dieses Förderprinzip ist auch in Zukunft unverzichtbar, die bestgeeigneten Fördermodalitäten hierzu werden zur Zeit untersucht.

#### **4.4 Langfristperspektive**

Die Weltraumforschung der letzten 30 Jahre hat das Verständnis des Planeten Erde, des Sonnensystems und des Universums revolutioniert; sie wird im 21. Jahrhundert viele noch bestehende Geheimnisse, und dadurch die Fragen nach der Entstehung und Entwicklung des Kosmos und des Lebens einer Antwort näher bringen.

Langfristige Missionsziele im deutschen Extraterrestrik-Programm sind:

- Mitwirkung an der Erforschung des Mars bis hin zur Probenrückführung,
- Erforschung der Kometen im Rahmen der Missionen ROSETTA und STARDUST,
- Erforschung des sonnennächsten Planeten Merkur,
- Beobachtung der Sonne und ihrer Wechselwirkung mit der Erde.
- angemessene Beteiligung an der ESA-Mission HERSCHEL/PLANCK,
- Nachfolgeteleskop von Hubble: „James Webb Space Telescope“ (JWST),
- Gravitationswellenastronomie: LISA,
- Astrometrie: GAIA,
- Entdeckung und Untersuchung erdähnlicher extrasolarer Planeten: Darwin,
- Entstehung und Entwicklung des heißen Universums: XEUS,
- Regelmäßige Durchführung einer nationalen Kleinmission.

Während in der Erforschung des Sonnensystems früher die Fernerkundung und physikalische Fragestellungen im Vordergrund standen, ist sie jetzt insbesondere durch außerordentlich verbesserte in-situ-Messmöglichkeiten sowie durch mögliche Probenrückführung auf die Erde um geo- und biowissenschaftliche Aspekte erweitert worden und hat sich im gewissen Sinne zu einem interdisziplinären Teilgebiet der Geowissenschaften entwickelt. Die fortschreitende Miniaturisierung sowie

innovative Analyse- und geophysikalische Prospektionstechniken führen dazu, dass über die bisher zugänglichen Körper des Sonnensystems fast so viel bekannt ist wie über den Meeresboden auf der Erde. Hinzu kommt, dass der Schlüssel für die letzte, bisher völlig ungeklärte Menschheitsfrage, der nach dem Übergang von unbelebter zu belebter (reproduktiver) Materie möglicherweise im „Weltraum“ liegt. Diese Fragestellung motiviert die Kometen- und Asteroidenforschung und relevante astronomische Beobachtungen.

Deshalb sind Weltraummissionen zur Erkundung des Sonnensystems - insbesondere des Mars und der Kometen -, zum tieferen Verständnis der Sonnendynamik, der Heliosphäre und der solar-terrestrischen Beziehungen bereits jetzt Bestandteil der Planungen verschiedener nationaler und internationaler Partnerorganisationen des DLR wie CNES, ASI, ESA (Cosmic Vision 2020) und NASA („Origins“-Programm).

Mit dem Hubble-Weltraumteleskop (HST) dringen wir zwar immer tiefer in die Randbereiche des erfahrbaren Universums, dennoch sind weite Bereiche des Weltraums „terra incognita“.

Man könnte die Erforschung des Kosmos mit der Erkundung unserer Erde vergleichen. Vor 1000 Jahren war nicht bekannt, wo sich die Kontinente befinden. Diese Entdeckungen wurden erst vor 400 Jahren gemacht. Auf ungefähr diesem Niveau befinden wir uns derzeit in der Kosmologie. Wir sind gerade dabei, die Umrisse einer Generalkarte des Kosmos zu erstellen. Und allmählich beginnen wir, Details der Evolution zu verstehen. Eine Evolution, die aus nahezu strukturlosen Anfängen hoher Symmetrie („Einfachheit“) in einem expandierenden Weltraum zu komplexen Strukturen wie Atome, Zellen, Spiralnebel, Planetensystemen oder gar zu belebten Biosphären führte.

Die Erforschung des Kosmos, die Entschleierung der strahlenden Formen von immer weiter entfernten Galaxien, Quasaren und kosmologischen Strahlungsquellen und die Exploration der Körper unseres Sonnensystems - später vielleicht auch mit bemannten Missionen - werden derzeit weltweit vorangetrieben.

Die vom Herschel-Teleskop aufgefangenen Infrarot- und Submillimeterwellen werden weitere Details über die Geburt der Sterne enthüllen sowie Signale entstehender Galaxien aus der Frühgeschichte des Universums dokumentieren. Heute herrscht eine große Beobachtungslücke zwischen den weit entfernten Quasaren und der noch früher emittierten Mikrowellen-Hintergrundstrahlung. Herschel wird - in Ergänzung zu JWST - eine neue Perspektive in diese dunkle Epoche der kosmischen Evolution bringen.

Da das Universum in der Frühphase undurchsichtig war, können wir mit elektromagnetischen Wellen nicht sehen, was im Anfang passierte. Unser Blick endet in der kosmischen Photosphäre, wo die vom ESA-Satelliten PLANCK genau zu vermessende Mikrowellen-Hintergrundstrahlung ihren Ursprung hat. Um in noch frühere Zeiten „zurückzuschauen“, benötigt man andere Informationsquellen, z.B. Gravitationswellen, die das für 2010 geplante ESA/NASA-Interferometer LISA nachweisen soll.

In der Hochenergieastrophysik ist das Observatorium XEUS der nächste geplante Schritt im ESA-Programm. Mit einer Winkelauflösung von wenigen Bogensekunden und im keV-Bereich einer um einen Faktor 100 bessere Empfindlichkeit als XMM-Newton soll XEUS die Röntgenstrahlung der frühesten, im jungen Universum entstehenden aktiven Galaxien entdecken und direkt die relativistischen Effekte im starken Schwerfeld ihrer zentralen Schwarzen Löcher vermessen.

Mit Hilfe der stellaren Interferometrie wird es möglich werden, erdähnliche Planeten in der Umgebung anderer Sonnen zu beobachten. Bereits heute sind schon eine größere Zahl extrasolarer Planetensysteme mit indirekten Methoden entdeckt worden. Mit der in Planung befindlichen ESA-Stellar-Interferometrie-Mission Darwin oder dem NASA-Projekt „Terrestrial Planet Finder“ (TPF) wollen wir der Antwort auf die Frage einen Schritt näher kommen: *Sind wir allein im Kosmos?*

## Fachprogramm Forschung unter Weltraumbedingungen



## 5. Fachprogramm Forschung unter Weltraumbedingungen

### 5.1 Bedeutung des Programms, internationaler Kontext

Alle physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse laufen auf der Erde unter Umgebungsbedingungen ab, zu denen neben Temperatur, Druck, elektromagnetischen Feldern und Strahlung auch die Schwerkraft zählt. Deren Bedeutung wird jedoch häufig übersehen, da sie allgegenwärtig ist, doch stehen bereits einfachste Moleküle und Prozesse sowie alle Organismen vom Einzeller bis hin zum Menschen seit Anbeginn der Evolution vor rund 4 Mrd. Jahren unter Schwerkrafteinfluss.

Die Untersuchung Schwerkraft-beeinflusster Phänomene wird auf der Erde dadurch erschwert, dass sich die Schwerkraft nach heutigem Kenntnisstand nicht abschirmen lässt. Sie kann nur durch Trägheitskräfte zu höheren Werten verändern werden z.B. in Zentrifugen. Der Zustand der Schwerelosigkeit kann auf der Erde nur für kurze Zeitabschnitte im „freien Fall“ realisiert werden, z.B. im Fallturm. Erst durch Experimente im Erdorbit - *Weltraumexperimente* - können naturwissenschaftliche Phänomene in Abwesenheit der Schwerkraftwirkung ausreichend lange analysiert werden. Insbesondere können Effekte offengelegt und untersucht werden, die durch die Wirkung der Schwerkraft überdeckt sind.

Neben der Schwerelosigkeit auf antriebslosen Raumfahrzeugen im Weltraum, häufig auch Mikrogravitation genannt, hat auch die im Weltraum herrschende *Strahlung* erheblichen Einfluss auf Organismen. Qualität und Quantität dieser Strahlung, insbesondere in Kombination mit der Mikrogravitation können auf der Erde nur unzureichend simuliert werden. Hier bieten Weltraumexperimente die einzige Möglichkeit für diesbezügliche Untersuchungen.

Forschung unter Weltraumbedingungen ist kein eigenständiges Forschungsgebiet, sondern eröffnet - eingebettet in entsprechende terrestrische Aktivitäten - neue Dimensionen für die erkenntnis- und anwendungsorientierte Forschung in vielen Bereichen der *Bio- und Materialwissenschaften* und leistet entscheidende Beiträge zur Beantwortung grundlegender Fragen wie:

- Welchen Einfluss hat der Parameter „Schwerkraft“ auf physikalische, physikalisch-chemische, biologische und humanphysiologische Prozesse/Systeme?
- Wie können Erkenntnisse zum Parameter „Schwerkraft“ oder die Mikrogravitationsbedingungen selbst zur Optimierung gängiger bzw. zur Entwicklung neuer industrieller Prozesstechnologien oder des medizinischen Fortschritts genutzt werden?
- Welche Rolle spielten bzw. spielen Schwerkraft und Weltraumstrahlung bei der Entstehung und Ausbreitung des Lebens und seiner Evolution?

Während Deutschland auf ausgewählten Feldern eine international anerkannte Spitzenstellung erreicht hat, decken die *USA* nahezu das gesamte Themenspektrum ab und nehmen auf Grund ihrer häufig verfügbaren orbitalen Fluggelegenheiten insgesamt eine Führungsposition ein. Die Hauptaktivitäten im biowissenschaftlichen Programm der *USA* liegen bei Untersuchungen, die Voraussetzung für künftige bemannte Langzeitmissionen z.B. zum Mars sind. *Russland* hat dank der MIR-Station und ihrer Vorläufer umfangreiche Erfahrungen auf dem Gebiet Forschung unter Weltraumbedingungen gesammelt. Allerdings standen vorwiegend technisch-operationelle und welt-raummedizinische Aspekte zum Betrieb von bemannten Raumstationen im Mittelpunkt des Interesses. *Frankreich* hat sich vor allem durch seine Kooperation mit Russland in der bemannten Raumfahrt auf die Humanphysiologie und auf fluidphysikalische Untersuchungen konzentriert und dabei eine anerkannte Expertise erarbeitet. *Japan* hat Erfahrung aufzuweisen in den Bereichen Verbrennungsforschung und Strahlenbiologie, weniger in der Humanphysiologie. Hier eröffnen sich aufgrund des japanischen Raumstationsmoduls wichtige neue Kooperationsmöglichkeiten für Deutschland.

Deutschland konzentriert sich im Programm Forschung unter Weltraumbedingungen auf aktuelle Themen, bei denen wissenschaftlich relevante und exzellente Ergebnisse bereits erzielt wurden und

weitere zu erwarten sind und auf neue Forschungsthemen vorzugsweise der anwendungsorientierten Forschung, die vom Parameter Schwerelosigkeit profitieren können.

Dies gilt in den *Biowissenschaften* insbesondere für Fragen der Humanphysiologie und Gesunderhaltung des Menschen in extremen Umwelten, Schwerkraftwahrnehmung und Schwerereizverarbeitung in Pflanzen und Mikroorganismen, die biologische Stabilität aquatischer bioregenerativer Lebenserhaltungssysteme sowie für die Strahlenbiologie in Verbindung mit Anwendungen in terrestrischer Umwelt. So wurden in Weltraumexperimenten neue Erkenntnisse zur Blutdruckregulation, zur Regulation des Körperflüssigkeits-Haushalts, zur Lungendurchlüftung und zur Funktion des Gleichgewichtssystems gewonnen, sodass bisherige Modell-Vorstellungen in wesentlichen Punkten verbessert werden konnten. Neue methodische Ansätze fanden Anwendung in der Arbeitsphysiologie in großen Höhen. In den letzten Jahren fanden Arbeiten zur Vestibularforschung und integrativen Physiologie (Ernährung, Knochenstoffwechsel, Flüssigkeitshaushalt) einen krönenden Abschluss durch die Verleihung von begehrten Forschungspreisen.

In den *Materialwissenschaften/Physikalischen Grundlagen* gelang es erstmals, Erkenntnisse aus Weltraumexperimenten exemplarisch in Anwendungen bei terrestrischen Produktionsverfahren (Aluminiumguss von Automobil- und Flugzeugteilen, Strangguss von Lagermetallen) zu transferieren. Ergebnisse aus Weltraumexperimenten fanden Eingang in neue Lehr- und Fachbücher und wurden mit Forschungspreisen gewürdigt. Ein überzeugendes Resultat war die Aufklärung des Einflusses verschiedener schwerkraftabhängiger und -unabhängiger Mechanismen des Wärme- und Stofftransports auf die Qualität von gezüchteten Silizium-Kristallen. Wegweisende Akzente wurden auch bei der präzisen Messung thermophysikalischer Stoffparameter gesetzt, mit denen bereits verbesserte numerische Simulationsmodelle für industrielle Prozesse entwickelt wurden. Ausgewählte Fragestellungen zu diesen Themenkomplexen und weiteren aus der Fluidphysik und Verbrennungsforschung sollen – ausgerichtet an wissenschaftlicher Exzellenz und am industriellen Nutzerbedarf - auch künftig bearbeitet werden. Vergleichsweise jung im Programm Forschung unter Weltraumbedingungen und von hoher Forschungsaktualität sind Aktivitäten aus dem Bereich Fundamentalphysik.

Die Bedeutung der Forschung unter Weltraumbedingungen in der Wissenschaft hat im Verlauf der 90er Jahre deutlich zugenommen, und die führende Rolle Deutschlands in Europa in diesem Bereich wurde gefestigt. Die Quantität und Qualität (Zitierungsverhalten) der Publikationen deutscher Wissenschaftler ist signifikant angestiegen, insbesondere im Vergleich zu den sog. Mutterdisziplinen - Biologie, Medizin, Physik und Materialforschung. Gemessen an deren Gesamtaktivitäten repräsentiert Forschung unter Weltraumbedingungen einen kleinen Anteil. Evaluationen auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene haben jedoch belegt, dass Weltraumexperimente wichtige wissenschaftliche Beiträge in den jeweiligen Mutterdisziplinen leisten können. Es wird daher erwartet, dass künftig solche Bereiche von hohem gesamtgesellschaftlichen Interesse wie Gesundheit, Biotechnologie und Neue Materialien durch originäre Beiträge aus der Forschung unter Weltraumbedingungen verstärkt signifikante Impulse erfahren. Nutzen für den Menschen auf der Erde durch Nutzung der Internationalen Raumstation steht dabei im Vordergrund.

Die deutsche Industrie hat durch die Entwicklung von Weltraum-Experimentieranlagen eine besondere Expertise erlangt. Die meisten Anlagen konnten kostengünstig eingesetzt werden, weil die internationalen Partner im Austausch für deren anteilige Nutzung die Flugkosten übernahmen. Die so erworbene Spitzenstellung in der Experimentiertechnologie hat dazu geführt, dass deutsche Anlagen, deren Beistellung für die Internationale Raumstation aus dem nationalen Programm geplant ist, weltweite Attraktivität genießen. Dadurch können die Experimentiermöglichkeiten für deutsche Nutzer künftig gezielt erweitert und gleichzeitig im Gegenzug der Zugriff auf sonst nicht zugängliche Experimentieranlagen aller Raumstationspartner eröffnet werden.

## 5.2 Gegenwärtiger Status, laufende Projekte

Das Programm Forschung unter Weltraumbedingungen nutzt die besonderen Bedingungen des erdnahen Weltraums für erkenntnis- und anwendungsorientierte Forschung. Bisher waren die Forschungsmöglichkeiten hinsichtlich regelmäßiger und kurzfristiger Verfügbarkeit stark eingeschränkt und damit vor allem für die industrielle Forschung nicht attraktiv. Erst die Internationale Raumstation, ausgerüstet mit modernen Experimentieranlagen, ermöglicht einen regelmäßigen und kurzfristig realisierbaren Experimentierbetrieb. Wesentlicher Bestandteil des vorliegenden Programms ist die Sicherstellung einer effizienten Nutzung dieses „Labors im Weltraum“ für Spitzenforschung als Erweiterung der terrestrischen Forschungsinfrastruktur für akademische und industrielle Forschungsarbeiten. Für die Nutzungsvorbereitung sowie für Kurzzeitexperimente werden verfügbare Fluggelegenheiten für Mikrogravitationsexperimente (Fallturm, Flugzeug, Höhenforschungsrakete, Wiedereintrittssatellit, Space Shuttle) weiterhin effizient eingesetzt.

Ziel der Forschung unter Weltraumbedingungen ist die Gewinnung von wissenschaftlichen Erkenntnissen und die Erschließung neuer Anwendungsgebiete durch Forschung in den Bio- und Materialwissenschaften unter Nutzung der besonderen Bedingungen des Weltraums, vor allem mit den erweiterten Möglichkeiten der Internationalen Raumstation.

### 5.2.1 Biowissenschaften

Biowissenschaftliche Forschung befasst sich mit allen Lebensvorgängen sowie den Wechselwirkungen der Organismen untereinander und mit der unbelebten Umwelt. Im Rahmen der vorgegebenen genetischen Programme steuern äußere Faktoren wie Licht, Temperatur, elektromagnetische Felder, chemische Konzentrationsfelder und nicht zuletzt die Schwerkraft als zentraler Richtungsparameter, welche Wege in der Entwicklung oder im Verhalten eingeschlagen werden. Die Wahrnehmung und Verarbeitung dieser äußeren Faktoren (Reize) in sog. Signal-Transduktions-Ketten ist daher von außerordentlicher Bedeutung für alle Organismen, die Aufklärung dieser Vorgänge ein Schlüssel zum Verständnis des Lebens, seiner Entstehung und seiner Evolution.

Drei Schwerpunktbereiche werden aufgrund der vorne dargestellten Kriterien für das deutsche Programm definiert: Grundfragen der Biologie (Signaltransduktion von Schwerkraftreiz und Weltraumstrahlung), Nutzung von Mikrogravitation zur Verbesserung biotechnologischer Prozesse und Integrative Humanphysiologie.

#### Integrative Humanphysiologie

In der *Integrativen Humanphysiologie* steht der Mensch ganz im Mittelpunkt des Interesses. Da auch seine Evolution in Gegenwart des konstanten Faktors Schwerkraft stattgefunden hat, ruft jede Variation dieses Parameters direkt oder indirekt eine Kaskade von miteinander verbundenen Veränderungen in den verschiedenen Systemen des menschlichen Körpers hervor. Interessanterweise ähneln eine ganze Reihe dieser Effekte, die durch Mikrogravitation oder durch die nach der Rückkehr zur Erde notwendige Rückanpassung an die Schwerkraft hervorgerufen werden, physiologischen Veränderungen bei bestimmten Krankheiten oder beim Alterungsprozess des Menschen. Im Unterschied zu diesem stellen sich die Veränderungen bei den Astronauten sehr viel schneller ein und sind weitgehend reversibel. Weltraumexperimente ermöglichen daher, die unter terrestrischen Bedingungen erarbeiteten Konzepte für das Funktionieren der Systeme des menschlichen Körpers und ihr integratives Zusammenspiel zu überprüfen (Alterungsprozess/Krankheiten im Zeitraffer). In den nächsten Jahren sollen folgende Ziele zu erreicht werden:

- Aufklärung des integrativen Zusammenspiels gravitationsabhängiger Veränderungen von Kreislauf, Salz-Wasser-Haushalt, Blut sowie des Muskel- und Knochenstoffwechsels einschließlich ihres Zusammenhangs mit Ernährung auf systemischer und zellulärer Ebene;
- Vergleich entsprechender physiologischer Anpassungsmechanismen in Höhen-, Bettliege-, Isolationsstudien und in der Antarktis (Mensch in extremen Umwelten);

- Aufklärung der Mechanismen des Abbaus von Muskeln und Knochen (Weltraum-Osteoporose, Muskelatrophie);
- Aufklärung der Mechanismen von Orientierung und Bewegungskoordination im Raum (u.a. Auge-Hand-Koordination, Zusammenspiel Auge, Gleichgewichts- und Tastsinn bei Störungen der Bewegungssteuerung – Raum- oder Reisekrankheit);
- psycho-physiologische Erfassung der Leistungsfähigkeit von Astronauten.

Darüber hinaus ist für die Rolle des Astronauten als Forscher an Bord der Internationalen Raumstation, aber auch als Vorbereitung zum Aufbruch zu heute visionären Zielen wie zum Mars die Erarbeitung und Verbesserung von Maßnahmen zur Erhaltung seiner Gesundheit und Leistungsfähigkeit eine unabdingbare Voraussetzung. Die oben erwähnten, zunächst mehr grundlagenorientierten Fragestellungen beinhalten in der Regel auch die Anwendung der Ergebnisse im Hinblick auf die Entwicklung von verbesserten Gegenmaßnahmen. Dies gilt insbesondere für die Bereiche Herz-Kreislauf-Regulation und Muskel-/Knochenabbau, bei denen durch besonders geförderte Anwendungsprojekte der ESA unter deutscher Federführung neuartige Ansätze verfolgt werden. Mit den Anstrengungen des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin im Bereich Telemedizin werden in der mehr operationell ausgerichteten Weltraummedizin folgende Ziele definiert:

- Entwicklung von Interventionen, die effektiv dem Erhalt von Struktur- und Funktionseigenschaften der verschiedenen Systeme des menschlichen Körpers dienen;
- Entwicklung einer webbasierten Telematik-Plattform als Beitrag zur globalen Standardisierung („elektronische Gesundheitsakte“) zur Verbesserung der Diagnostik und Therapie von Gesundheitsproblemen nicht nur während bemannter Weltraummissionen, sondern auch an entfernten Orten auf der Erde.

Die Erkenntnisse aus der humanphysiologischen Weltraumforschung sowie die im Zusammenhang mit Weltraumexperimenten entwickelten innovativen, oft nicht-invasiven Diagnose- und Therapiemethoden werden nicht nur dem Astronauten dienen, sondern überall dort Anwendungsperspektiven in der terrestrischen Medizin haben, wo es um Leistungsfähigkeit und relatives Wohlbefinden des Menschen in der mobilen Gesellschaft geht (Arbeits-, Sport-, Tourismus-Medizin, aber auch Rehabilitations-, Kur- und Alters-Medizin). Darüber hinaus wird die Raumfahrtmedizin - bedingt durch das operationelle, auch sicherheitsrelevante Interesse an physiologischen Systemparametern - ein besonderes Stimulans für Fortschritte in der integrativen Systemphysiologie (der Mensch als ganzheitliches System) sein, der nach Meinung vieler Experten ohnehin die Zukunft gehört.

### Grundfragen der Biologie

Im Schwerpunkt *Grundfragen der Biologie*, der die Forschungsfelder Gravitations-, Strahlen- und Exobiologie umfasst, stehen folgende Ziele im Mittelpunkt der Forschung in den nächsten Jahren:

- Aufklärung der Rolle von Schwerkraft auf Wachstum und Entwicklung biologischer Systeme und von Organismen (Embryonalentwicklung, Multigenerationsexperimente, Gravigenomics und Graviroteomics);
- Aufklärung des Mechanismus von Wahrnehmung und Verarbeitung von Schwerkraft in verschiedenen Modellorganismen auf zellulärer und molekularer Ebene (Signaltransduktion: Beteiligung verschiedener Botenstoffe – „Second Messenger“, Ionenkanäle, Cytoskelettproteine, Schwerkraft-regulierte Gene).

Diese detailliertere Aufklärung auf molekularer Ebene ist das vorrangige - und aufgrund der Expertise deutscher Wissenschaftler auch erreichbare - Ziel in den nächsten Jahren, um so auch die wissenschaftlichen Grundlagen sowohl für anwendungsorientierte Projekte in der Biotechnologie als auch für integrative Ansätze in der Humanphysiologie zu legen.

Fragen zu Wirkungsmechanismen der Weltraumstrahlung und zur Exobiologie werden in diesem Schwerpunkt angegangen mit folgenden Zielen:

- Fortführung der Strahlungsmessungen (Dosimetrie) im Weltraum als notwendige Grundlage zur Abschätzung des Strahlenrisikos für bemannte Missionen (weltweit führende Rolle des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin des DLR) unter besonderer Berücksichtigung der Tiefendosisverteilung im menschlichen Körper;
- Aufklärung des Mechanismus der Reparatur von Strahlenschäden („DNA-Repair“) auf molekularer Ebene (Beiträge zur Risikovorhersage und zum Strahlenschutz);
- Überprüfung der Panspermie-Hypothese (Entstehung des Lebens nicht auf der Erde und Verbreitung durch den Weltraum) mittels Experimenten zur Überlebensfähigkeit von Organismen im Weltraum (u.a. auf den externen Plattformen der ISS).

### Biotechnologie

Da die Schwerkraft eine Reihe *biotechnologischer Prozesse und Verfahren* nachteilig beeinflusst, geht es in diesem Schwerpunkt um die Nutzung der Mikrogravitationsbedingungen zur Verbesserung solcher Prozesse. Nach erfolgreichen Experimenten zur Elektrophorese und zur Elektrozellfusion konzentriert sich diese Forschung in Deutschland in den nächsten Jahren auf Forschungsprojekte zur Kristallisation von biologischen Makromolekülen wie Proteinen sowie zum dreidimensionalen Gewebewachstum in Mikrogravitation. Bisherige Ergebnisse aus Weltraumexperimenten zur Proteinkristallisation zeigen, dass etwa in 25% der Fälle größere und vor allem perfektere Kristalle entstanden - häufig Voraussetzung für die verbesserte Aufklärung der Struktur dieser Verbindungen und damit der entscheidende Ausgangspunkt für eine zielorientierte Produktentwicklung in Pharmazie und Biomedizin („Drug Design“). Zukünftige Experimente werden auf die Optimierung des Kristallisationsprozesses ausgerichtet sein, um die Erfolgswahrscheinlichkeit für die Strukturaufklärung zu erhöhen und dadurch verstärkt kommerzielle Nutzer zu interessieren. Hinsichtlich des dreidimensionalen Wachstums von Geweben *in vitro* (im Reagenzglas) wird in den nächsten Jahren durch neue Bioreaktortechnologien einschließlich innovativer Sensorsysteme für deutsche Wissenschaftler ein relativ neues Forschungsfeld mit beträchtlichem Anwendungspotenzial („künstliche Organe“) eröffnet werden. Damit sind die Ziele im Bereich Biotechnologie für die nächsten Jahre definiert:

- Optimierung der Kristallisation von Proteinen zur verbesserten Strukturaufklärung;
- Entwicklung von biologischen Lebenserhaltungssystemen/Bioreaktoren mit Langzeitstabilität und Kontrollsystemen auf Mikrosystembasis und neuen Strategien zur Abfallbeseitigung;
- Analyse der Mechanismen für dreidimensionales Wachstum von Geweben und Organen („Tissue Engineering“ u.a. von Knorpelmatrix und Leberersatzsystem).

Die drei sich wechselseitig befruchtenden Schwerpunktbereiche des biowissenschaftlichen Teilprogramms werden in den nächsten Jahren vor allem durch die Nutzung der ISS als das Labor im All zu neuen wichtigen Erkenntnissen über die Entstehung, Ausbreitung und Zukunft des Lebens und seines Funktionierens führen. Dadurch werden sich neue Möglichkeiten der Prävention, Diagnostik, Therapie von Krankheiten sowie der Rehabilitation und neue Anwendungsmöglichkeiten in der modernen Biotechnologie erschließen.

#### 5.2.2 *Materialwissenschaften/Physikalische Grundlagen*

Dieses Teilprogramm nutzt die Schwerelosigkeit um Phänomene zu untersuchen, die unter terrestrischen Bedingungen durch hydrostatischen Druck, Konvektion oder Sedimentation überdeckt und daher einer quantitativen Analyse unzugänglich sind. Über das Grundlagenwissen hinaus ist die Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse bei der Entwicklung innovativer terrestrischer Technologien und neuer Werkstoffe ein wesentlicher Aspekt.

Die Forschungsaktivitäten sind auf drei Schwerpunktbereiche ausgerichtet: Materialdesign aus der Schmelze, Fluidphysik/Verbrennungsmechanismen sowie Fundamentalphysik.

### Materialdesign aus der Schmelze

*Materialwissenschaftlicher Forschung* zur Herstellung neuer Materialien und zur Entwicklung leistungs- und umweltgerechterer Verfahrenstechniken kommt eine entscheidende Rolle beim Innovationsprozess in vielen Technologiefeldern zu. Die Relevanz der Aktivitäten gründet sich auf die Tatsache, dass etwa 90% der auf der Erde eingesetzten metallischen und halbleitenden Werkstoffe über schmelzmetallurgische Verfahren hergestellt werden - Erstarrung und Kristallzüchtung sind Basistechnologien unserer Informationsgesellschaft. Die Optimierung der bestehenden und die Entwicklung neuer technologischer Verfahren erfordert zunehmend ein größeres Detailverständnis der zugrundeliegenden Vorgänge. Effiziente Methoden zur Simulation des Erstarrungsweges (Virtual Materials Design) müssen entwickelt werden, um energie- und zeitaufwendige Vorversuche im großtechnischen Maßstab so weit wie möglich zu reduzieren.

Die Untersuchung von Schmelzen und deren Erstarrung unter den durch die Schwerelosigkeit ermöglichten Bedingungen der Konvektions- und Sedimentationsfreiheit, ist ein wesentlicher Vorteil, um die Wechselbeziehungen zwischen Erstarrungsbedingungen, Werkstoffgefüge und resultierenden Eigenschaften aufzuklären. Am Beispiel von metallischen Legierungen mit großer Anwendungsnähe, z.B. in der Fahrzeugindustrie oder als biokompatibler Implantatwerkstoff, sollen Erstarrungsvorgänge detaillierter erforscht und gefügeoptimiert geführt werden. Gleichfalls sollen Mechanismen der Defektentstehung und Methoden der Defektminimierung bei der Kristallzüchtung von Halbleiterlegierungen aus der Schmelze, die z. B. für neuartige Röntgendetektoren und Hochfrequenzbauelemente geeignet sind, untersucht werden. In Synergie mit der Kristallzüchtung anorganischer Materialien soll die gezielte Erforschung wachstumskinetischer Vorgänge bei der Kristallisation von biologischen Makromolekülen (Proteinen) aus der Lösung mittels moderner Diagnostik aufgenommen werden.

Folgende Ziele werden daher in den nächsten Jahren verfolgt:

- Nachweis von chemischer Nahordnung in binären Legierungsschmelzen und quantitative Bestätigung ihres Einflusses auf Vorstadien der Kristallisation und auf thermophysikalische Eigenschaften;
- Quantitative Beschreibung der Zusammenhänge zwischen Keimbildung und Kristallwachstum bei der Gefügeausbildung aus unterkühlten Schmelzen;
- Aufklärung der Erstarrungsmechanismen mehrkomponentiger, mehrphasiger Werkstoffe, die in Form von Materialverbunden als neuartige Komposit-Werkstoffe eingesetzt werden können;
- Aufklärung des Einflusses von Wachstumsdefekten auf die Qualität anwendungsrelevanter Halbleiterkristalle mittels wandfreier Technologien unter Anwendung externer Magnetfelder zur Kontrolle der Restkonvektion;
- Aufklärung der Kristallisationsmechanismen von Proteinen durch neuartige in-situ-Diagnostik.

Für die Qualität numerischer Simulationen spielt neben dem physikalischen Verständnis der an der Erstarrung beteiligten Vorgänge insbesondere die verlässliche Kenntnis der zur Modellierung notwendigen thermophysikalischen Parameter der Schmelzen eine entscheidende Rolle. Die ersten erfolgreichen Präzisionsmessungen im Bereich tief unterkühlter bzw. hochreaktiver Schmelzen mittels der im Rahmen dieses Programms entwickelten Spacelab-Levitationsanlage TEMPUS sollen künftig systematisch fortgesetzt werden, vor allem ausgerichtet am Bedarf der Industrieforschung. Hierzu zählen Messungen an geschmolzenen Ni-Basis-Superlegierungen, verwendet in Hochtemperatur-Turbinenschaufeln, und Ti-Legierungen, verwendet in Implantaten. Gezielt wird auf die

- Verbesserung und Entwicklung innovativer berührungsfreier Messverfahren für Präzisionsmessungen an levitierten Hochtemperaturschmelzen oder Schmelzen im metastabilen Zustand der Unterkühlung.

Durch programmatisch vernetzte Projekte unter Einbindung der Industrie ist eine deutliche Verkürzung der Entwicklungszeit neuer Werkstoffe, die häufig in Dekaden zählt, zu erwarten.

### Fluidphysik/Verbrennungsmechanismen

Die *Fluidphysik* besitzt eine Schlüsselfunktion im Sinne einer interdisziplinären Ausstrahlung strömungsmechanischer Vorhersagen. Diese erstrecken sich auf fluide Vorgängen in Organismen, in metallurgischen Prozessen bis hin zu planetaren Strömungserscheinungen.

Es werden speziell Fragestellungen zur Charakterisierung von geophysikalischen sowie kapillaren Strömungen aufgegriffen, die keine experimentellen Analogien im terrestrischen Labor zulassen. So sind Strömungsvorgänge im Erdinneren bezüglich der Zentralkraftwirkung unseres Planeten nur unter Schwerelosigkeit durch ein künstliches Gravitationsfeld im Kugelspaltmodell simulierbar. Ziel ist es hierbei,

- die auftretenden Konvektionsmuster zu analysieren und deren Stabilitätsgrenzen im Bereich der geophysikalisch relevanten Parameter quantitativ zu ermitteln.

Dieses Modellsystem für den flüssigen (äußeren) Erdkern, der für das Eigendynamoverhalten und die magnetische Polumkehr der Erde verantwortlich ist, wurde bereits in Kurzzeitversuchen erfolgreich von deutschen Wissenschaftlern getestet.

Aus der Entwicklung einer neuen Generation von Satellitentanks, in denen kapillare Anordnungen zum Transport von Treibstoff direkt zum Triebwerk eingesetzt werden sollen, resultiert die Frage nach der maximal zulässigen Transportmenge, ohne dass der Treibstoffstrom kollabiert und die Triebwerksversorgung unterbricht. Naturgemäß können nur unter Weltraumbedingungen die

- Stabilitätsgrenzen des kapillaren Fluidstromes sowie tolerierbare äußere Beschleunigungsstörungen

exakt gemessen werden. Auf der Erde ist die Funktionsweise der kapillaren Anordnungen im Tank durch die Wirkung des hydrostatische Drucks überdeckt. Die geplanten Versuche auf der ISS stellen die einzige Möglichkeit dar, den für den Anwendungsfall relevanten Parameterbereich im Modell-experiment zu durchfahren.

Ein weiteres Programmziel der anwendungsorientierten Grundlagenforschung in der Fluidphysik ist die

- Aufklärung der hydrodynamischen Mechanismen zur Bildung von Metallschäumen mit höherer Produktqualität.

Hierbei sollen unterschiedliche Herstellungsmethoden von Metallschäumen untersucht und magnetische Felder zur Kontrolle der Porenverteilung während des Schäumungsprozesses eingesetzt werden. Das Weltraumexperiment liefert die Entkopplung von störenden Drainageeffekten und damit einen vereinfachten Zugang für das physikalische Verständnis.

*Verbrennungsprozesse* bilden die Grundlage für etwa 85% der Weltenergieerzeugung. Gleichzeitig machen sie aber auch einen bedeutenden Anteil der atmosphärischen Umweltbelastung aus. Ungeachtet großer Fortschritte in der Optimierung der Prozesse sind grundlegende Verbrennungsmechanismen noch unverstanden.

Im Mittelpunkt des Programms steht die Verbrennung von Tropfen und Sprays. Bei flüssig zerstäubten Kraftstoffen in stationären Gasturbinen und Flugantrieben wird zur Reduzierung des Schadstoffausstoßes eine Vorverdampfung und gute Vormischung möglichst magerer Kraftstoffgemische angestrebt. So sind, um einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen und eine vorzeitige

Zündung zu vermeiden, detaillierte Kenntnisse der physikalisch-chemischen Prozesse der Selbstzündung erforderlich. Aufgrund von hydrodynamischen Ähnlichkeitsgesetzen lassen sich unter Mikrogravitation an gut beobachtbaren großen Tropfen die erforderlichen Basisdaten mit folgendem Ziel gewinnen:

- Aufklärung der Zündmechanismen und Erarbeitung detaillierterer Prozessmodelle zur Verbrennung von flüssigen Treibstoffen unter Hochdruckbedingungen.

### Fundamentalphysik

Ähnlich wie im Programm „Erforschung des Weltraums“ werden auch in diesem Programm grundlegende Fragen der Physik untersucht. Unter Federführung deutscher Wissenschaftler werden die nachfolgenden physikalischen Fragestellungen von fundamentaler Natur verfolgt.

Mit der experimentellen Entdeckung (1994, MPI für Extraterrestrische Physik) eines *geordneten* Zustands (Plasmakristall) in einem mit Partikeln angereicherten Niedertemperaturplasma – dem gewöhnlich ungeordnetem Zustand der Materie – wurde ein Tor für ein neues Forschungsgebiet aufgestoßen. Weltweit ist seither ein äußerst dynamischer Anstieg der Forschungsaktivitäten zu den sog. *Komplexen Plasmen* zu verzeichnen.

Die Eigenschaften eines mit Kolloidpartikeln versetzten ionisierten Gases lassen sich in 3-dimensionaler Ausdehnung nur unter Schwerelosigkeit erforschen. Auf der Erde sedimentieren die Partikel und können nur durch ein starkes elektrisches Feld in der Nähe der Elektroden in der Schwebelage gehalten werden (im Wesentlichen 2-dimensionale Plasmakristalle). Vor allem dynamische Vorgänge wie Phasenübergänge fest-flüssig-gasförmig und das Verhalten von „Gitterdefekten“ sind im Unterschied zum realen Festkörper auf Partikelebene (im 1/10 mm Bereich) optisch beobachtbar. Daraus erwachsen folgende Zielstellungen:

- Aufklärung der Struktur und Dynamik dreidimensionaler Plasmakristalle in komplexer Zusammensetzung (Partikel unterschiedlicher Größe und Form, magnetische Partikel);
- Quantifizierung der Simulierbarkeit mikroskopischer Vorgänge in kondensierter Materie mittels eines (makroskopischen) Plasmakristalls.

Da dieses Gebiet noch sehr jung ist, steht die Erforschung der Grundlagen im Vordergrund. Längerfristige Perspektiven und Anwendungspotenziale der Aktivitäten zeichnen sich bei der Plasmatechnologie ab, z. B. in der Chipherstellung und Solarzellenfertigung sowie bei der möglichen Deposition von Plasmakristallen auf Substrate. Bereits heute ist schon absehbar, dass sich hier zwei wichtige Technologiezweige treffen – die Plasmatechnologie und die Kolloidtechnologie – und zu einem neuen Technologiebereich („trockene“ Kolloidtechnologie) vereinen.

Astro- und atmosphärenphysikalische Fragestellungen bilden den Hintergrund für die geplanten Untersuchungen zu grundlegenden physikalischen Wechselwirkungen von (festen und flüssigen) Partikeln untereinander, mit (neutralem) Gas und mit Licht. Gezielt wird auf die

- experimentelle Simulation von Prozessen in terrestrischen Wolken (Aerosolphysik) und bei der Bildung lockerer Staubaggregate (Planetenentstehung) sowie auf die Messung der mechanischen und optischen Eigenschaften von feinkörnigem, extrem locker geschichtetem Material (Regolith), das auf der Oberfläche von Kleinkörpern im Sonnensystem erwartet wird.

Es besteht die Absicht, diese anspruchsvollen Zielstellungen im Bereich der *Komplexen Plasmen* und der *Partikelwechselwirkung in kosmischen and atmosphärischen Systemen* synergetisch so zu bündeln, dass sie in einer neuen Experimentieranlage der zweiten Generation auf der Internationalen Raumstation über einen längeren Zeitraum intensiv verfolgt werden können.

### 5.3 Operative Ziele, Meilensteine

Die Implementierung der Programmziele erfolgt in einem abgestimmten strategischen Gesamtansatz im Rahmen der deutschen Beteiligung am ESA-Programm („Mikrogravitation“), im Nationalen Raumfahrtprogramm (Fachprogramm „Forschung unter Weltraumbedingungen“) und durch die Aktivitäten der entsprechenden DLR-Institute (DLR-internes FuE-Programm) im Forschungsbereich „Verkehr und Weltraum“ der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF). Aus Forschungsideen, die sich im wissenschaftlichen Wettbewerb nach strengen Maßstäben durchgesetzt haben, werden Experimente entwickelt, die unter Nutzung geeigneter Experimentieranlagen auf Flugmissionen realisiert werden.

Dem *Nationalen Programm* kommt hierbei eine zentrale Steuerungsfunktion zu. Sämtliche Projekt-Fördermaßnahmen für deutsche Wissenschaftler an Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen, d. h. die Experimentvorbereitung, -durchführung und -auswertung, werden hier vorgenommen. Die Bereitstellung von Experimentieranlagen und Fluggelegenheiten erfolgt abgestimmt und komplementär sowohl durch das nationale als auch durch das ESA-Mikrogravitations-Programm.

Im *ESA-Mikrogravitations-Programm* wird, abgestimmt mit den Teilnehmerstaaten, vor allem die Forschungsinfrastruktur für den europäischen Teil der Internationalen Raumstation (Columbus-Labor) im Rahmen des Teilprogramms *MFC* („Multiuser Facilities for Columbus“) entwickelt und gebaut. Deren Nutzungsvorbereitung schließt auch die Bereitstellung von „kleineren“ Fluggelegenheiten (Fallturm, Parabelflüge, MAXUS, TEXUS, MASER usw.) und benötigter Experimentieranlagen für Grundlagen- und angewandte Forschung in den Bereichen Biowissenschaften und Materialwissenschaften/Physikalische Grundlagen im Rahmen des Teilprogramms *EMIR* („European Microgravity Research Programme“) ein. Beide Teilprogramme werden durch das auf der ESA-Ratstagung auf Ministerebene im November 2001 beschlossene Programm *ELIPS* („European Programme for Life and Physical Sciences and Applications utilising the International Space Station“) gebündelt fortgeführt. Das ELIPS-Programm bildet künftig das Rückgrat der europäischen Nutzung der Internationalen Raumstation, insbesondere des Columbus-Labors.

Einen Überblick über die Teilprogramme des ESA-Mikrogravitations-Programms mit den jeweiligen Laufzeiten sowie die gezeichneten deutschen Beiträge und Gesamtaufwendungen (gerundet) gibt die nachstehende Tabelle.

	Laufzeiten	Beiträge	Gesamtaufwendungen
EMIR-2	1996 - 2004	12 %	55 Mio. €
EMIR-2 Erweiterungsprogramm	2000 - 2004	8 %	10 Mio. €
MFC	1997 - 2005	40 %	106 Mio. €
ELIPS (Periode 1)	2002 - 2006	11 %	36 Mio. €
<b>Gesamt</b>			<b>207 Mio. €</b>

#### ESA-Programm „Mikrogravitation“

Im *Nationalen Programm* werden derzeit ca. 80 hochqualifizierte und in korrespondierende terrestrische Forschungen eingebundene Wissenschaftlergruppen durch Zuwendungen an rund 50 Universitäten und andere Forschungseinrichtungen gefördert. Neben der Beteiligung am ESA-Mikrogravitations-Programm wird deutschen Spitzenforschern im Rahmen von bi- und multilateralen Kooperationsprojekten Forschung unter Weltraumbedingungen ermöglicht. Hierbei stellt die deutsche Seite häufig „high-tech“-Experimentieranlagen und der Partner andere benötigte Ressourcen (Fluggelegenheit, Crew-Zeit usw.), vor allem auf der Internationalen Raumstation, bereit.

Durch kostengünstige, national verfügbare Kurzzeit-Experimentiermöglichkeiten im Fallturm Bremen und auf TEXUS-Raketen wird die Nutzung der Raumstationsanlagen effektiv vorbereitet und begleitet. Ergänzt werden diese Aktivitäten durch die Bereitstellung von Experimentiermöglichkei-

ten auf Parabelflügen der Fa. NOVESPACE, Frankreich. Günstige Bedingungen im Rahmen eines bilateralen Abkommens bietet auch die Nutzung von unbemannten russischen FOTON-Rückkehr-Satelliten für materialwissenschaftliche und biologische Langzeit-Experimente.

Durch diese Maßnahmen im Nationalen Programm soll die Spitzenstellung deutscher Wissenschaftler sichergestellt, weiter ausgebaut und flexibel auf experimentelle Anforderungen aus der akademischen und industriellen Forschung reagiert werden. Auch in den kommenden Jahren werden dafür die jährlichen Mittelansätze etwa zu gleichen Teilen für Forschungsförderung (Weltraumexperimente) an Universitäten und anderen Einrichtungen, Entwicklung und Bau von spezifischen Experimentieranlagen sowie Bereitstellung von Fluggelegenheiten verwendet.

Das DLR bringt mit seinen FuE-Aktivitäten in den Instituten für Weltraummedizin und Raumsimulation substantielle eigene Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aus der Weltraumphysiologie, der Biodiagnostik in der Raumfahrt, der Medizintechnik, dem Materialdesign aus der Schmelze und der Telescience und Teleoperations ein. Die DLR-Aktivitäten stimulieren neue Forschungsfelder, die Entwicklung innovativer Technologien und Anlagen für nicht-invasive humanphysiologische Untersuchungen mittels Infrarottechnik sowie für physikalische Untersuchungen an industrierelevanten Legierungsschmelzen. Außerdem wird die Nutzergemeinde bei der Vorbereitung und Durchführung von Weltraumexperimenten fach- und anlagenspezifisch durch das deutsche Raumfahrt-Nutzerunterstützungs-Zentrum MUSC („Microgravity User Support Center“) im DLR unterstützt.

### 5.3.1. Anlagenentwicklungen

Im Rahmen des *Nationalen Programms* sollen im Planungszeitraum (2002-2006) die nachfolgenden Anlagen für Forschung unter Weltraumbedingungen bereitgestellt werden. Für humanphysiologische Untersuchungen auf der Internationalen Raumstation werden zur Herz- und Kreislaufregulation sowie des Gleichgewichtssystems modernste nicht-invasive Diagnoseeinheiten entwickelt, die in internationaler Kooperation genutzt werden:

- CARDIOLAB: Eine modulare Anlage für Herz-Kreislauf-Untersuchungen auf der Internationalen Raumstation (DLR/CNES-Kooperation) als deutsch-französische Beistellung für die ‚European Physiology Modules‘ der ESA für Columbus.
- ETD - Eye Tracking Device: Eine hochintegrierte Anlage zur Untersuchung des Gleichgewichtssinns über die dreidimensionale Analyse der Augenbewegung (DLR/NASA-Kooperation) als deutsche Beistellung zur NASA ‚Human Research Facility‘ im US-Labor.
- NEUROLAB 2000: Eine modulare Anlage zur Messung psycho-physiologischer Parameter im Rahmen der Analyse von Stress und Leistungsfähigkeit von Kosmonauten als deutsch-russische Kooperation zwischen der FU Berlin, DLR Hamburg und dem IBMP Moskau im russischen Teil der Internationalen Raumstation.
- TRAC: Eine Versuchsanordnung zur Untersuchung der Feinmotorik und der Auge-Hand Koordination bei Astronauten als deutsch-kanadische Kooperation auf der Internationalen Raumstation.

Längerfristig sollen auch moderne, auf Mikrosystemtechnik und Biosensortechnologie beruhende Analysen von biologischen und humanphysiologischen Proben an Bord der Raumstation in noch zu entwickelnden Anlagen erfolgen.

Die Messung thermophysikalischer Eigenschaften an Hochtemperaturschmelzen oder Schmelzen im metastabilen Zustand der Unterkühlung mittels behälterfreier Prozesstechniken sowie die Erforschung komplexer Plasmen ist eine Domäne deutscher Spitzenforschung. Im *Nationalen Programm* werden hierfür zum Einsatz auf der Internationalen Raumstation folgende Anlagen entwickelt:

- PKE – Plasma-Kristall-Experiment: Eine Anlage zur Messung fundamentaler physikalischer Eigenschaften komplexer Plasmen in deutsch-russischer Kooperation. Die Anlage befindet sich seit Februar 2001 auf der Internationalen Raumstation, hat bereits ausgezeichnete wissen-

schaftliche Ergebnisse ermöglicht und soll bis Ende 2003 weiter genutzt werden. Die Fortführung der Kooperation mittels Nachfolgeanlagen wurde begonnen.

- EML – Electromagnetic Levitator Experiment Unit: Kernstück der gemeinsam mit ESA zu entwickelnden Anlage MSL-EML zur Präzisionsmessung von Erstarrungsvorgängen und thermophysikalischen Eigenschaften metallischer Schmelzen mit dem Ziel der Entwicklung neuer Materialien. Der Einsatz der neuen, korrespondierenden Parabelflug-Anlage TEMPUS für vorbereitende wissenschaftliche Forschungsarbeiten und technologische Weiterentwicklungen ist jährlich geplant. Bereits seit Herbst 2002 wird letztere für die Industrieforschung in Synergie mit dem PIN-Projekt des DLR („Promotion industrieller Nutzer der Internationalen Raumstation“) genutzt.

Für die in den internationalen Begutachtungen als beste bewerteten Experimentvorschläge werden die apparativen Voraussetzungen auf der Internationalen Raumstation vor allem im Rahmen des *ESA-Mikrogravitations-Programms*, aber auch durch die o. g. nationalen Beistellungen sowie solche der internationalen Raumstationspartner geschaffen.

Insbesondere wurde für Präzisionsmessungen thermophysikalischer Eigenschaften an Legierungsschmelzen mittels containerloser Prozesstechnik von einem internationalen Wissenschaftlerteam unter deutscher Führung die Anlage MSL-EML vorgeschlagen. Neben dem Potenzial exzellenter Grundlagenforschung zeichnet sich ein industrieller Forschungsbedarf ab. Entwicklung und Bau des MSL-EML (Doppelrack in Columbus) soll durch die Raumfahrtindustrie in DLR/ESA-Kooperation erfolgen.

Das sprunghaft gestiegene internationale Interesse an der Erforschung komplexer Plasmen soll durch ein geeignetes Raumstationslabor im ESA-Rahmen befriedigt werden. Hierzu liegt der Projektvorschlag IMPF („International Microgravity Plasma Facility“) von einem internationalen Wissenschaftlerteam unter deutscher Führung vor. Gleiches gilt für die Untersuchung fundamentaler Wechselwirkungen in kosmischen und atmosphärischen Partikelsystemen unter der Projektbezeichnung ICAPS („Interactions in Cosmic and Atmospheric Particle Systems“).

### 5.3.2. Nutzung von Fluggelegenheiten

Im Planungszeitraum (2002-2006) wird die Vorbereitung der Nutzung der Internationalen Raumstation im Mittelpunkt stehen. Hierzu werden – wie oben beschrieben – die notwendigen Experimentieranlagen entwickelt und die Vorbereitungen der wissenschaftlichen Experimente begonnen. Durch die regelmäßige Nutzung von Fluggelegenheiten wie des Fallturms Bremen und von Parabelflügen, die Durchführung der TEXUS- und MAXUS-Missionen sowie die Beteiligung an der Shuttle/Spacehab-Mission STS-107 (2003) und an der FOTON-M1-Mission (2002) sowohl im Rahmen des ESA-Mikrogravitations-Programms, als auch in ergänzender Weise national, werden bereits Fragen aus den Bereichen biologische Signaltransduktion, Materialdesign, Fluidphysik und Verbrennungsforschung bearbeitet. Verbesserte Proteinkristalle werden – unter maßgeblicher Beteiligung deutscher Wissenschaftler – ebenfalls aus diesen und von anderen durch die NASA bereitgestellten Shuttle-Missionen erwartet.

Aufgrund der exzellenten Ergebnisse der in deutsch-russischer Kooperation durchgeführten Plasmakristall-Experimente soll die Nutzung des russischen Servicemoduls der Internationalen Raumstation konsequent fortgeführt werden. Für humanphysiologische Untersuchungen sind die Möglichkeiten vor der operationellen Phase der Internationalen Raumstation weitgehend begrenzt. Parabelflüge, jährlich von ESA und in DLR/CNES-Kooperation durchgeführt, bieten die Möglichkeit, schnelle Schwerkraft-bedingte Veränderungen der verschiedenen Systeme des menschlichen Körpers zu untersuchen. Gemeinsame Langzeit-Liegestudien in Kooperation mit ESA und CNES werden als terrestrische Simulationsszenarien zu bemannten Missionen im Abstand von etwa 18 Monaten durchgeführt und ergeben Aufschlüsse über das integrierte Zusammenspiel der Systeme unter Schwerelosigkeit auch als Vorbereitung für Langzeitmissionen.

Die Tabelle auf Seite 67 gibt einen Überblick über die in den nächsten Jahren durch deutsche Wissenschaftler erwarteten Beiträge in den verschiedenen Forschungsgebieten unter Nutzung der entsprechenden Experimentieranlagen und Fluggelegenheiten.

#### **5.4 Langfristperspektive**

Die Weiterentwicklung der europäischen Zusammenarbeit im ESA-Programm ELIPS unter Einbeziehung europäischer Forschungsnetzwerke (EU-Förderprogramme) ist von größter Wichtigkeit, um in internationaler Kooperation, aber auch im Wettbewerb, einen größtmöglichen wissenschaftlichen und technologischen Rückfluss von der Internationalen Raumstation zu erzielen. Dadurch wird auch eine Stärkung der europäischen Wettbewerbsposition erwartet.

Dem Ausbau der engen Verflechtung mit der Deutschen Forschungsgemeinschaft und anderen Fördereinrichtungen – wie sie auch in der Potenzialanalyse von 2001 ‚Forschung unter Schwerelosigkeit‘ des FhG-Instituts ISI (Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe) empfohlen wird - und der Freisetzung synergetischer Wechselwirkungen sowie der verstärkten Einbindung der Industrieforschung kommt eine strategische Bedeutung zu. Erste Diskussionen, beispielsweise über die Einrichtung von gemeinsamen Sonderforschungsbereichen, wurden eingeleitet.

Neben der Intensivierung der Zusammenarbeit auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene soll ein weiteres strategisches Ziel im europäischen Rahmen in Angriff genommen werden: Forschung unter Weltraumbedingungen ist ein überwiegend wissenschaftliches Programm. Daher soll das ESA-Mikrogravitations-Programm – so wie heute schon das ‚Space Science Programme‘ – langfristig zu einem Pflichtprogramm mit Beiträgen aller ESA-Mitgliedsländer weiterentwickelt werden, um ihm über längere Sicht eine stabile Basis zu schaffen.

Durch Integration aller Anstrengungen von Wissenschaft, Industrie, Politik und Gesellschaft, einschließlich ‚Public-Private-Partnership‘-Ansätzen in anwendungsrelevanten Feldern der Forschung unter Weltraumbedingungen, soll die effiziente Nutzung der weltraumgestützten Großforschungsanlage Internationale Raumstation für Wissenschaft und industrielle Forschung sichergestellt werden. Das integrative Herangehen hat zukunftsweisenden Charakter und soll den Bereichen Gesundheit, Biotechnologie und Neue Materialien innovative Impulse verleihen.

	ISS												
	Fallturm	Parabelflüge	TEXUS MAXUS	STS-107	EMCS	SEBA	APCF	Biolab	EPM	Cardiolab	ETD	LBNP	HRF
<b>Biologische Grundfragen</b>													
- Gravitationsbiologie	√	√	√	√	√			√					
- Strahlenbiologie				√		√							
<b>Biotechnologie</b>													
- Proteinkristallisation				√			√						
- Gewebewachstum					√			√					
<b>Integrative Humanphysiologie</b>													
- Herzkreislauf-System		√						√	√			√	
- Knochen / Muskel													√
- Hormone/Stoffwechsel		√											√
- Neurovestibular-System		√						√		√			
- Operationelle Medizin		√								√		√	

ESA-Anlagen: EMCS - European Modular Cultivation System, SEBA - Space Exposure Biological Assembly, APCF - Advanced Protein Crystallisation Facility, EPM - European Physiology Modules, DLR-Anlagen: ETD - Eye Tracking Device, LBNP - Lower Body Negative Pressure Device, DLR/CNES-Anlagen: Cardiolab, NASA-Anlagen: HRF - Human Research Facility

	ISS												
	Fallturm	Parabelflüge	TEXUS MAXUS	FOTON	STS-107	KIK	PKE	MSL-EML	LGF/SQF/FMF	IMPF/ICAPS	FSL	EDR	FCF
<b>Materialdesign</b>													
- Erstarrung und Kristallzüchtung		√	√	√				√	√				
- Materialparam. von Schmelzen		√		√				√	√				
<b>Fluidphysik/Verbrennung</b>													
- Hydrodynamik komplexer Fluide	√	√			√	√					√	√	
- Stabilität kapillarer Strömungen	√		√	√							√		√
- Tropfen und Sprays	√	√											√
<b>Fundamentalphysik</b>													
- Komplexe Plasmen		√					√			√			
- Partikelwechselwirkungen	√	√	√							√			

ESA/DLR-Anlagen: MSL-EML – Materials Science Lab-Electromagnetic Levitator (geplant), ESA-Anlagen: LGF/SQF - Materials Sciences Lab/Low Gradient Furnace/Solidification and Quenching Furnace, IMPF/ICAPS – International Microgravity Plasma Facility/Interaction in Cosmic and Atmospheric Particle Systems Facility (geplant), FSL - Fluid Sciences Lab, EDR - European Drawer Rack, NASA-Anlagen: FCF - Fluid and Combustion Facility, DLR-Anlagen: KIK - Konvektion im Kugelspalt (Shuttle-Nutzlastbuch), PKE - Plasma-Kristall-Experiment, FMF – Materials Science Lab-Floating Zone Furnace with Magnetic Field

Fachprogramm Raumstation



## 6. Fachprogramm Raumstation

### 6.1. Bedeutung des Programms, internationaler Kontext

Europa beteiligt sich im Rahmen der ESA an der Internationalen Raumstation (ISS), dem bisher größten technisch-wissenschaftlichen Projekt der Menschheit. Dieses Projekt hat eine Pilotfunktion für die globale Kooperation zur friedlichen Nutzung des Weltraumes. Für die Zusammenarbeit der Partnerländer auf zahlreichen wissenschaftlichen und technologischen Gebieten setzt die ISS neue, zukunftsweisende Akzente in einer globalen Dimension. Die Einbindung Russlands in das Programm trägt in besonderer Weise zu einer Stabilisierung der internationalen Beziehungen in einem veränderten weltpolitischen Umfeld bei. Die vertragliche Grundlage für die Zusammenarbeit bei der ISS bildet ein Abkommen zwischen den Regierungen der beteiligten Partner USA, Russland, Japan, Kanada und Europa – ‚Intergovernmental Agreement‘ (IGA) –, das am 29. Januar 1998 unterzeichnet wurde. Das europäische Raumstationsprogramm beruht auf einer gemeinsamen Initiative Deutschlands und Italiens. Weitere Staaten (Italien, Brasilien, Ukraine) beteiligen sich an der Entwicklung von Elementen der Raumstation im Rahmen bilateraler Vereinbarungen mit den USA und mit Russland.

In den letzten drei Jahrzehnten hat sich Deutschland als Hochtechnologiestandort einen Spitzenplatz in der internationalen Raumfahrt bei der Entwicklung und Nutzung von Orbitalsystemen und Experimentanlagen erarbeitet und sich dabei hohe internationale Anerkennung erworben. Bei der Durchführung der erfolgreichen nationalen Spacelab-Missionen D1 (1985) und D2 (1993) in enger Partnerschaft mit den USA, bei den nationalen Missionen MIR '92 und MIR '97 in Kooperation mit Russland, bei der Beteiligung an EUROMIR '94 und '95 im Rahmen der ESA, und bei Beteiligungen an weiteren Spacelab-Flügen in bi- und multilateralen Abkommen hat Deutschland umfangreiche Erfahrung im Missionsmanagement, in der Nutzerunterstützung, in der Astronautenausbildung und im Betrieb komplexer bemannter Raumfahrtvorhaben gesammelt. Diese Expertise in Industrie und Forschung gilt es mit den neuen Möglichkeiten der Internationalen Raumstation effizient zum Nutzen und zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschafts- und Wissenschaftsstandortes Deutschland einzusetzen.

Die ISS ist nach der Außerbetriebnahme der russischen Raumstation MIR die einzige permanent zugängliche Forschungs- und Technologieerprobungsplattform im Weltraum. Aufgrund ihrer Bahnneigung von 51,6 Grad überfliegt sie 90% der bewohnten Erdoberfläche. Ihre Position außerhalb der Atmosphäre und die Umgebungsbedingungen wie Mikrogravitation und Hochvakuum machen sie zu einer einzigartigen, multidisziplinär nutzbaren Forschungsstation. Die ISS bietet in ihrer vereinbarten Endausbaustufe eine für den Nutzerbedarf ausreichend dimensionierte elektrische Energieversorgung, austauschbare standardisierte Labormodule zur Unterbringung von Nutzlasten und Experimenten in den von den USA, Russland, Japan und Europa bereitgestellten Forschungslabors, Nutzlastplattformen auf der Außenstruktur der Station sowie eine leistungsfähiges System für Datenerfassung und -verarbeitung. Drei auf der Außenstruktur der Station angebrachte Robotersysteme (bereitgestellt von Kanada, Japan und Europa) ermöglichen die Durchführung von Montage- und Wartungsarbeiten und unterstützen Astronauten bei Arbeiten außerhalb der Station.

Deutschland engagiert sich bei der Nutzung des internationalen Orbitallabors, um innovative Forschungsvorhaben der wissenschaftlichen Spitzenklasse zu fördern und um Potenziale für anwendungsorientierte und industrielle Vorhaben mit Marktrelevanz zu erschließen. Dabei wickelt Deutschland sein Engagement hauptsächlich über das ESA-Programm ab und realisiert im Rahmen seiner Programmbeiträge auch wichtige Anteile der deutschen Industrie am Aufbau der ISS-Infrastruktur.

Im Frühjahr 2001 wurden geschätzte Kostenüberläufe von ca. 4,8 Mrd. US\$ im NASA-ISS-Programm für die Haushaltsjahre 2002 bis 2006 festgestellt. Als Reaktion auf die Missstände wurde von NASA und dem Office for Management and Budget (OMB) des Weißen Hauses eine Kommission (IMCE, International Space Station Management and Cost Evaluation Task Force) eingesetzt, die unabhängig und extern eine Begutachtung und Einschätzung der Kosten, des Budgets und des Managements der ISS vornehmen sollte. Zudem wurde die Kommission beauftragt, Empfehlungen

zur maximalen Nutzung der ISS innerhalb des vom Präsidenten genehmigten Budgets für das Haushaltsjahr 2002 abzugeben. Die Ergebnisse der Kommission wurden im November 2001 veröffentlicht und dem NASA Advisory Council (NAC) präsentiert (sog. „Young Report“). Die wesentlichen Empfehlungen sind die Aufgabe der Infrastrukturelemente Wohnmodul, Crew Return Vehicle (CRV), Knoten 3 und Cupola (Aussichtskuppel), die vorläufige Verringerung der Mannschaftsstärke von 7 auf 3 Astronauten, die Reduzierung der Shuttle-Versorgungsflüge von 6 auf 4 pro Jahr und damit einhergehend die Verlängerung der Crew-Rotationsperiode von 4 auf 6 Monate. Da eine Umsetzung dieser Empfehlungen die Nutzungsmöglichkeiten der ISS stark eingeschränkt hätte, untersucht die NASA derzeit jedoch eine neue Endausbaustufe der ISS, die unter den gegebenen Budgetzwängen eine maximale Nutzung, und damit einhergehend auch eine Mannschaftsstärke von mehr als 3 Astronauten, ab 2006 absichert. Eine Realisierung der im Rahmen des IGA getroffenen Abmachungen bleibt damit weiterhin in Frage gestellt.

Mit der Verabschiedung der Resolution 4 („Resolution on the International Space Station Programme“) anlässlich der ESA-Ministerratskonferenz 2001 in Edinburgh und im Dezember des gleichen Jahres im Rahmen einer Anhörung der ISS-Partner vor dem NAC wurden die USA übereinstimmend aufgefordert, ihren Verpflichtungen im Rahmen der IGA/MOU Abkommen voll und ganz nachzukommen. Zur Zeit finden intensive Konsultationen zwischen dem europäischen Partner und der NASA, der amerikanischen Regierung und Mitgliedern des Kongresses statt, um zu einer von allen ISS-Partnern getragenen Lösung des Problems noch im Jahr 2003 zu kommen.

Die Umsetzung der US-Sparpläne könnte zu Änderungen des europäischen Zeitplans, zu erheblichen Einschränkungen bei der Durchführung des europäischen Nutzungs- und Betriebsprogramms und zu Neuverhandlungen der IGA/MOU Abkommen führen.

## 6.2 Gegenwärtiger Status/laufende Projekte

Die deutsche Beteiligung an der ISS erfolgt überwiegend im Rahmen von ESA-Programmen. Das ‚Manned Space Programme‘ der ESA beinhaltet folgende Teilprogramme:

Element	Gesamtkosten	D-Beteiligung
Europäischer Hauptbeitrag <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwicklung, Bau und Inbetriebnahme des Columbus-Labormoduls</li> <li>- Entwicklung, Bau und Erprobung des unbemannten, automatischen Transportfahrzeugs (ATV), das als Oberstufe der ARIANE-5 für Versorgungsflüge und zur periodischen Bahnanhebung der ISS eingesetzt wird</li> <li>- Astronautenaktivitäten</li> <li>- Nutzungsvorbereitung</li> <li>- Definitionsstudie für ein Crew-Transportfahrzeug und Datenauswertung des Demonstrationsflugs einer unbemannten Kapsel (ARD)</li> </ul>	3,1 Mrd. €	41%
Liefergegenstände (Laborausrüstung, Datenmanagementsystem für das russische Servicemodul, Robotikarm) für den Aufbau der Raumstation	0,3 Mrd. €	41%
Europäische Beteiligung am Betriebsprogramm (frühe Tätigkeiten)	0,4 Mrd. €	35%
Europäische Beteiligung am Betriebsprogramm (Periode 1, 2002-2006)	1,0 Mrd. €	35%
Europäische Beteiligung mit Technologiekomponenten am NASA Projekt eines Wiedereintrittsdemonstrators (X-38) für ein künftiges Rettungsfahrzeug (incl. TETRA)	0,07 Mrd. €	85%
Europäische Beteiligung am amerikanischen Rettungsfahrzeug CRV (ohne ‚supplementary contributions‘). [Programm abgebrochen; s. Seite 73]	0,11 Mrd. €	38%

### Elemente des ‚Manned Space Programme‘ der ESA

Im *nationalen und im DLR-FuE-Programm* konzentriert Deutschland seine Raumstationsaktivitäten ergänzend zu den ESA-Aktivitäten primär auf

- die Vorbereitung der multidisziplinären wissenschaftlich-technischen Nutzung in ausgewählten Feldern, wobei im Bereich der anwendungsorientierten Forschung eine zunehmend industrielle/kommerzielle Beteiligung angestrebt wird und
- die Heranführung der Nicht-Raumfahrtindustrie an das Nutzungspotenzial der Raumstation.

### *Europäischer Hauptbeitrag*

Die deutsche Raumfahrtindustrie hat sich mit der Rolle als Hauptauftragnehmer für Entwicklung und Bau des Forschungslabors Columbus, durch die Beteiligung an der Entwicklung von Untersystemen des Versorgungsfahrzeugs ATV und durch die Produktionsverantwortung für das ATV erfolgreich positionieren können. Die konstruktiven Arbeiten und Erprobungen an verschiedenen Testmodellen bzw. am Flugmodell lassen gute Fortschritte der Industriearbeiten erkennen.

NASA erhält von Europa als Gegenleistung für den Start des Columbus-Labors mit dem US-Shuttle weitere Elemente für den Aufbau der Station. Unter anderem sind dies zwei Verbindungsknoten, Laborgefriereinrichtungen und eine Beobachtungskuppel. Die Definitions- und Konstruktionsarbeiten für die Entwicklung und Herstellung der verschiedenen Elemente verlaufen erfolgreich.

Das ESA-Programm umfasst neben dem Bau des Raumlabors auch die Entwicklung und Vorbereitung der Bodeninfrastruktur für den späteren Betrieb und die Ausbildung der Astronauten.

Das DLR wird von seinem Kontrollzentrum GSOC in Oberpfaffenhofen den Betrieb des Forschungslabors Columbus und das hierzu erforderliche Kommunikationsnetzwerk steuern.

Im Sinne der verstärkten europäischen Integration und im Hinblick auf eine effektive Nutzung der Ressourcen haben die an der ISS beteiligten ESA-Mitgliedstaaten ihre nationalen Astronauten zu einem gemeinsamen europäischen Astronautenkörper unter Verantwortung der ESA zusammengeführt. Dieser Astronautenkader hat seinen Sitz im European Astronaut Center (EAC) in Köln-Porz. Im EAC findet die Basisausbildung der europäischen Astronauten und das darüber hinausgehende missionsspezifische Training aller Astronauten der internationalen Partner an den europäischen Infrastrukturelementen und Experimentiergeräten statt. Mit dem EAC, dessen Team sich aus ESA- und DLR-, CNES- und ASI-Personal zusammensetzt, sowie dem DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin am gleichen Ort verfügt Deutschland über ein europäisches Kompetenzzentrum für astronautische Aktivitäten.

Die im Rahmen des ESA-Nutzungsvorbereitungsprogramms vorgesehenen Arbeitspakete sind

- allgemeine Aktivitäten wie z.B. die Durchführung von Nutzungs-Workshops und Symposien sowie die Erstellung, Verbreitung und Auswertung der Ausschreibungen;
- Kauf/Entwicklung von System und Nutzlast unterstützenden Geräten und Anlagen (z.B. Nutzlast-Racks, Avionik-Komponenten, Nutzlast-Computer);
- Nutzlastintegration und Betrieb (z. B. Untersuchungen zur Akkomodation der Experimente für die frühe Phase der Nutzung, Definition/Implementierung der Aufgaben der dezentralen Nutzerunterstützungszentren) und
- Nutzungspromotion (z. B. finanzielle Unterstützung von Experimenten und Anlagen aus den Fachdisziplinen und der Technologie; Übernahme von Flugkosten / Startkosten; Implementierung eines Nutzerinformations- und Unterstützungszentrums in ESTEC).

Diese Aktivitäten verlaufen planmäßig und im vorgesehenen Kostenrahmen (Zeitraum 1996-2003).

Die vielfältigen Nutzungspläne erfordern ein hohes Maß an internationaler Koordination zwischen den Raumstationspartnern (ESA, NASA u.a.) und führen zu einer neuen Qualität der globalen Kooperation in der Wissenschaft und Forschung. Auf die ESA-Aufforderung zur Abgabe von Experi-

mentvorschlägen für die frühe externe Nutzung der ISS ab 2002 gingen europaweit über 100 Vorschläge ein. Die große Resonanz der europäischen wissenschaftlichen Gemeinde und der Industrie auf weitere Ausschreibungen zur Abgabe von Experimentvorschlägen für die Nutzung des US-Labors auf der ISS im Bereich der Lebenswissenschaften (1996 und 1998), der Materialwissenschaften, Biotechnologie und industrienaher Anwendungen (1998) war beeindruckend. Deutsche Wissenschaftler sind mit ihren Experimentvorschlägen im ESA-Auswahlprozess außerordentlich erfolgreich. Über die Vorbereitung öffentlicher Forschung hinaus bereitet die ESA den kommerziellen Zugang zum Labor vor.

Die Vorbereitung und Durchführung der Nutzerunterstützung erfolgt im Auftrag der ESA dezentral in einem Netzwerk nationaler Nutzerzentren unter Beteiligung des deutschen "Microgravity User Support Center" (MUSC) in Köln. Das MUSC konzentriert seine Aktivitäten auf die Unterstützung wissenschaftlicher Nutzer. In der Vorbereitungsphase der Raumstationsnutzung werden vom MUSC u.a. die Schnittstellen zu den Bodenanlagen definiert und aufgebaut, und es ist beratend tätig bei der Entwicklung und dem Bau der Columbus-Laborschränke und der Techniken zum interaktiven Experimentbetrieb. Neben dem MUSC in Köln wurde das Zentrum "Bremen Engineering Operations Science" (BEOS), in Kooperation von Astrium GmbH (Industrie), OHB-System AG (Industrie) und ZARM (Wissenschaft), aufgebaut. Es hat seine zentrale Aufgabe in der Unterstützung kommerzieller Nutzer und ist deshalb nicht Teil des Netzwerkes nationaler Zentren. In der Phase des kontinuierlichen Raumstationsbetriebes voraussichtlich ab 2004/2005 wird in den Zentren der Experiment- und Anlagenbetrieb wahrgenommen.

#### *Betriebsvorbereitung und Astronautenaktivitäten*

Für die in deutscher Verantwortung liegenden Betriebsaktivitäten sind bedarfsgerechte Implementierungsmaßnahmen erforderlich, die zum Teil bereits eingeleitet worden sind. Der Aufbau des Columbus-Kontrollzentrums (Col-CC) beim DLR in Oberpfaffenhofen wurde Ende 2000 begonnen und soll 2003 abgeschlossen werden.

Mit der Unterzeichnung des Abkommens zum Einsatz eines gemeinsamen Teams für die Astronautenausbildung zwischen ESA und DLR wurde das EAC als europäisches Kompetenzzentrum mit der erforderlichen Personalstärke ausgestattet. Hierdurch wurde sichergestellt, dass die Astronautenaktivitäten an einem Ort in Europa lokalisiert, die vorhandenen Kapazitäten und das spezifische Know-how in Deutschland adäquat einbezogen und Kostensteigerungen durch Mehrfacharbeiten vermieden wurden.

#### *Liefergegenstände für den frühen Aufbau der Station*

Die europäischen Entwicklungsarbeiten für Spezialgeräte der ISS-Laborausrüstung (u.a. Tiefkühlrichtung und 'Glovebox' für biologische Proben, Ausrichtsystem für Beobachtungsinstrumente sowie für das Robotiksystem zur Montage von russischen Stationselementen) verlaufen erfolgreich und im Kostenrahmen. Das unter deutscher Systemführung entwickelte Datenmanagementsystem für die zentrale Kontrolle des russischen Servicemoduls wurde erfolgreich fertiggestellt, im Juli 2000 von Russland gestartet und an Bord des Servicemoduls Zvezda in Betrieb genommen. Die Microgravity Science Glovebox (MSG), von Astrium Bremen gefertigt, wurde im Juni 2002 als einer der ersten Laborausrüstungsgegenstände gestartet und in Betrieb genommen.

Für die Lieferung der verschiedenen Geräte erhält Europa Nutzungsrechte in der frühen Aufbauphase der Station auf dem amerikanischen Stationsteil sowie Komponenten für das ATV von russischer Seite.

#### *Europäische Beteiligung am Betriebsprogramm (Exploitation Programme)*

Basierend auf einem Beschluss der Ministerratskonferenz in Brüssel im Mai 1999 wurden die sogenannten frühen Aktivitäten des europäischen Betriebsprogramms in Angriff genommen. Diese

beinhalten u.a. Ersatzteilbestellungen, Buchungen der ARIANE5-Starts und vorbereitende Maßnahmen zur Produktion des ATV.

Auf der Ministerratskonferenz in Edinburgh im November 2001 wurde beschlossen, 60% der finanziellen Mittel der verbindlichen Phase (2002 - 2004) der Periode 1 (2002 - 2006) bis zur Klärung der NASA Budgetsituation zu blockieren. Deutschland beteiligt sich mit 37,7% an den festen und mit 25% an den variablen Kosten des europäischen Teils des Stationsbetriebs. Die Periode 1 besteht aus zwei Zeiträumen: für die Jahre 2002 - 2004 existieren verbindliche Beitragszusagen während für den Zeitraum 2005 - 2006 lediglich provisorische, in 2004 zu bestätigende Beitragszusagen getätigt wurden.

Das Betriebsprogramm (Periode 1 bis 2006) umfasst die Kategorien Management des Betriebsprogramms, Management der Durchführung von ISS-Inkrementen sowie Management von Astronautenaktivitäten. Die Betriebsaktivitäten sollen als end-to-end-Service von einem Industriekonsortium, geführt durch Astrium und Alenia, durchgeführt werden, wobei ESA eine koordinierende Rolle übernimmt. Diese Planung ist auf Grund der unklaren NASA-Budgetsituation und daraus eventuell resultierender Programmanpassungen sowie Schwierigkeiten seitens des Industriekonsortiums bei der Bildung einer rechtlichen Einheit für die Unterzeichnung des end-to-end-Vertrags zeitlich verzögert. In einer Interimsphase wird ein integriertes Team (ESA, nationale Agenturen und Industrie) die Betriebsaktivitäten gemeinsam durchführen.

#### *Europäische Beteiligung am amerikanischen Wiedereintrittsdemonstrator X-38*

Die anfänglichen Definitionsarbeiten zu einem rein europäischen bemannten Transportfahrzeug wurden 1998 umorientiert mit der Zielsetzung, durch Beteiligung am amerikanischen Demonstrator eines Rettungsfahrzeugs (X-38) technologisches Wissen und Erfahrung auf dem für zukünftige wiederverwendbare Raumtransportsysteme entscheidenden Gebiet des atmosphärischen Wiedereintritts zu gewinnen. Die deutsche Industrie und Forschung konnte bei X-38 eine führende Rolle bei der Entwicklung von Schlüsseltechnologien (heiße Strukturen, Avionik, Aerothermodynamik) innerhalb Europas besetzen, die ihr in künftigen Programmen zur Vorbereitung kommerziell nutzbarer, wiederverwendbarer Raumtransportsysteme eine günstige Ausgangsposition verschaffen soll. Neben den laufenden Entwicklungsarbeiten im Rahmen des ESA-Programms ist Deutschland an den Arbeiten zu X-38 substanziell mit dem nationalen Projekt TETRA beteiligt. Durch den Abbruch des Projekts seitens NASA können weder die nationalen Beiträge noch die ESA-Beiträge ihrer Bestimmung entsprechend verwendet werden.

#### *Europäische Beteiligung am amerikanischen Rettungsfahrzeug CRV*

Aufgrund der einseitigen Beendigung des X-38 Projekts durch die NASA kann auch das CRV nicht mehr realisiert werden, da X-38 das Demonstratorfahrzeug für CRV war. Das CRV Programm soll als ‚Crew Transport Vehicle‘ (CTV) im Rahmen der Space Launch Initiative (SLI) neu ausgerichtet werden. Diese Konzepte sind auch unter dem Begriff ‚Orbital Space Plane‘ (OSP) bekannt. Im Dezember 2002 haben die beteiligten Raumfahrtagenturen beschlossen, dass ab 2006 zusätzliche Sojuskapseln die Rettungsfunktion für eine Mannschaftsstärke von bis zu 6 Personen übernehmen sollen, bis ein CTV oder OSP zur Verfügung steht. Eine europäische Beteiligung an OSP ist derzeit offen.

#### *Nationales und DLR FuE Programm*

Als nationales Zentrum für Luft- und Raumfahrt verfolgt das DLR das Ziel, die vielfältigen Nutzungspotenziale der ISS von Betriebsbeginn an im Rahmen verschiedener DLR-FuE-Programme in den Disziplinen Biowissenschaften (Medizin, Biologie), Materialwissenschaften, Technologie, Erdbeobachtung und Extraterrestrik sowie im Bereich Nutzerunterstützung auszuschöpfen. Der Schwerpunkt der Aktivitäten liegt auf anwendungsorientierter und kommerziell ausgerichteter Nutzung. Deutschland beteiligt sich bereits an der frühen Nutzung mit mehreren national finanzierten Expe-

rimenten. Dies wird durch ein ESA-NASA-Abkommen ermöglicht, das Europa - als Kompensation für die Lieferung von Laborgeräten - Nutzungsrechte auf dem amerikanischen Stationsteil bereits während der ISS Aufbauphase einräumt.

Insgesamt werden z.Z. (Ende 2002) in Deutschland über 50 Experimente vorbereitet, davon etwa 20 aus den Biowissenschaften und 20 aus den Physical Sciences einschl. Materialwissenschaften, weitere 10 Experimente kommen aus den Bereichen Technologie, Kommunikation, Astronomie und Erdbeobachtung.

Das wirtschaftliche Potenzial der ISS wird bereits bei der frühen ISS-Nutzungsphase von der Industrie genutzt. Ein Experiment mit Industriebeteiligung (beteiligt sind die Unternehmen Daimler-Chrysler, FORTIS und TEMIC) ist GTS (Global Transmission Service), das - auf dem russischen Servicemodul (Start Juli 2000) installiert - hochgenaue Zeitsignale für funkgesteuerte Armbanduhren und Steuerungs- und Informations-Signale für Sicherheitssysteme u.a. in Kraftfahrzeugen übermittelt. Die experimentelle Betriebsphase konnte Anfang 2002 begonnen werden. Bei diesem Vorhaben werden etwa 90% der Experimentkosten von der Industrie getragen.

Um den Zugang zur Nutzung der ISS auf kommerzieller Basis insbesondere für deutsche Unternehmen zu fördern, wurde vom DLR ein Kooperationsabkommen mit deutschen Raumfahrtfirmen geschlossen. Alle Partner beabsichtigen, ihre Aktivitäten in der Marktvorbereitung (wie z.B. das PIN Projekt des DLR) aufeinander abzustimmen und insbesondere den Zielmarkt Deutschland zu bearbeiten.

Im Rahmen der langjährigen erfolgreichen bilateralen Zusammenarbeit zwischen Deutschland und den USA auf dem Gebiet der Forschung im Weltraum sind zwei Nutzungsvorhaben zu nennen. Das in internationaler Zusammenarbeit weiterentwickelte, bereits auf Spacelab geflogene Vorhaben „Alpha Magnetic Spectrometer“ (AMS) unter Leitung des Nobelpreisträgers Prof. Ting, mit höchster Priorität auf amerikanischer Seite, soll kosmische Antimaterieteilchen detektieren; substanzielle Beiträge zu dieser Großanlage kommen von der RWTH Aachen. Das Experiment ACCESS wird hochenergetische kosmische Strahlung messen. Deutsche Institute sind in das Projekt eingebunden.

Das Plasma Kristall Experiment PKE, das mit Unterstützung des DLR und Mitteln des BMBF und mit Beteiligung der Industrie entwickelt und gebaut wurde, ist seit März 2001 auf der ISS installiert. Bereits die erste ISS Besatzung hat ca. 5 Stunden Basisexperimente durchgeführt. Bisher sind mit PKE bereits 40 Stunden im Forschungsgebiet „Kolloidale Plasmen“ von unterschiedlichen Besatzungen an Bord der ISS erfolgreich absolviert worden. Plasma- und Kolloidtechnologie sind wichtige innovative Wirtschaftszweige, die ein erhebliches Zukunftspotential bei der Herstellung von Solarzellen, der Halbleiterbearbeitung, bei der Herstellung von Farbpigmenten für Drucker und anderer komplexer Materialien haben.

### **6.3 Operative Ziele, Meilensteine**

#### *Infrastruktur*

Wesentliches Ziel ist es, die Entwicklung der europäischen Elemente zur Internationalen Raumstation erfolgreich abzuschließen und diese in Betrieb zu nehmen. Deutschland besteht auf der strikten Forderung, dass der festgelegte Kostenrahmen für das ESA-Entwicklungsprogramm im Sinne des Prinzips "Design to Budget" eingehalten wird. Dies erfordert, dass die Entwicklungspläne insbesondere für Elemente mit Festpreisverträgen eingehalten werden.

Zur Einhaltung der Kostenansätze ist es weiterhin erforderlich, dass der Start des Columbus-Labors und der erste Flug des ATV wie vorgesehen im Jahr 2004 erfolgen. Das CRV kann von der NASA aus Kostengründen nicht im ursprünglich geplanten Rahmen realisiert werden. Bis zur Verfügbarkeit eines Orbital Space Plane sollen ab dem Jahr 2006 zusätzliche Sojuskapseln die Rettungsfunktion gewährleisten. Hierzu ist ein zusätzliches Modul für das Andocken notwendig, dessen Finanzierung noch nicht gesichert ist.

### *Nutzungsvorbereitung und Nutzung*

Die ISS ist ein herausragendes Pilotprojekt für eine zukünftige globale Zusammenarbeit von Nationen, von Wissenschaft und Industrie. Um die ISS als Großanlage für wissenschaftliche und industrielle Forschung effektiv und effizient nutzen zu können, müssen Rahmenbedingungen geschaffen werden, die von allen Raumstationspartnern akzeptiert werden. Vor allem die kommerzielle Nutzung der ISS ist ohne ein nutzerfreundliches Regelwerk nicht denkbar. Dazu sind vor allem eine abgestimmte einheitliche Preispolitik für Transport zur und Ressourcen auf der ISS, Datenschutz- und Patentrechte und ein schneller, wenig reglementierter Zugang erforderlich. Im nationalen und im DLR-FuE-Programm konzentriert Deutschland in Zukunft seine Raumstationsaktivitäten auf die Vorbereitung und Durchführung von multidisziplinären wissenschaftlich-technischen Nutzungsvorhaben in ausgewählten Feldern, wobei im Bereich der anwendungsorientierten bzw. industrierelevanten Forschung eine zunehmende kommerzielle Beteiligung angestrebt wird. Die nationalen wissenschaftlichen Nutzungsvorhaben werden in den internationalen Wettbewerb um die Ressourcen der Raumstation eingebracht. Die Nutzung der ISS wird dabei nicht als isolierte oder eigenständige Forschung sondern als Erweiterung und integraler Bestandteil terrestrischer Forschung betrachtet. Es gilt, die multidisziplinären Nutzungspotenziale auf der Basis der mit den internationalen Partnern getroffenen Vereinbarungen umfassend auszuschöpfen.

Mittelfristig ist eine stärkere Einbindung aller Nutzer und Bedarfsträger in Gestaltung und Finanzierung der Raumstationsnutzung erforderlich, um eine ausgewogene Nutzung in einem sinnvollen Umfang zu ermöglichen. Ein verstärktes Engagement raumfahrtfremder Forschungsfördereinrichtungen, der Universitäten und eine enge Einbindung der EU und ihrer spezifischen Fördermöglichkeiten wird angestrebt. Eine Förderung von ausgewählten Vorhaben durch die o.g. Einrichtungen wird sich auf Forschung und Entwicklung konzentrieren, während die Raumfahrt-Fördermittel für eine Übergangszeit als Anreiz zur Kompensation zusätzlicher Kosten für die Qualifikation als Raumfahrtexperimente sowie für Transport, Logistik und Betrieb eingesetzt werden sollen. Die Erhöhung privatwirtschaftlich finanzierter Nutzung ist ein wesentliches Ziel. Neben den Bestrebungen des DLR, auch nicht-raumfahrtorientierte öffentliche Forschungsbudgets an die Nutzung der ISS heranzuführen, wird auch die Erschließung der ISS für komplett eigenfinanzierte (d.h. kommerzielle) Nutzer unterstützt.

Die Ministerkonferenzen von 1999 und 2001 haben die ESA beauftragt, die Kommerzialisierung der Nutzung der Raumstation voranzutreiben. Dazusoll u.a. ein „Business Developer“ tätig werden, dessen Hauptaufgaben 1.) in der Promotion und Vermarktung der kommerziellen Nutzung, 2.) der Auswahl der kommerziellen Kunden und 3.) der Zuweisung von Ressourcen und Dienstleistungen liegen. Die Einrichtung eines „Business Developers“ wird von Deutschland nachhaltig unterstützt. Hierüber wird derzeit zwischen den Raumstations-Partnern, mit unterschiedlichen Nutzergruppen und der Industrie intensiv diskutiert. Ein abgestimmtes Konzept über Aufgaben und Verantwortung des „Business Developers“ soll bis Ende 2002 vorgelegt werden.

Nach Abschluss der Aufbauphase steht die Internationale Raumstation als Großforschungsanlage zur Verfügung, die sowohl wissenschaftliche Spitzenforschung in allen Disziplinen als auch eine intensive Beteiligung der Industrie an Forschung und Betrieb ermöglicht. Neben der Forschung verstärken sich die Interessen aus Werbung, Bildung, Unterhaltung und Kunst. In der Werbung ist kurzfristig auch die größte Investitionsbereitschaft von Wirtschaftsunternehmen zu erwarten. Es gilt, soviel private Initiative und Verantwortung wie möglich und so wenig hoheitliche Regulierung wie nötig zu verwirklichen.

### *Betriebsprogramm*

Die deutsche Raumfahrtindustrie strebt eine Führungsrolle bei der Durchführung des Betriebsprogramms an. Eine europäische Industriegruppierung unter Beteiligung der DLR-Betriebseinrichtung GSOC hat im März 2000 ein vorläufiges Angebot mit Festpreiszusage für einen ersten Zeitabschnitt des Betriebsprogramms und mit einer Preisobergrenze für die Folgephasen unterbreitet.

Mit der Verlagerung der Betriebsaktivitäten in industrielle Verantwortung sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Effizienzsteigerung, weitgehende Risikoübernahme durch die Industriegruppierung und Einhaltung der Kostenobergrenze mit Zielsetzung weiterer Einsparungen;
- Einsatz eines kommerziellen Agenten, der einen Anteil europäischer Nutzungsmöglichkeiten vermarktet, so dass Einnahmen sich beitragsmindernd für die Teilnehmerstaaten auswirken;
- umfassende Aufgabendelegation an ein Industriekonsortium im Zusammenwirken mit nationalen Betriebszentren;
- Begrenzung der ESA Verantwortung auf Aufgaben gemäß den internationalen Abkommen auf die Durchführungssteuerung und das Nutzungsmanagement.

Die Durchführung des Betriebsprogramms erfolgt in Phasen, über die im Abstand von 3 Jahren jeweils von den Teilnehmerstaaten zu entscheiden ist. Die Entscheidung über die Beteiligung an der Periode 1 (2002 - 2006) des ISS Betriebsprogramms wurde auf der Ministerratskonferenz im November 2001 getroffen.

Die Planung der ESA geht derzeit von 24-25 Missionen für europäische Astronauten zur ISS im Zeitraum 2002-2013 aus. Die aktuelle Korpsgröße von 16 Astronauten liegt daher deutlich über den Anforderungen. Heute sind alle nationalen Astronauten in das ESA Astronautenkorps integriert.

#### **6.4 Langfristperspektive**

Nach erfolgreichem Abschluss des Infrastrukturentwicklungsprogramms im Jahre 2004 wird sich die Durchführung des Betriebsprogramms auf einen Zeitraum von mindestens 10 Jahren in die Zukunft erstrecken. Es ist zu erwarten, dass einige Zeit nach Anlaufen des Betriebsprogramms und Auswertung von Erfahrungen sich ein Bedarf für Modernisierung und Erweiterung der Infrastruktur entwickelt, z.B. hinsichtlich

- einer leistungsfähigeren Daten- und Videoverarbeitung;
- eines Lebenserhaltungssystems mit geschlossenem Kreislauf;
- Entlastung der Astronautencrews von Routinearbeiten, z.B. durch Einsatz von Robotern für die Bedienung von Experimentanlagen;
- Einsatz neuer Experimentanlagen mit entsprechendem Austausch der Erstausrüstung;
- Erweiterung der Ressourcenbereitstellung, z.B. durch zusätzliche Labors/Module für spezifische Aufgaben wie Produktion, verbesserte Energieversorgung, Erhöhung der Besatzungs-Anzahl, Leistungssteigerung bei der Kommunikation mit Bodenstationen;
- Einführung neuer Betriebskonzepte, z.B. hinsichtlich Bord-Boden-Autonomie und Steuerung mit Methoden der virtuellen Realität.

Aus heutiger Sicht lassen sich Details einer Modernisierung und Infrastrukturerweiterung, die sich aus dem künftigen Bedarf ergeben werden, noch nicht hinreichend konkretisieren. Eine deutsche Beteiligung an neuen Aktivitäten wird für den Fall angestrebt, dass sich bislang nicht erkannte Nutzungsperspektiven eröffnen, die Chancen für innovative Entwicklungen mit Marktpotenzial und Multiplikatoreffekten versprechen.

Es wird erwartet, dass von den auf der ISS gewonnenen Langzeiterfahrungen zukünftige Missionen zu Planeten und Monden im Sonnensystem profitieren. Bevorzugte Kandidaten für bemannte Missionen sind dabei Mond und Mars. Die ISS kann als Knotenpunkt zwischen der Erde und anderen Himmelskörpern dienen und somit ein Wegbereiter zur umfassenden Erschließung des Sonnensy-

stems sein. Die ISS könnte elementarer Teil eines zukünftigen Gesamtszenarios werden und die nachfolgenden Schritte positiv beeinflussen oder unterstützen:

- Entwicklung von kostengünstigen Raumtransportsystemen und entsprechender Infrastruktur;
- Entwicklung von Crew-Transfer-Fahrzeugen;
- erste Nutzung lunarer und planetarer Ressourcen;
- weiterer Ausbau der orbitalen Infrastruktur unter Berücksichtigung des Bedarfs und der Marktlage;
- Errichtung von Kommunikations- und Navigationsplattformen und Netzwerken;
- Entwicklung von teil- und vollautonomen Service-Fahrzeugen zur Inspektion und Wartung orbitaler Infrastrukturen;
- Entwicklung und Installation von Umweltmonitoring-Systemen für Erde und Weltraum.

Mit der Internationalen Raumstation wird ein weitreichender Schritt zur Erschließung des Weltraums durch den Menschen in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts unternommen. Deutschland hat durch seine führende Rolle in Europa Zugang zu Schlüsseltechnologien für orbitale Infrastrukturen erworben. Diese Erfahrungen gilt es auch in Zukunft zu nutzen und in eine Wertschöpfung umzusetzen.

## Fachprogramm Raumtransport



## 7. Fachprogramm Raumtransport

### 7.1 Bedeutung des Programms, internationaler Kontext

Raumtransport, d.h. die Fähigkeit, Nutzlasten in den Weltraum zu transportieren, ist die Grundvoraussetzung für jegliche Nutzung des Weltraums. Europa hat bereits seit Anfang der sechziger Jahre Programme zur Schaffung einer europäischen Transportkapazität verfolgt; dieses Ziel ist inzwischen mit der ARIANE-Trägerrakete erreicht.

Strategische Zielsetzung bleibt die Sicherstellung eines eigenständigen wettbewerbsfähigen europäischen Zugangs zum Weltraum. Der Bedarf für Satellitenstarts insbesondere im kommerziell wichtigsten Segment der geostationären Kommunikationssatelliten hat einen hart umkämpften wirtschaftlich interessanten weltweiten Markt für Raumtransportdienste entstehen lassen, in dem das europäische ARIANE-System auf Grund seiner Wettbewerbsfähigkeit heute eine Spitzenposition einnimmt. Die Sicherung dieser Marktstellung einschließlich der industriellen Kapazitäten und der Erhalt des eigenständigen Zugangs zum Weltraum als einer strategischen Kernfähigkeit des politischen Akteurs Europa bedingen einander gegenseitig: Ohne einen langfristig wirtschaftlichen Erfolg des ARIANE-Systems wäre das notwendige staatliche Engagement weder finanziell durchzuhalten noch volkswirtschaftlich zu rechtfertigen.

Neben der ARIANE drängen eine Reihe von Konkurrenzprodukten mit nicht-marktwirtschaftlich kalkulierten - und damit sehr niedrigen - Startpreisen aus Ländern wie Russland oder China auf den Markt. Auch die USA versuchen, durch weitere Verbesserungen bei den existierenden Trägern größere Marktanteile zu gewinnen. Darüber hinaus hat das US-Verteidigungsministerium die Entwicklung einer neuen Trägerfamilie eingeleitet, welche modular aufgebaut ist und gegenüber den heute eingesetzten Systemen zu einer weiteren Kostenreduktion führen soll. Insbesondere besitzen die amerikanischen Herstellerfirmen durch garantierte Mindestauslastungen über regelmäßige militärische Satellitenstarts einen massiven ökonomischen Vorteil gegenüber der europäischen Industrie. Hinzu kommt (in 2004 und 2005 zumindest) eine jährliche Summe von rd. 140 Mio. US\$ mit dem die US Air Force die jährlichen Betriebskosten der neuen Trägergeneration (ATLAS 5 und Delta IV) subventioniert.

Insgesamt kann von einer deutlichen Verschärfung der Konkurrenzsituation im laufenden Jahrzehnt ausgegangen werden. Die erwarteten Umsätze auf dem Trägermarkt werden dabei trotz ansteigenden Transportvolumens annähernd konstant bleiben oder zeitweise sogar rückläufig sein. Vor diesem ökonomisch schwierigen Hintergrund wird mit der ARIANE-5 eine Sicherung des Marktanteils angestrebt, und damit auch der Erhalt der mit der Serienfertigung des Trägers verbundenen Arbeitsplätze.

Die europäische Zusammenarbeit im ARIANE-Programm erfolgt im Rahmen von ESA und ARIANESPACE. Gegenwärtig vorhandene bzw. in naher Zukunft zu erwartende ARIANE-Konkurrenten sind DELTA-2 bis 4, ATLAS-2, 3 und 5, ZENIT-Sea-Launch und PROTON-M. Auch Japan verfolgt mit der H2-A Trägerrakete das Ziel, ebenfalls kommerziell konkurrenzfähig zu werden. Daneben werden in den USA erhebliche Mittel für die Vorentwicklung wiederverwendbarer Transportsysteme aufgewendet, in der Hoffnung, dass der Schritt zu solchen Fahrzeugen zu drastisch gesenkten Transportkosten führen wird. Wegen gegenwärtig stagnierender, in Teilbereichen sogar sinkender Nachfrage nach Satellitenstarts ist damit zu rechnen, dass es zu einer Verringerung der Anzahl der Anbieter auf dem Markt kommen wird. In dieser Situation liegt der Gedanke nahe, internationale Allianzen einzugehen. Eine erweiterte Zusammenarbeit, z.B. mit den USA, Russland, Japan, China und Indien, wird indes nur möglich sein, wenn dabei den politischen und wirtschaftlichen Interessen der Partner in ausreichender Weise Rechnung getragen werden kann. Dies erscheint aufgrund der strategischen bzw. sicherheitspolitischen Bedeutung des Raumtransports allerdings schwer realisierbar.

Der aktuelle Fehlschlag des Fluges AR 517 im Dezember 2002 wird weitreichende, zur Zeit noch nicht völlig überschaubare Auswirkungen auf die laufenden Bemühungen zur Restrukturierung und Konsolidierung des europäischen Trägersektors haben und zu Änderungen insbesondere in den

ESA-Programmen zwingen. Hauptgegenstand der Diskussion ist eine vorläufige Beschränkung des weiter unten genannten Entwicklungsprogramms „ARIANE-5 Plus“, um kurzfristig Mittel zur Fehlerbehebung freizusetzen.

## **7.2 Gegenwärtiger Status/laufende Projekte**

Der Raumtransport ist Eckpfeiler europäischer und zentrales Aktionsfeld deutscher Raumfahrtpolitik. Da die Entwicklung eines Trägersystems in Europa die Möglichkeiten eines einzelnen Staates übersteigt, können solche Vorhaben nur in arbeitsteiliger Kooperation über Ländergrenzen hinweg bewältigt werden. Dies führte bei der ARIANE-Entwicklung zur Entstehung spezifischer Kompetenzen auf Industrieseite und bei nationalen Raumfahrtorganisationen.

Mit der Trägerrakete ARIANE-4 war es Europa gelungen, einen Marktanteil von über 50% des zugänglichen Satellitenmarktes zu erringen. Bei einem für 2000 erreichten Gesamtumsatz von fast 1,1 Mrd. € (D-Anteil von ca. 240 Mio. €) ist das europäische ARIANE-Trägersystem das kommerziell erfolgreichste Trägersystem der Welt. Hohe Zuverlässigkeit, Kundenorientierung und Flexibilität (mögliche Startfrequenz: alle 19 Arbeitstage) kennzeichnen das System. Mit der leistungsstärkeren ARIANE-5, die im Dezember 1999 den operationellen Betrieb aufgenommen hat, soll an diesen Erfolg angeknüpft werden. Der letzte ARIANE-4 Flug hat im März 2003 stattgefunden.

Bereits jetzt ist allerdings abzusehen, dass die Satellitenhersteller zunehmend schwerere Satelliten mit Massen von 5000 kg und mehr zur Marktreife bringen werden. Um die für den kommerziellen Erfolg der ARIANE unerlässliche Doppelstartfähigkeit für zwei solche Satelliten in den GTO (geostationäre Übergangsbahn) zu erhalten, wird die Transportkapazität durch zusätzliche Modifikationen und Weiterentwicklungen schrittweise angehoben. Künftige Systemoptimierungen werden in der Hauptsache auf Kostenreduktion bei der Herstellung und im Betrieb der Raketen sowie auf Effizienzgewinn in der Struktur und Organisation der industriellen Konsortien zielen.

In Deutschland bilden die Bereiche Antriebe und Oberstufen-Systemverantwortung zentrale Betätigungsfelder. So konnte bei der ARIANE-4 die Systemverantwortung für die zweite Raketstufe übernommen werden. Ferner hat die deutsche Industrie das Turbopumpensystem für das Viking-Triebwerk gebaut und die Brennkammer für das kryogene Oberstufentriebwerk (HM7-B) entwickelt, das auch im ARIANE-5/Plus-Programm (für die ESC-A Oberstufe) zum Einsatz kommen wird.

Bei der ARIANE-5 besitzt Deutschland die Systemführung sowohl für die bereits im Einsatz befindliche Oberstufe mit lagerfähigen Treibstoffen (EPS), als auch für die Oberstufe mit kryogenen Treibstoffen (ESC-A). Für die als nächsten Entwicklungsschritt geplante (ebenfalls kryogene) ESC-B-Oberstufe mit dem neuentwickelten VINCI-Triebwerk läge die Systemführung auch in Deutschland.

Das hypergole Oberstufentriebwerk AESTUS, die Brennkammer des kryogenen Triebwerks VULCAIN-1/II und die Gehäuse der Feststoffbooster werden in deutscher Verantwortung realisiert. Neben der Industrie (Astrium, MAN-T und ca. 170 kleinen und mittleren Unternehmen) sind deutsche Forschungs- und Versuchseinrichtungen (DLR und IABG) maßgeblich an den Entwicklungs-, Qualifizierungs- und Flugabnahmeversuchen aller Flüssigkeitstriebwerke der ARIANE-5 beteiligt. Durch dieses Engagement nimmt die deutsche Industrie innerhalb Europas eine führende Rolle in der Raketenantriebsentwicklung ein, insbesondere als Systemverantwortlicher für Raketentstufen sowie als Hersteller wesentlicher Untersysteme und Einzelkomponenten (Brennkammern für Flüssig- und Festtreibstoffe, wesentliche Strukturteile).

Die Weiterentwicklung des ARIANE-5-(Basis-)Systems erfolgt z.Z. innerhalb von zwei sich zeitlich überschneidenden ARIANE-Programm-Elementen. Das bereits 1995 beschlossene und bis ca. 2004 laufende ARIANE-5/Evolution-Programm beinhaltet die Vergrößerung und die Weiterentwicklung der Antriebsleistung der ARIANE-5-Grundstufe (Vulcan Mk. II-Triebwerk) sowie der erweiterten Doppelstart-Vorrichtung (SYLDA-5).

Das ARIANE-5/Plus-Programm zur Weiterentwicklung der Oberstufe des Trägers wird in mehreren Phasen durchgeführt. Der deutsche Gesamtanteil an diesem Programm beträgt ca. 29 % des Finanzrahmens, entsprechend ca. 370 Mio. €.

Der Entwicklungsumfang beinhaltet neben der Verbesserung der bisherigen Oberstufe (ARIANE-5/EPS) mit lagerfähigen Treibstoffen die Entwicklung einer noch nicht wiederzündfähigen kryogenen Oberstufe (ARIANE-5/ESC-A mit dem bewährten HM-7B-Triebwerk der ARIANE-4). Die Gesamtnutzlastkapazität im Doppelstart wird damit frühestens ab 2004 auf ca. 9.000 kg im GTO gesteigert werden.

In einer weiterentwickelten Version der kryogenen Oberstufe (ARIANE-5/ESC-B mit einem neuen, mehrfach zündbaren Triebwerk VINCI) könnte die Gesamtnutzlastkapazität weiter auf ca. 11.600 kg gesteigert werden. Über diesen im „ARIANE-5/Plus“-Programm prinzipiell vorgesehenen Entwicklungsschritt wird eine definitive Entscheidung erst Ende 2004/Anfang 2005 erwartet, in Abhängigkeit von den bis dahin erzielten Fortschritten bei der Fehlerbehebung des Fluges AR-517 bzw. den dann noch verfügbaren Finanzmitteln.

Mit den Beschlüssen der ESA-Ministerratskonferenzen vom Mai 1999 und November 2001 kann die deutsche Raumfahrtindustrie im Trägerbereich ihre Entwicklungs- und Fertigungsanteile nicht nur erhalten, sondern sie sogar noch erweitern. Diese deutsche Beteiligung umfasst nunmehr die Systemführung bei der Oberstufe mit lagerfähigen Treibstoffen, die neu hinzukommende Systemführung bei den Oberstufen mit kryogenen Treibstoffen (ESC-A, ESC-B), die Entwicklung der Brennkammer, Triebwerks- und Stufentests in Lampoldshausen sowie wesentliche große Strukturen.

Die nachstehende Tabelle gibt eine Kostenübersicht der größeren europäischen Programme und Programmelemente im Bereich Träger.

<b>Programm / Vorhaben</b>	<b>Deutsche Kosten</b> ca. in Mio. € (W.B. 2001)	<b>D-Anteil</b> ca. in %	<b>Laufzeit</b>
ARIANE-5 Evolution	230	17,7	1995 - 2004
ARIANE-5 plus	370*	29*	1998 - 2007
AR-5 / ARTA	48	16,4	2003 - 2006
CSG Kourou	110	23	2002 - 2006
AR-5 / Infrastruktur	16	6,5	2002 - 2005

\*eine teilweise Umwidmung dieser Mittel zugunsten der Fehlerbehebung AR-517 ist wahrscheinlich

### 7.3 Operative Ziele, Meilensteine

Vor dem skizzierten Hintergrund eines heftigen Wettbewerbs und einer gegenwärtig prekären wirtschaftlichen Lage der weltweiten Startdienste-Industrie ist für den Mittelfristzeitraum vorrangiges Ziel, die mit den Programmen ARIANE-5 Evolution und ARIANE-5/Plus eingeleiteten Verbesserungen termingerecht und im Kostenrahmen zu realisieren, um damit die Wettbewerbsfähigkeit des ARIANE-Trägers zu sichern und parallel dazu Produktionskosten zu senken. Die Komplettierung des europäischen Raumtransportangebotes für kleinere und mittlere Nutzlasten soll mittelfristig durch Kooperation der europäischen Raumtransportindustrie bei bereits existierenden russischen, ggf. auf westlichen Standard zu modifizierenden Trägersystemen erfolgen. Staatliche Unterstützung soll dabei die Nutzung des europäischen Startgeländes in Kourou ermöglichen und in der Finanzierung ggf. auf Anschubmaßnahmen beschränkt bleiben.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist das kommerzielle Potenzial, das der Raumtransport ungeachtet der aktuellen wirtschaftlichen Probleme langfristig eröffnet. Die Wechselwirkung zwischen sinken-

den Transportkosten und einer Ausweitung der Transportnachfrage ist in der gegenwärtigen Entwicklung mit einer annähernden Halbierung der Transportkosten und großer Kapazitätsüberschüsse bisher nicht eingetreten. Sofern die Transportkosten weiter drastisch sinken, wird längerfristig ein Nachfrageschub und damit eine deutliche Erholung des Trägermarktes erwartet. Es gilt, die europäische und deutsche Position in diesem Zukunftsmarkt vorzubereiten und abzusichern.

Darüber hinaus spielt die strategisch-politische Bedeutung des uneingeschränkten europäischen Zugangs zum Weltraum weiterhin eine wichtige Rolle. Deutschland erkennt diese Bedeutung und trägt solidarisch seinen Teil der Lasten, die zum Erhalt dieser Fähigkeit notwendig werden.

Hierzu gehören insbesondere die Programme zur Anpassung der ARIANE an die sich ändernden Markterfordernisse mit dem Ziel der Effizienzsteigerung (Weiterentwicklungs-Programme). Flankierende staatliche Maßnahmen sind für eine Übergangszeit - aus Gründen der Wettbewerbsgleichheit - erforderlich, weil die ARIANE überall auf der Welt mehr oder weniger staatlich finanzierten Systemen gegenübersteht. Mittel- und langfristiges Ziel muss es jedoch sein, die Verantwortung für Entwicklung, Produktion, Vermarktung und Betrieb auf die Industrie zu übertragen und die Unterstützung durch öffentliche Mittel abzubauen. Auf diese Zielsetzung hin ist die notwendige Anpassung der Industriestruktur auszurichten. Der Staat könnte sich dann auf die Entwicklung zukünftig benötigter Technologien konzentrieren.

Wie eine solche Struktur aussehen könnte, und ob am Ende eines solchen Prozesses eine „einzige“ Gesellschaft zur Entwicklung, Produktion, Vermarktung und Betrieb der ARIANE stehen wird - wie von Deutschland gefordert -, muss sich letztlich aus einem industrie-internen Integrationsprozess ergeben. Die Beschlüsse der ESA-Ministerratskonferenz 2001 fördern langfristig die Schaffung eines einzigen Hauptauftragnehmers für ARIANE.

Verschiedene Formen einer ‚Public-Private-Partnership‘ können diesen Prozess begleiten. Dabei muss eine angemessene Rolle der deutschen Kompetenz-Standorte und der dortigen hochwertigen Arbeitsplätze gesichert werden. Auf absehbare Zeit wird das ARIANE-Programm allerdings auf flankierende Maßnahmen von staatlicher Seite angewiesen sein. Diese staatliche Unterstützung erfolgt in Abhängigkeit vom erwarteten technologischen Risikograd der durchzuführenden Aufgaben und unter Berücksichtigung der weiteren Entwicklung des Trägermarktes.

Zu den risikoarmen Vorhaben mit ausgesprochener Marktnähe und einer teilweise etablierten oder zu erwartenden Kommerzialisierung gehören die Entwicklung und der Betrieb kleiner Trägersysteme, insbesondere auf Basis bereits in der Vergangenheit entwickelter militärischer Systeme. In diesem Bereich hat die deutsche Industrie in Zusammenarbeit mit Russland Angebote entwickelt. Staatliche Hilfen wurden nur in Form einer Bundeskreditbürgschaft in Anspruch genommen.

Mit dem Begleitprogramm ARIANE-5/ARTA (ARIANE ‚Research and Technology Accompaniment Programme‘) werden die Geräte, die bereits im operationellen Betrieb sind, z.B. durch Qualifikations- und Dauerbelastungstests am Boden ständig weiter untersucht.

Das Begleitprogramm ARIANE-5/Infrastruktur wurde initiiert, um den für die Träger ARIANE-4 und -5 in der Übergangsphase erforderlichen, unwirtschaftlichen parallelen Betrieb von zwei verschiedenen Startanlagen sowie zwei Produktionslinien in Kourou und Europa finanziell zu unterstützen. An diesem Programm beteiligt sich Deutschland im Vergleich zu den technologisch anspruchsvolleren Entwicklungsprogrammen nur mit einem Beitragsschlüssel von 6,41%.

Der Betrieb des europäischen Startgeländes in Kourou (CSG) ist Voraussetzung jeglicher unabhängiger europäischer Träger- und Raumfahrtaktivitäten und wird deshalb als gemeinsame grundlegende Aufgabe der ESA-Staaten, ähnlich dem Pflichtprogramm, betrachtet. Deutschland ist daher auch hieran mit staatlichen Mitteln beteiligt.

#### **7.4 Langfristige Zielsetzung**

Die bislang eingeleiteten Weiterentwicklungen sind darauf angelegt, die Wettbewerbsfähigkeit der ARIANE-5 und damit ihren wirtschaftlichen Erfolg über das Jahr 2010 hinaus aufrechtzuerhalten.

Abhängig von den Leistungen der Wettbewerber, insbesondere aus den USA, wird längerfristig ein bedeutender Marktanteil nur zu halten sein - und damit ein wirtschaftlich tragbarer eigenständiger Zugang Europas zum All garantiert werden können - wenn es gelingt, die Transportkosten erheblich zu senken. Dies wird zu verbinden sein mit verbesserter operationeller Flexibilität, Systemzuverlässigkeit und Umweltverträglichkeit („Green Propellants“). Eine wirklich signifikante Senkung der Transportkosten würde zudem mit großer Wahrscheinlichkeit eine Steigerung des Transportbedarfs und damit des Trägergeschäfts zur Folge haben. Als Messlatte für solche drastischen Kostensenkung müssen dabei die Kosten gelten, die in etwa 10 - 20 Jahren von den derzeitigen konventionellen Systemen durch bereits laufende Kostenreduktionsprogramme erreicht sein werden.

Die derzeit meist diskutierte Möglichkeit, die Kosten weiter signifikant zu senken, sind teilweise oder vollständig wieder verwendbare Trägersysteme („Reusable Launch Vehicles“, RLV), d.h. technisch eine radikale Abkehr von den heutigen Systemen („Expendable Launch Vehicles“, ELV), bei denen eine Senkung der Herstellungskosten u.a. durch Ähnlichkeit von Komponenten, optimierte Fertigungsverfahren und Serienfertigung größerer Lose erreicht werden kann. Vor diesem Hintergrund ist noch nicht eindeutig geklärt, (1) ob die Wiederverwendbarkeit das Ziel einer deutlichen Kostensenkung erreichen wird und (2) welches Systemkonzept (damit verbunden: welcher Grad der Wiederverwendbarkeit) die niedrigsten Kosten verspricht.

Im Lichte der Bemühungen, die industrielle Verantwortung im Raumtransportsektor zu stärken, muss dabei auch besonders die Frage der Rentabilität eines neuen Systems, insbesondere unter Berücksichtigung der erheblichen Entwicklungskosten, betrachtet werden. Als untere Grenze können hier die Entwicklungskosten der ARIANE-5 (rd. 7,5 Mrd. € nach Ende des AR-5-Plus-Programms) angenommen werden. Aus europäischer Sicht ist es deshalb dringend erforderlich, die Zukunft der europäischen Raumtransportkapazität im Hinblick auf das Systemkonzept sowie die notwendigen Technologieentwicklungen im Vorfeld einer möglichen Entwicklungsentscheidung zu untersuchen.

Auf der Ministerratskonferenz vom November 2001 wurde die ESA aufgefordert, in naher Zukunft ein „Future Launcher Preparatory Programme“ (FLPP) aufzulegen. Dieses Programm, über das im Jahre 2004 zu entscheiden sein wird, soll - gemäß der in Edinburgh verabschiedeten Resolution - auch Elemente für Verbesserungen an den nicht wieder verwendbaren Trägern (AR-5, Vega) beinhalten. Ziel des FLPP ist es, die Teilnehmerstaaten in die Lage zu versetzen, innerhalb der nächsten 10 Jahre über ein europäisches Entwicklungsprogramm (RLV oder ELV) entscheiden zu können. Im FLPP werden auch die Möglichkeiten und Chancen einer internationalen Kooperation (USA, Japan, vor allem aber mit Russland) einer eingehenden Prüfung unterzogen.

Ergänzt werden soll das FLPP durch Projekte und Demonstrator-Missionen im Bereich des atmosphärischen Wiedereintritts sowie durch kleinere Aktivitäten in den ESA-Technologieprogrammen. Mit diesen Arbeiten verfolgt Europa das Ziel, entweder im europäischen Rahmen die technologischen Grundlagen für die autonome Entwicklung eines kostengünstigeren Raumtransportsystems der nächsten Generation verfügbar zu machen oder aber Europa als unverzichtbaren Kooperationspartner bei der globalen Realisierung eines solchen Systems zu etablieren.

Die USA gehen gegenwärtig unter Einsatz erheblicher privater und öffentlicher Mittel (insgesamt mehr als 5 Mrd. US\$) einen anderen Weg. Die dort betriebene tatsächliche Vorentwicklung wiederverwendbarer Transportsysteme konzentriert sich mit dem Projekt eines „Orbital Space Plane“ (OSP) in erster Linie auf die bemannte Raumfahrt. So wurde die ursprüngliche Vorstellung, noch in diesem Jahrzehnt ein einstufiges System (SSTO) verfügbar zu haben, mittlerweile aufgegeben. Die NASA, zusammen mit der US-Luftwaffe, zielt aber weiterhin auf ein vollständig wieder verwendbares System.

Deutschland hat im nationalen und im ESA-Rahmen umfangreiche Vorarbeiten zu kritischen Technologien sowie zur Systemanalyse für ein künftiges ggf. wieder verwendbares Raumtransportsystem geleistet. Damit haben Forschungseinrichtungen und Industrie in Deutschland inzwischen eine Spitzenstellung im Bereich hochbelasteter heißer Strukturelemente und der Aerothermodynamik

erreicht. Sie wurden dadurch gefragter Partner der NASA in den Projekten X-38 und CRV, auch wenn die Realisierung beider Projekte inzwischen seitens der USA gestoppt geworden ist.

Auch auf dem Gebiet der Flüssigkeitsraketenantriebe werden die mit den ARIANE-Programmen erworbenen deutschen Kernfähigkeiten, vor allem auf dem Gebiet der Schubkammern für kryogene wie auch lagerfähige Treibstoffe, ausgebaut. Die deutsche Industrie besitzt dadurch in diesem Teilbereich des Antriebs eine in Europa führende Position.

Auf dieser Grundlage strebt Deutschland auch bei der Entwicklung eines zukünftigen europäischen Transportsystems eine angemessene Beteiligung mit einer Führungsrolle in wichtigen Bereichen an. Der Umfang sollte etwa dem deutschen ESA-Pflichtbeitrag (25%) entsprechen und die deutschen Vorarbeiten und Kompetenzen angemessen einbeziehen. Deutschland konzentriert derzeit die für diesen Bereich bereit gestellten Ressourcen auf das nationale Programm „Ausgewählte Systeme und Technologien für Raumtransport-Anwendungen“ (ASTRA) mit den Zielsetzungen:

- zu untersuchen, ob die Wiederverwendbarkeit das Ziel einer deutlichen Senkung der Lebenszykluskosten (LCC) erreichen wird;
- die Auswahl des kostengünstigsten Systemkonzepts (und damit verbunden: des Umfangs der Wiederverwendbarkeit) vorzubereiten und
- diejenigen Technologien zu identifizieren und voranzutreiben, die gleichzeitig das Potenzial zur Kostensenkung besitzen, notwendig zur Beantwortung der o.g. Fragen und geeignet sind, der deutschen Industrie eine Spitzenposition zu sichern bzw. zu verschaffen.

ASTRA wird abgestimmt mit den einschlägigen ESA-Programmen durchgeführt. Deutschland strebt an, ASTRA inhaltlich zu einem Teilelement des geplanten FLPP-Programmes zu machen.

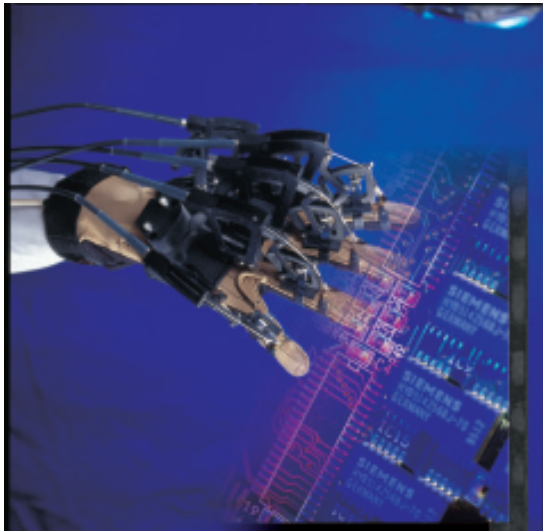
Ein Hauptinteressensfeld der deutschen Industrie liegt beim Betrieb eines künftigen wieder verwendbaren Fahrzeuges. Das Interesse gründet auf der Tatsache, dass der Bau eines wieder verwendbaren Systems die Herstellung einer relativ kleinen Flotte von Fahrzeugen beinhalten würde und - anders als im Falle der ARIANE-Raketen - keine regelmäßigen industriellen Umsätze durch wiederholten Fahrzeugbau generieren könnte, der Betrieb des Systems hingegen das Hauptgeschäftsfeld darstellen wird.

Die Umsetzung von ASTRA im Zeitraum 2000 - 2004 stellt einen Erfolg versprechenden Weg dar, die deutschen Interessen in das europäische Kooperationszenario mit angemessenem Gewicht einzubringen. Im Rahmen des internen FuE-Programms sind DLR-Institute sowie drei DFG-finanzierte Sonderforschungsbereiche mit einem Teil ihrer Arbeiten eingebunden. Darüber hinaus hat das Land Bremen eine substantielle finanzielle Beteiligung an Arbeiten der dort ansässigen Industriefirmen übernommen. Insgesamt erreicht das ASTRA-Programm einen Umfang von fast 50 Mio. €.

Diese langfristig angelegten technologischen Vorbereitungsmaßnahmen und der ins Auge gefasste Umfang einer deutschen Beteiligung zielen darauf ab, der deutschen Industrie die Rolle eines mitentscheidenden und unverzichtbaren Programmpartners im Rahmen eines zukünftigen europäischen Entwicklungsprogramms zu sichern, einen entsprechenden Anteil am Wertschöpfungspotenzial eines zukünftigen Transportsystems nach Deutschland zu holen und deutsche Beiträge auch in eine mögliche transatlantische oder globale Kooperation einbringen zu können.

Im Ergebnis muss die langfristige Entwicklung der europäischen Transportkapazität darauf abzielen, die wirtschaftlich und/oder politisch-strategisch interessante Palette künftiger Nutzlasten kostengünstig, zuverlässig, flexibel und umweltverträglich bedienen zu können. Damit können der autonome und sichere Zugang Europas zum Weltraum gewährleistet, die Position der europäischen Industrie im globalen Wettbewerb gestärkt sowie hochqualifizierte Arbeitsplätze und Wertschöpfung gesichert werden.

## Fachprogramm Technik für Raumfahrtsysteme



## 8. Fachprogramm Technik für Raumfahrtsysteme

### 8.1 Bedeutung des Programms, internationaler Kontext

Im Programm Technik für Raumfahrtsysteme ist ein technologisch breitgefächertes Aufgabenbereich in den Programmlinien Robotik, Kleinmissionen, Wiedereintrittstechnologien, Systemtechnologien und Unterstützungsaktivitäten zusammengefasst. Im Rahmen der Programmlinien werden komplementär zu den ESA-Technologieprogrammen unter strategischen Aspekten Basis- und Querschnittstechnologien entwickelt. Sie dienen einerseits der Forschung, andererseits der Verbesserung der weltweiten Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Raumfahrtindustrie und leisten unverzichtbare Unterstützung für das nationale Raumfahrtprogramm (Betrieb eines nationalen Satellitenkontrollzentrums; Betrieb eines nationalen Testzentrums; Qualitätssicherung und Sicherung von Bauteileverfügbarkeit).

Zur Erreichung dieser Ziele sind folgende Mittel vorgesehen:

Angaben in Mio. €	2002	2003	2004	2005	2006
<b>allgem. Raumfahrt-Technologien</b>					
ESA (GSTP)	2	0	0	0	0
ESA Pflichtprogramm (TRP)	12	12	12	12	13
nationales Programm	2	4	3	1	2
<b>Infrastruktur (A&amp;R, Reentry etc.)</b>					
nationales Programm	4	5	9	10	11
DLR-internes FuE-Programm	9	9	9	9	9
<b>Unterstützungsaktivitäten</b>					
nationales Programm	8	9	9	9	6
DLR-internes FuE-Programm	7	6	6	6	6
<b>Gesamt</b> (Abweichungen durch Rundung)	<b>44</b>	<b>45</b>	<b>48</b>	<b>47</b>	<b>47</b>

#### Robotik

Automation und Robotertechnik sind im industriell produzierenden Gewerbe zur Basis für hohe Produktivität und Konkurrenzfähigkeit geworden. In der Raumfahrt sollen Automaten und Roboter eingesetzt werden, um Astronauten bei sicherheitskritischen, monotonen oder routinemäßigen Arbeiten zu unterstützen, zu entlasten und zu ersetzen aber auch, um Kosten zu senken und die Zuverlässigkeit zu erhöhen. Robotik-Entwicklungen in der Raumfahrt profitieren von terrestrischen Entwicklungen. Und umgekehrt sind A&R Entwicklungen aus der Raumfahrt bereits erfolgreich auf terrestrische Anwendungen (Fertigungsautomaten, Medizintechnik, Computertechnik) übertragen worden. Dies wird auch bei zukünftigen Entwicklungen angestrebt.

Robotiksysteme bieten Einsatzperspektiven im Weltraum hinsichtlich:

- operationellem Betrieb von orbitalen Infrastrukturen und Raumfahrzeugen;
- Experiment-Vorbereitung und -Bedienung innerhalb und außerhalb von Raumstationen;
- Inspektions-, Wartungs- und Reparaturtätigkeiten an orbitalen Infrastrukturen;
- Entsorgung von Weltraummüll;
- Erforschung und Erschließung von Planeten und anderen Himmelskörpern (Aufbau unbemannter und bemannter Forschungsstationen, eventuell auch Ressourcennutzung).

Mit der Entwicklung und dem Betrieb des experimentellen Manipulatorsystems ROTEX auf der Spacelab-Mission D2 (1993) hat Deutschland eine weltweit beachtete Position in der Raumfahrtrobotik erreicht.

Hierauf aufbauend wurden mit dem Fernziel der Entwicklung eines „Robonauten“ Bodenfunktionsmodelle eines Leichtbauarms (7 Freiheitsgrade) und einer neuen Generation von Endeffektoren, der DLR-4-Finger-Hand (12 aktive Gelenke; Einbeziehung von mikrosystemtechnischen Komponenten) realisiert. Die Entwicklungen auf dem Gebiet der Mechatronik - der Integration von Mechanik, Sensorik, Elektronik und Informatik beim Systemdesign - sowie auf dem Gebiet der multisensoriellen Intelligenz (Selbstlernen durch Vergleich) haben die deutsche Spitzenstellung international gefestigt. Die Telepräsenz und virtuelle Realität wurden soweit vorangetrieben, dass diese Techniken schon jetzt bei Anwendungen sowohl am Boden als auch bei Raumfahrtssystemen erprobt und eingesetzt werden. Die „virtuelle Bemannung“ von Raumlabors ist in greifbare Nähe gerückt. Virtuell bemannte Raumfahrt heißt, dass ein Raumfahrtssystem gegenüber dem Bediener auf der Erde realistisch simuliert wird und dass die Simulation gleichzeitig mit dem realen System kommuniziert. Dadurch wird erreicht, dass die Simulation automatisch der Realität folgt. Es entsteht der Eindruck, der Operateur wäre tatsächlich vor Ort. Seine Aktionen in dieser virtuellen Umgebung werden vor Ort real ausgeführt und es erfolgt sofort die Rückmeldung aus der realen in die virtuelle Welt.

Da langfristig ein Bedarf für wissenschaftliche und operationelle Anwendungen der Raumfahrtrobotik zu erkennen ist, wird Deutschland verstärkt Vorhaben zur Erprobung und Anwendung der entwickelten Technologien durchführen, um seinen Spitzenplatz in der Raumfahrtrobotik zu sichern.

### *Kleinmissionen*

Als Kleinmissionen werden der Bau und Betrieb von Nano, Micro- und Minisatelliten also der Gewichtsklassen von 1 bis 10 kg, 10 bis 100 kg und 100 bis 500 kg bezeichnet. Hinzu kommen Missionen im Raumstationsszenario. Sie zeichnen sich durch folgende Vorteile aus:

- kurze Realisierungszeiten und schnelle Verfügbarkeit der Ergebnisse;
- schnelle Durchführung von Experimenten und Erprobung von neuen risikobehafteten Technologien bei vertretbarem finanziellem Aufwand („test-bed“);
- Erprobung neuer Test-, Integrations-, Dokumentations-, Verifikations- und Managementmethoden;
- Nutzung kostengünstiger Startmöglichkeiten als Sekundärnutzlasten bzw. „Piggyback“;
- schnelle Wiederflüge;
- geringe Kosten (weniger als 10 Mio. €).

Daher sind Kleinmissionen mit wissenschaftlichen und technologischen Experimenten besonders geeignet zur Aus- und Weiterbildung von Nachwuchskräften in Forschungseinrichtungen und an Hochschulen. Mikrosatellitenprogramme werden in mehreren Ländern Europas sowie Nord- und Südamerikas durchgeführt.

Im internationalen Vergleich gibt es auf dem Gebiet der Kleinmissionen für Forschung und Ausbildung im Bereich der Hochschulen in Deutschland mit den Satelliten BREMSAT, TUBSAT, BIRD, GRACE und CHAMP eine fundierte Wissensbasis.

### *Wiedereintrittstechnologien*

Zukunftsorientierte Raumfahrt benötigt die Fähigkeit zum gezielten zerstörungsfreien Wiedereintritt mit wiederverwendbaren Strukturen. Für ihre Entwicklung werden jedoch innovative und neue Technologien gebraucht, deren Erforschung, Entwicklung und Validierung in den letzten Jahren in vielen Vorhaben erfolgreich vorangetrieben und demonstriert worden sind. Beispielhaft seien hier die EXPRESS- und MIRKA-Kapseln genannt, mit denen u.a. neue Hitzeschutzmaterialien beim Wiedereintritt erfolgreich getestet wurden.

Der Schwerpunkt der im Rahmen der Raumfahrtssystemtechnik geförderten Technologien liegt dabei auf dem Gebiet der Materialien und Strukturen. Dabei findet eine enge Abstimmung mit den Aktivitäten des Raumtransports zu wiederverwendbaren Raumtransportsystemen statt.

Die Technologieaktivitäten konzentrierten sich bisher auf die mit der amerikanischen Weltraumbehörde NASA gemeinsam betriebene Entwicklung des Technologiedemonstrators X-38, auf dem neue und wiederverwendbare Technologien bei einem Wiedereintrittsflug getestet werden sollten. Nach dem Abbruch der x-38-Entwicklung durch NASA wird die Nutzung des bisher erzielten Erkenntnisstandes im Rahmen nationaler Aktivitäten geprüft.

### *Satelliten- und Systemtechnologien*

Erst durch die Vorentwicklung von kritischen Technologien wird eine fundierte Beurteilung des Umfangs und der Risiken von Projekten sowie der Marktchancen deutscher Unternehmen möglich. Die Markteintrittschancen für neue Systeme und Produkte können durch eine erfolgreiche Demonstration im Orbit, auf Erprobungsträgern wie Kleinsatelliten oder der Internationalen Raumstation erheblich verbessert werden.

Im Rahmen der Programmlinie Systemtechnologien werden in Ergänzung zu den ESA-Technologieprogrammen Basis- und Querschnittstechnologien für Sonden- und Satellitenbusse entwickelt. Diese Technologien unterstützen die deutsche Industrie bei Sicherung und Ausbau ihrer Marktposition. So wurden in der Vergangenheit durch staatliche Förderprogramme Entwicklungen angestoßen, aus denen international konkurrenzfähige Produkte z.B. in der Positions- und Lageregelung, der Energieversorgung und bei Kleintriebwerken entstanden.

Es gilt, insbesondere mit Blick auf künftige kommerzielle Satellitensysteme, in diesen Bereichen und bei Satellitenbetriebssystemen eine deutliche Steigerung des deutschen Anteils am Weltmarkt zu erreichen.

Neben den Marktchancen wird das Innovationspotenzial von Technologien ein entscheidendes Förderkriterium sein. In anderen nationalen oder europäischen Förderprogrammen geschaffene Wissenspotenziale werden im Sinne eines „Spin-on“ in der Raumfahrt angewendet (z.B. Werkstoffwissenschaften, Informationstechnik und Mikrosystemtechnik). Dies reduziert Raumfahrtaufwendungen und stimuliert zugleich neue Anwendungen der Technologie. In gleicher Weise werden die Technologieentwicklungen der Raumfahrt auf ihre Anwendbarkeit außerhalb der Raumfahrt geprüft.

### *Unterstützungsaktivitäten*

Projektunabhängige Bodeneinrichtungen für Satellitenbetrieb („German Space Operations Center“, DLR-GSOC), für Höhenforschungsraketen („Mobile Raketen Basis“, DLR-MORABA) und für Tests („Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft Raumfahrttestzentrum“, IABG RTZ) sowie Aktivitäten zur Qualitätssicherung und Bauteilequalifikation haben wesentlich zu den Erfolgen des deutschen Raumfahrtprogramms beigetragen. Ziel der Fördermaßnahmen war es, neben der Weiterentwicklung von Betriebstechniken wirtschaftlichere Verfahren zum Betrieb von Bodeneinrichtungen zu finden.

Vom DLR-GSOC wurden die Bodenkontrolle aller deutschen Forschungs- und Technologiesatelliten sowie auch der Nutzlastbetrieb der deutschen Spacelab- und MIR-Missionen durchgeführt. Die erforderlichen Kompetenzen und Infrastrukturen (Kommunikationssysteme, Kontrollräume etc.) wurden schrittweise ausgebaut. Das GSOC übernimmt auch Aufträge in- und ausländischer Organisationen und der Industrie teilweise in Abstimmung mit den Einrichtungen des CNES und der ESA.

Die mobile Raketenbasis des DLR ist eine in Europa einmalige Einrichtung für den Start von Höhenforschungsraketen von wechselnden Startplätzen. Das DLR erbringt diese nicht marktgängige Dienstleistung im satzungsgemäßen Auftrag für Hochschulen und Forschungseinrichtungen, wobei

auch Aufträge Dritter, z.B. von NASA und ESA, durchgeführt werden. DLR und Industrie arbeiten bei den Raketenflügen zur Mikrogravitationsforschung komplementär: die MORABA des DLR führt Unterstützungstätigkeiten im Industrieauftrag durch. Die Bereitstellung der sehr aufwendigen Anlagen (Raketenstartrampen, Telemetrie-Empfangsstation, Bahnverfolgungsstation) für Industrieaufträge und Forschungsunterstützung kann derzeit nicht kostendeckend durchgeführt werden.

Mit dem Raumfahrttestzentrum der IABG bei München verfügt Deutschland über eine europaweit genutzte Einrichtung, um Umwelttests aller Art an Raumfluggeräten durchzuführen. Ähnliche nicht firmengebundene Testzentren gibt es in Frankreich (Intespace) und bei der ESA. Diese Zentren koordinieren ihre Aufgaben und Anlagenentwicklungen unter Federführung der ESA. Der Betrieb und die Wartung der ESA-Anlagen erfolgen bereits heute durch eine privatwirtschaftliche Zusammenarbeit von IABG und Intespace als Gesellschafter der Firma European Test Services (ETS), die als BV nach niederländischem Recht im Rahmen eines Joint Ventures eingetragen ist.

Qualitätssicherung ist eine unverzichtbare Voraussetzung für ein erfolgreiches deutsches Raumfahrtprogramm. Hierzu gehört eine konsistente Produktsicherung in den Projekten, sowohl beim Auftraggeber als auch beim Auftragnehmer, die langfristige Sicherstellung der Verfügbarkeit raumfahrtqualifizierter Bauteile zu wettbewerbsfähigen Kosten aus europäischer und deutscher Produktion und nicht zuletzt ein international anerkanntes Qualitätsmanagement im Raumfahrt-Agenturbereich.

## **8.2 Gegenwärtiger Status, laufende Projekte**

### *Robotik*

Die technologische Basis für „Raumfahrt-Roboter“ ist in Deutschland sehr gut entwickelt; kritische Technologien werden beherrscht. Die vorhandene Expertise muss schrittweise und kontinuierlich über Demonstrationsprojekte ausgebaut und im Weltraum verifiziert werden. Pilotprojekte, rein national, aber auch in bi- und multilateraler Zusammenarbeit werden unter Beachtung des vorhandenen Finanzrahmens und unter Berücksichtigung von Kooperationsmöglichkeiten (auch national mit terrestrischen Anwendern) definiert. Das Spektrum der Aktivitäten reicht von Durchführbarkeitsstudien (z. B. Technology Satellite for Demonstration and Verifikation of Space Systems, TECSAS Phase A), über Verifikationsmissionen (z.B. Robotik Komponenten Verifikation auf der ISS, ROKVISS) und Entwicklungsprojekten (z. B. Ground Control Concept/System für den Canadarm und SPDM) bis hin zu konkreten Applikationen (Virtual Reality System für die Columbus-Nutzungsvorbereitung, VITAL IV). Auf Basis der daraus zu erwartenden Ergebnisse und Erfahrungen werden dann die zukünftigen Missionen und Vorhaben zu Servicing und Nutzung orbitaler Infrastrukturen sowie der wissenschaftlichen Erforschung unseres Sonnensystems geplant.

### *Kleinmissionen*

Als neues Element des Deutschen Raumfahrtprogramms ist mittelfristig - d.h. ab ca. 2004 - eine fachdisziplinübergreifende Programmlinie Kleinmissionen geplant. Ziel ist es, wissenschaftliche Experimente sowie neuartige Technologien und Methoden schnell zu realisieren.

### *Wiedereintrittstechnologien*

Im Rahmen des nationalen Projektes TETRA (Technologien für zukünftige Raumtransportsysteme) wurde unter Leitung des Raumfahrtmanagements des DLR flugessentielle Hard- und Software für den X-38-Technologiedemonstrator der NASA entwickelt und integriert, um sie auf einem realen Rückkehrvehikel zu testen. Wegen der bereits angesprochenen Entwicklung in den USA erfolgt jetzt die Sicherung des bisherigen Ergebnisses im Hinblick auf künftige europäische RLV-Aktivitäten.

Zugehörige Entwicklungs- und Forschungsarbeiten besitzen multidisziplinären Charakter und sind programmübergreifend organisiert.

Mit der Auswertung des X-38-Fluges V 201 wären wesentliche Erkenntnisse des nationalen TETRA-Projekts und des ESA-X-38-Vorhabens im Bereich des Wiedereintritts und bei hochwarmfesten Bauteilen und Materialien für künftige Raumtransportentwicklungen gewonnen worden. Die bisherigen Arbeiten in diesen Programmen haben jedoch bereits eine Spitzenposition deutscher Industrie und deutscher Forschungseinrichtungen bei hitzebeständigen Bauteilen und Werkstoffen begründet. Schon jetzt wird das Folgeprogramm ASTRA durchgeführt, um die bereits vorliegenden Erkenntnisse umzusetzen. Die Ergebnisse sollen in das ‚Future Launcher Preparatory Programme‘ der ESA eingebracht werden, das die Aktivitäten für Wiedereintrittstechnologien im europäischen Rahmen künftig bündeln wird.

Des Weiteren beteiligt sich Deutschland am ESA-Programm ART (Applied Reentry Technology) mit ca. 10 Mio. €, in dessen Rahmen ebenfalls Hard- und Software für X-38 bereitgestellt wird.

Mit den Beistellungen aus TETRA und ART in Höhe von insgesamt ca. 60 Mio. € stellt Deutschland den weitaus größten Anteil an der gesamten europäischen Beteiligung am X-38-Projekt, die mehr als 70 Mio. € beträgt.

### *Satelliten- und Systemtechnologien*

Ziele dieser Programmlinie sind im Rahmen der mittelfristigen Planung die Entwicklung neuartiger, leistungsfähigerer und kostengünstigerer Energiesysteme und Komponenten zur Energieumwandlung, Speicherung und Verteilung, Kleintriebwerke für orbitale und interplanetare Aufgaben (chemische und zunehmend elektrische Antriebssysteme), Lageregelungssysteme und Komponenten sowie optische Sensoren (als Schlüsselkomponenten für vielfältige Einsatzgebiete in der Raumfahrttechnik).

- Energieversorgung

Insbesondere zwei Entwicklungslinien werden mit Hinblick auf die Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Raumfahrtindustrie bei der Entwicklung neuartiger, Raumfahrt-Solarzellen- und Generatoren verfolgt:

- Die Entwicklung kostengünstiger ultradünner Solarzellen bzw. Dünnschicht-Solarzellen z.B. der CIS-Solarzelle, ( $\text{CuInSe}_2$  = Kupfer-Indium-Diselenid), mit einem gegenüber existierenden Solarzellen-Modulen um den Faktor 30 reduzierten Leistungsgewicht (Masse pro Watt) mit einer hohen Strahlungsbeständigkeit, zudem einem gegenüber Silizium- sowie GaAs-Solarzellen hohen Potential für wesentlich niedrigere Herstellungskosten.

Diese Entwicklungslinie bildet nachfolgend die Basis für die Weiterentwicklung zu extrem leichten flexiblen Solargeneratoren mit neuartigen Aufständern und Entfaltungsmechanismen, für den Einsatz bei wissenschaftlichen Satelliten wie auch bei Satelliten mit Kommunikations- bzw. Navigationsnutzlasten im Bereich, der Klasse der LEO- und MEO-Satelliten.

- Die Entwicklung von hocheffizienten GaAs Multikaskaden- (z.B. sog. Triple- und Quadruple-Junction) Solarzellen bzw. Konzentratoren-Solarzellen, mit Wirkungsgraden von bis zu 27 %.

Die Ergebnisse dieser Entwicklungen sind die Voraussetzung für derzeit noch nicht verfügbare Hochleistungssolargeneratoren der Leistungsklasse über 20 KW, wie sie in naher Zukunft für derzeit geplante Telekommunikationssatelliten mit hohen Sendeleistungen für den geostationären Orbit benötigt werden.

- Kleinantriebe

Während bei chemischen Triebwerken im Schubbereich zwischen 1 und 400 N die deutsche Industrie bereits einen gefestigten Marktanteil besitzt und nur technische Optimierungen hinsichtlich Hochtemperaturbeständigkeit von Materialien (Wirkungsgrad/spez. Impuls), neuer ungiftiger Treibstoffkombinationen sowie kostengünstigerer Produktion erforderlich sind, werden im Schubbereich unter 1 N zunehmend chemische oder auch Kaltgastriebwerke

durch sog. elektrische Triebwerke ersetzt werden, die den verfügbaren Treibstoff um eine Größenordnung effektiver einsetzen können, als herkömmliche Antriebe.

Für zukünftige Antriebe auf dem Sektor „Elektrische Antriebe“ wurden für die nächsten drei Jahre zunächst drei Schwerpunkte definiert:

- Weiterentwicklung der Radiofrequenz-Ionenantriebs-Technologie als Basis künftiger Antriebssysteme für kommerzielle und wissenschaftliche Satelliten und Raumfahrzeuge.

Dieses Vorhaben ist eingebettet in die Harmonisierungsbestrebungen der ESA, gemeinsam mit anderen europäischen Firmen ein Europäisches Ionenantriebssystem unter deutscher Führung zu entwickeln. Begleitet wird dieses Vorhaben durch die Förderung weiterer Forschungsvorhaben mit dem Ziel, kritische Technologien, deren sichere Beherrschung zur Erreichung der Zielsetzung notwendig ist, in Deutschland verfügbar zu machen. Hierzu gehören:

- Plasmadiagnostische Untersuchungen an Ionentriebwerken

Zur Unterstützung der theoretischen und numerischen Untersuchungen der bestimmten Prozesse in Ionentriebwerken sind experimentelle Untersuchungen der Plasmameter im Entladungsgefäß und in Gitternähe erforderlich. Ziel der Untersuchungen ist ein tieferes wissenschaftliches Verständnis der Phänomene innerhalb der Plasmaentladung und damit die Verbesserung des Plasmaantriebs.

- Entwicklung eines HF-Neutralisators

Bisher verwenden alle Ionen- ebenso wie die Hall-Effekt-Triebwerke ausschließlich Hohlkathoden-Plasmabrücken-Elektronenquellen mit Gleichstromlichtbogen als Strahlneutralisator. Diese Standardquellen besitzen einige Nachteile wie komplizierte Bauweise, teure Herstellung, Störanfälligkeit, geringe Lebensdauer, thermische Trägheit, Sauerstoffempfindlichkeit.

Das Entwicklungsmodell einer HF-Elektronenquelle soll so weit optimiert werden, dass es mit den Plasmabrücken-Neutralisatoren konkurrieren kann. Ein solcher robusterer Neutralisator für Plasmaquellen wäre auch für terrestrische Anwendungen von großer Bedeutung.

- Sensorik

Mit ihren Sternensensoren hat sich die deutsche Industrie auf dem Weltmarkt etablieren können, nun werden neuartige Sternensensoren auf Basis der CMOS Active Pixel Sensor (APS) Technologie entwickelt. Gegenüber den derzeit noch gebräuchlichen CCD-Sensoren bieten CMOS Active Pixel Sensoren erhebliche Vorteile hinsichtlich der technischen Leistungsparameter (keine Ausblüh- bzw. Überstrahleffekte, hoher Dynamikbereich, einzelne Adressierbarkeit bzw. Auslesbarkeit der Detektorelemente (Pixel), niedrigere Verlustleistung, niedrigere Herstellkosten etc.); zudem kann die Ansteuer- und Auslese-Elektronik in einem Chip gemeinsam mit den Sensorelementen auf Basis der Thin-Film-on-CMOS (TFC) bzw. Thin-Film-on-ASIC (TFA)-Technologie realisiert werden.

Als Schlüsselkomponenten für raumfahrttechnische Anwendungen, sind CMOS-Active Pixel-Sensoren einsetzbar, als wesentlicher Bestandteil zukünftiger Fernerkundungs-/Erdbeobachtungs-Instrumente, sowie Focal Plane Arrays, für astronomische Teleskope, ebenso für astrometrische Instrumente wie auch als Basiskomponente zur Entwicklung neuartiger Erd-, Sonnen- Stern- bzw. AOCS-Sensoren; zudem ist deren Einsatz auch für den Aufbau optischer Satellitenortungs- und Überwachungssysteme vorgesehen.

#### *Unterstützungsaktivitäten*

Im Rahmen der Neustrukturierung des DLR-Satellitenbetriebszentrums GSOC wird die Infrastruktur für Satellitenführung modernisiert und für Multimissionsbetrieb ausgelegt. Methoden und Technologien zur Steigerung der Effizienz des Betriebs und der Bodenanlagen werden eingeführt. Hierzu gehören ein integriertes Telemetrie-System, Funktionen für einen autonomen Missionsbetrieb

und ein Teleoperationskonzept für Mikrosatelliten und Nutzlasten auf der Raumstation.

Von der MORABA werden laufend Höhenforschungskampagnen mit Raketen und Ballonen auf den Gebieten Aeronomie, Magnetosphäre und Astronomie in strategischen Partnerschaften mit NASA, ESA, Brasilien und Schweden durchgeführt. Parallel werden Anlagen laufend modernisiert (Telemetriestation: in Entwicklung, GPS-Empfänger auf Raketen: operationell).

Die Rahmenfördervereinbarung mit der IABG für das Raumfahrttestzentrum läuft mit deutlich abnehmender Förderung bis 2005. Hierbei wurden innerhalb dieses Vorhabens Mittel für den Aufbau eines „Neuen Schall Labors“ zur Beschallung von Raumfahrtstrukturen bewilligt.

DLR-Projekte werden routinemäßig von Qualitätsmanagement begleitet. Neben der Qualifizierung von Bauteilen deutscher Hersteller in Abstimmung mit ESA werden auch Konzepte für die Verwendung von elektronischen Bauteilen für Minisatelliten/Kleinsatelliten mit Schwerpunkt auf kommerziell erhältlichen Bauteilen untersucht.

### **8.3 Operative Ziele, Meilensteine**

#### *Robotik*

Auf der Basis der Ergebnisse von Durchführbarkeitsstudien soll mit einem Robotik-Demonstrationsprojekt begonnen werden. Als eine Option wird ein experimenteller Satellit mit „Servicing“-Funktionen (Rendezvous, Inspektion, Einfang, Stabilisation, Orbit-Transfer etc.) an nicht kooperativen Zielobjekten im Orbit untersucht.

Daneben werden im Rahmen einer Mission auf dem russischen Servicemodul der ISS neu entwickelte und für den externen Einsatz qualifizierte Leichtbau-Robotikkomponenten in einem Langzeitexperiment verifiziert.

Die Arbeiten zur Bereitstellung fortschrittlicher Endeffektoren werden weitergeführt mit dem Ziel, sie mittelfristig für Raumfahrtanwendungen qualifizieren zu können.

Im Bereich der A&R Control-Software ist vorgesehen, in Zusammenarbeit mit Kanada, Japan und ggf. auch ESA ein Ground Control Concept für die Robotiksysteme auf der ISS zu erarbeiten. Auf dieser Grundlage wird dann eine entsprechende Bodenkontrollstation entworfen und aufgebaut, für die in Deutschland wesentliche Anteile der Steuerungssoftware auf der Basis von bereits im Einsatz befindlichen Systemen entwickelt werden.

Im Themengebiet „virtuelle Realität“ wird das im Vorhaben VITAL entwickelte Softwaresystem zur praktischen Anwendung im MUSC gebracht. Darüber hinaus ist geplant, auf der Basis der sich aus dem Umgang mit dem System ergebenden Erfahrungen, seine Weiterentwicklung voranzutreiben und die Verbesserungen den Nutzern verfügbar zu machen.

#### *Kleinmissionen*

Aufbauend auf den vorhandenen Erfahrungen gilt es, die Position Deutschlands nicht nur zu festigen, sondern auszubauen. Die Planung sieht Mikrosatelliten- und Nanosatellitenmissionen in einem dreijährigen Programmzyklus ab 2004 vor. Diese sollen im Wettbewerb für „non-profit“-Organisationen disziplinübergreifend ausgeschrieben werden. Die Nutzlast ist aus den technischen und wissenschaftlichen Disziplinen beizustellen und wird ausgeschrieben. Deutschland hat mit BREMSAT, TUBSAT und BIRD bereits erfolgreich Mikrosatelliten in Zusammenarbeit mit Hochschulen entwickelt. Dieses bewährte Modell soll ausgebaut werden.

## *Satelliten- und Systemtechnologien*

- **Energieversorgung**

Bis zum Jahre 2005 sollen in Europa kommerziell international konkurrenzfähige Hochleistungszellen für die Raumfahrt zur Verfügung stehen. Während amerikanische Zellen heute Wirkungsgrade von ca. 27% bei der Umwandlung des Sonnenlichts in elektrische Energie erreichen, liegen die in Europa (RWE Solar) erzielten Werte von ersten Entwicklungs- bzw. Labormustern, bei ca. 25%. Dieser auf den ersten Blick kleine Unterschied hat jedoch aufgrund der indirekten Auswirkungen auf die Startmasse deutlichen Einfluss auf die Gesamtkosten eines modernen Kommunikationssatelliten.

- **Kleinantriebe**

Ziel aller Aktivitäten im Bereich der elektrischen Antriebe ist die Entwicklung einer weltweit konkurrenzfähigen Technologie für ein Ionentriebwerk nach dem Prinzip des Radiofrequenz-Ionentriebwerks (RIT) der Schubklasse 100 - 150 mN, das sowohl für geostationäre Anwendungen (N/S-Stationkeeping und GTO-GEO-Transfer) als auch für LEO-Konstellationen (Orbit Raising, Stationkeeping, Constellation Maintenance und Deorbiting) sowie für interplanetare Missionen genutzt werden kann.

Dies kann durch die Bündelung und Koordination der bereits in Europa national vorhandenen Expertisen erreicht werden. Aufgrund seiner bisherigen Aktivitäten wird die deutsche Industrie hierbei eine führende Rolle übernehmen können.

- **Sensorik**

Mit den unter 8.2 beschriebenen Schwerpunktsetzungen soll die gute Marktposition deutscher Unternehmen und Institute auf dem Gebiet der Active Pixel Sensorik und der Sternsensoren gefestigt und weiter entwickelt werden. Ziel ist die mittelfristige Verfügbarkeit eines preislich und technisch konkurrenzfähigen Sternsensors auf APS-Basis für kommerzielle Raumfahrtanwendungen.

### *Unterstützungsaktivitäten*

Das DLR-Satellitenbetriebszentrums soll zu einem führenden Zentrum für Raumflugbetrieb ausgebaut werden und in Abstimmung mit ESA und CNES wissenschaftliche und kommerzielle Missionsprojekte nationaler und europäischer Organisationen sowie der Industrie durchführen. Durch eine fortschreitende Modernisierung (Multimissionsbetrieb, Orbitautonomie der Satelliten) soll wachsende Kosteneffizienz erzielt werden. In einem ersten Schritt in Richtung der Vernetzung der Bodenbetriebszentren hat eine Koordinationsgruppe mit Beteiligung von ESA, CNES, DLR und der italienischen Raumfahrtagentur ASI die Arbeit aufgenommen.

Die Wettbewerbsfähigkeit des IABG-Testzentrums ist Voraussetzung für eine gute Ausgangsposition bei den Verhandlungen über ein Netzwerk der Zentren im Bereich Raumfahrtumwelttests. Die Verhandlungen über einen Verbund der Testzentren und eine gleichzeitige Industrialisierung sind zielführend fortzusetzen.

Die Verbesserung des Qualitätsmanagements für Raumfahrtprojekte wird umgesetzt durch ein Qualitätsmanagementhandbuch, ein Anforderungsdokument für Raumfahrtprojekte und daraus erstellte individuelle rechnergestützte Anforderungsprofile für Projekte. Darüber hinaus werden in einem strategischen Ansatz europäische Standards zur Durchführung von Raumfahrtvorhaben (ECSS ‚European Coordination for Space Standardization‘) mitgestaltet. Diese sollen in Zukunft bei der Durchführung aller Raumfahrtprojekte in Europa verbindlich vorgeschrieben werden. Die Struktur des europäischen Spezifikationssystems zur Qualifikation und Beschaffung von Bauteilen soll verbessert und Methoden zur Qualifizierung von kommerziellen Bauteilen untersucht werden.

## 8.4 Langfristige Zielsetzung

### *Robotik*

Die Sicherung der erreichten deutschen Position ist nur über eine konsequente Fortsetzung und Intensivierung der Entwicklung und Erprobung der notwendigen Technologie in Demonstrationsprojekten möglich.

Im Raumstationsszenario werden daher folgende Ziele angestrebt:

- Entwicklung eines mobilen Handhabungs-Roboters zur Entlastung der Astronauten von monotonen und sich wiederholenden Tätigkeiten innerhalb der Raumstation. Dieses Ziel soll in internationaler Zusammenarbeit und in Abstimmung mit NASA und ESA erreicht werden. Ausgangspunkt kann die Zusammenarbeit in bi- bzw. multilateralen Projekten mit ESA, CSA und NASDA im Bereich „Ground Control der ISS-Manipulatoren“ sein.
- Die drei Manipulator-Systeme der Raumstation, das kanadische ‚Space Station Remote Manipulator System‘ (SSRMS), der europäische Roboterarm ERA der ESA am russischen Teil der Raumstation und der japanische ‚External Robotic Arm‘ (JEM-ERA) sind für Montage-, Wartungs-, Inspektions- und Bedienaktivitäten außen an der Raumstation vorgesehen und werden z.T. bereits genutzt. Mit diesen Systemen sind jedoch nicht alle Bereiche der Raumstation erreichbar. Die Gefährdung der Astronauten und der Aufwand für Außenaktivitäten (‚Extravehicular Activity‘, EVA) werden durch diese Manipulatoren stark reduziert, die knappe Ressource „Crewzeit“ aber nur in geringem Umfang für andere Aufgaben frei gesetzt, da die Roboter von den Astronauten an Bord betrieben werden müssen. Um dieser Problematik zu begegnen wird daher in einem ersten Schritt angestrebt, die Fernsteuerung der bestehenden Systeme vom Boden in das ISS-Betriebkonzept einzuführen. Der nächste logische Schritt ist dann die Entwicklung eines mobilen, weitgehend autonomen und von der Erde aus zu überwachenden Systems für Wartungs-, Reparatur- und Handhabungstätigkeiten an Experimenten (Satellit mit Robotikfunktionen). Dieses ‚Service Vehicle‘ muss sich „frei“ in der Raumstationsumgebung bewegen können. Die Station dient als Versorgungsbasis (Treibstoff, Werkzeuge, Ersatzteile). Vorarbeiten zur Entwicklung eines solchen ‚Service Vehicle‘ gibt es in verschiedenen Ländern. Ziel des deutschen Programms ist es, eine solche Entwicklung mitzugestalten und sich an einem internationalen Projekt zur Realisierung zu beteiligen.

Der operationelle oder gar kommerzielle Einsatz von ferngesteuerten oder autonomen Robotern für das Servicing von Satelliten ist heute vorstellbar. Zuverlässige Technologien stehen zur Verfügung und werden gegenwärtig mit Blick auf ihre Raumfahrttauglichkeit erprobt. Die Satelliten der nächsten Generation müssen technisch dafür ausgelegt werden, um die Wirtschaftlichkeit von Satelliten-Servicing im Orbit zu erreichen. Dies kann bereits jetzt im Einzelfall und sogar für ganze Missions-Klassen nachgewiesen werden. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus den laufenden Projekten sowie einer Marktanalyse sollen die Entwicklungen in Richtung auf einen operationellen „Service Satelliten“ weitergeführt und die Entwicklung servicefähiger Satelliten angestoßen werden. Die Szenarien für die Wirtschaftlichkeit von Satelliten-Servicing und dem Betrieb großer Strukturen in GEO als Träger für Kommunikations-, Navigations- und wissenschaftliche Nutzlasten sollen untersucht und weitere Schritte zur Erprobung der notwendigen Technologien festgelegt und umgesetzt werden.

### *Kleinmissionen*

Durch systematische Entwicklung und Erprobung von miniaturisierten Satellitensubsystemen mit Hilfe der Mikrosystemtechnik werden langfristig hohe Kostenvorteile durch kleinere und leichtere Satelliten (bei gleichen Leistungen) angestrebt.

### *Satelliten- und Systemtechnologien*

Neben der ständigen Weiterentwicklung auf den Gebieten Energieversorgung, Sensorik und Antriebe ist eine langfristige Zielsetzung in dieser Programmlinie - in enger Abstimmung mit der Programmlinie „Kleinmissionen“ - die Entwicklung von Satelliten- und Betriebstechnologien für Satellitenmissionen. Vordringlich ist die Entwicklung von Entwurfs- und Simulationswerkzeugen, von neuen Verfahren für Test, Integration, Dokumentation und Verifikation, von neuen Betriebsverfahren und von miniaturisierten Subsystemen unter Anwendung der Mikrosystemtechnik. Hauptaugenmerk wird zukünftig auf die Erprobung der Technologien auf Kleinsatellitenmissionen gelegt werden.

### *Unterstützungsaktivitäten*

Die Bodeneinrichtungen müssen für Forschung und Industrie erhalten werden bei gleichzeitiger Entlastung des nationalen Raumfahrtbudgets. Dies soll durch eine Vernetzung der technischen Fachzentren in einem europäischen Verbund („Union der Zentren“) erreicht werden, ggf. unter Abbau von vorhandenen Überkapazitäten. Die Möglichkeiten und Perspektiven der Industrialisierung der Betriebs- und Testeinrichtungen (Einbringung in eine ‚Public-Private-Partnership‘) und die Möglichkeit der Einführung einer veränderten Preiskalkulation (gesamtkostendeckende Preise) müssen geprüft werden.

Eine zu starke Konzentration der Bodenbetriebseinrichtungen auf europäischer Ebene könnte den Wettbewerb hemmen und sich nachteilig auf Innovationen und Preise auswirken. Daher müssen im europäischen Rahmen neue Strukturen gefunden werden, die es einerseits ermöglichen, die Vorteile einer europaweiten Vernetzung in einer „Union der Zentren“ mit angemessener Industrialisierung auszunutzen, andererseits aber einen kostendämpfenden Wettbewerb nicht ausschalten.

Im Falle des IABG-Testzentrums wird die Option untersucht, dieses Zentrum über das Jahr 2005 hinaus weiter zu fördern, um ein industrieunabhängiges und neutrales Testzentrum zu erhalten. Eine Finanzierung der IABG-Anlagen ausschließlich über Kundenaufträge ist mittelfristig nicht erreichbar.

Qualitätsmanagement muss bei weitgehender Einführung und Vervollständigung der europäischen Raumfahrt-Standards weiterentwickelt werden. Das Bauteile-Spezifikationssystem ist in europaweiter Abstimmung zu pflegen und die Zertifizierung deutscher Hersteller zu intensivieren.

# Anhang

## Abkürzungen/Akronyme

A&R	Automation und Robotik
ACES	Atomic Clock Ensemble in Space
ACES	Auto-Calibrating EUV/UV Spectrometers,
AMilGeo	Amt für Militärisches Geowesen
AMS	Alpha Magnetic Spectrometer,
AODS	Attitude and Orbit Control Systems
APCF	Advanced Protein Crystallisation Facility
AR-5	Trägerrakete des Typs ARIANE-5
ARIANE	europäische Trägerrakete
ARIANESPACE	Vermarktungs- und Betriebsgesellschaft für ARIANE
ARTA	Research and Technology Accompaniment Programme
ARTEMIS	Telekommunikationssatellit der ESA
ARTES	ESA-Programm „Advanced Research in Telecommunication Systems“
ARTES	ESA-Programm „Advanced Research in Telecommunication Systems“
ASTRA	nationales Programm „Ausgewählte Systeme und Technologien für Raumtransport-Anwendungen“
ATLAS	US-amerikanischer Trägerrakete
ATV	europäischer unbemannter Transporter (zur Versorgung der ISS)
BEOS	Bremen Engineering Operations Science
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
BMVg	Bundesministerium der Verteidigung
BWB	Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
COMED	Constellations and Multimedia Programme
CORINE	CoORDination of Information of the Environment
CRV	Crew Return Vehicle, Mannschafts-Rückkehrfahrzeug (für Notfälle)
CRV	Crew Return Vehicle
CSA	Canadian Space Agency
CSG	Centre Spatial Guinee (Kourou)
DELTA	US-amerikanischer Trägerrakete
DFD	Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum im DLR
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DFS	Deutsche Flugsicherung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DSL	Digital Subscriber Line
DWD	Deutscher Wetterdienst

EAC	European Astronaut Center (der ESA, gelegen in Köln-Porz)
EDR	European Drawer Rack
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay System
EK	Europäische Kommission
ELV	Expendable Launch Vehicles
EMCS	European Modular Cultivation System
EMF	Exobiology Multiuser Facility
EML	Electro Magnetic Levitator
EOEP	Earth Observation Envelope Programme der ESA
EP	External Payload
EPM	European Physiology Module
EPS	European Polar System (früher Metop)
ESA	European Space Agency
ESSP	European Satellite Service Provider
ESTEC	Europäisches Raumfahrt-Technologiezentrum (der ESA)
ETD	Eye Tracking Device
EU	Europäische Union
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
EuroSkyWay	Multimedia Satellitensystem finanziert aus ARTES-3, Linie 3
EUSO	Extreme Universe Space Observatory
EuTEF	European Technology Exposure Facility
EXPOSE	Exobiology Research, ESA, EMIR
EZMW	Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage
FAME	Full-sky Astrometric Mapping Explorer
FIRST	Ferninfrarot- und Submillimeter Weltraumteleskop, today: Herschel
FLPP	Future Launcher Preparatory Programme (der ESA)
FMF	Floating Zone Furnace with Magnetic Field
FSL	Fluid Science Laboratory
FuE	Forschung und Entwicklung
GAIA	Global Astrometric Interferometer for Astrophysics (the ultimate galaxy mapper)
Galileo	europäisches SatNav-System
GATE	Galileo Test- und Entwicklungsumgebung
GCOS	Global Climate Observing System
GEO	Geosynchronous Earth Orbit, 35.786 km
GJU	Galileo Joint Undertaking
GLAST	Gamma-ray Large Area Space Telescope, NASA
GLONASS	russisches SatNav-System Globalny Navigatory System Sputniki
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GPS	Global Positioning System, US-amerikanisches SatNav-System
GRO	Gamma Ray Observatory (Compton)
GSM	Global System for Mobile Communications
GSOC	Kontrollzentrum des DLR in Oberpfaffenhofen

GSTB	Galileo System Test Bed
GSTP	ESA-Programm
GTO	Geostationärer Transfer-Orbit
HRF	Human Research Facility
HRSC	High Resolution Stereo Camera
HST	Hubble Space Telescope
IABG	Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft
IGA	Abkommen/Vertrag zwischen den Regierungen der ISS-Partnerländer
IGOS	Integrated Observing Strategy
IMPF	International Microgravity Plasma Facility
Inmarsat	International Mobile Satellite Organisation
Integral	International Gamma Ray Astrophysics Laboratory
IOV	In-Orbit-Verification
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IR	Infra-roter Bereich des elektromagnetischen Spektrums
IR	Infrarot Spektralbereich
ISO	Infrared Space Observatory
ISS	Internationale Raumstation
JWST	James Webb Space Telescope (früher: NGST - Next-Generation Space Telescope)
Ka-Band	10 – 30 GHz
Ka-Sat	GEO-Multimedia-Satellit (ESA-Demonstrationsprojekt)
KIK	Konvektion im Kugelspalt
Ku-Band	12 – 17 GHz
LBNP	Lower Body Negative Pressure Device
LCT	Laser Communication Terminal
LEO	Low Earth Orbit, 300 – 1.500 km
LEO	Low Earth Orbit
LGF	Low Gradient Furnace
LISA	Large / Laser Interferometer Space Antenna, mission searching for gravitational waves
LSE	Laboratory Support Equipment
MELFI	Minus Eighty Degree Friezer
MEO	Medium Earth Orbit. 10.000 – 20.000 km
MEO	Medium Earth Orbit
MER	Mars Exploration Rover
METOP	Meteorological Operational Polar Satellite of EUMETSAT
MFC	Microgravity Facilities for COLUMBUS
MORABA	Mobile Raketenbasis (des DLR)
MOU	Memorandum of Understanding
MPLS	MultiProtocol Label Switching
MSF	Material Science Facility
MSG	Meteosat 2 <sup>nd</sup> Generation
MSL	Material Science Laboratory

MUSC	Microgravity User Support Center (des DLR in Köln-Porz)
NASDA	National Space Development Agency of Japan
OBP	On Board Processing
PCDF	Protein Crystallisation Diagnostics Facility
PKE	Plasma-Kristall-Experiment
PLUTO	Planetary Underground Tool
PPP	Public Private Partnership
Premier	Programme de retour d'échantillons martiens et installation d'expériences en réseau
PROTON-M	russische Trägerrakete
PWC	PriceWaterhouseCoopers
RA	Radar Altimeter
RLV	Reusable Launch Vehicles
ROSITA	Röntgen Survey with an Imaging Telescope Array, on ISS
ROTEX	experimentelles Manipulatorsystem auf der Spacelab Mission D2 (1993)
SAF	Satellite Application Facilities
SANTANA	Smart Antenna Terminal (Vorhaben)
SAR	Synthetisches Apertur Radar
SatNav	Satellitennavigation
SDO	Solar Dynamics Observatory
SEBA	Space Exposure Biological Assembly
SIRTF	Space Infrared Telescope Facility, NASA
SMALL	Small Mission with A Lunar Lightcraft
SMART	Small Missions for Advanced Research in Technology
SOFIA	Stratosphere Observatory for Infrared Astronomy, IR / FIR -Astronomie vom Flugzeug
SOL-ACES	Solar EUV Spectrometer, Auto-Calibrating EUV/UV Spectrometers, I
SPDM	Special Purpose Dextrous Manipulator
SQF	Solidification and Quenching Furnace
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission (Feb. 2000)
STEP	Satellite Test of Equivalence Principle (NASA)
STEREO	Solar Terrestrial Relations Observatory
STF	Signal Task Force (zu Galileo)
STSP	Solar Terrestrial Science Program
S-UMTS	Satellite UMTS
TETRA	nationales deutsches Programm „Technologien für zukünftige Raumtransportsysteme“
TETRA	Technologien für zukünftige Raumtransportsysteme
TPF	Terrestrial Planet Finder
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UV	ultra-violetter Bereich des elektromagnetischen Spektrums
Vega	Kleine europäische Trägerrakete (in Entwicklung)
VIS	für das menschliche Auge sichtbarer Bereich des elektromagnetischen Spektrums
WestWeb	Multimedia Satellitensystem finanziert aus ARTES-3, Linie 3
WGL	Wilhelm-Gottfried-Leibniz (WGL - Institute)

WRC	World Radio Conference
X-38	Wiedereintrittsdemonstrator (Prototyp des CRV)
XMM Newton	X-ray Multi Mirror Mission
ZENIT-Sea-Launch	Gemeinschaftsunternehmen von US-, russischen und ukrainischen Firmen zur Vermarktung der Trägerrakete ZENIT