

## Unterrichtung

durch die Bundesregierung

### Bericht der Bundesregierung über die künftige wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Nutzung der Raumstation

#### Nutzungskonzept für die Internationale Raumstation von deutscher Seite

##### Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 Zielsetzung und Überblick</b> .....	2
<b>2 Ausgangslage und Randbedingungen</b> .....	2
2.1 Ergebnisse der ESA-Ratstagung auf Ministerebene .....	2
2.2 Konzept der Bundesregierung zur Raumfahrt .....	3
2.3 Evolutionsprozeß zur Raumstation .....	3
2.4 Nutzungsrelevante Raumstations-Daten .....	3
<b>3 Nutzungsfelder</b> .....	4
3.1 Humanphysiologie .....	4
3.2 Biologie .....	5
3.3 Materialforschung, Fluidphysik und Physikalische Chemie .....	5
3.4 Extraterrestrik .....	6
3.5 Erderkundung .....	6
3.6 Satellitenkommunikation .....	7
3.7 Technologie .....	8
3.8 Nutzung der Raumstation für industrielle Innovation .....	8
<b>4 Nutzungskonzept und Nutzungsplanungen</b> .....	9
4.1 Nutzungskonzepte der Raumstation .....	9
4.2 Deutsche Nutzungsplanungen .....	11
4.3 Nutzungsplanungen der Raumstationspartner .....	11
4.4 Internationale Koordination .....	12
<b>5 Zusammenfassung und Bewertung</b> .....	13

## 1. Zielsetzung und Überblick

Der Deutsche Bundestag hat die Bundesregierung mit Beschluß vom 20. Juni 1996 aufgefordert, einen Bericht über die künftige wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Nutzung der Raumstation von deutscher Seite zu geben (Drucksache 13/3497). Dieser Bericht wird hiermit vorgelegt.

In diesem Bericht wird über die zukünftigen Nutzungsmöglichkeiten, die grundlegenden Nutzungskonzepte, die darauf aufbauenden Nutzungsplanungen und konkreten Nutzungsvorbereitungen der Internationalen Raumstation informiert. Diese Felder haben nach den Entscheidungen des ESA-Ministerrates von Toulouse im Oktober 1995 besonderes Gewicht erlangt. Auf dieser Ministerkonferenz wurde ein einvernehmlicher Konsens über die Beteiligung Europas an der Raumstation und über die ARIANE-5-Begleitprogramme erzielt.

Das Konzept der Bundesregierung „Raumfahrt: Perspektiven für Forschung und Anwendung“ sieht die Internationale Raumstation und ihre wissenschaftliche wie auch insbesondere ihre industrielle und wirtschaftliche Nutzung als ein zentrales Aktionsfeld in der künftigen deutschen Raumfahrt. Weitere wesentliche Zielsetzungen im Konzept sind die Kontinuität bei der Wissenschaft, der Einsatz der Raumfahrt zur Lösung gesellschaftlicher Aufgaben sowie die Förderung privatwirtschaftlichen Engagements.

Konzepte zur Raumstationsnutzung sind als langfristige Vorgaben und Verfahrensweisen bereits von allen Raumstationspartnern aufgestellt worden. Auch in Europa wird nach breit abgestimmten Nutzungskonzepten gearbeitet, die der Programmentcheidung des ESA-Ministerrates entsprechen. Die potentiellen Nutzer, z.T. auch in der Industrie, haben die Möglichkeiten, die die Raumstation bietet, erkannt und aufgegriffen und entwickeln disziplinorientierte europäische bzw. nationale Nutzungsplanungen. In einem ersten Ausschreibungsverfahren der ESA sind europaweit bereits zahlreiche konkrete Experimentvorschläge für die Internationale Raumstation eingereicht worden.

Die hiermit vorgelegte Bestandsaufnahme der deutschen bzw. europäischen Nutzungsplanung und Nutzungsvorbereitung enthält nach Darstellung der Ausgangslage (Abschnitt 2) drei Kernelemente:

- eine Beschreibung der zukünftigen Nutzungsfelder und der Nutzungspotentiale der Raumstation, einschließlich einiger Beispiele erfolgreicher Nutzung (Abschnitt 3),
- Darstellungen der zugrundeliegenden Nutzungskonzepte, der Nutzungsplanungen und der internationalen Koordinierungsbestrebungen (Abschnitt 4),
- eine zusammenfassende Bewertung der Raumstationsnutzung (Abschnitt 5).

## 2. Ausgangslage und Randbedingungen

### 2.1 Ergebnisse der ESA-Ratstagung auf Ministerebene

Auf der Ratstagung 1995 in Toulouse wurde Konsens über die Beteiligung Europas an der Internationalen Raumstation erreicht. Europa wird einen sichtbaren und anerkannten Beitrag zur Internationalen Raumstation, dem weltweit größten Kooperationsprogramm, leisten, der aus folgenden Elementen besteht:

- dem COLUMBUS-Labormodul COF (Columbus Orbital Facility) (Andocken an die Station im November 2002), und
- der Bereitstellung von Logistikleistungen mit dem Transportfahrzeug ATV (Automated Transfer Vehicle) (Start mit ARIANE-5; Qualifikationsflug des ATV in 2002 und eigentliche Transport- und Reboost [Anhebung der Station durch ATV-Rake-

tentriebwerk]-Leistungen ab 2003). Primär durch diese Sachleistungen soll der europäische Beitrag zu den gemeinsamen Stations-Betriebskosten erbracht werden.

Darüber hinaus haben die Minister folgende Aktivitäten beschlossen:

- eine Studienphase für eine bemannte Kapsel,
- ein Nutzungsvorbereitungsprogramm und
- das MFC (Microgravity Facilities for Columbus)-Programm (Bereitstellung von Experimentieranlagen für das COF).

Die getroffenen Entscheidungen ermöglichen es jetzt der ESA und ihren Mitgliedstaaten, sich mit eigenen Beiträgen aktiv an den international abzustimmenden Betriebs- und Nutzungsplanungen der Raumstation zu beteiligen.

## 2.2 Konzept der Bundesregierung zur Raumfahrt

Das *Konzept der Bundesregierung „Raumfahrt: Perspektiven für Forschung und Anwendung“* nennt die Wahrnehmung der Führungsrolle innerhalb Europas bei der Internationalen Raumstation bei den Schwerpunkten der deutschen Raumfahrt an erster Stelle.

Als herausragende Ziele bzw. Maßnahmen werden explizit aufgeführt:

- Integration der Nutzungsmöglichkeiten der Raumstation in die disziplinentorientierten Programmlinien, Forschung auf der Raumstation ist dabei integraler Bestandteil von terrestrischen Forschungsprogrammen,
- Erhaltung der Kontinuität und Evolution von Wissenschaft und Betriebseinrichtungen sowie die Erweiterung von industriellem Know-How,
- Verbesserung und Erweiterung des Produktspektrums kommerzieller und industrieller Nutzergruppen durch die Ausschöpfung der Möglichkeiten der Raumstationsnutzung,
- Ermöglichung des Zugangs zur Station über die ESA, über bilaterale Kooperationen sowie über einen national verwalteten Zugang,
- Erschließung der Förderprogramme der EU, insbesondere des anstehenden 5. Forschungs-Rahmenprogramms.

Die im vorliegenden Bericht dargestellten Nutzungskonzepte, -planungen und -vorbereitungen reflektieren diese Ziele und sind damit Teil der Umsetzung des Konzepts der Bundesregierung zur Raumfahrt.

## 2.3 Evolutionsprozeß zur Raumstation

Die Nutzung des erdnahen Weltraums für Wissenschaft, Forschung und Technologie hat zwar eine über mehrere Jahrzehnte reichende Geschichte. Jedoch ist zu beachten, daß sich erst in den letzten Jahren die Forschungsmöglichkeiten verdichtet haben. So sind weit über die Hälfte aller Mikroschwerkraft-Experimente erst in den letzten fünf Jahren durchgeführt worden. Damit lassen sich auch erst in jüngster Zeit verlässliche Aussagen über Potentiale und Zukunftsperspektiven dieses Experimentierbereichs machen.

Während die ersten Fluggelegenheiten, Satelliten und Höhenforschungsraketen, monodisziplinäre Nutzlasten trugen und eine nur begrenzte Nutzungsmöglichkeit hatten, sind die großen Systeme insbesondere des letzten Jahrzehnts, *Spacelab*, *EURECA* (European Retrieval Carrier) und *MIR*, komplexe und multidisziplinär genutzte Forschungsträger. Jedes dieser drei Systeme hat charakteristische Nutzungseigenschaften, die es für spezielle Forschungsthemen prädestiniert und die es in diesen Nutzungsfeldern überaus erfolgreich machte.

*Spacelab* bietet als bemanntes und wiederverwendbares System Vorteile für die Nutzung, wie ständige Anwesenheit von Astronauten, große technische und betriebliche Ressourcen und die Rückführbarkeit von

Proben und Gerät, bei jedoch stark eingeschränkter Missionsdauer von unter 14 Tagen. *EURECA* hat als unbemannter, autonomer und wiederverwendbarer Träger den Vorteil eines Langzeitbetriebs von über sechs Monaten bei hoher Mikroschwerkraft-Qualität. Beide Systeme bieten damit begrenzte Möglichkeiten für komplexe, allerdings nur sporadisch durchführbare Forschungsprogramme. Die russische *MIR-Station* ermöglicht als bemannte Weltraumstation eine Langzeitnutzung unter aktiver Mitwirkung von Kosmonauten, bei jedoch sehr begrenzten Ressourcen und damit einschneidenden Limitierungen im Nutzungspotential. Die bisherige Nutzung dieser Systeme und die dabei erzielten, in der Fachwelt anerkannten Ergebnisse in einer Vielzahl von Wissenschafts- und Anwendungsgebieten (siehe hierzu einige Beispiele in Abschnitt 3) vermitteln einen überzeugenden Eindruck vom Forschungspotential im erdnahen Raum. Auch die *MIR '97-Mission*, die vom 10. Februar bis zum 2. März 1997 mit dem deutschen Kosmonauten Reinhold Ewald durchgeführt wurde, hat erneut die Nutzungsmöglichkeiten von bemannten Raumfahrt-Systemen demonstriert.

Die Internationale Raumstation *verbindet erstmals die spezifischen Vorzüge* von *Spacelab*, *EURECA* und *MIR* und eröffnet darüber hinaus weitere neue Nutzungsmöglichkeiten. Sie wird damit eine *bemannte, vollwertige Mehrzweck-Forschungseinrichtung in der Erdumlaufbahn*. Mit den auf der Raumstation permanent verfügbaren Labors, in denen bald in ähnlicher Weise geforscht und wissenschaftlich gearbeitet werden kann wie in irdischen Labors, wird die Nutzung im Weltraum eine neue Qualität erreichen:

- *Kontinuität* der wissenschaftlichen Forschung: Durchführung von Langzeit-Experimenten und längeren Experimentserien mit Parametervariationen,
- *regelmäßiger Zugang* zur Station: Transport von Instrumenten, Proben und Ersatzteilen,
- *ständige Präsenz des Menschen*: Interventions-, Wartungs-, Reparatur- und Rekonfigurationsmöglichkeit durch Astronauten und Robotik,
- *Verfügbarkeit wichtiger Ressourcen*: neben Laborkapazität, Energie, Daten- und Kommunikationssystemen auch Telescience (von der Erde aus ferngesteuerte Experimente), Automation und Expertensysteme,
- *Internationalisierung der Forschung*: Realisierung einer engen und langfristig stabilen internationalen Zusammenarbeit.

Diese neue Qualität für Zugang, Nutzungsmöglichkeiten und Betriebsszenario zeigt, daß bei der Internationalen Raumstation *erstmalig* die notwendigen Randbedingungen für eine erfolgversprechende industrielle Nutzung und für ein eigenes Engagement von Unternehmen der freien Wirtschaft gegeben sind.

## 2.4 Nutzungsrelevante Raumstations-Daten

Die Internationale Raumstation (International Space Station, ISS) setzt sich in der Endausbaustufe zusammen aus russischen Service- und Forschungsmodu-

len, amerikanischen Service- und Forschungsmodulen, dem japanischen Labor (Japanese Experiment Module, JEM) mit externer Plattform, dem europäischen Labor (Columbus Orbital Facility, COF), sowie dem kanadischen Manipulatorarm. Hinzu kommen eine amerikanische Gerüst-Struktur mit externen Nutzlastpaletten und verschiedene Infrastrukturelemente. Die Gesamtabmessungen der Station sind etwa 108 m × 74 m. Die Gesamtmasse ist 415 t; die elektrische Leistung für die Nutzlast beträgt 46 kW. Das gesamte Volumen der Module beträgt etwa 1 140 m<sup>3</sup> (das entspricht einem irdischen Großraumlabor von etwa 380 m<sup>2</sup> Grundfläche); es können 53 m<sup>3</sup> Laborschränke eingebaut werden (davon im COF 16 m<sup>3</sup>). Sechs Astronauten können ständig anwesend sein.

Sowohl amerikanische wie auch russische Forschungsmodule ermöglichen vor 2002 die „frühe Nutzung“. Die Lebensdauer der Station wird ausgelegt auf mindestens zehn Jahre nach dem Aufbaueinde im Jahre 2003.

Die mittlere Bahnhöhe der Station wird 450 km betragen, bei einer Bahnneigung von 51,6°. Die Erderkundung mit Hilfe der Raumstation ist damit auf Gebiete

zwischen 52,5° nördlicher und 52,5° südlicher Breite begrenzt. Für Deutschland liefert die Raumstation daher für Gebiete südlich einer Linie Osnabrück-Berlin Erdbeobachtungsdaten. Insgesamt werden 85 % der Erdoberfläche den Beobachtungen zugänglich; in diesen Gebieten leben 95 % der Erdbevölkerung.

Für eine multidisziplinäre Nutzung der Station sind Nutzlasten insbesondere aus der Erderkundung, der Extraterrestrik und der Technologie extern anzubringen. Dies erfordert für die europäischen Nutzer einen langfristig gesicherten Zugang zu externen Befestigungspunkten. Die technischen Voraussetzungen dafür sind derzeit durch NASA-Nutzlastpaletten auf der Gerüst-Struktur, externe Plattformen an russischen Modulen und am Gittermast sowie Befestigungspunkte auf der japanischen JEM-Plattform gegeben. Verhandlungen zwischen der ESA und den Raumstationspartnern über einen europäischen Zugang zu diesen externen Plattformen werden zur Zeit geführt. Für die frühe Nutzungsphase (2001 bis 2004) stehen Europa aufgrund einer Vereinbarung mit der NASA etwa 4 m<sup>2</sup> externe Akkommodationsfläche auf NASA-Nutzlastpaletten zur Verfügung.

### 3. Nutzungsfelder

Die Raumstation ermöglicht primär die Durchführung von

- multidisziplinärer Grundlagenforschung,
- angewandter Forschung und operationellen Anwendungen und
- industrieller Nutzung mit Ansätzen für eine spätere Kommerzialisierung.

Die Bereitstellung des Mehrzwecklaboratoriums Raumstation erlaubt bereits in der Weltraumforschung etablierten Wissenschaftszweigen eine intensive Nutzung. Daneben werden neue Forschungsschwerpunkte entstehen. Insgesamt wird es zu *raumstationsspezifischen „thematischen Fokussierungen“* und damit zu effizienterer und auf die Vorteile der Raumstation ausgerichteter Nutzung kommen.

Die heutigen Planungen in Deutschland und Europa gehen davon aus, daß sich die Raumstationsnutzung etwa wie folgt auf die Disziplinen verteilen wird:

Humanphysiologie	~ 20 %
Biologie	~ 15 %
Materialforschung, Fluidphysik und Physikalische Chemie	~ 20 %
Extraterrestrik	~ 10 %
Erderkundung	~ 10 %
Technologie, Telekommunikation	~ 15 %
Nutzung der Raumstation für industrielle Innovation	~ 10 %

Mit der Erschließung der besonderen Bedingungen des erdnahen Weltraums (reduzierte Schwerkraft, hochenergetische Weltraumstrahlung, Restatmosphäre) werden für die Forschung auf den Gebieten Biologie, Humanphysiologie, Materialwissenschaften, Fluidphysik und Physikalische Chemie zusätzliche, im terrestrischen Labor nicht oder nur unzureichend erhältliche Umgebungsbedingungen bereitgestellt, vergleichbar z.B. der Verwendung tiefer Temperaturen oder hoher Drücke in der Physik. Die Forschung unter Weltraumbedingungen ist daher keine eigenständige Disziplin, sondern ein zusätzliches Werkzeug für aktuelle terrestrische Forschungsgebiete. Das Nutzungsspektrum der Raumstation, einige Nutzungsbeispiele und bisher gewonnene Ergebnisse aus Forschungsvorhaben, die insbesondere unter Nutzung des Spacelab, von EURECA bzw. der MIR-Station entstanden sind, sowie die in disziplinspezifischen Prozessen erreichten thematischen Schwerpunktbildungen und Perspektiven sind nachfolgend dargestellt.

#### 3.1 Humanphysiologie

Humanphysiologische Forschung befaßt sich primär mit Untersuchungen des Einflusses von Weltraumbedingungen, speziell von Schwerelosigkeit und Weltraumstrahlung, auf die Systeme und Funktionen des menschlichen Körpers. Neben dieser für die erdgebundene Medizin bedeutungsvollen Aufgabe sorgt sie für die Sicherheit und Gesundheit der Astronauten bei ihrer Arbeit. Humanphysiologische und be-

gleitende biowissenschaftliche Forschung auf der Raumstation sind Grundvoraussetzungen für eine bemannte Erforschung und Nutzung des Weltraums überhaupt.

#### Beispiele bisheriger Forschungsergebnisse

- Bei Patienten in Schock- oder Traumazuständen oder mit Ödemen (lokalen Wasseransammlungen) ändert sich die Verteilung von Körperflüssigkeiten. Weltraumexperimente haben dazu beigetragen, neue Vorstellungen zur Regulation dieser Verteilung sowie der Ausscheidung von Wasser und Salzen zu entwickeln und damit diesen Patienten zu helfen, insbesondere auch nach Operationen.
- Die Kenntnisse über Wechselwirkungen der Sinneswahrnehmungen von Auge und Ohr einschließlich der Informationsverarbeitung im Gehirn wurden durch Experimente im All wesentlich erweitert. Diese Erkenntnisse tragen dazu bei, die Ursachen von Gleichgewichtsstörungen spezifischer zu diagnostizieren, und ermöglichen damit eine erfolgreichere Behandlung dieser Krankheiten.

#### Perspektiven

Auf der Raumstation werden wahrscheinlich vor allem Aspekte der Anpassung z. B. von Blutkreislauf und Herz, des Auge-Ohr-Systems, des Knochen- und Muskel- sowie des Hormonstoffwechsels an langandauernde Schwerelosigkeit in den Mittelpunkt des Interesses rücken. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse (z. B. zu Problemen des Immun-, des Gleichgewichts- und des Herz-Kreislauf-Systems, zu Knochenschwund, Muskelschwund und zu Alterungsprozessen) sowie dabei entwickelte neue Diagnose- und Behandlungsmethoden tragen dazu bei, weit verbreitete Krankheiten früher zu erkennen, besser zu verstehen und zu behandeln. Sie sind damit für den Menschen auf der Erde von besonderer Bedeutung.

### 3.2 Biologie

Biologische Forschung in der Erdumlaufbahn befaßt sich vor allem mit der Rolle der Schwerkraft für Wachstum, Entwicklung, Fortpflanzung, Bewegung und Orientierung von Organismen sowie mit den wissenschaftlichen Grundlagen von Lebenserhaltungssystemen auf biologischer Basis. Die Raumstation wird hier die Möglichkeit bieten, Untersuchungen über einen gesamten Fortpflanzungszyklus sowie Experimentserien mit aufgrund der Ergebnisse jeweils veränderten und angepaßten Experimentparametern durchzuführen. Auch die Erfassung von Weltraumstrahlung und die Analyse ihrer Auswirkungen auf Organismen werden intensiv betrieben. Die Kristallisation biologischer Eiweißmoleküle verläuft unter Mikroschwerkraft prinzipiell effektiver; diese Experimente tragen dazu bei, den Aufbau von Eiweißen untersuchen zu können und Aufschlüsse über deren biologische Wirkungsweise zu erlangen.

#### Beispiele bisheriger Forschungsergebnisse

- In Weltraumexperimenten wurden Wahrnehmung und Verarbeitung von Schwerkraft durch Organismen untersucht. Dies führte zu neuen Hypothesen über die Signalverarbeitung und erbrachte neue Erkenntnisse über den Mechanismus des menschlichen Immunsystems und der Knochendemineralisierung, die beim menschlichen Alterungsprozeß, insbesondere bei der Volkskrankheit Osteoporose, eine zentrale Rolle spielt.
- Die Kristallisation biologischer Makromoleküle (Proteine = Eiweiße) im Weltraum mit verbesserter Qualität ist mehrfach gelungen. Dies führte in einigen Fällen zu vollständigen Strukturaufklärungen mittels bodengebundener Röntgenstrukturanalyse. Die Kenntnis der Eiweißstruktur ist die Voraussetzung für den Entwurf und die Synthese maßgeschneiderter Medikamente.

#### Perspektiven

Vermutlich wird die Forschung auf der Raumstation generell gekennzeichnet sein durch eine verstärkte Analyse der Phänomene auf zellulärer und molekularer Ebene, wie beispielsweise die Aufklärung von Signalübertragungen sowie die Analyse von Strahlenwirkungen auf Organismen und von (auch auf der Erde einsetzbaren) Strahlenschutzmaßnahmen. Moderne Methoden wie Mikrosystemtechnik und Biosensorik werden hierbei eingesetzt.

### 3.3 Materialforschung, Fluidphysik und Physikalische Chemie

Das schwerkraftabhängige Eigengewicht von Fluiden (Flüssigkeiten, Gasen) und Feststoffen in Fluiden bewirkt Sedimentation, Auftrieb und Kompression. Bei zusätzlichen Temperaturfeldern, wie sie z. B. bei allen Gieß-, Erstarrungs- und Kristallisationstechniken und bei vielen anderen technologischen Prozessen auftreten, kommt die schwerkraftgetriebene Strömung hinzu. Diese Effekte bewirken, daß z. B. bei komplexen Vorgängen andere, schwerkraftunabhängige Effekte und ihre Einflüsse auf das System nur schwer oder überhaupt nicht untersucht werden können (Maskierung), oder sie führen zur unerwünschten Trennung/Verteilung von mehreren Komponenten oder Phasenzuständen. Ziel der Materialforschung, Fluidphysik und Physikalischen Chemie im Weltraum ist es daher, durch Ausschalten der schwerkraftabhängigen Effekte Vorgänge oder Zustände zu vereinfachen, um die Untersuchung kleiner schwerkraftunabhängiger Effekte und hochpräzise Messungen thermophysikalischer Eigenschaften zu ermöglichen.

Ergebnisse aus der Fluidphysik bilden dabei die elementaren Grundlagen für alle anderen Forschungsbereiche.

#### Beispiele bisheriger Forschungsergebnisse

- Das Zusammenwirken von Laborforschung, theoretischen Simulationsrechnungen und Mikroschwerkraftexperimenten führte zu einem neuarti-

gen industriellen Bandgußverfahren für spezielle Metallegierungen. Bei den Materialien, die nach diesem in Europa erteilten Patent hergestellt wurden, handelt es sich um neue Gleitlagerwerkstoffe, welche hervorragend zum Einsatz in Verbrennungsmotoren geeignet sind. Sie zeichnen sich durch höchste Druckfestigkeit sowie verringerte Reibung und Verschleiß aus und können damit bei Automobilen zu geringerem Treibstoffverbrauch und längerer Lebensdauer führen.

- Bei der Kristallzüchtung elektronischer Halbleiter – einer Schlüsseltechnologie der „Wissensgesellschaft“ – gelang es durch Experimente im Weltraum, den Einfluß verschiedener Wärme- und Stofftransportprozesse auf die Qualität der elektronischen Halbleiter zu identifizieren. Bereits heute werden diese Erkenntnisse zur Verbesserung und Optimierung terrestrischer Kristallzüchtungsverfahren eingesetzt. Im Weltraum gezüchtete Halbleitereinkristalle sollen künftig auf der Erde als Qualitätsstandards sowie als Substratkristalle eingesetzt werden.

### Perspektiven

Alle Prozesse in der Materialforschung und Physikalischen Chemie, an denen Flüssigkeiten und Gase beteiligt sind, bilden ein Potential für Untersuchungen im Weltraum. Innovationen werden besonders in den Bereichen Informationstechnologie, Neue Werkstoffe und Energietechnologie gesehen. Daher ist die Entwicklung neuer Werkstoffe oder die Optimierung von Herstellungsprozessen von bekannten, aber bisher nur mit Einschränkungen (Baufehler, geringes Volumen u. a.) herstellbaren High-Tech-Materialien auch zukünftig ein aktuelles Thema. Ein europaweites Verbundprojekt mit Beteiligung von Schlüsselindustrie zur Weiterentwicklung der neuen Gleitlagerwerkstoffe zu einem marktreifen Produkt ist derzeit im Entstehen. Es wird weiterhin ein Bedarf an hochpräzisen Messungen von Stoffdaten bestehen, die z. B. der Überprüfung und Entwicklung theoretischer Modelle oder der Verfeinerung von Zustandsgleichungen als Basis zur Auslegung von technischen Anlagen dienen. Mit Verbrennungsmodellen, die durch Untersuchungen auf dem Gebiet der Verbrennung gewonnen werden sollen, wird eine Reduzierung des Schadstoffausstoßes und damit der Umweltbelastung angestrebt.

### 3.4 Extraterrestrik

Die Beobachtung extraterrestrischer Objekte von einer erdnahen Umlaufbahn aus erlaubt die Bestimmung von physikalischen Größen, die aufgrund der Lufthülle von der Erde aus nicht zugänglich sind. Insbesondere Sonnenphysik, hochenergetische Astronomie, die Sammlung kosmischen Staubes und grundlagenphysikalische Experimente sind charakteristische und erfolgversprechende Forschungsfelder.

### Beispiele bisheriger Forschungsergebnisse

- ASTRO-SPAS (Shuttle Pallet Satellite) ist ein deutsches wiederverwendbares Raumfahrzeug, das

vom amerikanischen Space Shuttle in die Erdumlaufbahn gebracht, ausgesetzt und nach einer Freiflugphase von bis zu zwei Wochen vom selben Shuttle wieder eingefangen und zur Erde zurückgebracht wurde.

Drei Flüge sind bereits äußerst erfolgreich abgeschlossen worden. ORFEUS-SPAS zur Erforschung heißer Sterne trug 1993 und 1996 ein deutsches 1 m-Ultraviolett-Teleskop als Hauptnutzlast. Zusammen weit mehr als 200 Objekte konnten mit bisher unerreichter Auflösung im ultravioletten Licht untersucht werden. Es gelang der erste gesicherte wissenschaftliche Nachweis intergalaktischer Wasserstoffwolken. Zwischen den beiden ORFEUS-Missionen hatte die zweite ASTRO-SPAS-Mission (CRISTA-SPAS) 1994 die Erforschung der Erdatmosphäre zum Ziel und diente sowohl der Grundlagenforschung als auch der angewandten Klimaforschung. Das deutsche tiefgekühlte Infrarotteleskop CRISTA konnte während des achttägigen Fluges mehr als 10 Millionen Einzelmessungen von 15 wichtigen Spurengasen durchführen – unter anderem auch Ozon und einzelnen Ozonkillern – und deren Verteilung in der Erdatmosphäre bestimmen.

### Perspektiven

Die Raumstation bietet der Extraterrestrik auf externen Befestigungspunkten den entscheidenden Vorteil eines möglichen Austausches und einer regelmäßigen Wartungsmöglichkeit von Instrumenten. Zudem können Geräte mit großen Abmessungen und hohem Energiebedarf verwendet werden. Der auf diese Weise sehr flexible Einsatz der Beobachtungsgeräte erlaubt eine breitgefächerte Forschung in den Gebieten der kosmischen Strahlung, der UV-, Röntgen- und Gammastrahlen-Astronomie, der Messung von kosmischem Staub, Mikrometeoriten und Mikro-Weltraummüll, der Grundlagenphysik (hochgenaue Atomuhren; Physik der Schwerkraft) sowie der Sonnenphysik (ununterbrochene Langzeitmessungen zur Veränderlichkeit der Intensität und zur spektralen Verteilung der Strahlung, u. a. zur Bestimmung globaler klimatischer Parameter).

- Nach einem weiteren Flug in 1997 könnte ASTRO-SPAS mit geringem technischen und Kostenaufwand als ein an die Raumstation angeflanschter Träger für eine Vielzahl wissenschaftlicher Experimente weitergenutzt werden. In dieser Funktion können kleine und preiswerte Experimente, aber auch Großteleskope für sechs Monate oder länger Untersuchungen der verschiedensten wissenschaftlichen Fragestellungen durchführen. ASTRO-SPAS soll als kostengünstiger deutscher Raumstations-Nutzungsbeitrag in bilateraler Kooperation mit der NASA und weiteren Partnern eingebracht werden.

### 3.5 Erderkundung

Die Erderkundung vom Weltraum aus hat die Beobachtung, Erforschung und Überwachung der Erde einschließlich der sie umgebenden Atmosphäre und

der Ozeane sowie der auf ihr ablaufenden dynamischen Prozesse – anthropogenen oder natürlichen Ursprungs – zum Ziel.

#### Beispiele bisheriger Forschungsergebnisse

- Die optoelektronische Vielfarben-Stereokamera MOMS ist erfolgreich im Rahmen der D-2-Mission geflogen. Sie liefert hochauflösende Bilddaten mit Höheninformation von der Oberfläche der Erde und dient der Vegetations- und Flächennutzungsanalyse. Es wurde die Möglichkeit demonstriert, die aufgenommenen Daten unmittelbar in ein Geo-Informationssystem einzuspeisen und dort direkt vom Endnutzer abzurufen. MOMS ist seit August 1996 auf dem PRIRODA-Modul der MIR-Station im Einsatz und liefert seitdem qualitativ hochwertige Bilddaten.

#### Perspektiven

Die meisten operationellen Erderkundungsmissionen stellen hohe Anforderungen an die Bahnbestimmung und Ausrichtgenauigkeit der Instrumente und erfordern ferner für globale Messungen polare Umlaufbahnen. Diese Voraussetzungen sind bei der Raumstation nicht gegeben. Die Raumstation fliegt jedoch deutlich niedriger als Erderkundungssatelliten und erlaubt daher eine höhere räumliche Auflösung der Erdoberfläche. Sie bietet gegenüber Satelliten eine technisch relativ leichte Austauschbarkeit von Instrumenten – bei Missionszeiten, die mit Satellitenmissionen vergleichbar sind.

Unter diesen Aspekten bietet die Raumstation geeignete Mitflugmöglichkeiten insbesondere für solche Erderkundungsinstrumente, deren Nachweis der Weltraumtauglichkeit zunächst im Vordergrund der Missionsziele steht und daher Bahnparameter noch zweitrangig sind oder die einen eingegrenzten geographischen Einsatzschwerpunkt von den Tropen bis zu den mittleren Breiten haben (z.B.: Meteorologie der Tropen, Regenwaldmonitoring).

- Das Gerät ALADIN soll mit einem Laser-System die Windgeschwindigkeit, die Windrichtung, die Wolkenverteilung und die Aerosoldichten messen. Dieses von der ESA auf seine Integrierbarkeit auf der Raumstation untersuchte Instrument hat die Verbesserung der Wettervorhersage und globaler Untersuchungen zur Atmosphärenphysik zum Ziel und ist wegen der zahlreichen technologischen und wissenschaftlichen Herausforderungen Teil der entsprechenden Forschungsaktivitäten.
- Das Regen-Radar-Experiment wird von der ESA für eine Nutzung nach 2007 vorgeschlagen und soll dem Studium der Niederschläge in den tropischen Zonen dienen.

### 3.6 Satellitenkommunikation

Satellitenkommunikation wird für die Verbindung mit der Raumstation von zentraler Bedeutung sein. Einerseits gilt es, die permanente Kommunikation vom Boden zur Raumstation sicherzustellen, anderer-

seits sollen viele Experimentdaten mit hohen Datenraten möglichst zum Zeitpunkt ihrer Entstehung, also in Echtzeit, zur Erde übertragen werden.

Dazu werden in erster Linie amerikanische Datenrelaissatelliten eingesetzt. Die Kommunikation soll dabei in klassischer Weise über Hochfrequenz-Verbindungen abgewickelt werden. Über diese konventionellen Kommunikationsverbindungen hinaus bietet die Raumstation die Möglichkeit, neue Technologien für zukünftige Kommunikationssysteme zu erproben. Dies bezieht sich insbesondere auf die Bereiche der optischen Kommunikation der zweiten Generation und auf den Einsatz von supraleitenden Nutzlastkomponenten.

#### Beispiele bisheriger Forschungsergebnisse

- Die DARA hat im Bereich der optischen Kommunikation die Industrie bei der Entwicklung eines Übertragungsverfahrens unterstützt, das neue Wege beschreitet und mehr als die 10fache Datenübertragungsrate im Vergleich zu herkömmlichen Methoden zulässt. Für Folgesysteme im Bereich der Mobilkommunikation ist der Einsatz miniaturisierter optischer Terminals für die Inter-Satellitenkommunikation vorgesehen. Der kommerzielle Markt hierfür existiert; die Möglichkeiten und die Überprüfung dieser Technologien im Weltraum sind zuerst jedoch noch zu demonstrieren. Hier wird aufgrund der technologischen Vorarbeiten ein hohes Marktpotential für die deutsche Industrie gesehen.
- Kostentreiber bei kommerziellen Nachrichtensatelliten ist die Nutzlast, die aus unterschiedlichen Komponenten besteht. Reduktion von Masse, Leistungsaufnahme, Volumen und Rauschverhalten stoßen bei der Verwendung heute eingesetzter Technologien an physikalische Grenzen. Durch den Einsatz von supraleitenden Bauteilen können hier deutliche Verbesserungen erreicht werden. Entsprechend aufgebaute Geräte arbeiten mit niedrigem Rauschverhalten und geringem Leistungsverbrauch. Die technologische Herausforderung liegt vorrangig in der Realisierung der notwendigen Kühlaggregate für einen langjährigen Einsatz im Weltraum.

#### Perspektiven

Der Test und die Qualifizierung eines optischen Miniterminals auf der Raumstation mit allen erforderlichen Komponenten einschließlich der elektrischen Steuerung setzt eine konzertierte Aktion zwischen dem öffentlichen und privaten Bereich insbesondere zum Bau eines entsprechenden Komplements auf einem geeigneten Technologiesatelliten voraus. Die Raumstation bietet nur die eine Hälfte für die erforderlichen Möglichkeiten; die Realisierung des Komplements müßte wegen der kommerziellen Ausrichtung der optischen Kommunikation von der Industrie und den zukünftigen Betreibern von Mobilkommunikationssystemen verantwortlich in Angriff genommen werden. Die Entwicklung von Hochtemperatursupraleitern und den notwendigen Kühlaggregaten

für den Einsatz im Weltraum stellt eine Technologie-  
linie für zukünftige Kommunikationsnutzlasten dar.  
Die Rolle der Raumstation beschränkt sich hier auf  
eine Testbettfunktion und dient als Technologieträ-  
ger für die Erprobung solcher Entwicklungen unter  
repräsentativen Umweltbedingungen.

### 3.7 Technologie

Neben experimentellen Technologiesatelliten eignen  
sich bemannte Systeme im erdnahen Raum gut zur  
Erprobung und zum Test neuartiger Instrumente,  
Komponenten, Materialien und Verfahren, die am  
Boden nur unzureichend getestet werden können.  
Der Funktionsnachweis neuer Technologien durch  
eine Flugerprobung ist oftmals Voraussetzung für  
ihre Anwendung in größeren Missionen oder opera-  
tionellen Systemen und wirkt sich positiv auf die  
Marktchancen bei neu entwickelten Geräten, Kom-  
ponenten und Materialien aus.

#### Beispiel bisheriger Forschungsergebnisse

- Das ROTEX-Experiment auf D-2 ist ein Roboter-  
arm mit sechs Drehgelenken und einer Vielzahl  
eingebauter Sensoren, der sowohl programmge-  
steuert als auch im ferngelenkten Modus arbeiten  
kann. Der unter der Federführung der DLR ent-  
wickelte Arm führte komplexe Aufgaben wie  
„feinfühliges“ Greifen, unter anderem von freiflie-  
genden Gegenständen, sowie technische Mani-  
pulationen durch. Computergesteuert konnte  
ROTEX Bewegungen und Reaktionen vorausbe-  
rechnen, eine für den vom Boden aus ferngesteu-  
erten Betrieb im Weltraum unabdingbare Vorausset-  
zung. Der überaus erfolgreiche Einsatz brachte  
Deutschland in der Technologie von Robot-Greif-  
armen an die Weltspitze.

#### Perspektiven

Die Raumstation bietet für den Technologieeinsatz  
günstige Voraussetzungen insbesondere durch die  
Möglichkeit von Langzeitversuchen, die Eingriffs-  
möglichkeiten der Astronauten auf die Versuchs-  
abläufe und die Möglichkeit der Rückführung der  
Testobjekte zur Erde zwecks detaillierter Analysen  
und Auswertungen. Da vergleichbare Möglichkeiten  
bisher nur bei wenigen Missionen gegeben waren,  
werden durch die Nutzung der Station für technolo-  
gische Experimente und Flugerprobungen wesent-  
liche Fortschritte bei der Vorbereitung neuer Tech-  
nologien für den Einsatz in Raumfahrtmissionen er-  
wartet.

- Einen Schwerpunkt bilden Technologieentwick-  
lungen und Erprobungen, die in der weiteren  
Ausbauphase der Station zur Erweiterung der  
Nutzungsmöglichkeiten und zur Senkung der  
Betriebskosten der Station beitragen können. In  
Abhängigkeit von den Kooperations- und Finan-  
zierungsmöglichkeiten kommen u. a. Beiträge zur  
Verbesserung der Energieversorgung sowie Bei-  
träge zur Senkung des Transportbedarfs durch

die Entwicklung regenerativer Lebenserhaltungs-  
systeme in Betracht.

### 3.8 Nutzung der Raumstation für industrielle Innovation

Neben der Grundlagenforschung auf der Raumsta-  
tion sind anwendungsorientierte Forschung, opera-  
tionelle Anwendungen und industrielle Projekte als  
großes Nutzungspotential konkret in die Planung  
und Vorbereitung aufzunehmen. Diese Felder konn-  
ten in der bisherigen Nutzung des erdnahen Welt-  
raums aufgrund der technischen und programma-  
tischen Randbedingungen nur ansatzweise vertreten  
sein. Ihnen muß nunmehr auf der Raumstation eine  
hohe Priorität zugeordnet werden. Aufgrund der  
regelmäßigen und verlässlichen Fluggelegenheiten,  
der leichten Zugriffsmöglichkeiten und eines kalku-  
lierbaren Kosten-Nutzen-Verhältnisses wird ein sta-  
biles Engagement der Industrie erwartet.

#### Beispiele bisheriger Forschungsergebnisse

- Augeninnendruckmessung mit dem Tonometer.  
Die Entwicklung von Augeninnendruckmeßge-  
räten für D-1, MIR und D-2 ermöglichte den Bau  
eines kleinen transportablen Selbsttonometers,  
das inzwischen erfolgreich für Klinik und Heimge-  
brauch adaptiert wurde und breit vermarktet wer-  
den soll. Die Vorserien-Fertigung ist bereits ange-  
laufen.
- Erstarrungsexperimente unter Mikroschwerkraft  
führten zu Erkenntnissen, die bereits heute auf  
der Erde industriell genutzt werden, um sicher-  
heitsrelevante Gußteile (Druckgußknoten, Eckbe-  
schlag) mit stark verbesserter Qualität aus Alumi-  
niumlegierungen herzustellen. Diese Teile werden  
heute in der Karosserie des Audi A8 (Erhöhung  
der Sicherheit im Falle eines Autounfalls) bzw. im  
Airbus A 330/340 (erhebliche Senkung der Pro-  
duktionskosten) eingesetzt.

#### Perspektiven

Anwendungsorientierte Forschung und industrielle  
Nutzung sind die Vorstufe und eine Brücke zu späte-  
rer kommerzieller Nutzung. Für eine industrielle/  
kommerzielle Nutzung kommen insbesondere die  
Bereiche der Technologie (Testbett-Funktion), der  
Materialwissenschaften (z. B. Erstarrung von Halblei-  
tern und Metallen) und der Biologie (z. B. Proteinkri-  
stallisation) in Frage. Daneben stellt die klassische  
Vorentwicklung und vor-operationelle Erprobung  
von Experimenten und Geräten ein industriell/kom-  
merzielles Potential dar.

Heute anstehende Aktivitäten sind Vorbereitung,  
Studien und Ressourcenfreihaltung sowie die Ein-  
führung kommerzieller Initiativen. Erste Erfolge von  
Technologie-Transfer-Unternehmen zeigen, daß in  
diesen Bereichen ein erhebliches Zukunftspotential  
liegt. Eine verlässliche Planung kann jedoch in Be-  
reichen, die Markt und Wettbewerb unterliegen, nur  
kurzfristig und auf aktueller Grundlage erfolgen.

## 4. Nutzungskonzept und Nutzungsplanungen

### 4.1 Nutzungskonzepte der Raumstation

Die *Nutzungskonzepte* enthalten Aussagen über die möglichen Inhalte der Nutzung, über die Verfahren, wie die Station genutzt werden kann, und über die nationalen und internationalen Koordinierungsprozesse. Sie werden konkretisiert durch gesondert zu erstellende *Nutzungsplanungen* mit Instrument- und Experimentlisten. Die für die deutschen und die europäischen Nutzer erstellten Konzepte von DARA bzw. ESA entsprechen und ergänzen sich weitgehend, haben beide bereits einen Abstimmungsprozeß durchlaufen und werden fortlaufend an die aktuelle Entwicklung angepaßt.

Die *Zielsetzungen der Raumstationsnutzung* lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Intensive Durchführung hochwertiger multidisziplinärer Wissenschaft und angewandter Forschung;
- Ausschöpfen des stationsspezifischen Nutzungspotentials und der besonderen Nutzungsmöglichkeiten für alle beteiligten Disziplinen;
- Anstoß für wissenschaftlich/technische Motivations- und Innovationsschübe durch die neuen Nutzungsmöglichkeiten der Raumstation insbesondere durch industrielle und kommerzielle Nutzergruppen;
- Ausbau einer engen und langfristig stabilen auf der Ebene der Raumstationspartner internationalen Koordination und Kooperation für die Raumstationsnutzung, insbesondere zwischen den Raumfahrtagenturen von Europa (ESA), USA (NASA), Rußland (RKA), Japan (NASDA) und Kanada (CSA) (Internationalisierung der Raumstationsnutzung);
- Fortsetzung und Intensivierung der europäischen Forschungstätigkeiten mittels bemannter Raumfahrt; Sicherstellung der deutschen/europäischen technologischen Wettbewerbsfähigkeit und Kooperationsfähigkeit auf diesem Gebiet.

### Nutzungsplanung

Mögliche *Nutzungsfelder und -potentiale* der Raumstation sind in Abschnitt 3 beschrieben. Sie resultieren auf der einen Seite aus den bisherigen Aktivitäten und berücksichtigen gleichzeitig die aktuelle Forschungslandschaft. Sie verdeutlichen das inzwischen in weiten Nutzerkreisen gewachsene Interesse an der Raumstation und unterstreichen, daß eine intensive und umfassende Nutzung der Station als gesichert angesehen werden kann.

Die Nutzungsaktivitäten lassen sich zeitlich in vier Phasen gliedern:

- Ab 1995 Nutzungsvorbereitung (ESA und national),
- 1995–2000 Vorbereitungsflüge (US-Shuttle und russ. MIR-Station),
- 2000–2003 Frühe Nutzungsphase (nur im US-Lab oder russ. Lab sowie auf externen NASA-Paletten),
- nach 2003 Routine-Nutzungsphase der Raumstation (mit COF).

In der frühen Nutzungsphase sind europäischen Nutzern primär bilateral vereinbarte Nutzungen der amerikanischen und russischen Labors möglich; zur Routine-Nutzungsphase kommt als wesentliches Element der europäischen Nutzung das COF hinzu; gleichzeitig wird eine ständige Nutzung der externen Paletten auf der Gitterstruktur der Station oder an anderen externen Befestigungspunkten auf der Station angestrebt.

Die hierauf abgestellten europäischen *Nutzungsplanungen* werden derzeit in den einzelnen Disziplinen fortgeschrieben. Im Abschnitt 4.2 werden die bereits in konkreter Form vorliegenden Planungen der Disziplin Forschung unter Weltraumbedingungen, dem zukünftigen Hauptnutzer der Station, näher erläutert.

### Zugang und Vorbereitung

Die *Zugangsverfahren und Zulassungsbestimmungen* werden zur Zeit in der ESA wie auch in Deutschland erarbeitet und sollen durch geeignete Auswahlverfahren und standardisierte Bewertungsverfahren „beste“ Wissenschaft auf der Station gewährleisten. Die Verfahren müssen weiterhin einen schnellen und regelmäßigen Zugang für die Nutzer sicherstellen. Es soll primär das in der Wissenschaft übliche Verfahren eines „AO“ (Announcement of Opportunity, Aufforderung zur Einreichung von Projektvorschlägen) angewandt werden; erste entsprechende Aufforderungen der ESA (externe Nutzungsmöglichkeiten auf der Internationalen Raumstation) sowie der DARA (Nutzung biowissenschaftlicher Experimentiermöglichkeiten) sind bereits im Dezember 1996 bzw. Januar 1997 herausgegeben worden.

Ein prinzipieller Zugang der internationalen wissenschaftlichen Nutzer zu allen Stationselementen („Internationalisierung der Nutzung“) wird angestrebt; ein *nationaler Zugang* zur Station (direktes und exklusives Nutzungsrecht, nicht den Auswahlprozeduren der ESA unterworfen) soll festgeschrieben werden. Dieses Zugangsrecht soll die nationalen Interessen durch die Möglichkeit unabhängig ausgewählter und beigestellter Nutzlasten wahren. Primär über

diese nationale Nutzung ist der *Zugang für industrielle* (und später kommerzielle) *Nutzer* abzuwickeln, nach nationalen Vorgaben, Auswahlkriterien und Zulassungsregelungen. Sowohl für die ESA-Nutzung als auch für den nationalen Zugang wird ein „balanced return“ („ausgeglichener Rückfluß“) je nach Programmbeteiligung der Länder angestrebt. Die Missionskosten auch für die nationalen Nutzungsanteile sind dann über den jeweiligen Beitrag der ESA-Mitgliedsländer bereits abgegolten. Im Rahmen des bemannten Raumfahrtprogramms der ESA werden diese Verfahren derzeit festgelegt (siehe Abschnitt 4.3).

Für eine erfolgreiche und effiziente Nutzung der Raumstation ist eine kontinuierliche und umfassende Vorbereitung notwendig. Diese *Nutzungsvorbereitung* hat ein weites Feld abzudecken, von der Unter-richtung und Beratung von Wissenschaftlern über die Integration von Nutzlasten und Nutzlastbetriebs-Aktivitäten bis hin zu Nutzungsunterstützungszentren. Kernziele sind, in Wissenschaft und Betriebseinrichtungen die Kontinuität und Evolution zu sichern, eine adäquate Vorbereitung auf die Nutzung der Raumstation zu ermöglichen und zur Erhaltung von industriellem Know-how beizutragen.

Ein Hauptelement der Nutzungsvorbereitung sind die *Vorbereitungsflüge*, die den Nutzern wiederholte zeitlich befristete Fluggelegenheiten bereitstellen und der Erprobung von Nutzlastbetriebskonzepten dienen sollen. Zu diesen Flügen zählen die erfolgreich abgeschlossene ESA-Euromir-Mission 95, die Shuttle-MIR-Flüge der NASA und das deutsche kooperative MIR-97-Projekt, bei dem Anfang 1997 ein deutscher Astronaut auf der MIR-Station wissenschaftliche Experimente durchgeführt hat.

Die Nutzungsvorbereitung besteht u. a. auch aus Studien sowie der Bereitstellung von Fluggelegenheiten für deutsche Experimentieranlagen. Aktivitäten im nationalen Bodenkontrollzentrum GSOC, Oberpfaffenhofen, bei den Euromir-95- und MIR-97-Missionen dienen dem Know-how-Erhalt und der Evolution des Nutzlastbodenbetriebs hin zu Columbus-Betriebsszenarien.

Weitere wesentliche Elemente der Nutzungsvorbereitung umfassen die Themenbereiche eines ausreichenden Kommunikations- und Datenverarbeitungssystems für die europäischen Elemente, von umfassenden Einsatzmöglichkeiten von ferngesteuerten Experimenten (Telescience) und einer Intensivierung der Aktivitäten im Bereich der Automatisierung und Robotik.

Der Aufbau einer dezentralen und multidisziplinären *Nutzerunterstützung* wird in Abstimmung mit der ESA durchgeführt, basierend auf vorhandenen nationalen Unterstützungszentren (in Deutschland z.B. dem Nutzerunterstützungszentrum der DLR, MUSC, in Köln-Porz).

Die nationale multidisziplinäre Nutzung der Raumstation wird durch eine umfassende zentrale *Koordination* von Nutzungsplanung, Nutzungsvorbereitung und Nutzungsbetrieb effizient und effektiv gestaltet. Die *wissenschaftliche* Priorisierung bleibt den jewei-

ligen Disziplinen vorbehalten, die in enger Abstimmung mit ihren europäischen und internationalen Fachkollegen agieren. Die *programmatische* Priorisierung und Selektion disziplinspezifischer Vorhaben und Programme wird in Deutschland durch die DARA bzw. die DLR und ihre Beratungsgremien koordiniert und vorgenommen.

### Kosten der Nutzungsvorbereitung und Nutzung

Die Vorhabensdurchführung auf der Raumstation erfordert sowohl Bereitstellungskosten für die Station selbst (Betriebskosten) als auch Logistik-Kosten (Transportmittel). Diese Kosten werden berechnet nach dem europäischen Anteil an der Nutzung der Stationsressourcen und sollen durch europäische Sachleistungen (primär mit ARIANE-5 und ATV) erbracht werden. Die Kosten sind gemäß dem Ergebnis der ESA-Ratstagung von Toulouse mit insgesamt ca. 230 Mio. RE pro Jahr als europäischer Beitrag anzusetzen.

Neben dieser Betriebskostenbeteiligung ist ein Ansatz für die eigentliche Nutzung (Vorbereitung, Instrumente, Experimente, Bodenbegleitprogramme, Datenauswertung) erforderlich.

Der Umfang der Nutzungsmöglichkeiten für Europa in der Frühen Nutzungsphase (2000 bis 2004) wird durch Abkommen zwischen ESA und NASA definiert. Danach erhält Europa zeitlich begrenzte Nutzungsrechte im US-Labor und auf externen Nutzlastpaletten. Die Kosten der Nutzung sind national (primär bei den externen Instrumenten) bzw. durch ESA-Programme (u. a. EMIR-2) zu tragen. Derzeit laufen Ausschreibungen für die frühe Nutzungsphase; nach der Auswahl der Nutzlasten im Spätherbst 1997 werden Kostenschätzungen möglich sein.

Die notwendigen Nutzungskosten-Ansätze für die Routinenutzungs-Phase für die Zeit ab dem Jahre 2003 sind heute noch nicht genau fixierbar. Insgesamt sollten national für Nutzungsvorbereitung, Forschung unter Weltraumbedingungen, Erforschung des Weltalls, Erdkunde und Technologie jährlich insgesamt etwa 270 Mio. DM als erste Schätzung angesetzt werden (davon 130 Mio. DM für den deutschen ESA-Anteil und 140 Mio. DM für das nationale Programm). Diese Werte sind aus dem geplanten Umfang der europäischen Nutzung abgeleitete Abschätzungen und Extrapolationen disziplinspezifischer Nutzungsszenarien.

Die aus heutiger Sicht als notwendig abgeschätzten Nutzungskosten für die ESA- und nationalen Programme müssen mittelfristig durch Schwerpunktsverlagerungen und Umverteilungen bereitgestellt werden. Während in der Forschung unter Weltraumbedingungen eine derartige Umstellung bereits eingeleitet ist, kann in den Disziplinen Erforschung des Weltalls, Erdkunde und Technologie – unter Berücksichtigung der bestehenden programmatischen Verpflichtungen – nur über einen längeren Zeitraum umgesteuert werden.

## 4.2 Deutsche Nutzungsplanungen

Der zukünftige Hauptnutzer der Station wird die Disziplin Forschung unter Weltraumbedingungen mit ihren Teilgebieten Humanphysiologie, Biologie, Materialforschung, Fluidphysik und Physikalische Chemie sein. Die Planungen in diesen Bereichen sind bereits sehr konkret. Für die weitere Iteration dieser Nutzlastplanungen sowie für die Koordinierung sind zwischen den Raumstationspartnern zwei Arbeitsgruppen gebildet worden.

Deutschland plant seine Nutzung im Rahmen der ESA (s. Abschnitt 4.3) und im Nationalen Programm.

### Nationales Programm

Im Rahmen des nationalen Programms werden Geräte-Entwicklungen und -Beistellungen geplant: einerseits für zur ESA komplementäre Anlagen von besonderem nationalen Interesse und experimentenspezifische Einschübe/Module für ESA-Mehrzweckanlagen, andererseits aber auch, um einen direkten nationalen Zugang zur Raumstation zu eröffnen. Wie bereits in der Vergangenheit soll – in Deutschland wie auch in der ESA – der Weg weiterverfolgt werden, durch den Bau attraktiver Anlagen mit hohem Interesse für andere Partner die Möglichkeit des Tausches (*Bartering*) von Gerätenutzung gegen Fluggelegenheiten/Labornutzung zu erschließen. Eine gute Basis für solche Kooperationen wurde und wird noch während der *Vorbereitungsflüge* im Spacelab, Space-Hab und auf der Raumstation MIR gelegt.

Auf der Raumstation sichern Gerätebeistellungen den Erwerb von Nutzungsrechten in bilateralen Absprachen mit Raumstationspartnern oder die Zugangsberechtigung zum gesamten internationalen Gerätepool. Für diesen Pool wurde mit der NASA für die *frühe Nutzung* ab 2000, in Fortsetzung einer bereits für den letzten Spacelab-Flug bestehenden Kooperation, als erstes Element aus dem nationalen Programm die Beistellung der Unterdruckhose vereinbart, ein sowohl für Herz-Kreislauf-Untersuchungen als auch für die operationelle Raumfahrtmedizin wichtiges Gerät.

Die Möglichkeit des Barterings ist vor allem während der *frühen Nutzungsphase* von essentieller Bedeutung, solange noch kein direkter europäischer Zugang zur Raumstation besteht; aber auch später während der Routine-Nutzungsphase ist sie ein außerordentlich wichtiges Mittel zur effizienten Nutzung wertvoller Geräte und ermöglicht eine Erweiterung des wissenschaftlichen Spektrums jedes Partners.

Eine Reihe interessanter Anlagen, die bereits bedarfsorientiert im deutschen Programm entwickelt und in den Spacelab- und MIR-Versionen kooperativ eingesetzt wurden/werden, stellt ebenfalls ein Potential für Bartering auf der Raumstation dar. Für die Raumstation sind in der Regel, der längeren Betriebszeit entsprechend, Modifikationen oder Weiterentwicklungen dieser Geräte erforderlich.

Die erste auf dem gemeinsamen internationalen Gerätepool basierende Flugankündigung für die frühe Nutzungsphase für den Bereich Biowissenschaften

wurde von den in der oben genannten International Space Life Sciences Strategic Planning Working Group vertretenen Raumfahrtagenturen bereits Anfang dieses Jahres herausgegeben.

Nach Einstellung des Spacelab-Programms wird die Internationale Raumstation für den Bereich Forschung unter Weltraumbedingungen die einzige orbitale Forschungsplattform sein, die zudem permanent zur Verfügung steht. Dies bestimmt die Ausrichtung und Schwerpunktsetzung des Programms. Untersuchungen in der Internationalen Raumstation sollten im Sinne eines effizienten Mitteleinsatzes jedoch erst dann durchgeführt werden, wenn die Möglichkeiten von terrestrischen Alternativen, Simulation, Kurzzeitexperimenten (Fallturm, Parabelflüge im Flugzeug) oder suborbitalen Flügen (Forschungsraketen) sowie Rückkehrsatelliten nicht zum Erfolg führen und die gesetzten wissenschaftlich-technischen Ziele nur dort erreicht werden können. Eine verantwortungsvolle wissenschaftliche Vorbereitung und vorbereitende Kurzzeit- und Suborbitalflüge sind damit auch wesentliche Elemente einer erfolgreichen Vorbereitung der Raumstationsnutzung.

## 4.3 Nutzungsplanungen der Raumstationspartner

### ESA

Von der ESA werden für die *frühe Nutzungsphase* drei Anlagen, im wesentlichen für biologische Forschung, aus dem ESA-Basisprogramm zur Forschung unter Weltraumbedingungen, *EMIR-2* (European Microgravity Research Programme), bereitgestellt:

- Anlage zur Züchtung von Proteinkristallen,
- Anlage zur Durchführung von Multi-Generations-Experimenten mit Pflanzen, Mikroorganismen und Zellen,
- Anlage für Langzeitexperimente zur Entstehung und Entwicklung von Leben außerhalb der Erde.

Als *Erstausstattung des COF* werden von der ESA im *MFC-Programm* vier Geräteschränke ausgerüstet. Sie bilden die europäische Basis für die Forschung in den identifizierten Nutzungsfeldern (siehe Abschnitt 3):

**Humanphysiologie.** Die Experimentieranlage besteht aus einer Reihe von Physiologie-Modulen, die zum Teil bereits im Rahmen des ESA-Basisprogramms, EMIR, entwickelt und gebaut wurden und für die Raumstationsnutzung adaptiert werden sollen (u. a. Knochendichte-Meßgerät, Biomedizinisches Analysesystem, Atem-Analysator, Urinüberwachungssystem).

**Biologie.** Das *Biolab* dient zur Untersuchung der Wirkung von Schwerelosigkeit auf Mikroorganismen. Zellen, Pflanzen und kleine Tiere wie z. B. Insekten, die unter spezifischen Bedingungen kultiviert, beobachtet und fixiert werden können. Auch sofortige Analysemöglichkeiten sind vorgesehen.

**Materialforschung.** Der Laborschrank zur Materialforschung soll zwei modular aufgebaute Heizeinrichtungen enthalten: einen Hochtemperaturofen mit Ab-

schreckvorrichtung für vorwiegend metallurgische Experimente und einen Mehrzweckofen für ein größeres Spektrum von Experimenten (Kristallzüchtung, Glasherstellung, Metallurgie usw.). Es wird angestrebt, einen dieser Öfen im NASA-Labor unterzubringen, bei voller Austauschbarkeit der Module zwischen dem NASA- und ESA-Labor.

**Fluidphysik und Physikalische Chemie.** Diese Experimentieranlage zeichnet sich durch eine Reihe von modernen optischen Diagnosemöglichkeiten zur Untersuchung der Eigenschaften transparenter fluider Medien aus. Der spezifische Experimentaufbau wird jeweils in austauschbaren Testcontainern realisiert. So wird eine hohe Flexibilität zur Durchführung vielfältiger Experimente gewährleistet.

Der Betrieb dieser Geräte soll nach dem Start des COF ab 2003 aufgenommen werden, quasi zeitgleich mit dem Beginn der *Routine-Nutzungsphase* der Raumstation.

#### NASA (Raumfahrtagentur der USA)

NASA hat direkt und über die Vereinbarungen mit seinen Partnern Zugriff auf 23 Nutzlast-Einbauschränke in den Laborelementen, davon fünf im europäischen COF. Von diesem Nutzungsanteil werden von der NASA 40 % für „Technologie und kommerzielle Produktentwicklung“ reserviert; die restlichen 60 % stehen der Forschung zur Verfügung.

Für die USA beginnt die Nutzung der Station bereits ab dem Jahre 1999. NASA hat deshalb bereits für alle an der Raumstationsnutzung beteiligten Disziplinen eine hochdetaillierte und zeitlich aufgelöste Nutzlastplanung erstellt. Die für Ausrüstung, Versorgung und Austausch der Nutzlasten relevanten Logistikpläne sind ebenfalls aufgestellt.

Als Nutzer werden von der NASA neben den Universitäten und Forschungs- und Technologiezentren auch kommerzielle Unternehmen genannt, die entweder direkt oder über eines der „Zentren für die kommerzielle Entwicklung des Weltraums“ der NASA Zugang haben sollen.

Es ist anzumerken, daß die von den Einzeldisziplinen aus den eingegangenen Vorschlägen ausgewählten Nutzlasten mehr als die zur Verfügung stehenden 23 Schränke ausfüllen würden. Die der NASA zustehenden Paletten für externe Nutzlasten sind ausgebucht.

#### NASDA (Japanische Raumfahrtagentur)

Japan wird das JEM-Modul beistellen, das Anfang des Jahres 2000 starten soll. Der Entwurf des JEM wurde 1989 fertiggestellt, der Bau des Prototyp-Flugmodells wurde 1993 begonnen. 1992 wurden nach der formellen Aufforderung zur Einreichung von Projektvorschlägen 208 Experimente vorgeschlagen; davon wurden 1993 50 Experimente ausgewählt. Von den 29 materialwissenschaftlichen und 21 lebenswissenschaftlichen Projekten sind insgesamt 13 aus dem industriellen Bereich eingereicht worden.

Die Nutzerunterstützungs- und Nutzungsvorbereitungsaktivitäten sind für die ausgewählten Projekte voll angelaufen. Es werden umfangreiche vorbereitende Fluggelegenheiten bereitgestellt. 1996 wurde eine detaillierte Nutzungsplanung formalisiert; es ist die Entwurfsphase bei sieben Anlagen und den Laborunterstützungsgeräten bereits initiiert worden.

Die Auslegung und Experimentunterbringung im JEM ist weitgehend abgeschlossen, die entsprechenden Logistikmodelle sind erstellt. Die JEM-Nutzungsmöglichkeiten können damit als fixiert angesehen werden. Japan hat auf dem wissenschaftlich orientierten Nutzungssektor Kooperationsbereitschaft signalisiert; trotz des hohen Reifegrades der Planungen werden internationale Abstimmungen und Gemeinschaftsprojekte angestrebt. Sowohl ESA als auch – bilateral – Deutschland nehmen an einem Dialog teil.

#### CSA (Kanadische Raumfahrtagentur)

Kanada wird den Raumstations-Robotarm beistellen und kann dafür einen festen Anteil der Stationsressourcen nutzen. Derzeit befindet sich das Nutzungsprogramm in der Definitionsphase. Es liegen bereits mehrere Einzel-Experimentvorschläge insbesondere aus dem Bereich der Humanphysiologie vor.

#### RKA (Russische Raumfahrtagentur)

Die russischen Module unterscheiden sich in den Abmessungen von den NASA-, ESA- und NASDA-Elementen. Es sind daher im Rahmen der auch von Rußland angestrebten internationalen Koordinierung und Kooperation besonders adaptierte Nutzlasten vorzusehen.

Nutzlasten können im Inneren des Servicemoduls und der drei Forschungsmodule untergebracht werden. Externe Nutzlasten können am russischen Gittermast und außen an den Forschungsmodulen angebracht werden.

Rußland ist in allen auf der Raumstation vertretenen Disziplinen aktiv geworden und hat hierzu ausführliche Disziplinübersichten veröffentlicht. 1997 wird eine genauere interne russische Nutzlastplanung erstellt. Im Laufe des Jahres 1997 werden die Abstimmungsgespräche zur Initiierung von Kooperationen u. a. zwischen RKA und DARA auf dieser Grundlage fortgesetzt.

#### 4.4 Internationale Koordination

Der internationale Abstimmungsprozeß wird ebenso wie der nationale Prozeß auf zwei Ebenen ablaufen. Zum einen sind *disziplinorientierte Abstimmungen* und Priorisierungen durch die Agenturen zu koordinieren und in eine internationale Abstimmung einzubringen. Zum anderen ist die *disziplinübergreifende Koordinierung* der einzelnen Agenturen zunächst innereuropäisch mit der ESA, im zweiten Schritt dann mit den fünf Raumstationspartnern durchzuführen.

1996 wurde im Rahmen des bemannten Raumfahrtprogramms der ESA der *Europäische Nutzungsrat (EUB, European Utilization Board)* gegründet, in dem

der Nutzerzugang zur Station und die Auswahlprozesse definiert und das gesamte europäische Nutzlastkomplement festgelegt werden sollen. Deutschland hat sich bei Gründung und Aufgabendefinition des EUB intensiv engagiert und hat derzeit den Vorsitz inne.

Die *formelle Nutzungsplanung und -koordinierung* im Rahmen der internationalen Raumstationspartnerschaft sowie die für die Partnerschaft relevanten Aktivitäten sollen für alle europäischen Nutzer über die ESA abgewickelt werden, wobei die nationalen Beistellungen in der Eigenverantwortung der nationalen Agenturen erfolgen. NASA und ESA (sowie die anderen Raumstationspartner) stellen jährlich für fünf Jahre im voraus jeweils einen Nutzungsplan auf. Diese Pläne werden zu einem Kombinierten Nutzungsplan integriert und in einer weiteren Stufe mit einem Raumstationsbetriebsplan zum konsolidierten Betriebs- und Nutzungsplan verbunden. 1996 wurde durch NASA der erste Betriebs- und Nutzungsplan erstellt; Europa wird mit entsprechendem Vorlauf vor dem Start des COF (2002) einen eigenen Nutzungsplan einbringen.

*Disziplinorientierte Abstimmungen* der Raumstationspartner erfolgen bereits intensiv, auch unter deutscher Beteiligung, in den Bereichen der Lebenswissenschaften und der Materialwissenschaften und Physikalischen Grundlagen.

Die verschiedenen europäischen Nutzerdisziplinen sind von der ESA in einem interdisziplinären Beratungsgremium zusammengefaßt, das zusammen mit den entsprechenden Gruppen der anderen Raumstationspartner ein internationales Forum wissenschaftlicher Raumstationsnutzer bildet. Deutschland ist auch in diesem Gremium maßgeblich vertreten.

Ergänzend zu den erwähnten Abstimmungen werden auch *bilaterale Koordinierungsaktivitäten* zwischen Deutschland und den Raumstationspartnern sowie den interessierten europäischen Agenturen etabliert.

Die Raumstationspartner werden in nächster Zukunft eine internationale Abstimmung durchführen, um zum einen Duplizierungen zu vermeiden und zum anderen wissenschaftliche und technische Synergieeffekte freizusetzen.

## 5. Zusammenfassung und Bewertung

Die Idee einer Internationalen Raumstation ist primär ein globales joint-venture mit herausragender politischer Dimension und einzigartigen, erstmals auch industriellen Nutzungsmöglichkeiten. Als bislang größtes internationales Kooperationsvorhaben ist sie ein wichtiges Element der transatlantischen Partnerschaft und trägt mit der Einbindung Rußlands, das über die weltweit längsten Erfahrungen im Betrieb einer Raumstation verfügt, zur Stabilisierung der internationalen Beziehungen in einem grundlegend veränderten weltpolitischen Umfeld bei. Mit dem Labormodul COF, das unter deutscher Systemführerschaft gebaut wird, leistet Europa als gleichberechtigter Partner hierzu einen sichtbaren und anerkannten Beitrag. Zudem wird mit der Einbeziehung der ARIANE 5 in das integrierte Transportsystem zum Stationsbetrieb ein wesentliches Einsatzfeld für den europäischen Träger erschlossen.

Daneben ist die Nutzungsrelevanz und das spezifische multidisziplinäre Nutzungspotential der Station

inzwischen stark in den Vordergrund getreten. Durch die bisher gewonnenen Erfahrungen, die vorbereitenden wissenschaftlichen und technologischen Arbeiten einschließlich des Beginns des Baus der Hardware bei den Partnern der Internationalen Raumstation ist das Interesse der potentiellen Nutzer weiter gestiegen und hat eine eigene Dynamik entwickelt. Heute schon übersteigt in den USA und Japan die Zahl und der Umfang der eingereichten Nutzungsvorschläge die Ressourcen der Station; die Ausschöpfung des stationspezifischen Nutzungspotentials und die hohe Qualität von Forschung und Nutzung können als gesichert angesehen werden. Die aktive Teilnahme Deutschlands an den in Abschnitt 3 beschriebenen vielfältigen Nutzungsfeldern ist ein wichtiger Beitrag für die zukünftige Leistungsfähigkeit des Standortes Deutschland und setzt einen zentralen Inhalt der Raumfahrtkonzeption der Bundesregierung um.





