



acatech BEZIEHT POSITION – Nr. 7

> LEITLINIEN FÜR EINE DEUTSCHE RAUMFAHRTPOLITIK

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.)

Geschäftsstelle
Residenz München
Hofgartenstraße 2
80539 München

Hauptstadtbüro
Unter den Linden 14
10117 Berlin

T +49(0)89/5203090
F +49(0)89/5203099

T +49(0)30/206309610
F +49(0)30/206309611

E-Mail: info@acatech.de
Internet: www.acatech.de

Koordination: Dr. Jens Pape, Dr. Andreas König

Layout-Konzeption: acatech

Konvertierung und Satz: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS,
Sankt Augustin

Die Originalversion des Buches ist beim Springer Verlag erhältlich.

> INHALT

MITWIRKENDE AN DIESEM POSITIONSPAPIER	5
PRÄAMBEL	7
KURZFASSUNG - 10 LEITLINIEN FÜR EINE DEUTSCHE RAUMFAHRTPOLITIK	9
1 EINFÜHRUNG: MIT DER RAUMFAHRT ZU NEUEN HORIZONTEN	13
1.1 Aktionsfelder der Raumfahrt	13
1.2 Politische und gesellschaftliche Ziele der Raumfahrt	16
1.3 Ergebnisse der Raumfahrt	17
2 POLITISCHE LEITLINIEN	22
2.1 Neue Herausforderungen für die deutsche und die europäische Raumfahrt	22
2.2 Bedeutung des nationalen Raumfahrtprogramms	24
2.3 Integriertes Management der Raumfahrtaktivitäten	25
2.4 Rollenverteilung zwischen ESA und EU	26
2.5 Europäische und internationale Kooperationen	28
3 KRITISCHE ERFOLGSFAKTOREN	29
3.1 Ausbildung und universitäre Forschung	29
3.2 Finanzierung	31
3.3 Internationale Repräsentanz	34
3.4 Technologietransfer	35
4 PROGRAMMATISCHE LEITLINIEN	36
4.1 Zukünftige Schwerpunkte	36
4.2 Strategische Kernbereiche	37
ANHANG	40
LITERATURVERZEICHNIS	44

MITWIRKENDE AN DIESEM POSITIONS- PAPIER

> AUTORENGRUPPE

- Prof. Dr.-Ing. Ernst Messerschmid, Universität Stuttgart/acatech (Leitung)
- Jörg Feustel-Büechl, ehem. ESA Programmdirektor für bemannte Raumfahrt und Schwerelosigkeitsforschung
- Prof. Dr.-Ing. Stefan Levedag, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
- Dr.-Ing. Michael Menking, EADS Astrium
- Prof. Dr.-Ing. Sigmar Wittig, Karlsruher Institut für Technologie/acatech

> WERTVOLLE INFORMATIONEN UND ANREGUNGEN HABEN DIE FOLGENDEN PERSONEN BEIGETRAGEN:

- Dr. Hanna von Hoerner, von Hoerner & Sulger GmbH
- Dr. Fritz Merkle, OHB Technology AG (Orbitale Hochtechnologie Bremen)
- Prof. Dr. Gregor Morfill, Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik
- Dr.-Ing. Frank Pohlemann, EADS Astrium
- Prof. Dr. Sami Solanki, Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung

> WEITERE GEFÜHRTE GESPRÄCHE

Im Rahmen der Erstellung dieses Positionspapiers wurden Konsultationen mit Vertretern der Wirtschaftsministerien der Länder Bayern, Baden-Württemberg und Bremen sowie mit dem Vorstand des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) durchgeführt.

> REVIEW-GRUPPE

- Prof. Dr. Berndt Feuerbacher, International Astronautical Federation (IAF)
- Prof. Dr.-Ing. Philipp Hartl, Universität Stuttgart/acatech
- Prof. Dr. Kai-Uwe Schrogl, European Space Policy Institute (ESPI)
- Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath, Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation/acatech

> DIE AUTORENGRUPPE WURDE VON FOLGENDEN MITARBEITERN BETREUT:

- Dr. Jens Pape, acatech Geschäftsstelle (Projektmanagement)
- Dr. Jochen Holzkamp, Hamburg
- Mathias Schneiderei, EADS Astrium

> **UNTERSTÜTZER**

Wir danken dem Wirtschaftsministerium des Landes Baden-Württemberg, der EADS Astrium und dem acatech Förderverein für die freundliche Unterstützung bei der Erstellung bzw. beim Druck dieses Positionspapiers.

> **PROJEKTVERLAUF, SYNDIZIERUNG UND VERÖFFENTLICHUNG**

Dieses Positionspapier wurde im Zeitraum Februar bis Oktober 2010 erarbeitet. Das acatech Präsidium hat das Papier am 16. November 2010 syndiziert.

PRÄAMBEL

Wissenschaft und Forschung in der Raumfahrt sind für Deutschland von großer strategischer Bedeutung. Raumfahrt leistet für unsere Wissensgesellschaft wichtige Beiträge für eine nachhaltige wissenschaftlich-kulturelle, technologische und wirtschaftliche Entwicklung sowie für die Sicherheit. Die durch Raumfahrt bereitgestellten Infrastrukturen ermöglichen neue Wertschöpfungsketten in anderen Wirtschaftssektoren, insbesondere bei nachgelagerten Mehrwertdiensten wie der Erdbeobachtung, der Satellitenkommunikation oder der Satellitennavigation und unterstreichen die signifikante wirtschaftliche Bedeutung der Raumfahrt. Als Innovationsmotor gehen auf sie viele nachweisbare neuartige terrestrische Applikationen beispielsweise in den Materialwissenschaften, der Energieerzeugung und -speicherung oder in der Medizin zurück.

Deutschland ist eine führende Nation in der Raumfahrt und weltweit präsent. Die bisherige Innovationsführerschaft Deutschlands in vielen Bereichen von Wissenschaft und Technologie der Raumfahrt ist jedoch langfristig nicht gesichert.

Globale Veränderungsprozesse durch sogenannte Megatrends, neue Wettbewerber in der internationalen Raumfahrt, Ausweitungen neuer Dienstleistungen durch deutlich erweiterte technische Möglichkeiten sowie veränderte politische Rahmenbedingungen insbesondere auf europäischer Ebene stellen grundlegend neue Anforderungen an die deutsche Raumfahrt dar. Bereits bekannte Defizite wie der anhaltende Fachkräftemangel der Raumfahrtindustrie, die unzureichende Repräsentanz Deutschlands in europäischen und internationalen Gremien der Raumfahrt sowie das ungeachtet einer verstärkten Differenzierung der Raumfahrtanwendungen seit mehr als zwei Jahrzehnten real stagnierende öffentliche nationale Raumfahrtbudget wirken sich in dieser Situation verschärfend aus und unterstreichen einmal mehr die Notwendigkeit einer neuen kohärenten deutschen Raumfahrtstrategie. Diese muss durch einen langfristigen, sich über Jahrzehnte erstreckenden politischen Gestaltungswillen gekennzeichnet sein und den nationalen, europäischen und internationalen Aspekten der Raumfahrt gleichermaßen Rechnung tragen.

Die Bundesregierung hat sich in ihrem Koalitionsvertrag zur Förderung neuer Technologien und zum Industrieland Deutschland bekannt und die Entwicklung einer eigenständigen Raumfahrtstrategie mit klaren Missions- und Technologiezielen bis zum Ende des Jahres 2010 angekündigt. Aus Sicht von acatech sollte eine nationale Raumfahrtstrategie sowohl die Belange der Industrie als auch die von Wissenschaft und Hochschulen gleichermaßen berücksichtigen. Wesentlich sind Aussagen zu Zeit- und Finanzierungsrahmen mit langfristigem Planungshorizont sowie zur Koordination während der Implementierung mit den eingebundenen Ressorts, den beteiligten Bundesländern, der Forschung und der Industrie. Des Weiteren muss die deutsche Position mit Hinblick auf die Rollenverteilung zwischen ESA und EU und zur Problematik der unzureichenden deutschen Repräsentanz in den europäischen und inter-

nationalen Institutionen und Gremien geklärt und das Vorgehen Deutschlands zu Initiierung und Aufbau strategischer Kooperationen mit neuen EU-Ländern und aufstrebenden Welt-raumnationen benannt werden. Besondere Beachtung muss eine nationale Raumfahrtstrategie der Stärkung von Ausbildung und Forschung an Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen widmen. Schließlich sollte eine nationale Raumfahrtstrategie Festlegungen hinsichtlich der inhaltlichen Aspekte treffen und die deutschen Prioritätensetzungen klar erkennen lassen.

Das vorliegende Positionspapier beschreibt Leitlinien für eine zukünftige deutsche Raumfahrtspolitik und ist das Ergebnis der Analyse einer Autorengruppe unter Federführung und maßgeblicher Beteiligung von acatech Mitgliedern. Es soll in erster Linie der Bundesregierung bei der anstehenden Entscheidung über eine nationale Raumfahrtstrategie als Orientierungsrahmen dienen und kritische Erfolgsfaktoren zur weiteren Förderung der Raumfahrt in Deutschland und international aufzeigen. acatech reiht sich mit ihrem Positionspapier in die Expertisen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt vom März 2010 und der Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Bremen vom Oktober 2010 ein. acatech unterstreicht damit ihre Bereitschaft, sich aktiv in den weiteren Prozess der Erarbeitung einer nationalen Raumfahrtstrategie einzubringen und die Bundesregierung bei ihrem Vorhaben konstruktiv zu unterstützen.

KURZFASSUNG – 10 LEITLINIEN FÜR EINE DEUTSCHE RAUMFAHRTPOLITIK

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften formuliert die folgenden 10 Leitlinien für eine zukünftige deutsche Raumfahrtpolitik:

1. NEUE HERAUSFORDERUNGEN FÜR DIE DEUTSCHE UND EUROPÄISCHE RAUMFAHRT

Die deutsche sowie die europäische Raumfahrt stehen in zweierlei Hinsicht vor Richtungsentscheidungen: In Zeiten einer globalen Wirtschafts- und Finanzkrise mit ihren Auswirkungen auf die öffentlichen Budgets müssen für die deutsche Raumfahrt weit in die Zukunft reichende Entscheidungen zur Wahrung der Wachstums- und Wettbewerbschancen des Standorts Deutschland getroffen werden. Gleichzeitig steht die europäische Raumfahrtpolitik nach dem Inkrafttreten des Lissabon-Vertrages und den erweiterten Funktionen bei ESA und EU vor einem Wendepunkt. Nur wenn es gelingt, auf diese Herausforderungen angemessen zu reagieren, werden wir uns in einem äußerst kompetitiven Umfeld neue Möglichkeiten wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Fortschritts erschließen.

> acatech empfiehlt

Die neuen Herausforderungen und die damit veränderten Rahmenbedingungen erfordern eine Anpassung der deutschen Raumfahrtpolitik und eine kohärente deutsche Raumfahrtstrategie, die nationalen, europäischen und internationalen Aspekten gleichermaßen Rechnung trägt.

acatech appelliert nachhaltig an die Bundesregierung, ihre bestehenden Aktivitäten zur Förderung der Raumfahrt auch im Falle wirtschaftlich schwieriger Zeiten fortzusetzen und sogar auszuweiten. Ein heutiger Verzicht auf eine programmatische Erneuerung würde außer Acht lassen, dass sich die Notwendigkeit einer Anpassung der deutschen Raumfahrtpolitik in Zeiten besserer Konjunktur um so dramati-

scher stellen würde und bei Wirtschaft und Wissenschaft antizyklische Effekte entstehen lassen könnte.

2. BEDEUTUNG DES NATIONALEN RAUMFAHRT-PROGRAMMS

Die zunehmende Bedeutung der Raumfahrt für neue Anwendungen bei Erdbeobachtung, Navigation und Telekommunikation sowie offene Fragen beim Raumtransport und der robotischen und bemannten Exploration erfordern eine klare Positionsbestimmung und Prioritätensetzung in der deutschen Raumfahrtpolitik und der daraus resultierenden Programmatik. Das nationale Programm definiert dabei maßgeblich die deutsche Rolle im europäischen und internationalen Kontext und ist als Sprungbrett für europäische und internationale Beteiligungen unerlässlich.

> acatech empfiehlt

Das nationale Programm muss einerseits eigenständige Ziele verfolgen und zum anderen vorbereitende Aktivitäten für europäische und internationale Programme umfassen. Klare Prioritätensetzung bezüglich wissenschaftlicher und technologischer Ziele und der angestrebten Missionsziele einschließlich Budget- und Zeitrahmen sind notwendige Voraussetzungen für eine erfolgreiche nationale Strategie. Diese ist sowohl für Forschungseinrichtungen, Raumfahrtssystemfirmen wie auch für KMU von großer Bedeutung.

Zudem sollte das nationale Programm erheblich zur inhaltlichen Gestaltung langfristig angelegter strategischer Allianzen mit europäischen Partnern beitragen. Neben den bisherigen Partnern in der ESA sind die neuen osteuropäischen Mitgliedsländer der EU als potenzielle zukünftige ESA-Mitgliedsländer von besonderer Bedeutung, um die deutsche Vernetzung zu verbessern. Ebenso sind Kooperationen mit aufstrebenden Raumfahrtnationen einzugehen.

3. INTEGRIERTES MANAGEMENT DER RAUMFAHRTAKTIVITÄTEN

Die Ausweitung der Raumfahrtaktivitäten insbesondere im Hinblick auf anwendungsorientierte Programme hat in Deutschland zu einer Zunahme verantwortlicher Ministerien im Bund und in den Bundesländern geführt.

> acatech empfiehlt

Auf Bundesebene sowie zwischen Bund und Ländern sind Maßnahmen zur verbesserten Koordination und Abstimmung erforderlich, beispielsweise durch die Wiederbelebung des Staatssekretärausschusses unter der Leitung des Bundeskanzleramts. Dieser Ausschuss sollte auch die grundsätzlichen Belange der Forschung, Ausbildung und der Industrie in seine Arbeit einbeziehen und diese bündeln.

Die Umsetzung der deutschen Raumfahrtstrategie sollte einer einzigen Organisation mit gesamtverantwortlichem Management und technisch-wissenschaftlicher Kompetenz zur Implementierung aller nationalen, europäischen und internationalen Raumfahrtaktivitäten Deutschlands übertragen werden.

4. ROLLENVERTEILUNG ZWISCHEN ESA UND EU

Mit dem Vertrag von Lissabon wurde der EU erstmals eine explizite Kompetenz in der Raumfahrt zugesprochen. Die Rahmenbedingungen, unter denen EU-finanzierte Raumfahrtaktivitäten wie Galileo und GMES durchzuführen sind, haben sich nur als bedingt geeignet erwiesen.

> acatech empfiehlt

Die zukünftigen ESA/EU Beziehungen müssen im Sinne einer klaren Aufgabenteilung bei voller Berücksichtigung der jeweiligen Stärken der beiden Organisationen gestaltet

werden. Dabei muss ESA eine eigenständige Organisation bleiben, die für die Umsetzung aller EU- und ESA-Programme verantwortlich zeichnet.

Der europäische Weltraumrat muss als wesentliches politisches Entscheidungsgremium weiterentwickelt werden.

5. Europäische und internationale Kooperation

Raumfahrtpolitik wird in den drei Ebenen nationales, europäisches und internationales Programm durchgeführt und setzt eine regelmäßige inhaltliche Abstimmung aller beteiligten Partner voraus.

> acatech empfiehlt

Die langfristige Kontaktpflege und Kooperation mit traditionellen europäischen (Frankreich und Italien) und internationalen Partnern (USA, Russland, Japan) sollten weiterentwickelt werden; mit aufstrebenden neuen Partnern (China, Indien, Brasilien, Korea) sollten Beziehungen entwickelt und langfristig gestaltet werden - beides unter der Berücksichtigung nationaler Prioritäten.

6. AUSBILDUNG UND UNIVERSITÄRE FORSCHUNG

Universitäre und außeruniversitäre Raumfahrtforschung sind in Deutschland äußerst leistungsfähig. Große Chancen für eine noch effizientere, zielorientierte und nachhaltige Raumfahrtforschung bestehen in einer stärker interdisziplinär und enger vernetzten Weiterentwicklung der bestehenden Forschungsstrukturen und einer verbesserten Koordination der Forschungsförderung.

Das Studium der Luft- und Raumfahrttechnik hat in Deutschland große Tradition. Ein Mangel an Absolventinnen und Absolventen des Studiums der Luft- und Raumfahrttechnik führt gegenwärtig jedoch dazu, dass nicht alle

freiwerdenden Positionen in der Industrie adäquat wiederbesetzt werden können.

> **acatech empfiehlt**

Auch die universitäre Bildung und Forschung muss als wichtiges Teilelement in die nationale Raumfahrtstrategie mit einbezogen werden. Im Aufbau interdisziplinärer und eng vernetzter Ausbildungsstrukturen liegt eine der größten Chancen für eine effiziente, zielorientierte und nachhaltige Ausbildung und universitäre Raumfahrtforschung. Dazu sollten thematische Forschungsverbände, Exzellenz-Cluster oder Kompetenzzentren mit gemeinsamen Infrastruktur- und finanziellen Ressourcen (Raumfahrtagentur, Industrie, DFG, MPG, FhG und Industrie) durch die mit dem Raumfahrtmanagement betraute Organisation eingerichtet und in regelmäßigen Abständen evaluiert werden.

Die Lehre an den deutschen Hochschulen sollte stärker dem interdisziplinären und internationalen Charakter der Raumfahrt gerecht werden (Erhöhung der Mobilität der Studierenden, Ausbau der fächerübergreifenden Lehre, Einbeziehung von Vertretern der Industrie in die Lehre, curriculare Ausrichtung und Akkreditierung im europäischen Kontext).

7. FINANZIERUNG

Aufstrebende Staaten wie China, Indien oder Brasilien erweitern signifikant ihre Raumfahrtaktivitäten und setzen dabei auf neue Anwendungen bei Erdbeobachtung, Navigation und Telekommunikation, die für ihre Bürgerinnen und Bürger und ihre politischen Ziele von großem Wert sind. Demgegenüber war das Raumfahrtbudget des Bundes bis zum Jahr 2006 unter Berücksichtigung der Inflation stetig rückläufig und hat zu einer Schwächung der deutschen Raumfahrt im internationalen wie europäischen Kontext geführt. Erst seit dem Jahr 2007 ist ein leichter Anstieg der öffentlichen Mittel zu verzeichnen, das gesamte zi-

vile staatliche Budget Deutschlands für Raumfahrt betrug im Jahr 2009 1.243 Mrd. €. Im internationalen Vergleich der öffentlichen Raumfahrtbudgets, gemessen am Bruttoinlandsprodukt, belegt Deutschland hinter den USA, Frankreich und Japan lediglich Platz vier.

> **acatech empfiehlt**

Erst mit der Hightech-Initiative der Bundesregierung ist das Raumfahrtbudget seit 2007 wieder angestiegen - dies ist der richtige Weg, um international wieder den Anschluss zu finden und die deutsche Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Dieser Trend muss langfristig inhaltlich und finanziell für strategische Teilbereiche verstetigt werden (z. B. Anwendungen und Technologien), damit Deutschland in weiten Bereichen in Forschung und Entwicklung zu vergleichbaren Ländern aufschließen und hier die Raumfahrt ihr Potenzial in Wirtschaft, Wissenschaft und Dienstleistungen für die Gesellschaft voll ausschöpfen kann. Die Orientierung der deutschen Raumfahrtspolitik an einer schlüssigen, langfristigen Gesamtstrategie stellt gleichzeitig sicher, dass die angewendeten Mittel optimal eingesetzt werden können.

8. INTERNATIONALE REPRÄSENTANZ

Deutschland muss als eine der führenden Raumfahrtnationen in Europa seine Interessenlagen in Wirtschaft, Forschung und Politik in den europäischen Institutionen wie ESA und EU und anderen internationalen Einrichtungen angemessen durch qualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf allen Ebenen, besonders jedoch in den Führungsebenen, vertreten können. Dies ist gegenwärtig nicht ausreichend der Fall.

> **acatech empfiehlt**

Zur Stärkung der internationalen Repräsentanz Deutschlands müssen vermehrte Anstrengungen zur gezielten

Auswahl und Durchsetzung deutscher Kandidatinnen und Kandidaten getroffen werden. Dazu müssen neue Wege zur Förderung von Nachwuchs und eines Pools von Führungskräften für europäische Einrichtungen und Industrien begangen werden.

9. ZUKÜNFTIGE SCHWERPUNKTE

Eine nationale Raumfahrtstrategie sollte auch Festlegungen hinsichtlich der inhaltlichen Aspekte treffen und eine deutsche Prioritätensetzung klar erkennen lassen.

> acatech empfiehlt

Wegen der zunehmenden Bedeutung der Raumfahrtanwendungen müssen klare inhaltliche Zielsetzungen bei Telekommunikation, Navigation und Erdbeobachtung sowie bei den integrierten Anwendungen vorgenommen werden. Ebenso muss eine Prioritätensetzung bei den Weltraumwissenschaften getroffen werden.

acatech empfiehlt, in einem breiten Diskurs aller Beteiligten zu den als vordringlich angesehenen Grundsatzfragen der Bedeutung eines autonomen und garantierten Zugangs zum Weltraum für Deutschland und der Entwicklung neuer Trägertechnologien eine Klärung herbeizuführen: Diese Klärung sollte auch die militärische Raumfahrt einschließen, falls sie Teil einer integrierten deutschen oder europäischen „dual-use“ Raumfahrtstrategie werden sollte.

In Europa und vor allem in Deutschland herrscht Unentschiedenheit über die Zukunft der bemannten Raumfahrt. acatech unterstreicht dabei für die anstehende Klärung, dass Exploration als gesellschaftlich-kulturelle Aufgabe und europäisches Vermächtnis wichtiger Bestandteil der Raumfahrt ist.

> acatech empfiehlt

Ziele, Chancen sowie Risiken zukünftiger Explorationsprogramme der bemannten und robotischen Raumfahrt müssen auf breiter nationaler und europäischer Ebene diskutiert werden. Zu klären ist auch die Zukunft der ISS und Möglichkeiten der internationalen Zusammenarbeit in der bemannten Raumfahrt. Exploration darf weder vorschnell und exklusiv auf eine Durchführung durch robotische Systeme verkürzt noch durch reine Technologiebeiträge zu Missionen von Drittländern aufgegeben werden, zumal dadurch der Verlust langfristig aufgebauten Kompetenzen einhergeht.

10. STRATEGISCHE KERNBEREICHE

Das Beherrschen der Systemfähigkeit für Raumfahrtmissionen, die Weltraumwissenschaften, einschließlich der Forschung unter Weltraumbedingungen sowie die Vorentwicklung kritischer Technologien sind strategische Kernbereiche für eine tragende Rolle Deutschlands in der europäischen und internationalen Raumfahrt.

> acatech empfiehlt

Die kritischen Kernbereiche Systemfähigkeit, Weltraumwissenschaften und Vorentwicklung wesentlicher Technologien für Anwendungs- und Infrastrukturprogramme müssen in einer nationalen Raumfahrtstrategie klar identifiziert und langfristig angelegt sein - d. h. mindestens für einen Zeitraum von zehn Jahren, um Planungssicherheit und ertele Erfolgsaussichten für alle Beteiligten zu gewährleisten.

1 EINFÜHRUNG: MIT DER RAUMFAHRT ZU NEUEN HORIZONTEN

Raumfahrt ist getrieben von menschlicher Neugierde und einzigartigem Pioniergeist. Sie ermöglicht uns, weit in die dritte Dimension vorzudringen und neue Horizonte zu eröffnen. Als ein wesentlich gewordenes Element der Gesellschaft wird Raumfahrt mit öffentlichen Mitteln unterstützt, daher müssen Weltraummissionen sich dem Anspruch unterwerfen, dass ihre Ziele dem Wohle der Gesellschaft dienlich sind. Der Stand der Technik erlaubt inzwischen auch kommerzielle Vorhaben, die sich aus privaten Ressourcen finanzieren. Wir betreiben Raumfahrt zur

- Erweiterung unseres Wissens und unseres Lebensraums,
- Erhaltung unserer Umwelt,
- Erzielung eines technologischen Fortschritts und von Innovationen,
- Verbesserung unserer Lebensqualität und
- zum wirtschaftlichen Fortschritt der Menschheit und
- zur Förderung eines hochqualifizierten wissenschaftlichen Nachwuchses.

Raumfahrt ist zuvorderst eine technische Herausforderung. Ständig operiert sie an der Grenze des Machbaren. Alleine zur Überwindung des Gravitationsfeldes der Erde zur Erkundung des Mondes und anderer Planeten sind höchste Mengen an gerichteter Energie erforderlich, enorme Entfernungen müssen unter schwierigen und extremen Bedingungen zurückgelegt werden. Alle Raumfahrtaktivitäten sind diesen Bedingungen unterworfen, sowohl in relativ erdnahen Umlaufbahnen (Raumstationen bei rd. 400 km Höhe oder - doppelt so weit entfernt - Erdbeobachtungssatelliten) als auch Kommunikations- oder Navigationssatelliten kommerzieller Dienste in erdferneren Bahnen.

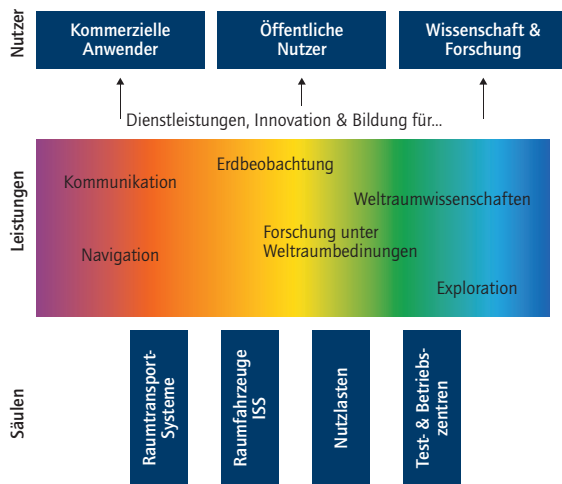
Nur wenn wir bereit sind, noch größere Anstrengungen - ob staatlich oder privatwirtschaftlich - in Forschung und Entwicklung zu investieren, werden wir in einem äußerst

kompetitiven Umfeld für uns neue Horizonte in Raum und Zeit und auch neue Möglichkeiten zur Erweiterung unseres Wissens und neuer wirtschaftlicher Möglichkeiten erschließen. Mit Robotern sind alle Ziele innerhalb unseres Sonnensystems erreichbar; der Mensch wird dorthin folgen, wo seine physischen Möglichkeiten dies zulassen und seine kognitiven Fähigkeiten unverzichtbar sind für die Erkundung neuer Welten.

Raumfahrt erfordert visionäres und langfristiges Denken. Nur so wird die Basis für neue wissenschaftliche Erkenntnisse und zur Entstehung von Innovationen in ganz unterschiedlichen Bereichen geschaffen. Mit ihren Leitlinien für eine deutsche Raumfahrtpolitik will acatech - die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften - die gute Position der Raumfahrt in Deutschland in Wissenschaft und Industrie sowohl im nationalen als auch im internationalen Kontext weiter stärken und die Bundesregierung bei ihrer Entwicklung einer zukunftsfähigen Raumfahrtstrategie unterstützen.

1.1 AKTIONSFELDER DER RAUMFAHRT

Raumfahrt besteht aus einer Vielfalt von Disziplinen und Aktivitäten. Die „Leistungen“ der Raumfahrt beschreiben die Aktivitäten im Weltraum und werden auch in der Öffentlichkeit mit dem Begriff Raumfahrt und Raumnutzung besonders assoziiert. Verschiedene „Nutzer“ greifen auf die Leistungen der Raumfahrt zurück. Um die Leistungen erbringen zu können, müssen vielfältige technologische Voraussetzungen erfüllt sein („Säulen“).

Bild 1: Aktionsfelder der Raumfahrt: Säulen, Leistungen und Nutzer¹

Die „Leistungen“ der Raumfahrt sind äußerst vielfältig. Kommerzielle Anwendungen sind vor allem mit

- der Erdbeobachtung,
- der Satellitenkommunikation und
- der Satellitennavigation

verbunden. Die überwiegend der Grundlagenforschung zuzurechnenden „Leistungen“ der Raumfahrt wie

- Forschung unter Weltraumbedingungen,
- Weltraumwissenschaften (Fernerkundung des Weltraums) sowie
- Exploration (In-situ Erkundung des Weltraums)

zeichnen sich in Deutschland durch folgende grundlegende Gemeinsamkeiten aus: Hervorragende wissenschaftliche Expertise in der Projektführung und im Nutzlastbereich, Be-

teiligung sowohl der Universitäten als auch der außeruniversitären Forschung (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Max-Planck-Gesellschaft, Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, Fraunhofer-Gesellschaft u. a. Institute), hohes Maß an internationaler Kooperation, großes Potenzial im Bereich Bildung und Nachwuchsförderung in den naturwissenschaftlich-technischen Disziplinen sowie hohe Attraktivität und öffentliche Aufmerksamkeit.

Die technischen Voraussetzungen für die erfolgreiche Durchführung der genannten Raumfahrtaktivitäten sind in den „Säulen“ der Raumfahrt strukturiert und wie folgt definiert:

> Raumtransportsysteme

Raumtransportsysteme (Trägersysteme) ermöglichen den Zugang zum Weltraum und sind eine grundlegende Voraussetzung, um die Elemente der Raumfahrt überhaupt umsetzen zu können. Sie transportieren Satelliten, Sonden und Raumfahrzeuge auf ihre Bahn im Weltraum oder auf eine Transferbahn, von der aus das Raumfahrzeug durch eigene Antriebssysteme seine Zielbahn erreicht. Europa besitzt mit der Ariane 5 und deren Weiterentwicklung mit starker Beteiligung der deutschen Industrie eine leistungsfähige Rakete und verfügt außerdem über kleinere Raketen durch Zugriff auf bilaterale Kooperationen. Die dafür benötigten Startplätze (Kourou im französischen Guyana für orbitale bzw. Kiruna in Schweden für suborbitale Flüge) und Infrastrukturen sind vorhanden. Deutschland hat besondere Expertise in der Systemauslegung, in Entwicklung und Bau von Oberstufen, in der Technologie von Triebwerkskomponenten und in Testständen. Europa verfügt über noch kein eigenes Trägersystem für bemannte Missionen.

¹ Die Weltraumaktivitäten, benötigte Raumfahrtsysteme, charakteristische Teilsysteme, Märkte, Akteure, deutsche Kompetenzen und Relevanz aus nationaler Sicht sind in dem vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im März 2010 vorgelegten Konzept für eine deutsche Raumfahrtstrategie von Experten aus Wissenschaft und Industrie detailliert und zutreffend beschrieben (DLR 2010). Auf das Konzept wird an dieser Stelle ausdrücklich verwiesen, dessen wesentliche Aussagen hier in Kapitel 1 zusammengefasst werden.

> Raumfahrzeuge

Bei Raumfahrzeugen (Satelliten, Sonden, Internationale Raumstation ISS) ist System- und Subsystemkompetenz in der deutschen Raumfahrtindustrie und Subsystem- und Komponentenkompetenz in mittelständischen und kleinen Unternehmen vorhanden.

> Nutzlasten und Instrumente

Die wissenschaftliche und kommerzielle Nutzung, die dafür vorgesehene Nutzlast und ihr Zielorbit bestimmen den Entwurf eines Raumfahrtsystems und letztlich die Qualität der gesamten Mission. Hierzu ist in deutschen Forschungseinrichtungen und bei der deutschen Industrie eine hohe Kompetenz vorhanden. Das Feld der Anwendungen und Technologien ist breit, die Nachfrage deutscher Beiträge zu internationalen Projekten groß.

> Test- und Betriebseinrichtungen

Die Verfügbarkeit von Test- und Versuchseinrichtungen ist Grundvoraussetzung für die Entwicklung von Raumfahrttechnologien bis zur Einsatzreife. Betriebseinrichtungen sind Voraussetzung für die Durchführung von Raumfahrtmissionen in Eigenverantwortung. In Deutschland bestehen hierzu vielfältige Einrichtungen.

Die Kompetenz in den einzelnen „Säulen“ kann in Deutschland, in Europa oder international vorgehalten werden. Die deutsche Raumfahrtstrategie muss festlegen, welche deutschen Kompetenzen erforderlich sind, um die übergeordneten politischen Ziele zu erreichen.

Die „Leistungen“ der Raumfahrt richten sich an unterschiedliche „Nutzergruppen“ (kommerzielle Anwender, öffentliche Nutzer, Wissenschaft und Forschung) mit ihren jeweils unterschiedlichen Interessen.

Jedem der drei Felder der Raumfahrt (Säulen, Leistungen, Nutzer) gebührt eine eigenständige Betrachtung, die Entwicklung von Teilstrategien und gegebenenfalls eine gesonderte programmatische Umsetzung. In Summe müssen in diesen Feldern die Teilstrategien so formuliert werden, dass sie sich optimal zu einer nationalen Raumfahrtstrategie zusammenfügen.

Auch wenn das vom DLR vorgelegte Konzept für eine deutsche Raumfahrtstrategie keine strategischen Ziele in den definierten Feldern einfordert, sondern diese lediglich zur Diskussion stellt, so unterstreicht das Konzept doch die Vielfalt und teilweise Spitzenstellung der Raumfahrtkompetenz, die sich Deutschland bereits erarbeitet hat. Einerseits gilt es, diese Kompetenz bewusst zu erhalten. Andererseits gilt es, vorhandene Kompetenz gezielt einzusetzen, um die übergeordneten strategischen Ziele Deutschlands zu erreichen.

Die Aufgabenstellungen der Raumfahrt sind sehr komplex, so dass die Implementierung der Strategie langfristig angelegte Forschungs-, Entwicklungs- und Nutzungsprogramme erfordert, welche sich in drei Ebenen darstellen lassen:

- ein nationales Programm zur Verwirklichung eigener Ziele sowie zum Aufbau nationaler fachlicher Kompetenz und Infrastruktur, um diese etwa im Rahmen von Vorlafforschung erfolgreich - dort, wo als notwendig erachtet - auf die nächsten Ebenen übertragen zu können,
- ein europäisches Programm im Rahmen der European Space Agency (ESA) oder der Europäischen Gemeinschaft (EU) mit typisch europäischen Zielsetzungen, bei denen die Ressourcen aller Mitgliedsländer benötigt werden oder
- ein internationales Programm, welches z. B. auf den Gebieten wie Umweltforschung oder Exploration globalen Zielsetzungen dient und Ressourcen weltweit bündelt.

1.2 POLITISCHE UND GESELLSCHAFTLICHE ZIELE DER RAUMFAHRT

Eine innovative deutsche Raumfahrtspolitik orientiert sich an den Bedürfnissen der Bürgerinnen und Bürger, der Politik und der Wissenschaft. Diese soll vor allem auch der heutigen und den nachfolgenden Generationen eine Perspektive für eine sichere, lebenswerte Welt bieten, die auf nachhaltigem Wachstum und Fairness bei der Verteilung der natürlichen Ressourcen basiert - auch und gerade wegen sich stark verändernder Rahmenbedingungen. Die gesellschaftliche Entwicklung in den nächsten zwei Jahrzehnten wird geprägt sein durch eine Reihe globaler Veränderungen (Megatrends), deren Auswirkungen auf Deutschland teilweise bereits heute zu beobachten sind. Die Globalisierung, die Ausweitung der Dienstleistungswirtschaft und die fortschreitende Digitalisierung von Arbeitsprozessen sind schon heute Treiber von Wohlstand und Wachstum, sie begünstigen im gleichen Maße auch Wettbewerber. Mit dem demografischen Wandel und dem verstärkten globalen Wettbewerb um Ressourcen und Talente muss sich das Land aber auch in verstärktem Maße internationaler Konkurrenz stellen. Die gestiegene ökologische Sensibilität in der Gesellschaft schließlich verlangt nach neuen Antworten auf die Frage, wie Nachhaltigkeit und ökonomischer Erfolg dauerhaft miteinander in Einklang gebracht werden können. Diese Trends sind Herausforderungen, die als Chancen wahrgenommen und gestaltet werden müssen. Die Raumfahrt leistet dabei folgende wichtige Beiträge:

> Deutsche bzw. europäische Souveränität vor dem Hintergrund der Globalisierung

- national: schneller, unbeschränkter Zugang zu detaillierten Erdbeobachtungsdaten für jeden Ort der Erde, Autonomie bei der Erstellung national strategisch wichtiger Satellitensysteme einschließlich Nutzlast
- national/europäisch: Die zunehmende Bedeutung von raumfahrtbasierten Diensten erfordert die Kenntnis

von Vorgängen im Orbit und einen wirksamen Schutz der Weltraumsysteme im Orbit

- europäisch: Zugang zum Weltraum, Erstellung aller in Europa strategisch wichtigen Raumfahrzeuge und Nutzlasten, Koordination europäischer Beiträge für globale Explorations-Programme, gezielte Beiträge zur europäischen Integration
- international: Missionen zur Förderung einer weltweiten Kultur der Kooperation in Wissenschaft, Exploration und Anwendung

> Sicherheit der Bürger/Beiträge zur Friedenssicherung weltweit

- Lagebeurteilung internationaler Konflikt- und Krisenherde
- Lagebeurteilung bei Naturkatastrophen
- zuverlässige Kommunikation und Navigation im Konflikt- und Krisenfall und bei Naturkatastrophen

> Schutz der Umwelt

- Beurteilung globaler und regionaler Veränderungsprozesse in Klima und Umwelt, Beiträge zur Vorhersage von Naturkatastrophen
- Beurteilung der Einhaltung internationaler Vereinbarungen
- rasche Hilfe bei Umweltkatastrophen, Entwicklungshilfe für nachhaltiges Ressourcen-Management, Identifikation von Umweltsündern

> Forschung und Exploration als kulturelle Aufgabe und europäisches Vermächtnis, Raumfahrt als kulturelles Element einer Hochtechnologienation

- Erforschung des Weltraumes, Exploration
- grundlegende Experimente in den physikalischen und technisch geprägten Wissenschaften
- Grundlagenforschung in Naturwissenschaften und Medizin

> Raumfahrt als Träger der wirtschaftlichen Entwicklung Deutschlands

- Dienstleistungen in der Satellitenkommunikation für Fernsehen, Telefon, Internet etc.
- Dienstleistungen im Bereich von Navigation, Erdbeobachtung, Wettervorhersage, auch kombiniert mit Kommunikationsdiensten

> Erhaltung der Lebensqualität

- Sicherstellung von ziviler Sicherheit, Bildung, freier Informationsaustausch, Kommunikation, Mobilität, Logistik

> Raumfahrt als Faktor für die Entwicklung hin zu einer dynamischen, wissensbasierten und wettbewerbs-orientierten Gesellschaft

- internationale Konkurrenzfähigkeit/Kooperationsfähigkeit
- Erhöhung der Anzahl von Ingenieuren und Naturwissenschaftlern durch Raumfahrt als Motivation

> Ausbau des Hochtechnologie-Standortes Deutschland

- Weiterentwicklung neuer Produkte und Verfahren in Materialwissenschaften, Physik, Biologie und Medizin auf der Basis von Forschungsergebnissen aus der Raumfahrt
- Dienstleistungen zur Erhöhung der Lebensqualität älterer Menschen, wie digitale Präsenz, Netzbildung, Telemedizin

Bei der Umsetzung von Raumfahrtprojekten zu diesen Zielen ist es wichtig, durch eine offene und attraktive Vermittlung in Medien und Öffentlichkeit die Faszination der Raumfahrt stets aufs Neue zu wecken, die bereits bestehende Abhängigkeit der Gesellschaft von Raumfahrtnutzung

zu verdeutlichen und somit die gesellschaftliche Aufgeschlossenheit und Akzeptanz gegenüber der Raumfahrt weiter zu stärken.

1.3 ERGEBNISSE DER RAUMFAHRT

Raketenstarts erfolgen heute ganz überwiegend für kommerzielle Kommunikationssatelliten, die Fernsehempfang zu Hause oder schnelle Internetverbindungen ermöglichen. In der Erdbeobachtung sind ebenfalls Firmen am Markt aktiv, die hoch auflösende Kameras in die Umlaufbahn bringen und Bilder anbieten, die Details bis zur Größenauflösung von einem halben Meter oder weniger zeigen. Derzeit sind über 800 Satelliten für zivile und militärische Dienste im Einsatz. In Bereichen wie Wettervorhersage, Umweltschutz und Schadensbemessung bei Umweltkatastrophen zeichnet sich bereits ein Übergang von heute noch staatlich finanzierten zu kommerziellen Dienstleistungen ab. Alle diese Dienstleistungen stellen eine Grundlage für weitere wirtschaftliche Tätigkeiten dar (z. B. Endgeräte-Hersteller, Mehrwert-Dienstleistungen). Alle weiteren im vorigen Kapitel aufgeführten politischen und gesellschaftlichen Zielsetzungen sind vorrangig von staatlichen Leistungen abhängig. Diese müssen von einer national geprägten und auf europäischer Ebene zu vermittelnden Raumfahrtstrategie so entwickelt werden, dass ein langfristiger, sich über Jahrzehnte erstreckender politischer Gestaltungswille erkennbar ist. Bisherige und zukünftig erwartbare Ergebnisse von Aktivitäten und Transferleistungen der Raumfahrt sind:

> Satellitentelekommunikation

Kommerzielle europäische Dienstleister wie z. B. Astra, Inmarsat und andere setzen große Satelliten für Fernsehen, Telefonie und Internet ein und bieten auf einem etablierten, aber immer noch stark wachsenden globalen Markt ihre Leistungen an. Europäische Satellitenhersteller produzieren diese bis zu sechs Tonnen schweren Satelliten, wel-

che Satellitendaten von Ereignissen in Politik, Sport und im Krisenfall rasch verteilen. Die Raumfahrtindustrie weist derzeit einen stetigen Zuwachs im zweistelligen Prozentbereich sowohl am kommerziellen wie auch institutionellen Markt auf. Stagnierte der Umsatz in den Kategorien Satelliten/Nutzlasten und Raketen/Transport in den vergangenen Jahren eher, so stieg das Geschäftsvolumen bei Betriebs- und Bodensegmenten und darauf basierten Dienstleistungen stark an, wobei in den ersten beiden Kategorien mit je etwa gleichen Anteilen an öffentlicher und privater Finanzierung deutlich weniger Erlöse erzielt wurden als im Dienstleistungsgeschäft, das von privaten Investoren bestimmt wird.

> Satellitennavigation und -ortung

Satellitenbasierte Navigations- und Ortungssysteme sind heute fester Bestandteil des Alltags. Zukünftige GNSS (Global Navigation Satellite System) wie Galileo werden für kommerzielle Anwendungen wie den automatisierten Straßen- und Schienenverkehr zusätzliche Dienste mit hohen Anforderungen in punkto Genauigkeit, Integrität, Kontinuität, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit anbieten. Intelligente Verkehrsleit- und Mautsysteme, letztere bereits für Autobahnen demonstriert, werden zur Schonung von Umwelt, Ressourcen und zur Sicherheit eingesetzt werden. Fahrzeuge werden den Fahrbahn- und Verkehrsverhältnissen angepasst und durch Assistenzsysteme geleitet werden. Die Verbindung mit terrestrischen und satellitengestützten Informations- und Kommunikationssystemen wird weltweit das gegenwärtige Wachstum dieses Segmentes weiter verstärken. Sie belegt auch, wie fließend die Übergänge zwischen raumfahrtgestützter Infrastruktur und terrestrischer wirtschaftlicher Anwendung sein können.

> Erdbeobachtung

Wissenschaft und Forschung nutzen den „Standortvorteil Weltraum“ für die Sicht auf die Erde und zur von der At-

mosphäre ungestörten Beobachtung des Weltraums (Weltraumwissenschaften). Die Erdbeobachtung umfasst die Abbildung der Erdoberfläche und der Atmosphäre in verschiedenen Spektralbereichen zur Bestimmung physikalischer Eigenschaften und chemischer Zusammenhänge von Erde, Meeren und Atmosphäre. Die Vorhersage des Wettergeschehens, von Umweltbedingungen und Trends durch Messung relevanter Parameter wie Schadstoffkonzentrationen, Anstieg der mittleren Temperaturen und von Meereshöhen sowie das Erkennen des anthropogenen Einflusses zeigt bereits Wirkung auf politische und gesellschaftliche Entscheidungen und Präferenzen. Kommerzielle Möglichkeiten wie Google Earth und zukünftige Systeme mit dedizierten Leistungen durch Fusion der Daten von Galileo und von multispektralen Beobachtungssatelliten werden neue Anwendungen ergeben.

> Beobachtende Weltraumwissenschaften

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erforschen unser Sonnensystem und seine Planeten, unsere Galaxie – die Milchstraße mit ihren 100 Milliarden Sternen und die 100 Milliarden anderen Galaxien. Die Beantwortung noch ungeklärter Zusammenhänge zwischen Big Bang und kosmologischer Entwicklung, der Bildung kompakter Sterne mit extremen Dichten und kosmischer, hochenergetischer Strahlung, der Entwicklung von Galaxien und die Rolle der Dunklen Materie sowie der Dunklen Energie stehen im Vordergrund. Fragen zur Entstehung von Sternen, zu den Auswirkungen von Sternexplosionen und gar Galaxien-Kollisionen sind weitere Aspekte. Ein besseres Verständnis der Eigengravitation und Kühlung interstellarer Gase, von Kernfusionsreaktionen und ihrer Bedingungen bzw. Wirkungen sowie der Dynamik und Energieflüsse im Innern von Sternen und Planeten kann zu einer Lösung führen.

Wir wissen heute um mehrere Größenordnungen mehr als zu Beginn des Raumfahrtzeitalters, doch neue Fragestellungen für Astro- und Elementarteilchenphysik tun sich auf.

> Forschung unter Weltraumbedingungen

Schwerelosigkeit, Vakuum und Weltraumstrahlung charakterisieren Eigenschaften, welche für die Forschung im Weltraum, etwa an Bord der Internationalen Weltraumstation ISS, genutzt werden. Der Weltraum als Labor ermöglicht ein besseres Verständnis der Entstehung und Entwicklung von Leben, Erforschung grundlegender Naturgesetze in der Physik, gezieltes Materialdesign für innovative Herstellungsverfahren auf der Erde und die Entwicklung innovativer Präventions-, Diagnose- und Rehabilitationsmethoden in der Medizin. Die „klassischen“ Bereiche Material- und Fluidphysik, die auf eine sehr erfolgreiche Forschungsgeschichte zurückblicken, sind überraschend durch eine Reihe neuer Gebiete erweitert worden. Diese befassen sich mit Themen, die sich vom Allerkleinsten (Quantenphysik) bis zum Allergrößten (Relativitätstheorie) erstrecken und könnten wegen ihrer grundlegenden Tragweite unser Weltbild signifikant verändern. Bahnbrechende Mikrogravitations-Experimente haben seitdem neue Erkenntnisse geliefert und bestehendes Fachbuchwissen revidiert. Die Anwendung der Erkenntnisse auf terrestrische Prozesse und Produkte spielt hierbei eine zentrale Rolle.

Neben der Analyse einzelner Gene oder Proteine geht es in der Biologie um das Verständnis des gesamten lebenden Systems (systembiologischer Ansatz). Auch in der Medizin und in der humanphysiologischen Forschung allgemein sind die letzten Jahrzehnte gekennzeichnet durch eine starke Spezialisierung auf kleinste Fachbereiche und Fachfragen. In der Raumfahrt zwingen jedoch die Verfügbarkeit weniger Versuchspersonen und -objekte und die Beurteilung und Behandlung aus der Ferne, sich auf den gesamten Menschen als integratives System zu konzentrieren. Die Raumfahrtmedizin nimmt eine Vorreiterstellung ein und fördert ein Umdenken vor allem für Bereiche wie Evolution, Altersforschung, psychophysiologische Anpassung und Telemedizin, d. h. Ferndiagnose und -therapie.

> Exploration

Die Exploration des Weltraums umfasst alle Aktivitäten zur Vorbereitung und Durchführung von zunächst robotischen und später bemannten Missionen, um Himmelskörper in unserem Sonnensystem in situ zu erkunden und zu erschließen. Ziel ist es, den menschlichen Wirkungskreis über die Grenzen der Erde hinaus auszuweiten. Hierzu ist die Entwicklung neuer Technologien und Infrastrukturen notwendig. Aufgrund der physikalischen Gegebenheiten ist die bemannte Exploration auf absehbare Zeit auf wenige Ziele in unserem Sonnensystem beschränkt, den Mond und Positionen in der Nähe des Erde-Mond-Systems, erdnahe und potenziell gefährliche Asteroiden, Kometen und den Mars.

Die Erkundung des Weltraums weckt eine große Faszination in der Öffentlichkeit und insbesondere der Jugend, weil sie in besonderem Maße kulturelle, wissenschaftliche und politische Zielsetzungen miteinander vereint und den menschlichen Geist beflügelt. Dies gilt im besonderen Maß für bemannte Missionen.

Die Internationale Raumstation ISS als der Erde naher Weltraumstützpunkt ist aus europäischer Sicht zunächst als Plattform für die Forschung unter Weltraumbedingungen vorgesehen worden. Deutschland hat die bemannte Raumfahrt national und unter dem Dach der ESA aus einem historischen Vermächtnis heraus implizit begründet (Hermann Oberth, Wernher von Braun, Eugen Sänger) und explizit mit utilitaristischen d. h. forschungsspezifischen Argumenten verantwortet. Trotz des relativ kleinen ESA-Anteils von 8% (davon Deutschland ca. 40%) für Aufbau, Betrieb und Nutzung der ISS sind daraus hinsichtlich der Ergebnisse weit sichtbare Erfolge in Wissenschaft und Entwicklung von Infrastrukturen (Europäisches Astronautenzentrum, Entwicklung des Columbus-Labors und -Kontrollzentrums und deren Betrieb), weltweit führende industrielle Kompetenzen bei Entwicklung und Bau von Mehrzweck-Laboranlagen und mit zehn weltraumerfahrenen Astronauten Kompeten-

zen entstanden, die im Moment für die Zeit nach Beendigung der ISS zur Disposition gestellt werden. Exploration ist ein globales und generationenübergreifendes Unterfangen, dessen nächste Etappen noch zu definieren sind.

> Innovationen und Technologietransfer

Ein innovativer Bereich wie die Raumfahrt schafft für die Umsetzung seiner Missionen Technologien, die anschließend auch in anderen Bereichen Anwendung finden können. Dieser Transfer ist weder planbar noch Hauptmotivation für die einzelnen Missionen, liefert aber einen wichtigen Beitrag zur gesellschaftlichen langfristigen Nutzung von Raumfahrttechnologie.

Für den Technologietransfer aus der Raumfahrt in terrestrische Applikationen, bei denen Deutschland Spitzenleistungen vorweisen kann, seien einige wenige Beispiele genannt:

Kristallzüchtung: Bei der Herstellung großer Einkristalle erfolgte ein großer Schritt von Empirie zu Systematik. Kristallzucht-Methoden und -Wissen wurden übernommen und bilden die neue Basis für Kristallzuchtanlagen in der Industrie. Der Zusammenhang von Entstehung, Dichte und Typ von Kristalldefekten sowie Stoff- und Wärmetransport wurde verstanden. Magnetfelder und hochviskose Schmelzabdeckungen sind heute Stand der Kristallzucht.

Materialwissenschaften: Das Verständnis der physikalischen und chemischen Prozesse von der atomaren Skala im Nanometer-Bereich bis zu den Dimensionen des Werkstücks und über den Zusammenhang von Werkstoffeigenschaften und Prozessbedingungen ist entscheidend verbessert worden; konvektive Einflüsse bei der Erstarrung von Metallen auf Morphologie und die Herstellung von Verbundwerkstoffen sind heute bekannt. Neue Grundlagen der Gießertechnik steigerten die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie. Es entstanden Hochtemperatur-Werkstoffe mit neuartigen Anwendungen, beispielsweise die Keramikbremse.

Energieerzeugung, -speicherung und -wandlung: Verbesserte Werkstoffe und Technologien zu Photovoltaik und Solardynamik haben den Wirkungsgrad deutlich erhöht. Wichtige grundlegende Forschung zu Brennstoffzellen und Lithium-Ionen-Batterien wurden geleistet.

Regenerative Stoffwirtschaft: Neue Entwicklungen von Lebenserhaltungssystemen für die ISS und für Explorationsmissionen durch eine effiziente Kreislaufwirtschaft, dadurch auch neue Erkenntnisse und Techniken zu Ökologie und Nachhaltigkeit.

Vielfältige klinisch-medizinische Anwendungen mit innovativen Verfahren: Messung von Augeninnendruck, Knochendichte, Zusammensetzung der Atemgase mit großer zeitlicher Auflösung, Verteilung und Druck von Körperflüssigkeiten; Plasma-Medizin - eine neue Entwicklung mit enormen Potenzialen im Bereich der persönlichen Hygiene, der professionellen Hygiene, der Lebensmittelhygiene, der Haushaltshygiene, der Dermatologie und der medizinischen Wundbehandlung, die durch das erworbene Know-how mit kalten Plasmen (Plasma-Kristall-Experimente auf der Internationalen Raumstation) maßgeblich geprägt und ermöglicht wurde.

Telekommunikation: Lasertechnologien sowie effiziente Modulations- und Codierungsverfahren für höchst breitbandige, zuverlässige Datenkommunikation von und zum Weltraum und für terrestrische Anwendungen.

Zeitmessung: Höchstgenaue, globale Zeitübertragung und -Verteilung nicht nur für Navigationsaufgaben, sondern auch für andere terrestrische Anwendungen, etwa zur Synchronisation von Netzen für Datenkommunikation und für die Energieversorgung sowie zur Nutzung in den Grundlagenwissenschaften.

Fernerkundung der Erde: Wetterunabhängige, satellitengestützte Radartechnik sowie Radar-Interferometrie, mit beispielhafter Anwendung der Public Private Partnership.

Geowissenschaften: Nationale und deutsch-amerikanische Satellitenmissionen ermöglichen neue Entwicklungen für die Grundlagenwissenschaften, den Katastrophendienst und für neue, satellitengestützte Raumfahrtanwendungen.

2 POLITISCHE LEITLINIEN

2.1 NEUE HERAUSFORDERUNGEN FÜR DIE DEUTSCHE UND EUROPÄISCHE RAUMFAHRT

Die europäische sowie die deutsche Raumfahrt stehen vor massiven Herausforderungen, die weitreichende Veränderungen mit sich bringen. Die deutsche Raumfahrtspolitik und eine daraus abgeleitete umfassende und vernetzte Raumfahrtstrategie müssen auf diese Herausforderungen reagieren und Antworten auf allen wesentlichen Ebenen definieren:

- Die Anziehungskraft und die Erfolge der Raumfahrt und ihrer Anwendungen machen diese zunehmend zu einer globalen Unternehmung. Aufstrebende Länder wie China, Indien, Korea und Brasilien erweitern signifikant ihre Raumfahrtaktivitäten im zivilen und militärischen Bereich. Insbesondere neue Anwendungen bei Erdbeobachtung, Navigation und Telekommunikation finden zunehmend Interesse, da sie für ihre Bürger und ihre politischen Ziele von großem Wert sind. Dies gilt zunehmend auch für Entwicklungsländer. Die deutsche Raumfahrtspolitik muss dieser vielversprechenden globalen Entwicklung Rechnung tragen.
- Europa steht nach dem Inkrafttreten des Lissabon-Vertrages¹ vor einer weitgreifenden Veränderung der Rollenverteilung zwischen EU und ESA. Diese neue Rollenverteilung wird auch wesentliche Auswirkungen auf die nationalen Raumfahrtprogramme haben. Daher gilt es in den kommenden Jahren, diese neuen Rollen - unter Einbindung aller beteiligten Partner - optimal zu gestalten und auszufüllen. Es wird erwartet, dass mittelfristig die Anzahl der Mitgliedsländer in der ESA beträchtlich zunimmt. Um die europäische Kooperation effektiv zu gestalten, wird eine Anpassung der ESA-Konvention unerlässlich. Weiterhin ergeben sich neue Möglichkeiten für langfristig angelegte strategische Partnerschaften.
- Die erweiterten Funktionen bei ESA und EU erfordern eine aktive, gestaltende Rolle Deutschlands auch innerhalb dieser Organisationen. Die Bereitstellung kompetenten und erfahrenen deutschen Personals, insbesondere in Führungsfunktionen, ist von wesentlicher Bedeutung und muss intensiviert werden.
- Die Europäisierung betrifft nicht nur die Institutionen von EU, ESA und EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites), sondern auch die Industrie und die Ausbildung. Viele Absolventinnen und Absolventen der deutschen Hochschulen aus dem Bereich Luft- und Raumfahrttechnik suchen ganz gezielt Arbeitsplätze bei europäischen Unternehmen. Global agierende Firmen wie Astrium (eine Tochter der EADS European Aeronautic Defence and Space Company), Thales oder die Firma OHB (Orbitale Hochtechnologie Bremen) mit ihren europäischen Beteiligungen bieten attraktive Arbeitsplätze für die Besten ihres Faches. Um die talentiertesten, an deutschen Hochschulen qualifizierten Fachkräfte im Lande zu halten oder an geeignete Stellen in europäischen Institutionen und Firmen zu vermitteln, bedarf es eines attraktiven Lehr- und Forschungsprogramms an deutschen Hochschulen, das dem internationalen Umfeld gerecht wird und die typischen Stärken der nationalen Ausbildung in klassischen Ingenieurdisziplinen und Systemtechnik durch eine kontinuierliche Förderung durch Bund und Länder ausschöpft.
- Die Ausweitung der Raumfahrtaktivitäten insbesondere im Hinblick auf anwendungsorientierte Programme hat in Deutschland zu einer signifikanten Zunahme verantwortlicher Ministerien im Bund und in den Bundesländern geführt. Dies erfordert neue Maßnahmen bei Koordination und Abstimmung bei der Implementierung der deutschen Raumfahrtstrategie.

¹ Der Lissabon-Vertrag, der am 1. Dezember 2009 in Kraft trat, eröffnet der Europäischen Union unabhängig von ihren Mitgliedsstaaten die Möglichkeit, ein eigenes Raumfahrtprogramm ins Leben zu rufen und in Zusammenarbeit mit der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) eine europäische Raumfahrtspolitik auszuarbeiten (Art. 172a).

- Insbesondere neue Anwendungen auf den Sektoren Telekommunikation, Erdbeobachtung, Navigation sowie deren Vernetzung eröffnen breite wirtschaftliche Möglichkeiten. Weiterentwickelte partnerschaftliche Regelwerke und Instrumente zwischen der öffentlichen Hand und der Industrie sind notwendige Voraussetzung für eine erfolgreiche wirtschaftliche Umsetzung und sollten entwickelt und eingesetzt werden.
- Die beträchtlichen neuen Herausforderungen müssen in Einklang gebracht werden mit den vorhandenen Stärken der deutschen Raumfahrtforschung und der Raumfahrtindustrie. Die erreichten Spitzenpositionen in der Weltraumwissenschaft, in der bemannten Raumfahrt sowie bei Technologien für Anwendungs- und Infrastrukturprogramme müssen im nationalen Rahmen weiter ausgebaut und bei europäischen und internationalen Kooperationen gezielt eingesetzt werden.

> acatech empfiehlt

Die neuen Herausforderungen und die damit veränderten Rahmenbedingungen erfordern eine Anpassung der deutschen Raumfahrtspolitik und eine kohärente deutsche Raumfahrtstrategie, die nationalen, europäischen und internationalen Aspekten gleichermaßen Rechnung trägt. Die deutsche Raumfahrtstrategie muss klare Ziele hinsichtlich der programmatischen Inhalte einschließlich Zeithorizont und Budgetrahmen festlegen.

Ebenso müssen die deutschen Positionen bei übergreifenden Fragen wie die der zukünftigen Rollenverteilung ESA/EU und der Ausbildung und Bereitstellung kompetenten Personals klar definiert werden. Zwischen Bund und Ländern sind Maßnahmen zur verbesserten Koordination und Abstimmung einer deutschen Raumfahrtstrategie erforderlich.

Im Kapitel 1.2 „Politische und gesellschaftliche Ziele der Raumfahrt“ sind Forschung und Exploration als gesellschaftlich-kulturelle Aufgabe und europäisches Vermächtnis angesprochen. Doch auf keinem der Aktionsfelder der Raumfahrt besteht in Europa und vor allem in Deutschland so viel Ungewissheit und Unentschlossenheit für eine eigene Position wie zur Zukunft der bemannten Raumfahrt.

Dabei hat Deutschland, implizit durch historische Wurzeln begründet, seit Mitte der 1970er Jahre in Europa die wichtigsten Beiträge zur bemannten Raumfahrt geleistet. War dies zunächst die Beteiligung an Spacelab (mit ca. 50% des ESA-Anteils), so setzte sich das deutsche Engagement bei der Internationalen Weltraumstation ISS auf weiterhin hohem Niveau fort (mit ca. 40% des ESA-Anteils).

Ungeachtet dessen zeichnet sich gegenwärtig keine verantwortungsvolle Weiterentwicklung entsprechender Aktivitäten für die Zeit nach Beendigung der ISS ab. Erstmals seit 30 Jahren wird auf europäischer Ebene kein entsprechendes, größeres Entwicklungsprojekt für die kommenden Jahrzehnte und die Zeit nach Beendigung der ISS diskutiert noch strategisch geplant. Dies erfolgt im Gegensatz zum Strategiewechsel der neuen Administrationen in den USA, welcher erhöhte Anstrengungen in Aussicht stellt in der Umsetzung des Augustine-Reports² und der Direktive des Präsidenten,³ nach welcher die bemannten Missionen sich in den nächsten zwei Jahrzehnten in Richtung eines „flexiblen Weges, verstärkter internationaler Zusammenarbeit und Entwicklung neuer Raumfahrttechnologien“ und damit anspruchsvolleren Zielen in Richtung Asteroiden und Marsmissionen entwickeln sollen.

² NASA 2009.

³ Obama 2010.

> acatech empfiehlt

Das wichtigste europäische Programm unter Führung Deutschlands, dem in nationalen wie europäischen Raumfahrtstrategien noch Visionen und Ziele für die Zeit nach der ISS eingeräumt werden müssen, ist die bemannte Raumfahrt. Exploration mit Astronauten ist ein Generationen übergreifendes Unterfangen, das gerade in Deutschland wegen seiner historischen Wurzeln auf breiter Basis diskutiert und dessen Ziele unter Berücksichtigung gesellschaftlich-kultureller Argumente definiert und strategisch durch entsprechende Technologieprogramme begonnen werden müssen.

Je früher sich die ESA unter Fortsetzung der Federführung Deutschlands darauf einstellt, desto eher kann erreicht werden, dass zukünftige Explorationsprogramme technisch-wissenschaftlich und gesellschaftlich-kulturell entsprechend unserer Tradition mitbestimmt werden können. Daher erscheint es vordringlich, die bisherige Unentschlossenheit und Zurückhaltung Deutschlands abzulegen und couragierte Ziele, Chancen sowie Risiken zukünftiger Programme der bemannten Raumfahrt auf breiter Ebene zu diskutieren und die Exploration nicht vorschnell und exklusiv auf eine Durchführung durch robotische Systeme zu verkürzen oder sich auf Technologiebeiträge zu den Missionen von Drittländern zu beschränken. Für die bemannte Exploration jenseits der nahen Erdumlaufbahn als globale Unternehmung sollte Deutschland in europäischer Zusammenarbeit frühzeitig politische Prioritäten setzen und technologische Felder für eine robuste sichtbare Beteiligung als unverzichtbarer Partner definieren.

Aus Sicht von acatech sind folgende drei Fragen vordringlich zu beantworten:

- Welche Zukunft hat die Internationale Raumstation ISS?

- Werden im Rahmen eines internationalen Programms europäische Astronauten zum Mond, zum Mars oder zu anderen Zielen fliegen?
- Wird Deutschland in solchen Programmen die europäische Führungsposition erhalten wollen oder den Verlust langfristig aufgebauter Fähigkeiten in Kauf nehmen?

2.2 BEDEUTUNG DES NATIONALEN RAUMFAHRTPROGRAMMS

Raumfahrtpolitik und -strategie wird in den drei Ebenen nationales, europäisches und internationales Programm umgesetzt und durch diese bestimmt. Das Raumfahrtmanagement des DLR formuliert daraus konkrete Programme, die durch Wissenschaft und Industrie letztendlich umgesetzt und verwirklicht werden.

Das nationale Programm definiert dabei maßgeblich die deutsche Rolle im europäischen und internationalen Kontext und ist als Sprungbrett für europäische und internationale Beteiligungen unerlässlich. Insbesondere umfangreichere Programme, z. B. bei Umwelt, Navigation, Sicherheit, Raumtransport, Exploration und im wissenschaftlichen Bereich erfordern häufig gezielte nationale Vorbereitung durch Vorentwicklung kritischer Technologien oder durch demonstrative Vorprojekte. Nationale Projekte können so als Leuchttürme im abgestimmten europäischen bzw. internationalen Kontext definiert und erfolgreich umgesetzt werden.

Dies macht deutlich, dass das nationale Programm in eine schlüssige langfristige Gesamtstrategie eingebettet sein muss, die Schwerpunkte für nationale, europäische und internationale Raumfahrtaktivitäten definiert und festschreibt. Nur so kann Deutschland strategische Einzelschwerpunkte für prioritäre Bereiche festlegen und langfristig konsolidiert umsetzen. Ein Mangel an langfristiger nationaler Zielsetzung hat Deutschland in der Vergangen-

heit oft in schwierige Situationen im europäischen Rahmen versetzt. Investitionen etwa auf den Feldern Automation und Robotik haben weder in der Satellitentechnik (Reparatur des deutschen TV-Satelliten TV-Sat1) noch in der bemannten Raumfahrt trotz Priorisierung bisher zu Erfolgen geführt, die mit Kanada beziehungsweise den USA vergleichbar wären. Denkbare und viel diskutierte Spin-offs etwa für die minimalinvasive Chirurgietechnik werden derzeit hauptsächlich von amerikanischen Firmen realisiert.

Die anhaltende Unentschlossenheit bei der Festlegung von Zielen und Inhalten von Explorationsmissionen führte zu einer Halbierung des entsprechenden Teils des ESA-Etats auf ca. 10% bis hin zur gänzlichen Beendigung größerer Entwicklungsaufgaben bei der Industrie und nun zur Abschaffung des entsprechenden ESA-Direktorats.

Entscheidend für eine Verbesserung der Situation ist jedoch eine rechtzeitige Verständigung mit den anderen europäischen Partnern. Insbesondere mit den Hauptakteuren in Agenturen und Industrie aus Frankreich und Italien ist ein intensiver Austausch notwendig, um die jeweiligen nationalen Prioritäten und die arbeitsteilige Aufgabenverteilung in Europa frühzeitig abzustimmen.

Neue strategische Partnerschaften mit technologisch und programmatisch interessierten ESA-Mitgliedsstaaten, insbesondere potenziell neuen EU-Mitgliedsländern aus Osteuropa, könnten zudem genutzt werden, um die europäische Vernetzung Deutschlands zu intensivieren und somit unsere Wettbewerbssituation zu verbessern.

> **acatech empfiehlt**

Das nationale Programm muss einerseits eigenständige Ziele verfolgen und zum anderen vorbereitende Aktivitäten für europäische und internationale Programme umfassen. Das nationale Programm sollte daher weiter gestärkt wer-

den, um diese Aufgabenstellung in ähnlicher Weise wie bei vergleichbaren europäischen Ländern z. B. Frankreich oder Italien zu erfüllen. Klare Prioritätensetzung bezüglich technologischer Ziele und der angestrebten Missionsziele einschließlich Budget- und Zeitrahmen sind notwendige Voraussetzungen für eine erfolgreiche nationale Strategie.

Zudem sollte das nationale Programm erheblich zur inhaltlichen Gestaltung langfristig angelegter strategischer Allianzen mit europäischen Partnern beitragen. Neben den bisherigen Partnern in der ESA sind die neuen osteuropäischen Mitgliedsländer der EU als potenzielle zukünftige ESA-Mitgliedsländer von besonderer Bedeutung, um die deutsche Vernetzung zu verbessern.

2.3 INTEGRIERTES MANAGEMENT DER RAUMFAHRT-AKTIVITÄTEN

Die nationalen Raumfahrtaktivitäten werden vornehmlich durch den Bund getragen; in der Vergangenheit hat sich die Anzahl der verantwortlichen Bundesministerien jedoch deutlich erhöht (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/BMWi, Bundesministerium der Verteidigung/BMVG, Bundesministerium für Bildung und Forschung/BMBF, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung/BMVB). Zudem steuern auch einzelne Bundesländer eigene Finanzmittel bei und prägen die jeweilige Projektausgestaltung zusätzlich. In zunehmendem Maß sind darüber hinaus auch Forschungsinstitutionen (z. B. DFG, HGF, MPG) sowie Hochschulen an Raumfahrtaktivitäten durch eigene Mittel beteiligt. Es gilt, alle Beteiligten verbessert zu koordinieren und sie in die Definition und Umsetzung der deutschen Raumfahrtstrategie enger einzubinden.

Die Mitwirkung mehrerer Bundesministerien am nationalen und europäischen Raumfahrtprogramm erfordert eine effektive nationale Koordination deren Fördermittel. Dies

könnte z. B. durch die Wiederbelebung des Staatssekretärausschusses unter der Leitung des Bundeskanzleramts erreicht werden, welcher Anfang bis Mitte der 1990er Jahre entsprechende Abstimmungen herbeiführte.

Durch eine regelmäßige Einbeziehung und Abstimmung der Interessen der Bundesländer können deren wichtige Beiträge als zusätzliche Teilelemente einer deutschen Raumfahrtstrategie besser reflektiert und somit langfristig zielführend berücksichtigt werden.

Auch die universitäre Bildung und Forschung muss als wichtiges Teilelement in die deutsche Raumfahrtstrategie stärker als bislang einbezogen werden. Hierdurch wird gewährleistet, dass regionale, innovative Forschungs- und Entwicklungsthemen der Hochschulen frühzeitig in den nationalen und europäischen Kontext eingebunden und somit optimal unterstützt werden können.

Die für das Raumfahrtmanagement verantwortliche Organisation muss ein geeignetes Gremium zur regelmäßigen Abstimmung mit Forschungseinrichtungen und der Industrie etablieren. Effektive und kontinuierliche Beratung kann so auf beiden Seiten erfolgskritische Informationslücken schließen.

> **acatech empfiehlt**

Die Beteiligung mehrerer finanzierender Bundesministerien am Raumfahrtprogramm erfordert eine regelmäßige Koordination und Abstimmung bei übergeordneten politischen und strategischen Maßnahmen beispielsweise durch die Wiederbelebung des Staatssekretärausschusses. Dieser Ausschuss sollte auch die übergeordnete Abstimmung mit Länderinteressen sowie die grundsätzlichen Belange der Forschung, Ausbildung und der Industrie durch geeignete Maßnahmen wahrnehmen.

Die Umsetzung der deutschen Raumfahrtstrategie sollte einer einzigen Organisation mit gesamtverantwortlichem Management zur Implementierung aller nationalen, europäischen und internationalen Raumfahrtaktivitäten Deutschlands übertragen werden.

2.4 ROLLENVERTEILUNG ZWISCHEN ESA UND EU

Mit dem Vertrag von Lissabon wurde der EU erstmals eine explizite Kompetenz in der Raumfahrt zugesprochen. Hierbei handelt es sich um eine „parallele“ Kompetenz, welche die Kompetenz der Mitgliedsstaaten und somit auch die der ESA nicht einschränkt. Ein genereller Führungs- bzw. Koordinierungsanspruch der EU in der Raumfahrt folgt somit nicht aus dem Lissabon-Vertrag, allerdings erlaubt der Vertrag prinzipiell die fallweise und jeweils noch zu entscheidende Wahrnehmung einer solchen Funktion über die beiden von EU und ESA bislang gemeinsam durchgeführten Projekten Galileo (europäisches Satellitennavigationssystem) und GMES (Global Monitoring for Environment and Security) hinaus.

Nicht geändert wurden durch den Lissabon-Vertrag die generellen Rahmenbedingungen beispielsweise für Beschaffung/Industriepolitik sowie Finanzmanagement, unter denen EU-finanzierte Raumfahrtaktivitäten wie Galileo und GMES durchzuführen sind. Diese Rahmenbedingungen haben sich für die Raumfahrt in der EU nur als bedingt geeignet erwiesen. So konnten die EU-Beschaffungsverfahren weder eine weitere Konzentration der Industrie verhindern noch eine ausgeglichene Beteiligung der Industrien der Mitgliedsstaaten an Raumfahrtprogrammen sicherstellen. Zudem eignen sich die Finanzinstrumente/-mechanismen der EU nicht dazu, um die in Hochtechnologieprojekten häufig auftretende Thematik von Eigenbeteiligung, Mehrkosten und Langzeitverpflichtungen angemessen behandeln zu können. Vor diesem Hintergrund gilt es, bei EU und

ESA zu einer klaren Aufgabenteilung zu kommen und die beiden Organisationen gemäß ihrer Stärken optimal für die europäische Raumfahrt einzusetzen.

Die EU wird jedoch bei der Formulierung rechtlicher Rahmenbedingungen (insbesondere in den Anwendungsfeldern) eine wachsende Bedeutung einnehmen. Datenpolitik für die Erdbeobachtung und Regulierungsfragen der Telekommunikation und Navigation werden bereits jetzt auf europäischer Ebene bearbeitet und müssen von Deutschland aktiver mitgestaltet werden, um die Interessen der deutschen Betreiber und der deutschen Industrie zu berücksichtigen.

Dem Europäischen Weltraumrat (Space Council) kommen in diesem Kontext wichtige zukünftige Aufgaben zu. In seinen Verantwortungsbereich könnten dabei insbesondere die Definition und Entscheidung über europäische Raumfahrtprogramme von EU und ESA fallen, welche über alle Programmphasen von der Forschung und Technologie bis zur Markteinführung abzustimmen sind.

Diese Abstimmung und Koordination zwischen EU und ESA darf jedoch nicht losgelöst von nationalen Programmen der ESA-Mitgliedsstaaten geschehen. Vielmehr müssen alle nationalen Programme - durch stärkere und frühzeitigere Einbindung sowie offenere Informationspolitik - in der europäischen Gesamtstrategie reflektiert und in diese integriert werden.

> acatech empfiehlt

Die zukünftigen ESA/EU Beziehungen müssen im Sinne einer klaren Aufgabenteilung bei voller Berücksichtigung der jeweiligen Stärken der beiden Organisationen gestaltet werden. Der europäische Weltraumrat (Space Council) muss als wesentliches politisches Entscheidungsgremium weiterentwickelt und mit Entscheidungskompetenz für eine

ganzheitliche europäische Raumfahrtstrategie sowie den darin enthaltenen Programmen ausgestattet werden.

Als wesentliche Elemente sollten dabei berücksichtigt werden:

- ESA muss eine eigenständige Organisation bleiben.
- ESA setzt, im Auftrag der EU, beschlossene EU-Programme gemäß EU-Regeln um.
- ESA ist primär für die Finanzierung von Entwicklungsaktivitäten, EU ist primär für die Finanzierung von Betrieb, Nachkäufen und Diensten verantwortlich. Überlappungen müssen vermieden werden.
- ESA berücksichtigt alle Mitgliedsländer der EU (zusätzlich Schweiz und Norwegen) auf Grundlage eines angepassten ESA-Regelwerks (z. B. Beschaffungsordnung, Industriepolitik, Entscheidungen im administrativen und Programmbereich) für die Programme, die im Auftrag der EU durchgeführt werden.
- EU nimmt die direkte Verantwortung für nutzergetriebene Anwendungsbereiche wahr: Navigation, Erdbeobachtung, Sicherheit; die vertragliche Initialisierung wird an ESA übertragen („Procurement Agent“).
- ESA trägt die direkte Verantwortung für „Schlüsselfunktionen“: Wissenschaft, Raumtransportsysteme, orbitale Infrastrukturen, Exploration, Technologien - jedoch mit Beiträgen der EU.
- EU trägt zusammen mit ESA und Mitgliedsländern Verantwortung für die europäische Raumfahrtspolitik und -strategie.

2.5 EUROPÄISCHE UND INTERNATIONALE KOOPERATIONEN

Eine regelmäßige Abstimmung unter den europäischen Partnern - insbesondere mit Frankreich und Italien - ist zwingend notwendig, um frühzeitig bei der Vorbereitung neuer europäischer Projekte gemeinsam und zielorientiert agieren bzw. frühzeitig Technologieschwerpunkte und Investitionen festlegen zu können. In diesem Zusammenhang sollten auch bi- oder multilaterale Projekte als Vorläufer für größere europäische Programme lanciert werden. Flankiert werden sollten diese vorbereitenden Aktivitäten durch Bildung strategischer Allianzen mit neuen oder potenziell neuen ESA-Mitgliedsländern, um deren Forschung und Industrie zu ertüchtigen und langfristige Partner für Deutschland zu gewinnen.

Auch die regelmäßige, institutionalisierte internationale Kontaktpflege zu traditionellen Partnern in den USA, Russland und Japan ist eine zwingende Notwendigkeit, um bei internationalen Projekten auf Augenhöhe mitagieren zu können. Hinzu kommt, dass die Kontaktaufnahme mit aufstrebenden Raumfahrtnationen wie China, Indien, Brasilien oder Korea wichtige Elemente für Forschung und Technologie bereithalten, die strategische Impulse für die deutsche Raumfahrtspolitik mit sich bringen können. Das Potenzial, deutsche Raumfahrtaktivitäten für entwicklungspolitische Aufgaben (z. B. mit dem Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung/BMZ) einzusetzen, ist bei weitem nicht ausgeschöpft. Die sich daraus ergebenden Möglichkeiten sollten aktiver verfolgt werden.

Deutschland sollte bei allen internationalen Raumfahrtprojekten stets den Anspruch der Führungsübernahme anstreben, zumindest aber die Technologieführung für wesentliche Systemelemente. Diese Ambitionen sind von strategischer Bedeutung, da internationale Projekte nicht selten durch europäische Anstrengungen ergänzt werden.

> acatech empfiehlt

Die langfristige Kontaktpflege und Kooperation mit traditionellen internationalen Partnern (USA, Russland, Japan) sollten weiterentwickelt werden; mit aufstrebenden neuen Partnern (China, Indien, Brasilien, Korea) sowie mit ausgewählten Entwicklungsländern sollten Beziehungen entwickelt und langfristig gestaltet werden.

Die Entwicklung der Raumfahrt auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene hängt auch von der Etablierung und Gestaltung rechtlicher Rahmenbedingungen ab. Dies gilt insbesondere für die Ausprägung privatwirtschaftlichen Engagements in der Raumfahrt, der Nutzung von Raumfahrtdiensten sowie der Operations im Weltraum. Auf globaler Ebene wurde bereits die Diskussion um die Ausarbeitung von „Rules of the Road“/„Space Traffic Management“/„Codes of Conduct“ angestoßen. Deutschland muss sich hier aktiv einbringen, um seine Aktionsfreiheit im Weltraum sicherzustellen und gleichzeitig eine auf Sicherheit und Fairness bedachte Ordnung herzustellen.

> acatech empfiehlt

Deutschland muss ein Nationales Weltraumgesetz zur Autorisierung privatwirtschaftlicher Aktivitäten in der Raumfahrt erarbeiten. Auf europäischer Ebene muss es eine Führungsrolle bei der Ausarbeitung von Regulierungen zur Satellitennutzung einnehmen und auf internationaler Ebene muss es zur Ausarbeitung von Standards und „Verkehrsregeln“ beitragen, die die Entfaltung deutscher Aktivitäten und die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie unterstützen.

3 KRITISCHE ERFOLGSFAKTOREN

Mit der Förderung der universitären Ausbildung und Forschung, einer nachhaltigen Finanzierung des nationalen Raumfahrtprogramms und der Beteiligung Deutschlands an den europäischen und internationalen Initiativen, einer angemessenen personellen Vertretung Deutschlands in den wichtigen europäischen und internationalen Gremien der Raumfahrt sowie mit der Notwendigkeit eines erweiterten Technologietransfers für neue Produkte und Dienstleistungen aus der Raumfahrt hat acatech vier besonders kritische Erfolgsfaktoren für die Zukunft der deutschen Raumfahrt identifiziert.

Eine deutsche Raumfahrtstrategie kann jedoch nur dann erfolgreich sein und zu einem Bestehen Deutschlands im internationalen Wettbewerb führen, wenn sie sich auf eine äußerst innovative und durch Technologieführerschaft gekennzeichnete Raumfahrtindustrie stützen kann. Die deutsche Raumfahrtindustrie konnte ihre Leistungsfähigkeit in den vergangenen Jahren immer wieder unter Beweis stellen, sie gilt als eine der innovativsten und dynamischsten Industrien in Deutschland. Sie wird auch in Zukunft in ganz besonderem Maße auf innovationsfördernde strukturelle Bedingungen und Rahmenfaktoren eines nationalen Innovationssystems angewiesen sein.

3.1 AUSBILDUNG UND UNIVERSITÄRE FORSCHUNG

Für eine kontinuierliche, interdisziplinäre und systematische Arbeit auf dem Feld der Raumfahrtforschung sind in Deutschland die entstandenen Forschungsstrukturen weiter zu entwickeln. Hierbei sollten alle Aspekte der Raumfahrtssysteme in Forschung, Entwicklung und Nutzung, von den Technikwissenschaften über die Naturwissenschaften bis hin zu den Geistes- und Sozialwissenschaften betrachtet werden. Aufgrund der elementaren Bedeutung der wissenschaftlichen Ausbildung des Nachwuchses muss Wert auf eine enge Anbindung an universitäre Forschung und

Lehre in der Art gelegt werden, dass dem interdisziplinären und internationalen Charakter der Beschäftigung mit Raumfahrttechnik entsprochen wird. Im Aufbau interdisziplinärer und eng vernetzter Strukturen liegt eine der größten Chancen für eine effiziente, zielorientierte und nachhaltige Raumfahrtforschung.

Das Studium der Luft- und Raumfahrttechnik wird gegenwärtig an Universitäten und Fachhochschulen an den Standorten Aachen, Braunschweig, Bremen, Dresden, Hamburg, München, Stuttgart und Würzburg angeboten. Im Wintersemester 2009/2010 sind 4.730 Studierende in Studiengängen der Luft- und Raumfahrttechnik eingeschrieben.¹ Dies bedeutet einen leichten Anstieg gegenüber den Werten der Jahre 2006, 2007 und 2008 (ca. 4.500 Studierende). Die Anzahl der Absolventinnen und Absolventen liegt jedoch unverändert unter der der altersbedingt aus dem Erwerbsleben ausscheidenden Ingenieurinnen und Ingenieure. Ungeachtet dessen, dass international agierende Systemfirmen wie EADS Astrium, Thales Alenia oder OHB attraktive Arbeitsplätze für die Absolventinnen und Absolventen der Luft- und Raumfahrttechnik bieten, können gegenwärtig nicht nur die frei werdenden sondern noch weniger die neu geschaffenen Positionen adäquat wiederbesetzt werden. Mehr als die Hälfte der Studierenden der Luft- und Raumfahrttechnik wählen nach Abschluss ihres Studiums zudem einen Berufseinstieg in einer anderen Branche und wandern überwiegend unwiderruflich in diese ab. Diesem Trend entgegenzuwirken und sehr gute Absolventen von MINT-Fächern zu gewinnen wird zunehmend notwendiger.

Um die talentiertesten, an deutschen Hochschulen qualifizierten Fachkräfte für die deutsche Raumfahrtindustrie zu gewinnen oder an geeignete Stellen in europäische Institutionen und Firmen zu vermitteln, bedarf es eines flexiblen Lehr- und Forschungsprogramms an deutschen Hochschulen:

¹ StaBu 2010.

- Die Ablösung der bisherigen Diplom-Studiengänge durch Studiengänge mit Master-Abschluss sollte den Zwang der Umstellung als Chance nutzen und die Inhalte in Lehre und Forschung im Sinne eines European Aerospace-Master, akkreditiert etwa durch den PEGASUS-Verbund,² ausrichten.
- In der Lehre fehlt es im Bereich der Luft- und Raumfahrt oft an fundiert, breit und fachübergreifend ausgebildetem Nachwuchs. Hier sollten vor dem Hintergrund des Querschnittscharakters enge Verknüpfungen zwischen Disziplinen wie Maschinenbau, Material- und Werkstoffwissenschaften, Energietechnik, Physik, Chemie, Biologie und Volkswirtschaftslehre sowie auch den Sozialwissenschaften hergestellt werden. Die Einrichtung entsprechender Studiengänge sowie von Studien- und Promotionskollegs mit einem derartigen fächerübergreifenden Lehr- und Forschungsansatz und unter Lehrbeteiligung aus der Industrie³ oder von Agenturen sind zur Attraktivitätssteigerung des Studiums besonders geeignet.
- Entsprechende Vorhaben sollten die Mobilität z. B. im Rahmen eines europäischen Austauschprogramms fördern, vergleichbare Curricula an den beteiligten Partnerhochschulen aufweisen und die Möglichkeit eines Doppelabschlusses (dual degree) vorsehen (ohne sich dabei studiendauerverlängernd auszuwirken).

Den Universitäten und ausseruniversitären Forschungseinrichtungen, insbesondere MPG und HGF, sollten aus den genannten Gründen in einer zukünftigen Raumfahrtstrategie eine besondere Bedeutung zukommen, da sie in vielen Bereichen der Raumfahrtforschung und -nutzung Spitzenleistungen erbringen. Zur Stärkung des systemischen Charakters der Forschung sind an Universitäten einerseits the-

menspezifische Verbünde und andererseits interdisziplinäre Exzellenz-Cluster oder Kompetenzzentren mit Beteiligung der Industrie oder des DLR (Industry/Agency on Campus) besonders förderlich.

Ein Blick auf die gegenwärtigen Kooperationen zwischen Hochschulen, außeruniversitären Instituten und der Industrie zeigt, dass die Projektförderung in ihrer gegenwärtigen Struktur für die Raumfahrtforschung noch zu diskontinuierlich, für Forscherinnen und Forscher an den Hochschulen nach dem jeweiligen Abschluss oft wissenschaftlich nicht attraktiv genug ausgestaltet und nicht in der Lage ist, langfristige Perspektiven aufzuzeigen. In der Vergangenheit zeigten sich immer wieder Schwierigkeiten, Kooperationsforschung zwischen Hochschulinstututen, DLR-F&E oder Instituten der FhG oder MPG aufgrund unterschiedlicher bis hin zu unvereinbarer Fördervorgaben aufzubauen. Zur Verbesserung der Situation sollte die Förderung verstärkt auf die genannten Verbünde, Cluster und Zentren konzentriert werden, um die bestmögliche Wirkung der Fördermittel zu erreichen. Dazu müssten unterschiedliche Verträge für Auftrags- und Kooperationsforschung entwickelt werden, welche die Intellectual Property-Rechte sowie die finanziellen und operativen Modalitäten einheitlich für alle Beteiligten klären. Trotz Verbundforschung sollten durchaus auch innovative Einzelansätze verfolgt und gefördert werden.

Die interdisziplinäre und systemische Betrachtungsweise von Raumfahrt und Raumfahrtnutzung ist noch nicht weit genug verbreitet, was sich auch in der Fragmentierung der Zuständigkeiten der Forschungsförderung zeigt. Effiziente Raumfahrtforschung bedarf klarer Zuständigkeiten. Wünschenswert wäre eine verbesserte Koordination der Forschungsförderung unter gemeinsamen strategischen Zielen

² PEGASUS - Partnership of a European Group of Aeronautics and Space Universities fasst Universitäten mit Studiengängen in Luft- und Raumfahrt aus EU-Ländern zusammen. Gegenwärtig sind 23 Hochschulen aus 9 Ländern Mitglied (www.pegasus-europe.org).

³ Nachahmenswert ist die in Baden-Württemberg mögliche Einstellung von Professorinnen und Professoren in einem befristeten privatrechtlichen Anstellungsverhältnis in einem Umfang von mindestens einem Fünftel und weniger als der Hälfte der regelmäßigen Arbeitszeit einer entsprechenden vollbeschäftigten Professorin bzw. Professors (sog. unterhältige Beschäftigung, siehe Hochschulgesetz des Landes Baden-Württemberg in der Fassung vom 15. Juni 2010, § 49 Abs. 2).

sowie eine Plattform für den wissenschaftlichen Austausch der Scientific Community und zu Fragen der Ausbildung. Diese Aufgabe sollte die vorgeschlagene integrierte Organisation für Raumfahrtmanagement übernehmen (siehe Kapitel 2.3. „Integriertes Management der Raumfahrtaktivitäten“).

> acatech empfiehlt

Im Aufbau interdisziplinärer und eng vernetzter Ausbildungsstrukturen liegt eine der größten Chancen für eine effiziente, zielorientierte und nachhaltige Raumfahrtforschung. Dazu sollten thematische Forschungsverbände mit gepoolten Infrastruktur- und finanziellen Ressourcen (Raumfahrtagentur, Industrie, DFG, MPG, FhG) durch die mit dem Raumfahrtmanagement betraute Organisation eingerichtet und in regelmäßigen Abständen evaluiert werden.

3.2 FINANZIERUNG

Das Jahr 1998 markierte den Zeitpunkt, ab dem die weltweit privat in Raumfahrtaktivitäten investierten Mittel höher ausfielen als die institutionellen, d. h. staatlichen Mittel. 1998 wurden insgesamt 66 Mrd. \$ global umgesetzt, was einem Zuwachs gegenüber dem Vorjahr von ca. 15% bedeutete. Dieser jährliche Zuwachs blieb in den folgenden Jahren nahezu stetig bis zum Jahr 2002 mit 106 Mrd. \$ Umsatz erhalten. Nach einer kurzen Stagnation aufgrund der weltweiten wirtschaftlichen Rezession stieg der Umsatz in den Jahren 2005 bis 2009 auf ca. 262 Mrd. \$ (ca. 187 Mrd. € bei 1,4 \$/€) an; davon 33% entfallend auf Regierungen und 67% auf kommerziell orientierte Unternehmen

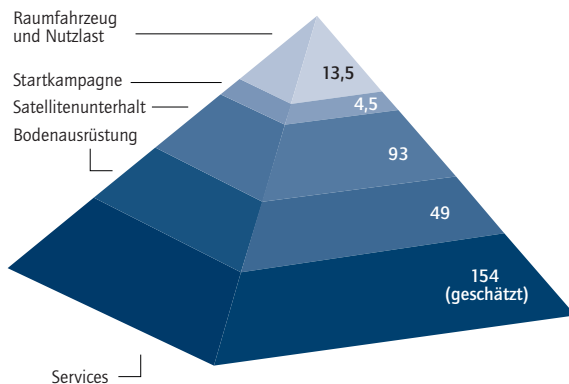
(darunter 54% für Telekommunikationsdienste und 13% für Satelliten und benötigte Infrastruktur). Im Zeitraum von in etwa einer Dekade haben sich demnach die privat eingesetzten globalen Raumfahrtmittel im Verhältnis zu den institutionellen Mitteln verdoppelt (ergänzende Angaben finden sich im Anhang).

Von Interesse ist die Betrachtung der Veränderungen des globalen Umsatzes der Satellitenindustrie in den Jahren 2005 bis 2009.⁴ Ungeachtet der weltweiten Wirtschaftskrise im Jahr 2009 konnte die Raumfahrtindustrie in diesem Zeitraum einen stetigen Zuwachs sowohl am kommerziellen wie auch institutionellen Markt von insgesamt 34% aufweisen. In den Kategorien Satelliten/Nutzlasten und Raketen/Transport stagnierte der Umsatz weitestgehend, wogegen die Bereiche Betriebs- und Bodensegmente und darauf basierende Dienstleistungen stark ansteigende Umsatzwerte vorwies. In den ersten beiden Kategorien mit je etwa gleichen Anteilen an öffentlicher und privater Finanzierung fiel der Gewinn gegenüber dem Dienstleistungsgeschäft, welches von privaten Investoren bestimmt wird, jedoch deutlich geringer aus. Hierin ist ein wesentlicher Grund mit zu sehen, dass sich größere Raumfahrtfirmen und neue Betreibergesellschaften zunehmend auf das Dienstleistungsgeschäft konzentrieren. Neben den bisherigen privaten Investoren beteiligen sich zunehmend auch Banken und Venture Capital Firmen.

Das Bild 2 zeigt die Aufteilung des globalen Umsatzes der kommerziellen Satellitenindustrie im Jahr 2009. Die eigentliche Wertschöpfung wird durch die mit den Satelliten ermöglichten Dienstleistungen erzielt, die in derselben Größenordnung liegen wie die Summe aller „Infrastrukturanteile“.

⁴ Space Foundation 2010.

Bild 2: Die Mehrwertpyramide zeigt die Aufteilung des globalen Umsatzes der kommerziellen Satellitenindustrie im Jahr 2009. Dieser vergrößerte sich gegenüber dem Vorjahr um 11% und im Zeitraum 2004 bis 2009 um durchschnittlich 11,7% pro Jahr.⁵



Gemessen an den gesamten Forschungs- und Entwicklungsausgaben (FuE) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) hatte die deutsche Raumfahrt in den 1990er Jahren sehr an Schubkraft verloren. Machte einer DLR-Studie zufolge 1991 der Budget-Anteil noch 17,3% der FuE-Ausgaben (1,8 Mrd. DM oder 0,92 Mrd. €) aus, so betrug dieser im Jahr 2002 nur noch 12,8%. Im selben Zeitraum stiegen zwar die gesamten FuE-Aufwendungen des BMBF um 36%, für die Raumfahrt aber lediglich noch um 0,5% (ohne Inflationsausgleich). Der Anteil für nationale Forschung, Entwicklung und Projekte sank dadurch von 40% auf ca. 25%, der überwiegende Anteil entfiel auf die ESA. Dieser floss von dort größtenteils wieder an die deutsche Industrie zurück, unter Abzug der Verwaltungskosten der ESA.

Mit Blick auf das Raumfahrt-Budget des für die Raumfahrt verantwortlichen Bundesministeriums (BMBF bis 2005, danach Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/

BMWi) ist für den Zeitraum von 1991 bis inklusive 2006 zu konstatieren, dass dieses von 0,92 Mrd. € auf 0,896 Mrd. € durchschnittlich um 0,15% pro Jahr abnahm. Im gleichen Zeitraum betrug der durchschnittliche Inflationsanstieg 2,05% pro Jahr, was einer Verminderung der Wertstellung um 2,2% gleichkommt. Wäre in dieser Zeit zumindest ein Inflationsausgleich geschaffen worden, so hätte das Budget bis zum Jahr 2006 auf 1,3 Mrd. € ansteigen müssen.

Dem Trend abnehmender öffentlicher Mittel für die Raumfahrt wurde erst 2006 durch die Hightech-Initiative der Bundesregierung entgegengewirkt mit der Folge, dass der nationale Anteil für Forschung, Entwicklung und Projekte der Raumfahrt für das Jahr 2009 wieder auf 38% anstieg (ohne EUMETSAT) (siehe Tabelle 1). Dabei gestaltet sich das zivile staatliche Budget für das Jahr 2009 wie folgt:

- Deutschland wendet insgesamt 727 Mio. € für seine Beteiligung an europäischen Programmen auf, bestehend aus dem ESA-Budget (648 Mio. €, davon 593 Mio. € vom BMWi und 55 Mio. € vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung/BMVBS), den von Deutschland finanzierten europäischen Mitteln für Raumfahrtanwendungen der EUMETSAT (39 Mio. €) und für die Finanzierung des 7. EU-Forschungsprogramms (geschätzt 40 Mio. €).
- Dem gegenübergestellt sind für das nationale Programm insgesamt 516 Mio. € verfügbar (229 Mio. € vom BMWi, institutionelle Förderung der Raumfahrtinstitute des DLR inklusive der Beiträge von BMWi, BMVg und Länderanteile von zusammen 167 Mio. € sowie die von Bund und Ländern gemeinsam aufgewendeten Mittel für MPG, FhG, DFG sowie für die Hochschulen von geschätzten 120 Mio. €).

⁵ SIA 2010.

Hieraus ergibt sich ein Volumen von 1.243 Mrd. € für das zivile staatliche Budget. Unter Berücksichtigung der geschätzten, über mehrere Jahre gemittelten Finanzierungen des BMVg von ca. 120 Mio. € pro Jahr beläuft sich das staatliche Budget für die zivile und militärische Raumfahrt auf insgesamt 1.363 Mrd. €. Im Jahr 2009 erzielte die deutsche Raumfahrtindustrie einen Jahresumsatz von ca. 2 Mrd. € (entspricht einer Steigerung in Relation zu 2008 um 14%, zugrunde gelegt sind 6.200 Beschäftigte).⁶ Hieraus ergeben sich 68% staatliche und 32% private Mittel zur Finanzierung dieses Umsatzes.

Zum Vergleich: Das zivile Budget Frankreichs als Europas führender Raumfahrtnation betrug im Jahr 2009 1.459 Mrd. €, mit einem nationalen Anteil von 52%.

Die finanzielle Situation der Raumfahrt in Deutschland wird besonders deutlich im internationalen Vergleich der öffentlichen Raumfahrtbudgets, gemessen am Bruttoinlandsprodukt (BIP) (Bild 3). Die USA liegen weit vorne mit über 150 US\$ pro Einwohner (0,32% des BIP) vor Frankreich mit 44 US\$ (0,1% des BIP). Japan und die meisten ESA-Mitgliedsländer geben 24 bis 16 US\$ pro Einwohner aus, entsprechend 0,06% (Japan) und 0,04% (Deutschland) des BIP.

Analysen⁷ zeigen, dass im Raumfahrtbereich trotz zunehmender Kommerzialisierung der Staat seine fördernde Hand nicht zurückziehen darf; die Dominanz der USA etwa in der kommerziellen Satellitentechnik ist zu einem ganz erheblichen Teil auf Vorleistungen des Staates zurückzuführen. Diese zeigt sich am Verhältnis 33% zu 67% der eingesetzten staatlichen zu privaten Mittel weltweit. In Deutschland beträgt dieses Verhältnis 68% zu 32%. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die staatliche Förderung im Vergleich zu den USA bisher unterkritisch war (z. B. Telekommunikation).

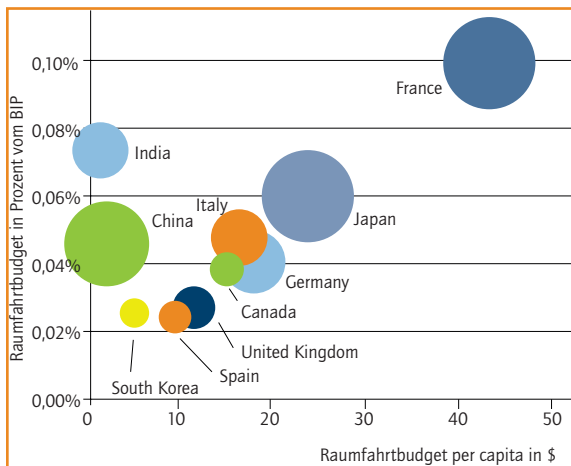
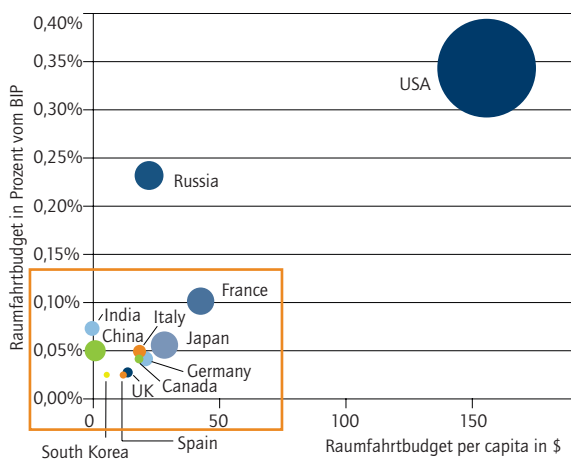
Tabelle 1: Dargestellt ist das zivile deutsche Raumfahrtbudget im Zeitraum 2000 bis 2010 mit den Anteilen für das nationale Raumfahrtprogramm (inklusive DLR FuE Raumfahrt), ESA (BMWi und BMVBS) und EUMETSAT. Nach Schätzung der DLR-Raumfahrtagentur kommen noch die Beiträge zum 7. EU-Forschungsprogramm (ca. 40 Mio. €) und national von Bund und Ländern aufgewendete Mittel für MPG, FhG, DFG und Hochschulen von ca. 120 Mio. € hinzu.

(MIO. €)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010 (SOLL)
Nat.Raumfahrt	264	260	253	248	241	259	270	294	317	396	394
ESA	550	542	564	557	589	572	578	581	602	648	636
EUMETSAT	72	69	63	53	64	61	48	41	34	39	43
Gesamt	885	871	879	858	894	892	896	916	953	1.083	1.073

⁶ BDLI 2009.

⁷ Siehe die ergänzenden Ausführungen zur Finanzierung im Anhang.

Bild 3: Öffentliche Raumfahrtbudgets inklusive militärische Anwendungen (Kreisfläche); pro Einwohner (Abszisse) und im Verhältnis zum Bruttoinlandsprodukt BIP (Ordinate) im Jahr 2009.⁸



> acatech empfiehlt

67% des globalen Weltraumgeschäfts wird inzwischen mit privaten Mitteln finanziert. In Deutschland sind es nur 32%, die zusammen mit den staatlichen Mitteln einen Umsatz von ca. 2 Mrd. € ergeben. Das Raumfahrtbudget des Bundes war in den Jahren 1991 bis 2006 unter Berücksichtigung der Inflation stetig rückläufig. Erst mit der High-tech-Initiative der Bundesregierung ist es seit 2007 wieder angestiegen - dies ist der richtige Weg, um international wieder den Anschluss zu finden. Dieser Trend muss langfristig inhaltlich und finanziell für strategische Teilbereiche verstetigt werden (z. B. Anwendungen und Technologien), damit Deutschland in weiten Bereichen in Forschung und Entwicklung zu vergleichbaren Ländern aufschließen und sein Potenzial in Wirtschaft, Wissenschaft und Dienstleistungen für die Gesellschaft voll ausschöpfen kann.

3.3 INTERNATIONALE REPRÄSENTANZ

Um sicherzustellen, dass Deutschland seine Rolle in Europa angemessen vertreten kann, muss sich Deutschland dafür einsetzen, dass durch ein gestärktes nationales Programm – als profilierter Bestandteil einer gesamteuropäischen Raumfahrtpolitik – deutsche Interessenlagen in Wirtschaft, Forschung und Politik nachhaltiger umgesetzt werden können.

Dazu zählt auch, dass Deutschland in den europäischen Institutionen wie ESA und EU und anderen internationalen Einrichtungen durch qualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf allen Ebenen, besonders jedoch in den Führungsebenen, angemessen vertreten und die notwendige politische Unterstützung gewährleistet werden muss. Dazu muss auch die Frage der Rückkehrmöglichkeit und Wieder-

⁸ ESPI 2010.

eingliederung von Mitarbeitern und Führungskräften aus internationalen Positionen in das nationale Umfeld geklärt werden.

Eine gezielte Werbung an Universitäten, in Forschungseinrichtungen und Unternehmen kann dazu dienen, geeignete Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu identifizieren und für die Übernahme einer derartigen Tätigkeit zu gewinnen. Die Bewerberinnen und Bewerber müssen auf die zu übernehmenden Aufgaben durch systematische Schulung gezielt vorbereitet werden. Hier kommt auch den Hochschulen und ihren Möglichkeiten in integrierten, internationalen Studiengängen eine wichtige Rolle zu.

> **acatech empfiehlt**

Zur Stärkung der internationalen Repräsentanz Deutschlands müssen vermehrte Anstrengungen zur gezielten Auswahl und Durchsetzung deutscher Kandidatinnen und Kandidaten getroffen werden. Dazu müssen neue Wege zur Förderung von Nachwuchs und eines Pools von Führungskräften für europäische Einrichtungen und Industrien begangen werden.

3.4 TECHNOLOGIETRANSFER

Wissen ist für ein rohstoffarmes Land wie Deutschland eine strategische Ressource. Wissenschaft und Forschung sind Grundlage technischer Innovationen und damit auch eine Quelle wirtschaftlicher Wertschöpfung. Es ist ein entscheidender Vorteil, mit Innovation und Wissen immer einen Schritt voraus zu sein, um im Wettbewerb mit dem Rest der Welt unsere Stellung behaupten zu können.

Wissenschaftliche und anwendungsbezogene Raumfahrt müssen dabei in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen. Gemeinsam werden sie zum Motor für die

Weiterentwicklung der Industrie- und Forschungsstrukturen und der Kompetenz in Schrittmacher- und Schlüsseltechnologien. Für den Technologietransfer aus der Raumfahrt in terrestrische Applikationen gibt es hierfür zahlreiche Beispiele (siehe Kapitel 1.3 „Ergebnisse der Raumfahrt“). Als Schlüsseltechnologie hat Raumfahrt darüber hinaus aber auch signifikante wirtschaftliche Effekte. Sie stellt häufig Infrastrukturen bereit, die neue Wertschöpfungsketten in anderen Wirtschaftssektoren, insbesondere bei nachgelagerten Mehrwertdiensten, erst möglich machen.

Entscheidend für die Realisierung innovativer Produkte und Technologien ist der gezielte Transfer von Forschungsergebnissen durch Partnerschaften zwischen öffentlicher Hand und dem privaten Sektor (PPP). Auch müssen neue Modelle der Finanzierung und des Betriebes von weltraumgestützter Infrastruktur erarbeitet und implementiert werden. Die deutsche Industrie steht hier vor der Herausforderung, sich mit kreativen und innovativen Ideen auch jenseits der einheimischen staatlichen Nachfrage neue Märkte zu erschließen.

> **acatech empfiehlt**

Neue Produkte und Dienstleistungen aus der Raumfahrt haben es wegen ihrer anfänglichen Kosten (kleine Stückzahlen) und ihres ausgeprägten Neuheitscharakters oft schwer, ohne Brückenfinanzierung in den Markt zu kommen. Daher ist Technologietransfer eine wichtige Aufgabe der Raumfahrtagenturen. Neue Möglichkeiten der Finanzierung des Übergangs von prototypischen Anwendungen auf den Markt durch PPP-Venture Capital Fonds sollten erprobt werden.

4 PROGRAMMATISCHE LEITLINIEN

4.1 ZUKÜNFTIGE SCHWERPUNKTE

Aus Sicht von acatech muss eine nationale Raumfahrtstrategie klare Festlegungen hinsichtlich der inhaltlichen Aspekte treffen und eine deutsche Prioritätensetzung eindeutig erkennen lassen. Aus den Gesprächen in nationalen und internationalen Foren zeichnen sich für acatech die folgenden zukünftigen Schwerpunkte der Raumfahrt ab:

- Hoheitliche Aufgaben, die zum Nutzen und zum Schutz der Bevölkerung wahrgenommen werden; hierzu gehören zivile und militärische Anwendungen im Bereich der Erdbeobachtung, der Sicherheit, des Umweltmonitoring und der Satellitennavigation,
- Dienstleistungen wie Satellitentelekommunikation oder abgeleitete Dienste in Erdbeobachtung, Navigation oder Sicherheit,
- Weltraumwissenschaft (Astrophysik, Erforschung des Sonnensystems, Geowissenschaften, Schwerelosigkeitsforschung),
- Weltraumexploration und
- der Zugang zum Weltraum, sowohl als hoheitliche Aufgabe (strategische Unabhängigkeit) sowie als Dienstleistung für Dritte.

Für Deutschland ist in der Gewichtung dieser Schwerpunkte zu unterscheiden zwischen

- Feldern, die als hoheitliche Aufgabe nur gemeinschaftlich im europäischen Rahmen abgedeckt werden können (wie z. B. Zugang zum Weltraum, Navigation, Sicherheit, etc.),
- Feldern, die auch sinnvolle eigenständige Missionen im nationalen Rahmen ermöglichen (wie z. B. Missionen im Umweltmonitoring oder den Weltraumwissenschaften) und

- Feldern, die keine eigenständigen nationalen oder europäischen Missionen zulassen, jedoch im internationalen Rahmen besondere technologische Beiträge Deutschlands ermöglichen (wie z. B. Weltraumwissenschaft, Weltraumexploration).

In vielen der genannten zukünftigen Schwerpunkte kann die deutsche Raumfahrt bereits heute außergewöhnliche Leistungen vorweisen. Eine nationale Raumfahrtstrategie muss hieran anknüpfen und klare Perspektiven aufzeigen, wenn verhindert werden soll, dass wichtige Kernbereiche und -kompetenzen wegbrechen und unwiderruflich verloren gehen, sollten diese nicht zeitnah mit entsprechenden Themenschwerpunkten neu besetzt werden. Daher müssen in der deutschen Raumfahrtstrategie folgende Fragen gestellt und beantwortet werden:

- Zugang zum Weltraum: Ein sicherer, unabhängiger und nachhaltiger Zugang zum Weltraum ist eine der Grundvoraussetzungen für ein eigenständiges Handeln der deutschen und europäischen Raumfahrt; dieser Grundgedanke wurde im EGAS-Programm (European Guaranteed Access) der ESA verankert. Derzeit gibt es in Deutschland und Europa eine Debatte über die Unterschiede zwischen einem „autonomen“, „eigenständigen“ oder „ungehinderten“ Zugang zum Weltraum. Europas Zugang zum All sollte autonom und weitgehend eigenständig sein.
- Trägertechnologien: In der Ariane 5 und ihrer derzeit begonnenen Weiterentwicklung liefern deutsche Fähigkeiten herausragende Beiträge (Oberstufentechnologie, Vinci-Triebwerk, Automated Transfer Vehicle/ATV) und machen Deutschland zu einem unverzichtbaren Partner dieses europäischen Programms. Mit einer Diskussion um neue Träger nach der Ariane 5 werden auch alternative Technologien verknüpft, wie z. B. günstigere, aber weniger flexible und weniger umweltfreundliche Fest-

stofftriebwerke. Welche Trägertechnologien knüpfen an deutsches Know-how an, werden als besonders zukunftsfähig angesehen und sollen besonders gefördert werden?

- Bemannte und robotische Exploration: Hier sind die beiden Bereiche „Infrastruktur für die Post-ISS-Phase für die Forschung unter Weltraumbedingungen“ und „Explorationsmissionen“ zu trennen. Im ersten Bereich geht es um die maximal mögliche Verlängerung der ISS-Nutzung, gefolgt von einer auf Kernmodule verkleinerten ISS (unter dem Vorbehalt einer technischen Realisierung) oder Entwicklung, Start und Betrieb einer autonomen kleinen Station (Man Tended Freeflyer/MTFF). Im Bereich „Explorationsmissionen“ sind die neu zu entwickelnden integrierten Zielsetzungen (sowohl wissenschaftlich-technologische als auch gesellschaftlich-kulturelle) als auch die erforderlichen Infrastrukturelemente und Subsysteme (wie neue kryogene und elektrische Antriebssysteme, kryogene Tanklager, Geospace Exploration Vehicles/GEV, bemannte Advanced Re-entry Vehicle/ARV, robotische Systeme, geschlossene Lebenserhaltungssysteme und weitere) zu adressieren.
Die Menschheit wird sich im Rahmen ihrer jeweiligen Möglichkeiten immer in der Exploration des Weltraums engagieren - ob mit oder ohne Deutschland. Anstelle einer Grundsatzdiskussion pro oder contra Weltraumexploration sollte die deutsche Raumfahrtstrategie die Bereiche herausarbeiten, in denen Deutschland Beiträge mit Alleinstellungsmerkmalen liefern kann.
- Militärische Raumfahrt: Im Jahr 2000 hat die Bundesregierung einen Einstieg in die militärische Nutzung des Weltraum beschlossen. Die Aktivitäten konzentrieren sich bislang im Wesentlichen auf den Sektor der hochauflösenden Radartechnologie, weiten sich aber zunehmend auf Telekommunikation und Erfassung der Weltraumlage aus. Wird die militärische Raumfahrt Teil einer integrierten deutschen oder europäischen „dual-

use“ Raumfahrtstrategie zur Erzielung institutioneller und kommerzieller Synergismen? Für diesen Fall sollte auch dieser Bereich vom Koordinator für Luft- und Raumfahrt der Bundesregierung abgedeckt werden und später in den vorgeschlagenen Staatssekretärsausschuss Eingang finden.

> acatech empfiehlt

Die deutsche Raumfahrtstrategie muss klare Festlegungen treffen hinsichtlich der inhaltlichen Aspekte zukünftiger Schwerpunkte bei Anwendungen, Weltraumwissenschaften, Infrastrukturprogrammen und Technologien und eine deutsche Prioritätensetzung klar erkennen lassen. acatech empfiehlt darüber hinaus, in einem breiten Diskurs aller Beteiligten zu folgenden als vordringlich angesehene Grundsatzfragen eine Klärung herbeizuführen: Bedeutung eines autonomen und garantierten Zugangs zum Weltraum für Deutschland, Fortführung bestehender oder Entwicklung neuer Trägertechnologien, Zukunft der bemannten und robotischen Exploration im Rahmen der ISS und darüber hinaus und für weitere Ziele im Rahmen eines internationalen Programms. Diese Klärung sollte auch die militärische Raumfahrt einschließen, falls sie Teil einer integrierten deutschen oder europäischen „dual-use“ Raumfahrtstrategie werden sollte.

4.2 STRATEGISCHE KERNBEREICHE

Im Rahmen der deutschen Raumfahrtpolitik müssen die ausgewählten strategischen Kernbereiche im nationalen Strategieplan klar definiert und fest verankert sein. Ferner müssen diese Kernbereiche langfristig angelegt sein - mindestens zehn Jahre -, um Planungssicherheit und reelle Erfolgsaussichten für alle Beteiligten zu gewährleisten.

Die strategischen Kernbereiche müssen von allen Beteiligten in Politik (Bund und Länder), Forschung und Industrie gemeinsam getragen, gestärkt und weiterentwickelt werden. Zudem sollten sie nach Möglichkeit mit ESA/EU und wesentlichen europäischen Partnern (Frankreich, Italien u. a.) abgestimmt sein, um Doppelarbeit oder gar Technologielücken zu vermeiden. Ferner sollten sowohl die finanzielle Ausstattung als auch mögliche Förderbedingungen für Forschung, Technologie und Anwendung für die Industrie transparent kommuniziert und langfristig vereinbart werden.

Die strategischen Kernbereiche müssen die strategischen Ziele für das nationale Programm sowie die Beteiligungen am europäischen Programm und die internationalen Kooperationen unterstützen. Von besonderer Bedeutung sind hierbei insbesondere der Erhalt und weitere Ausbau von Systemfähigkeiten der deutschen Raumfahrtakteure sowie die rechtzeitige Bereitstellung kritischer Technologien in ausgewählten Gebieten:

- Das Beherrschen der **Systemfähigkeit** für Raumfahrtmissionen in allen Bereichen, wie Raumtransport, Satellitentechnik, orbitale Infrastruktur, Anwendungsmissionen sowie die dazugehörigen Bodensegmente sind notwendige Voraussetzung für Erfolge bei nationalen Missionen sowie für hochklassige deutsche Beteiligung an europäischen und internationalen Missionen und deren Umsetzung. Offensichtlich ist aber auch, dass Deutschland hier erheblichen Nachholbedarf hat und konzertierte Anstrengungen in Forschung (z. B. beim neugegründeten DLR-Institut für Raumfahrtsysteme) und Industrie unternehmen muss, um breite Systemfähigkeit zu erhalten oder wiederzuerlangen. Die Übernahme von Schlüsselaufgaben wie die Durchführung von Systemanalysen/Systemstudien für potenzielle zukünftige Missionen zur frühzeitigen Vorbereitung

nationaler Positionen und Prioritätensetzung im europäischen und internationalen Rahmen sind dafür unabdingbar. Ein langfristig angelegtes und ausreichend dotiertes Systemstudienprogramm ist hierzu unerlässlich. Vorbereitende Entwicklungsaktivitäten für zukünftig erwartbare Missionen mit Priorität für Deutschland – insbesondere auf dem Gebiet der Anwendungen bei Telekommunikation, Erdbeobachtung, Navigation sowie Sicherheit (Definition, Technologieentwicklung, Nutzungskonzepte) – sollten im Fokus einer deutschen Raumfahrtpolitik stehen.

- **Weltraumwissenschaften**, einschließlich Forschung unter Weltraumbedingungen, sind von jeher ein Schwerpunkt des deutschen Raumfahrtprogramms und der europäischen und internationalen Kooperation gewesen. Sie sollten in bisherigem Umfang gefördert und an Betracht der begrenzten Lebensdauer der ISS kurzfristig eher verstärkt werden. Bei Missionen der Weltraumwissenschaften ist aufgrund der langen ESA-Zyklen von 20 Jahren und mehr eine Beteiligung an Missionen anderer Nationen unterstützenswert. Gezielte Missionsvorbereitungen wie auch die Bereitstellung von Nutzlasten im ESA-Wissenschaftsprogramm – für die Nutzung auf der ISS, aber auch für zukünftige Explorationsmissionen – müssen ein wesentliches Element des nationalen Programms bleiben und weiter intensiviert werden.
- Die **Vorentwicklung kritischer Technologien** auf den Sektoren Erdbeobachtung (Radartechnik), fortschrittliche Werkstoffe und Bauweisen (Faserverbund), Robotik und Servicing, Antriebe, sowie sicherheitsrelevante Technologien sind weitere mögliche nationale Schwerpunkte. Die offenen Fragen hinsichtlich der Zukunft der bemannten Raumfahrt nach der ISS müssen national, europäisch und international geklärt werden. Dazu wird eine breite gesellschaftliche Diskussion vorgeschlagen.

Parallel sollten Missions- und Systemstudien zur Entwicklung der Explorationsziele und von kritischen Technologien durchgeführt werden, um mögliche Pfade und europäische Interessen im Rahmen eines internationalen Programms zu identifizieren.

Eine endgültige Festlegung sollte anhand der gesetzten strategischen Ziele erfolgen. Eine regelmäßige Überprüfung der Technologieentwicklungen sowie eine breit angelegte Analyse von Technologietrends erscheinen unverzichtbar.

> **acatech empfiehlt**

Das Beherrschen der Systemfähigkeit für Raumfahrtmissionen, die Weltraumwissenschaften, einschließlich der Forschung unter Weltraumbedingungen sowie die Vorentwicklung kritischer Technologien sind strategische Kernbereiche für eine tragende Rolle Deutschlands in der europäischen und internationalen Raumfahrt. Sie müssen in einer nationalen Raumfahrtstrategie klar identifiziert und langfristig angelegt sein - mindestens zehn Jahre -, um Planungssicherheit und reelle Erfolgsaussichten für alle Beteiligten zu gewährleisten. In welchem Umfang und mit welchen Inhalten strategisch wichtige Kernbereiche der Exploration mit Astronauten weiterhin gefördert werden, ist eine offene Frage und sollte im Rahmen der nationalen Raumfahrtstrategie Beachtung finden.

ÖFFENTLICHE INVESTITIONEN IN DIE RAUMFAHRT: DEUTSCHLAND IM INTERNATIONALEN VERGLEICH (ERGÄNZUNG ZUM KAPITEL 3.2 FINANZIERUNG)

Der Luft- und Raumfahrtbereich ist als Industriebranche relativ klein. Nach Angaben der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) erbringt sie in den G7-Ländern weniger als 4% der Wertschöpfung im Produktionsbereich und weniger als 0,6% in der Gesamtwirtschaft. Die Dominanz der USA ist leicht rückläufig, aber immer noch offensichtlich. Bezogen auf den gesamten Produktionsbereich entfielen auf die USA unter den G7-Ländern 1991 ca. 70%, 1997 noch 61% und heute immer noch um die 50%.

Die Steigerung des globalen Umsatzes der Satellitenindustrie in den Jahren 2005 bis 2009 ist in Tabelle A.1 dargestellt. Trotz weltweiter Wirtschaftskrise im Jahr 2009 konnte die Raumfahrtindustrie einen stetigen Zuwachs sowohl am kommerziellen wie auch institutionellen Markt aufweisen; dieser Zuwachs über die vorangehenden vier Jahre beläuft sich auf 34%. In den Kategorien Satelliten/Nutzlasten und Raketen/Transport stagnierte der Umsatz weitgehend. Dafür stieg das Geschäft bei Betriebs- und Bodensegmenten und darauf basierenden Dienstleistungen stark an, wobei in den ersten beiden Kategorien mit je etwa gleichen Anteilen an öffentlicher und privater Finanzierung deutlich weniger verdient wird als im Dienstleistungsgeschäft, das von privaten Investoren bestimmt wird.

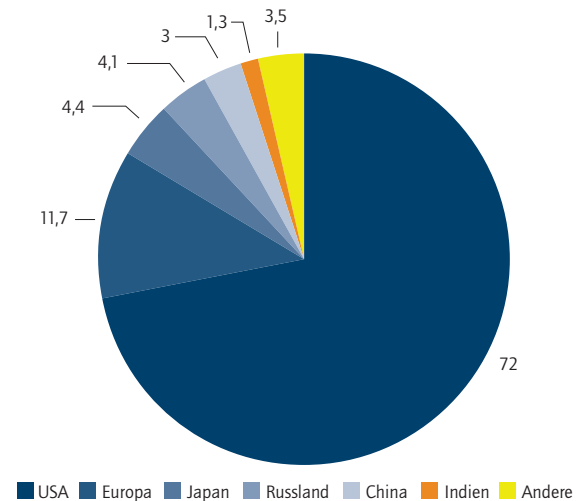
Tabelle A.1: Globaler Umsatz der Raumfahrt im Vergleich (Angaben in Mrd. \$). Trotz der Zunahme der staatlichen Mittel dominiert der Einsatz privater Mittel für kommerzielle Satelliten-Dienste (Space Foundation 2010)

	2005	2006	2007	2008	2009
kommerzielle Infrastruktur	28,70	33,12	34,35	81,97	83,63
Infrastruktur-Industrie	1,04	1,02	0,70	1,14	1,15
kommerzielle Satellitendienste	95,91	117,26	138,83	91,00	90,58
kommerzielle Raumtransport-Dienste	0,03	0,03	0,03	0,04	0,08
U.S. staatl. Budget (zivil und mil.)	57,57	60,83	62,55	66,63	64,42
globales staatl. Budget ohne USA	12,39	13,15	14,70	16,44	21,75
Gesamt	195,64	225,41	251,16	257,22	261,61

Aktuellen Analysen von Euroconsult, Paris, zufolge nahmen die Budgets der 55 zivilen Raumfahrtagenturen im Jahr 2009 um 9% gegenüber dem Vorjahr zu und summierten sich auf 36 Mrd. \$. In derselben Zeit wuchsen die Mittel des militärischen Raumfahrtsektors um 12% auf insgesamt 32 Mrd. \$. Die Unterscheidung zwischen zivilen und militärischen Aufwendungen ist vielfach jedoch nicht trennscharf; dies gilt vor allem in Ländern, in denen militärisches Personal für zivile Aufgaben eingesetzt oder bei dualen Anwendungen gleichzeitig ziviles und militärisches Personal beschäftigt wird. Mit erheblichen Unsicherheiten ist zudem die monetäre Bewertung der Arbeitsleistung einer Luft- und Raumfahrt-Ingenieurin bzw. eines Ingenieurs z. B. in Europa, Russland, China oder Indien behaftet. Bei der Analyse der weltweiten staatlichen Raumfahrtausgaben fällt das Ergebnis jedoch eindeutig aus: Hier dominieren die USA mit einem Gesamtbudget von 48,8 Mrd. \$ im Jahr 2009, dies entspricht (von Euroconsult) geschätzt etwa 72% der weltweiten staatlichen Raumfahrtausgaben. Europa mit ESA und seinen 18 Mitgliedsstaaten (7,9 Mrd. \$), Japan (3,0 Mrd. \$), Russland (2,8 Mrd. \$), China (2,0 Mrd. \$) und Indien (0,96 Mrd. \$) sowie übrige Staaten (mit zusammen 2,4 Mrd. \$) folgen.¹ Bild A.1 stellt die prozentuale Verteilung des institutionellen Marktes von 68 Mrd. \$ des Jahres 2009 dar.

Bei den militärischen Aufwendungen konzentrierten sich im Jahr 2008 95% des global verfügbaren Budgets auf die USA, gefolgt von Frankreich mit 2,6% (601 Mio. €) und Deutschland mit geschätzten 120-150 Mio. €. Die gesamten europäischen militärischen Aufwendungen umfassen 3,5% des global verfügbaren Budgets.

Bild A.1: Verfügbare staatliche Budgets in Relation zu den weltweiten staatlichen Raumfahrtausgaben (Angaben in Prozent)



Es ist nach wie vor schwierig, Zahlen der Föderalen Russischen Raumfahrtbehörde FKA (bis 2004 Rosaviakosmos genannt) vergleichenden ökonomischen Betrachtungen zu unterziehen. Beträchtliche Einschnitte in den frühen 90er Jahren stabilisierten das Budget erst ab 1995 auf einem absoluten Minimum. Erst ab 2004 ist wieder eine deutliche Zunahme zu verzeichnen, gemessen am westlichen Maßstab auf ca. 2,8 Mrd. \$. China und Indien sind aufstrebende Raumfahrtmächte mit ehrgeizigen Programmen und stetig steigenden Budgets, die denjenigen von Europa und Japan immer näher kommen.

¹ Geschätzte Budgets der verfügbaren staatlichen Mittel der 55 größten Raumfahrtagenturen im Jahr 2009 (Space News March 1, 2010). Der Unterschied zur Schätzung der US Space Foundation (mit total 86,17 Mrd. \$ im Jahr 2009, s. Space Foundation 2009 und 2010) lässt sich dadurch erklären, dass hauptsächlich in den USA andere als die traditionellen Zuwendungsgeber (NASA, Department of Defense) und deren Budgets addiert worden sind. So gaben allein das NRO (National Reconnaissance Office) und die NGA (National Geospatial Intelligence Agency) im Jahr 2008 zusammen 13 Mrd. \$ für Satellitendienste aus. Hinzu kommen noch zivile Umwelt- und Verkehrsministerien sowie internationale und wissenschaftliche Organisationen.

Zum weiteren Vergleich sei erwähnt, dass nach einer Schätzung der International Telecommunication Union² auf dem Telekommunikationsmarkt weltweit etwa 1.400 Mrd. \$ im Jahr 2003 umgesetzt wurden, 78% für Dienstleistungen und 22% für Ausrüstung. Der Satellitenbereich im Telekommunikationsgeschäft machte damals 7% aus; heute wird er auf ca. 10% geschätzt. Die Dynamik des kommerziellen Raumfahrtgeschäfts für direkt verteilte Fernseh-Rundfunk-Programme, für Telekommunikation, Navigation und Erdbeobachtung nahm seither stark zu. Aktualisierte Daten liegen nicht vor.

Entsprechend der Untersuchung der Euroconsult geben die wichtigsten Raumfahrt betreibenden Staaten jährlich ca. 30 Mrd. € allein für die Raumfahrt-Infrastruktur aus. Zu diesen staatlichen Mitteln kommen noch Aufwendungen für Aufbau und Betrieb der Internationalen Raumstation ISS (ca. 4 Mrd. \$/Jahr plus 1 Mrd. \$ pro Shuttleflug) und öffentliche Ausgaben für Forschungslaboratorien, Simulations- und Kontrollzentren, Raumfahrtagenturen etc. hinzu. Es handelt sich im Wesentlichen um „öffentliche“ Mittel, von denen der ganz überwiegende Anteil den USA zuzuordnen ist, gefolgt von Europa, Japan und Russland. Es zeichnen sich folgende Entwicklungen ab: Allen voran wird Japan aufgrund der Empfehlung einer durch den Präsidenten geleiteten Kommission eine Verdoppelung seiner staatlichen Mittel innerhalb der kommenden zehn Jahre vornehmen. Länder wie China, Indien, Brasilien und Südkorea haben eine Verstärkung ihrer Investitionen in Raumfahrt angekündigt. Bei internationalen Forschungs-, Erdbeobachtungs- und Explorationsprogrammen werden die Staaten zunehmend zusammenarbeiten; hierzu ist das ISS-Programm ein wichtiger Indikator. Bei kommerziellen und sicherheitsrelevanten Unternehmungen ist jedoch von einer Intensivierung des Wettbewerbs der Staaten und Industrien untereinander auszugehen.

Es besteht kein Zweifel, dass sich das gegenwärtige Verhältnis von staatlichen zu industriellen Aufwendungen aus Gründen des ständig steigenden Marktes und eines enormen Wertschöpfungszuwachses bei Anwendungen wie Telekommunikation, Navigation, direkt verteilende Fernseh-Rundfunk, Mobilfunk- und Umweltbeobachtungs-Satelliten sowie Raumtransportsystemen (zunächst noch ausschließlich Raketen) zu Gunsten der marktwirtschaftlich motivierten Zielsetzungen verschieben wird. Dies gilt auch für den Fall gleich bleibender oder abnehmender staatlicher Mittel, was in Deutschland bis zum Jahr 2007 der Fall war. Insgesamt weisen die inflationsbereinigten Budgets auf eine stete Abnahme der staatlichen Mittel für Raumfahrt hin.

Weltweit sind geschätzt 300.000 Menschen in der Raumfahrtindustrie tätig, davon die Hälfte in den USA und ca. 33.000 in Europa. Ungefähr die Hälfte aller Beschäftigten arbeitet in der Produktion von Satelliten, ca. 90.000 Menschen produzieren Raumtransportsysteme und Bodenausrüstungen.

Die deutsche Raumfahrtindustrie finanziert sich mit einer vergleichsweise hohen Anzahl an kommerziell ausgerichteten Projekten, welche einen Geschäftsanteil von knapp 50% ausmachen. Insgesamt beschäftigte die Branche 1999 zusammen 6.100 Personen, 2004 abnehmend noch 5.000 Personen und setzte etwa 1,5 Mrd. € um. Im Jahr 2009 waren es 6.200 Beschäftigte, der Umsatz belief sich auf 2,0 Mrd. €. Dies entspricht ca. einem Drittel des europäischen und 1,2% des globalen Umsatzes. Die Beschäftigten in der deutschen Raumfahrtindustrie verteilen sich regional wie folgt: 2.700 in Baden-Württemberg (z. B. Astrium, Tesat, Thales, SpaceTech, vH&S, ND SatCom und zahlreiche KMU), 1.700 in Bayern (z. B. Astrium, MT Aerospace, Kayser-Threde und zahlreiche KMU) sowie 1.500 in Bremen (z. B. Astrium, OHB, KMU). Die Industriestruktur lässt sich

² ITU (2004).

wie folgt charakterisieren: Zwei großen Systemanbietern (Astrium, OHB) stehen etwa 80 auf Raumfahrt konzentrierte KMU und etwa 200 bis 300 Firmen mit kleinem Geschäftsfeld im Raumfahrtbereich gegenüber.

Nach der Euroconsult-Studie zeigt sich ferner, dass der Staat seine fördernde Hand im Raumfahrtbereich trotz zunehmender Kommerzialisierung nicht zurückziehen darf. Die Dominanz der USA etwa in der Satellitentechnik ist hauptsächlich auf Vorleistungen des Staates zurückzuführen. Setzt man die gesamten staatlichen (zivilen und militärischen) Raumfahrtausgaben ins Verhältnis zum Bruttoinlandsprodukt (BIP), so ergeben sich die in Bild 3 (siehe Kapitel 3.2 „Finanzierung“) dargestellten Verhältnisse.

Trotz der großen Differenz zwischen den in die Raumfahrt investierten Prozentzahlen des BIP in den USA im Vergleich zu Europa und Japan erkennen die Analysten, dass sich diese Differenz vor allem im zivilen Raumfahrtgeschäft tendenziell verringert. Die staatlichen Raumfahrtzuwendungen stehen offenbar weit weniger mit dem BIP-Potenzial im Zusammenhang als um so mehr mit dem wirtschaftlichen Erfolg und den entsprechenden Weltmarktanteilen. Dieses macht vor allem eins deutlich: Technologien zum Aufbau einer Raumfahrtinfrastruktur in Wirtschaft und Forschung sowie in den entsprechenden Möglichkeiten der Nutzung durch Staat und Wirtschaft sind wirtschaftlich äußerst lohnenswert.

LITERATURVERZEICHNIS

Datum des letzten Zugriffs aller aufgeführten Internetquellen: 20. Oktober 2010

Bayerisches Staatsministerium 2009

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie: *Vision einer starken und zukunftsfähigen deutschen Raumfahrt*, August 2009, URL: <http://www.verwaltung.bayern.de/Anlage3995936/VisioneinerstarkenundzukunftsaehigendeutschenRaumfahrt.pdf>.

BDLI 2009

Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (Hrsg.): Branchendaten der Luft- und Raumfahrtindustrie, 2009, URL: http://www.bdli.de/images/stories/brochures/BDLI_Branchendaten.pdf.

BMWi 2009

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): *Bericht des Koordinators für die Deutsche Luft- und Raumfahrt*, August 2009, URL: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/B/bericht-koordinator-luft-raumfahrt,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>.

BUSH 2004

Bush, G. W. (US President): *The Vision for Space Exploration*, NASA Special Publication NP-2004-01-334-HQ, February 2004, URL: <http://www.nasa.gov>.

DLR 2010

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (Hrsg.): *Konzept für eine deutsche Raumfahrtstrategie 2010*, Köln, März 2010.

ESA 2003a

European Space Agency (Ed.): *Aurora/Explorations Studies*, 2003, URL: <http://www.esa.int/SPECIALS/Aurora/>.

ESA 2003b

European Space Agency (Ed.): *Moon: the 8th continent*, Human Spaceflight Vision Group on "Human Spaceflight 2025", 2003, URL: http://esamultimedia.esa.int/docs/exploration/StakeholderConsultations/Moon_The_8th_Continent.pdf.

ESA 2005

European Space Agency (Ed.): *The Future of European Space Exploration – Towards a European Long-term Strategy*, Executive Summary, December 2005, URL: http://esamultimedia.esa.int/docs/exploration/StakeholderConsultations/LongTerm_Strategy_Executive_Summary.pdf.

ESA 2007

European Space Agency (Ed.): *European Objectives and Interests in Space Exploration*, International Space Exploration Conference Berlin, November 2007, URL: http://esamultimedia.esa.int/docs/exploration/Events/ISEC_Berlin_Executive_Summary.pdf.

ESPI 2010

European Space Policy Institute (Eds.): *Space Policies, Issues and Trends in 2009/2010*, European Space Policy Institute, June 2010, URL: http://www.espi.or.at/images/stories/dokumente/studies/espi%20report%2023_1.pdf.

Feuerbacher 2005

Feuerbacher, B., Stoewer, H. (Eds.): *Utilization of Space -Today and Tomorrow*, Springer Berlin, Heidelberg, New York, 2005.

Feuerbacher 2007

Feuerbacher, B., Messerschmid, E.: *Vom All in den Alltag - Der Weltraum als Labor und Marktplatz*, Motorbuchverlag Stuttgart, 2007.

Forschungsunion 2009

Forschungsunion Wirtschaft - Wissenschaft (Hrsg.): *Woher das neue Wachstum kommt. Innovationspolitische Impulse für ein starkes Deutschland in der Welt*, 2009, URL: http://www.forschungsunion.de/pdf/forschungsunion_empfehlungen_2009.pdf.

Hobe 2006

Hobe, S. et al.: Forschungsbericht ESA-EU: *Rechtliche Rahmenbedingungen einer zukünftigen kohärenten Struktur der europäischen Raumfahrt*, Lit Verlag, Berlin 2006.

IAA 2004

Huntress, W. T. et al.: *A Cosmic Study by the International Academy of Astronautics: The Next Steps in Exploring Deep Space*, July 2004, URL: <http://iaaweb.org/iaa/Studies/nextsteps.pdf>.

IAA 2006

Contant-Jorgenson, C. et al.: Cosmic Study on Space Traffic Management by the International Academy of Astronautics, Paris 2006, URL: <http://iaaweb.org/iaa/Studies/spacetraffic.pdf>

Länder 2010

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg; Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie; Senator für Wirtschaft und Häfen der Freien Hansestadt Bremen: *Leitlinien für die Zukunft der Raumfahrt in Deutschland*, Oktober 2010.

MIT 2008

Massachusetts Institute of Technology (Ed.): *The Future of Human Spaceflight, Space, Policy, and Society* Research Group of the Massachusetts Institute of Technology, December 2008, URL: <http://web.mit.edu/mitsps/MITFutureofHumanSpaceflight.pdf>.

NASA 2005

National Aeronautics and Space Administration (Ed.): *NASA's Exploration Systems Architecture Study (ESAS-01)*, Final Report NASA-TM-2005-214062, November 2005, URL: http://www.nasa.gov/exploration/news/ESAS_report.html.

NASA 2009

National Aeronautics and Space Administration (Ed.): Augustine Report 2009: *Seeking a Human Spaceflight Program worthy of a great Nation*, Review of U.S. Human Spaceflight Plans Committee, URL: www.nasa.gov/pdf/396093main_HSF_Cmte_FinalReport.pdf.

National Air and Space Academy 2007

Académie de l'Air et de l'Espace/National Air and Space Academy (Ed.): *The Role of Europe in Space Exploration*, Report of the Exploration Working Group of the Space Commission of the Air and Space Academy, December 2007, URL: <http://www.academie-air-espace.com/publi/newDetail.php?varID=146>.

Obama 2010

Obama, B.H. (US President): *Remarks by the President on Space Exploration in the 21st Century*, April 2010, URL: http://www.nasa.gov/news/media/trans/obama_ksc_trans.html.

SIA 2010

Satellite Industry Association (Ed.): *State of the Satellite Industry Report*, June 2010, URL: http://www.sia.org/news_events/pressreleases/2010StateofSatelliteIndustryReport%28Final%29.pdf.

Space Foundation 2010

Space Foundation (Ed.): *The Space Report 2010*, The Authoritative Guide to Global Space Activity, 2010, URL: <http://www.thespacereport.org>.

Spektrum 2010

Diverse Autoren; Spektrum custom publishing, Space Channel, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Hrsg.): *Spektrum der Wissenschaft EXTRA: Schwerelos - Europa forscht im Weltall*. Spektrum custom publishing, 2010, Inhaltsverzeichnis unter URL: http://www.dlr.de/rd/Portaldata/28/Resourcesvdokumente/Schwerelos_Summary.pdf.

StaBu 2008

Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Studierende an Hochschulen - Wintersemester 2009/2010 - Fachserie 11 Reihe 4.1 - 2010, URL: <https://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur,vollanzeige.csp&ID=1026230>

> BISHIER SIND IN DER REIHE „acatech BEZIEHT POSITION“ FOLGENDE BÄNDE
ERSCHIENEN:

acatech (Hrsg.): *Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann. Status Quo - Herausforderungen – Offene Fragen.* (acatech bezieht Position, Nr. 6), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2010.

acatech (Hrsg.): *Intelligente Objekte – klein, vernetzt, sensitiv* (acatech bezieht Position, Nr. 5), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2009.

acatech (Hrsg.): *Strategie zur Förderung des Nachwuchses in Technik und Naturwissenschaft. Handlungsempfehlungen für die Gegenwart, Forschungsbedarf für die Zukunft* (acatech bezieht Position, Nr. 4), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2009.

acatech (Hrsg.): *Materialwissenschaften und Werkstofftechnik in Deutschland. Empfehlungen zu Profilbildung, Forschung und Lehre* (acatech bezieht Position, Nr. 3), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008.

acatech (Hrsg.): *Innovationskraft der Gesundheitstechnologien* (acatech bezieht Position, Nr. 2), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2007.

acatech (Hrsg.): *RFID wird erwachsen. Deutschland sollte die Potenziale der elektronischen Identifikation nutzen* (acatech bezieht Position, Nr. 1), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2006.

> **acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN**

acatech vertritt die Interessen der deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat es sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu erleichtern und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um die Akzeptanz des technischen Fortschritts in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft deutlich zu machen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten aus Industrie, Wissenschaft und Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland; das Präsidium, das von den Akademiemitgliedern und vom Senat bestimmt wird, lenkt die Arbeit. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin vertreten

Weitere Informationen unter www.acatech.de

> **DIE REIHE „acatech BEZIEHT POSITION“**

in der Reihe „acatech bezieht Position“ erscheinen Stellungnahmen der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften zu aktuellen technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Themen. Die Veröffentlichungen enthalten Empfehlungen für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Die Stellungnahmen werden von acatech Mitgliedern und weiteren Experten erarbeitet und dann von acatech autorisiert und herausgegeben.