

Stephan Bröchler
Georg Simonis
Karsten Sundermann
(Hg.)

Handbuch Technikfolgen- abschätzung

Band 3



Berlin 1999

Raumfahrt als Gegenstand der Technikfolgenabschätzung

HdbTA

Johannes Weyer

Der Aufbruch ins Weltall – ohne TA

Am 26. Mai 1943 fand in Peenemünde ein Vergleichsschießen statt, bei dem die Leistungsfähigkeit der beiden Raketenwaffen überprüft werden sollte, die seit 1937 im Auftrag des Nazi-Regimes entwickelt wurden. Es wurden getestet:

- Die Flugbombe Fi 103, ein unbemanntes, flugzeugähnliches Gerät, das einen Sprengkopf von ca. einer Tonne über eine Distanz von ca. 250 km transportieren konnte. Die V 1, wie sie später genannt wurde, war langsam, laut und von der gegnerischen Luftabwehr leicht abzufangen; aber sie war recht preiswert.
- Die A 4 (die spätere V 2), eine ballistische Rakete, die einen Sprengkopf von ebenfalls einer Tonne über die gleiche Distanz wie die V 1 schicken konnte. Aufgrund der hohen Fluggeschwindigkeiten gab es gegen die V 2 keine Abwehrmöglichkeiten; die Entwicklung und Produktion der technisch fortgeschrittenen Rakete war jedoch erheblich teurer.

Die V 1 war im Auftrag der Luftwaffe konstruiert worden; die V 2 hingegen war ein Produkt des Heeres, das seine Entstehung insbesondere Wernher von Braun verdankt, der als Entwicklungschef in Peenemünde tätig war (vgl. Neufeld 1997; Weyer 1999). Unter den Augen hoher Militärs fanden am 26. Mai je zwei Starts statt, wobei die beiden V-2-Raketen zufriedenstellend funktionierten, die beiden V-1-Flugbomben hingegen versagten. Die mit der Auswertung der Versuche beauftragte Kommission entschied daraufhin dennoch, die Entwicklung beider Waffensysteme mit hohem Nachdruck weiterzuverfolgen, deren Einsatz gegen London und Paris dann Mitte 1944 begann.

Eine unabhängige Bewertung der beiden V-Waffen hätte zur Einstellung beider Programme führen müssen; denn ihr militärischer Wert war mehr als zweifelhaft. Aufgrund der geringen Zielgenauigkeit eigneten sie sich nur zum Einsatz gegen großflächige Ziele, mithin also als Terrorwaffen gegen die Zivilbevölkerung. Trotzdem war ihr Effekt mit weniger als 10.000 Toten – so beklagenswert diese Zahl ist – vergleichsweise gering; zieht man zum Vergleich heran, daß bei einem einzigen alliierten Bombenangriff auf deutsche Städte Zehntausende von Menschen starben, so hätte Nazi-Deutschland unter 'Effektivitäts-

gesichtspunkten' – wenn das Wort in diesem Kontext überhaupt zulässig ist – die Milliarden, die es in die Raketenentwicklung gesteckt hat, also sinnvoller in Bomber bzw. in Luftabwehrsysteme (Jäger, Flak etc.) investiert. Daß dies nicht geschah, hing mit der Konkurrenz der Waffengattungen, vor allem aber mit den Interessen mächtiger Akteure zusammen, die verhinderten, daß eine objektive Technikbewertung im Sinne einer militärischen Kosten/Nutzen-Analyse durchgeführt wurde.

Die Geburtsstunde der Raumfahrt in der nazi-deutschen Raketenwaffenforschung markiert also zugleich den Beginn einer schwierigen Beziehung von Raumfahrt-/Raketentechnik und Technikfolgenabschätzung. Es mag wenig verwundern, daß das Nazi-Regime keinen unabhängigen Prozeß der Technikbewertung initiierte; aber daß man sich außerstande zeigte, den Wert von Waffensystemen in vergleichender Perspektive zu beurteilen, ist schon ein bemerkenswertes Faktum. Doch dieser Mangel an Rationalität blieb auch in der Folgezeit ein prägendes Charakteristikum der Raumfahrt: Bis heute ist es in allen Raumfahrtnationen gängige Praxis, Technikfolgenabschätzung auf ein symbolisches Ritual zu reduzieren. Die einseitige Fixierung auf Hochtechnologien und das damit verbundene Prestige, die Nicht-Berücksichtigung von Folgewirkungen sowie die geringe Bereitschaft, die Kosten gegen den Nutzen (des betreffenden Projekts sowie denkbarer Alternativen) abzuwägen, sind konstitutive Merkmale nahezu aller Raumfahrtprojekte seit der V 2 gewesen. Nur in einigen Fällen ist eine reaktive (d.h. von bereits eingetretenen Problemen induzierte) TA und in ganz wenigen Ausnahmefällen gar eine prospektive (d.h. der Technikentwicklung vorangehende) TA durchgeführt worden.

Projekte wie die internationale Raumstation, deren Bau 1998 beginnen und 2003 abgeschlossen sein soll und deren Kosten mindestens 50 Mrd. \$ betragen sollen, werden geplant und realisiert, ohne daß eine unabhängige Begutachtung und Bewertung der Potentiale und Risiken stattgefunden hat. Eine Begleitforschung ist ebenfalls nicht vorgesehen. Auch bei Satellitensystemen für den globalen Mobilfunk entwickelt sich gegenwärtig ein unglaublicher Wildwuchs, ähnlich wie zuvor bei den Fernseh-Satelliten – und das, obwohl problematische Folgewirkungen klar erkennbar sind und ein Regulierungsbedarf unabweisbar ist. Die Mega-Projekte einer autonomen bemannten Raumfahrt, welche die (west-)europäische Raumfahrtorganisation ESA in den 80er Jahren plante, wurden gleichfalls ohne Technikfolgenabschätzung betrieben; lediglich eine kleine Schar von Experten hat unermüdlich auf die Risiken und die programmatischen Inkonsistenzen der damals verfolgten Projekte hingewiesen (vgl. u.a. Memorandum 1987; Krupp/Weyer 1988; DPG 1990; Das Projekt Schwarzes Loch 1990). Durch eine rechtzeitige Einbeziehung unabhängiger Gutachter hätten sich etliche der mittlerweile eingetretenen Fehlschläge vermeiden lassen, was zeigt, wie wichtig und unentbehrlich Technikfolgenabschätzung ist. Denn eine sorgfältige Analyse von Wirkungen und Nebenwirkungen neuer Technologien kann dazu beitragen, Fehlplanungen zu vermeiden und tragfähige Zukunftsstrategien zu

entwickeln. Eine derartige, langfristig orientierte Vorgehensweise steht allerdings in einem gewissen Spannungsverhältnis zum politischen Charakter von Raumfahrtprojekten, die oftmals Spielball kurzfristiger politischer Interessen sind und nach Ad-hoc-Kriterien gestaltet werden. Wenn keine klaren und konsistenten Ziele existieren, ist eine TA im Sinne einer Analyse von Zweck-Mittel-Relationen jedoch ausgesprochen problematisch. Im Falle der Internationalen Raumstation ist beispielsweise die Programmatik diffus, die Begründungsmuster und Kooperationsstrategien wechseln häufig, Nutzungsszenarien existieren nicht, und der einzige Fixpunkt scheint der Bau der Hardware zu sein, der immer mehr zum Selbstzweck wird. Wenn Projekte in einem derart spekulativen Zustand sind, gibt es wenig Ansatzpunkte für eine solide Raumfahrt-TA.

Dieses offenkundige Defizit der Raumfahrt-TA wird verständlich, wenn man sich die Genese der Raumfahrtprogramme der beiden großen Raumfahrtnationen USA und UdSSR in Erinnerung ruft: In beiden Ländern fungierte die Raumfahrt von Beginn an als Instrument eines mit symbolischen Mitteln geführten Wettlaufs um die Vorherrschaft in der Welt; zudem spielten staatsnahe Sektoren wie die Raumfahrt, aber auch die Kernenergie eine wichtige Rolle bei der Konstitution des neuen Politikfeldes „Wissenschafts- und Technologiepolitik“. Interventionistische Eingriffe in die Autonomie der Wissenschaft waren – zumindest in marktwirtschaftlich-demokratischen Staaten wie den USA – nur über Ausnahme-Situationen legitimierbar, die eine Mobilisierung aller Ressourcen für den Ernstfall zwingend erscheinen ließen. Staatliche Großtechnikprojekte wie das Manhattan- oder später das Apollo-Projekt waren die Einfallstore, über die die Zentralregierung sich Kompetenzen in der Wissenschaftsplanung und der Techniksteuerung aneignete und so die Institutionalisierung eines neuen Politikfeldes vorantrieb. Dieser Prozeß ließ sich nicht nur in den USA, sondern auch – mit einer gewissen Verzögerung – in der Bundesrepublik beobachten (vgl. McDougall 1985; Weyer 1993a).

Die Raumfahrt war also ein Experimentierfeld für die politische Steuerung von Wissenschaft und Technik; sie funktionierte primär nach einer (macht-)politischen Logik. Andere Kriterien wie etwa die ökonomischen oder ökologischen Effekte, die gesellschaftlichen Folgewirkungen oder der Beitrag der Raumfahrt zum wissenschaftlich-technischen Fortschritt spielten allenfalls eine sekundäre Rolle. Politisierte Großtechniken wie die Raumfahrt waren lange Zeit einer unabhängigen Bewertung (durch den Markt oder durch unabhängige Gutachter) entzogen. Es existierten exklusive, klientelistische Beziehungen zwischen Regierung, Großforschungseinrichtungen und Rüstungsindustrie, die den Beteiligten einen hohen Nutzen sicherten. Diese Konstellation wurde durch Speziallegitimationen wie etwa den prestigehaltigen Wettlauf zum Mond abgesichert.

Angesichts dieser Ausgangssituation kann es kaum verwundern, daß es zumindest bis weit in die 60er Jahre kaum Ansatzpunkte für eine Technikfolgenabschätzung in der Raumfahrt gab. Dies änderte sich erstmals Ende der 60er Jahre, als die internationale Systemkonkurrenz sich im Zeichen der Entspan-

nung deutlich abschwächte und somit ein dominantes Motiv für die Raumfahrt entfiel. Auch die Akzentverschiebung zugunsten der Sozial-, Gesundheits- oder Bildungspolitik, die Mitte der 60er Jahre einsetzte, trug dazu bei, daß die Raumfahrtprojekte insbesondere in den USA erstmals massiv unter Rechtfertigungsdruck gerieten. In dieser Phase entstanden die ersten Untersuchungen, die man nachträglich unter die Rubrik „TA-Studien“ subsumieren könnte. Thema waren in dieser Phase vor allem die ökonomischen Ausstrahlungseffekte der Raumfahrt, der sogenannte „Spinoff“, den die NASA als Argument bemühte, um eine Kürzung der Haushaltsmittel nach Abschluß des Apollo-Projekts zu verhindern. Die Spinoff-Studien, die in den 70er Jahren fertiggestellt wurden, kamen überwiegend zu einem positiven Ergebnis. So wurde beispielsweise festgestellt, daß ein in die Raumfahrt investierter Dollar der Volkswirtschaft sieben zusätzliche Dollar bringt (vgl. Krück 1993; Schrader 1993). Der Anstoß zur Analyse und Bewertung der Raumfahrt ergab sich also weniger aus dem Bestreben nach einer unabhängigen Überprüfung der Projekte und Programme, sondern primär aus dem instrumentellen Interesse der NASA an der Sicherung des Bestands der (Mammut-)Institution. Diese legitimatorisch-instrumentelle Funktion der Raumfahrt-TA blieb auch in der Folgezeit eines ihrer charakteristischen Merkmale.

Dimensionen der Technikbewertung in der Raumfahrt

TA-Studien zur Raumfahrt sind meist Bestandteil politischer Auseinandersetzungen über Raumfahrtprojekte oder -programme. Eine institutionelle Infrastruktur zur Durchführung langfristig angelegter Grundlagenforschung in diesem Bereich wurde zumindest in Deutschland nie geschaffen, so daß viele Studien ihren Ad-hoc-Charakter oder ihre Interessengebundenheit kaum verbergen können. Insofern ist das Gebiet methodisch unterentwickelt; Standards bzw. etablierte Verfahren zur Durchführung von TA-Studien existieren nur in Ansätzen. Allein die Berechnung des jährlichen Raumfahrtbudgets ist immer noch ein mühsames Verfahren, denn die vom Forschungsministerium (BMFT/BMBF) bereitgestellten Daten tragen eher zur Verwirrung als zur Klärung bei. Zudem stimmen sie oftmals nicht mit den Angaben der europäischen Raumfahrtbehörde ESA überein. Die Beschaffung von Informationen über die deutsche Raumfahrtspolitik erfordert kriminalistischen Spürsinn; denn eine Pflicht zur Offenlegung von Programmatiken und Budgets existiert in Deutschland – im Gegensatz etwa zur USA – nicht. Eine echte parlamentarische Kontrolle des mit 1,6 Mrd. DM (1998) nach wie vor größten Einzelpostens im Forschungsetat des Bundes findet nicht statt. Was mit den Steuergeldern passiert, entzieht sich weitgehend der Kenntnis der Öffentlichkeit.

In einer derartigen politischen Konstellation hat TA meist eine konfliktäre Struktur: Die Studien dienen entweder der Legitimierung der offiziellen Regie-

runbspolitik oder der Erzeugung einer kritischen Gegenöffentlichkeit. TA ist somit Teil der tagespolitischen Auseinandersetzungen über die Raumfahrt und kein langfristig angelegtes Projekt zur Bewertung von Technikvorhaben. Kritische TA-Studien verfolgen oftmals vorrangig das Anliegen, die impliziten Strategien zu dechiffrieren, die sich in der regierungsoffiziellen Raumfahrtprogrammatik verbergen, und so eine Transparenz zu erzeugen, die eine öffentliche Debatte überhaupt ermöglicht. Eine derartige kritische Analyse von Begründungs- und Rechtfertigungsstrategien verweist zumeist auf die Irrationalität von Programmen und Projekten, insbesondere in folgenden Dimensionen:

- Sie arbeitet Zielkonflikte heraus, die sich beispielsweise zwischen den Zielen einer ökonomischen Effizienz und einer ökologisch verträglichen Raumfahrt ergeben.
- Sie verweist auf programmatische Inkonsistenzen wie etwa im Falle des ESA-Langzeitplans von 1987, der einerseits unter der Perspektive einer europäischen Autonomie im All stand, andererseits aber auf transatlantische Kooperation angewiesen war; ein Widerspruch, der sich bis in die Hardwarekonfiguration niederschlug.
- Und sie zeigt fragwürdige Zweck-Mittel-Relationen auf, wenn etwa die bemannte Raumfahrt als Mittel zur Förderung der astronomischen Forschung etikettiert wird, viele Indizien aber dafür sprechen, daß die Anwesenheit des Menschen im All astronomische Beobachtungen eher stört als fördert.

Trotz dieser konfliktären Struktur der Raumfahrt-TA lassen sich einige exemplarische Dimensionen abstecken, die – mit unterschiedlicher Gewichtung – in bisherigen TA-Studien verwendet werden:

Die *Prioritäten-Analyse*: Angesichts endlicher finanzieller Ressourcen müssen innerhalb des Forschungsbudgets eines Landes die Gewichte zwischen den unterschiedlichen Förderbereichen festgelegt werden; aber auch innerhalb des Raumfahrtbudgets müssen einige Projekte mit Vorrang versehen, andere hingegen zurückgestellt oder aufgegeben werden. Forschungspolitik steht – unabhängig von der Pro- und Contra-Frage – also in jedem Fall unter Entscheidungszwang und benötigt daher Kriterien für die Gewichtung zwischen konkurrierenden Vorhaben.

Die *Kosten-Nutzen-Analyse*: Ein Hilfsmittel zur Entscheidung zwischen konkurrierenden Projekten kann die Kosten-Nutzen-Analyse sein, die in vergleichender Perspektive den Aufwand beurteilt, der zur Erreichung eines definierten Zieles erforderlich ist. Kritiker der bemannten Raumfahrt bemühen dieses Argument gerne, wenn sie behaupten, daß unbemannte Systeme, die erheblich preiswerter sind als bemannte, beispielsweise in der Kristallzucht oder in der Umweltforschung wesentlich reichhaltigere Ergebnisse zu erheblich geringeren Kosten produzieren. Befürworter der bemannten Raumfahrt halten dem entgegen, daß die Kosten-Nutzen-Analyse eine verkürzte Sichtweise darstellt, die wichtige – nicht-ökonomische – Dimensionen der Raumfahrt ausblendet.

Die *gesamtwirtschaftlichen Effekte* sind quasi die volkswirtschaftliche Variante der Kosten-Nutzung-Rechnung: Hier geht es um die möglichen Ausstrahlungen der Raumfahrt auf Wirtschaft, Wissenschaft und Technik, die allerdings umso schwerer zu vermessen sind, je indirekter die Wirkungen sind. Von Befürwortern der Raumfahrt wird häufig die These in den Raum gestellt, daß ein modernes Industrieland Spitzentechnologien benötige, um wirtschaftlich mithalten zu können. Dem stehen jedoch eine Reihe von Analysen entgegen, die nachweisen, daß exotische Technologien, wie sie in der Raumfahrt verwendet werden, denkbar ungeeignete Schrittmacher darstellen, da es nur wenige irdische Anwendungsfelder gibt, in die sie ausstrahlen können. Häufiger als ein „Spinoff“ finde vielmehr ein „Spin-in“ statt, also eine Nutzung und Adaption kommerziell verfügbarer Technologien für die Raumfahrt. Zudem läßt sich mit Hilfe von Patentanalysen nachweisen, daß die gesamtwirtschaftlichen Ausstrahlungseffekte anderer Technologiegebiete wesentlich höher sind als die der Raumfahrt (vgl. Schmoch 1993). Die schwächste Variante der Ausstrahlungsthese besteht in der Behauptung, daß mit Hilfe der staatlichen Fördermittel hochqualifizierte Arbeitsplätze geschaffen bzw. erhalten werden. Es spricht allerdings viel für die Vermutung, daß in anderen Bereichen mit den gleichen Mitteln eine größere Zahl von Arbeitsplätzen geschaffen werden könnte, die zudem weniger von staatlichen Dauersubventionen abhängig sind.

Raumfahrttechnik ist trotz jahrzehntelanger massiver Förderung durch den Staat nach wie vor nur in Teilbereichen kommerziell verwertbar; dies betrifft vor allem die Kommunikations- und Nachrichtensatelliten, die sich mittlerweile als einträgliches Geschäft erweisen (wobei die Raketenstarts allerdings hochsubventioniert sind). Für einen Großteil der Technologien insbesondere im Bereich der bemannten Raumfahrt ist eine kommerzielle Nachfrage allerdings nicht erkennbar, so daß sich immer wieder die Frage stellt, warum der Staat Bereiche fördert, in die die Industrie aus eigenem Antrieb nicht investiert, die zudem von einem Großteil der Wissenschaftler als unattraktiv abgelehnt werden.

Die *ökologischen Effekte* der Raumfahrt spielen seit Beginn der Öko-Diskussion einer immer wichtigeren Rolle. Vor allem in den USA hatte die Kontroverse um das geplante Hyperschall-Passagierflugzeug SST (eine Art Super-Concorde) die politische Öffentlichkeit Ende der 70er Jahre für die Auswirkungen des Schadstoffeintrags in die Stratosphäre sensibilisiert (vgl. Wengeler 1993). Nicht nur der Luftverkehr, sondern auch die Raumfahrt geriet damit in die Kritik; hatte man doch bislang nach dem Ex-und-hopp-Prinzip gewirtschaftet und sich um die ökologischen Folgewirkungen wenig gekümmert. Nicht benötigte Raketenstufen wurden im Weltall entsorgt, wo die Treibstoffreste in den Tanks oftmals unkontrollierte Explosionen verursachten und so ganze Umlaufbahnen dauerhaft mit Weltraumschrott verseuchten. Diese Selbstgefährdung der Raumfahrt durch ihre eigenen Abfälle hat mit der Zeit einen Umdenkprozeß in Gang gesetzt. Ausgediente Stufen werden mittlerweile kontrolliert entsorgt, verbrauchte Satelliten auf Friedhofsbahnen verschoben, um wertvolle Orbitalposi-

tionen nicht zu blockieren. Dennoch sind die Risiken vor allem für große Strukturen wie die geplante Internationale Raumstation beachtlich; denn winzige Trümmerteile rasen mit hoher Geschwindigkeit durch das All und können zu einer großen Gefahr für die Besetzung der Raumstation – nicht nur bei Außenbordmanövern – werden.

Ein weiteres ökologisches Problem der Raumfahrt sind die Nuklearbatterien, die immer wieder für kontroverse Debatten sorgen. Bei Missionen, die tief ins Weltall führen (etwa zu den äußeren Planeten), ist eine Energieversorgung mit Solarzellen nur schwer möglich. Dies gilt ebenfalls für Aufklärungssatelliten in niedrigen Umlaufbahnen, die in der Regel Plutoniumbatterien an Bord haben. Unkontrollierte Abstürze russischer Spionage-Satelliten, aber auch die Explosion von Trägersystemen lassen immer wieder die Frage aufkommen, ob das Risiko derartiger Energieversorgungssysteme vertretbar ist.

Die Rolle der *Raumfahrt als Instrument der Umweltforschung* wurde in den 80er Jahren zunehmend thematisiert, als es darum ging, neue Anwendungsfelder für diese Technik zu suchen. Unbestritten sind Erdbeobachtungssatelliten ein wichtiges Mittel zur Kartierung von Landschaften, zur Diagnose von Verstädterungsprozessen oder klimarelevanten Entwicklungen (Gletscherbildung, Bodenerosion, Brandrodung etc.). Kritiker weisen allerdings auf den Dual-use-Charakter der benötigten Technologien hin, denn Satelliten für die Umweltbeobachtung unterscheiden sich in technischer Hinsicht kaum von Aufklärungssatelliten. Der Erdbeobachtungssatellit ERS-1 und seine militärischen Varianten zeigen, daß ein Technologietransfer in beiden Richtungen problemlos möglich ist. Zudem war in den Debatten um eine Neuausrichtung der deutschen Raumfahrtpolitik Ende der 80er Jahre der Eindruck oftmals nicht von der Hand zu weisen, daß die Befürworter einer außen- und sicherheitspolitisch motivierten Raumfahrt das Umweltargument lediglich als Vehikel zur Durchsetzung neuer Großprojekte mißbrauchten. Dies gilt insbesondere für den Raumtransporter „Sänger“, der von seinen Protagonisten als Fernaufklärer und zugleich als Plattform für die Umweltforschung angepriesen wurde (vgl. u.a. DGAP 1992). Allerdings bereitet es erhebliche Schwierigkeiten, bemannte Systeme wie etwa Sänger oder die Internationale Raumstation unter dem Gesichtspunkt der Umweltforschung zu rechtfertigen; denn sie liefern keine besseren Umweltdaten als unbemannte Satelliten, verbrauchen dafür aber erheblich größere Mengen an Treibstoffen, deren Abgase hochgiftig sind und daher (nicht nur im Falle der Explosion von Trägersystemen) zumindest im lokalen Rahmen eine erhebliche Belastung darstellen (vgl. Hornik 1991). Unter Umweltgesichtspunkten spricht daher viel für eine Reduktion der bemannten Raumfahrt, aber auch für eine weltweit koordinierte Strategie zur Verringerung von Satellitenstarts. Die aktuellen Entwicklungen laufen jedoch in die entgegengesetzte Richtung.

Die *politische Dimension* der Raumfahrt kommt immer dann ins Spiel, wenn Raumfahrtprojekte als Mittel zur Förderung internationaler Zusammenarbeit fungieren und daraus eine Berechtigung herleiten, die sich monetär nicht ver-

messen läßt. Die Kopplung der amerikanischen Apollo-Kapsel mit der russischen Sojus im Jahre 1975 war ein derartiger Fall, wo ein Raumfahrtunternehmen sich vorrangig durch den politisch-symbolischen Wert legitimierte. Allerdings kann der Verweis auf den politischen Nutzen von Raumfahrt leicht zu einer Immunisierungsstrategie werden, wenn etwa die europäische Zusammenarbeit mangels besserer Argumente dazu herhalten muß, fragwürdige Projekte gegen Kritik abzusichern. Die politische Begründung von kooperativen Raumfahrtprojekten enthält zudem stets eine gewisse Ambivalenz: Denn einerseits werden derartige Vorhaben als Beispiele internationaler Zusammenarbeit gepriesen, andererseits wird zugleich offen auf die nationalen Interessen und Ziele (wie etwa „Spitzenstellung“ oder „Systemführerschaft“) verwiesen, die auf diesem Wege durchgesetzt werden sollen. Die Politisierung der Raumfahrt erzeugt somit ein erhebliches Konfliktpotential, das immer wieder zu Spannungen und Auseinandersetzungen zwischen den Beteiligten führt, wobei als Ausweg oftmals nur Formelkompromisse bleiben, mit denen die Friktionen mühsam kaschiert werden. Die europäische Kooperation in der Raumfahrt seit den 60er Jahren ist ein Paradebeispiel für die programmatischen Irrationalitäten und Inkonsistenzen, die sich aus derartig politisch überformten Planungs- und Abstimmungsprozessen ergeben (vgl. Weyer 1988; 1993c; 1994).

Die *rüstungspolitischen Folgewirkungen* sind ein weiterer wichtiger Aspekt zur Bewertung von Raumfahrtprojekten. Aufklärungssatelliten können im Prinzip als Instrument der Krisenvorsorge eingesetzt werden und so kriegerische Zuspitzungen vermeiden. Dies funktioniert aber nur, wenn beide Seiten über die gleichen Informationen verfügen. Anderenfalls besteht eher die Gefahr der selektiven und manipulativen Verwendung der durch Satellitenaufklärung gewonnenen Daten, wie es etwa die USA vor dem Golfkrieg 1991 praktizierten. Gravierender ist jedoch das Problem der Proliferation rüstungsrelevanter Technologien; denn die Raketen- und Satellitentechnik ist eine Dual-use-Technologie par excellence. Mit jedem noch so friedlichen Raumfahrtprojekt eignet man sich Know-how an, das auch zum Bau von Massenvernichtungswaffen verwendet werden kann. Die USA haben daher bereits in den 60er Jahren eine restriktive Politik z.B. gegenüber Deutschland praktiziert, um die Proliferation sensibler Technik zu verhindern, allerdings mit geringem Erfolg.

Mittlerweile besitzt eine ganze Reihe von Staaten das Know-how zum Bau von Kurz- und Mittelstreckenraketen, das sie sich meist auf dem Umweg über zivile Raumfahrtprojekte oder durch gezielte Anwerbung von Fachkräften (meist aus Deutschland) verschafft haben. Der Irak unter Saddam Hussein ist nur der prominenteste Fall, der die Ambivalenz der Raumfahrttechnik und deren rüstungs- und friedenspolitische Implikationen jedoch drastisch demonstriert (vgl. Scheffran 1991; Weyer 1991). Denn ein Land wie Deutschland verfügt durch seine jahrzehntelangen Erfahrungen in der Raumfahrt über die Fähigkeit zum Bau von Raketen und besitzt damit auch einen Stamm von Ingenieuren und Wissenschaftlern, die bei entsprechender Bezahlung bereitwillig in

Rüstungsprojekten fremder Nationen arbeiten. Seit 1987 existiert daher ein internationales Abkommen, das Missile Technology Control Regime (MTCR), das die führenden Raumfahrtnationen dazu verpflichtet, den Export rüstungsrelevanter Raumfahrttechnologien strikter zu handhaben. Dennoch läßt sich nicht verhindern, daß die zivile Raumfahrt immer wieder zum Steigbügelhalter militärischer Projekte wird. Die Nutzung der – vom zivilen Forschungsministerium finanzierten – Radartechnik des Erdbeobachtungssatelliten ERS-1 in dem geplanten deutsch-französischen Aufklärungssatelliten Horus ist ein deutliches Indiz dafür, daß es kaum institutionelle oder moralische Barrieren zur Einschränkung eines derartigen Technologietransfers gibt.

Die *philosophische Dimension* der Raumfahrt wird oftmals ins Spiel gebracht, wenn es darum geht, Großprojekte der bemannten Raumfahrt zu rechtfertigen, die unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten nicht akzeptabel wären. Der Flug ins All verschaffe der Menschheit eine neue Sichtweise der Erde; er zeige sie in ihrer ganzen Schönheit und mache zugleich ihre Verletzlichkeit offenkundig (vgl. Gethmann et al. 1992). Daß sich bei den Astronauten dieser „Overview“-Effekt einstellt, kann kaum bestritten werden; ob dies allerdings zur Rechtfertigung künftiger Raumfahrtvorhaben beitragen kann, erscheint eher zweifelhaft. Denn es kann nicht die gesamte Menschheit ins All fliegen, um selbst das neue Bild der Erde gewinnen. Allein die ökologischen Effekte einer derart hohen Zahl von Raketenstarts würden den endgültigen Klima-Kollaps herbeiführen. Also müssen Fotos und Berichte von bisherigen Missionen als Informationsquellen erhalten; und diese liegen bereits in ausreichender Menge vor. Zudem kann man sich andere Formen der Dezentrierung vorstellen, die zu gleichwertigen Bekehrungserlebnissen führen können: Eine Wanderung durch die Sahara, ein Besuch in einem südamerikanischen Slum und anderes mehr.

Als Beitrag zur Rettung der Menschheit angesichts der offenkundigen Tendenzen zur Zerstörung unseres Planeten wird häufig auch der Flug zum Mars diskutiert; mit der Perspektive einer Auswanderung eines Teils der Erdbevölkerung. Es erscheint somit geradezu als eine Pflicht der Menschheit, in den Kosmos vorzustoßen, welche alle rationalen Argumente wie etwa Kosten-/Nutzenabwägungen verdrängt (vgl. Hager 1990). Angesichts des enormen Ressourcenaufwands, der allein für einen einzigen Flug zum Mars erforderlich ist, stellt sich allerdings die Frage, ob diese Milliardensummen, die irgendwo zwischen 38 und 500 Mrd. \$ liegen, nicht besser auf der Erde ausgegeben werden sollten, zumindest wenn man das Ziel hat, die Menschheit zu retten. Die Finanzierung einer größeren Mars-Kolonie ginge mit Sicherheit zu Lasten der Armen und Schwachen nicht nur in der Dritten Welt, sondern auch in den Raumfahrtnationen. Und die ökologischen Sünden, die im Namen der Raumfahrt begangen werden, kann man in Französisch-Guayana besichtigen, wo die Europäer riesige Flächen Tropenwald gerodet haben, um die Startanlagen für ihre neue Super-rakete, aber auch für das Wasser-Kraftwerk zu errichten, das zur Erzeugung der enormen Energiemengen erforderlich ist. Bevor Projekte wie der Flug zum Mars

ernsthaft in Erwägung gezogen werden, stünde also zunächst eine Gesamtbilanz des Nutzens, der Kosten und der Risiken eines derartigen Vorhabens an. Dabei müßte auch mit Blick auf mögliche – nicht-raumfahrttechnische – Alternativen überprüft werden, wie das Ziel der Rettung der Menschheit am sinnvollsten erreicht werden kann.

Die *ethische Dimension* der Raumfahrt betrifft die Frage, ob es unabhängig von politischen oder ökonomischen Erwägungen verantwortbar ist, Raumfahrt zu betreiben, und zwar einerseits im Hinblick auf die Folgewirkungen, die eine derartige Konzentration nationaler Ressourcen für die Menschen hat, die davon nicht unmittelbar profitieren, andererseits im Hinblick auf die Folgewirkungen, die derartige Missionen auf die individuellen Astronauten haben. Im ersten Fall geht es also etwa um die Problematik, ob etwa die Sozial- oder Bildungsausgaben eines Landes darunter leiden, daß große Geldsummen in die Raumfahrt gesteckt werden. Befürworter der bemannten Raumfahrt verweisen in der Regel darauf, daß die für Raumfahrtprojekte verausgabten Summen im Vergleich zu den Ausgaben für die Sozialhilfe oder den Subventionen für die Landwirtschaft verschwindend gering sind (vgl. Zimmer 1997). Kritiker werden nicht müde zu betonen, daß Kürzungen im Sozialbereich oftmals mit Milliardeninvestitionen in fragwürdige Mega-Projekte zeitlich korrespondieren.

Im zweiten Fall geht es um die Rolle des Menschen im All und um die Risiken, die jeder einzelne Astronaut auf sich nimmt. Bis heute ist die Raumfahrerkrankheit noch nicht besiegt, die jeden Astronauten befällt und seine Arbeitsfähigkeit einschränkt. Die Folgen eines Langzeitaufenthaltes im All sind gravierend: Der Knochenschwund ist irreversibel; gegen den Muskelschwund hilft andauerndes Training, das allerdings einen größeren Teil der Arbeitszeit an Bord der Orbitalstationen verschlingt. Zieht man die Strahlenbelastung hinzu, so drängt sich der Eindruck auf, daß im All Menschenexperimente stattfinden. Es verwundert daher auch kaum, daß – trotz nahezu 40jähriger Erfahrung in der bemannten Raumfahrt – fast jede neue Mission damit begründet wird, man wolle die Auswirkungen der Schwerelosigkeit auf den menschlichen Organismus erforschen. Hinzuzufügen wäre, was meist schamhaft verschwiegen wird: sowie die Auswirkungen der kosmischen Strahlung. Denn diese ist erheblich stärker als die Strahlung, der etwa die Arbeiter in Atomkraftwerken ausgesetzt sind. Bei Sonneneruptionen, deren Auftreten schwer prognostizierbar ist, steigen die Werte zudem um ein Vielfaches, so daß Astronauten, die Außenbordmanöver durchführen, akut gefährdet sind. Ein Flug zum Mars, der etwa sechs bis acht Monate dauern soll, wäre nur mit einer dicken Panzerung möglich.

Der These, daß das All eine lebensfeindliche Umgebung ist, in der der Mensch nichts zu suchen hat, steht die Position entgegen, daß man den Entdeckertrieb des Menschen nicht bremsen könne und zudem viele Forschungsvorhaben im All die Anwesenheit eines Wissenschaftlers erfordern, der bei Bedarf eingreifen und die Abläufe korrigieren kann. Wie immer enthält dieses Argument zwar ein Körnchen Wahrheit. Es reicht aber nicht aus, um den giganti-

schen Aufwand zu rechtfertigen, der betrieben werden muß, um die Präsenz eines Menschen bei weitgehend automatischen und vom Boden aus gesteuerten Experimenten zu rechtfertigen. Es gibt außer den humanmedizinischen Versuchen wenig Experimente, die nicht auch an Bord unbemannter Kapseln durchgeführt werden könnten.

Dieser knappe Überblick über die Dimensionen der Raumfahrt-TA zeigt den Stand, aber auch die Defizite der bisherigen Befassung mit den Potentialen, Folgen und Risiken der Raumfahrt. Im Folgenden sollen exemplarisch einige TA-Studien vorgestellt werden, um auf diese Weise die Entwicklung der Raumfahrt-TA in (West-)Deutschland, aber auch ihre unterentwickelte Institutionalisierung nachzuzeichnen.

Stationen der Raumfahrt-TA in Deutschland

In den Jahren 1986 und 1987 war durch die Diskussionen um die Großprojekte der europäischen Raumfahrt eine politisch aufgeheizte Stimmung entstanden, die zu einer Polarisierung der Debatte führte (vgl. ausführlich Weyer 1997). Auf der einen Seite stand die Deutsche Gesellschaft für Auswärtige Politik (DGAP) mit ihrer Forderung nach einem Kurswechsel in der deutschen Raumfahrtpolitik, die von weiten Teilen der Regierungskoalition mitgetragen wurde. Deutschland solle – so hieß es in einer programmatischen Schrift aus dem Jahre 1986 – wieder eine führende Rolle in der Weltraumpolitik spielen und diesen Anspruch u.a. durch die Entwicklung eines eigenen Aufklärungssatelliten und eines Raketenabwehrsystems untermauern (vgl. DGAP 1986; 1990; kritisch Schierholz 1987). Die Erschließung des Raumes unter deutscher Systemführung wurde als machtpolitisches Instrument zur Stärkung der deutschen Stellung in der internationalen Gemeinschaft propagiert; und es wurde eine erhebliche Ausweitung der Raumfahrt-Aktivitäten sowie eine Verlagerung zugunsten militärischer Projekte gefordert.

Dem widersprachen Mitglieder der Oppositionsparteien sowie eine Reihe von Wissenschaftsverbänden. Das Memorandum „Kritik der Bonner Weltraumpolitik“ (1987) unterzog die Kostenkalkulationen für das europäische Raumfahrtprogramm erstmals einer systematischen Überprüfung und kam zu dem Ergebnis,

- daß das BMFT mit geschönten Zahlen operierte, welche nach einer detaillierten Durchsicht der ESA-Budgets erheblich nach oben korrigiert werden mußten;
- daß zudem allein bei moderaten Kostensteigerungsraten insbesondere die Projekte der bemannten Raumfahrt den Etat des BMFT mittelfristig derart stark belasten würden, daß andere Förderbereiche erheblich darunter leiden würden.

Da diesen haushaltspolitischen Risiken – so das Memorandum – kein erkennbarer Nutzen gegenüberstehe, zudem eine schleichende Militarisierung des Welt-

alls zu befürchten sei, forderten die Unterzeichner einen völligen Verzicht auf die Großprojekte der bemannten Raumfahrt und eine Umschichtung der freiwerdenden Fördermittel zugunsten alternativer Projekte (vgl. auch Das Projekt Schwarzes Loch 1990).

Ferner kam eine Reihe von Spinoff-Studien, die in den Jahren 1988 und 1989 vorgelegt wurden, zu dem Ergebnis, daß Raumfahrt- und Rüstungsprogramme durch ihre ökonomischen Effekte nicht zu rechtfertigen seien (vgl. Glismann/Horn 1989; Gerybadze 1988; Scientific Consulting 1989; Schrader 1990; Schmock/Kirsch 1992). Damit geriet das Forschungsministerium zusätzlich unter Druck. In dieser Situation ergriff das BMFT die Initiative und gab (erstmalig!) ab 1988 TA-Studien in Auftrag, wobei es sich thematisch auf die ökologischen Effekte der Raumfahrt konzentrierte. Dies kann als Versuch interpretiert werden, die Kontrolle über die Debatte wieder zu gewinnen und das BMFT als die politisch verantwortliche Organisation von dem Druck zu entlasten, der durch die öffentliche Debatte entstanden war.

Der Lehrstuhl für Raumfahrttechnik an der Technischen Universität München (Prof. Harry O. Ruppe) wurde 1988 beauftragt, eine Studie über die „Umweltbeeinflussung durch die Raumfahrt“ vorzulegen, die den Stand der Forschung zusammenfassen sollte. In welchem Maße diese Studie durch das BMFT für seine Zwecke instrumentalisiert wurde, belegt der Vergleich des veröffentlichten Textes mit der ursprünglichen Version, die Alexander Jean-Jacques am Ruppe-Lehrstuhl verfaßt hatte (vgl. TU München 1989 und 1990). Alle Passagen, die eine ökologische Gefährdung der Umwelt durch die Raumfahrt allzu deutlich ansprachen, wurden ersatzlos gestrichen (vgl. Wengeler 1993).

Konkreter wurde die Studie der Max-Planck-Institute für Meteorologie in Hamburg und für Chemie in Mainz, die im Auftrag des BMFT eine Untersuchung der „Umweltverträglichkeit des Raumtransportsystems Sänger“ anfertigten. Diese beschränkte sich zunächst auf die Sänger-Unterstufe und kam auf Basis ausführlicher atmosphärenchemischer Modellrechnungen zu dem Ergebnis, daß der Beitrag von Sänger zum Treibhauseffekt „gering bis vernachlässigbar“ sei, zumindest wenn man von wenigen Starts pro Jahr ausging (vgl. Brühl et al. 1991; 1993). Allerdings wurde in der Studie nur ein Drittel der Sänger-Flugbahn berechnet. Auch der Einsatz einer weltweit operierenden Flotte von Hyperschall-Verkehrsflugzeugen – von der Raumfahrtindustrie stets als eine Option propagiert – wurde nicht berücksichtigt. Die politische Vorgabe, sich in der Studie auf 24 Starts im Jahr zu beschränken, hatte die Ergebnisse also stark präformiert.

Die hier nur knapp skizzierten TA-Studien spiegeln unverkennbar das Bestreben des BMFT wider, sich von politischem Druck zu entlasten und der Raumfahrtspolitik der Bundesregierung neue Legitimität zu verschaffen. Denn das Parlament hatte in den 80er Jahren immer wieder vehement gefordert, ein Büro für Technikfolgenabschätzung einzurichten (vgl. Paschen/Petermann 1991; Baron 1995); und die Raumfahrt als eine umstrittene Großtechnologie stand

ganz oben auf der Liste der Themen, derer sich ein solches Büro zunächst annehmen würde. Das größte Teilprogramm des BMFT lief also Gefahr, einer unabhängigen Überprüfung unterzogen zu werden, was unkalkulierbare politische Risiken mit sich brachte. Die TA-Aktivitäten des BMFT können in diesem Kontext als der Versuch interpretiert werden, durch eine rechtzeitige Besetzung des Feldes seine Handlungsfähigkeit unter Beweis zu stellen und durch eine Vorgabe der relevanten Untersuchungsdimensionen den Prozeß unter Kontrolle zu halten. Dies gelang jedoch nur partiell.

Denn im Januar 1991 erhielt das frisch gegründete Büro für Technikfolgenabschätzung (TAB) beim Deutschen Bundestag den Auftrag, eine Studie zum Raumtransporter Sänger durchzuführen, die bereits im Juni 1992 fertiggestellt wurde und entscheidend dazu beitrug, daß das TAB seine Leistungsfähigkeit unter Beweis stellen und so seine dauerhafte Institutionalisierung durchsetzen konnte (vgl. Meyer 'TAB' in diesem Handbuch). Zur Durchführung der Sänger-TA bediente sich das TAB der „komplementären Partialanalyse“, eines Verfahrens, das die Bearbeitung der einzelnen Problemdimensionen an unterschiedliche Gutachter delegiert: Die Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) bearbeitete die „Technik und Wirtschaftlichkeit eines Raumtransportsystems Sänger“ (DLR 1992) und entwickelte alternative Szenarien und Optionen, denen das TAB später weitgehend folgte. Die Unternehmensberatung Scientific Consulting, Dr. Schulte Hillen nahm eine „Bewertung von Status und Zielsetzung“ (Scientific Consulting 1992) des Sängerprojekts vor. Sie warnte insbesondere vor einer zu frühen Festlegung auf ein Konzept und schlug daher ein breit angelegtes, grundlagenorientiertes Forschungsprogramm vor. Karl Kaiser von der Deutschen Gesellschaft für Auswärtige Politik erhielt den Auftrag, eine Studie zu den „Außen- und sicherheitspolitischen Aspekten“ durchzuführen (DGAP 1992). Auf Drängen von SPD-Abgeordneten im Forschungs-Ausschuß wurde schließlich Johannes Weyer von der Universität Bielefeld gebeten, ein Kommentargutachten zur Kaiser-Studie anzufertigen, um die zu erwartende politische Einseitigkeit der DGAP auszubalancieren. Weyer kam in seiner Studie zu dem Ergebnis, daß

„die außenpolitischen Konfliktpotentiale, die sich aus einer machtpolitisch motivierten Instrumentalisierung von Sänger ergeben, ... von der DGAP unterschätzt (werden), während die sicherheitspolitischen Gewinne, die Sänger als Fernaufklärer oder Trägersystem für Beobachtungssatelliten erbringen kann, bei weitem überschätzt werden“ (Weyer 1992, S. 37).

Die Ergebnisse der Teilstudien wurden vom TAB zusammengefaßt und integriert und im Oktober 1992 als TAB-Arbeitsbericht Nr. 14 veröffentlicht (Paschen et al. 1992).

Dieser Bericht stellt fest, daß die Entwicklung eines neuen Raumtransportsystems nur Sinn macht, wenn man eine erhebliche Ausweitung der Raumfahrtaktivitäten unterstellt, etwa in Form einer bemannten Mars-Mission oder der Energiegewinnung im Weltall. Der Einstieg in ein solches Szenario müsse

jedoch als eine raumfahrtpolitische Grundsatzentscheidung erfolgen und nicht – so mußte man den Gedanken zweifellos weiterspinnen – als eine klammheimliche und später schwer zu revidierende Festlegung in irgendeinem Technologieprogramm des BMFT oder der ESA.

Bezüglich der Fortführung der Sänger-Förderung, deren erste Phase 1993 auslief, entwickelte das TAB in Anlehnung an die Vorschläge der DLR folgende drei Optionen: Option I sah ein Moratorium bis zu einer raumfahrtpolitischen Grundsatzentscheidung vor; Option II beinhaltete eine Fortsetzung der Förderung bis 1995, um vor allem offene technologische Fragen des Sänger-Projekts zu klären. Option III schließlich versuchte eine vorschnelle Festlegung auf das Sänger-Konzept zu vermeiden und sah daher einen breiter angelegten Vergleich konkurrierender Systeme vor. Diese Option eines sanfteren Rückzugs wurde vom Forschungsausschuß schließlich übernommen; sie bedeutete faktisch das „Aus“ für das Sänger-Projekt, dessen Förderung 1996 eingestellt wurde.

Danach brach das öffentliche Interesse an der Raumfahrt und der Raumfahrt-TA abrupt ab. Eine systematische Technikfolgenabschätzung zu den gegenwärtigen Raumfahrtprojekten hat bislang nicht stattgefunden. Ereignisse wie die Explosion der Ariane 5 am 3. Juni 1996 zeigen jedoch, wie dringend erforderlich eine neutrale Begutachtung des Nutzens und der Risiken dieses – stets umstrittenen und überhastet in Angriff genommenen – Projekts unter ingenieurwissenschaftlichen, ökonomischen, ökologischen und weiteren Aspekten gewesen wäre.

Es gibt in Deutschland nach wie vor eine nur gering entwickelte und institutionell nicht abgesicherte Raumfahrt-TA, die immer nur sporadisch nachgefragt wird, wenn politische Kontroversen oder spektakuläre Ereignisse die Raumfahrt ins Licht der Öffentlichkeit rücken. Eine unabhängige Begleitforschung zur Raumfahrt, vor allem aber zu Großprojekten wie der Internationalen Raumstation wäre jedoch unbedingt erforderlich. Zwar ist es für die Protagonisten derartiger Projekte ärgerlich, wenn ihnen ein externer Gutachter in die Karten guckt. Doch haben die Debatten um das ESA-Langzeitprogramm oder den Raumtransporter Sänger gezeigt, daß TA eine wichtige Funktion für die Entwicklung von Raumfahrtssystemen übernehmen kann; denn TA im Sinne eines Frühwarnsystems kann vor Gefahren und Fehlentwicklungen warnen und so die Raumfahrtspolitik vor kostspieligen, gegebenenfalls sogar gefährlichen Irrtümern bewahren.

Literatur

- Baron, W. (1995): Technikfolgenabschätzung. Ansätze zur Institutionalisierung und Chancen der Partizipation. Opladen
- Brühl, C. et al. (1991): Umweltverträglichkeitsstudie für das Raumtransportsystem SÄNGER. Teil 1: Unterstufe (Studie im Auftrag des BMFT). Hamburg

- Brühl, C. et al. (1993): Der Einfluß des Raumtransporters SÄNGER auf die Zusammensetzung der mittleren Atmosphäre. In: Weyer 1993b, S. 179-198
- Das Projekt Schwarzes Loch (1990): Stand, Kosten und Alternativen der Raumfahrt in der Bundesrepublik Deutschland (hg. von d. Forschungs- und Informationsstelle beim BdWi [FIB] im Auftrag der Fraktion DIE GRÜNEN). Marburg
- DGAP (1986): Forschungsinstitut der Deutschen Gesellschaft für Auswärtige Politik: Deutsche Weltraumpolitik an der Jahrhundertsschwelle. Analyse und Vorschläge für die Zukunft. Bonn
- DGAP (1990): Forschungsinstitut der Deutschen Gesellschaft für Auswärtige Politik: Beobachtungssatelliten für Europa. Bericht einer Expertengruppe. Bonn
- DGAP (1992): Außen- und sicherheitspolitische Aspekte des Raumtransportsystems Sänger. Gutachten im Auftrag des Büros für Technikfolgen-Abschätzung des Deutschen Bundestages (TAB). Bonn
- DLR (1992): Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR), Hauptabteilung Systemanalyse Raumfahrt: Technik und Wirtschaftlichkeit eines Raumtransportsystems SÄNGER. Gutachten erstellt im Auftrag des TAB, 2 Bde. (Materialien zum TAB-Arbeitsbericht 14)
- DPG (1990): Deutsche Physikalische Gesellschaft: Entschließung zur bemannten Raumfahrt. In: Physikalische Blätter 47, S. 56-58
- Gerybadze, A. (Arthur D. Little International) (1988): Raumfahrt und Verteidigung als Industriepolitik? Auswirkungen auf die amerikanische Wirtschaft und den internationalen Handel. Frankfurt/M.
- Gethmann, C. F. et al. (1992): Bemannte Raumfahrt im Widerstreit. In: DLR-Nachrichten, Heft 68, S. 10-14
- Glismann, H. H.; Horn, E.-J. (1989): Zu den Produktivitätseffekten der Rüstungsausgaben in den Vereinigten Staaten. In: Die Weltwirtschaft, Heft 2, S. 118-134
- Hager, N. (1990): Vorstoß in den Kosmos – Pflicht zur Vernunft? In: Ethik und Sozialwissenschaften 1, S. 465-472
- Hornik, A. (1991): Belastungen der Atmosphäre durch Ariane X und Sänger. In: Luft- und Raumfahrt 12, Heft 7/8, S. 40-44
- Krück, C.P. (1993): Spin-off aus der Raumfahrt. Empirische Befunde und Diskursstrategien. In: Weyer 1993b, S. 285-314
- Krupp, H.; Weyer, J. (1988): Die gesellschaftliche Konstruktion einer neuen Technik. Legitimationsstrategien zur Durchsetzung der bemannten Raumfahrt als Beispiel. In: Blätter für deutsche und internationale Politik 33, S. 1086-1098 und S. 1249-1262
- McDougall, W. A. (1985): The Heavens And the Earth. A Political History of the Space Age. New York
- Memorandum (1987): Kritik der Bonner Weltraumpolitik. Bonn
- Neufeld, M. J. (1997): Die Rakete und das Reich. Wernher von Braun, Peenemünde und der Beginn des Raketenzeitalters. Berlin
- Paschen, H. et al. (1992): Büro für Technikfolgen-Abschätzung des Deutschen Bundestages: Technikfolgen-Abschätzung zum Raumtransportsystem „Sänger“. TAB-Arbeitsbericht Nr. 14. Bonn
- Paschen, H.; Petermann, Th. (1991): Technikfolgen-Abschätzung – Ein strategisches Rahmenkonzept für die Analyse und Bewertung von Techniken. In: Petermann, Th. (Hg.): Technikfolgen-Abschätzung als Technikforschung und Politikberatung. Frankfurt/M., S. 19-41
- Scheffran, J. (1991): Die heimliche Raketenmacht. Deutsche Beiträge zur Entwicklung und Ausbreitung der Raketentechnik. In: Informationsdienst Wissenschaft und Frieden 1-2, S. 47-62

- Schierholz, H. (1987): Die Beherrschung des Raumes. Die neo-imperialen Ambitionen bundesdeutscher Weltraumpolitik. In: Forum Wissenschaft, Heft 3, S. 23-25
- Schmoch, U. (1993): Analyse von Spin-offs der Raumfahrtforschung mit Hilfe von Patentindikatoren. In: Weyer 1993b, S. 255-284
- Schmoch, U.; Kirsch, N. (1992): Analyse der Raumfahrtforschung und ihrer technischen Ausstrahlungseffekte mit Hilfe von Patentindikatoren (Endbericht an die DARA). Karlsruhe
- Schrader, K. (1990): Einzelwirtschaftliche Wirkungen von Rüstungs- und Raumfahrtausgaben in den Vereinigten Staaten – eine Literaturanalyse. In: Zeitschrift für Wirtschaftspolitik 39, S. 211-262
- Schrader, K. (1993): Eine ökonomische Bewertung der bemannten Raumfahrt. In: Weyer 1993b, S. 237-253
- Scientific Consulting Dr. Schulte-Hillen (1989): Spin-offs der Raumfahrt. Ihre Auswirkungen auf Firmenstrategien und Märkte in der Bundesrepublik Deutschland. Köln
- Scientific Consulting Dr. Schulte-Hillen BDU (1992): Raumtransportsystem SÄNGER. Bewertung von Status und Zielsetzung. Gutachten, erstellt im Auftrag des TAB (Materialien zum TAB-Arbeitsbericht Nr. 14)
- TU München (1989): Lehrstuhl für Raumfahrttechnik: Umweltbeeinflussung durch die Raumfahrt. München
- TU München (1990): Lehrstuhl für Raumfahrttechnik: Umweltbeeinflussung durch die Raumfahrt. Endbericht des Forschungsvorhabens im Auftrage des BMFT. München
- Wengeler, H. (1993): Umwelt- und technologiepolitische Aspekte der bundesdeutschen Raumtransporter-Entwicklung 1962-1991. In: Weyer 1993b, S. 215-235
- Weyer, J. (1988): Bemannte Raumfahrt: Taktische Spiele im All. In: Die ZEIT vom 22.4.1988, S. 36-37
- Weyer, J. (1991): Experiment Golfkrieg. Zur operativen Kopplung systemischer Handlungsprogramme von Politik und Wissenschaft. In: Soziale Welt 42, S. 405-426
- Weyer, J. (1992): Der Raumtransporter SÄNGER als Instrument deutscher Großmachtspolitik? Gutachten, erstellt im Auftrag des Büros für Technikfolgen-Abschätzung des Deutschen Bundestages (Materialien zum TAB-Arbeitsbericht Nr. 14). Bonn
- Weyer, J. (1993a): Akteurstrategien und strukturelle Eigendynamiken. Raumfahrt in Westdeutschland 1945-1965. Göttingen
- Weyer, J. (Hg.) (1993b): Technische Visionen – politische Kompromisse. Geschichte und Perspektiven der deutschen Raumfahrt. Berlin
- Weyer, J. (1993c): Verstärkte Rivalitäten statt Rendezvous im All? Die wechselhafte Geschichte der deutsch-amerikanischen Zusammenarbeit in der Raumfahrt. In: Weyer 1993b, S. 89-110
- Weyer, J. (1994): Der Fehlgriff nach den Sternen. Zur Abwicklung des gescheiterten Mega-Projekts „Bemannte Raumfahrt“. In: Ahrweiler, G. et al. (Hg.): Memorandum Forschungs- und Technologiepolitik 1994/95. Gestaltung statt Standortverwaltung. Marburg, S. 160-180
- Weyer, J. (1997): Technikfolgenabschätzung in der Raumfahrt. In: Westphalen, R. Graf von (Hg.): Technikfolgenabschätzung als politische Aufgabe. München, S. 465-483
- Weyer, J. (1999): Wernher von Braun. Reinbek (im Erscheinen)
- Zimmer, H. (1997): Das NASA-Protokoll. Erfolge und Niederlagen. Stuttgart