

Schrader, Klaus

Working Paper — Digitized Version

Einzelwirtschaftliche Wirkungen von Rüstungs- und Raumfahrttausgaben in den Vereinigten Staaten: eine Literaturanalyse

Kiel Working Paper, No. 381

Provided in Cooperation with:

Kiel Institute for the World Economy – Leibniz Center for Research on Global Economic Challenges

Suggested Citation: Schrader, Klaus (1989) : Einzelwirtschaftliche Wirkungen von Rüstungs- und Raumfahrttausgaben in den Vereinigten Staaten: eine Literaturanalyse, Kiel Working Paper, No. 381, Kiel Institute of World Economics (IfW), Kiel

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/512>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Kieler Arbeitspapiere Kiel Working Papers

Arbeitspapier Nr. 381
**EINZELWIRTSCHAFTLICHE WIRKUNGEN VON
RÜSTUNGS- UND RAUMFAHRTAUSGABEN
IN DEN VEREINIGTEN STAATEN**
- Eine Literaturanalyse * -
von Klaus Schrader
Kiel, im Juli 1989

Institut für Weltwirtschaft an der Universität Kiel
The Kiel Institute of World Economics

Institut für Weltwirtschaft
Forschungsabteilung I
Düsternbrooker Weg 120
2300 Kiel 1

Arbeitspapier Nr. 381
**EINZELWIRTSCHAFTLICHE WIRKUNGEN VON
RÜSTUNGS- UND RAUMFAHRTAUSGABEN
IN DEN VEREINIGTEN STAATEN**
- Eine Literaturanalyse * -
von Klaus Schrader
Kiel, im Juli 1989

Ag 2978/89
Weltwirtschaft
Kiel

* Dieser Beitrag ist im Rahmen eines Forschungsvorhabens über "Rüstung, Raumfahrt und wirtschaftliche Entwicklung" entstanden, das von der Fritz Thyssen-Stiftung finanziell gefördert wird.

Für Inhalt und Verteilung der Kieler Arbeitspapiere ist der jeweilige Autor allein verantwortlich, nicht das Institut. Da es sich um Manuskripte in einer vorläufigen Fassung handelt, wird gebeten, sich mit Anregung und Kritik direkt an den Autor zu wenden und etwaige Zitate vorher mit ihm abzustimmen.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Rüstung, Raumfahrt und technischer Fortschritt	1
2. Probleme des Technologietransfers aus dem RR-Bereich	3
3. Der zivile Nutzen von Rüstungsausgaben in der amerikanischen Elektronikindustrie	8
a. Spin-off-Effekte	8
α. Das VHSIC-Programm	11
β. Das SCI-Programm	16
b. Nachfrage-Effekte	18
c. Schlußfolgerungen	21
4. Der zivile Nutzen von Rüstungsausgaben in der amerikanischen Luftfahrtindustrie	22
a. Spin-offs in Form technischer Neuerungen ..	23
b. Spin-offs in Form kommerzieller Flugzeuge .	26
c. Schlußfolgerungen	27
5. Der zivile Nutzen von Raumfahrttausgaben der NASA	29
a. Die Midwest Research Institute-Analyse	30
b. Die Chase Econometric Associates, Inc.-Ana- lyse	32
c. Die Mathematica-Analyse	35
d. Die Mathtech-Analyse	39
e. Die Kosten von NASA-Technologien	45
6. Der zivile Nutzen militärisch geförderter Pro- zeßtechnologie	48
a. Werkzeugmaschinen	48
b. Das MANTECH-Programm	51
c. Militärische Förderung ausgewählter Prozeß- technologien	52
d. Schlußfolgerungen	54
7. Der zivile Schaden von RR-Ausgaben infolge Ressourcenentzugs	54
8. Die Fragwürdigkeit des zivilen Nutzens von RR-Ausgaben	59

Abkürzungsverzeichnis

VERZEICHNIS DER TABELLEN	Seite
Tabelle 1 - Technologiekontrollen in den Vereinigten Staaten	7
Tabelle 2 - Technische Neuerungen von 1925 bis 1972 in der US-Luftfahrtindustrie nach Förderungsarten und Förderungsbereichen	24
Tabelle 3 - Schätzung des ökonomischen Nutzens für die amerikanische Wirtschaft aus der sekundären Anwendung diverser NASA-Technologien	38
Tabelle 4 - Die Kosten-Nutzen-Analyse ausgewählter TUO-Programme	44

VERZEICHNIS DER SCHAUBILDER

Schaubild 1 - Kosteneinsparung und Zuwachs an Konsumenten- und Produzentenrenten	36
Schaubild 2 - Kosteneinsparung und größere Konsumentenrente	41
Schaubild 3 - Das TUO-Nutzenzuteilungsmodell	42
Schaubild 4 - Beschleunigungseffekte	47

ANHANG

Tabelle A1 - Der Diffusionsprozeß bei Raumfahrt- und Raketen-Spin-offs.....	61
Tabelle A2 - Halbleiterkäufe der US-Regierung, 1955-1977	62
Tabelle A3 - Integrierte Schaltkreis-Käufe der US-Regierung, 1962-1968	62
Tabelle A4 - Bundesstaatliche F&E-Ausgaben in der amerikanischen Flugzeug- und Raketenindustrie nach Behörden, 1963-1977, 1979, 1981 und 1983	63
Tabelle A5 - Die bedeutendsten technischen Neuerungen in der amerikanischen Luftfahrt von 1920 bis 1972	64
Übersicht - Die Literatur zu den mikroökonomischen Effekten von Rüstungs- und Raumfahrt-ausgaben	65
LITERATURVERZEICHNIS	67

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

APT	Automatically Programmed Tools
ASIC	Application Specific Chips
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CE	Chase Econometric Ass. Inc.
CIA	Central Intelligence Agency
COCAM	Committee of Computer Aided Manufacturing
COSMIC	Computer Software Management and Informations Center
DARPA	Defense Advanced Research Project Agency
DoD	Department of Defense
ESPRIT	European Strategic Program for Research in Information Technology
FAA	Federal Aviation Administration
F&E	Forschung und Entwicklung
GAO	General Accounting Office
IABG	Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft
ICAM	Integrated Computer Aided Manufacturing
ManTech	Manufacturing Technology
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MITI	Ministry of International Trade and Industry
MRI	Midwest Research Institute
MOS	Metal Oxide Semiconductor
NACA	National Advisory Committee on Aeronautics
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NASTRAN	NASA Structural Analyses
NC	Numerical Control
NRC	National Research Council
NTT	Nippon Telephone and Telegraph
OTA	Office of Technology Assessment
RADCAP	Research and Development Contributions to Aviation Progress

RAM	Random Access Memory
RR	Rüstung und Raumfahrt
SCI	Strategic Computing Initiative
SDI	Strategic Defense Initiative
TI	Texas Instruments
TUO	Technology Utilization Office
VHSIC	Very High Speed Integrated Circuits
VLSI	Very Large Scale Integration

1. Rüstung, Raumfahrt und technischer Fortschritt

In der Literatur werden hauptsächlich zwei Arten der Förderung des zivilen technischen Fortschritts durch die staatlichen Aktivitäten in Rüstung und Raumfahrt (RR) diskutiert: Zum einen könne der Staat durch seine Beschaffungspolitik bestimmte technologische Entwicklungen, die auf privaten Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen (F&E) beruhen, beschleunigen und damit eher als sonst für eine breitere zivile Nutzung verfügbar machen ("Nachfrageeffekt"); zum anderen könne die militärisch motivierte bzw. raumfahrtbezogene staatliche (oder im Auftrag des Staates durchgeführte) Forschung und Entwicklung (FuE) neue Technologien hervorbringen, die sich im nachhinein auch als zivil nutzbar erweisen ("Spin-off-Effekte").

Der Nachfrageeffekt setzt den Produzenten in die Lage, durch Lernen die Produkte zu verbessern und die Kosten zu senken. Auf diese Weise kann nachfolgend ein eventuell größeres ziviles Marktpotential rascher erschlossen werden. Als Beispiele für diesen RR-Nachfrageeffekt werden häufig Entwicklungen in der Luftfahrt- und der Elektronikindustrie, dabei insbesondere in der Halbleiterindustrie, angeführt, [Utterback/Murray, 1977, S. 3; Reich, 1983, S. 102 f.; De Grasse, 1984, S. 77 f.]. Wie sich die staatliche RR-Nachfrage auf die zivile Nutzung einschlägiger Technologien letztlich ausgewirkt hat, ist eine empirische Frage. Dabei liegt es in der Natur der Sache, daß sehr oft letzte Klarheit kaum zu gewinnen sein wird: Es ist unbekannt, was gewesen wäre, wenn es keine beschleunigte Einführung von Produkten durch staatliche Nachfrage gegeben hätte. Kommt es im Anschluß an oder während der Staatsnachfrage zu einer erfolgreichen zivilen Anwendung, so stellt sich das Problem der Zurechenbarkeit und, soweit eine solche gegeben ist, der ökonomischen Vorteilhaftigkeit. Staatliche Hilfe zur Einführung neuer Technologien mittels RR-Aufträgen sind nicht umsonst, ein

zeitliches Vorziehen der zivilen Nutzung trägt ihren Wert nicht in sich selbst. Entsprechend schwierig dürfte es sich gestalten, Verallgemeinerungen zur Wirkungsweise des RR-Nachfrageeffektes auf die Entwicklung der zivilen Technologie abzuleiten.

Die zweite Art der Förderung des zivilen technischen Fortschritts durch staatliche RR-Aktivitäten besteht darin, daß Technologien, die zunächst für reine RR-Zwecke entwickelt worden sind, später in zivile Anwendungen umgesetzt werden. In der Literatur wird weitgehend die Definition dieser Spin-offs von Welles/Waterman [1964] akzeptiert.¹ Nach dieser ursprünglich auf die Weltraumforschung bezogenen Definition, die auf die militärische F&E übertragbar ist, unterscheidet man zwischen zwei Kategorien von Spin-offs: Direkte oder greifbare Spin-offs bezeichnen den Transfer von Erzeugnissen, Prozessen und Materialien aus dem RR-Bereich in den zivilen Bereich; indirekte oder nicht greifbare Spin-offs umfassen den entsprechenden Transfer von Information wissenschaftlicher und technologischer Art [Welles/Waterman, 1964, S. 108]. Worauf es dabei letztlich ankommt, ist eine zeitliche Abfolge und ein Zusammenhang zwischen der Nutzung von Technologien im RR-Bereich und im zivilen Bereich. Häufig findet sich in der Literatur noch der ergänzende Hinweis, daß Spin-offs als ungeplante, zufällige Produkte anzusehen seien, die aus der Verfolgung der Ziele in der RR-Politik gewissermaßen abfielen.

Die empirische Analyse von Spin-offs und des mit diesen verbundenen zivilen Nutzens wirft beträchtliche Probleme auf. Diese liegen zum einen im Grundsätzlichen, bei der Zurechenbarkeit und Meßbarkeit überhaupt, und zum anderen bei der Auswahl und Interpretation geeigneter Indikatoren. Kubbig

¹ Zur Veranschaulichung des Diffusionsprozesses von Spin-offs siehe Tabelle A1 im Anhang.

[1986, S. 3 ff.] nennt zusammenfassend folgende Kritikpunkte:

- Erstens lasse sich die militärische Forschung und Entwicklung kaum systematisch von der zivilen trennen, da die Forschungsgebiete sich zum Teil überschneiden, die gleiche Grundlagenforschung relevant sei und in der militärischen F&E auch sonst ziviles Know-How verwendet werde.
- Zweitens weise die am häufigsten verwendete Meßgröße für Spin offs, die Patente, gravierende Mängel auf.
- Drittens sei es nur begrenzt möglich, den zivilen Nutzen und Kosten aus militärischer F&E gegeneinander aufzurechnen.
- Viertens gäbe es kaum gründliche Arbeiten zur quantitativen Erfassung von Spin-offs. Das vorhandene Material sei zudem methodisch anspruchslos, empirisch nicht abgesichert und ideologisch geprägt.
- Fünftens sei es nicht möglich festzustellen, welche Entwicklung ohne militärische F&E in bestimmten Fällen stattgefunden hätte.

In der folgenden Analyse wird zunächst auf die Probleme eingegangen, die sich mit dem Technologietransfer aus dem RR-Bereich verbinden, ehe die Nachfrageeffekte und Spin-off-Effekte in ausgewählten Sektoren untersucht werden.

2. Probleme des Technologietransfers aus dem RR-Bereich

Es ist von Interesse zu klären, inwieweit der Transfer neuer Technologien aus dem RR-Bereich in zivile Anwendungen gefördert oder gehemmt wird. Reich [1983, S. 190] stellt die These auf, daß das DoD (Department of Defense) und die NASA (National Aeronautics and Space Administration) keinerlei

Interesse daran zeigten, den kommerziellen Erfolg der von ihnen beschleunigten industriellen Entwicklung und der daraus resultierenden neuen Produkte sicherzustellen. Ihr Interesse gelte in erster Linie der Stabilisierung der Unternehmen im RR-Bereich und weniger der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der amerikanischen Produzenten auf kommerziellen Märkten. Diese These wird von Nelson [1987, S. 26] mit dem Verweis darauf gestützt, daß das DoD dem Ziel der nationalen Sicherheit absoluten Vorrang einräume. Deshalb sei es nicht Absicht des DoD, mit den von ihm durchgeführten Programmen eine möglichst große Zahl Spin-offs hervorzubringen. Um diese These überprüfen zu können, muß im folgenden die Rolle von NASA und DoD im Rahmen des Technologietransfers erörtert werden.

Die Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft m.b.H. (IABG) führt in ihrer Studie aus [1985, S. 42 f.], daß die NASA nach dem National Aeronautics and Space Act von 1958 dazu verpflichtet sei, ihre Aktivitäten und deren Ergebnisse einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Damit ist der NASA vorgeschrieben, daß die von ihr entwickelten Technologien im kommerziellen Bereich soweit wie möglich Anwendung finden sollten. Des weiteren sei der Nachweis derartiger Spin-off-Erfolge auch deshalb für die NASA von Interesse, da auf diese Weise die Bereitschaft der politischen Instanzen zur Bereitstellung entsprechender Finanzmittel für Raumfahrtprogramme aufrechterhalten werden könnte. Mathtech [1977, S. 1] verweist darauf, daß eigens zur Unterstützung und Überwachung des Technologietransfers zwischen der Raumfahrt und den übrigen zivilen Bereichen im Jahr 1962 das Industrial Applications Office der NASA gegründet wurde, welches später in dem Technology Utilization Office (TUO) aufging¹.

¹ Zu den Aktivitäten des TUO siehe S. 39 ff.

Laut Kubbig [1986, S. 38 f.] wird dem DoD von den Befürwortern einer primär militärisch orientierten Industriepolitik die Rolle einer nationalen Koordinations- und Planungsinstanz bei einer zukünftigen amerikanischen Industriepolitik zugedacht. Denn Nelson [1987, S. 21] zufolge haben die Vereinigten Staaten keine dem japanischen MITI (Ministry of International Trade and Industry) vergleichbare zivile Behörde, die Planung und Koordinierung der Entwicklung zukunftsweisender Technologien wahrnehmen könnte. Nur bei Entwicklungen mit militärischer Relevanz habe bisher eine staatliche Planung und Koordinierung stattgefunden. Reich [1983, S. 181] weist zudem darauf hin, daß diese Fördermaßnahmen des DoD in den gleichen Industrien erfolgten, die in Japan vom MITI unterstützt würden, und daß die einzelnen Programme des DoD eine große Ähnlichkeit mit den japanischen Gegenstücken des MITI hätten. Gansler [1987, S. 49 f.] hält darüber hinaus die eine erfolgreiche Industriepolitik des DoD im RR-Bereich für richtungweisend für die gesamte amerikanische Wirtschaft.

Eine große Bedeutung für den Technologietransfer aus dem RR-Bereich wird der DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) zugesprochen: Die DARPA, eine Behörde des DoD, wurde Ende der 50er Jahre als amerikanische Reaktion auf die sowjetischen Erfolge in der Raumfahrt gegründet, um den sowjetischen Vorsprung auf dem Gebiet der als strategisch bedeutsam erachteten Weltraumtechnologie aufzuholen. Schon sehr bald übernahm die NASA diese Aufgabe, während die DARPA in unterschiedlichen Industrien langfristige technologische Entwicklungen mit Relevanz für den RR-Bereich zu fördern begann, ohne daß spezielle Waffensysteme entwickelt werden sollten. Die DARPA ist weitgehend bürokratischen Hemmnissen entzogen und darf Projekte mit hohen Risiken selbst auf die Gefahr eines Scheiterns hin fördern. Die Gelder der DARPA, die 1984 ein Volumen von 877 Mio. US-Dollar umfaßten, fließen konzentriert in wenige Eliteuniversitäten und indu-

strielle Forschungseinrichtungen, um Spitzenforscher in technologischen Grenzbereichen gezielt zu unterstützen [Hirsch/Trento, 1973, S. 23 ff.; Tirman, 1984b, S. 222 ff; Kubbig, 1986, S. 37 f.; Stowsky, 1986, S. 713 f.].

Trotz DARPA warnen Reich [1983, S. 190,] Kubbig [1986, S. 38] und Nelson [1987, S. 26] davor, MITI und DoD auf eine Ebene zu stellen. Denn das DoD verfolge, anders als das MITI, keine industriepolitischen Zielsetzungen, sondern räume der Aufgabe der nationalen Sicherheit absolute Priorität ein. Diesen Eindruck vermittelt auch die Vielzahl von Technologiekontrollen in den USA (Tabelle 1). Die Kontrollmaßnahmen machen deutlich, daß staatliche Stellen weniger als Förderer des Technologietransfers aus dem RR-Bereich agieren, sondern vielmehr dem Grundsatz "Sicherheit durch Geheimhaltung" folgen. Der zivile technische Fortschritt und die internationale Wettbewerbsfähigkeit amerikanischer Unternehmen müssen offensichtlich hinter dem Primat der nationalen Sicherheit zurückstehen.

Somit vermittelt die Literatur den Eindruck, daß zumindest die NASA bemüht ist, ihre Beiträge zur Förderung des zivilen technischen Fortschritts herauszustellen, um die für ihre Programme notwendigen Etatmittel zu erhalten. Ob in wissenschaftlichen Publikationen ein nennenswerter ziviler Nutzen aus den Raumfahrtausgaben der NASA nachgewiesen wird, soll in Abschnitt 5 dieser Arbeit untersucht werden. Auch wenn die institutionellen Rahmenbedingungen einen zivilen Nutzen der Rüstungsausgaben des DoD tendenziell in Frage stellen, werden dennoch in den Bereichen Elektronik, Luftfahrt und Prozeßtechnik Spin-offs vermutet.

Tabelle 1 - Technologiekontrollen in den USA

Kontrollmaßnahme	Verantwortliche Behörde	Art der Kontrolle	Kontrollgegenstand	Kontrollziel
Trading with the Enemy Act von 1917 (TWEA)	Präsident mit Finanzministerium	Einzellicenz, Rechtsverordnung	gesamter Außenhandel	Unterbindung des Wirtschaftsverkehrs mit Feindstaaten im Kriegsfall
Invention Secrecy Act von 1951 (ISA)	Patentbehörde	Geheimhaltungserlaß für mindestens 1 Jahr	Patentanmeldungen	Nichtveröffentlichung von für die nationale Sicherheit relevanten Patenten
Atomic Energy Act von 1954 (AEA)	Nuclear Regulatory Commission (NRC)	Exportlicenzen, Verordnungen	spezifisch kerntechnische Produkte und Informationen, Nutzung der Kernenergie	Nichtverbreitung von Kernwaffen, Sicherheit bei der Kernenergieerzeugung
Arms Export Control Act von 1976 (AECA) ^a	Außen- und Verteidigungsministerium	Mitteilungskontrolle	Information und Ausrüstung (geringe Kontrolle bei Produktionsausrüstung)	Transferkontrollen bzgl. ausländischer Bestimmungs-orte und Angehöriger fremder Nationalitäten
International Emergency Economic Powers Act von 1977	Präsident mit Finanzministerium	Exportlicenzen	gesamter Außenhandel	Abwehr von außergewöhnlichen Störungen durch Eingriff in den Außenhandel im Notstandsfall
Export Administration Act von 1979 (EAR) ^b	Wirtschafts- und Verteidigungsministerium	Exportlicenzen	hauptsächlich Güter- und Produktionsausrüstung	hauptsächlich Handel mit dem Ostblock
Präsidentenerlaß von 1982	Regierungsstellen	Zugangskontrolle	Informationen mit deutlicher Relevanz für die nationale Sicherheit	Begrenzung auf Zugangsberechtigte
Nationale Mitteilungspolitik (Nationale Sicherheitsfreigabe)	Verteidigungsministerium	Zugangskontrolle	hauptsächlich Information	Begrenzung auf Zugangsberechtigte

^a mit der Rüstungsgüterliste nach der ITAR (= International Trade in Armaments Regulation).

^b mit den EAR (= Export Administration Regulations), die die CoCom-Liste und die MCTL (Military Critical Technology List) beinhalten.

3. Der zivile Nutzen von Rüstungsausgaben in der amerikanischen Elektronikindustrie

Die Diskussion in der Literatur über den zivilen Nutzen von Rüstungsausgaben in der Elektronikindustrie erstreckt sich sowohl auf Spin-offs aus militärischer F&E als auch auf Nachfrageeffekte von DoD-Beschaffungsmaßnahmen. Auf diese beiden Aspekte ist nachfolgend einzugehen, wobei sich der Erörterung der Spin-offs ergänzend die Darstellung und Bewertung der beiden bedeutendsten militärischen F&E-Programme der 80er Jahre im Elektronikbereich anschließt. Es handelt sich um das VHSIC (Very High Speed Integrated Circuits)-Programm und das SCI (Strategic Computing Initiative)-Programm.

a. Spin-off-Effekte

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Spin-offs infolge von Rüstungsausgaben in der Elektronikindustrie hat De Grasse [1984, S. 85 ff.] zufolge in den letzten Jahrzehnten ständig abgenommen. Folgende Argumente können diese These stützen:

- Die zunehmende Kompliziertheit und die damit verbundenen hohen Kosten militärischer Projekte. Im Rahmen militärischer F&E werde weniger auf die Kosten als vielmehr auf die militär-spezifischen technischen Anforderungen geachtet, was die Möglichkeiten eines kommerziellen Nutzens stark einschränke [De Grasse, 1984, S. 87]. Stowsky [1986, S. 701] stellt in diesem Zusammenhang prinzipiell fest, daß kommerziell verwertbare Technologien nur das Ergebnis eines dezentralen Suchprozesses sein könnten. Dieser Forderung könne das DoD mit seiner zentralisierten Allokation von F&E-Ressourcen, die sich zudem an "barocken" technischen Vorgaben des Militärs orientiere, nicht

genügen.¹

- Seit dem zweiten Weltkrieg seien im Halbleiterbereich aus der militärischen F&E keine "grundlegenden Innovationen" bzw. "bedeutende Fortschritte" mehr hervorgegangen. Diesen Schluß ziehen De Grasse [1984, S. 89] und Utterback/Murray [1977, S. 24] aus der sehr geringen Anzahl von Patenten, die sich aus den vom DoD geförderten Projekten ergeben, und der kaum möglichen kommerziellen Verwertbarkeit dieser schon wenigen Patente. Beispielfhaft verweist De Grasse dabei auf die Patententwicklung bei Texas Instruments (TI) in den Jahren 1949 bis 1959: Von 112 Patenten resultierten lediglich 5 Patente aus staatlich finanzierter F&E, die aber 40 vH der F&E-Aufwendungen bei TI ausmachte. Von diesen 5 Patenten wurden schließlich nur 2 kommerziell verwertet. Allerdings wird von de Grasse und Utterback/Murray die Aussagekraft von Patenten als Spin-off-Indikator eingeschränkt: De Grasse [1984, S. 89] verweist darauf, daß Innovationen aus militärischer F&E in der Regel der Kontrolle des DoD unterlägen (vgl. auch Tabelle 1) und daher nur beschränkt patentierbar wären. Utterback/Murray [1977, S. 26 f.] billigen aus folgenden Gründen Patenten im Halbleiterbereich nur eine geringe Bedeutung zu: Aufgrund der Schnelligkeit des technischen Wandels sei das Patent schon entwertet, wenn zwei bis fünf Jahre nach der Patentanmeldung die Patentierung erfolge; die hohe Arbeitskräftemobilität fördere die Diffusion technischen Wissens zu Konkurrenzunternehmen; in den USA sichere ein Erlaß von 1956 die Verfügbarkeit

¹ Stowsky scheint sich auf Kaldor [1981, S. 27 f.] zu beziehen, die unter "barocken" Technologien versteht, daß Raumfahrt- und Waffensysteme immer komplizierter werden, eine immer größere Zahl technischer Feinheiten aufweisen, aber immer weniger der Weiterentwicklung ziviler Technologien dienen.

technischen Wissens gegen Zahlung einer Patentgebühr an den Patentbesitzer.¹

- Die geringe Spin-off-Quote im Halbleiterbereich sei nicht zuletzt auf die Inkompetenz der DoD-Programm-Manager zurückzuführen. Diese könnten angesichts des rapiden technologischen Wandels die Entwicklungsrichtung und die sich daraus ergebenden Anwendungsmöglichkeiten nicht vollständig erfassen. [De Grasse, 1984, S. 91 f.].
- Weiterhin hätte sich die schwerpunktmäßige Vergabe von F&E-Mitteln an etablierte Großunternehmen nachteilig ausgewirkt: Diese hätten Ende der 50er Jahre nur einen geringen Marktanteil bei Halbleitern gehabt, da sie deren Marktpotential zu spät erkannt hätten. Es wären Unternehmensneugründungen gewesen, die den technischen Fortschritt vorangetrieben hätten. So entwickelten die Ende der 60er Jahre gegründeten Unternehmen Mostak und Intel den Metall-Oxid-Halbleiter (MOS), der die kostengünstige Produktion von Rechnern und Uhren erlaubte. Finanziert wurden diese Forschungsvorhaben von Privatunternehmen, die an einer kommerziellen Nutzung dieser neuen Technologie interessiert waren. Währenddessen hätte das DoD nicht diese innovativen mittelständischen Unternehmen gefördert, sondern etablierte Großunternehmen unterstützt, die wenig zum technischen Fortschritt beigetragen hätten. [De Grasse, 1984, S. 87 ff.].

Auch wenn die Anzahl direkter Spin-offs als gering angesehen wird, ist die militärische F&E in den Augen von Utterback/Murray [1977, S. 25 f.] keinesweg unwichtig. Deren Einfluß zeige sich vielmehr in Form kaum quantifizierbarer indirekter Spin-offs, wie der Vermittlung von Grundlagenwissen, be-

¹ Anlaß war die Entwicklung des Transistors durch Bell und Western Electric, deren Monopolstellung im Jahre 1956 abgebaut wurde, indem alle vor 1956 erteilten Patente für jedes amerikanische Unternehmen frei verfügbar wurden. Von 1956 an waren Patentgebühren für den Zugang zu entrichten.

stimmter Fähigkeiten, von Konzepten und Komponenten. Genannt werden nicht weiter spezifizierte Entwicklungen aus den Bereichen Raketen-, Satelliten-, Kommunikations-, Computer- und Radartechnik. De Grasse [1984, S. 87] weist allerdings kritisch darauf hin, daß die DoD-Programme in den 80er Jahren die zivile Entwicklung von marktfähigen Produkten in den Bereichen Halbleiter und Werkzeugmaschinen behindern könnten.

α. Das VHSIC-Programm

Anfang der 80er Jahre wurde der Weltmarkt für die fortgeschrittenen Produkte der Halbleiterindustrie, 16KsRAM-Chips und 64 KdRAM-Chips, von den japanischen Produzenten beherrscht.¹ Brueckner/Borrus [1984, S. 21 f.] erklären diese Entwicklung damit, daß sich der Halbleitermarkt in einer Ausreifungsphase befunden habe. In dieser Phase hätten die amerikanischen Innovatoren zu wenig in die Massenfertigung investiert. Die japanischen Imitatoren seien in der Lage gewesen, die Überlegenheit ihrer Massenproduktionsstrategie voll auszuspielen.

In dieser Situation gab es mit der VLSI (Very Large Scale Integration)-Technologie eine Innovation, die zu expandierenden Märkten für hochentwickelte Gebrauchsgüter führte. VLSI ermöglicht über eine Mikrominiaturierung eine größere Chipdichte, d. h. es können mehr elektronische Funktionselemente als bisher möglich auf einem Chip zusammengefügt werden. Damit reduzieren sich die Kosten pro elektronischer Funktion auf jedem Chip, was die Wettbewerbsfähigkeit der

¹ Weltmarktanteile der Japaner 1981/82: 95 vH bei 16KsRAM-Chips und 67 bis 69 vH bei 64 KdRAM-Chips der fortgeschrittenen Generation dynamischer RAM-Chips [Brueckner/Borrus, 1984, S. 22]. Letztere sind Speicher-Chips, die ca. 64 000 binäre Zeichen oder bits enthalten [Perry/Sumney, 1984, S. 35]. Zur Funktionsweise von RAM (Random Access Memory)-Chips siehe auch Fußnote 1 S. 20.

Produzenten von Personalcomputern, Büromaschinen, Robotern und Telekommunikationsgeräten erhöht. Es kann daher nicht verwundern, daß die zivile Nachfrage die Entwicklung von

VLSI maßgeblich getragen hat [Brueckner/ Borrus, 1984, S. 22; Perry/Sumney, 1984, S. 35; De Grasse, 1984, S. 94; Stowsky, 1986, S. 708]. Mit Hilfe von VLSI könnten die amerikanischen Halbleiterproduzenten nach Ansicht von Brueckner/Borrus [1984, S. 23 f.] den von den Japanern dominierten RAM-Markt von zwei Seiten mit dem Angebot neuer VLSI-Massengüter und neuer VLSI-Einzelgüter angreifen. Ausschlaggebend für den Erfolg dieser Strategie sei die Fähigkeit der amerikanischen Unternehmen, ihren technologischen Vorsprung bei VLSI gegenüber den japanischen Konkurrenten zu wahren. Könnten die Japaner ihren technologischen Rückstand bei VLSI-Produkten aufholen, wäre ihnen der Erfolg durch ihre überlegene Prozeßtechnik sicher. Um diesen Rückstand aufzuholen, wurde 1976 von der japanischen Regierung und der japanischen Halbleiterindustrie die VLSI-Technologie-Forschungsvereinigung gegründet [De Grasse, 1984, S. 96]: Das MITI, die NTT (Nippon Telephone and Telegraph) und fünf große Halbleiterproduzenten koordinieren seither ihre F&E zur Vermeidung von Parallelarbeiten, was aber auch jeglichen Wettbewerb ausschließt; staatliche F&E-Zuschüsse ermöglichen die Verwendung des Unternehmenskapitals für die Ausweitung der Produktionskapazitäten. Auf diese Weise soll die internationale Wettbewerbsfähigkeit japanischer Unternehmen im Bereich der VLSI-Technologie gestärkt werden.

In den Vereinigten Staaten wurde erst 1980 ein staatliches Programm im Bereich der VLSI-Technologie begonnen: Das VHSIC (Very High Speed Integrated Circuits)-Programm des DoD, das sich in seiner Zielsetzung wesentlich von den japanischen Initiativen unterscheidet. Dieses Programm wurde aufgelegt, um die VLSI-Technologie militärisch nutzbar zu machen, da bis dahin in militärischen Ausrüstungsgütern diese Technologie keine Anwendung finden konnte. Die technologische Überlegenheit amerikanischer Waffensysteme konnte bis dahin nur

durch komplizierte Weiterentwicklungen auf Basis herkömmlicher Technologien gewahrt werden, was aber zu höheren Kosten und geringerer Verlässlichkeit führte. Wie bei zivilen Mikroelektronikprodukten sollten daher durch VHSIC Kosteneinsparungen erzielt und die Verlässlichkeit der militärischen Ausrüstung erhöht werden [Perry/Sumney, 1984, S. 35 f.; Castellano, 1986, S. 114]. Vor allem aber sollten im Rahmen des VHSIC-Programms Schaltkreise mit 10facher Dichte und 100facher Geschwindigkeit im Vergleich zu zivilen Schaltkreisen entwickelt werden, um die Leistungsfähigkeit hochmoderner Waffensysteme, z. B. im Bereich der Raketenabwehr, zu erhöhen. Dies erforderte eine über die zivilen Anforderungen hinausgehende Miniaturisierung¹ [De Grasse, 1984, S. 98; Castellano, 1986, S. 114 f.], da diese die Schaltwege verkürzt und damit die Schaltgeschwindigkeit auf das für militärische Verwendungen notwendige Maß anhebt.

Der zivile Nutzen des VHSIC-Programms wird in der Literatur weitestgehend in Frage gestellt:

- Brueckner/Borrus [1984, S. 27 f.] und Castellano [1986, S. 119] nehmen an, daß es kaum direkte Spin-offs in Form von Produktinnovationen geben werde, da die technischen und qualitativen Eigenschaften der militärischen Chips in der Regel nicht den zivilen Bedürfnissen entsprächen.
- Von Brueckner/Borrus [1984, S. 51 ff.] und auch von McLoughlin/Miller [1987, S. 9 f.] wird darauf hingewiesen, daß das rapide Tempo der technischen Entwicklung im VLSI-Bereich längst die militärischen Zielsetzungen überholt habe. In Halbleiterunternehmen, die sich mit VLSI und VHSIC befassen, flößen Spin-offs von dem zivilen in den militärischen Teil der Produktion, was die zivile Bedeu-

¹ Die Vorgabe bestand in der Entwicklung von 1,25 und 0,5 Mikron-Chips [Castellano, 1986, S. 114 f.].

tung der VHSIC-Entwicklungen gänzlich verblässen ließe. Damit profitierten nur das DoD und Halbleiterunternehmen, die den Anschluß an den technischen Fortschritt verpaßt hätten, von dem VHSIC-Programm, das als Träger eines Aufholprozesses erscheine. Hingegen zögen die führenden amerikanischen Produzenten allenfalls einen marginalen Nutzen aus dem VHSIC-Programm, so daß die Wettbewerbsposition der amerikanischen Halbleiterindustrie bei VLSI-Produkten durch VHSIC nicht verbessert würde.

- Die mit dem VHSIC-Programms verbundenen Geheimhaltungsvorschriften würden, selbst wenn es ein Spin-off-Potential gäbe, einen Technologietransfer in den zivilen Bereich verhindern [Brueckner/Borrus, 1984, S. 56 ff.; Stowsky, 1986, S. 711; Rosenberg, 1986, S. 182; Castellano, 1986, S. 119]. Aufgrund des dualen Charakters der VLSI-Technologie wird von Brueckner/Borrus [1984, S. 72 f.] und Stowsky [1986, S. 711] ein weiterer negativer Effekt der Geheimhaltung gesehen: Die enge Verwandtschaft zwischen VLSI und VHSIC könne zu einer potentiellen, sicherheitspolitisch motivierten Beschränkung rein ziviler F&E-Ergebnisse führen. Um dieses zu vermeiden, würden die Unternehmen intern ihre VHSIC- und VLSI-Programme voneinander trennen mit der Folge einer ineffizienten Parallelforschung im gleichen Unternehmen. Darüber hinaus könnten die VHSIC-Beschränkungen einen Präzedenzfall für andere kommerzielle Produkte mit dualen Charakter darstellen und zu einer generellen Ausdehnung von sicherheitspolitischen Restriktionen führen - zu Lasten der Wettbewerbsfähigkeit der amerikanischen Industrie.
- Des weiteren vermuten Brueckner/Borrus [1984, S. 78 f.], daß Verbote der Publikation von wissenschaftlichen Ergebnissen einen limitierenden Einfluß auf die Grundlagenforschung der Universitäten ausübten. Als Konsequenz könnte die technologische Stellung von US-Unternehmen auf dem Weltmarkt weiter untergraben werden.
- Auch führe nach Brueckner/Borrus [1984, S. 79 ff.] die

Bevorzugung leicht kontrollierbarer Großunternehmen im Rahmen des VHSIC-Programms langfristig zu einer Veränderung der Marktstruktur zu Lasten kleinerer Unternehmen. Deren Innovationskraft sei für die zukünftigen Herausforderungen jedoch unersetzbar.

- Mit 680 Mio. US-Dollar, verteilt über 8 Jahre, trage das VHSIC-Programm nur mit 15 vH zu der industriellen F&E-Tätigkeit auf diesem Gebiet bei. Dem Argument der finanziellen Bedeutungslosigkeit des VHSIC-Programms wird entgegengehalten, daß über die Mobilisierung zusätzlicher Eigenmittel der an VHSIC beteiligten Unternehmen ein Volumen von mehr als 1 Mrd. US-Dollar erreicht werde, was relativ viel sei [Brueckner/Borrus, 1984, S. 32 f.; Castellano, 1986, S. 119].
- Das VHSIC-Programm bewirke eine ineffiziente Allokation knapper F&E-Ressourcen zu Lasten des zivilen VLSI-Bereichs. Befragungen bei VHSIC-Kontraktnehmern scheinen diese Befürchtungen jedoch zu entkräften, da die Unternehmen ihre VHSIC-Mitwirkung von der Wahrung ihrer kommerziellen Interessen abhängig gemacht hätten. Befürworter sehen darüber hinaus die Möglichkeit, daß die technologische Herausforderung von VHSIC mehr und bessere Studenten zu einem entsprechenden Studium veranlassen könne [Brueckner/Borrus, 1984, S. 36 ff.].

Für möglich gehalten werden allerdings Spin-offs im Bereich des Entwurfs und der Fertigung von VLSI-Komponenten, wobei im einzelnen die Felder Computer Aided Design (CAD), Computer Aided Manufacturing (CAM) und Lithographie profitieren würden [Brueckner/Borrus, 1984, S. 27 f.; Castellano, 1986, S. 119]. Von Rosenberg [1986, S. 181 f.] werden aber auch diese Spin-offs im Bereich der Prozeßtechnik bestritten, deren Eignung für die zivile Massenproduktion von ihm angezweifelt wird und die seiner Meinung nach unvereinbar mit einer Kostenminimierung seien. Es würden daher auch in der Prozeßtechnik keine Spin-offs anfallen, obwohl gerade diesem

Bereich für den internationalen Wettbewerb mit den japanischen Produzenten eine wichtige Rolle zukomme.

ß. Das SCI-Programm

Im Jahr 1983 wurde unter Trägerschaft der Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) das SCI (Strategic Computing Initiative)-Programm begonnen, für das über einen Zeitraum von 5 Jahren 600 Mio US-Dollar aufgewendet werden sollten [Miller, 1987, S. 6]. Ziel dieses Programms war die Entwicklung von Supercomputern und entsprechender Software, die dem Menschen ähnliche Fähigkeiten haben sollen. Diese künstliche Intelligenz könnte eine Vielzahl von Tätigkeiten ausüben, die bisher dem Menschen vorbehalten sind. Zudem würde sie in Systemen zur Abwehr ballistischer Raketen benötigt, wie sie im Rahmen der Strategie Defense Initiative (SDI) vorgesehen seien [Miller, 1987, S. 3]. Über diese Anwendungsmöglichkeiten hinaus werden die Supercomputer als ausschlaggebend für die Stellung eines Landes in einer Vielzahl von wissenschaftlichen Forschungsgebieten und wirtschaftlichen Bereichen angesehen. Das Land mit den besten Supercomputern würde über entscheidende technologische und wettbewerbliche Vorteile verfügen [Stowsky, 1986, S. 713; Miller, 1987, S. 8 f.].¹

Da durch das SCI-Programm auf dem Forschungsgebiet der "künstlichen Intelligenz" eine Verlagerung auf Schwerpunkte von militärischem Interesse stattfindet, wird befürchtet, daß

¹ Entsprechend gibt es ähnliche Bemühungen in anderen Ländern: In Japan laufen seit Beginn der 80er Jahre zwei zehnjährige Programme in Zusammenarbeit von MITI und der Privatindustrie mit einem Volumen von mehr als 400 Mio. US-Dollar; im Vereinigten Königreich ist 1983 ein fünfjähriges Programm zur Förderung von Hochtechnologiebereichen wie künstliche Intelligenz und VLSI angelaufen, getragen von der britischen Regierung und der Privatindustrie mit einem Umfang von 540 Mio. U.S.-Dollar; die EG hat 1984 ihr zehnjähriges ESPRIT (European Strategic Pro-

die zivilen Nutzungspotentiale vernachlässigt werden. Dabei wird von Miller [1987, S. 8] auf folgende Aspekte von SCI verwiesen:

- Die Betonung spezifisch militärischer Anwendungen bei der Entwicklung von Computertechnologien;
- die Abkehr der Computerforschung von kommerziellen Zielsetzungen;
- der Wettbewerb zwischen Militär, Wirtschaft und Wissenschaft um die begrenzte Zahl von Computerexperten;
- die mögliche Klassifizierung von SCI-Forschungsergebnissen;
- die Möglichkeit, daß weniger duale als vielmehr rein militärische Technologien aus der SCI-Forschung resultieren.

Stowsky [1986, S. 713 f.] kritisiert darüber hinaus die Trägerschaft der DARPA: Diese Behörde habe sich zwar einen guten Ruf bei der Betreuung langfristiger Technologieprogramme erworben, da sie weniger an der Entwicklung spezieller Waffensysteme als vielmehr an Fortschritten auf dem Gebiet der Grundlagenforschung interessiert gewesen sei. Bei SCI sei sie aber von diesem Erfolgskurs abgewichen, indem allgemeine Forschung und militärische Entwicklung simultan erfolgen;

noch Fußnote 1 Vorseite

gram for Research in Information Technology)-Programm mit einem Etat von 1 Mrd. US-Dollar gestartet, wobei Privatunternehmen, Universitäten und Forschungsinstitute auf diversen Gebieten der Mikroelektronik kooperieren sollen [Nelson, 1984, S. 45 ff.; Miller, 1987, S. 3 f.]. Eine Untersuchung dieser Initiativen durch das Committee on Science, Engineering and Public Policy (COSEPUP) im Jahr 1984 ergab, daß die amerikanischen Unternehmen ihre Führungsposition auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz behauptet hatten. Eine Gefährdung dieser Position wäre am ehesten aufgrund der japanischen Bemühungen zu erwarten [Miller, 1987, S. 4.].

d.h. die Verwendungsfähigkeit technologischer Entwicklungen werde an militärischen Projekten getestet.

Die Regierungsseite versucht laut Miller [1987, S. 9] diese Kritik folgendermaßen zu entkräften:

- die SCI-Aktivitäten werden quasi unausweichlich bedeutende Spin-offs hervorbringen, die auch nicht durch Geheimhaltungsvorschriften verhindert werden können. Denn anders als Teile der angewandten Forschung bleibe die Grundlagenforschung frei von jeder Geheimhaltung.
- Es wird bestritten, daß das SCI-Programm verstärkt militärische Anwendungsmöglichkeiten betone.
- Eingeräumt wird lediglich, daß zumindest kurzfristig personelle Engpässe im zivilen Bereich auftreten können. Die durch die erhöhten finanziellen Zuwendungen gestiegene Anziehungskraft des Forschungsgebiet der "künstlichen Intelligenz" werde aber langfristig zu einer Verbreiterung der personellen Basis führen.

b. Nachfrageeffekte

Den bisherigen Ausführungen ist zu entnehmen, daß die militärische F&E in der Elektronikindustrie kaum Spin-offs hervorgebracht hat. Dennoch wird dem DoD in der Literatur eine entscheidende Rolle bei der Förderung des technischen Fortschritts zuerkannt: Als Nachfrager der ersten Stunde hatte das DoD zumindest in den 50er Jahren einen Absatzmarkt für innovative Elektronikprodukte geschaffen, für die noch keine hinreichend große zivile Nachfrage existiert habe. Die militärische Verwendung habe Produktverbesserungen und eine Senkung der Produktionskosten ermöglicht, ohne die eine zivile Nutzung erst wesentlich später erfolgt wäre [Utterback/-Murray, 1977, S. 19; De Grasse, 1984, S. 89; Rosenberg, 1986, S. 175]. Von de Grasse [1984, S. 90] wird in diesem Zusammenhang die militärische Nachfrage nach Transistoren

Anfang der 50er Jahre und die Nachfrage nach integrierten Schaltkreisen im Rahmen des Minuteman II-Programms und des Apollo-Programms der NASA in den 60er Jahren erwähnt.

Die These einer Förderung des technischen Fortschritts in der Elektronikindustrie durch die vom DoD vorweggenommene Nachfrage wird allerdings durchweg auf die 50er und 60er Jahre beschränkt, da in den 70er Jahren der Nachfrageanteil des DoD sehr stark schrumpfte [De Grasse, 1984, S. 93; Stowsky, 1986, S. 706; Rosenberg, 1986, S. 175 f.; McLoughlin/Miller, 1987, S. 6 f.]. Im Halbleiterbereich läßt sich diese Entwicklung anhand des schrumpfenden Staatsanteils an der Gesamtnachfrage nach Halbleitern dokumentieren. In den 50er Jahren betrug dieser Anteil nahezu 40 vH, in den frühen 60er Jahren sogar fast 50 vH. Hingegen betrug der Staatsanteil an der Halbleiternachfrage 1977 nur noch 12 vH. Diese globalen Zahlen können allerdings nur die im Zeitverlauf sinkende Gesamtnachfrage des DoD aufzeigen, ohne daß die für einzelne Halbleiterentwicklungen ausschlaggebende Bedeutung der DoD-Beschaffungsmaßnahmen deutlich wird. Dieser Nachfrageeffekt wird erst dann erkennbar, wenn man die Entwicklung des Staatsanteils bei einzelnen Halbleiterprodukten wie den integrierten Schaltkreisen verfolgt: Betrug dieser im Jahr 1962 noch 100 vH, schrumpfte er bis zum Jahr 1968 kontinuierlich auf 37 vH [Levin, 1982, S. 59 ff.].¹ Diesen Trend erläutert De Grasse [1984, S. 93 f.], der eine Reihe von Erklärungsansätzen verwirft, damit, daß

- Kosteneinsparungen im DoD die Finanzierung kostspieliger Innovationen verhindert haben.
- die zunehmende Förderung von wenig innovationsfreudigen Großunternehmen zu Lasten kleinerer, innovativer Unternehmen gegangen sei.

¹ Siehe Tabellen A2 und A3 im Anhang.

- die Bereitschaft bei Regierungsstellen abgenommen habe, Eigeninitiativen der Wirtschaft in ihren Planungen zu berücksichtigen,
- der bürokratische Aufwand bei der Übernahme von DoD-Kontrakten ständig gestiegen sei,
- aufgrund der Standardisierung und der Preissenkung bei Halbleitern die zivile Nachfrage stark genug gestiegen sei, um den technischen Fortschritt ohne staatliche Hilfen weitertreiben zu können.

Dieser Trend wurde Stowsky [1986, S. 706 f.] zufolge durch die in den 70er Jahren zunehmend divergierenden Anforderungen der militärischen und zivilen Nachfrage unterstützt. Für die immer komplizierter werdenden Waffensysteme seien hochspezialisierte Chips benötigt worden, für die es keine kommerzielle Anwendung gegeben habe. Auf dem Markt dominierten standardisierte RAM-Chips¹, die in Personalcomputern und Videospielen Verwendung fanden und nur durch strengere Qualitätskontrollen und standardisierte Fertigungsprozesse weiterentwickelt werden könnten. Bei den vom Militär benötigten Chips hänge die Weiterentwicklung hingegen von Innovationen der zentralen Steuereinheit² ab. Auch jüngere Anstrengungen, Chips zu entwickeln, die anwendungsspezifischer wären und durch die Nutzung reprogrammierbarer Software die Vorteile der Massenproduktion in Anspruch nehmen könnten [ASIC's = Application Specific Chips], genügten den militärischen An-

¹ Chips sind Grundelemente moderner Datenverarbeitungssysteme, die zu größeren Einheiten verbunden werden. RAM-Chips sind Speichermedien, die es mit einem System von Adressen ermöglichen, auf irgendeinen beliebigen Platz direkt zuzugreifen. Nach diesem strengen Prinzip funktionieren alle modernen Arbeitsspeicher der Zentraleinheit.

² Die Zentraleinheit bzw. Central Processing Unit (CPU) ist die Hauptkomponente einer Datenverarbeitungsanlage. Sie überwacht und steuert die gesamte Anlage, und sie hält die jeweils benötigten Informationen (Daten, Programme) vorrätig.

forderungen nur unzureichend. Ende der 70er Jahre hätten sich die Halbleiterproduzenten immer weniger bereit gefunden, die vom Militär benötigten Spezialchips anzubieten. Es wäre attraktiver gewesen, Skalenerträge bei zivilen Standardchips zu realisieren, als die nur in geringer Stückzahl nachgefragten militärischen Spezialchips zu produzieren. Zu dieser Zeit hätte man im DoD geklagt, daß nur eine jahrzehntealte Mikroelektroniktechnologie für militärische Zwecke verfügbar gewesen wäre, während sich in den Atari-Computerspielen die neuesten Entwicklungen befunden hätten.

c. Schlußfolgerungen

Aufgrund der bisherigen Ausführungen spricht wenig dafür, daß der technische Fortschritt in der amerikanischen Elektronikindustrie maßgeblich von Spin-offs beeinflusst worden ist. Vielmehr muß der Eindruck entstehen, daß der Rüstungsbereich in zunehmendem Maße von technischen Entwicklungen im zivilen Teil der Elektronikindustrie profitiert. Die VLSI-Technologie und deren militärische Nutzung im Rahmen des VHSIC-Programms scheinen zu bestätigen, daß die militärische F&E weniger technologische Grenzbereiche erschließt, als vielmehr in einem Aufholprozeß zivile Technologien militärisch zu nutzen versucht. Die Wahrscheinlichkeit, daß diese Bemühungen dennoch einen zivilen Nutzen erbringen, muß als gering angesehen werden, da statt einer Erweiterung der technologischen Grundlagen hauptsächlich auf die Erfüllung spezifisch militärischer Anforderungen hingearbeitet wird. Bestehen derartige Vorgaben, die nicht mit dem kommerziellen Interesse der Privatwirtschaft in Einklang zu bringen sind, erscheint die Wahrscheinlichkeit von Spin-offs selbst dann sehr gering, wenn sich die militärische F&E in Grenzbereichen bewegt. Beispielhaft wurde das SCI-Programm genannt, dessen militärischen Schwerpunkte von vornherein den zivilen Nutzen einschränken, wenn nicht sogar über Ressourcenentzug und Vorgabe einer nichtkommerziellen Entwicklungsrichtung die zivile F&E beeinträchtigen.

Genauso kritisch wie das Bestehen von Spin-offs in der Elektronikindustrie ist der zivile Nutzen als vorweggenommene Nachfrage anzusehen. Es läßt sich zwar für die 50er und 60er Jahre auf Teilmärkten des Elektronikbereichs eine Pionier- nachfrage des DoD dokumentieren, jedoch nicht für die 70er und 80er Jahre. Eine Analyse der Nachfrageverteilung bei innovativen Produkten müßte darüber Klarheit erbringen. Daß die Nachfragemacht des DoD geschrumpft ist, zeigen allerdings schon die Probleme des DoD, Produzenten für Halbleiterprodukte zu finden, die den militärischen Bedürfnissen entsprechen.

4. Der zivile Nutzen von Rüstungsausgaben in der amerikanischen Luftfahrtindustrie

Die verfügbare Literatur vermittelt den Eindruck, daß zumindest bis in die 70er Jahre eine Vielzahl technischer Neuerungen im Luftfahrtsektor auf die militärische Förderung der F&E in diesem Bereich zurückgehen. Die große Bedeutung von Spin-offs wird nicht zuletzt mit dem hohen Anteil des DoD am F&E-Budget des Luftfahrsektors begründet: Rosenberg [1986, S. 178 f.] zufolge sank von 1945 bis 1969 der militärische Anteil nie unter 65 vH, während die privaten F&E-Ausgaben durchschnittlich weniger als 20 vH betrugen. Die Erhebungen der National Science Foundation [1977, 1986] für den Zeitraum 1963 bis 1979, 1981 und 1983 bestätigen diese Angaben zumindest in bezug auf die überragende Bedeutung bundesstaatlicher F&E-Ausgaben in der Flugzeug- und Raketenindustrie. Danach betrug der Staatsanteil an den F&E-Ausgaben in dieser Industrie durchschnittlich fast 79 vH, während der private Anteil demzufolge nur ca. 20 vH ausmachte. Innerhalb des Staatsanteils dominierte das DoD mit durchschnittlich 53 vH der F&E-Gesamtausgaben, gefolgt von der NASA mit mehr als 22 vH¹. Von daher sprechen auch diese Zahlen nicht gegen die

¹ Siehe Tabelle A4 im Anhang.

These, daß der hohe DoD-Anteil am F&E-Budget des Luftfahrtsektors erhebliche Spin-offs erwarten läßt.

a. Spin-offs in Form technischer Neuerungen

Den umfassendsten Überblick über die technischen Neuerungen in der US-Luftfahrt von 1920 bis 1970 bietet die RADCAP (Research and Development Contributions to Aviation Progress)-Studie, die im Jahr 1972 vom DoD, der NASA und dem Department of Transportation herausgegeben wurde. Den Verfassern zufolge ist es das Ziel dieser Studie, die These zu stützen, daß die militärische Unterstützung der F&E im Luftfahrtsektor für den größten Teil des technischen Fortschritts in diesem Bereich in den Jahren 1920 bis 1970 verantwortlich sei [U.S. Air Force, 1972, S. 2 ff.]. In der RADCAP-Studie werden 51 als bedeutsam angesehene technische Neuerungen dokumentiert, wobei jeweils der maßgebliche Förderer und das Jahr der militärischen und zivilen Verwendung genannt werden. Nach Auswertung der Studie ergibt sich das folgende Bild: Von den 51 Neuerungen wurden 35 (69 vH) aus dem Verteidigungsetat, 8 (16 vH) mit zivilen öffentlichen Mitteln, 2 (4 vH) mit zivilen und militärischen Etatmitteln und 6 (12 vH) von der Privatwirtschaft finanziert. Diese Neuerungen wurden in 30 (59 vH) Fällen vom DoD, in 8 (16 vH) von der Privatwirtschaft und ebenfalls in 8 (16 vH) Fällen vom DoD und der Privatwirtschaft gemeinsam erstmalig verwendet. In 5 (10 vH) Fällen erfolgte keine Verwendung, zumindest bis zum Erscheinungsjahr der Studie 1972. Damit ergibt sich sowohl bei der Finanzierung technischer Neuerungen, als auch bei deren Erstverwendung eine eindeutige Dominanz des DoD.¹

Aus Tabelle 2 wird ersichtlich, daß vor allem in den Bereichen Antrieb und Avionik das DoD maßgeblichen Anteil an den

¹ Siehe für eine detaillierte Darstellung Tabelle A5 im Anhang.

Tabelle 2 - Technische Neuerungen von 1925 bis 1972 in der US-Luftfahrtindustrie nach Förderungsarten und Förderungsbereichen

Technischer Bereich	Zahl der Neuerungen aufgrund von				Gesamt
	Öffentlicher Förderung	privater Förderung			
	militärisch	zivil	mil./zivil		
Antrieb	9	1	-	-	10
Flugzeugkörper	6	4	1	2	13
Avionik (Luftfahrt-elektronik)	8	-	1	-	9
Materialien und Herstellung	7	-	-	2	9
Sicherheit und Betrieb	5	3	-	2	10
Gesamt	35	8	2	6	51

Quelle: IABG [1985, S. 14].

technischen Neuerungen hatte. Mowery/Rosenberg [1982, S. 130 f.] bestätigen diese Aussage für den Bereich "Antrieb": Im Zeitraum von 1925 bis in die 70er Jahre habe es keinen Flugzeugantrieb in den USA gegeben, der nicht auf militärischen Bedarf und entsprechender F&E-Förderung zurückgehe; von 1919 bis 1926 sei die Antriebsentwicklung vollständig aus den öffentlichen Etats bestritten worden. Das erste amerikanische Düsentriebwerk habe das DoD alleine finanziert, da es vor 1940 zwar einen dringenden militärischen Bedarf für ein solches Triebwerk gegeben habe, auf privatwirtschaftlicher Seite in den Vereinigten Staaten jedoch kein Interesse vorhanden gewesen sei. Die Hauptdüsentriebwerke der Boeing 707 und der DC 8 seien schließlich im Rahmen der Bomberprogramme in den 50er Jahren entwickelt worden. Mowery/ Rosenberg [1982, S. 143] verweisen darauf, daß in dieser Zeit der treibstoffsparenden alternativen Antriebsform, dem Turbo-

proprietätsantriebwerk, weniger Beachtung geschenkt wurde, da das DoD eindeutig das Düsentriebwerk präferierte. Damit habe man in den 50er und frühen 60er Jahren die diesem Antrieb innewohnenden Entwicklungspotentiale ungenutzt gelassen. Mitte der 60er Jahre entwickelte General Electric für den Militärtransporter C-5A eine neue Düsentriebwerksgeneration, die bei der Boeing 747 und der DC-10 Verwendung fand. [Mowery/Rosenberg, 1982, S. 131]¹. Auch im Bereich der Avionik bzw. Luftfahrtelektronik sei eine Dominanz des DoD festzustellen. Die zivile Avioniktechnologie kann dem National Research Council (NRC) [1985, S. 9] zufolge als direktes Nebenprodukt der militärischen Avioniktechnologie angesehen werden, wie auch aus Tabelle 2 ersichtlich wird.

Aus der RADCAP-Studie geht hervor, daß zwischen der militärischen und der zivilen Verwendung einer vom DoD geförderten technischen Neuerung durchschnittlich 2,76 Jahre liegen. Hingegen wird eine ähnliche "Spin-off-Verzögerung" zwischen der zivilen und der militärischen Verwendung privatwirtschaftlich geförderter Neuerungen nicht beobachtet. Mehrere Erklärungen werden für die Spin-off-Verzögerung angeboten:

- Laut RADCAP [U.S. Air Force 1972, S. 35] ist die Verzögerung darauf zurückzuführen, daß die Privatwirtschaft erst die Erfahrungswerte aus der militärischen Nutzung abwarte, ehe sie sich für eine Einführung entscheide. Das bedeutet, daß die Privatwirtschaft sich durch ein höheres Sicherheitsbedürfnis auszeichnet. Es paßt in dieses Bild, daß das offensichtlich risikobereitere DoD bei der Nutzung privatwirtschaftlicher Neuerungen nicht erst zivile Erfahrungswerte abwartet.

¹ Die F&E-Ausgaben für das neue Düsentriebwerk teilten sich folgendermaßen auf:
55 vH vom DoD, 14 vH von der Bundesluftfahrtbehörde (FAA) und NASA, 32 vH von der Privatwirtschaft [Mowery/Rosenberg, 1982, S. 131].

- Die IABG-Studie [1985, S. 15 f.] bietet als Erklärung zum einen militärische Geheimhaltungsbestimmungen, zum anderen die geringe Relevanz für den zivilen Bereich an. Es wird allerdings auch die RADCAP-Erklärung berücksichtigt, wenn darauf verwiesen wird, daß die Dauer der Verzögerung im Einzelfall von dem strategischen Wert¹ einer Technologie abhängt: Bei hoher strategischer Relevanz werde eine technische Neuerung unmittelbar nach ihrer Entwicklung vom Militär genutzt, wodurch sich große Verzögerungen hinsichtlich einer zivilen Nutzung ergeben. Am geringsten seien diese bei einem geringen strategischen Wert, so daß manchmal die zivile Nutzung der militärischen vorausgehe.

b. Spin-offs in Form kommerzieller Flugzeuge

In den 30er Jahren begann mit der DC-3 das Zeitalter der Passagierluftfahrt, ohne daß dem Militär ein maßgeblicher Einfluß auf diese Entwicklung zuzuschreiben gewesen wäre. Ein Großteil der verwendeten technischen Neuerungen war von der NACA² entwickelt worden und der Entwurf der DC-3 blieb bis zum Erfolg der Düsenflugzeuge in den 50er Jahren auch für Militärflugzeuge richtungsweisend [Miller/Sawers, 1968, S. 3; Mowery/Rosenberg, 1982, S. 132]. Hingegen ging das erste erfolgreiche düsengetriebene Passagierflugzeug der Vereinigten Staaten, die Boeing 707 aus dem Jahr 1958, aus dem für die Betankung von B-47- und B-52-Bombern entwickelten KC-135-Tankflugzeug hervor [US Airforce, 1972, S. 27; Mowery/Rosenberg, 1982 S. 131; Tirman, 1984a, S. 18]. Auch

¹ In der IABG-Studie wird das Selektionskriterium des "strategischen Werts" nicht weiter erläutert.

² Die NACA (National Advisory Committee on Aeronautics) wurde 1915 gegründet und 1958 in die NASA umgewandelt. Bis Ende der 30er Jahre führte die NACA überwiegend Grundlagenforschung durch, später konzentrierte sie sich auf militärische Entwicklungen [Mowery/Rosenberg, 1982, S. 129].

die in direkter Konkurrenz zur B-707 stehende DC-8 entstand aufgrund der Erfahrungen, welche die Douglas Aircraft Company im Wettbewerb um das Tankflugzeug und bei dem Bau von Düsenjägern sammeln konnte [US Airforce, 1972, S. 28]. Des weiteren profitierte Boeing beim Bau der Boeing 747 von den Erkenntnissen aus dem verlorenen Kontrakt für den Luftwaffenfrachter C-5A und von der Abwicklung diverser Militärprogramme [US Airforce, 1972, S. 29; Tirman, 1984a, S. 18; Hochmuth, 1985, S. 369]. McDonnell-Douglas zog beim Bau der DC-10 ebenfalls Nutzen aus vorhergehenden Militärprogrammen, besonders hinsichtlich des Antriebs [U.S. Airforce, 1972, S. 29 f.]. Die DC-10 kann allerdings auch als ein Beispiel für einen "reverse-spin-off", d.h. einen Spin-off aus dem zivilen in den militärischen Bereich, dienen, da aus ihr das militärische Tankflugzeug KC-10 hervorgegangen ist [Rosenberg, 1986, S. 180].

c. Schlußfolgerungen

Mit der RADCAP-Studie wird eine umfangreiche Spin-off-Bilanz für die amerikanische Luftfahrtindustrie ausgewiesen, die jedoch Anlaß zu einigen Fragen gibt. So vermittelt die Studie den Eindruck, daß es um die Spin-offs technischer Neuerungen überhaupt geht, auch wenn nur Neuerungen auf dem amerikanischen Markt gemeint sind. Zu vermuten ist, daß die RR-Nachfrage in den USA auch ein "Spin-off" von in Europa beobachteten technischen Neuerungen war. Dies läßt sich am Beispiel des Strahltriebwerks dokumentieren: Das erste Strahltriebwerk wurde im August 1939 mit der He 178 erprobt¹ [Rathjen, 1989, S. B3], während in den USA erst 1941 ein derartiges Triebwerk entwickelt wurde und 1942 in einem Versuchsflugzeug Verwendung fand. D.h. jede dieser technischen "Neuerungen" müßte auf ihren Ursprung hin überprüft werden, um eine Aussage über Spin-offs in der Luftfahrtindustrie

¹ Das erste Serien-Düsenflugzeug flog im Jahre 1943 (Me 262).

treffen zu können¹, die den amerikanischen Rüstungsausgaben zurechenbar sind. Zudem fällt auf, daß die von RADCAP erfaßten technischen Neuerungen nicht in jedem Fall eine zivile Verwendung gefunden haben. Diese Nicht-Verwendung häuft sich im Laufe der Zeit, besonders in den 60er Jahren. Diese Tendenz und die Tatsache, daß es seit dem Erscheinen der RADCAP-Studie im Jahre 1972 keine vergleichbare Dokumentation für die 70er und 80er Jahre gegeben hat, läßt Zweifel an der Fortsetzung dieser Spin-off-Bilanz aufkommen. Diese Zweifel werden auch durch den Hinweis Rosenbergs [1986, S. 180] gestützt, daß in den vergangenen 15 Jahren die Zahl der Spin-offs ständig abgenommen habe. Er begründet dies damit, daß keine nennenswerten Beschaffungsprogramme für Militärtransportflugzeuge, sondern nur noch für Kampfflugzeuge durchgeführt worden seien. Deren technologische Anforderungen würden, anders als bei den Transportern, erheblich von den zivilen Anforderungen abweichen. Während bei der Entwicklung von Kampfflugzeugen das Interesse an Problemlösungen für den Überschallbereich dominiere, konzentriere sich das Interesse der zivilen Luftfahrt auf den Unterschallbereich. Dort seien Fragen des effizienten Energieverbrauchs, der Lärmreduzierung und der Verringerung der Umweltverschmutzung vorherrschend [IABG, 1985, S. 17; Rosenberg, 1986, S. 180]. Zudem wird darauf verwiesen, daß für die militärische Luftfahrtstechnologie verstärkt die Entwicklungen in der Mikroelektronik an Bedeutung gewonnen haben, wo seit den 60er Jahren die Entwicklung von dem zivilen Bereich getragen werde. [IABG, 1985, S. 19]. D.h. zivile Entwicklungen des Elektronikbereichs werden auch in der Luftfahrt militärisch nutzbar gemacht.

Darüber hinaus vermißt man in der RADCAP-Studie konkrete Aussagen über den zivilen Nutzen dieser Spin-offs. Etwa in

¹ In Deutschland etwa gab es einen "reverse-spin-off": Aus dem Verkehrsflugzeug He 111 des Jahres 1934 entstand drei Jahre später ein Bomber.

welche Weise Spin-offs zu einer Senkung der Entwicklungs- und Produktionskosten im zivilen Luftfahrtbereich beitragen. Im einzelnen werden folgende Aspekte in diesem Zusammenhang von Mowery/Rosenberg [1982, S. 132] und der IABG [1985, S. 14] genannt: Der direkte Transfer militärischer Technologie und Hardware; die Mitbenutzung staatlicher Produktions- und Testanlagen; die Ähnlichkeit von militärischem mit zivilen Design, wobei das Militär die Kosten trägt; ziviler Einsatz von Mitarbeitern, die ihr Wissen in militärischen Projekten sammelten; rationellere Produktionsverfahren aus militärischen Projekten. Ein empirischer Beleg für diese Vermutungen wird jedoch nicht gegeben.

Schließlich muß man sich, wie schon Tirman (1984a, S. 18), die prinzipielle Frage stellen, ob ein Flugzeug wie etwa die Boeing 747 nicht auch ohne DoD-Kontrakte hätte entwickelt werden können. Denn ein geringerer Staatsanteil an den F&E-Ausgaben im Flugzeugbau kann zu einer effizienten Verwendung der F&E-Ressourcen führen: Die Unternehmen wären ohne staatliche Absicherung gezwungen, sich kostenminimierend zu verhalten. Der Umweg über eine militärische Entwicklung ist zunächst einmal kostenintensiv. Allerdings erscheint es Kaldor [1981, S. 88] unumgänglich, daß die erstarrte Struktur der amerikanischen Luftfahrzeugindustrie in Bewegung geraten müßte, was nicht zuletzt bedeuten würde, daß Unternehmen, die schon bisher trotz DoD-Kontrakten kein ausreichendes Auftragsvolumen vorweisen konnten, aus dem Markt verschwinden.

5. Der zivile Nutzen von Raumfahrtausgaben der NASA

Nach dem Auslaufen des Apolloprogramms Ende 1972 [Dyson, 1983, S. 94] sah sich die NASA mit einem Rückgang des öffentlichen Interesses an der Raumfahrt konfrontiert. Um eine damit einhergehende Kürzung der Haushaltsmittel zu vermeiden, lag es im Interesse der NASA, den Nutzen der Raumfahrtstechnologien in anderen Wirtschaftsbereichen herauszustel-

len. Zu diesem Zweck wurde eine Reihe von Spin-off-Studien von der NASA in Auftrag gegeben, die diesen Nutzen empirisch erfassen und quantifizieren sollten.¹ Es mag daher nicht verwundern, daß die Untersuchungen des Midwest Research Institute [1971], der Chase Econometric Ass. Inc. [1977], von Mathematica [1976] und von Mathtech [1977] den verschiedenen NASA-Technologien einen relativ großen privatwirtschaftlichen Nutzen zumessen. In diesen Arbeiten ist der seltene Versuch unternommen worden, den gesamtwirtschaftlichen bzw. einzelwirtschaftlichen Nutzen von Spin-offs quantitativ zu ermitteln, so daß es sich anbietet, näher auf die verwendete Methodik und die daraus resultierenden Ergebnisse einzugehen. Auf aktuellere Untersuchungen dieser Art kann nicht zurückgegriffen werden, da es nach 1977 keine vergleichbaren und verfügbaren Studien mehr gegeben hat.

a. Die Midwest Research Institute-Analyse

Die Untersuchung des Midwest Research Institute (MRI) [1971] beschränkt sich auf die gesamtwirtschaftlichen Wachstumseffekte der NASA-F&E [vgl. auch Schrader, 1989]. Um diese quantifizieren zu können, geht das MRI folgendermaßen vor:

- In einem ersten Schritt wird der technische Fortschritt definiert: Es werden alle gesamtwirtschaftlichen Outputsteigerungen, die nicht von einem erhöhten Kapital- oder Arbeitseinsatz herrühren, dem technischen Fortschritt zugerechnet, da dieser die Faktorproduktivität verbessert.
- Zweitens wird eine gesamtwirtschaftliche Produktionsfunktion formuliert, die einen Technologieindex zur Messung der quantitativen Wirkungen des technischen Fortschritts

¹ Im Fall der NASA-Spin-offs ist die Spin-off-Definition dahingehend zu modifizieren, daß mit der NASA ein teilweise nicht-militärischer Spin-off-Produzent existiert; d. h. es ergibt sich u.a. ein Technologietransfer zwischen zivilem staatlichen Bereich und zivilem privatwirtschaftlichen Bereich.

enthält.¹

- Drittens wird der Technologieindex ermittelt, um den Einfluß der verwendeten Technologie auf Wirtschaftswachstum und Output messen zu können.
- Diesem Schritt schließt sich viertens die Bestimmung der Determinanten des technischen Fortschritts (F&E-Ausgaben, Skalenerträge, Ausbildungsniveau) an, deren Wirkung auf das technologieinduzierte Wirtschaftswachstum erfaßt werden soll².
- Fünftens werden mittels statistischer Methoden die zuvor aufgestellten Beziehungen quantifiziert.

Für die Periode von 1949 bis 1968 in den USA kommt die MRI-Studie zu folgendem Ergebnis:

- 40 vH des realen Outputwachstums im privaten Sektor ohne Landwirtschaft seien auf den technischen Fortschritt zurückzuführen.
- 36 vH des technischen Fortschritts wurden auf die verbesserte Ausbildung zurückgeführt; eine Restgröße von 60 vH wurde der F&E zugeschlagen, da sich andere mögliche Determinanten als insignifikant erwiesen.

Jeder über einen Zeitraum von 19 Jahren in F&E investierte US-Dollar habe einen Ertrag von mehr als 7 US-Dollar erbracht, was das MRI als ausgezeichnete nationale Investition

1 Die Produktionsfunktion lautet: $Q_t = A_t \cdot f(K_t, L_t)$
mit Q_t = Output im Zeitpunkt t
 K_t = Kapitaleinsatz in t
 L_t = Arbeitseinsatz in t
 A_t = Verwendetes Technologieniveau in t, das durch den Vergleich von realisiertem Output in t und möglichem Output in t bei einem auf ein Basisjahr fixierten Technologieniveau ermittelt wird [MRI, 1971, S. 6].

2 Es wird folgende Beziehung konstruiert:
 $A_t = f(F\&E, SE, E)$
mit
F&E = F&E-Ausgaben
SE = Skalenerträge
E = Ausbildungsniveau.

bewertet. Dieser durchschnittliche Ertrag der gesamten F&E-Ausgaben in den USA wird vom MRI als repräsentativ für die NASA-F&E-Ausgaben erachtet [MRI, 1971, S. 10], da man eventuelle Besonderheiten der NASA-F&E in Struktur und Wirkung nicht berücksichtigt. Diese Verwendung von Durchschnittswerten wird aber vom MRI nicht als methodische Schwäche angesehen, sondern vielmehr als konservative Schätzung verstanden. Denn laut MRI haben die Industrien, die für die NASA Forschung betreiben, einen Technologieindex (A_t) von 2,1 aufzuweisen, während dieser ansonsten in der verarbeitenden Industrie nur 1,4 betrage. Diese Abweichung wird mit der Konzentration der NASA-F&E auf technologieintensive Bereiche erklärt [MRI, 1971, S. 10]. Die Ergebnisse sind deshalb erstaunlich, weil im Gegensatz zu privatwirtschaftlichen F&E-Investitionen die NASA-F&E in erster Linie nicht-kommerziellen, raumfahrtbezogenen Zielsetzungen dient und weil Spin-offs in der NASA-Analyse nicht nachgewiesen werden. Ein Beitrag zum technischen Fortschritt und damit zum technologie-induzierten Output kann aber nur über Spin-offs erfolgen.

b. Die Chase Econometric Associates, Inc. - Analyse

Ebenso wie die MRI-Analyse beschränkt sich die Untersuchung von Chase Econometric Associates, Inc. (CE) [1977] auf die gesamtwirtschaftlichen Effekte von NASA-F&E-Ausgaben in den Vereinigten Staaten. Untersucht werden die kurzfristigen Nachfrageeffekte einer Ausgabenerhöhung und die langfristigen Angebotseffekte infolge erhöhten technologischen Wachstums und einer größeren Produktionskapazität [CE, 1977, S. 1].

Die kurzfristigen Wirkungen wurden mit Hilfe des INFORUM-Input-Output-Modells analysiert, wobei für das Jahr 1975 angenommen wurde, daß bei einer entsprechenden Kürzung anderer bundesstaatlicher Ausgaben die Ausgaben der NASA um 1 Mrd. US-Dollar steigen würden. CE kam zu dem Ergebnis, daß Arbeitsplätze ohne einen Anstieg der Inflation entstünden, und daß deshalb NASA-Ausgaben in einer konjunkturellen Erho-

lungsphase größere Stabilitätswirkungen als allgemeine Staatsausgaben hätten [CE, 1977, S. 1 f.]. Um die langfristigen Wirkungen zu schätzen, wurde folgende Vorgehensweise gewählt: Zuerst wurde eine Zeitreihe für die Rate des technischen Fortschritts in der Nachkriegszeit geschätzt.¹ Anschließend wurden auf Grundlage dieser Angaben zum technischen Fortschritt mit Hilfe von Regressionsanalysen die Determinanten (wie die NASA-F&E-Ausgaben) errechnet.²

¹ Für den technischen Fortschritt τ wird ein Produktivitätsmaß verwendet, das auf einer Zeitreihe des potentiellen BSP basiert. Das potentielle BSP ist als das bei Vollbeschäftigung von Arbeit und Kapital realisierbare BSP definiert. Dieses ist über die Jahre ständig gewachsen, was einerseits auf ein Ressourcenwachstum, andererseits auf ein Produktivitätswachstum infolge technischen Fortschritts zurückzuführen ist. Zugrundegelegt wird eine Cobb-Douglas-Produktionsfunktion:

$$X_c = A L_c^\alpha K^{1-\alpha} e^{\tau t}$$

mit

X = Output

L = Arbeit

K = Kapital

A = Konstante

α = Arbeitselastizität des Outputs

τ = technischer Fortschritt

² c = Vollbeschäftigte Kapazitäten [CE, 1977, S.38 ff.].
Ermittelt wurde folgende Gleichung auf Basis der Periode 1960 bis 1974:

$$\tau = -1,81 + 0,426 \sum_{i=0}^7 A_i (\text{NRD})_{-i} + 0,074 \sum_{i=0}^7 A_i (\text{ORD})_{-i} \\ (3,9) \quad (2,0) \\ * (1-\text{Cp})/(1-\overline{\text{Cp}}) + 0,031 (\text{IM}-\overline{\text{IM}}) - 0,157 (\text{Cp}-\overline{\text{Cp}}) \\ (4,5) \quad (3,1)$$

$\bar{R}^2 = .883$; DW = 1,95; t-Werte in Klammern; mit

τ = Rate des technischen Fortschritts bei Vollbeschäftigung von Arbeit und Kapital

NRD = NASA-F&E/BSP

ORD = Andere F&E/BSP

IM- $\overline{\text{IM}}$ = Abweichungen vom Durchschnitt einer "Industriearienvariablen". Diese soll Ressourcenverschiebungen von Niedrigtechnologie- und Hochtechnologieindustrien erklären

CP- $\overline{\text{CP}}$ = Abweichungen vom durchschnittlichen Kapazitätsauslastungsgrad

A_i = Laggewichtung

-i = Lags in Jahren. [CE, 1977, S. 70 f.].

Im nächsten Schritt konnte dann berechnet werden, welche gesamtwirtschaftlichen Wirkungen die NASA-F&E-Ausgaben über eine höhere Rate des technischen Fortschritts haben würden. Unter Annahme anhaltend erhöhter NASA-Ausgaben von 1 Mrd. US-Dollar in Preisen von 1958 für den Zeitraum 1975 bis 1984 prognostizierte CE folgende Wirkungen für das Jahr 1984: Ein um 23 Mrd. US-Dollar höheres BSP, eine um 2 vH geringere Preissteigerungsrate, eine um 0,4 vH geringere Arbeitslosenrate und eine um 2 vH höhere Produktivität im privaten Sektor ohne Landwirtschaft [CE, 1977, S. 2 ff].

Im Auftrag eines Senatsausschusses wurde die CE-Analyse vom Comptroller General [1977] einer kritischen Beurteilung unterzogen. Dabei wurden die vom CE ermittelten kurzfristigen Effekte der NASA-F&E-Ausgaben als wenig strittig angesehen und nicht näher untersucht, während sich die Kritik auf die Vorgehensweise bei der Schätzung der langfristigen Effekte konzentrierte [Comptroller General, 1977, S. 3]. Der Comptroller General verweist auf die außerordentlich große Wirkung der NASA-F&E, wenn man die vom CE verwendete Gleichung akzeptiert. Ohne NASA-F&E wäre zwischen 1965 und 1974 die Produktivität in den USA gefallen. Dieses Resultat sei aber nicht länger haltbar, wenn man die CE-Gleichung wie folgt variere: Die Ausdehnung der Basisperiode, die Berichtigung des Kapazitätsausnutzungsgrades und die Berücksichtigung von Änderungen der Arbeitsqualität in der Schätzgleichung lassen den NASA-F&E-Koeffizienten von 0,426 auf 0,136 schrumpfen; zudem sinkt das Signifikanzniveau erheblich¹.

¹ Die vom Comptroller General verwendete Gleichung auf Basis der Periode 1956 bis 1974 lautet:

$$\tau = 1,48 + 0,136 \sum_{i=0}^7 A_i(\text{NRD})_{-i} + 0,087 \sum_{i=0}^7 A_i(\text{ORD})_{-i} \\ + 0,026(\text{IM}-\overline{\text{IM}}) - 0,177(\text{CP}-\overline{\text{CP}}) + 0,096 \text{ dIE} + \\ (3,97) \quad (1,73) \quad (4,24) \quad (1,57) \quad 1,97 \text{ dIAS} \\ \bar{R}^2 = 0,897; \text{ D.W.} = 1,72; \text{ t-Werte in Klammern, (vgl. folgende Fußnote)}$$

Der Comptroller General kommt daher zu dem Schluß, daß zwar mit diesem Alternativergebnis der NASA-F&E nicht jegliche Produktivitätseffekte abgesprochen werden könnten, jedoch die von CE verwendete Methodik als äußerst zweifelhaft erscheine [Comptroller General, 1977, S. 6 ff.].

c. Die Mathematica-Analyse

Ziel der Untersuchung von Mathematica [1976] ist die Schätzung des ökonomischen Nutzens für die amerikanische Wirtschaft aus der sekundären Anwendung diverser NASA-Technologien. Unter sekundärer Anwendung werden dabei zivile Nutzungen von NASA-Technologien verstanden, die von den ursprünglichen, von der NASA vorgesehenen Verwendungen abweichen [Mathematica, 1976, S. 3.]. Für die Quantifizierung des auf NASA-F&E zurückführbaren ökonomischen Nutzens wurde von Mathematica eine spezielle Methodik entwickelt, die auf Technologiebereiche mit maßgeblichem NASA-Engagement angewendet wurde. Diese Bereiche sind Kältetechnik, Gasturbinen, integrierte Schaltkreise und das Software-Programm NASTRAN.

Methodisch geht Mathematica so vor, daß in einem ersten Schritt der ökonomische Nutzen einer technologischen Neuerung gemessen wird. Dieser Nutzen zeigt sich, dargestellt in Schaubild 1 als schraffierte Fläche, in Form einer größeren Summe aus Konsumenten- und Produzentenrente, die mit Hilfe der durch den technischen Fortschritt erzielten Kostener

noch Fußnote 1 Vorseite

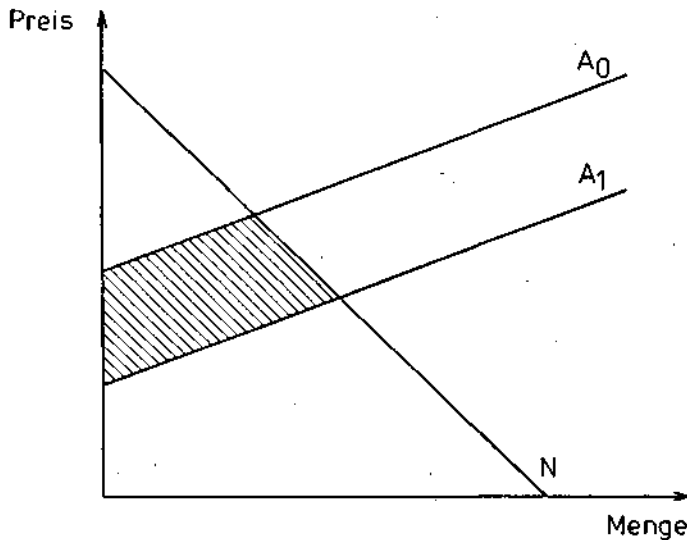
mit

dIE = Erste Differenz bei Variation eines
Arbeitsqualitätsindex infolge veränderter
Ausbildungsqualität.

dIAS = Erste Differenz bei Variation eines
Arbeitsqualitätsindex infolge veränderter Alters-
und Geschlechtsstrukturen der Arbeitnehmerschaft.

[Comptroller General, 1977, S. 21].

Schaubild 1 - Kosteneinsparung und Zuwachs an Konsumenten- und Produzentenrente



Quelle: Mathematica [1976, S. 9].

sparnisse zu schätzen versucht wird [Mathematica, 1976, S. 12 ff.]; die durchgeführten Schätzungen sind allerdings sehr grob. Sind an der Entwicklung einer Technologie außer der NASA auch andere Institutionen beteiligt, muß in einem nächsten Schritt der Nutzenanteil der NASA geschätzt werden. Zu diesem Zweck wird unterstellt, daß die NASA-F&E bestimmte technische Neuerungen beschleunigt hätte, die anderenfalls erst zu einem späteren Zeitpunkt realisiert worden wären. Der NASA-Nutzenanteil ergibt sich also aus der Differenz zwischen dem Nutzenstrom aus dem tatsächlichen technischen Fortschritt und dem Nutzenstrom, der ohne NASA-F&E entstanden wäre. Um diese Differenz feststellen zu können, muß der auf die NASA-F&E zurückführbare Beschleunigungseffekt quantifiziert werden. Dies geschieht mit Hilfe einer Befragung unabhängiger Experten, die diese Beschleunigungszeit schätzen [Mathematica, 1976, S. 15 ff.].

Die dargestellte Methodik wurde im einzelnen auf die vier genannten Technologiebereiche angewandt:

- Entwicklung eines neuen Isolationsmaterials im Bereich der Kältetechnik: Dieses Material, das der Isolation beim Transport flüssiger Gase dient, weist gegenüber dem direkten Substitutionsprodukt technische Vorteile (Mathematica: "Kostenvorteile") infolge geringerer Verdunstung und eines geringeren spezifischen Gewichts auf. Die NASA benötigte diese Technologie im Rahmen ihres Raumfahrtprogramms in den späten 50er und 60er Jahren [Mathematica, 1976, S. 24 f.].
- Senkung der Treibstoffkosten durch Gasturbinen bei der Elektrizitätserzeugung [Mathematica, 1976, S. 52 f.].
- Entwicklung integrierter Schaltkreise: Die integrierten Schaltkreise stellten ein völlig neues Produkt dar, das sich im Vergleich zu herkömmlichen Schaltkreisen durch geringere Kosten pro elektronischer Funktion, erhöhter Geschwindigkeit und größerer Zuverlässigkeit auszeichnete [Mathematica, 1976, S. 86 f.]. Die NASA unterstützte diese Entwicklung als Nachfrager und durch F&E auf den Feldern Produkt- und Prozeßtechnologie [Mathematica, 1976, S. 102].
- Das NASTRAN-Software-Programm für den Flugzeug- und Automobilbau, Brückenkonstruktionen und den Entwurf von Kraftwerken: Im Fall von NASTRAN fiel der gesamte Nutzen der NASA als Alleinentwickler zu, und im Gegensatz zu den drei anderen Fallbeispielen wurden in Bestimmung eines Nutzen-Kosten-Verhältnisses die Entwicklungskosten von NASTRAN ermittelt [Mathematica, 1976, S. 111 f.].

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Nutzenschätzungen für die einzelnen Technologien dargestellt. Die Nutzenschätzungen erfolgten im Rahmen einer 10-Jahres-Projektion jeweils für alternative Diskontraten von 5 vH und 10 vH sowie für alternative Beschleunigungszeiten zur Berechnung des NASA-Nutzanteils. Diese Beschleunigungszeiten beruhen auf den subjektiven Schätzungen "unabhängiger Experten". Die von Mathematica als am wahrscheinlichsten angenommene Schätzung des NASA-Nutzanteils ergab für alle vier Bereiche einen Be-

Tabelle 3 - Schätzung des ökonomischen Nutzens für die amerikanische Wirtschaft aus der sekundären Anwendung diverser NASA-Technologien

	Gesamtnutzen ^a		Beschleunigungszeit in Jahren	Nutzenanteil der NASA ^a	
	bei einer Diskontrate in Höhe von			bei einer Diskontrate in Höhe von	
	5 vH	10 vH		5 vH	10 vH
Kältetechnik 1960 - 1983	2 127	2 173	1	205 (9,6)	263 (12,1)
			5	897 (42,2)	1 054 (48,5)
			10	1 504 (70,7)	1 663 (76,5)
Gasturbinen in der Elektrizitätserzeugung 1969 - 1982	1 000	887	0,5	58,3 (5,8)	55,6 (6,3)
			1	116,5 (11,7)	111,2 (12,7)
			4	516,7 (51,7)	479,1 (54,6)
Integrierte Schaltkreise 1963 - 1982	19 844	18 747	0,5	1 239 (6,2)	1 349 (7,2)
			2	4 740 (23,9)	5 080 (27,1)
			3	6 887 (34,7)	7 277 (38,8)
NASTRAN 1966 - 1984			4	684,6 (100,0)	701,2 (100,0)
			10	1 491,1 (100,0)	1 359,1 (100,0)

^a In Millionen US-Dollar auf der Basis von 1974; relative Werte in Klammern.

Quelle: Mathematica [1976]; eigene Zusammenstellung und Berechnung.

trag von ca. 7 Mrd. US-Dollar [Mathematica, 1976, S. 130 f.]¹.

Die Resultate dieser Untersuchung sollten allerdings mit Vorsicht interpretiert werden. Mathematica stellt selbstkritisch fest, daß die NASA-Nutzenschätzungen, außerordentlich grob seien. Dies sei auf teilweise Schwächen der Datenbasis und auf die mit persönlichen Werturteilen behafteten Schätzungen der Beschleunigungszeiten zurückzuführen [Mathematica, 1976, S. 130]. Betrachtet man die Nutzenschätzungen in Tabelle 3, entsteht nicht nur der Eindruck einer groben Schätzung, sondern auch die Frage nach dem Aussagewert dieser Untersuchung. Bei der Kältetechnik wird beispielsweise ein NASA-Nutzenanteil von 9,6 vH im pessimistischsten Fall und von 76,5 vH bei optimistischster Schätzung für möglich gehalten. Angesichts einer solchen Bandbreite tendiert die Aussagekraft der Mathematica-Analyse gegen Null. Noch problematischer sieht es bei den Kostenschätzungen aus: Mathematica setzt im Regelfall technische Verbesserungen mit Kostenersparnissen gleich. Letztlich bleibt somit die Ausgangsfrage unbeantwortet, ob bei der NASA der Nutzen die Kosten überwogen hat.

d. Die Mathtech-Analyse

Im Auftrag der NASA untersuchte Mathtech, Inc. [1977] im Rahmen von Kosten-Nutzen-Analysen eine Anzahl von Technologietransferprogrammen des Technology Utilization Office (TUO), der Technologietransferagentur der NASA, auf ihren ökonomischen Wert. Die Untersuchung, die sich auf den Zeitraum von 1970 bis 1976 beschränkte, berücksichtigte zwei Arten von TUO-Programmen: Zum einen Programme zur Verbreitung von Informationen über NASA-F&E-Ergebnisse und von NASA-Software-Programmen, zum anderen Programme zum Transfer spe-

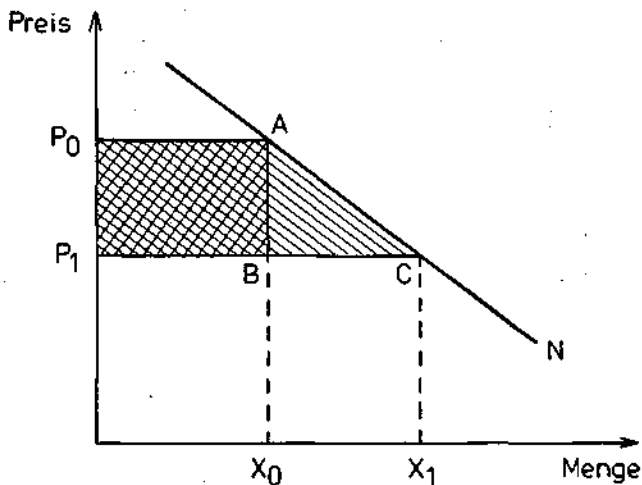
¹ Diskontrate 10 vH, mittlere Beschleunigungszeiten bzw. die kleine bei NASTRAN.

zieller Technologien in Anwendungsbereichen außerhalb des Raumfahrtsektors. Ehe ein Überblick über die konkreten Untersuchungsergebnisse erfolgt, soll im folgenden die angewandte Methodik dargestellt werden:

- In einem ersten Schritt versucht Mathtech den für die NASA-Technologie relevanten Markt zu ermitteln und dessen Größe zu schätzen.
- Anschließend sollen die der Marktnachfrage entsprechenden Alternativtechnologien identifiziert worden sein, um die Kosten dieser Technologien festzustellen und miteinander zu vergleichen. Denn die weitere Untersuchung habe nur einen Sinn, wenn die NASA-Technologie die geringeren Kosten aufweise.
- Als dritter Schritt erfolgt eine Schätzung des Ausmaßes und der Geschwindigkeit der Marktdurchdringung von Alternativ- und NASA-Technologien.
- Mit diesen Informationen kann, wie in Schaubild 2 dargestellt, der Gesamtnutzen der NASA-Technologie in Form der von ihr induzierten Kosteneinsparung festgestellt werden, die als eine um $[(P_0 - P_1) * x_0]$ größere Konsumentenrente gemessen wird. Die Untersuchung schließt nicht den Zuwachs an Konsumentenrente in Höhe ABC ein. Mathtech spricht daher von einer Unterschätzung des Nutzenzuwachses aufgrund dieses Meßfehlers.
- In einem abschließenden Schritt wird die Wahrscheinlichkeit ermittelt, mit der die NASA-Technologie eine kommerzielle Anwendung findet und damit die Kosteneinsparung realisiert wird. Dies geschieht laut Mathtech deshalb, weil die Mehrheit industrieller F&E-Projekte niemals zu Innovationen führen würde. Die Ermittlung dieser Realisierungswahrscheinlichkeiten geschieht mit Hilfe der von Mansfield und Wagner entwickelten Analysetechnik von Erfolgswahrscheinlichkeiten industrieller F&E-Projekte. Mit diesen Wahrscheinlichkeitswerten erfolgt dann eine Gewichtung des zuvor ermittelten Gesamtnutzens einer Technologie, wodurch sich letztendlich eine Nutzenschätzung für

die jeweilige Technologie ergibt [Mathtech, 1977, S. 105 ff.].

Schaubild 2 - Kosteneinsparung und größere Konsumentenrente

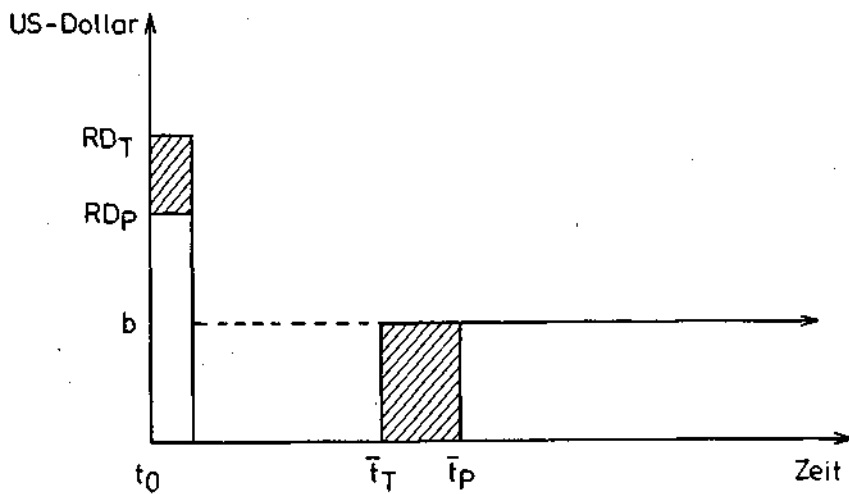


Quelle: Mathtech [1977, S. 104].

Zusätzliche Schätzungen zur Ermittlung des auf das TUO zurückführbaren Nutzens einer Technologie werden notwendig, wenn die Entwicklungsanstrengungen von mehreren Seiten getragen werden. In diesem Fall wird es notwendig, den TUO-Anteil am Gesamtnutzen zu isolieren. Die Mathtech-Studie greift zu diesem Zweck allerdings nicht wie in der Mathematica-Untersuchung [1976] auf Expertenbefragungen zurück. Diese werden abgelehnt, da anders als bei Mathematica die in der vorliegenden Studie untersuchten Technologien nur zum Teil bereits einer kommerziellen Nutzung zugeführt worden wären. Unter diesen Umständen wäre es für Experten kaum möglich gewesen, den TUO-Anteil am Gesamtnutzen unter Wahrung eines Mindestmaßes an Objektivität zu schätzen. Aus diesem Grund wurde in der Mathtech-Studie ein Zuteilungsmodell, das in Schaubild 3 graphisch dargestellt ist, konstruiert. In diesem Modell wird angenommen, daß bei Abwesenheit des TUO im Zeitpunkt t_0 ein Betrag von RD_p investiert wird. Aus diesem resultiert ein jährlicher Nutzenstrom in Höhe b US-Dollar, der auf t_0 abdiskontiert einen Gegenwartswert $B_c = b/r$

ergibt. Da jedoch vor Beginn einer kommerziellen Nutzung ein "Lag" \bar{t}_p auftritt, kann in t_0 nur ein niedrigerer Gegenwartswert B_p realisiert werden. Wird in einem nächsten Schritt der Beitrag des TUO berücksichtigt, so daß sich der investierte Betrag auf RD_T erhöht, kann eine Verringerung des "Lags" auf \bar{t}_T erreicht werden, was einen höheren Gegenwartswert B_T in t_0 zur Folge hat [Mathtech, 1977, S. 124 ff.].

Schaubild 3 - Das TUO-Nutzenzuteilungsmodell



Quelle: Mathtech [1977, S. 126].

Somit entspricht der TUO-Nutzen der Differenz der Gegenwartswerte mit und ohne TUO-Investition, die für jedes ein-

zelne Projekt ermittelt wird [Mathtech, 1977, S. 132 f.].¹ Das Zuteilungsmodell findet Anwendung unter folgenden Rahmenbedingungen: Der Nutzen wird bei einer Diskontrate von 10 vH als Gegenwartswert für das Jahr 1976 gemessen; der Nutzenstrom fängt mit dem erwarteten Beginn der Kommerzialisierung einer Technologie zu fließen an; b/r wird so geschätzt, als ob Investitionszeitpunkt und Projektstart zusammenfielen [Mathtech, 1977, S. 134 ff.]. Die Ergebnisse dieser Nutzen-schätzungen für die einzelnen Technologien können Tabelle 4 entnommen werden. Die im Rahmen des TUO-Nutzen-Kosten-Verhältnisses berücksichtigten Kosten entsprechen dem Betrag, den das TUO jeweils bei Technologietransfers aufwenden mußte.

Die Mathtech-Untersuchung kommt in allen Fällen zu einer positiven Bewertung der vom TUO durchgeführten bzw. mitgestalteten Programme. Zu fragen ist, ob die Mathtech-Methode nicht notwendig zu positiven Ergebnissen führt, die Bewertung also nicht falsifizierbar ist. Es mag auch sein, daß die ausgewählten Programme bewußt in die Untersuchung aufgenommen wurden, zumal Mathtech [1977, S. 20] selber einräumt,

¹ Mathtech [1977, S. 132 f.] verwendet die - kaum nachvollziehbaren - Gleichungen:

(a) bei "geringem" TUO-Investitionsanteil:

$$dB = \frac{b}{r} \left[\frac{ar}{(ax_p + r)^2} \right] * x_N$$

(b) bei "großem" TUO-Investitionsanteil:

$$dB = \frac{b}{r} \left[\frac{a(x_N + x_p)}{a(x_N + x_p) + r} - \frac{ax_p}{ax_p + r} \right]$$

mit

x_N = TUO-Investition

x_p = Investitionen anderer

a = konstant

r = Diskontrate.

dB = Zusätzlicher Nutzen

b = jährlicher Nutzenstrom

Tabelle 4 - Die Kosten-Nutzen-Analyse ausgewählter TUD-Programme

TUD-Programm	Realisie- rungswahr- schein- lichkeit	Gesamt- nutzen ^a bei ei- ner Dis- kontrate von 10 vH	Nutzen- anteil ^a des TUD bei ei- ner Dis- kontrate von 10 vH ^b	TUD-Kosten ^a	Beschleu- nigungs- zeit in Jahren ^c nis	TUD- Nutzen- Kosten- Verhält-
Informationspakete (Technical Support Packages), 1970 - 1976	1,0	83,0	2,0 (2,4)	1,7	-	1,2
COSMIC, (Computer Software Management and Informations, Center) 1970 - 1976	1,0	307,0	6,1 (2,0)	1,5	-	4,1
Operationsgerät zur Behandlung des "Grauen Star", 1979 - 1988	0,5	31,0	6,4 (20,7)	0,155	2	41,3
Brandwundendiagnose- technik, 1980 - 1989	0,5	2,7	1,8 (66,7)	0,22	6,5	8,2
Ernährungssysteme für Senioren, 1977 - 1986	0,1	10,5	0,76 (7,6)	0,132	0,75	5,8
Wiederaufladbarer Herzschrittmacher, 1974 - 1977	1,0	72,0	0,7 (1,0)	0,17	0,04	4,1
Impulsgeber (Human Tissue Stimulator), 1978 - 1987	0,3	516,0	2,6 (0,5)	0,271	0,04	9,6
Nickel-Zink-Batterie, 1980 - 1989	0,5	328,0	15,0 (4,6)	0,22	0,5	68,2
Verzinkte Umman- telungen, 1977 - 1986	0,8	68,0	14,6 (21,5)	0,043	2	339,5
Feuerwehratemgerät, 1976 - 1985	1,0	6,1	3,0 (49,2)	0,833	5	3,6

^a In Millionen US-Dollar in Werten von 1976; ^b TUD-Nutzen in vH des Gesamtnutzens in Klammern; ^c Beschleunigungszeit = TUD-Nutzenanteil: (Gesamtnutzen: Jahre der kommerziellen Nutzung).

Quelle: Mathtech [1977]; eigene Zusammenstellung und Berechnung.

daß damit nur einige TUO-Aktivitäten untersucht worden seien. Ausschließen möchte man bei Mathtech des weiteren nicht, daß Meßfehler in der Datenbasis vorlägen, die vorhandenen Daten fehlerhaft verwendet wurden und Irrtümer bei den Prognosen unterlaufen seien [Mathtech, 1977, S. 19]. Allerdings wirkt in manchen Fällen auch die Art und Weise wie Kostenersparnisse ermittelt werden wenig vertrauensserweckend. Betrachtet man beispielsweise das in Tabelle 4 aufgeführte Programm "Ernährungssysteme für Senioren" fällt einem der Mangel an Transparenz bei der Ermittlung der NASA-Kosten auf. Während die Ermittlung der Stückkosten eines bestehenden Ernährungssystems ausführlich dargestellt wird, genügt bei den NASA-Stückkosten der lapidare Hinweis auf eine NASA-Schätzung, die nicht weiter erläutert wird. Daß diese NASA-Stückkosten geringer veranschlagt werden als die Stückkosten des herkömmlichen Systems vermag nicht mehr zu überraschen [Mathtech, 1977, S. 185]. Fragwürdig muten auch die in Tabelle 4 aufgeführten Beschleunigungszeiten an, die zum Teil gerade 2 Wochen betragen, also außerhalb des Wahrnehmbaren liegen und eher als ein Hinweis auf schlichte Verschwendung von Steuermitteln gelten können.

e. Die Kosten von NASA-Technologien

Die Analysen von Mathematica und von Mathtech bemühen sich, den ökonomischen Nutzen verschiedener NASA-Technologien durch von diesen induzierte Kostenersparnisse herauszustellen. Ein wesentlicher Nachteil der Analysen ist, daß sie viele Probleme im Dunkeln lassen und erhebliche methodische Unschärfen aufweisen. Das gilt für die (fehlende) Nachvollziehbarkeit der Modelle wie auch für die konkrete Erfassung von Nutzen und Kosten einzelner Maßnahmen. Die Kosten, die mit der Einführung dieser Technologien verbunden sind, werden wie bei Mathematica gar nicht oder wie bei Mathtech nur

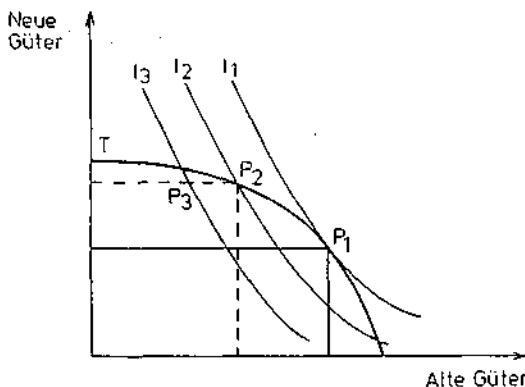
zu einem geringen Teil berücksichtigt.¹ In beiden Untersuchungen wird vielmehr der Versuch unternommen, mit Hilfe von Beschleunigungszeiten den Nutzenanteil der NASA zu bestimmen, wobei wie selbstverständlich die beschleunigte Einführung einer Technologie durch die NASA als nutzensteigernd unterstellt wird. Dabei übersieht man jedoch die Kosten, die eine solche NASA-Beschleunigung hervorrufen kann. Denn zum einen werden die NASA-F&E-Ausgaben mit staatlichen Mitteln finanziert, die zuvor, etwa über Steuern, den privaten Sektoren entzogen worden sind. Diese Mittel fehlen für die Finanzierung privatwirtschaftlicher, gewinnorientierter F&E-Ausgaben, die zu einer Steigerung des technischen Fortschritts beitragen würden. Des weiteren entzieht die NASA der Privatwirtschaft mit Hilfe dieser Mittel knappe F&E-Ressourcen, die ansonsten in privaten F&E-Projekten ebenfalls fortschrittssteigernd verwendet würden. D.h. die NASA-F&E ruft zumindest in solchen Fällen erhöhte Kosten hervor, in denen F&E-Ressourcen ineffizient bzw. nicht opportunitätskostenminimierend eingesetzt werden. Aber auch unter der Annahme, daß die NASA-F&E zu einem kommerziell verwertbaren Ergebnis führt, entstehen Kosten: Wie schon erwähnt, ist die NASA verpflichtet, die Ergebnisse ihrer Arbeit einer breiten Öffentlichkeit zugänglich und nutzbar zu machen. Im Fall einer kommerziell nutzbaren Technologie, kann die NASA also kein Unternehmen von einer kommerziellen Nutzung, etwa über prohibitiv hohe Patentgebühren, ausschließen. Es lohnt sich demnach für die Privatwirtschaft nicht länger, eigene F&E auf Gebieten zu betreiben, wo zu befürchten ist, daß eine NASA-Parallelforschung die eigenen Investitionen entwertet. Es werden der Privatwirtschaft überdies auch deshalb Anreize genommen, eigene F&E-Risiken auf sich zu nehmen, weil man doch als Trittbrettfahrer von der NASA-F&E profitieren kann. Auf diese Weise wird der fortschrittsfördernde dezentrale

¹ Die von Mathtech berücksichtigten TUO-Kosten umfassen nur die bei dem TUO im Rahmen des Technologietransfers entstehenden Programmkosten.

Suchprozeß der Unternehmen beeinträchtigt, deren Erfolgswahrscheinlichkeit größer ist, als die des mit außerökonomischen Zielsetzungen belasteten Vorgehens der NASA. Wohlfahrtssteigernd könnte die NASA-F&E im Fall der Produktion öffentlicher Güter sein, wie sie im Rahmen der Grundlagenforschung anfallen mögen. Die in der NASA-Spin-off-Studie aufgeführten F&E-Projekte müssen jedoch dem Bereich privater Güter zugerechnet werden. Denn der Schwerpunkt der NASA-Argumentation liegt auf Beschleunigungszeiten, d.h. mit einer Zeitverzögerung hätte auch die Privatwirtschaft die NASA-Entwicklungen hervorgebracht¹.

¹ Auch das Bestehen von "externen Erträgen" wird in den Modellen von Mathtech und Mathematica nicht postuliert. So bietet es sich an, auf eine klassische, ebenfalls komparativ-statische Analysetechnik zurückzugreifen, indem das Beschleunigungsargument transformiert wird in eine erhöhte Anzahl neuer Güter.

Schaubild 4 - Beschleunigungseffekte



Im Ausgangspunkt P₁, in dem die gesellschaftliche Indifferenzkurve (Kurve gleichen Nutzens) I₁ die gesellschaftliche Transformationskurve (Kurve der Produktionsmöglichkeiten bei Vollauslastung der Produktionspotentiale) T tangiert, wird eine wohlfahrtsoptimale Kombination von neuen und alten Gütern realisiert. In dieser Situation äußert der Staat seine Präferenz für einen größeren Anteil neuer Güter, deren Einführung er betreibt, so daß tendenziell P₂ auf der Transformationskurve realisiert wird. Diese staatliche Beschleunigung hat zur Folge, daß nur noch die ein niedrigeres Nutzenniveau repräsentierende Indifferenzkurve I₂ erreicht werden kann. Es entsteht ein gesellschaftlicher Wohlfahrtsverlust in Höhe der Differenz von I₁ und I₂. Dieser Wohlfahrtsverlust bei der in P₂ fixierten Menge neuer Güter kann sich noch vergrößern, wenn die relativen

6. Der zivile Nutzen militärisch geförderter Prozeßtechnologie

Bisher waren ausschließlich Produkttechnologien aus den Bereichen Elektronik, Luft- und Raumfahrt Gegenstand der vorliegenden Literaturanalyse. In der Literatur wird darüber hinaus der zivile Nutzen militärisch geförderter Prozeßtechnologie diskutiert. Die IABG [1985, S. 23] sieht zwar folgende Gründe für das Interesse des DoD an Prozeßtechnologien:

- Das DoD frage hochwertige Ausrüstung nach, deren Produktion eine Hochpräzisionstechnologie voraussetze.
- Eine moderne Prozeßtechnologie verringere die Kosten der Beschaffung von Waffensystemen.

Inwieweit das militärische Engagement in diesem Bereich einen zivilen Nutzen hervorgebracht hat, soll anhand der Entwicklung in der amerikanischen Werkzeugmaschinenindustrie und einiger militärischer F&E-Programme zur Förderung der Fertigungstechnologie erörtert werden.

a. Werkzeugmaschinen

Stowsky [1986, S. 704] zufolge besteht zwischen der amerikanischen Werkzeugmaschinenindustrie und dem DoD seit langem eine enge Beziehung, da für die Massenproduktion der verschiedenen Waffensysteme ein entsprechender Produktionsapparat notwendig sei, dessen Weiterentwicklung vor allem in Kriegszeiten vom DoD gefördert werde. So spielte die US-

noch Anm. 1 Vorseite

Faktorpreise inflexibel sind, wenn die Produktionsfaktoren nicht hinreichend substituierbar sind oder wenn die Produktionsmethoden nicht hinreichend rasch angepaßt werden können. Dann wird - sofern der Staat auf der in P_2 ausgewiesenen Anzahl neuer Güter besteht - nur mehr die in P_3 ausgewiesene Menge alter Güter hergestellt werden können. Es wird P_3 auf dem noch niedrigeren Nutzenniveau I_3 realisiert.

Luftwaffe in den 50er Jahren, die von Koreakrieg und kaltem Krieg geprägt waren, eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen. Die NC (Numerical Control)-Technologie ermöglichte die Substitution von Maschinenführern durch Steuergeräte, die über Lochkarten oder Magnetbänder und später über Computer-Software bestimmte Fertigungsvorgänge ausführen lassen konnten. Das DoD förderte zwischen 1949 und 1959 die Arbeiten des Massachusetts Institute of Technology (MIT) zur Entwicklung der richtungsweisenden NC-Hardware und eines kompatiblen Software-Systems in Form des APT (Automatically Programmed Tools). Dieser Entwicklung blieb jedoch ein kommerzieller Erfolg versagt: Die für das Militär entwickelten Werkzeugmaschinen waren zu sehr an spezifischen Bedürfnissen der Rüstungsproduktion ausgerichtet, als daß sie eine kommerzielle Anwendung hätten finden können. Das APT-Programm zeichnete sich ebenfalls durch einen hohen technologischen Anspruch und damit einhergehenden hohen Kosten aus, die für die im durchschnittlichen industriellen Fertigungsprozeß anfallenden Vorgänge nicht zu rechtfertigen gewesen wären [Noble, 1982, S. 99 ff.; Stowsky, 1986, S. 704 f.; Cypher, 1987, S. 45 f.]. Ein Beobachter verglich die kommerzielle Nutzung des APT-Programms gar mit dem Einsatz eines M1-Panzers als Gefährt für den täglichen Weg zur Arbeit [Shaiken, 1984, S. 100]. Damit wird in der Literatur den militärischen Entwicklungen im Werkzeugmaschinenbereich weitestgehend ein ziviler Nutzen abgesprochen. In der Tat zeigt die Literatur ein hohes Maß an Übereinstimmung mit der These, daß die Werkzeugmaschinenindustrie weniger ein Beispiel für den zivilen Nutzen von Rüstungsausgaben darstelle als vielmehr für den zivilen Schaden, den ein militärisches Engagement zur Folge haben könne [Melman, 1974; Noble, 1982; Di Filippo, 1986; Stowsky, 1986; Cypher, 1987].

Die Kritik an dem militärischen Engagement geht allerdings noch weiter: Stowsky [1986, S. 705] weist darauf hin, daß die Förderung hochentwickelter Programme durch die US-Luftwaffe das Augenmerk der Werkzeugmaschinenhersteller von der Entwicklung effizient nutzbarer Werkzeugmaschinen mit breiten zivilen Anwendungsmöglichkeiten abgelenkt habe. APT habe die amerikanische Werkzeugmaschinenindustrie so anhaltend geprägt, daß man es Ende der 70er Jahre versäumt habe, die mit der Entwicklung des Mikroprozessors und einfacher Programmiersprachen mögliche breitere Nutzung von NC-Werkzeugmaschinen voranzutreiben. Neben diesen technologischen Fehlentwicklungen wird der negative Einfluß des Militärs in der Vergabe von Kostenplus-Verträgen für die Entwicklung und Produktion dieser hochentwickelten Werkzeugmaschinen gesehen. Damit sei eine Kostenüberwälzungsmentalität gefördert worden, die sich in kaum erschwinglichen Preisen für nur begrenzt nutzbare Maschinen ausgedrückt habe [Melman, 1974, S. 140; Stowsky, 1986, S. 705; Di Filippo, 1986, S. 63 f.]. Als Folge dieser Entwicklung seien moderne Werkzeugmaschinen, mit Ausnahme der Luftfahrtindustrie, dem Landmaschinenbau und Teilen des Automobilbaus, in der amerikanischen Industrie kaum angeschafft worden; eine Überalterung des Maschinenparks sei die Folge gewesen [National Academy Press, 1983, S. 86; Di Filippo, 1986, S. 64 f.]. Konsequenterweise beherrschten mittlerweile Japaner und Westdeutsche, die frühzeitig auf kostengünstige, bedienungsfreundliche Hardware und Software gesetzt hätten, den Werkzeugmaschinenmarkt [Noble, 1982, S. 102 f.]. Ihre Entwicklungen zielten auf die Bedürfnisse der großen Zahl mittelständischer Unternehmen, so daß 1984 mehr als zwei Drittel der in den USA installierten NC-Maschinen Importe waren [Stowsky, 1986, S. 705 f.]. Damit wird in der Literatur dem militärischen Engagement in der Werkzeugmaschinenindustrie nicht nur der zivile Nutzen abgesprochen, sondern darüber hinaus in diesem die Ursache für den Verlust der internationalen Wettbewerbsfähigkeit dieses Industriezweigs gesehen.

b. Das MANTECH-Programm

Seit Ende der 40er Jahre wurde, wie bereits dargestellt, bis in die 70er Jahre unter Federführung von DARPA und der Luftwaffe die Entwicklung der NC-Technologie gefördert [IABG, 1985, S. 23; Cypher, 1987, S. 49]. Mitte der 70er Jahre sollten diese Programme zur Förderung anwendungsspezifischer NC-Technologien durch das MANTECH-Programm auf eine breitere Basis gestellt werden, um eine industrielle Revolution bei Fertigung und Werkstoffen einzuleiten. MANTECH, das von der Luftwaffe durchgeführt wird, ist eine Ansammlung von 400 bis 500 ständig laufenden Projekten, die unter Wettbewerbsbedingungen an Privatunternehmen vergeben werden, mit einem jährlichen Ausgabenvolumen von 700 bis 750 Millionen US-Dollar [Cypher, 1987, S. 49 ff.]. Als Gründe für die Realisierung des MANTECH-Programms Mitte der 70er Jahre werden von der Luftwaffe neben dem Ziel, die Beschaffungskosten durch neue Prozeßtechnologien zu senken, industriepolitische Ziele genannt: Die Erneuerung der industriellen Basis und die Erhöhung des in den 70er Jahren gesunkenen Produktivitätswachstums der amerikanischen Industrie [Lehn, 1981; GAO, 1984; Cypher, 1987, S. 49 f.]. Die Realisierbarkeit der letzteren Zielsetzung wird jedoch von Hetzner et al. [1983, S. 955 ff.] mit dem Hinweis darauf in Zweifel gezogen, daß militärische Programme im allgemeinen Fertigungstechnologie für einzelne, vom DoD nachgefragte Produkte bereitstellten. Im zivilen Bereich würden hingegen weniger einzelne Fertigungseinheiten als vielmehr komplexe Fertigungssysteme benötigt. Von dieser Kritik kann aber das Herzstück von MANTECH, das ICAM (Integrated-Computer-Aided Manufacturing)-Programm, offensichtlich ausgenommen werden. Im Rahmen des ICAM-Programms ist beabsichtigt, die "Fabrik der Zukunft" zu verwirklichen. Dieses Konzept beinhaltet die breite Einführung von CAD/CAM¹ und Robotern in der Fertigung mit dem Ziel, alle Fertigungsvorgänge - einzelne Maschinenleistungen sowie Transfer- und

¹ Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing.

Kontrollfunktionen - letztendlich über einen Zentralcomputer steuern zu können [IABG, 1985, S. 23; Cypher, 1987, S. 51].

Zwei im Regierungsauftrag erstellte zivile Untersuchungen bewerten laut Cypher [1987, S. 52] die Effektivität des MANTECH-Programms vergleichsweise positiv. So würde der National Research Council auf den Diffusionserfolg MANTECH-geförderter CAD/CAM-Technologien bei einer Vielzahl von Unternehmen verweisen¹. Das General Accounting Office würde zwar Kritik an der nicht erfolgten Senkung der Beschaffungskosten üben. Es vermute aber Spin-offs des MANTECH-Programms in Form kostensparender Prozeß- oder Produkttechnologien bei 35 von 75 untersuchten MANTECH-Projekten.² Eine US-Luftwaffen-Untersuchung beklage auf der anderen Seite, daß MANTECH zwar die erwarteten Durchbrüche erziele, aber durch die amerikanischen Unternehmen nicht genügend Beachtung finde.

c. Militärische Förderung ausgewählter Prozeßtechnologien

Das "Committee on Computer-Aided Manufacturing" (COCAM) des National Research Council untersuchte 1981 anhand von drei Fallbeispielen die Übertragbarkeit von im Auftrag der US-Luftwaffe entwickelten Prozeßtechnologien auf andere, nicht bei der Entwicklung beteiligte Unternehmen.

Erstens wurde ein von General Electric entwickeltes Schweißverfahren untersucht, das man als Transfererfolg ansah. General Electric übernahm dieses Verfahren für die eigene Produktion, während eine Vielzahl von Unternehmen zuerst nur

¹ Da Cypher sich offenbar auf die im Abschnitt 6.c. erläuterte Studie des National Research Council bezieht, erscheint seine Interpretation dieser Untersuchung äußerst fragwürdig, wie auch die folgenden Ausführungen verdeutlichen.

² Cypher bezieht sich auf folgende Studie: General Accounting Office, Interim Observations on Effectiveness of DoD's Manufacturing Technology Program. Washington D.C., 1983.

mit diesem Verfahren produzierte Teile bezogen, da man das Marktpotential für eine eigene Fertigung nach diesem Verfahren für unzureichend hielt. Parallel zu den Bemühungen von General Electric hatte Howmet ein ähnliches Verfahren aus eigenen Mitteln entwickelt, das nach einer Erprobungsphase in die eigene Produktion übernommen wurde [National Research Council, 1981, S. 8 f.]. Zweitens war ein von Grumman entwickeltes Bohrverfahren Gegenstand der Analyse. Dieses Verfahren wurde als Fehlschlag eingeschätzt, da sich bis 1980 kein weiterer Nutzer gefunden hatte. Die potentiellen Nutzer sahen dieses Verfahren als nicht kompatibel für ihre Produktion oder weniger geeignet als Eigenentwicklungen auf diesem Gebiet an [National Research Council, 1981, S. 10 ff.]. Und drittens wurde ein Verfahren zur automatischen Weiterverarbeitung diverser Mischmaterialien einer Bewertung unterzogen und ebenfalls als Mißerfolg beurteilt. Potentielle Übernehmer setzten auf Eigenentwicklungen mit unternehmensspezifischen Anwendungsmöglichkeiten, so daß General Dynamics seine Entwicklung als einziges Unternehmen verwendet [National Research Council, 1981, S. 13 ff.]. Die Untersuchung kommt aufgrund der untersuchten Fälle zu folgenden Empfehlungen, um den Technologietransfer unter den Auftragnehmern der Luftwaffe zu steigern:

- Die Regierung sollte weniger spezifische Entwicklungen als vielmehr ganze Fertigungskonzepte fördern;
- die Werkzeugmaschinenhersteller sollten Anreize erhalten, beim Transfer staatlich geförderter Prozeßtechnologien mitzuwirken;
- bereits in der Entwicklungsphase einer Technologie müßten die Präferenzen der potentiellen Nutzer Berücksichtigung finden, um eine breite Akzeptanz sicherzustellen [National Research Council 1981, S. 17].

d. Schlußfolgerungen

Die Auswertung der Literatur über militärisch geförderte Prozeßtechnologie macht deutlich, warum ein ziviler Nutzen derartiger Projekte ausbleiben kann: Die vom DoD geförderten Projekte sollen in erster Linie den spezifischen Anforderungen der Rüstungsproduktion genügen. Werden jedoch Entwicklungen in der NC-Technologie oder im Rahmen des MANTECH-Programms an derartigen Vorgaben ausgerichtet, sinkt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Spin-offs je spezifischer die militärischen Anforderungen sind. Darüber hinaus kann ein ziviler Schaden, etwa in Form des Verlusts der internationalen Wettbewerbsfähigkeit, vermutet werden, wenn die militärische F&E die allgemeine Entwicklungsrichtung angibt und über Ressourcenentzug kommerziell orientierte Entwicklungen erschwert oder verhindert. Von daher gesehen, sind die Vorschläge verständlich, die auf die Einrichtung von DoD-Programmen abzielen, welche die Bedürfnisse kommerzieller Nutzer berücksichtigen und die Hervorbringung von Spin-offs zum Ziel haben. Ebenso könnte der institutionelle Rahmen für den Technologietransfer verbessert werden. Aber solche Vorschläge übersehen, daß auch für die militärische F&E im Bereich der Prozeßtechnologie das Primat der nationalen Sicherheit gilt und Spin-offs daher nicht das Ziel, sondern nur ein unbeabsichtigtes Nebenprodukt dieser Programme sein können.

7. Der zivile Schaden von RR-Ausgaben infolge Ressourcenentzugs

Angesichts der Vermutung, daß 30 vH der amerikanischen Ingenieure und Wissenschaftler einer rüstungsbezogenen Tätigkeit nachgingen [Dumas, 1984, S. 138], stellt sich die Frage nach den zivilen Konsequenzen dieser militärischen Ressourcenabsorption. So wird unter dem Stichwort "Brain-drain" von Ökonomen wie Thurow [1981], Dumas [1982], Solo [1962], Smith [1982] und Weida/Gertcher [1987] die Hypothese vertreten,

daß die militärische F&E durch Entzug von Humankapital die zivile F&E beeinträchtigt. Ausgehend von einem begrenzten Angebot an Technikern, Ingenieuren und Wissenschaftler, würden Entzugseffekte im zivilen Sektor auftreten, da über attraktive Bezahlung und interessante Arbeit eine Abwerbung in den RR-Bereich erfolge. In der Konsequenz würde sich der zivile technische Fortschritt verlangsamen, was zu geringerem Produktivitäts- und Wirtschaftswachstum führte [Solo, 1962, S. 53 f.; Smith/Smith, 1983, S. 96; Weida/Gertcher, 1987, S. 91 f.; Dumas, 1982, S. 72 f.]. Um diese Hypothese auf ihre Gültigkeit hin zu überprüfen, muß untersucht werden, inwieweit die aufgestellten Prämissen mit der Realität vereinbar sind. Denn die Vertreter der "Brain-drain"-Hypothese unterstellen implizit, daß ein eventueller ziviler Schaden infolge Ressourcenentzugs nicht über Spin-offs kompensiert werde, daß eine bedeutende Anzahl hochqualifizierter Fachleute im RR-Bereich beschäftigt sei, daß der RR-Bereich eine höhere Attraktivität aufweise und daß eine Knappheitssituation bei qualifizierten Arbeitskräften vorliege. Auf der anderen Seite vernachlässigt die Brain-Drain-Hypothese, daß der Bestand an Technikern und Wissenschaftlern aus dem Ausland "aufgefüllt" werden kann und daß Techniken und Technologien importiert werden können. Der empirische Gehalt der Hypothese ist nicht einfach abzuschätzen [Schrader, 1989, S. 15 ff.].

- Erstens erscheint eine Kompensation eventueller "Brain-drain"-Schäden durch Spin-offs aus dem RR-Bereich aufgrund der bisherigen Ausführungen wenig wahrscheinlich. Vielmehr erscheint ein militärischer Nutzen aus zivilen Entwicklungen über sogenannte "Reverse-Spin-offs" an Bedeutung zu gewinnen. Demnach dürfte eine Kompensation von "Brain-drain"-Schäden via Spin-offs zumindest für die 80er Jahre und die nähere Zukunft sehr fraglich sein.
- Zweitens ergeben sich aus der Literatur widersprüchliche Angaben über die Anzahl der einer rüstungsbezogenen Tätigkeit nachgehenden Ingenieure und Wissenschaftler. Dumas, der einen Anteil von 30 vH annimmt, verweist

selbst auf eine Untersuchung des DoD von 1982, die einen Anteil von 14 vH ermittelt habe [Dumas, 1984, S. 138]. Davey/Knezo [1987, S. 33] erwähnen eine andere Schätzung des DoD, die ca. 17 vH für wahrscheinlich hält. Das Office of Technology Assessment (OTA) stellt schließlich fest, daß nur 18 vH der Ingenieure im RR-Bereich beschäftigt seien [U.S. Congress, 1985, S. 99]. Der National Research Council (NRC) [1986, S. 74 ff.] kommt in einer Untersuchung von 1986 zu dem Ergebnis, daß von 1972 bis 1984 der Anteil der Ingenieure und Wissenschaftler, die an Projekten des amerikanischen Verteidigungsministeriums arbeiteten, ständig abgenommen habe. Die Widersprüchlichkeit der Zahlenangaben kann mit den unterschiedlichen Zielfunktionen, die den jeweiligen Selektionskriterien zugrunde liegen, erklärt werden: Die Vertreter der "Brain-drain"-Hypothese sind offensichtlich daran interessiert, einen möglichst hohen Anteil für den RR-Bereich anzugeben, um das quantitative Gewicht des Ressourcenentzugs aus dem zivilen Bereich untermauern zu können. Hingegen lassen sich die wesentlich niedrigeren Schätzungen des DoD aus der genau entgegengesetzten Interessenlage erklären.

- Neben diesen quantitativen Aspekten wird drittens der qualitative Aspekt des Humankapitalentzugs angeführt. Aufgrund des hohen Grades der technischen Komplexität und des großen Prestigewerts von RR-Projekten sowie der damit verbundenen attraktiven Entlohnung würden die amerikanischen Spitzenkräfte von der militärischen F&E angelockt werden [Mosley, 1985, S. 78; Davey/Knezo, 1987, S. 33]. Thurow [1981, S. 6] hat dieses "Brain-drain"-Argument auf sehr plastische Art und Weise formuliert: "Würde der typische Ingenieur lieber am Entwurf einer neuen Rakete mit Laserlenksystem oder am Entwurf eines neuen Toasters arbeiten? Die Frage zu stellen, heißt sie zu beantworten". Diese Argumentation findet allerdings keine Bestätigung in einer Umfrage des NRC, die bei Arbeitsvermittlern an amerikanischen Universitäten durchgeführt wurde. Danach würden gerade zivile Stellen wegen ihrer Entwicklungsmög-

lichkeiten und der Vielzahl von Herausforderungen geschätzt [Browne, 1988, S. 5 f.]. In die gleiche Richtung weist das Ergebnis einer OTA-Untersuchung des Arbeitsmarktes für Elektronikingenieure im Raum Boston: Während Rüstungsingenieure risikoscheuer, weniger kreativ und vorwärtsstrebend seien, erwiesen sich zivile Ingenieure als talentierter, wählerischer und kompetenter, marktfähige Produkte hervorzubringen [U.S. Congress, 1985, S., 105]. Die überragende Attraktivität einer Beschäftigung im RR-Bereich kann demnach nicht ohne weiteres angenommen werden.

- Viertens muß schließlich die von den "Brain-drain"-Vertretern unterstellte Knappheitssituation bei Fachkräften als fraglich erscheinen. So ergab eine im Jahr 1983 von der National Science Foundation bei 351 Industrieunternehmen durchgeführte Umfrage, daß in den 80er Jahren keine Probleme bei der Anwerbung von Ingenieuren und Wissenschaftlern im zivilen Bereich auftreten würden. Auch die entsprechenden Knappheitsindikatoren in Form von Arbeitslosenraten und der Höhe der Anfangsgehälter deuteten im Zeitraum 1980 bis 1986 auf keine nennenswerten Engpässe hin [Nimrody, 1988, S. 122 f.]. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch Cooper [1985, S. 23 f.], der den Markt für junge und erfahrene Wissenschaftler und Ingenieure in einem Gleichgewichtszustand sieht. Knappheiten würden nur in wenigen speziellen Teilbereichen von Elektronik und Büromaschinen existieren. Diese Lücke könnte jedoch aufgrund der sektoralen Mobilität der Fachkräfte benachbarter Disziplinen geschlossen werden. Besorgniserregender sei hingegen der Mangel an ingenieurwissenschaftlichem Lehrpersonal, der die Ausbildungsqualität der Nachwuchskräfte beeinträchtigen könnte. Zwar würden verstärkt ausländische Lehrkräfte eingesetzt, um diesen Mangel zu beheben, jedoch sei zum einen die Qualität nicht immer gewährleistet und zum anderen würde die Fluktuation dieser Lehrkräfte eine Art "Brain-drain" von den Vereinigten Staaten ins Ausland begünstigen. Davey/

Knezo [1987, S. 33 f.] kommen bzgl. der Arbeitsmarktsituation für Ingenieure und Wissenschaftler zu einer ähnlichen Einschätzung wie Cooper. Sie sehen zumindest kurzfristige Knappheiten in den Sektoren Informatik, Luftfahrtsingenieurswesen und Elektronik, wo das DoD den Großteil der bundesstaatlichen F&E-Ausgaben bestreiten würde.

Faßt man die Ergebnisse der "Brain-drain"-Diskussion zusammen, muß man zu dem Schluß kommen, daß keine der beiden Positionen empirisch abgesichert ist. Prognosen für die zukünftige Entwicklung scheinen allerdings die Brain-drain-Hypothese zu stützen. Nimroody [1988, S. 123 ff.] weist darauf hin, daß die unter der Reagan-Administration begonnenen SDI (Strategic Defense Initiative)-Aktivitäten zukünftige Knappheiten zur Folge haben könnten. Dies würde zwar von den SDI-Organisatoren für die 90er Jahre mit Ausnahme einiger spezieller Bereiche verneint werden, jedoch könnte der Personalbedarf bei Eintritt in die Projekt- bzw. Beschaffungsphase sprunghaft ansteigen. Diese Gefahr wird auch von Marlin/Lippin [1985, S. 7] gesehen, die ebenfalls einen sprunghaften Nachfrageanstieg im weiteren Verlauf des SDI-Programms für wahrscheinlich halten. Um die Wirkungen des SDI-Programms abschätzen zu können, wird in der Literatur auch Rückgriff auf die Erfahrungen mit dem Apollo-Programm der NASA in den 60er Jahren genommen. So erscheine es unstrittig, daß der Wettbewerb der NASA mit zivilen Unternehmen um F&E-Ressourcen zum rapiden Anstieg der F&E-Kosten in den 60er Jahren beigetragen habe. Diverse Industriezweige hätten angesichts der Kostensprünge auf F&E-Investitionen verzichtet. Gedämpft wurde diese angespannte Situation nur durch NASA-Programme im Bereich der Nachwuchsausbildung und durch die Freisetzung von F&E-Personal bei Auslaufen von Rüstungsprogrammen im Jahr 1964. Ein vergleichbarer Dämpfungseffekt wird hingegen für das SDI-Programm nicht erwartet, da kompensatorische Maßnahmen wie bei dem Apolloprogramm nicht geplant seien [Marlin/ Lippin, 1985, S. 8 f.; Nimroody, 1988,

S. 123 ff.]. Demnach kann für die Zukunft ein spürbarer Entzug von Humankapital aus dem zivilen Bereich nicht ausgeschlossen werden. Inwieweit dies allerdings effektiv zu Humankapital-Knappheiten im zivilen Sektor der Vereinigten Staaten führen wird, wird nicht zuletzt von der Elastizität des Angebots an Humankapital auf den Weltmärkten abhängen; und schließlich könnten die Auswirkungen solcher (und anderer) Knappheiten durch den Handel mit Gütern und Technologien (Lizenzen), zum Teil wenigstens, kompensiert werden.

8. Die Fragwürdigkeit des zivilen Nutzens von RR-Ausgaben

Aufgrund der vorliegenden Literaturanalyse kann den staatlichen Aktivitäten in Rüstung und Raumfahrt kein entscheidender Einfluß auf die Steigerung des technischen Fortschritts zugerechnet werden. So ist Thee [1989, S. 16] zuzustimmen, wenn er von einem Spin-off-Mythos spricht: Spin-offs aus militärischer bzw. raumfahrtbezogener F&E entziehen sich bisher einer befriedigenden Identifikation und Quantifizierung. Trotz dieser Erfassungsprobleme kann ihre Existenz aber nicht ausgeschlossen werden.¹ Der Literatur ist in der Regel nur zu entnehmen, daß die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Spin-offs im Laufe der Zeit abgenommen hat. Erklärt wird diese Entwicklung dadurch, daß

- Kontrollen des Technologietransfers zugenommen haben,
- eine wachsende Divergenz zwischen ziviler und militärischer Nutzung einer Vielzahl von Technologien zu beobachten ist (die immer spezifischer werdenden militärischen Anforderungen an eine Technologie führen zu Entwicklungen, die kommerziell nicht nutzbar sind)

¹ Die immer wieder als Raumfahrt-Spin-off zitierte Teflonpfanne ist allerdings wirklich nur ein Mythos: Der Werkstoff Teflon wurde bereits 1938 entdeckt und 1941 patentiert. In der Raumfahrt fand er erst viel später Verwendung [Kubbig, 1986, S. 11].

- der RR-Bereich auf einigen Technologiegebieten einen technologischen Rückstand aufholen muß, so daß sich die Fließrichtung der Spin-offs umkehrt - zivile Technologie wird verstärkt militärisch genutzt.

In dieses Bild fügt sich auch die schrumpfende Nachfrage macht des DoD ein, das nicht länger in dem früher gekannten Ausmaß über "Aufzuchthilfen" die Markteinführung neuer Produkte ermöglicht. Das DoD stößt vielmehr auf das Problem, Anbieter zu finden, die die spezifischen militärischen Anforderungen zu erfüllen bereit sind.

Angesichts der trotz hoher RR-Ausgaben in den Vereinigten Staaten offensichtlich abnehmenden Spin-offs werden Überlegungen angestellt, das Entstehen und die Nutzung von Spin-offs gezielt zu fördern. Das Beispiel Japans vor Augen wird die Vorstellung entwickelt, dem DoD Aufgaben im Bereich von Technologieförderung und -transfer zu übertragen, die denen des japanischen MITI ähneln. Da das DoD, im Gegensatz zum MITI, dem Primat der nationalen Sicherheit verpflichtet ist, fragt sich allerdings, ob Spin-offs nicht ein (unbeabsichtigtes) Nebenprodukt des Angebots von Sicherheit sein können. Spin-offs lassen sich dann nicht einmal nur ex post zur Begründung von RR-Ausgaben anführen. Gerybadze [1988, S. 103] wiederholt in diesem Zusammenhang das klassische Argument aus der theoretischen Wirtschaftspolitik, demzufolge sowohl der zivile als auch der militärische Bereich eine eigene Rationalität und Begründbarkeit aufweisen müssen. Dieses kann im militärischen Bereich nicht eine effiziente Förderung des technischen Fortschritts, sondern nur das außerökonomische Ziel der nationalen Sicherheit sein.

Tabelle A1 - Der Diffusionsprozeß bei Raumfahrt- und Raketen-Spin-offs

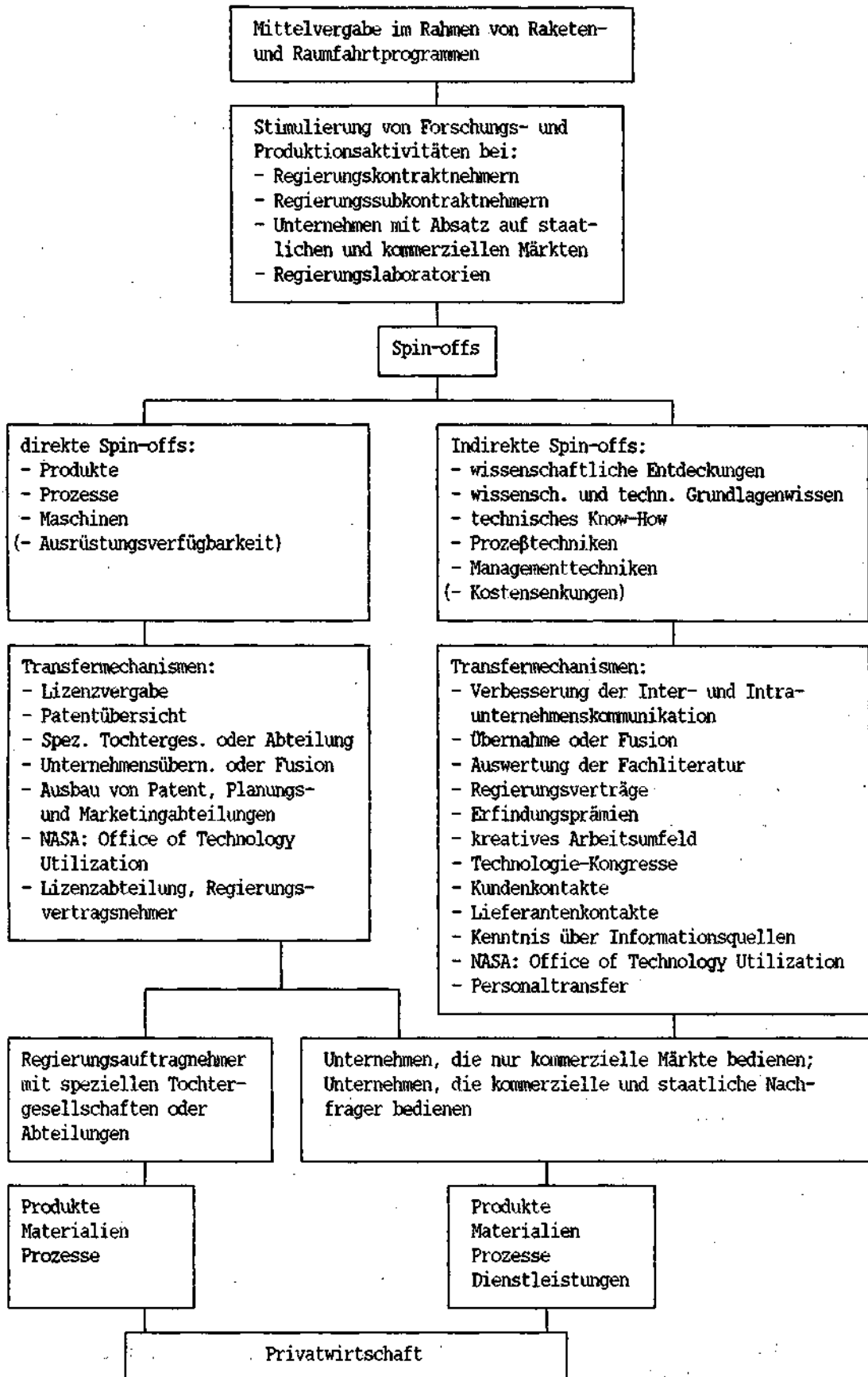


Tabelle A2 - Die Nachfrage nach Halbleitern in den Vereinigten Staaten, 1955-1977

	Halbleiter- lieferungen gesamt ^a	Lieferungen an die US-Bundesre- gierung	
	Mill. US-\$	Mill. US-\$	vH
1955	40	15	38
1956	90	32	36
1957	151	54	36
1958	210	81	39
1959	396	180	45
1960	542	258	48
1961	565	222	39
1962	575	223	39
1963	610	211	35
1964	676	192	28
1965	884	247	28
1966	1123	298	27
1967	1107	303	27
1968	1159	294	25
1969	1457	247	17
1970	1337	275	21
1971	1519	193	13
1972	1912	228	12
1973	3458	201	6
1974	3916	344	9
1975	3001	239	8
1976	4968	480	10
1977	4583	536	12

^a Produziert für das DoD, die Atomenergiekommission, die CIA, die Bundesluftfahrtbehörde (FAA) und die NASA.

Quelle: Levin [1982, S. 60].

Tabelle A3 - Die Nachfrage nach integrierten Schaltkreisen in den Vereinigten Staaten, 1962-1968

	Integrierte Schaltkreis- Liefg.ges. ^a	Lieferungen an die US-Bundesre- gierung	
	Mill. US-\$	Mill. US-\$	vH
1962	4	4	100
1963	16	15	94
1964	41	35	85
1965	79	57	72
1966	148	78	53
1967	228	98	43
1968	312	115	37

^a Produziert für das DoD, die Atomenergiekommission, die CIA, die FAA und die NASA.

Quelle: Levin [1982, S. 63].

Tabelle A4 - Bundesstaatliche F&E-Ausgaben in der amerikanischen Flugzeug- und Raketenindustrie nach Behörden, 1963 bis 1977, 1979, 1981 und 1983¹

	F&E- Aus- gaben insges.	Bundesstaatliche F&E-Ausgaben							
		insgesamt Mill.US-\$	vH	DoD Mill.US-\$	vH	NASA Mill.US-\$	vH	Andere Behörden Mill.US-\$	vH
1963	4712	4261	90,43	2700	57,30	1400	29,71	161	3,42
1964	-	4621	-	2389	-	2084	-	148	-
1965	5148	4499	87,39	2006	38,97	2340	52,01	153	2,97
1966	5526	4724	85,49	2239	40,52	2291	41,46	194	3,51
1967	5669	4531	79,93	2745	48,42	1595	28,14	191	3,37
1968	5765	4533	78,63	2811	48,76	1555	26,97	167	2,90
1969	5882	4524	76,91	3050	51,85	1285	21,85	189	3,21
1970	5219	4005	76,74	2771	53,09	949	18,18	285	5,46
1971	4881	3864	79,16	2848	58,35	898	18,40	118	2,42
1972	4950	3970	80,20	3084	62,30	694	14,02	192	3,88
1973	5052	3899	76,98	3077	60,91	617	12,21	205	4,06
1974	5278	4000	75,79	2992	56,69	789	14,94	219	4,15
1975	5713	4428	77,51	3120	54,61	1082	18,94	226	3,96
1976	6339	4921	77,63	3408	53,76	1267	19,99	246	3,88
1977	7033	5486	78,00	3900	55,45	1348	19,17	238	3,38
1979	8041	5840	72,63	4210	52,36	1221	15,19	409	5,09
1981	11968	8528	71,26	6121	51,15	1785	14,92	622	5,20
1983	13658	10300	75,41	8033	58,82	1771	12,97	496	3,63

¹ Industrieinteilung nach SIC (Standard Industrial Classification Code).

Quelle: National Science Foundation [1977, 1986]; Eigene Zusammenstellung und Berechnungen.

Tabelle A5.- Die bedeutendsten technischen Neuerungen in der amerikanischen Luftfahrt von 1920 bis 1972

Technische Neuerung	Jahr der Entwicklung in den USA	Förderer	Verwendungsjahr	
			Militär	Privatwirtschaft
Luftgekühlter Sternmotor	1920	Militär	1922	1925
Einziehbares Fahrgestell	1921	Militär	1931	1930
Berücksichtigung von Daten über die Erdatmosphäre im Flugzeugbau	1925	Staat (Zivil)	1925	1925
Kompressor	1927	Militär	1930	1930
Landehilfen	1927	Privatwirtschaft	1932	1933
NACA-Motorhaube	1928	Staat (Zivil)	1932	1929
Enteisung	1928	Staat (Zivil)	1935	1935
Zwei-Wege-Funk-Verbindung	1928	Militär	1928	1929
Fertigungstechnik zur Verbesserung der Aerodynamik	1930	Privatwirtschaft	1930	1930
Aluminiumlegierung mit hoher Festigkeit	1931	Privatwirtschaft	1935	1935
Kontrollierbare Steigungsluftschraube	1932	Militär	1933	1933
Autopilot	1933	Privatwirtschaft	1936	1935
Hochoktanbenzin	1936	Militär	1936	1946
Kabinendruckregulierung	1937	Militär	1937	1938
Helikopter	1941	Privatwirtschaft	1942	1946
Klebeverbindung	1941	Militär	1942	1958
Strahltriebwerke	1941	Militär	1942	1954
Instrumentenlandesystem	1941	Militär/Staat (Zivil)	1943	1947
Pfeilflügel	1945	Staat (Zivil)	1947	1954
Deltaflügel	1945	Staat (Zivil)	1948	-
Ermüdungstest	1946	Militär	1948	1947
Schubumkehrer	1946	Militär	1963	1954
Bordeigene Energieerzeugung	1946	Militär	1946	1955
Titanummantelung	1947	Militär	1952	1954
Überschallflug	1947	Militär	1953	-
Terrestrisches Wetterradar	1948	Militär	1948	-
Doppler-Navigationsradar	1949	Militär	1954	1955
Schwere Industriepressen im Flugzeugbau	1951	Militär	1954	1956
Numerisch gesteuerte Fertigungsmaschinen	1951	Militär	1956	1956
Aerodynamische Verbesserungen u.a. für Überschallgeschwindigkeit	1952	Staat (Zivil)	1954	1962
Landeklappenverbesserungen	1953	Militär	1954	-
Trägheitsnavigation	1953	Militär	1963	1967
Schallermüdungstest	1955	Militär	1956	1957
Verbesserte Strahltriebwerke	1956	Militär	1961	1960
Digitaler Bordcomputer	1957	Militär	1957	1967
Kommunikationssatelliten	1958	Militär	1966	1962
Computerflugpläne	1959	Militär	1959	1961
Digitale Flugsimulatoren	1960	Militär	1960	1963
Wettersatelliten	1960	Staat (Zivil)	1960	1960
Moderne Legierungen	1961	Militär	1969	-
Mikroelektronik (Chips)	1961	Militär	1963	1969
Nebelauflösung	1963	Privatwirtschaft	1967	1963
Navigationsatelliten	1964	Militär	1964	-
Senkrechtstarter	1964	Militär	-	-
Moderne Bordradar	1965	Militär	-	-
Schwenkflügel	1965	Militär	1965	-
Schlechtwetterausrüstung	1965	Militär	1971	-
Verbesserte Strahltriebwerke	1967	Militär	1968	1970
Superkritischer Flügel	1970	Militär/Staat (Zivil)	-	-
Elektronische Flugkontrolle	1970	Militär	-	-
Verbesserte Landeklappen	1970	Staat (Zivil)	-	-

Quelle: U.S. Air Force [1972].

Übersicht: Die Literatur zu den mikroökonomischen Effekten von Rüstungs- und Raumfahrtausgaben

Zusammenhang	Fragestellung	Antwort	Autor(en)	Art der Untersuchung		Jahr der Veröffentlichung
				empirisch	deskriptiv	
a) Der Technologietransfer aus dem RR-Bereich	Fördern die institutionellen Rahmenbedingungen in den Vereinigten Staaten die kommerzielle Nutzung von DoD- und NASA-Technologien?	unbest.	Hirsch/Trento		X	1973
		ja	Mathtech	X		1977
		nein	Reich		X	1983
		ja	Tirman(b)		X	1984
		ja	IABG		X	1985
		nein	Kubbig		X	1986
		ja	Stowsky		X	1986
		nein	Gansler		X	1987
		nein	Nelson		X	1987
b) Der zivile Nutzen von Rüstungsausgaben in der amerikanischen Elektronikindustrie	aus Spin-offs allgemein	Hat die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Spin-offs in den letzten Jahrzehnten abgenommen?	ja	Utterback/Murray	X	1977
			ja	de Grasse	X	1984
	insbesondere: aus dem Very High Speed Integrated Circuits (VHSIC) - Programm	Können Spin-offs aus dem VHSIC-Programm erwartet werden?	nein	Brueckner/Borrus	X	1984
			nein	de Grasse	X	1984
			nein	Perry/Sumney	X	1984
			nein	Castellano	X	1986
			nein	Rosenberg	X	1986
			nein	Stowsky	X	1986
			nein	McLoughlin/Miller	X	1987
	insbesondere: aus dem Strategic Computing Initiative (SCI)-Programm	Können Spin-offs aus dem SCI-Programm erwartet werden?	nein	Stowsky	X	1986
			nein	Miller	X	1987
	aus der militärischen Nachfrage	Hat das DoD durch eine vorweggenommene Nachfrage den technischen Fortschritt in der Elektronikindustrie bis in die 60er Jahre gefördert?	ja	Utterback/Murray	X	1977
			unbest.	Levin	X	1982
			ja	de Grasse	X	1984
			ja	Rosenberg	X	1986
			ja	Stowsky	X	1986
			ja	McLoughlin/Miller	X	1987
c) Der zivile Nutzen von Rüstungsausgaben in der amerikanischen Luftfahrtindustrie	aus Spin-offs in Form "technischer Neuerungen"	Ist die militärisch geförderte F&E für den größten Teil des technischen Fortschritts im Luftfahrtsektor verantwortlich?	ja	U.S. Air Force	X	1972
			ja	Mowery/Rosenberg	X	1982
			ja	Industrieanlagen-		
				Betriebsgesell-	X	1985
			ja	National Research		
			ja	Council	X	1985
	aus Spin-offs in Form kommerzieller Flugzeuge	Sind aus Militärflugzeugen zivile Versionen hervorgegangen?	ja	Rosenberg	X	1986
			ja	Miller/Sawers	X	1968
			ja	U.S. Air Force	X	1972
			ja	Mowery/Rosenberg	X	1982
			ja	Tirman(a)	X	1984
			ja	Hochmuth	X	1985
			ja	Industrieanlagen-		
				Betriebsgesell-	X	1985
			ja	Rosenberg	X	1986

Zusammenhang	Fragestellung	Antwort	Autor(en)	Art der Untersuchung		Jahr der Veröffentlichung
				empirisch	deskriptiv	
d) Der zivile Nutzen von Raumfahrttausgaben der NASA	Hat es Spin-offs gegeben?	ja	Midwest Research Institute	X		1971
		ja	Mathematica	X		1976
		ja	Chase Econometric Ass. Inc.	X		1977
		nein	Comptroller General	X		1977
		ja	Mathtech	X		1977
e) Der zivile Nutzen militärisch geförderter Prozeßtechnologien	Hat das militärische Engagement im Werkzeugmaschinenbereich meßbaren zivilen Nutzen gestiftet?	nein	Melman		X	1974
		nein	Noble		X	1982
		nein	National Academy Press		X	1983
		nein	Shaiken		X	1984
		nein	di Filippo		X	1986
		nein	Stowsky		X	1986
		nein	Cypher		X	1987
	Bewirkt das MANTECH-Programm einen Schub in der Prozeßtechnologie?	unbest.	Lehn		X	1981
		nein	Hetzner		X	1983
		unbest.	General Accounting Office		X	1984
		nein	Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft		X	1985
	Können Spin-offs am Beispiel ausgewählter Prozeßtechnologien regelmäßig nachgewiesen werden?	ja	Cypher		X	1987
		nein	National Research Council	X		1981

LITERATURVERZEICHNIS

- Association of American Universities, National Security Controls and University Research-Information for Investigators and Administrators. Washington, D.C., 1987.
- Browne, Lynn E., Defense Spending and High Technology Development: National and State Issues. In: New England Economic Review, September/Okttober 1988, S. 3 ff.
- Brueckner, Leslie, Michael Borrus, Assessing the Commercial Impact of the VHSIC (Very High Speed Integrated Circuit) Program. BRIE Working Paper No. 5, Berkeley 1987.
- Castellano, Robert N., VHSIC Program Spurs U.S. IC Technology. In: Defense Electronics, July 1986, S. 114 ff.
- Chase Econometric Associates, Inc. (CE), The Economic Impact of NASA R&D Spending. Bala Cynwyd/Pa. 1976.
- Comptroller General of the United States, NASA Report May Overstate the Economic Benefits of Research and Development Spending. Washington, D.C. 1977.
- Cooper, Editz Fairman, Supply of and Demand for U.S. Scientists and Engineers: A Brief Overview of the Current Situation and Future Outlook. Washington, D.C., 1985.
- Cypher, James M., Military Spending, Technical Change, and Economic Growth: A Disguised Form of Industrial Policy? In: Journal of Economic Issues, Vol. 21, No. 1, 1987, S. 33 ff.
- Darey, Michael E., Genevieve Knezo, The Federal Contribution to Basic Research: Background Material for 1987 Hearings. Washington, D.C., 1987.
- De Grasse, Robert, The Military and Semiconductors. In: John Tirman, The Militarization of High Technology. Cambridge/Mass., 1984, S. 77 ff.
- Di Filippo, Anthony, Military Spending and Industrial Decline - A Study of the American Machine Tool Industry. New York u.a. 1986.
- Dumas, Lloyd L., The Impact of the Military Budget on the Domestic Economy. In: Economic Forum, Vol. 13, 1982, S. 71 ff.
- , University Research, Industrial Innovation and the Pentagon. In: John Tirman, The Militarization of High Technology. Cambridge/Mass. 1984, S. 123 ff.

- Dyson, Freeman J., Science and Space. In: Allan A. Needell, The First 25 Years in Space. Washington, D.C., 1983, S. 90 ff.
- Gansler, Jacques S., Needed: A U.S. Defense Industrial Strategy. In: International Security, Vol. 12, No. 2, Fall 1987, S. 45 ff.
- General Accounting Office (GAO), DoD Manufacturing Technology Program - Management is Improving but Benefits Hard to Measure. Washington, D.C., 1984.
- Gerybadze, Alexander, Arthur D. Little, International: Raumfahrt und Verteidigung als Industriepolitik? - Auswirkungen auf die amerikanische Wirtschaft und den internationalen Handel. Frankfurt a.M./New York 1988.
- Grilliches, Zvi et al., The Value of Patents as Indicators of Inventive Activity. Cambridge/Mass., 1986.
- Hein, Werner, Beschränkung des internationalen Technologietransfers durch die USA - Auswirkungen auf die Innovationsentscheidungen deutscher Unternehmen. Washington, D.C., 1984.
- Hetzner, William A. et al., Manufacturing Technology in the 1980's: A Survey of Federal Programs and Practices. In: Management Science, Vol. 29, No. 8, 1983, S. 951 ff.
- Hentzen, Matthias K., US-amerikanische Exportkontrollen - Die Systematik ihrer gesetzlichen Grundlagen. Heidelberg 1988.
- Hirsch, Richard, Joseph J. Trento, The National Aeronautics and Space Administration. New York u.a. 1973.
- Hochmuth, Milton, The Aerospace Industry. In: Milton Hochmuth, William Davidson, Revitalizing American Industry. Cambridge/Mass. 1985, S. 333 ff.
- Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH (IABG), Ziviler Nutzen militärisch motivierter Forschung und Entwicklung. Ottobrunn 1985.
- Kaldor, Mary, The Baroque Arsenal. New York 1981.
- Kubbig, Bernd W., Zivilen Nutzen schaffen mit Raketenabwehrwaffen? - Technologie- und industriepolitische Aspekte der SDI-Diskussion. HSFK-Forschungsbericht 2/1986, Frankfurt a.M., März 1986.
- , Determinants of Spin-off in the Context of SDI: The VHSIC Programme. In: Philip Gummett, Judith Reppy, The Relations between Defence and Civil Technologies. Dordrecht u.a. 1988, S. 243 ff.

- Lehn, Lloyd, Technology Description on Manufacturing Technology. Washington, D.C., 1981.
- Levin, Richard C., The Semiconductor Industry. In: Richard R. Nelson, Government and Technical Progress - A Cross-Industry Analysis. New York, u.a. 1982, S. 9 ff.
- Marlin, Alice Tepper, Paula Lippin, The Strategic Defense Initiative: Costs, Contractors & Consequences. New York, 1985.
- Mathematica, Inc., Quantifying the Benefits to the National Economy from Secondary Applications of NASA Technology. Princeton/New Jersey 1976.
- Mathtech, Inc., A Cost-Benefit Analysis of Selected Technology Utilization Office Programs. Princeton/New Jersey 1977.
- McLoughlin, Glenn J., Nancy R. Miller, The U.S. Semiconductor Industry and the Sematech Proposal. Washington, D.C., 1987.
- Melman, Seymour, The Permanent War Economy. New York 1974.
- Midwest Research Institute (MRI), Economic Impact of Stimulated Technological Activity - Final Report-Summary. Washington, D.C., 1971.
- Miller, Nancy R., Supercomputers and Artificial Intelligence: Federal Initiatives, Washington, D.C., 1987.
- Miller, Ronald, David Sawers, The Technical Development of Modern Aviation. London 1968.
- Mosley, Hugh G., The Arms Race: Economic and Social Consequences. Lexington/Toronto 1985.
- Mowery, David C., Nathan Rosenberg, The Commercial Aircraft Industry. In: Richard R. Nelson, Government and Technical Progress - A Cross-Industry Analysis. New York u.a. 1982, S. 101 ff.
- National Academy Press, The Competitive Status of the U.S. Machine Tool Industry, 1983.
- National Science Foundation, Research and Development in Industry, 1976. Funds, 1976. Scientists & Engineering, January 1977 - Detailed Statistical Tables. Washington, D.C., 1978.
- , Research and Development in Industry 1983. Funds 1983. Scientists and Engineering January 1984 - Detailed Statistical Tables. Washington, D.C., 1986.

National Research Council - Committee on Computer-Aided Manufacturing (COCAM), Innovation and Transfer of U.S. Air Force Manufacturing Technology - Three Case Studies. Washington, D.C., 1981.

--, The Competitive Status of the U.S. Civil Aviation Manufacturing Industry. Washington, D.C., 1985.

--, The Impact of Defense Spending on Nondefense Engineering Labor Markets: A Report to the National Academy of Engineering. Washington, D.C., 1986.

Nelson, Richard R., High Technology Policies - A Five-Nation Comparison. Washington, D.C./London 1984.

---, Institutions Supporting Technical Change in the United States. New York 1987.

Nimroody, Rosy, Star Wars - The Economic Fallout. Cambridge/Mass. 1988.

Noble, David F., The Social and Economic Consequences of the Military Influence on the Development of Industrial Technologies. In: Lloyd J. Dumas, The Political Economy of Arms Reduction - Reversing Economic Decay. Boulder 1982, S. 91 ff.

Perry, William J. et al., Defense Science Board Report of the Task Force on Very High Speed Integrated Circuit (VHSIC) Program: Optimal Planning and Execution of DoD VLSI Activities. Washington, D.C., 1982.

---, Larry Sumney, The Very High Speed Integrated Circuit Program. In: Kosta Tsipis, Penny Janeway, Review of U.S. Military Research and Development 1984. Washington, D.C. u.a. 1984, S. 33 ff.

Rathjen, Walter, 50 Jahre Strahltriebwerk. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung, Nr. 139, 20.07.1989. S. B3.

Reich, Robert B., The Next American Frontier. New York 1983.

Rosenberg, Nathan, Civilian "Spillovers" from Military R&D Spending: The U.S. Experience since World War II. In: Strategic Defense and the Western Alliance, 1986, S. 165 ff.

Scherer, Frederic M., Zusammenhänge zwischen Forschungs- und Entwicklungsausgaben und Patenten. In: Karl H. Oppenländer, Patentwesen, technischer Fortschritt und Wettbewerb. Berlin/München 1984, S. 175 ff.

Schrader, Klaus, Gesamtwirtschaftliche Wirkungen von Rüstungs- und Raumfahrttausgaben in den Vereinigten Staaten - Eine Literaturanalyse. Kieler Arbeitspapier 366, Kiel, März 1989.

- Senger, Jürgen, Rüstungswirtschaft und Rüstungstechnologie. Zur gesamtwirtschaftlichen Bedeutung der rüstungstechnologischen Forschung und Entwicklung. Würzburg 1980.
- Shaiken, Harley, Work Transformed: Automation and Labor in the Computer Age. New York 1984.
- Smith, Dan, Ron Smith, The Economics of Militarism. London 1983.
- Solo, Robert A., Gearing Military R&D to Economic Growth. In: Harvard Business Review, Vol. 40. November/Dezember 1962, S. 49 ff.
- Stowsky, Jay, Competing with the Pentagon. In: World Policy Journal, Vol. 3, 1985/86, S. 697 ff.
- Sullivan, Gerald D., The Department of Defense Policy Environment on Technology Transfer. In: Stewart Nozette, Robert L. Kuhn, Commercializing SDI Technologies. New York u.a. 1987. S. 45 ff.
- Thee, Marek, The Dynamics of the Technological Arms Race. Interdependenz, Nr. 1, Bonn 1989.
- Thurow, Lester, How to Wreck the Economy. In: New York Review of Books, May 1981, S. 3 ff.
- Tirman, John, (a) The Defense-Economy Debate. In: John Tirman, The Militarization of High Technology. Cambridge/Mass. 1984, S. 1 ff.
- , (b) Conclusions and Countercurrents. In: John Tirman, The Militarization of High Technology. Cambridge/Mass. 1984, S. 215 ff.
- U.S. Air Force, R&D Contributions to Aviation Progress (RADCAP)-Executive Summary. Washington, D.C., 1972.
- U.S. Congress - Office of Technology Assessment, Demographic Trends and the Scientific and Engineering Work Force: A Technical Memorandum. Washington, D.C., 1985.
- Utterback, James M., Albert E. Murray, The Influence of Defense Procurement and Sponsorship of Research and Development on the Development of the Civilian Electronics Industry. Cambridge/Mass. 1977.
- Wallich, Paul, Technology Transfer at Issue: The Industry Viewpoint. In: IEEE Spectrum, Mai 1982, S. 69 ff.
- Weida, William J., Frank L. Gertcher, The Political Economy of National Defense. Boulder/London 1987.

Welles, John G., Robert H. Waterman jr., Space Technologie:
Pay-off from Spin-off. In: Harvard Business Review,
Vol. 42, 1964, S. 106 ff.