

Thomas Heimer, Matthias Werner

Die Zukunft der Mikrosystemtechnik

Chancen, Risiken, Wachstumsmärkte

*unter Mitarbeit von
Jürgen Ilgner
Thomas Köhler
Stephan Mietke
Hermann Sanders*



**WILEY-
VCH**

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

T. Heimer, M. Werner

**Die Zukunft der
Mikrosystemtechnik**

Weitere empfehlenswerte Bücher

Fecht, H.-J., Werner, M. (Hrsg.)

The Nano-Micro Interface

2004

ISBN 3-527-30978-0

Köhler, M., Fritzsche, W.

Nanotechnology

**An Introduction to Nanostructuring
Techniques**

2004

ISBN 3-527-30750-8

Menz, W., Mohr, J.

Mikrosystemtechnik für Ingenieure

2., völlig neu überarbeitete Auflage

1997

ISBN 3-527-29405-8

Baltes, H., Brand, O., Fedder, G. K.,
Hierold, C., Korvink, J. G., Tabata, O.
(Reihenhrsg.)

Advanced Micro & Nano- systems (Buchreihe)

Menz, W., Mohr, J., Paul, O.

Microsystem Technology

2004

ISBN 3-527-29634-4

Baltes, H., Brand, O., Fedder, G. K.,
Hierold, C., Korvink, J. G., Tabata, O.
(Bandhrsg.)

Vol. 1: Enabling Technology for MEMS and Nanodevices

2004

ISBN 3-527-30746-X

Köhler, M.

Nanotechnologie Eine Einführung in die Nanostrukturtechnik

2001

ISBN 3-527-30127-5

Brand, O., Fedder, G. K. (Bandhrsg.)

Vol. 2: CMOS-MEMS

2005

ISBN 3-527-31080-0

Thomas Heimer, Matthias Werner

Die Zukunft der Mikrosystemtechnik

Chancen, Risiken, Wachstumsmärkte

*unter Mitarbeit von
Jürgen Ilgner
Thomas Köhler
Stephan Mietke
Hermann Sanders*



**WILEY-
VCH**

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Die Autoren dieses Buches

Prof. Dr. Thomas Heimer

Hochschule für Bankwirtschaft
Sonnemannstraße 9-11
D-60314 Frankfurt am Main
heimer@hfb.de

Dr. Matthias Werner

ICMT GmbH
Rüsternallee 29
D-14050 Berlin
matthiasralfwerner@web.de

Titelbild

Mikrozahnrad aus synthetischem
Diamant, das durch mikrotechnologische
Verfahren hergestellt wurde.
Quelle: Gesellschaft für Diamant-
produkte mbH, Lise-Meitner-Str. 13,
D-89081 Ulm

Alle Bücher von Wiley-VCH werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

© 2004 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, Weinheim

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Umschlaggestaltung:

Satz: TypoDesign Hecker GmbH, Leimen

Druck: betz-druck GmbH, Darmstadt

Bindung: Großbuchbinderei J. Schäffer GmbH & Co KG, Grünstadt

ISBN 3-527-31053-3

Inhaltsverzeichnis

Vorwort VII

Einleitung 1

- 1 Ziele, Ansatz, Kriterien und Vorgehensweise in der ex-ante Evaluation** 5
 - 1.1 Ziele und theoretischer Ansatz der ex-ante Evaluation 5
 - 1.2 Methodische Umsetzung der Ergebnisse der Innovationsforschung in die ex-ante Evaluation der MST 2000+ 14

- 2 Zusammenfassung der zentralen Aussagen der Sekundäranalyse im Rahmen der Technology and Market Forecast Studies** 25
 - 2.1 Einführung 25
 - 2.2 Übersicht der verwendeten Marktstudien 25
 - 2.3 Marktpotenziale 27
 - 2.4 Regionale Analyse 28
 - 2.5 Applikationsfelder 30
 - 2.6 Bewertung 31

- 3 Ergebnisse der quantitativen Erhebung für die ex-ante Evaluation** 33
 - 3.1 Ergebnisse für die Ausprägungen in der quantitativen Erhebung 34
 - 3.2 Identifikation von statistischen Pseudo-Clustern für Zukunftsfelder 62

- 4 Ergebnisse der qualitativen Erhebung für die ex-ante Evaluation** 81
 - 4.1 Methodik 81
 - 4.2 Auswahl der Interviewpartner 82
 - 4.3 Status im weltweiten Vergleich 83
 - 4.4 Trends in F&E 85
 - 4.5 Fokussierte Applikationsfelder 87

4.6	Barrieren/Hemmnisse	88
4.7	Potenzialanalysen für mögliche Zukunftsfelder	89
5	Potenziale einer künftigen Entwicklung der MST in Deutschland	93
5.1	Zusammenführung der Ergebnisse	93
5.2	Abgleich mit Kriterienkatalog	98
5.3	Systemintegration	100
5.4	Optronics	106
5.5	Life Science	110
5.6	Mikro-Nano-Interface	115
5.7	Fluidtronics	128
5.8	Polytronics	131
5.9	Smart Materials	136
5.10	Smart Energy	139
5.11	Agile Fabrication	152
5.12	UbiComp	157
6	Chancen und Herausforderungen für die MST der Zukunft	165
7	Innovationsbarrieren auf dem Weg zu erfolgreichen Zukunftsfeldern	173
7.1	Netzwerkbildung	173
7.2	Infrastruktur	174
7.3	Innovationsphasen	174
7.4	Standardisierung	174
7.5	Grundlagenforschung	175
7.6	Personal	175
7.7	Finanzierung	175
	Literaturverzeichnis	177
	Stichwortverzeichnis	181
	Anhang 1	189
	Anhang 2	199

Vorwort

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat im Jahr 1990 begonnen die Entwicklung der Mikrosystemtechnik in Deutschland zu fördern. Das Programm Mikrosystemtechnik bildete eine systematische Weiterentwicklung der beiden Vorläuferprogramme »Anwendungen der Mikroelektronik« und »Mikroperipherie«, die von 1982 bis 1989 durchgeführt wurden. Mit der Einführung des Programms Mikrosystemtechnik hat das BMBF in diesem Programm erstmalig einen paradigmatischen Wandel vollzogen. Dieser Paradigmawechsel bestand in einer Abkehr der Förderung von einzelnen Technologien, hin zu der Unterstützung der Herausbildung von systemischen Technologien. Dieser neue Akzent war von besonderer Bedeutung, um verschiedene Elemente der elektronischen und mikroelektronischen Technologien zusammenzuführen und zeitnah in neue Produkte umwandeln zu können.

Entsprechend wurde in der ersten Phase des Förderprogramms Mikrosystemtechnik (1990–1993) eine zentrale Schwerpunktbildung auf die Förderung von intelligenten, miniaturisierten Systemen gelegt, wobei hier nicht so sehr die eigentlichen Systeme im Zentrum der Förderung standen, sondern die Schaffung einer adäquaten intellektuellen Infrastruktur und der Intensivierung des Technologie- und Wissenstransfers zwischen unterschiedlichen Bereichen der Mikroelektronik und der Elektronik.

In der zweiten Phase der Mikrosystemtechnik (1994–1999) wurde aufbauend auf der, in der ersten Phase, geschaffenen Infrastruktur und des etablierten Technologie- und Wissenstransfers, der Fokus auf die Herausbildung von integrierten Systemen gelegt. Ziel war es hierbei die Spitzenposition deutscher wissenschaftlicher Einrichtungen und Unternehmen im Bereich der Verknüpfung von Mikrotechniken auszubauen und neue Formen des Zusammenspiels von Komponenten in Mikrosystemen zu entwickeln. Der Schwerpunkt lag also nicht auf der Entwicklung von Einzeltechniken und -komponenten, wenn dies auch bei gegebener Notwendigkeit mitunterstützt wurde. Vielmehr lag der zentrale Aspekt der Förderung in der Entwicklung von mikrosystemtechnischen Systemlösungen, die wie am Beispiel des Airbags zu illustrieren, ganz neue Produktmöglichkeiten eröffnen.

In der dritten Phase der Mikrosystemtechnik (2000–2003) wurde die Fokussierung erneut den Notwendigkeiten angepasst. Im Zentrum der dritten Programmphase stand nicht mehr die Entwicklung von grundlegenden

mikrosystemtechnischen Lösungen, sondern viel mehr wurde versucht, mikrosystemtechnische Lösungen noch stärker anwendungsorientiert voranzutreiben. Damit wurde ein wegweisender Schritt unternommen, um die im Rahmen des Mikrosystemtechnikprogramms geförderten Projekte noch zielgenauer an die Bedürfnisse der Industrie heranzuführen und Prozess der Umsetzung von F&E-Ergebnissen zu beschleunigen.

Mit der Implementierung der dritten Phase der Mikrosystemtechnik hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung eine Evaluation des Programms Mikrosystemtechnik beauftragt. Diese Evaluation hatte einerseits die Aufgabe, die Ergebnisse und Wirkung des laufenden Programms zu analysieren; es hatte aber vor allem auch die Aufgabe, im Rahmen einer ex-ante Evaluation den weiteren Förderbedarf für die Mikrosystemtechnik über das Jahr 2003 hinaus zu überprüfen.

Die vorliegende Studie stellt die Ergebnisse dieser ex-ante Evaluation vor. Die in dieser Studie nachzulesenden Ergebnisse zeigen, dass trotz der guten Wirkung des Mikrosystemtechnikprogramms in den vergangenen Phasen, eine weitere Förderung sinnvoll ist. Diese weitere Förderung soll aber nicht in Form einer bloßen Fortschreibung der vergangenen dritten Phase des Programms Mikrosystemtechnik erfolgen, sondern wird erneut einen Paradig-mawechsel im Fokus der zu fördernden Entwicklung der Mikrosystemtechnik bilden. Im Zentrum werden hierbei technologie- und branchenübergreifende Zukunftsfelder stehen.

Das in dieser Studie erarbeitete neue Konzept einer vierten Phase des Förderprogramms Mikrosystemtechnik wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung programmatisch umgesetzt und im Januar 2004 gestartet. Die vorliegende Studie ist sofern nicht nur für das Bundesministerium für Bildung und Forschung von Interesse gewesen, sondern liefert auch für interessierte Unternehmen im Bereich der Mikrosystemtechnik, Einblicke in die Entwicklung der Technologie und die Stellung deutscher Unternehmen und wissenschaftlicher Einrichtungen im internationalen Bereich.

Im Namen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung danke ich den Erstellern der Studie für ihre Arbeit und glaube, dass mit der vorliegenden Studie ein wegweisender Einblick in die zukünftige Entwicklung der Mikrosystemtechnik vorgelegt wird.

Bonn, Januar 2004

Dr. Gerhard Finking

Einleitung

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat im Jahre 2001 ein Konsortium, bestehend aus der Prognos AG, der Hochschule für Bankwirtschaft, dem Innovationsteam Mikrotechnologie der Deutschen Bank AG und der Technopolis Ltd., beauftragt, eine Evaluation des Programms Mikrosystemtechnik 2000+ vorzunehmen. Der Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) umfasste hierbei zwei Teilaspekte.

Zum einen wurden die bisherigen Ergebnisse des Programms in einer *ex-post Evaluation* evaluiert. Im Fokus dieser Analyse stand die Frage nach dem Diffusionsgrad der MST im Jahr 2002. Die *ex-post Evaluation* wurde von der Prognos AG in Kooperation mit Technopolis Ltd. durchgeführt.

Zum anderen wurde in einer *ex-ante Evaluation* der Frage nachgegangen, in welche Richtung sich die Mikrosystemtechnik zukünftig entwickeln wird und welche wirtschaftspolitischen Unterstützungsmaßnahmen für ein Erreichen dieser zukünftigen Entwicklungen hilfreich sind. Die *ex-ante Evaluation* wurde überwiegend von der Hochschule für Bankwirtschaft und dem Innovationsteam Mikrotechnologie der Deutschen Bank AG durchgeführt.

In der *ex-ante Evaluation* stand das durchführende Team vor der Herausforderung, bei der Identifikation der zukünftigen Entwicklungstrends in der Mikrosystemtechnik einen Methodenmix zu finden, der eine solide Basis für die Trendaussagen zur Zukunft der Mikrosystemtechnik ermöglichte. Um eine solide Basis zu finden, war es von Beginn der Untersuchung an das Ziel, die Trendaussagen in einem hohen Maße auf die Expertise der in der Mikrosystemtechnik tätigen Unternehmen und Forschungseinrichtungen zu stützen.

Um diesen sehr stark auf die in der Mikrosystemtechnik tätigen Experten abzielenden Untersuchungsansatz zu realisieren, wurden *drei methodische Elemente* im Rahmen der *ex-ante Evaluation* miteinander verzahnt. Zum einen wurde eine *quantitative Erhebung* durchgeführt, die sich an die Zielgruppen der in der Mikrosystemtechnik Tätigen in Unternehmen und Forschungseinrichtungen wendete. Im Rahmen dieser schriftlichen Befragung wurde eine Stichprobe von über 700 Zielpersonen aus Wirtschaft und Wissenschaft vorgenommen. Ergänzt wurde diese schriftliche Befragung durch *Experteninterviews* mit Vertretern der Mikrosystemtechnik in Deutschland und im Ausland. Insgesamt wurden 32 Interviews mit Experten durchgeführt. Von diesen 32 Interviews wurden 10 in Europa, 15 in den Vereinigten

Staaten und 7 in Südostasien eingeholt. Ergänzend zu der schriftlichen Befragung und den Experteninterviews wurden mit Vertretern der Mikrosystemtechnik in Unternehmen und Forschungseinrichtungen mehrere *Expertenworkshops* durchgeführt, auf denen die Ergebnisse der schriftlichen und mündlichen Befragung vorgestellt und mit den Fachvertretern diskutiert wurden. Abschließend wurden in die vorliegende ex-ante Evaluation auch die Erkenntnisse anderer Studien integriert, die durch eine umfassende Sekundäranalyse gewonnen wurden. Ziel der Auswertung dieser Sekundärdaten war es vor allem, eine fundierte Einschätzung der internationalen Trends in der Mikrosystemtechnik zu gewinnen.

Die in der empirischen Untersuchung, der Sekundäranalyse und den Expertenworkshops gewonnenen Ergebnisse wurden im Folgenden zu zehn *Zukunftsfeldern* der Mikrosystemtechnik kondensiert, die sich durch ihren technologie- und branchenübergreifenden Charakter auszeichnen. Diese zehn Zukunftsfelder sind als besonders vielversprechende zukünftige Anwendungsbereiche für Innovationen der Mikrosystemtechnik identifiziert worden. Bei diesen Zukunftsfeldern handelt es sich um:

1. Systemintegration
2. Optronics
3. Life Science
4. Mikro-Nano-Interface
5. Fluidtronics
6. Polytronics
7. Smart Materials
8. Smart Energy
9. Agile Fabrication
10. Ubiquitous Computing

Ausgehend von diesen Zukunftsfeldern wurden in der weiteren Arbeit im Rahmen der ex-ante Evaluation *Innovationshemmnisse* identifiziert, die einer zügigen erfolgreichen marktlichen Implementierung dieser Zukunftsfelder im Wege stehen könnten. Ein besonderer Fokus bei der Identifikation dieser Innovationshemmnisse wurde auf solche Barrieren gelegt, die sich aus dem interdisziplinären und branchenübergreifenden Charakter der Zukunftsfelder ergeben.

Die Anforderungen an die Kooperation der unterschiedlichen Akteure in der Mikrosystemtechnik bei technologie- und branchenübergreifender Zusammenarbeit sind vielfältig. Unterschiedliche Paradigmata über die Lösung bei der Entwicklung von mikrosystemtechnischen Lösungen müssen ebenso in Einklang gebracht werden, wie die gemeinsame Definition von Marktanforderungen, Standards und Schnittstellen. Hier liegen deutlich komplexere Herausforderungen vor, als im Falle der branchenorientierten inkrementellen Entwicklung der Mikrosystemtechnik. Marktversagen ist damit bei tech-

nologie- und branchenübergreifenden Technologieentwicklungen eher zu erwarten.

Mit der Identifikation der Innovationshemmnisse ist es gelungen, der Innovationspolitik *Handlungsorientierung* zu vermitteln. Die innovationspolitischen Akteure können basierend auf der vorliegenden Studie durch die Neugestaltung des Programms Mikrosystemtechnik Einfluss auf die weitere Entwicklung dieser nehmen.

1

Ziele, Ansatz, Kriterien und Vorgehensweise in der ex-ante Evaluation

1.1

Ziele und theoretischer Ansatz der ex-ante Evaluation

Die Mikrosystemtechnik wird seit 1990 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (bmb+f) gefördert. Im Rahmen dieser Förderung hat das Programm drei Phasen durchlaufen. Im ersten Förderzeitraum des Programms lag der Schwerpunkt auf der Schaffung *wissenschaftlich fundierter Grundlagen* für die Wissenschaft und die forschungsintensive Industrie. Mit dieser Förderphase sollte die Grundlage für eine breite Diffusion von mikrosystemtechnischem Wissen aus der Grundlagenförderung in die anwendungsorientierte Forschung vorbereitet werden.

Der zweite Förderzeitraum des Programms zielte auf den *Transfer* von grundlegenden wissenschaftlichen Kenntnissen in die industrielle Entwicklung, wobei im Rahmen des Programms ein spezieller Fokus auf die Diffusion in kleine und mittlere Unternehmen (KMU) gelegt wurde. Das genutzte förderpolitische Instrument der Bündelung von KMU, Großunternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen in Verbundprojekten sollte dieses Ziel einer raschen Wissensdiffusion unterstützen.

Die dritte Förderstufe durch das Programm Mikrosystemtechnik 2000+ lag auf der *Anwendungsorientierung* der geförderten Entwicklungsprojekte. Ziel war es dabei, verstärkt die vormarktlige Diffusion der Mikrosystemtechnik in anwendungsnahe Prototypen zu unterstützen und damit den Prozess der Markteinführung forschungsseitig vorzubereiten. Darüber hinaus wurden in der dritten Förderstufe Querschnittsthemen, wie z.B. der mikrosystemtechnische Baukasten als Instrument der Fertigungsvereinfachung von Mikrosystemen für KMU unterstützt.

Mit Ablauf der dritten Förderstufe des Programms Mikrosystemtechnik 2000+ wurde also die Mikrosystemtechnik in der Bundesrepublik Deutschland über einen Zeitraum von 13 Jahren gefördert, wobei der Schwerpunkt der Förderung sich von einer Grundlagenorientierung hin zu einer vormarktligen Anwendungsorientierung bewegt hatte.

Vor diesem Hintergrund hat sich das Bundesministerium für Bildung und Forschung entschlossen, im Rahmen einer ex-ante Evaluation untersuchen zu lassen, welche zukunftssträchtigen Entwicklungsfelder sich im MST-nahen Bereich identifizieren lassen. *Ziel* ist es dabei, nicht nur im Rahmen des bereits vorhandenen mikrosystemtechnischen Paradigmas weitere Entwicklungspotenziale zu identifizieren, sondern vor allem auch einen Schwerpunkt auf bisher nicht eingeschlagene Pfade in der Entwicklung der Mikrosystemtechnik zu suchen, sowie die Anbindung von mikrosystemtechnischen Lösungen an andere Technologiegebiete intensiver zu untersuchen.

Die Identifikation neuer Entwicklungspfade stellt für die ex-ante Evaluation eine Herausforderung dar, da es der Anspruch ist, eben nicht an die bereits eingeschlagenen inkrementellen Entwicklungspfade anzuknüpfen, sondern technologie- und branchenübergreifende Entwicklungspfade zu identifizieren. Mit einem solchen Ansatz wird der Weg eher in Richtung unsicherer grundlegend neuer Entwicklungspfade als der sichere Weg der inkrementellen Entwicklungspfade beschritten.

Dies kann nicht ohne Auswirkungen auf den gewählten Untersuchungsansatz bleiben. In der *Innovationsforschung* lassen sich drei grundlegende Arten von Ansätzen zur Erklärung von Technologiegenese unterscheiden. Hierbei handelt es sich um:

- technology-push Ansätze,
- demand-pull Ansätze,
- evolutionstheoretischen Ansätze.

Technology-push Ansätze gehen von der Hypothese aus, dass letztlich wissenschaftlich-technische Entwicklungen gesellschaftliche Prozesse determinieren, wobei unterstellt wird, dass die Technologieentwicklung selbst nach strikten naturwissenschaftlichen Kriterien erfolgt. Entsprechend liegt das Zentrum der Problemstellung bei den technology-push Ansätzen in der Identifikation von technologischen Paradigmata, die die erfolgreiche Technologieentwicklung beeinflussen. Ein technologisches Paradigma wird hier ausschließlich aus naturwissenschaftlich-technologischen Parametern definiert. Soziale Einflüsse auf den Technikgeneseprozess werden negiert.

Der in diesem Kaskadenmodell (s. Abbildung 1.1) von der Grundlagenforschung hin zu den marktlichen Produkten unterstellte *Geneseprozess* wird aufgrund der ausschließlichen Einbeziehung naturwissenschaftlich-technologischer Parameter als technologischer Determinismus bezeichnet.

Die technology-push Ansätze legten in der Innovationspolitik die Grundlage für die Methodik der ersten *Leitprojekte*. Bei diesen Leitprojekten, wie z.B. »Friedliche Nutzung der Kernenergie«, wurde unterstellt, dass die Technologiegenese nach strikten naturwissenschaftlichen und nicht durch sozio-ökonomische Prinzipien erfolgt, die nur zum Durchbruch gelangen müssen. Die Förderung solcher »Durchbrüche« sollte dann eine technologische Welle auslösen, die zu weiteren Innovationen führt. Besonders deutlich wurde das

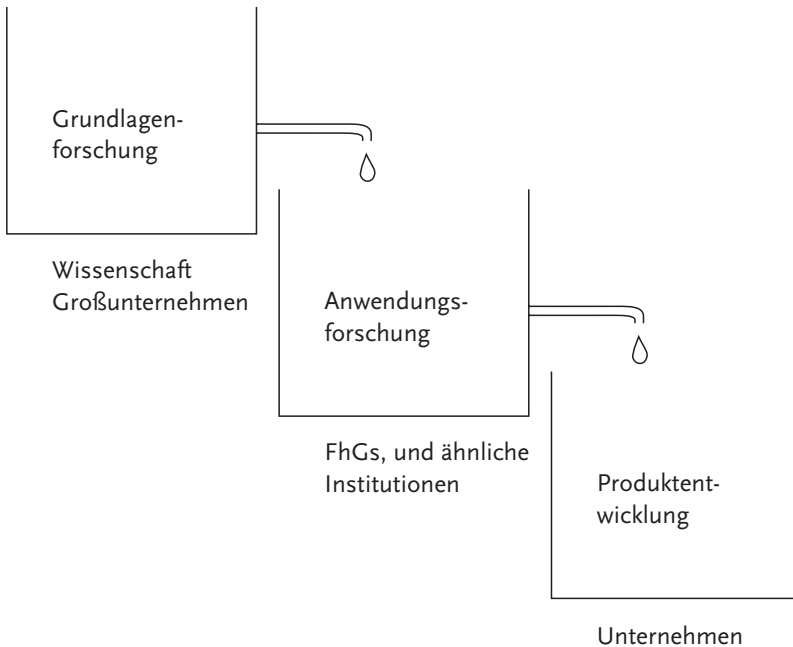


Abb. 1.1: Kaskadenmodell des technology-push Ansatzes

Konzept bei Mensch,¹⁾ der mit der Differenzierung zwischen Basis- und Verbesserungsinnovationen dem Konzept Vorschub leistete. Hierbei zielt ein Leitprojekt auf eine Basisinnovation im Bereich einer Schlüsseltechnologie ab, die im Bereich der Grundlagenforschung angesiedelt ist und nach ihrer Implementierung fast zwangsläufig eine Vielzahl von Verbesserungsinnovationen im Bereich der Anwendungsforschung nach sich zieht.

Die technology-push Ansätze sind nicht ohne *Kritik* geblieben. Diese setzt vor allem am impliziten technologischen Determinismus an, indem sie empirische Belege gegen das unterstellte Kaskadenmodell liefert. So gelang es zu zeigen, dass im Prozess der Entstehung und Durchsetzung von technologischen Entwicklungen vielfach wirtschaftliche und soziale Faktoren Einfluss nehmen. Sie führen dazu, dass die aus technologischer Sicht beste Lösung nicht etabliert werden kann.²⁾ Gleichzeitig wurde in empirischen Studien auch gezeigt, dass es einen »one best way« auch bei Basisinnovationen nicht gibt. Dies ist derzeit beispielsweise bei der Brennstoffzellenentwicklung

1) Mensch, Gerhard: Das technologische Patt. Innovationen überwinden die Depression, Frankfurt/Main, 1975

2) Arthur, B.W., Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events, in: The Economic Journal, Vol.99, S.116–131.

David, P.A., Bunn, J.A., The Economics of Gateway Technologies and Network Evolution: Lessons from Electricity Supply History, in: Information Economics and Policy, Vol. 3, North-Holland, S.165–202.

deutlich sichtbar, bei der verschiedene Entwicklungspfade parallel verfolgt werden.³⁾

Trotz dieser Kritik liefert der technology-push Ansatz für die ex-ante Evaluation wichtige *Bausteine*. Diese sind primär in der Erkenntnis zu sehen, dass die Technologiegenese paradigmaabhängig (Kuhn) erfolgt. Aufgabe der ex-ante Evaluation muss sein, neue Ausrichtungen der Paradigmata herauszuarbeiten. Gleichzeitig verdeutlicht die Kritik an dem Ansatz jedoch, dass das Aufzeigen von naturwissenschaftlich-technologischen Parametern zur Erklärung des Technologiegeneseprozesses nicht ausreichend ist. Vielmehr gilt es, den technologischen Determinismus durch die Einbeziehung weiterer nicht-technischer Parameter zu vermeiden. Hier setzen die evolutionären Ansätze an, die das Paradigma um nicht-technische Parameter erweitern (s.u. dem Abschnitt über die evolutionären Ansätze).

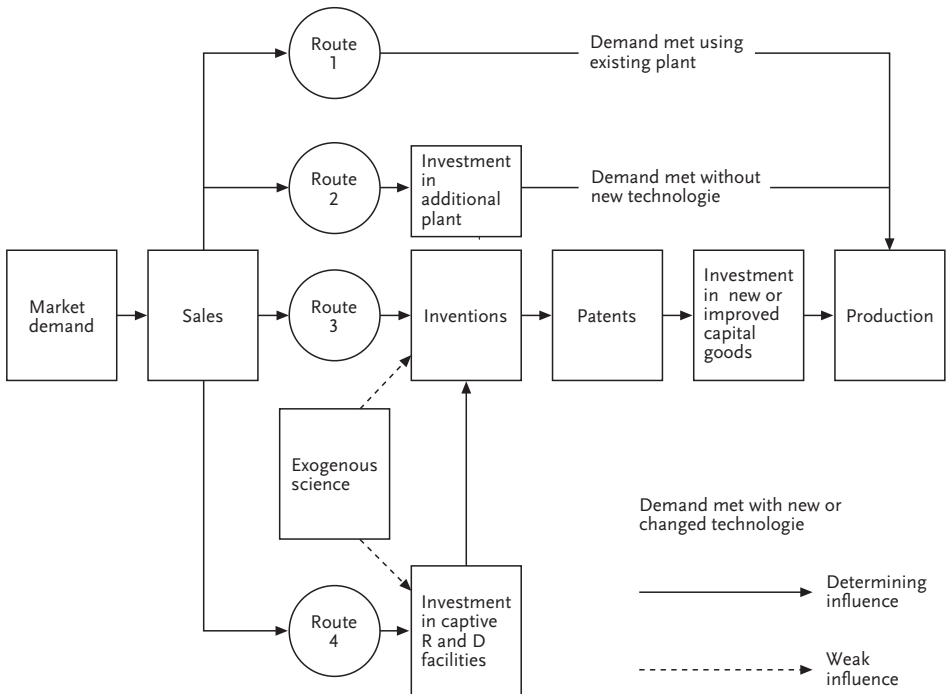
Zur Vermeidung einer ausschließlich naturwissenschaftlich-technologischen Perspektive könnten *demand-pull Ansätze* beitragen. Diese zeichnen sich durch eine stark marktorientierte Betrachtungsweise aus. Der vor allem von Schmookler⁴⁾ entwickelte Ansatz erklärt die Technologiegenese aus einer Nachfrageperspektive. Die zentrale These hierbei lautet, dass die Existenz von nachfragewirksamen Bedürfnissen die Technologiegenese durch den entsprechend Einsatz von Forschungsressourcen steuert (Abbildung 1.2). Eine Vielzahl von empirischen Studien haben darauf aufbauend versucht, die direkte Beeinflussung der Technologiegenese durch den marktgesteuerten Einsatz von Forschungsressourcen aufzuzeigen.

Interessant an dem Ansatz ist die Überlegung, dass nicht technische sondern *wirtschaftliche* Faktoren, wie in den Routen 3 und 4 gezeigt (vgl. Abbildung 1.2), einen relevanten Einfluss auf die Technologiegenese und ihre marktliche Umsetzung haben. Dies erfolgt primär über Inventionen und Innovationen, die direkt im anwendungsnahen Bereich der Verbesserungsinnovationen angesiedelt sind. Der Einfluss der »exogenen Forschung«, d.h. von Einrichtungen, die nicht als Forschungsabteilungen in einem Unternehmen angegliedert sind, auf den Innovationsprozess wird als eher unbedeutend eingeschätzt, da diese Akteure als zu marktfern angesehen werden.

Die Umsetzung des demand-pull Ansatzes findet sich vor allem in solchen *Forschungsprogrammen*, die stark auf konkrete Probleme in einzelnen Industrien oder Verbrauchergruppen abzielen. Hierbei wird jedoch durch die ordnungspolitischen Instanzen immer darauf geachtet, dass durch die Förderung keine Kannibalisierung privater Investitionen erfolgt. Dies macht eine solche

3) Hughes, Thomas P., The evolution of large technological systems, in: Bijker, Wiebe E., Hughes, Thomas P., Pinch, Trevor J. (eds.), *The social construction of technological SYSTEMS*; Cambridge; London, S.51–82; Callon, M., *The Sociology of an Actor-Network: The Case of the Electric Vehicule*, in: Callon M., Law, John, Rip, Arie (eds.), *Mapping the Dynamics of Science and*

Technology, Macmillan, London; S. 19–34.
4) Schmookler, Jacob, *Invention and Economic Growth*, Cambridge. Hippel, E. von (1978), *A customer-active paradigm for industrial product idea generation*, in: *Research Policy*, Vol.7, Amsterdam, S. 240–266 und Hippel, E. von (1988), *The Sources of Innovation*, New York.



Quelle: Freeman et al. 1982, S. 37

Abb. 1.2: Der Demand-Pull Ansatz

Förderung generell problematischer als dies im Rahmen des technology-push Ansatzes der Fall ist, da ordnungspolitische Grundsätze⁵⁾ bedroht werden.

Jedoch wurde auch an dem demand-pull Ansatz *Kritik* laut. Mehrere zentrale Probleme gehen mit dem demand-pull Ansatz einher. Die Kritik setzt hauptsächlich bei der Annahme an, dass bereits die Kenntnis der *Ressourcenströme allein* eine Aussage über die Technologiegenese erlaube. Vielmehr eröffnet die Kenntnis über die Forschungsressourcenströme erst die Möglichkeit, verschiedene Technologieausprägungen miteinander zu vergleichen. Es kann dann nur das Ergebnis der Technikgeneseuntersuchung sein, im nachhinein zu erklären, warum sich eine spezielle Lösung durchgesetzt hat. Die reine Ressourcenverteilung sagt noch nichts über die Erfolgsträchtigkeit eines Vorhabens aus. Entsprechend konnten die demand-pull Ansätze auch kaum die empirischen Ursachen für eine spezifische Technologieausprägung belegen.⁶⁾

5) Hierbei ist neben dem Problem der Kannibalisierung auch auf den Grundsatz der vormarktlchen Förderung hinzuweisen. Entsprechend sind marktliche Interventionen durch den Staat aus ordnungspolitischen Überlegungen wegen der Verzerrung des Wettbewerbs kritisch zu sehen.

6) Dies wird besonders deutlich an der Untersuchung von v.Hippel (1988), der zwar zeigen kann, dass nachfrageseitige Einflüsse bestanden. Er kann aber nicht aufzeigen, wie sie sich auf den Technikgeneseprozess konkret ausgewirkt haben.

Hinzu kommt als weiteres Problem der Versuch, *Basisinnovationen* über Nachfrage zu erklären. Eine Vielzahl von technikhistorischen Studien zeigt, dass bedeutsame Basisinnovationen kaum oder gar nicht auf bereits vorhandene Nachfrage abgestimmt waren.⁷⁾ Nachfrage kann entsprechend kaum als ein Indikator für die Ausrichtung von Basisinnovationen herangezogen werden.

Trotz der Kritik an den demand-pull Ansätzen lassen sich für eine ex-ante Evaluation einige *Erkenntnisse sinnvoll* nutzen. Die Relevanz des Einflusses von marktlichen Parametern auf den Technologiegeneseprozess kann vor dem Hintergrund der demand-pull Ansätze nicht negiert werden. Entsprechend wichtig ist es für eine ex-ante Evaluation, die kurz- bis mittelfristigen Einflüsse von marktlichen Parametern auf die Technikgenese zu erheben.⁸⁾ Gleichzeitig verweisen die demand-pull Ansätze aber auch auf die Aufgabe, längerfristige Bedürfnisse (gesellschaftliche wie individuelle) zu identifizieren, die die Genese von Basisinnovationen beeinflussen. Diese Bedürfnisse legen in mittel- bis langfristiger Perspektive die Grundlage für zu schaffende Anwendungen, die erst eine Nachfrage generieren, indem sie latente Bedürfnisse in marktrelevante Nachfrage transformieren.⁹⁾ Gleichzeitig darf in der ex-ante Evaluation aber nicht der Fehler der demand-pull Ansätze fortgeführt werden, die nachgewiesenermaßen vorhandenen naturwissenschaftlich-technologischen Einflüsse auf die Technologiegenese zu vernachlässigen.

Im Gegensatz zu den beiden beschriebenen Ansätzen wird im Rahmen dieser ex-ante Evaluation in Anlehnung an neuere Ergebnisse der *evolutionären Innovationsforschung* ein Augenmerk vor allem darauf gelegt, dass die Technologiegenese weder ausschließlich nach technologischen noch ausschließlich nach marktlichen Kriterien erfolgt. Vielmehr gehen die evolutionären Ansätze von einem komplexen, dynamischen Zusammenwirken naturwissenschaftlich-technologischer und gesellschaftlich-wirtschaftlicher Faktoren aus.¹⁰⁾ Dieses Zusammenwirken wird in den evolutionären Ansätzen auf unterschiedlichen Ebenen (Makro-, Meso- oder Mikroebene) behan-

7) Besonders anschaulich ist hier die Arbeit in Mayntz, R. et al. (1988), *The Development of Large Technical Systems*. Schriftenreihe des MPiFG, Bd.2, Frankfurt (Main) über die Einführung des Telefons in Paris. Hier konnte empirisch belegt werden, dass die Bevölkerung aufgrund eines Postservices, der dreimal täglich stattfand, gar keinen Bedarf für das Telefon hatte. Entsprechend versuchten Telefongesellschaften durch die Übertragung von Opern Kunden anzuziehen. Die Einführung des Internet ist unter ähnlichen Gesichtspunkten zu sehen.

8) Dies ist auch im ersten Zwischenbericht für die potenziellen Zukunftsfelder erfolgt.

9) Hier ist immer wieder auf die Aussage des Vorstandsvorsitzenden von IBM zu verwei-

sen, der Ende der 70er Jahre das Marktpotenzial für Personalcomputer bei etwa 100 Nachfragern pro Jahr sah.

10) Besonders anschaulich ist der evolutionäre Ansatz bei Dosi, G., 1982, *Technological Paradigms and technological Trajectories*, in: *Research policy*, Vol 11, S. 147–162 und 1988, *The nature of the Innovation process*, in: Dosi, G., et al. (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, London, S. 221–238) und bei Vergragt, P.J., *The social shaping of industrial innovations*, in: *Social Studies of Science*, Vol. 18, SAGE, London, u.a. Hier wird auch der von den evolutionären Ansätzen vertretene Prozess der Variation, Selektion und Proliferation deutlich.