

**prognos**

Deutsche Bank 



TECHNOPOLIS



Studie

# Evaluation des Förderkonzepts Mikrosystemtechnik 2000+

Endbericht

Im Auftrag des  
Bundesministeriums für  
Bildung und Forschung

Berlin, Basel, Frankfurt,  
Amsterdam, Wien  
November 2002

Endbericht

## **Evaluationskonsortium**

### **Prognos AG**

Dovestr. 2 – 4  
D-10587 Berlin

Dr. Stefan Berndes  
Dr. Heimfrid Wolff  
Andreas Heimer

### **Deutsche Bank**

Unter den Linden 13 / 15  
D-10117 Berlin

Thomas-J. Köhler  
Dr. Mathias Werner

### **Hochschule für Bankwirtschaft**

Sonnemannstr. 9 –11  
D-60314 Frankfurt am Main

Professor Dr. Thomas Heimer  
Dr. Hermann Sanders

### **Technopolis Group**

Prinz Eugen Straße 80/12  
A-1040 Wien

Dr. Patries Boekholt  
Leonhard Jörg  
Alexandra Rammer

## Einführung

Die unter dem Begriff „Mikrosystemtechnik“ (MST) zusammengefassten Technikentwicklungen gehören zu den Schlüsseltechnologien zu Beginn des 21. Jahrhunderts. In diesem Innovationsfeld und in einem heute schon wichtigen Anwendungsgebiet, nämlich dem Automobilbau, nimmt Deutschland im internationalen Vergleich eine herausragende Stellung ein. Das BMBF hat frühzeitig die Potenziale der MST erkannt und blickt auf zwölf Jahre der gezielten Förderung zurück. Diese knüpfte an die Förderung von Anwendungen der Mikroelektronik und Mikroperipherik an und stellte Anfang der 90er Jahre die technologiepolitischen Weichen, um Forschung und Entwicklung, anwendungsnahe Forschung und den Aufbau von Netzwerken sowie entsprechender Ausbildungskapazitäten im Bereich der Mikrosystemtechnik anzuregen und zu unterstützen. Nicht zuletzt die Beschreibung des Berufsbildes „Mikrotechnologe/ Mikrotechnologin“ reflektiert die Bedeutung, die dem Wechselspiel von Technologieentwicklung und der Herausbildung des Humankapitals beigemessen wurde.

Die vorliegende Evaluation beschreibt den Entwicklungsstand der Mikrosystemtechnik in Deutschland nicht allein auf der Grundlage einer reinen Förderprogrammbewertung. Vielmehr werden im Rahmen der Diffusionsanalyse auch die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der MST-Produzenten insgesamt, also auch von nicht-geförderten Unternehmen, Fragen der Etablierung tragfähiger Netzwerkstrukturen und der Stellenwert der MST auf unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette untersucht. Die ex-ante Evaluation wagt noch einen Schritt darüber hinaus. Auf der Grundlage einer breiten empirischen Basis und vermittels vertiefender Einzelanalysen zeigt sie im Rahmen von zehn Zukunftsfeldern Entwicklungskorridore der MST auf, die nicht nur unter förderpolitischen Gesichtspunkten zukunftsweisend sind. Sie formuliert Schwerpunktsetzungen, die allen handelnden Akteuren aus Forschung, Wirtschaft und Politik Handlungsorientierung vermittelt.

Die wichtigsten Ergebnisse der Evaluation werden diesem Bericht in Thesenform für den eiligen Leser vorangestellt. Eine Zusammenfassung der Analysen aus der ex-post- sowie der ex-ante-Evaluation findet sich in den Kapiteln 4 und 7. Neben dem einführenden Kapitel 1, das die wesentlichen Fragestellungen, die Untersuchungsmethodik sowie die Historie des Förderprogramms beleuchtet, führt auch das Kapitel 8 „Handlungsempfehlungen“ die wesentlichen Argumentationsstränge zusammen. Die verbleibenden Berichtsabschnitte 2 und 3 bieten eine detaillierte Darstellung der ex-post Evaluationsergebnisse, 5 und 6 skizzieren die wesentlichen innovationstheoretischen Grundlagen sowie die Konzipierung und argumentative Ableitung der zehn Zukunftsfelder.

## Zusammenfassung

### 1. MST: Wissen um die systemische Integration

Die Mikrosystemtechnik (MST) stellt nicht nur für die industrielle Forschung und Entwicklung, sondern auch für die Gestaltung eines staatlichen Förderprogramms eine große Herausforderung dar. Bei ihr handelt es sich nämlich nicht im eigentlichen Sinne um eine „Technik“, sondern um eine „Technologie“, d.h. ein Wissen um die systemische Integration ganz unterschiedlicher Techniken im Mikromaßstab für ganz verschiedene Anwendungsfelder (z. B. Mikropumpen und Mikrodosiersysteme mit Anwendungen im Maschinenbau, in der Medizintechnik und bei Screeningverfahren in der pharmazeutischen Industrie). Kennzeichnend für die MST ist entsprechend eine Vielzahl von Schnittstellenproblemen sowohl hinsichtlich der zu berücksichtigenden Technologien und (Produktions-) Verfahren als auch aufgrund der spezifischen Anforderungen bei unterschiedlichen Anwendungen.

### 2. MST: Mittlerfunktion zwischen Technologien und Anwendungen

Auf der technologischen Seite hat sich die Definition der MST als Integration von Sensorik, Signalverarbeitung und Aktorik in einem miniaturisierten Maßstab inzwischen als zu eng erwiesen. Immer stärker tritt dagegen eine generellere Mittlerfunktion etwa zwischen der Nano-, Mikro- und Makrowelt oder zwischen der organischen und anorganischen Welt in den Vordergrund. Auch die Anwendungskontexte entziehen sich einem abgegrenzten Branchenfokus, so dass die potentielle Erschließung zusätzlicher Anwendungsoptionen als Merkmal von MST-Entwicklungen zugleich einen erhöhten Kommunikations- und Transferbedarf bedeutet.

### **3. Interdisziplinarität als wesentliches Merkmal von Kooperationen**

Hinsichtlich der Förderung heißt dies, immer wieder den Ausgleich zwischen der Ausgestaltung eines an konkreten Förderzielen ausgerichteten, überschau- und planbaren Förderprogramms und dem Anspruch an einer inhaltlichen Offenheit gegenüber neuen Entwicklungen oder Verzweigungen zu suchen, deren Relevanz oft erst im Verlauf der FuE-Arbeiten erkennbar wird. Dabei sind die Grenzen zu anderen Technologieförderprogrammen oft fließend. Die Herausforderung für ein staatliches MST-Förderprogramm besteht auch darin, Kommunikationsprozesse zwischen den unterschiedlichen „Communities“ zu gestalten und branchen- und disziplinenübergreifende FuE-Kooperation zu ermöglichen.

## **Ergebnisse der ex-post Evaluation**

### **4. Erfolgreiche MST-Förderung mit hoher Relevanz für KMU**

Die bisherige MST-Förderung des BMBF war gemessen an den Zielen und Herausforderungen erfolgreich. Seit Programmstart 1990 bis Juni 2002 wurden insgesamt 349 Verbundvorhaben gefördert. Die Höhe der Zuwendungen belief sich insgesamt auf 543 Mio. €, die Gesamtaufwendungen inklusive der Eigenbeteiligung der Industrie auf 1.027 Mio. €. Beteiligt waren an den Verbundvorhaben 801 Unternehmen und Forschungseinrichtungen, davon 619 kleine und mittlere Unternehmen (KMU).

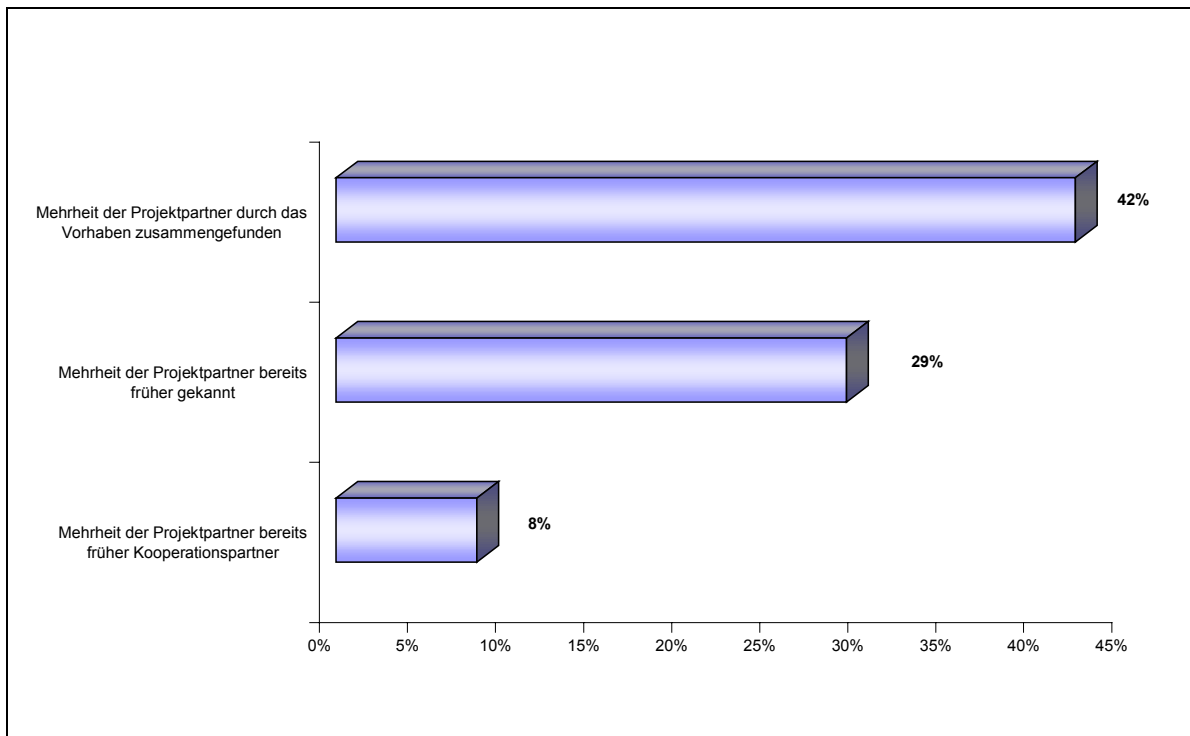
### **5. Zunehmende Industriebeteiligung und Anwendungsnahe**

Im Verlauf der MST-Förderung wurde eine deutliche Schwerpunktverlagerung von der Forschung zur Entwicklung und Anwendung vollzogen: Entsprechend der programmatischen Anpassung der Förderphasen hat sich die Struktur der geförderten Verbundvorhaben zugunsten der Beteiligung industrieller Teilnehmer – insbesondere der Beteiligung von KMU - gewandelt. In den Phasen II (1994 – 1999) und III (seit 2000) der Förderung stammten jeweils mehr als 2/3 der Verbundpartner aus Unternehmen (61 % KMU, 8 % Großunternehmen).

## 6. MST-Verbundvorhaben: erfolgreiches Förderinstrument

Durch die MST-Förderung ist es gelungen, FuE-Ressourcen dauerhaft zu bündeln sowie den Hersteller-, Anwender- und Nutzerkreis von Mikrosystemen zu erweitern. Die Struktur der geförderten FuE-Verbünde zeigt, dass durch die Förderung neue Verbünde initiiert sowie die Zusammenarbeit von KMU, Großunternehmen und Forschungseinrichtungen deutlich intensiviert werden konnte. Mehr als 40 % der Unternehmen haben sich durch die Verbünde mehrheitlich neue Kooperationspartner erschlossen. Branchen- und disziplinenübergreifende Forschungsfragestellungen sorgten auch dafür, dass sich neue Partner in neuen Arbeitskontexten zusammenfanden.

Abbildung 0-1: Entstehung der Verbünde für Unternehmen



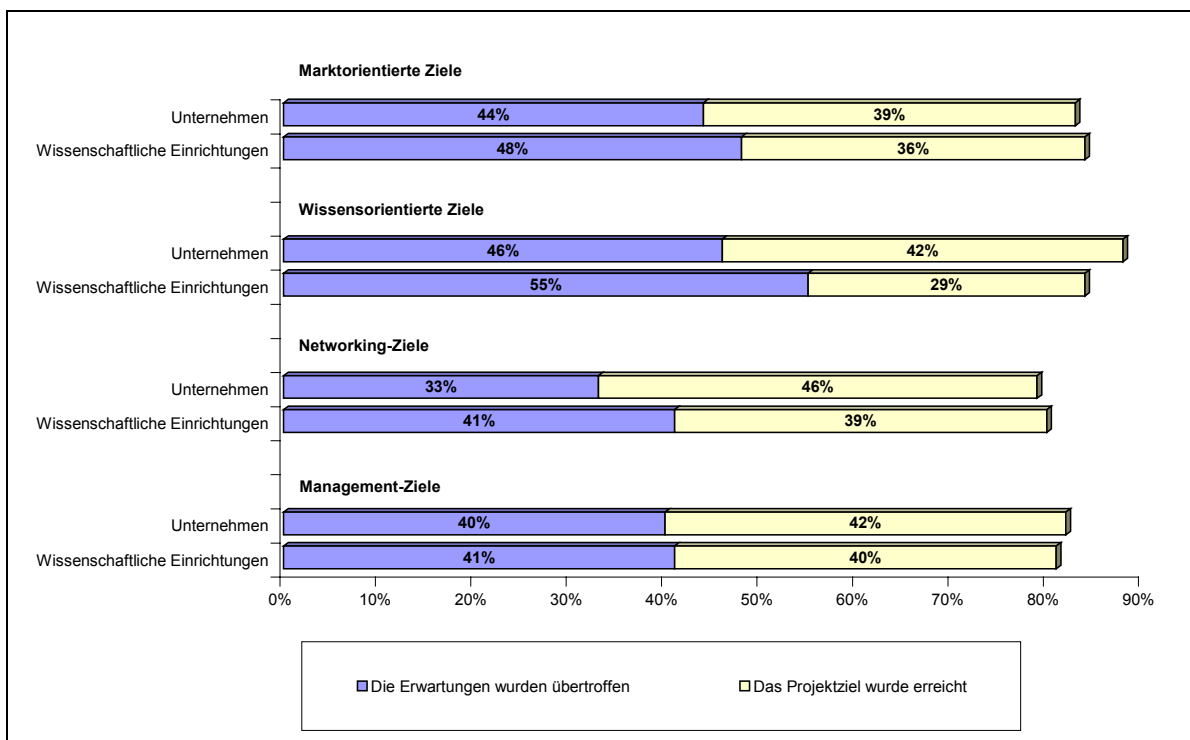
## 7. Integration unterschiedlicher Akteure entlang der Wertschöpfungskette

In den Verbundstrukturen arbeiteten überwiegend Akteure entlang der Wertschöpfungskette, seltener auch solche auf der gleichen Wertschöpfungsstufe zusammen. In mehr als einem Viertel der Verbünde (27 %) waren alle drei Zielgruppen, sowohl KMU als auch FuE-Einrichtungen und Großunternehmen beteiligt, so dass eine Basis für erweiterte Kooperationsnetzwerke gelegt wurde. Die am häufigsten anzutreffende Verbundkonstellation setzte sich aus Partnern von KMU und FuE-Einrichtungen zusammen (44 %).

## 8. Zielsetzungen: von den Verbänden mehrheitlich erreicht

Das MST-Förderprogramm eröffnet für die überwiegende Zahl der Unternehmen und FuE-Einrichtungen einen Weg, um ihre Ziele und Interessen an MST-Entwicklungen zu verwirklichen: Die Erwartungen der Programmteilnehmer hinsichtlich der bestehenden wissens-, markt-, netzwerk- und management-orientierten Ziele konnten in hohem Maße realisiert oder sogar übertroffen werden. Jeweils mindestens 80 % der Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen ziehen eine weitgehend positive Bilanz hinsichtlich der genannten vier Zieldimensionen.

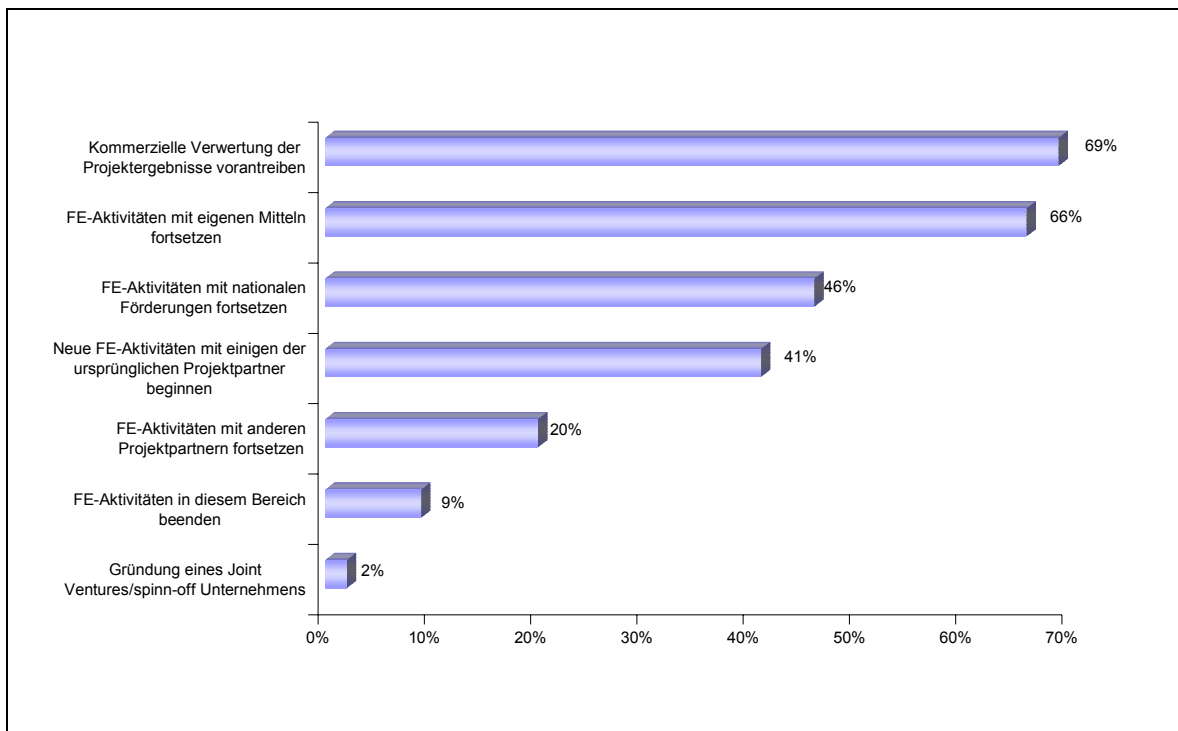
Abbildung 0-2: Zielpriorisierung und Erreichung



## 9. Nachhaltige Wirkung in Bezug auf weitere FuE-Aktivitäten

Von der MST-Förderung gehen deutliche Impulse für ein dauerhaftes FuE-Engagement in der MST aus, das von den Programmteilnehmern auch nach Beendigung der geförderten Vorhaben fortgesetzt wird. 2/3 der Unternehmen wollen ihre FuE-Aktivitäten mit eigenen Mitteln fortführen und die kommerzielle Verwertung der Ergebnisse vorantreiben.

Abbildung 0-3: Pläne nach Projektende



## 10. Lange Zeitspanne zwischen Invention und Markteintritt

Der Output der geförderten Verbundvorhaben ist differenziert nach neu entwickelten Produkten und Verfahren zu betrachten. Deutlich wird, dass der Sprung vom Prototyp zum neuen oder verbesserten Produkt in der MST mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden ist. Die Hälfte der Unternehmen, die auf der Grundlage der Projektergebnisse Umsätze erzielen, benötigten nach Projektabschluss noch mindestens weitere vier Jahre bis zum Markteintritt. Innovationen in den Verfahren und der Produktionstechnologie lassen sich dagegen schneller und von einer größeren Zahl von Unternehmen realisieren. Rund die Hälfte der Unternehmen kann bereits auf die Einführung von verbesserten Verfahren und Produktionstechnologien verweisen.

### **11. Technische Voraussetzungen für Markteintritt gewährleistet**

Am Markt erwirtschaftet bereits rund ein Viertel der geförderten Unternehmen (27 %), die neue oder verbesserte MST-Komponenten und Produkte entwickelt haben, erste Umsatzerlöse. Die Erwartungshaltung der übrigen Programmteilnehmer ist jedoch hoch: Sie planen jeweils in den nächsten 3 Jahren ihre Entwicklungsarbeiten mit neuen vermarktbareren Produkten abzuschließen. Demnach erhalten neben den technischen Fragestellungen in naher Zukunft Fragen der Markteintritts- und -erschließungsstrategien einen besonderen Stellenwert.

## **Diffusionsanalyse**

### **12. MST als Chance für junge und kleine Unternehmen**

Die Diffusionsanalyse zeigt, dass MST-Produkte und Komponenten in großem Maße von KMU hergestellt bzw. angewendet werden. Vor allem junge und kleine Unternehmen (Jahresumsatz geringer als 40 Mio. €) haben sich mit der MST einen zukunftsweisenden Technologiebereich erschlossen.

### **13. Weltweiter Durchbruch im IuK- und Automobilbereich**

Der weltweite Durchbruch gelang der MST bisher aber erst in der Informations- und Kommunikationstechnik und – besonders auch in Deutschland – im Automobilbau. Hier findet sie Einsatz- und Anwendungsfelder auf breiter Basis. In diesen Märkten werden MST-Komponenten in hohen Stückzahlen eingesetzt, so dass auch die entsprechenden Fertigungskapazitäten aufgebaut und ausgelastet werden konnten.

### **14. Zunehmende Ausdehnung der Anwendungsfelder**

Daneben werden MST-Entwicklungen in Deutschland zunehmend auch in anderen Wirtschaftszweigen eingesetzt. Noch kann hier jedoch nicht von eigenständigen Marktfeldern der MST-Anwendungen gesprochen werden. Das Schwergewicht liegt bisher in den Branchen „Herstellung von Mess-, Kontroll- u.ä. Instrumenten“, „Herstellung von elektronischen Bauelementen“ und „Maschinenbau“ (ohne Werkzeugmaschinen und Haushaltsgeräte). Daneben finden sich Anwendungen, z. B. in der minimal-invasiven Chirurgie, mit einem großen Aufmerksamkeitswert und Entwicklungspotenzial.

### **15. Diffusionsdynamik und Innovationsdynamik bei Anwendern: eng miteinander verkoppelt**

Die festgestellte Diffusionsdynamik der MST zeigt branchenspezifisch sehr unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeiten. Die Ursachen hängen eng mit den Besonderheiten der MST zusammen: Jede erfolgreiche MST-Entwicklung und Anwendung ist eng verknüpft mit dem Innovationsgeschehen in den vor- und nachgelagerten Bereichen sowie den dort vorhandenen technischen Lösungen bzw. den geltenden Forschungs- Produktions- und Anwendungsbedingungen. Je heterogener und komplexer diese Strukturen sind, umso höher und unkalkulierbarer sind die Entwicklungszeiten und –kosten, ganz besonders für KMU mit eng begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen.

### **16. MST: große innovatorische Hebelwirkung**

Für die deutsche Volkswirtschaft hat die MST dennoch schon heute eine große innovationsfördernde Bedeutung: Zwar wurden allein mit dem Verkauf von MST-Komponenten in Deutschland im Jahr 2000 schätzungsweise 4,2 Mrd. € umgesetzt, ihr innovationsfördernder Effekt war aber sehr viel größer: das Umsatzvolumen mit Produkten, in die MST-Komponenten integriert sind, lag bei ca. 277 Mrd. €.

## **Ergebnisse der ex-ante Evaluation**

### **17. Breites Spektrum von Zukunftsfeldern erschlossen**

Die zukünftigen Entwicklungspotentiale der MST liegen in Zukunftsfeldern, wie sie in der ex-ante Analyse beschrieben werden. Ausgehend von Funktionen, Anforderungen und Anwendungen für die MST wurden hier in einem mehrstufigen Kommunikationsprozess zehn Zukunftsfelder der MST identifiziert, die auch im internationalen Maßstab die wesentlichen Entwicklungstrends zusammenfassen: Systemintegration, Optonics, Life Science, Micro-Nano-Interfaces, Fluidtronics, Polytronics, Micromats, Agile Fabrication, Smart Energy und Ubiquitous Computing.

## **18. Zunehmende Bedeutung der MST-Funktion Systemintegration**

Die wesentlichen und dynamischsten Entwicklungsstränge der relevanten MST-Anwendungen sind mit diesen Zukunftsfeldern nach heutigem Erkenntnisstand erfasst, womit der systemische Charakter der MST, der sich auch in ihrer Brückenfunktion zwischen unterschiedlichen Technologien manifestiert, betont wird. Die identifizierten Zukunftsfelder decken sich weder mit einzelnen Anwendungsgebieten noch einzelnen technischen Entwicklungslinien. Die Analyse ihrer Forschungsbedarfe, Marktpotenziale und Einflussfaktoren zeigt vielmehr den generischen Charakter der MST und liefert insofern eine eher funktionale, thematische Klammer für technologische Entwicklungspfade, für die unterschiedliche Parameter aus Technologie-, Markt- und weiteren Umfeldbedingungen entscheidend sind.

## **19. Nach wie vor: zahlreiche Innovations- und Diffusionshemmnisse für die MST**

Die vertiefende Analyse der Stärken und Schwächen sowie der Chancen und Risiken in vier ausgewählten Zukunftsfeldern Agile Fabrication, Mikro-Nano-Interface, Smart Energy sowie Life Sciences und Fluidtronics (vgl. Kap. 6) deckt wichtige Innovationsbarrieren auf: Vordringlich zu nennen sind hierbei der noch nicht ausreichende Entwicklungsstand in der Produktionstechnik für MST-Komponenten. Diese Defizite sind ebenso hinsichtlich der Fertigungsinfrastruktur festzustellen. Daneben bilden gerade für KMU die hohen Entwicklungskosten eine Innovationsbarriere. Exemplarisch können für einzelne Zukunftsfelder folgende Aspekte aufgeführt werden: Eine nicht ausreichend auf die potentiellen Zielgruppen und ihre Anforderungen ausgerichtete Entwicklungs- und Vermarktungsstrategie verhindert den Durchbruch (z.B. beim Lastmanagement im Energiesektor). Immer wieder stoßen MST-Entwicklungen (z.B. von Mikro-Nano-Interfaces) auf fehlende Erkenntnisse bei grundlegenden Forschungsfragen, die aber für eine Weiterentwicklung erforderlich sind. In anderen Gebieten hemmen die gewachsenen Innovationsstrukturen oder aufwändige Zulassungsverfahren (z.B. in der Lebensmittel- und Medizintechnik) die Weiterentwicklung von MST-Anwendungen.

## **20. Zunehmende Komplexität der Herausforderungen für Innovationsakteure**

Bei der Betrachtung von Paradigmen sind die Wechselbeziehungen zwischen den technischen Sachsystemen, Gesellschaft und Umwelt (u. a. Technologieentwicklung, Rechtssystem, Wirtschafts-, Branchen-, Unternehmensstrukturen, Akzeptanzfragen) zu berücksichtigen. Auf der Grundlage der in diesem innovatorischen Umfeld geltenden Prinzipien werden die relevanten Fragestellungen ausgewählt und Muster von Problemlösungen entwickelt. Dem geänderten Paradigma des systemintegrierenden, branchen- und disziplinenübergreifenden Charakters der MST stehen vor allem folgende Entwicklungshemmnisse gegenüber. Steigende Anforderungen an die Gestaltung von Kooperationsbeziehungen und Netzwerken, die nicht ausreichend entwickelte Produktionsinfrastruktur, die Simultaneität und Rekursivität der Innovationsschritte, fehlende technologische Standards und in einzelnen Fragestellungen erkennbare Forschungsdefizite. Daneben stehen einer schnelleren Diffusion der MST auch eine Knappheit an qualifiziertem Personal und für KMU besonders relevant Probleme in der Finanzierung von Innovationsvorhaben entgegen.

## Empfehlungen

### **21. Stärkere Orientierung der Förderung an Entwicklungsdynamik und Komplexität**

Die technischen Entwicklungspotenziale der MST einerseits, ihre industrie- und beschäftigungspolitische Bedeutung für Deutschland andererseits erfordern auch in Zukunft eine staatliche Begleitung und Förderung der MST in Deutschland. Die Erfahrungen mit der MST-Förderung lassen aber auch die besonderen Schwierigkeiten und Anforderungen erkennen, der sich die künftige Förderung der MST aufgrund der besonderen Charakteristika einer systemischen Integrationstechnologie verstärkt stellen muss, nämlich einer Fokussierung auf FuE-Schwerpunkte unter Beachtung von Funktionalität, Anwendungsorientierung und technischem Entwicklungsbedarf, der Einbindung der Akteure und systematischen Netzwerkbildung bereits im Vorfeld der eigentlichen Forschung sowie einer Flexibilität in der Ausgestaltung der Förderung, die dem dynamischen Innovationscharakter der MST entspricht.

### **22. Zukunftsfelder als Leitlinien der zukünftigen Förderung**

Ausgangsbasis für eine Neuausrichtung der MST-Förderung bilden die in der Evaluation identifizierten Zukunftsfelder, auf deren Basis es technologische road maps zu skizzieren gilt. Sie wiederum sind die Voraussetzung, um einerseits Schwerpunkte der Förderung zu definieren, andererseits Netzwerke für technologische und anwendungsorientierte Neuentwicklungen aufzubauen. Die zukünftige Förderung sollte folglich dynamische Elemente beinhalten und sich an den Leitkriterien der Fokussierung, des Commitment und der Flexibilität orientieren (vgl. Kap. 8).

### **23. Bedeutungszuwachs für Aspekte der Vernetzung der Akteure und Differenzierung der Förderinstrumente**

Ein neues Programm sollte auf der Grundlage der bewährten Förderinstrumente und unter Beibehaltung der Verbund- und KMU-Orientierung, ausgehend von den identifizierten Zukunftsfeldern eine stärkere Vernetzung der Akteure, auch über die Verbände hinaus, anstreben. Die Netzwerkpartner sollten sich sowohl aus der Industrie als auch aus der Forschung rekrutieren und in einzelnen Fällen die Anwender- und Nutzerseite berücksichtigen. Diese Netzwerke dienen jedoch nicht nur der Konstituierung neuer Verbände und Innovationsvorhaben, sondern bilden auch eine Grundlage für die Implementation von Selbststeuerungselementen in die strategische Programmdiskussion. Diese dient der Aktualisierung der road maps, der Formulierung neuer Förderschwerpunkte und der Weiterentwicklung des Förderinstrumentariums. Innovationsbegleitende Maßnahmen sind in Zukunft noch stärker auf die veränderten Umfeldbedingungen und damit auf eine dynamische Programmgestaltung auszurichten.

### **24. Ausbildung und Qualifizierung als wesentliche Voraussetzung für den Erfolg von MST als wissensintensiver Industrie**

Für den Standort Deutschland liegt in der MST auch für die absehbare Zukunft noch ein großes Innovationspotenzial, das weit über den Bereich der Hersteller und der direkten Anwenderbranchen hinaus reicht. Neben der klassischen FuE-Förderung gewinnen deshalb die Förderung des Technologietransfers und die Unterstützung von Ausbildungs- und Qualifizierungsinitiativen zunehmend an Bedeutung. In den wissensintensiven, hoch innovativen Industriezweigen und Forschungseinrichtungen, die an diesem Prozess beteiligt sind, behält die Frage der Verfügbarkeit von Wissen, praktischem Können und Fachkräften auch in Zukunft eine herausragende Rolle.

## Inhalt

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1. Hintergrund und Fragestellung der Evaluation .....	1
1.2. Methodischer Ansatz und Empirie.....	6
<b>2. Ex-post Bewertung der Wirkungen des Förderkonzepts MST 2000+ .....</b>	<b>15</b>
2.1 Zielsetzungen der Wirkungsanalyse.....	15
2.2 Die MST-Förderprogramme seit 1990 .....	17
2.2.1 Politisch-programmatischer Hintergrund.....	17
2.2.2 Eckdaten der Programme.....	19
2.3 Konzeption und Methodologie der Evaluierung .....	23
2.4 Struktur und Dynamik der Verbände .....	25
2.4.1 Struktur und Zusammensetzung der Verbände .....	26
2.4.2 Bildung und Dynamik der Verbände .....	28
2.5 Das Programm aus der Sicht der Teilnehmer .....	30
2.5.1 Ziele und Zielerreichung .....	30
2.5.2 Ziele und Zielerreichung bei Unternehmen .....	31
2.5.3 Ziele und Zielerreichung bei wissenschaftlichen Einrichtungen .....	34
2.5.4 Probleme im Projektverlauf .....	36
2.5.5 Bewertung der administrativen Prozeduren .....	38
2.5.6 Kosten und Nutzen der Programmteilnahme .....	40
2.5.7 Additionalitäten.....	42
2.6 Wirkungsanalyse.....	45
2.6.1 Aufbau von FuE-Kompetenzen.....	45
2.6.2 Projektergebnisse (Outputs).....	54
2.6.3 Kommerzielle Umsetzung der Projektergebnisse (Outcomes).....	59
2.6.4 Wirkung auf die Teilnehmerorganisation .....	62
<b>3. Stand der Mikrosystemtechnik in der deutschen Wirtschaft und Diffusionshemmnisse .....</b>	<b>65</b>
3.1 Ziel und Vorgehen der Untersuchung.....	65
3.2 Akteure und Aktionen im Zusammenhang mit der Anwendung von Mikrosystemtechnik .....	71
3.2.1 Wissenschaftliche Einrichtungen .....	71
3.2.2 Unternehmen .....	76
3.3 Diffusionsdynamik der MST und deren Bedingungen in Deutschland .....	94
3.3.1 Vorlaufzeiten der MST.....	94
3.3.2 Differenzen zwischen aktueller und erwarteter Diffusion .....	96
3.3.3 Einschätzungen zum Stand der deutschen MST im internationalen Vergleich.....	106
3.3.4 Design, Simulation und MST-Baukasten zur Diffusionsförderung? .....	108
3.4 Volkswirtschaftliche Bedeutung der MST für Deutschland .....	115

3.4.1	Qualitative Anhaltspunkte zur Bedeutung von MST auf Basis der durchgeführten Erhebungen .....	115
3.4.2	Quantitative Abschätzung der Bedeutung der MST .....	116
<b>4.</b>	<b>Zusammenfassende Bewertung der bisherigen MST Förderung aufgrund der ex-post Evaluation .....</b>	<b>125</b>
<b>5.</b>	<b>Kriterien und Vorgehensweise in der ex-ante Evaluation .....</b>	<b>139</b>
5.1	Ziele und Kriterien der ex-ante Evaluation.....	139
5.2	Methodische Umsetzung der Ergebnisse der Innovationsforschung in die ex-ante Evaluation der MST 2000+ .....	149
<b>6.</b>	<b>Potenziale einer künftigen Entwicklung der MST in Deutschland.....</b>	<b>159</b>
6.1.	Ableitung der potentiellen Zukunftsfelder .....	159
6.1.1.	Überblick über die potentiellen Zukunftsfelder .....	159
6.1.2.	Abgleich mit dem Kriterienkatalog und Aufbau des Kapitels .....	165
6.2.	Potentielle Zukunftsfelder der MST– Ein Überblick über die nicht vertieft analysierten Felder .....	170
6.2.1.	Systemintegration.....	170
6.2.2.	Optronics.....	173
6.2.3.	Polytronics.....	176
6.2.4.	Micromats .....	179
6.2.5.	UbiComp .....	181
6.3.	Agile Fabrication .....	185
6.3.1.	Kurzbeschreibung und Bedeutung .....	185
6.3.2.	Künftige Entwicklungslinien .....	187
6.3.3.	Innovationsbarrieren.....	190
6.3.4.	Stärken und Schwächen im internationalen Vergleich .....	197
6.4.	Smart Energy .....	195
6.4.1.	MST für Energie - Neue Formen der Energieerzeugung und Energieversorgung .....	199
6.4.2.	Energie für MST .....	206
6.4.3.	Innovationsbarrieren.....	210
6.4.4.	Stärken und Schwächen im internationalen Vergleich .....	212
6.5.	Mikro-Nano-Interface .....	213
6.5.1.	Kurzbeschreibung und Bedeutung .....	213
6.5.2.	Künftige Entwicklungslinien .....	217
6.5.3.	Innovationsbarrieren.....	224
6.5.4.	Stärken und Schwächen im internationalen Vergleich .....	226

6.6.	Life Sciences und Fluidtronics.....	227
6.6.1.	Kurzbeschreibung und Bedeutung .....	227
6.6.2.	Künftige Entwicklungslinien .....	231
6.6.3.	Innovationsbarrieren.....	234
6.6.4.	Stärken und Schwächen im internationalen Vergleich .....	239
<b>7.</b>	<b>Chancen und Herausforderungen für die MST der Zukunft.....</b>	<b>241</b>
7.1	Innovationsbarrieren auf dem Weg zu erfolgreichen Zukunftsfeldern .....	247
7.1.1	Netzwerkbildung.....	247
7.1.2	Infrastruktur .....	248
7.1.3	Innovationsphasen .....	248
7.1.4	Standardisierung .....	248
7.1.5	Grundlagenforschung.....	249
7.1.6	Personal.....	249
7.1.7	Finanzierung .....	249
<b>8.</b>	<b>Politische Handlungsoptionen für eine Förderung von MST in der Zukunft.....</b>	<b>251</b>
8.1	Chancen für eine Neuausrichtung der MST-Förderung.....	252
8.2	Anregungen für die Ausgestaltung einer neu ausgerichteten MST-Förderung .....	266

## Abbildungen

Abbildung 1.1:	Darstellung des Untersuchungsverlaufs	7
Abbildung 2.1:	Anteil der einzelnen Organisationstypen an der Gesamtzahl der Teilvorhaben (in %, Phase I-III)	21
Abbildung 2.2:	Wirkungsebenen des Programms	24
Abbildung 2.3:	Charakterisierung der Unternehmen im Projektkonsortium	27
Abbildung 2.4:	Entstehung der Verbände für Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen	28
Abbildung 2.5:	Zielpriorisierung und Zielerreichung bei Unternehmen	32
Abbildung 2.6:	Zielpriorisierung und Zielerreichung bei den wissenschaftlichen Einrichtungen	34
Abbildung 2.7:	Prozentsatz der Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen, die die administrativen Prozeduren für "gut" befanden	39
Abbildung 2.8:	Kosten-Nutzen bei Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen	40
Abbildung 2.9:	Additionalitäten nach Organisationstyp	43
Abbildung 2.10:	Verhalten bei Projektablehnung nach Organisationstyp	44
Abbildung 2.11:	% der Respondenten, für die die Teilnahme am Programm gleichzeitig der Einstieg in die MST bedeutete	49
Abbildung 2.12:	Pläne nach Projektende	52
Abbildung 2.13:	Stand der Projektumsetzung: in % der wichtigen Projektergebnisse	57
Abbildung 2.14:	Stand der kommerziellen Umsetzung	60
Abbildung 3.1:	Struktur der Unternehmen nach Gründungsjahr	78
Abbildung 3.2:	Durchschnittliche prozentuale Verteilung der Absatzmärkte	80
Abbildung 3.3:	Häufigkeit der unterschiedlichen Formen der Kooperation bei allen Unternehmen	85
Abbildung 3.4:	Nutzung der MST bei allen Unternehmen	89
Abbildung 3.5:	Hürden bei der Realisierung des gewünschten MST-Einsatzes	93

Abbildung 3.6:	Anteil der Unternehmen nach Zeitspanne zwischen Beobachtung und Nutzung der MST	95
Abbildung 5.1:	Kaskadenmodell des technology-push Ansatzes	140
Abbildung 5.2:	Der Demand-Pull Ansatz	142
Abbildung 5.3:	Der evolutionäre Ansatz nach Vergragt	147
Abbildung 5.4:	Identifikation von Clustern in technologischen Optionen mit Zukunftsfeldcharakter	151
Abbildung 6.1:	Vergleich der Zukunftsfelder nach Branchenvielfalt, Wachstumsraten und Marktgröße im Jahr 2000	167
Abbildung 6.2:	Vergleich der Zukunftsfelder nach Branchenvielfalt, Wachstumsraten und Marktgröße im Jahr 2005	167
Abbildung 6.3:	Struktur des Zukunftsfeldes Smart Energy	198
Abbildung 6.4:	Strukturmodell der MNI-Technologien	220
Abbildung 6.5:	Versuch eines Technologie-Rankings im zukunftsfeld MNI	221
Abbildung 6.6:	MNI-Anwendungs-Ranking"	223
Abbildung 6.7:	Das Zukunftsfeld "MST in den Life Sciences"	228
Abbildung 7.1:	Zukunftsfelder der MST	243
Abbildung 8.1:	Übersicht über die Programmmodule zur Neuausrichtung der MST-Förderung	267

## Tabellen

Tabelle 1.1:	Zuordnung der befragten Akteure	12
Tabelle 1.2:	Überblick über die mündlichen Interviews, die für ex-post und ex-ante-Evaluation von Bedeutung waren	13
Tabelle 1.3:	Überblick über die mündlichen Interviews, die im wesentlichen im Rahmen der ex-ante Evaluation von Bedeutung waren	14
Tabelle 2.1:	Eckdaten der Programme (1990-2002)	20
Tabelle 2.2:	Zahl der Projektmitarbeiter in den geförderten Teilprojekten	48
Tabelle 3.1	Größenstruktur der befragten Unternehmen gemessen am Umsatz in 2000	79
Tabelle 3.2	Durchschnittliche Zahl und Gegenstand zusätzlich genannter Anwendungsfelder je Anwendungsfeld der Unternehmen – für die sechs meistgenannten Anwendungsfelder	84
Tabelle 3.3:	Die jeweils sechs wichtigsten Kooperationsziele der Unternehmen mit dem höchsten Erfüllungs- bzw. Enttäuschungsgrad	86
Tabelle 3.4:	Von den Unternehmen genannte Hürden in der Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen und anderen Unternehmen	87
Tabelle 3.5:	Entwicklung der Umsätze, Exporte und FuE-Ausgaben der Unternehmen in den vergangenen fünf Jahren	88
Tabelle 3.6:	Umsatzanteile mit Produkten in denen MST integriert ist (Mittelwerte)	90
Tabelle 3.7:	Erfüllungsgrad der vor ca. fünf Jahren gehegten Erwartungen an den Einsatz von MST	92
Tabelle 3.8:	Dauer zwischen Innovation und Kommerzialisierung bei ausgewählten MST-Produkten	97
Tabelle 3.9:	Schätzung der MST-relevanten Gesamtumsätze 2000 in allen dazu Angaben machenden Unternehmen sowie Hochrechnung der sich aus der Erhebung ergebenden Werte für die MST-relevanten Gesamtumsätze 2000	119
Tabelle 3.10	Schätzung der MST-relevanten Beschäftigten in den in der Erhebung erfassten Unternehmen und deren Hochrechnung für 2000	121

Tabelle 3.11:	Schätzung von Umsatz und Beschäftigten in Deutschland im Zusammenhang mit der Anwendung von MST auf Basis der Produktionsstatistik von 1999	123
Tabelle 6.1a:	Relevante Technologieoptionen je Zukunftsfeld	162
Tabelle 6.1b:	Derzeitige Applikationen in den potenziellen Zukunftsfeldern	163
Tabelle 6.2:	Erfüllung der Kriterien durch die potenziellen Zukunftsfelder	165
Tabelle 6.3:	Anwendungsbeispiele für Optronics	175
Tabelle 6.4:	SWOT-Analyse Agile Fabrication	197
Tabelle 6.5:	Überblick verschiedener Brennstoffzellen	203
Tabelle 6.6:	SWOT-Analyse Smart Energy	212
Tabelle 6.7:	SWOT-Analyse Mikro-Nano-Interface	226
Tabelle 6.8:	SWOT-Analyse Life Science und Fluidtronics	239

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund und Fragestellung der Evaluation

### Förderschwerpunkt und Förderkonzept MST

Die Mikrosystemtechnik (MST) wird durch das BMBF seit 1990 gefördert. Das aktuelle Förderprogramm Mikrosystemtechnik ist Teil des Förderbereichs I: Informationstechnik (einschließlich Multimedia und Fertigungstechnik).<sup>1</sup> Es baut auf zwei der MST-Thematik gewidmeten Vorgängerprogrammen auf, die ihrerseits die „Mikrotechnologien“ fördernde Vorgänger hatten.<sup>2</sup>

So war das "Sonderprogramm Anwendung Mikroelektronik" (1982-1984) das erste Schwerpunktprogramm, das die Mikrotechnologien fördern sollte. Das Programmziel war die Förderung der Entwicklung mikroelektronischer Produkte. Daran anschließend stand die Unterstützung der Diffusion der Mikroelektronik durch die Schaffung eines Angebots an technisch leistungsfähigen und preiswerten Mikroperipherik-Komponenten (intelligente Mikrosensoren) sowie die Weiterentwicklung der technologischen Grundlagen im Vordergrund des Förderungsschwerpunkts "Mikroperipherik" (1985-1989).

Das erste Förderprogramm Mikrosystemtechnologie (1990-1993) war eine konzeptionelle Weiterentwicklung der beiden früheren Programme mit wesentlich neuen Akzenten.<sup>3</sup> Der Schwerpunkt lag auf der Förderung von intelligenten miniaturisierten Systemen sowie der Schaffung einer adäquaten Infrastruktur zur Verbesserung des Innovationsmanagements und der Erleichterung des Technologietransfers.

Mitte der neunziger Jahre hatte sich die Diskussion um die Chancen der MST intensiviert. Auf MST-Komponenten basierende Produkte etablierten sich am Markt, und in anderen europäischen und außereuropäischen Ländern wurde das Thema im wissenschaftlichen Umfeld und in der Industrie verstärkt aufgegriffen. Die He-

---

<sup>1</sup> Vgl. Deutscher Bundestag, Bundesbericht Forschung 2000, BT-Drucksache 14/4229, S. 165

<sup>2</sup> Sämtliche in diesem Kapitel verwendeten Informationen stammen aus den Jahresberichten des VDI/VDE-IT sowie dem Merkblatt "Mikrosystemtechnik 1994-1999" und der Programmbroschüren des BMBF: „Mikrosystemtechnik. Förderungsschwerpunkt im Rahmen des Zukunftskonzeptes Informationstechnik“, Bonn 1990, „Mikrosystemtechnik 1994-1999. Programm im Rahmen des Zukunftskonzeptes Informationstechnik“, Bonn 1996, "Förderkonzept: Mikrosystemtechnik 2000+", Bonn 2000

<sup>3</sup> Vgl. Brasche, U.; Widdig, H.: Der Förderungsschwerpunkt Mikrosystemtechnik 1990 – 1993 und seine Entstehung. Ex-ante Evaluation, Berlin 1990.

rausforderung für die Zukunft bestand nunmehr darin, aus der guten Position in der Forschung und bei den technologischen Grundlagen auch Wettbewerbsvorteile auf den internationalen Märkten zu entwickeln.

Diesen Entwicklungen in der MST wurde im zweiten Förderprogramm (1994-1999) Rechnung getragen.<sup>4</sup> Das BMBF verlangte eine konsequente Ausrichtung der geförderten Vorhaben auf die Entwicklung integrierter Systeme, um die internationale Spitzenposition Deutschlands zu sichern. Die Mikrosystemtechnik wurde als Integrationstechnik gesehen, deren Potenzial weit über die Verknüpfung von gängigen Mikrotechniken hinausgeht. Nur noch in Ausnahmefällen wurden einzelne Technikentwicklungen gefördert. Stattdessen erfolgte eine Konzentration auf Systemlösungen, mit denen Einzeltechniken und Komponenten bei der Entwicklung von Mikrosystemen verknüpft werden.

Anwendungsorientierung stand im Mittelpunkt des MST-Förderkonzepts im Jahre 2000, das darauf abzielt, "in weiteren vier Jahren die erforderlichen Impulse dafür zu setzen, dass die MST in wichtigen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft nun rasch ihre volle Wirkung entfalten kann".<sup>5</sup> Die politischen Ziele lauten konkret:<sup>6</sup>

1. Ausbau bzw. Wiederherstellung der **internationalen Wettbewerbsfähigkeit** durch Steigerung der Innovationsfähigkeit, Beseitigung von Innovationshemmnissen, Stärkung interdisziplinärer Forschungsansätze, Ausbau der FuE-Anstrengungen in KMU und bessere Nutzung ihrer Innovationskraft als traditionelle Stärke des deutschen Innovationssystems.
2. Beschleunigung der breiten **Umsetzung von FuE-Ergebnissen** in die wirtschaftliche Nutzung in für Deutschland besonders wichtigen und wachstumsintensiven Wirtschaftszweigen zur Schaffung bzw. Erhaltung von Arbeitsplätzen. Die Schließung technischer Lücken, die Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen FuE-Einrichtungen und Unternehmen und die Entwicklung von Standards dienen als Voraussetzung für die Entwicklung eines breiten Dienstleistungsangebots zur Nutzung der Mikrosystemtechnik.

Diese Zielsetzungen werden mit Hilfe eines **integrativen Ansatzes zur Unterstützung der MST** verfolgt, durch den nicht nur die Reifung und Verbreitung von Technologien und deren beschleunigte Überführung in Anwendungen gefördert, sondern auch der Abbau von nichttechnischen Hemmnissen erreicht werden soll.

---

<sup>4</sup> Vgl. Berger, J.; Brasche, U.: Das Programm Mikrosystemtechnik 1994 – 1999 und seine Entstehung, Teltow 1994.

<sup>5</sup> Vgl. Förderkonzept Mikrosystemtechnik 2000+, BMBF, Januar 2000.

<sup>6</sup> Vgl. BMBF (Hg.): Mikrosystemtechnik 1994 – 1999, 1996; BMBF (Hg.): Förderkonzept Mikrosystemtechnik 2000+, 2000

## Zum Begriff „Mikrosystemtechnik“

Für die Evaluation ist es wichtig, den Gegenstand der Förderung möglichst eindeutig abzugrenzen. Sieht man sich die bisherige MST-Förderung unter diesem Gesichtspunkt näher an, so fällt auf, dass die MST seit Beginn stets bewusst sehr offen definiert und kaum hinsichtlich der einzubeziehenden Mikrotechniken oder besonderer Anwendungsfelder abgegrenzt worden ist. Es scheint sogar ein "Wesensmerkmal" der MST-Förderung zu sein, die inhaltliche Abgrenzung von anderen Technologien im wesentlichen auf die Begriffselemente "Mikro" und "System" zu beschränken. "Mikro" verweist auf Abmessungen im  $\mu$ -Bereich bei funktionsbestimmenden Elementen einer MST-Anwendung. "System" stellt auf die Zusammenführung unterschiedlicher Komponenten in einem System oder der als System zu betrachtenden Verknüpfung verschiedener Verfahren bei der Entwicklung, Herstellung und Integration von MST-Anwendungen ab.

In der Programmbroschüre des zweiten Programms Mikrosystemtechnik 1994 - 1999 wurde mit einer etwas differenzierteren Definition für Mikrosysteme argumentiert: Als Mikrosystem wird dort ein technisches System verstanden, in dem Sensoren, Signalverarbeitung und Aktoren in miniaturisierter Bauform so zu einem Gesamtsystem verknüpft sind, dass sie "empfinden", "entscheiden" und "reagieren" können.<sup>7</sup>

Offensichtlich erwies sich diese Definition in der Praxis als zu eng, denn das aktuelle, den Anwendungsbezug betonende Förderkonzept Mikrosystemtechnik 2000+ benutzt wieder eine sehr breite Umschreibung: "In der Mikrosystemtechnik werden eine Vielzahl von Materialien, Komponenten und Technologien eingesetzt, mit denen elektronische und nicht-elektronische Funktionen realisiert werden können, um sie zu intelligenten, miniaturisierten Gesamtsystemen zu verknüpfen."<sup>8</sup>

Die fortlaufende Entwicklung der Forschung zur und Anwendung der MST manifestiert sich in dem Bemühen, den Gegenstandsbe- reich der MST inhaltlich zu fassen. Dabei zeigt sich der Charakter der MST als Querschnittstechnologie, deren Genese durch naturwissenschaftliche Entdeckungen und technische Möglichkeiten einerseits und dem Bedarf des Marktes bzw. seiner Antizipation andererseits bestimmt wird.

---

<sup>7</sup> Vgl. BMBF (Hg.): Mikrosystemtechnik 1994 – 1999, 1996, S. 5. Damit engt das Programm den Förderschwerpunkt stärker auf den Systemgedanken ein, als dies in der das Programm vorbereitenden Untersuchung von GIB geschieht. Dort werden beispielsweise bereits all die Unternehmen der Meß- und Regelungstechnik betrachtet, die mindestens eine Mikrotechnik (beispielsweise ASICs) einsetzen; vgl. Magnan, R.; Pfirrmann, O.; Zur industriellen Verbreitung der Mikrosystemtechnik, Berlin 1994, S. 60.

<sup>8</sup> Vgl. BMBF (Hg.): Förderkonzept Mikrosystemtechnik 2000+, 2000, S. 5.

## **Fragestellung der Untersuchung**

Die laufende dritte Phase des Förderprogramms endet im Jahre 2003. Angesichts der dann 14-jährigen Dauer der Förderung stellt sich die Frage nach der Notwendigkeit einer weiteren Förderung und ggf. nach der zweckmäßigen Anpassung des bisher gewählten Instrumentariums. Die Beantwortung dieser Frage lässt sich in drei Komplexe zerlegen:

1. In die Beurteilung der Wirksamkeit der bisherigen Fördermaßnahmen (ex-post Betrachtung).
2. In die Einschätzung des Stands der gegenwärtigen Anwendung von Mikrosystemtechnik in Deutschland (Diffusionsanalyse).
3. In die Einschätzungen absehbarer Entwicklungspotenziale und die ihnen entgegen stehenden Innovationshemmnisse (ex-ante Betrachtung).

Die Begutachtung des Programmmanagements durch den Projektträger VDI/VDE Technologiezentrum Informationstechnik GmbH (VDI/VDE-IT) sowie die konkrete Neukonzeption eines zukünftigen Förderprogramms waren nicht Gegenstand der Untersuchung. Empfehlungen bewegen sich vielmehr auf der Ebene von strategischen Leitlinien für die zukünftige Förderpolitik des BMBF.

Die Untersuchung der Wirksamkeit der bisherigen Fördermaßnahmen soll zunächst aufzeigen, ob und wie die oben genannten Förderinstrumente, gewirkt haben. Der Schwerpunkt dieser Analyse liegt auf der Betrachtung der Projektförderung. Die Wirkungsanalyse liefert wichtige Hinweise zur Beurteilung der Angemessenheit der Instrumente. Insbesondere die Verbundförderung und die KMU-Orientierung des Programms stehen auf dem Prüfstand.

Der Fördergegenstand selbst rückt bei der Diffusionsanalyse in den Vordergrund. Ohne eine Einschätzung des Stands der gegenwärtigen Anwendung von Mikrosystemtechnik in Deutschland lässt sich nicht beurteilen, inwiefern die Annahmen bezüglich der Bedeutung der MST für die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft richtig waren. Von der Diffusionsanalyse können auch Erkenntnisse in bezug auf die Wirkung des Programms auf die nicht in der Projektförderung involvierten Unternehmen erwartet werden. So ist zu prüfen, ob das Programm wesentlich dazu beitrug, die Mikrosystemtechnik bei den Unternehmen bekannt zu machen. Nicht zuletzt kann die Diffusionsanalyse Innovationshemmnisse beschreiben und Erkenntnisse zum Charakter der Querschnittstechnologie Mikrosystemtechnik beitragen.

Damit liefern die Wirkungsanalyse und die Diffusionsstudie wesentliche Grundlagen für die Beurteilung der Instrumente für eine

mögliche künftige Förderung. Ohne eine Einschätzung der absehbaren Entwicklungspotenziale der Mikrosystemtechnik und die ihrer Realisierung entgegen stehenden Innovationshemmnisse lässt sich die Frage nach der Notwendigkeit einer weiteren Förderung nicht beantworten. Dies geschieht zunächst in der ex-post und in der Diffusionsanalyse und dann vertiefend in der ex-ante Evaluation.

Dieser Bericht stellt die Antworten auf die drei oben genannten Fragestellungen dar. Sie wurden im Projekt „Evaluation des Förderkonzepts Mikrosystemtechnik 2000+“ von April 2001 bis August 2002 von einem Konsortium erarbeitet. Es setzt sich aus den folgenden Partnern zusammen:

- Deutsche Bank AG, Innovationsteam Mikrotechnologien
- Hochschule für Bankwirtschaft
- Prognos AG (Projektleitung)
- Technopolis Group

### **Aufbau des Berichts**

Der Bericht gliedert sich in drei, in sich abgeschlossene Teile:

- Im Teil I (Kapitel 2 – 4) finden sich die Ergebnisse der ex-post Evaluierung der MST-Förderung. In einem ersten Abschnitt wird die Wirkungsanalyse der bisherigen Fördermaßnahmen dokumentiert. Das anschließende Kapitel fasst die Untersuchungen zum Stand der Diffusion der MST in Deutschland und zur Einschätzung der Bedeutung der MST für die deutsche Wirtschaft zusammen. Teil I wird durch eine abschließende Beurteilung der bisherigen Fördermaßnahmen beendet.
- Teil II (Kapitel 5 – 7) widmet sich der Darstellung der ex-ante-Evaluation. Das einleitende Kapitel diskutiert die methodischen Grundlagen dieses konzeptionell anspruchsvollen Teils der Untersuchung. Es schließt sich die Darstellung der wichtigsten Ergebnisse an. Im Zuge dessen werden die einzelnen Zukunftsfelder beschrieben, in denen bedeutende Potenziale der MST in Deutschland liegen. Teil II wird mit einer Charakterisierung der MST als Querschnittstechnologie abgeschlossen, die für die Definition einer möglichen künftigen Förderung von Bedeutung ist.
- Teil III (Kapitel 8) fasst die Ergebnisse der ex-post- und ex-ante Evaluation mit dem Ziel zusammen, Handlungsbedarf und -möglichkeiten für das BMBF zu bestimmen. Vor dem so abgegrenzten Handlungsspielraum werden abschließend die sich daraus ergebenden Anregungen vorgestellt, die nach den Evaluationsergebnissen bei einer potenziellen Neuausrichtung der MST-Förderung durch das BMBF berücksichtigt werden sollten.

## 1.2 Methodischer Ansatz und Empirie

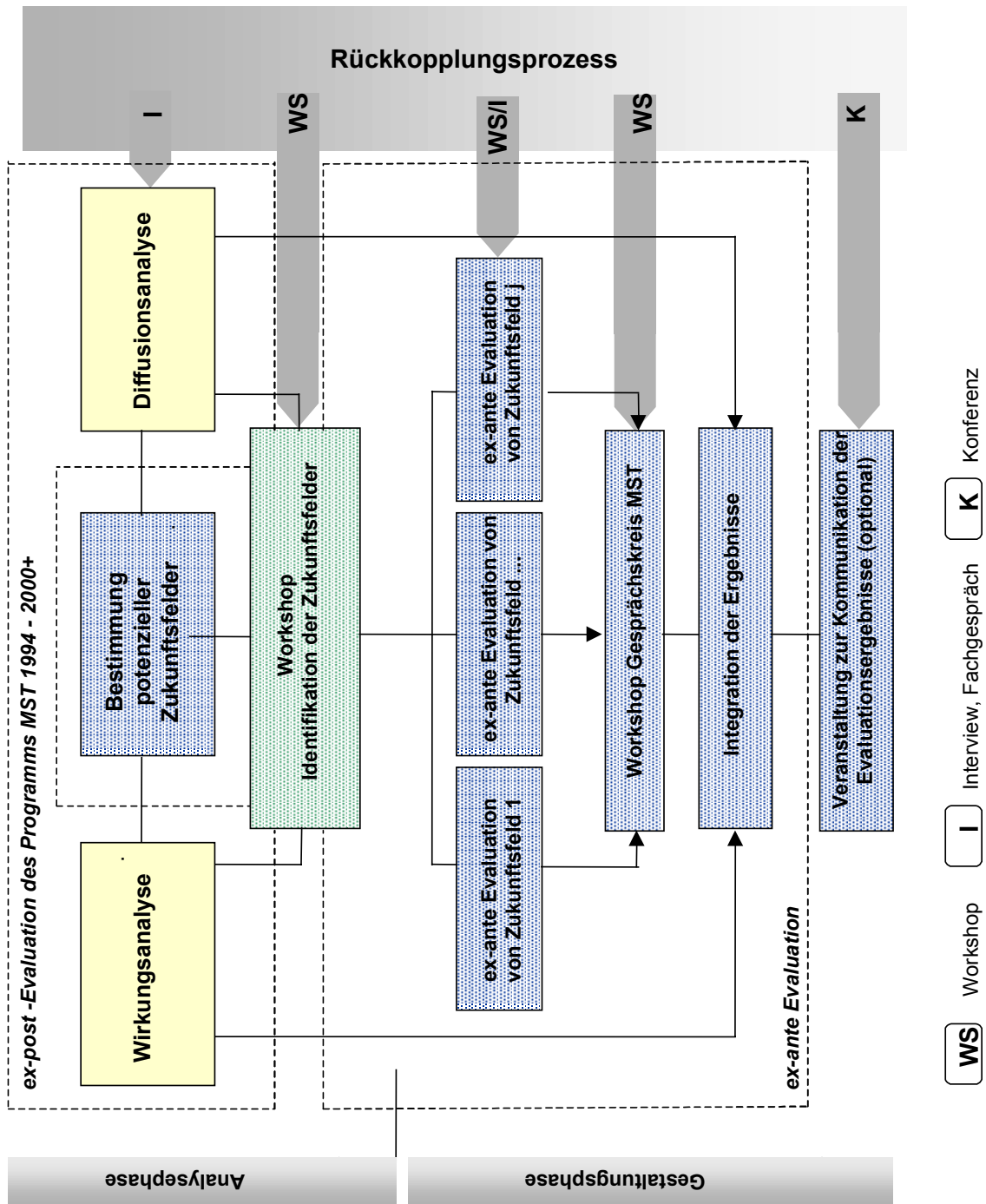
### Projektstruktur

Im Rahmen des Projekts „Evaluation des Förderkonzepts Mikrosystemtechnik 2000+“ wurden die oben diskutierten Fragestellungen bearbeitet. Dem komplexen Sachverhalt wurde durch ein ebenso komplexes Untersuchungsdesign entsprochen, in dem ex-post und ex-ante Betrachtungen in einer aufeinanderfolgenden Analyse- und Gestaltungsphase miteinander verknüpft und in enger Rückkopplung mit Experten, dem Gesprächskreis MST sowie dem Projektträger VDI/VDE-IT und dem Auftraggeber, BMBF diskutiert wurden (vgl. Rückkopplungsprozess Abb. 1.1).

Die Integration der ex-post und ex-ante Evaluation umfasst zwei Aspekte: das gemeinsame Vorgehen der Partner unter Nutzung gemeinsamer Erhebungsinstrumente sowie die Integration der Ergebnisse im Hinblick auf die Entwicklung einer tragfähigen Klammer für die MST.

Auf dieser Basis ist es möglich, den künftigen Handlungsbedarf und die konkreten Handlungsmöglichkeiten für das BMBF zu beschreiben.

Abbildung 1.1: Darstellung des Untersuchungsverlaufs



Um den für die Untersuchung vorgegeben Zeitrahmen effizient zu nutzen, wurde das Projekt in zwei Phasen durchgeführt, bei denen ex-post und ex-ante Aufgaben parallel bearbeitet wurden (vgl. Abb. 1.1):

- In der **Analysephase** bestand der Schwerpunkt in der Aufarbeitung bestehender Daten und Literatur zu den Untersuchungsfragestellungen sowie vor allem in der Durchführung umfangreicher empirischer Erhebungen von neuen Daten, mit deren Auswertung und Dokumentation die Analysephase abgeschlossen wurde.
- In der **Gestaltungsphase** lag der Schwerpunkt auf Workshops, in deren Rahmen kreativ die Entwicklungspotenziale der MST und die Innovationshemmnisse mit relevanten Akteuren aus Wissenschaft und Industrie diskutiert werden konnten. Ein weiteres Element der Gestaltungsphase war die Diskussion der gefundenen Ergebnisse unter anderem mit dem Gesprächskreis Mikrosystemtechnik.

Nicht zuletzt diese Workshops in der Gestaltungsphase erbrachten immer wieder neue Hinweise für die Evaluation und hatten gleichzeitig Lerneffekte auf Seiten der beteiligten MST-Experten zur Folge. Die Workshops reihen sich in die folgenden Aktivitäten ein, die im Rahmen der Evaluation durchgeführt wurden und der **Rückkopplung** mit der MST-Szene dienen:

- Workshop Identifikation der Zukunftsfelder,
- Workshops mit dem Gesprächskreis MST,
- Workshops im Rahmen der vertiefenden Studien zu den vier Zukunftsfeldern.

## Projektverlauf

Im einzelnen bestand die Analysephase aus den drei Arbeitsmodulen

- Wirkungsanalyse,
- Diffusionsanalyse und
- Bestimmung potenzieller Zukunftsfelder.

Im Rahmen der Diffusions- und Wirkungsanalyse wurde der Stand der Anwendung der MST, deren gegenwärtige Bedeutung in und für Deutschland sowie die Wirksamkeit der Förderung untersucht. Dafür galt es zunächst, Anhaltspunkte für die Entwicklung und Anwendung der MST in Deutschland zusammen zu tragen – dies insbesondere auch außerhalb der mit den evaluierten Instrumenten geförderten Bereiche - und parallel dazu die Wirksamkeit der Förderinstrumente mit ihrer spezifischen Ausrichtung auf kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) zu überprüfen.

Um robuste und für die ex-ante Evaluierung anschlussfähige Ergebnisse zu erzielen, war es entscheidend, die relevanten Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik auf allen Ebenen in den Evaluierungsprozess einzubinden. Dies geschah durch insgesamt 75 leitfadengestützte Fachgespräche und Fallstudien.

Parallel und in Verbindung zu den Arbeiten an der ex-post Evaluation wurden auch erste Erhebungen für die ex-ante Evaluation durchgeführt. Dies umfasste zum einen die Aufnahme von ex-ante Fragen in den Fragebogen und den Gesprächsleitfaden für die ex-post Erhebung. Zum anderen wurde eine Technology & Market Forecast im Hinblick auf die relative Einschätzung der MST-relevanten Bereiche in Deutschland durchgeführt. Im Rahmen dieser Analyse, die auch die Auswertung einer Vielzahl von Markt- und Technologiestudien umfasste, wurden die neuesten technischen und wirtschaftlichen Entwicklungen im Bereich der MST-relevanten Anwendungsfelder und Technologien aufgearbeitet und in zehn Zukunftsfeldern<sup>9</sup> mit dem Fokus auf das Jahr 2010 und darüber hinaus dargestellt.

Die Ergebnisse der drei Arbeitspakete der Analysephase schufen die Grundlagen, auf denen die weitere ex-ante Evaluation in der Gestaltungsphase aufbauen konnte. Um bei der Untersuchung der zukünftigen Entwicklung der MST Akzente setzen und Detailfragen berücksichtigen zu können, wurde die Anzahl der zu vertiefenden Zukunftsfelder auf vier reduziert. Diese Auswahl wurde von

---

<sup>9</sup> Ein Zukunftsfeld ist ein Cluster, in dem verschiedene vorhandene oder/und zu entwickelnde Technologien bzw. deren Zusammenspiel ein großes wirtschaftliches und gesellschaftliches Potenzial aufweisen, zusammengefasst werden.

Experten, die in Abstimmung mit dem Auftraggeber ausgewählt wurden, auf dem Workshop „Identifikation der Zukunftsfelder“ vorbereitet

Die später erfolgte Auswahl der vier potentiellen Zukunftsfelder stellt in keiner Hinsicht ein Präjudiz hinsichtlich künftiger Förderung dar. Kernkriterium der Auswahl war vielmehr die „Repräsentativität“ der Zukunftsfelder, durch die sichergestellt wurde, dass mit ihnen die für die MST in Deutschland wichtigen Entwicklungspotenziale exemplarisch erfasst und die relevanten Innovationshemmnisse sowie der sich daraus ergebende Handlungsbedarf und die Handlungsoptionen bestimmt werden konnten.

Die Ergebnisse des Workshops „Identifikation der Zukunftsfelder“ und die Ergebnisse der Analyse-Phase zur Diffusion der MST und dem bisherigen Erfolg der Förderung wurden mit dem Gesprächskreis MST diskutiert.

Basierend auf den Ergebnissen der ex-post Analyse und der Bestimmung potenzieller Zukunftsfelder sowie des Workshops „Identifikation der Zukunftsfelder“ wurden im Rahmen der weiteren ex-ante Evaluation die Zukunftspotenziale und Innovationsbedingungen für die ausgewählten Zukunftsfelder detailliert erarbeitet und nach einem einheitlichen Schema im Hinblick auf die Definition des jeweiligen Feldes, künftige Entwicklungslinien, Innovationsbarrieren sowie Stärken und Schwächen im internationalen Vergleich dokumentiert. Diese Informationen dienen als Grundlage für die Einschätzung eines potenziellen staatlichen Handlungsbedarfs und für die Erörterung der dafür geeigneten Instrumente.

Im Rahmen der vertiefenden Zukunftsfeldstudien wurde verstärkt auf die Expertise von Fachleuten aus den jeweiligen Zukunftsfeldern zurückgegriffen, die aus dem vorhandenen Netzwerk der Konsortiumspartner und in Absprache mit dem Auftraggeber bzw. dem VDI/VDE-IT ausgewählt worden waren. Durch Fachgespräche im In- und Ausland und einem vorstrukturierten Workshop je Zukunftsfeld wurden Informationen zusammengetragen und kreativ in Problemdefinitionen und Anwendungsvisionen umgesetzt. Ferner wurden erkennbare Innovationshemmnisse diskutiert.

Bei der Gesamtbewertung der Ergebnisse für die einzelnen Zukunftsfelder und der auf sie aufbauenden Einschätzungen wurde der Gesprächskreis Mikrosystemtechnik im Rahmen eines Workshops einbezogen. Dabei wurden die Teilergebnisse zu den einzelnen Zukunftsfeldern vorgestellt und mit den Workshopteilnehmern im einzelnen diskutiert. Dazu gehörte auch der Meinungsaustausch zur grundsätzlichen Notwendigkeit von Fortsetzungsinitiativen der MST-Förderung und ihre ggf. zweckmäßige Art und Weise.

In einem letzten Arbeitsschritt wurden die verschiedenen Ergebnisse aus ex-post und ex-ante Evaluation hinsichtlich der Definition einer den künftigen Charakter der MST beschreibenden Klammer integriert und Handlungsbedarf und –möglichkeiten des BMBF auch vor dem Hintergrund der EU-Förderaktivitäten dokumentiert.

## Empirische Grundlagen

Im Zuge des Projekts wurde die einschlägige Literatur einschließlich der im Rahmen des Förderprogramms Mikrosystemtechnik bereits verfügbaren Informationen über Produktentwicklungen und die daran beteiligten Firmen ausgewertet.

Die notwendigen empirischen Erhebungen im Rahmen der Analysephase wurden, sofern die jeweiligen Interviewpartner, Adressaten von Fragebögen etc. aufgrund ihres Hintergrunds dies ermöglichten, integriert durchgeführt. Das bedeutet, dass ein Fachgesprächspartner, der von den mit der Wirkungsanalyse beschäftigten Evaluatoren besucht wurde, auch zu Themen aus der ex-ante und der Diffusionsanalyse befragt wurde.

Auf dieser Basis wurde unter Beteiligung aller Partner ein Fragebogen für die **schriftliche Befragung** konzipiert.<sup>10</sup> Die Fragebögen wurden an alle in der Förderdatenbank des Projektträgers VDI/VDE-IT im Zeitraum zwischen 1990 und 2001 erfassten Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen verschickt.<sup>11</sup> Als Empfänger fungierten die jeweiligen Projektleiter bzw. Projektleiterinnen, wobei im Falle einer wiederholten Inanspruchnahme der Förderung jede Person nur einen Fragebogen erhielt.

Darüber hinaus erstreckte sich die Befragung auch auf **sonstige MST-affine Unternehmen**, die im Rahmen der Projektförderung des MST-Programms nicht gefördert worden waren, von denen aber anzunehmen ist, dass sie gleichwohl von der Förderung beeinflusst worden sind.<sup>12</sup> Ihre Berücksichtigung war wegen der Offenheit des zugrundegelegten Begriffsverständnisses der MST unbedingt notwendig und aus eben demselben Grund außerordentlich schwierig.<sup>13</sup> In diesen Teil der Befragung wurden nur die Unternehmen einbezogen, die sich seit 1990 nachweislich für Entwicklungen in der MST interessiert und ihre Adresse bei den ein-

---

10 Gesamtumfang: 3.000 Einheiten.

11 Rücklaufquoten: geförderte Unternehmen – ca. 38 % und wissenschaftliche Einrichtungen – ca. 47 %.

12 Rücklaufquote: sonstige MST-affine Unternehmen – ca. 11 %.

13 Theoretisch hätte man alle Unternehmen einbeziehen müssen, die in den unterschiedlichen, theoretisch möglichen Anwendungsfeldern tätig sind. Eine solche Erhebung hätte jedoch – einmal abgesehen von dem kaum vertretbaren Umfang – nur wenig valide Ergebnisse geliefert. Sie hätte zwangsläufig viele Unternehmen einbezogen, für die die Mikrosystemtechnik und deren Anwendungsmöglichkeiten völlig irrelevant gewesen wäre. Entsprechend wäre mit einem Rücklauf zu rechnen gewesen, der belastbare Aussagen nicht mehr zugelassen hätte.

schlägigen Förderinstitutionen<sup>14</sup> hinterlassen bzw. an einschlägigen Veranstaltungen oder Fachkongressen teilgenommen haben. Dem dadurch unvermeidbaren explorativen Charakter der Erhebung stand eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit auf qualitativ bessere und auswertbare Informationen gegenüber.

Wegen des integrativen Ansatzes der MST-Förderung insgesamt, die neben der Förderung von Verbundprojekten auch andere Förderinstrumente umfasst, lässt sich die Gruppe der **sonstigen MST-affinen Unternehmen** nicht als Vergleichsgruppe zur Bewertung der Förderung nutzen, da anzunehmen ist, dass sie durch die Förderung indirekt begünstigt wurden.

Die quantitative Untersuchung basiert auf den Informationen aus insgesamt 707 ausgefüllten Fragebögen. Die Zuordnung zu den verschiedenen Akteursgruppen zeigt die folgende Tabelle (vgl. Tabelle 1.1)

Tabelle 1.1: Zuordnung der befragten Akteure

	Unternehmen	Wissenschaftliche Einrichtung	Sonstiges	keine Angabe	gesamt
gefördert	325	172	0	0	497
sonstige MST affine	194	9	5	2	210
gesamt	519	181	5	2	707

Quelle: Eigene Erhebungen

Die schriftliche Befragung wurde ergänzt und vertieft durch insgesamt 75 **Fachgespräche und Fallstudien** (vgl. Tab. 1.2). Neben Fachgesprächen mit **geförderten Unternehmen**<sup>15</sup> und **wissenschaftlichen Einrichtungen** sowie Experten wurden auch Gespräche mit industriellen Nutzern von MST, d.h. Experten aus Unternehmen geführt, die **als Systemkunden bzw. –lieferanten** über einschlägige Kenntnisse der für den Einsatz von MST relevanten Marktbedingungen verfügen. Ferner wurden noch ergänzende Fachgespräche mit sonstigen Experten geführt. Hierunter fallen unter anderem Fachgespräche mit dem Fachreferat im BMBF, dem Projektträger VDI/VDE-IT sowie Gespräche mit Vertretern von Wirtschaftsverbänden, Großforschungseinrichtungen

<sup>14</sup> VDI/VDE-IT, EU etc.

<sup>15</sup> Bei der Unternehmensauswahl wurden unter anderem unterschiedliche Branchen, Betriebsgrößen, Verbundstrukturen berücksichtigt.

und der Fachpresse. Hinzu kamen **Fallstudien** von geförderten Verbänden, deren Schwerpunkt auf der Erhebung weitergehender Informationen zum Zusammenkommen des Verbunds, zum Kooperationsverlauf und zur Ergebnisverwertung lag.

*Tabelle 1.2: Überblick über die mündlichen Interviews, die für ex-post und ex-ante-Evaluation von Bedeutung waren*

Einrichtungen der Interviewpartner / Interviewtyp	Anzahl der Gespräche
Gespräche mit wichtigen (auch potenziellen) industriellen Nutzern von MST	18
Gespräche mit geförderten Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen	25
Fachgespräche mit wissenschaftlichen und sonstigen Experten	24
Fallstudien in Netzwerken aus Forschungseinrichtungen, MST-Herstellern und den Unternehmen, die die Produkte der MST anwenden	8 <sup>16</sup>

*Quelle: Eigene Erhebung*

Im Rahmen der ex-ante Evaluation wurden darüber hinaus weitere Fachgespräche geführt (vgl. Tab. 1.3). Während der Analysephase trugen insbesondere die Interviews mit ausländischen Experten zur Einschätzung der MST-Entwicklungspotenziale und der Position Deutschlands im internationalen Vergleich bei. Fachgespräche waren auch eine wesentliche Grundlage für die Vertiefungsstudien in den vier ausgewählten Zukunftsfeldern. Sie wurden auf der Basis eines zwischen den Projektpartnern abgestimmten Interviewleitfadens geführt.

---

<sup>16</sup> Hier: Anzahl der Fallstudien, die im Schnitt Gespräche mit drei Verbundpartnern umfassten.

*Tabelle 1.3: Überblick über die mündlichen Interviews, die im wesentlichen im Rahmen der ex-ante Evaluation von Bedeutung waren*

Einrichtungen der Interviewpartner / Interviewtyp	Anzahl der Gespräche
Experteninterviews – Ausland: mit Industrie (Europa, USA, Japan)	8
Experteninterviews – Ausland: mit Universitäten, Forschungseinrichtungen (Europa, USA, Indien, Singapur, Malaysia)	20
Experteninterviews – Ausland: mit Intermediären, staatlichen Einrichtungen (USA, Japan, Europa)	5
Fachgespräche im Rahmen der vertiefenden Zukunftsfeldstudien: Agile Fabrication, Smart Energy, Micro-Nano Interface, MST in Life Sciences	69

*Quelle: Eigene Erhebung*

Der dargestellte Einsatz unterschiedlicher Untersuchungsmethoden und Analyseinstrumente verdeutlicht die breite empirische Basis der vorliegenden Untersuchung und gewährleistet qualitativ hochwertige Evaluationsergebnisse sowohl für die Wirkungs- und Diffusionsanalyse als auch für die Bestimmung potenzieller Zukunftsfelder.

## 2. Ex-post Bewertung der Wirkungen des Förderkonzepts MST 2000+

### 2.1 Zielsetzungen der Wirkungsanalyse

Die vorliegende Wirkungsanalyse macht es sich zur Aufgabe, die zehn Jahre der MST-Förderung zu untersuchen und zu bestimmen, inwieweit die Aufgaben der Programme erfüllt und die Zielsetzungen erreicht wurden. Besonderes Augenmerk wird hier auf die Programmwirkungen gelegt, die in verschiedenen Dimensionen untersucht werden. Die in diesem Bericht behandelten Themenbereiche umfassen:

**Die Verbundthematik:** Die Bearbeitung von mikrosystemtechnischen Lösungsansätzen im Rahmen von Verbänden ist ein zentrales Merkmal der MST-Förderprogramme. Verbundstrukturen, deren Veränderung entlang der Zeitachse, sowie der Einfluss des Förderprogramms auf die Verbundbildung werden in Kapitel 2.4 beleuchtet.

**Die Perzeption der Programmteilnehmer:** Die Beurteilung eines Förderprogramms aus der Sicht der Teilnehmer gibt Aufschluss über den Grad, in dem deren Bedürfnisse und Erwartungen erfüllt wurden. Außerdem können dadurch Schwachstellen in der Ausrichtung sowie Abwicklung des Förderprogramms sowie bisher nicht beachtete Innovationsbarrieren aufgezeigt werden. Der Grad der Zielerreichung, Schwierigkeiten im Projektverlauf, Kosten-Nutzeneinschätzungen sowie Additionalitäten werden in Kapitel 2.5 einer genaueren Untersuchung unterzogen. Weiterhin wird die Einschätzung der administrativen Prozeduren durch die Programmteilnehmer analysiert. Hierbei handelt es sich jedoch nur um generelle Kriterien wie die Übersichtlichkeit der Prozeduren und die Verfügbarkeit von Informationen. Eine detailliertere Bewertung des Programmmanagements ist explizit nicht Teil dieser Evaluierung.

**Die Wirkung des Programms:** Die Wirkung eines Förderprogramms ist die zentrale Frage jeder ex-post Evaluierung. Die Antwort auf diese Frage legitimiert – unter anderem – die Verwendung von Steuergeldern und gibt darüber hinaus wichtige Impulse für die Planung künftiger Aktivitäten. Anhand verschiedener Wirkungsebenen wird in Kapitel 2.6 eine umfassende Wirkungsanalyse des Förderprogramms vorgenommen. Berücksichtigt werden hierbei die unmittelbar zu erfassenden Wirkungen (also Patente, Produkte etc.) ebenso wie mittel- und langfristige Wirkungen wie der Aufbau von FuE-Kompetenzen oder strategische und organisatorische Veränderungen innerhalb der Teilnehmerorganisationen. Ein wichtiger Aspekt ist hier die

Fragestellung, inwieweit es dem Förderprogramm gelungen ist, mittel- und langfristig die Reallokation von volkswirtschaftlichen Ressourcen zu bewirken und einen nachhaltigen Kompetenzaufbau zu unterstützen. Schließlich stellt die Wirkungsanalyse die Frage nach der Kommerzialisierung der Projektergebnisse.

Bevor eine umfassende Bewertung und Evaluierung des Förderprogramms aufgrund der schriftlichen und mündlichen Erhebungen vorgenommen wird, werden in Kapitel 2.2 und 2.3 kurz der politisch-programmatischen Hintergrund der Förderprogramme erläutert, aus der Förderdatenbank des Projektträgers gewonnene Eckdaten aufgezeigt sowie die Methodologie der Untersuchung dargestellt.

## 2.2 Die MST-Förderprogramme seit 1990

### 2.2.1 Politisch-programmatischer Hintergrund<sup>17</sup>

Beim ersten Förderprogramm Mikrosystemtechnologie (1990-1993) lag der Schwerpunkt auf der Förderung von vorwettbewerblichen industriellen Verbundprojekten zur Entwicklung von intelligenten miniaturisierten Systemen sowie die Schaffung einer adäquaten Infrastruktur zur Verbesserung des Innovationsmanagements und der Erleichterung des Technologietransfers. Von Anfang an lag der Schwerpunkt auf kleinen und mittlere Unternehmen.

Das Hauptinstrument, das zur Erreichung dieser Ziele eingesetzt wurde, war die Förderung der Verbundforschung. Diese sollte helfen, die technischen und organisatorischen Lücken zu schließen, die bisher einem breiten Einsatz der Mikrosystemtechnik für die Produktentwicklung in Unternehmen entgegenstanden. Sinn und Zweck der Verbundförderung war es, Projekte zu unterstützen, in denen auf hohem Entwicklungsstand aufbauende Anpassungsentwicklungen durchgeführt werden. Daneben existierten sogenannte indirekt-spezifische Maßnahmen zur Förderung des Einführungsprozesses neuer technischer Verfahren und des betrieblichen Innovationsmanagements.

Durch das zweite Förderprogramm (1994-1999) sollte die internationale Spitzenposition Deutschlands behauptet und ausgebaut werden. Dazu wurden die geförderten Vorhaben konsequent auf die Entwicklung integrierter Systeme ausgerichtet. Im Mittelpunkt dieses MST-Programms stand wiederum die Förderung industrieller Verbundprojekte, die aber diesmal anwendungsnäher sein sollte. Dabei sollten insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) stark berücksichtigt werden. Verbundpartner waren - wie in der ersten Programmphase - mindestens zwei Unternehmen und eine FuE-Einrichtung. Der Förderungssatz über das gesamte Verbundprojekt lag zwischen 30 und 50 Prozent der Gesamtkosten, abhängig davon, wie groß der Anteil der vorwettbewerblichen Entwicklung bzw. der Anteil der industriellen Forschung sowie der Normung, Qualitätssicherung, des Technologiemarketings und ähnlicher Querschnittsaktivitäten war. Für KMU ebenso wie für Unternehmen aus den neuen Bundesländern und Berlin Ost gab es eine Bonusregelung.

---

<sup>17</sup> Sämtliche in diesem Kapitel verwendeten Informationen stammen aus den Jahresberichten des VDI/VDE-IT sowie den jeweiligen Programmbroschüren der einzelnen Förderprogramme sowie dem Merkblatt "Mikrosystemtechnik 1994-1999" und der Programmbroschüre "Förderkonzept: Mikrosystemtechnik 2000+" des BMBF

Zusätzlich zu industriellen Verbundprojekten wurden wissenschaftliche Vorprojekte gefördert, mit Hilfe derer gezielt offene wissenschaftliche Fragen geklärt werden sollten. Für Anwendungen, insbesondere in Bereichen der staatlichen Vorsorge, wie z.B. medizinische Versorgung, im Umweltschutz oder für die Verkehrsinfrastruktur, konnten im Rahmen eines speziellen Verbundprojektes die Entwicklung eines Prototyps gefördert werden. Ebenso wurden Fördermittel für sogenannte "Querschnittsprojekte" bereitgestellt. Diese Projekte sollten im vorwettbewerblichen Bereich zur Klärung von entwicklungsrelevanten Fragen beitragen, so z.B. zur Normung, zum Umweltschutz, zur Bereitstellung von branchenbezogenen Informationen über die Nutzung von MST etc.

Schließlich beinhaltete das Förderprogramm 1994-1999 auch eine Reihe von Begleitmaßnahmen, wie z.B. die Förderung der Wissenschaftskooperation mit dem Ausland und die Förderung der industriellen Diffusion und der Technikfolgenabschätzung. Letztere Maßnahme beinhaltete die Unterstützung von Fachausstellungen, Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und die Erstellung von Technologieübersichten für eine erste Information, sowie Koordination von Aktivitäten zur Aus- und Weiterbildung.

Im Mittelpunkt des mit der Zielsetzung „Anwendungsorientierung“ angetretenen MST-Förderkonzepts im Jahre 2000, steht die Initiierung umsetzungsorientierter Kooperationsnetzwerke im Sinne industrieller Verbundprojekte und wissenschaftlicher Forschungsprojekte. Die Förderung der Prototypen existiert nicht mehr als getrennte Projektkategorie, sondern wird unter die industriellen Verbundprojekte subsumiert. In den industriell geführten Verbundprojekten sollten mindestens zwei Unternehmen zusammenarbeiten, die Mitwirkung einer FuE-Einrichtung ist optional. Die Teilnahme von KMU an den Verbänden ist jedoch erforderlich.

Begleitende Maßnahmen zielen vor allem auf die Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Entwicklung und Umsetzung der MST ab. Diese beinhalten unter anderem die Aufbereitung, Kommunikation und Nutzbarmachung von Informationen und Resultaten des Förderprogramms, insbesondere für interessierte KMU, die Verbesserung der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften in der MST, den Aufbau der Infrastruktur für die breite Umsetzung der MST sowie die Weitergabe strategischer Information aus der Beobachtung von Märkten, Wettbewerbern und internationaler Technologieentwicklungen. Die Kombination dieser Begleitmaßnahmen mit der Förderung umsetzungsorientierter Kooperationsnetzwerke ist Ausdruck eines integrativen Ansatzes zur Unterstützung der MST, durch den nicht nur die Reifung und Verbreitung von Technologien und deren beschleunigte Überführung in Anwendungen gefördert, sondern auch der Abbau von nichttechnischen Hemmnissen erreicht werden soll.

## 2.2.2 Eckdaten der Programme seit 1990

Zur Analyse der Eckdaten der drei MST-Förderprogramme wurde die Förderdatenbank des Projektträgers herangezogen. Berücksichtigt wurden alle Projekte bis Juni 2002.

In den Jahren 1990 bis Juni 2002 wurden im Rahmen des Förderschwerpunktes Mikrosystemtechnik 349 Verbundprojekte mit insgesamt 1798 Teilvorhaben bewilligt. 801 Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen nahmen an den Verbundprojekten teil, davon die meisten KMU<sup>18</sup>. Insgesamt wurden fast 550 Mio. € an Fördergeldern bewilligt. Zwischen der ersten und der zweiten Programmphase haben sich sowohl die Anzahl der Teilvorhaben als auch die Summe der Zuwendungen fast um den Faktor 3 erhöht. Während zwischen 1990 und 1993 354 Teilvorhaben durchgeführt wurden, waren es zwischen 1994 und 1999 bereits 1071. Die Summe der Zuwendungen in den ersten beiden Programmphasen betrug 114 Mio. € für 1990 bis 1993 und 309 Mio. € für 1994-1999. Die Aufwendungen der Gesamtvorhaben betragen im Juni 2002 insgesamt 1.027 Mio. €. Damit ging in gleichem Maß auch eine Erhöhung der eingesetzten industriellen Mittel einher.

Im laufenden Förderkonzept Mikrosystemtechnik 2000+ wurden bis zum Juni 2002 81 Verbünde mit 382 Teilvorhaben bewilligt. Tabelle 2.1 beinhaltet eine Übersicht über die drei Programmphasen.

---

<sup>18</sup> Der Begriff "KMU" folgt hier der EU-Definition

Tabelle 2.1: Eckdaten der Programme (1990-2002)

	Anzahl der Verbände	Anzahl der Teilvorhaben	Aufwendungen für Gesamtvorhaben (in Mio. €)	Zuwendungen (in Mio. €)
Phase I (1990-1993)	50	345	204	114
Phase II (1994-1999)	218	1.071	594	309
Phase III (2000+) <sup>19</sup>	81	382	229	120
Gesamt	349	1.798	1027	543

Quelle: Förderdatenbank des Projektträgers

Insgesamt nahmen 801 Organisationen an den Förderprogrammen teil. 300 (38%) aller teilnehmenden Organisationen haben an mehr als einem Verbundprojekt teilgenommen. 21 Organisationen nahmen an über zehn Projekten teil, 7 Organisationen sogar an über 20. Die Liste der "Spitzenreiter" wird angeführt von einer Reihe großer FuE-Einrichtungen, wie dem Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (43), der Technischen Universität Berlin (33 Projekte), und der Technischen Universität Ilmenau (33 Projekte).<sup>20</sup> Zusätzlich zu den Universitäten und Fraunhofer Instituten umfasst die Spitzenreiterliste verschiedene Großunternehmen wie DaimlerChrysler (21 Projekte) oder die Siemens AG (24 Projekte). Auch zahlreiche KMU gehören zu den vom BMBF häufiger geförderten Unternehmen: 21 KMU haben an über fünf Projekten teilgenommen, und zwei an über zehn.

Die Teilnehmerstruktur hat sich über die Jahre und über die Programmphasen hinweg stark verändert. Auffällig ist, dass sich der Anteil der von KMU durchgeführten Teilvorhaben an der Gesamtzahl der Teilvorhaben von der ersten auf die zweite Programmphase von 48% auf 61% stark erhöht hat. In absoluten Zahlen hat sich der Anteil an KMU an der Gesamtzahl der Projektteilnehmer mehr als verdreifacht: Waren zwischen 1990 und 1993 erst 167 KMU unter den teilnehmenden Organisationen, waren es zwischen 1994 und 1999 bereits 654. Ebenso hat sich der prozentuale Anteil an Universitäten und Fachhochschulen im Laufe der drei Phasen um fast die Hälfte verringert (in absoluten Zahlen von 88 in Phase I auf 53 in Phase III).

<sup>19</sup> Alle die dritte Programmphase betreffenden Angaben beziehen sich auf den Zeitraum zwischen Januar 2000 und Juni 2002.

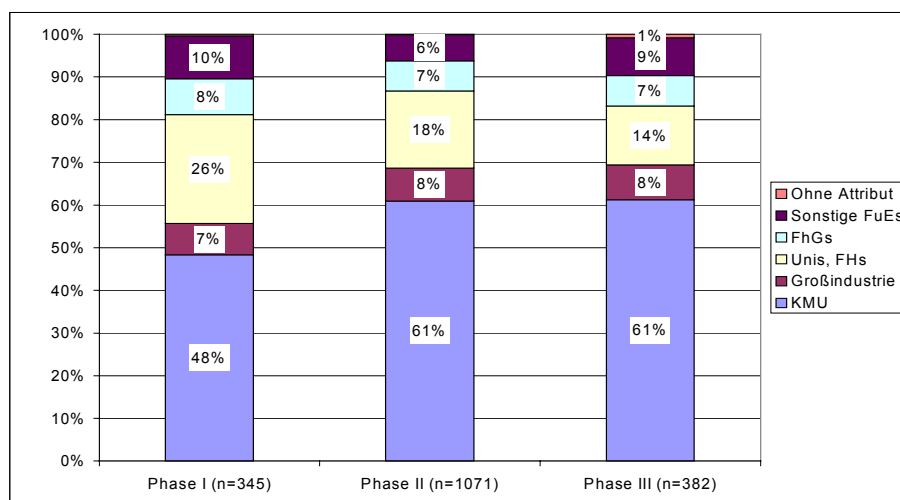
<sup>20</sup> Hier ist anzumerken, dass in der Förderdatenbank des Projektträgers des VDI/VDE-IT nicht nach Instituten unterschieden wird, und daher alle Projekte unter der Universität als Gesamteinheit verzeichnet werden.

Insgesamt ist zu bemerken, dass sich der Anteil der Industrie (KMU und große Unternehmen) in den Jahren von 1990 – 2002 beträchtlich erhöht hat (von 56% in der ersten Phase auf 69% in der dritten Phase), der Anteil der FuE-Einrichtungen folglich stark abgenommen hat (von 44% in der ersten Phase auf 31% in der dritten Phase). Der Anteil der Großindustrie ist über die drei Programmphasen hinwegrelativ gleichgeblieben und war und ist mit 7-8% gering.

Die Industriebeteiligung konnte im zweiten Programm drastisch gegenüber dem ersten gesteigert werden. Dieser hohe Beteiligungsgrad der Industrie konnte in der dritten Programmphase gehalten werden. Diese Tatsache spiegelt die Hinwendung zur entwicklungs- und später zur anwendungsorientierten Förderung und die dadurch verstärkte Rolle der Industrie wieder. Auch die programmatische Ausrichtung auf kleine und mittlere Unternehmen findet ihren Ausdruck in der Teilnehmerstruktur.

Abbildung 2.1 zeigt die prozentualen Anteile der einzelnen Organisationstypen über die drei Programmphasen.

Abbildung 2.1: Anteil der einzelnen Organisationstypen an der Gesamtzahl der Teilvorhaben (in %, Phase I-III)



Quelle: Förderdatenbank des Projektträgers<sup>21</sup>

Nicht nur die Anzahl an KMU, sondern auch deren Anteil an der Gesamtförderung hat sich seit 1994 stark erhöht. Auch hier zeigt sich das aus den vorhergehenden Analysen bekannte Muster: Während sich der Anteil von KMU zwischen den ersten beiden Programmphasen deutlich erhöht, bleibt der Anteil zwischen der

<sup>21</sup> "Ohne Attribut": In der Förderdatenbank des Projektträgers war bei einigen teilnehmenden Organisationen kein Attribut verzeichnet.

zweiten und dritten Programmphase nahezu konstant. Im Programm Mikrosystemtechnik 2000+ beträgt der Anteil der KMU an den Gesamtzuwendungen bisher 52%. Der Anteil der KMU an den Zuwendungen an die Industrie erhöhte sich von 76% in Phase I und II auf 83% in Phase III.

Insgesamt hat sich der Anteil der Industrie an den Gesamtzuwendungen zwischen 1990 und 2002 von 45% auf 62% erhöht, während der Anteil der Forschungsinstitute im gleichen Zeitraum von 56% auf 38% fiel. Wiederum verändern sich diese Prozentsätze kaum mehr zwischen der zweiten und dritten Programmphase. Analog zu den zahlenmäßigen Entwicklungen der einzelnen Organisationstypen spiegelt auch diese Entwicklung die verstärkte Entwicklungs- und Anwendungsnähe der zweiten und dritten Programmphase wieder.

Bei der Verteilung von Fördergeldern zwischen 1990 und 2002 gibt es klare regionale Schwerpunkte. Die Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg nehmen mit Abstand die ersten Plätze ein, gefolgt von NRW, Sachsen, und Thüringen. Am wenigsten Fördergelder erhielten Sachsen Anhalt, Brandenburg, das Saarland, und Mecklenburg-Vorpommern. Ca. 40 % (ca. 214 Mio. €) aller Fördermittel flossen in die Zentren der Aktivitäten nach München und Nürnberg-Erlangen in Bayern sowie nach Karlsruhe, Stuttgart und Ulm in Baden-Württemberg.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass zwischen der ersten und der zweiten Programmphase deutliche strukturelle Änderungen festzustellen sind, die durchaus im Einklang mit der nach Phase I eingeführten neuen programmatischen Ausrichtung stehen. Der Anteil der KMU an der Gesamtzahl der ProgrammteilnehmerInnen hat sich zwischen den ersten beiden Programmphasen beträchtlich erhöht, ebenso deren Anteil an der Gesamtförderung.

## 2.3 Konzeption und Methodologie der Evaluierung

Technologieförderprogramme können eine ganze Palette von Wirkungstypen entfalten. Zudem unterliegen die Folgen der Programme einer gewissen Inkubationszeit, d.h. dass sich bestimmte Effekte insbesondere auf volkswirtschaftlicher Ebene erst nach längeren Reifephasen einstellen. Für die Analyse der Programmwirkungen ergeben sich daraus zwei Bestimmungsfaktoren, über die man sich möglichst zu Beginn Klarheit verschaffen sollte. Zum einen hängen die Ergebnisse der Wirkungsanalyse vom Erhebungszeitpunkt ab (Wirkungen materialisieren sich oftmals erst mehrere Jahre nach Programmende), zum anderen ist zu klären, auf welcher Wirkungsebene erhoben werden soll.

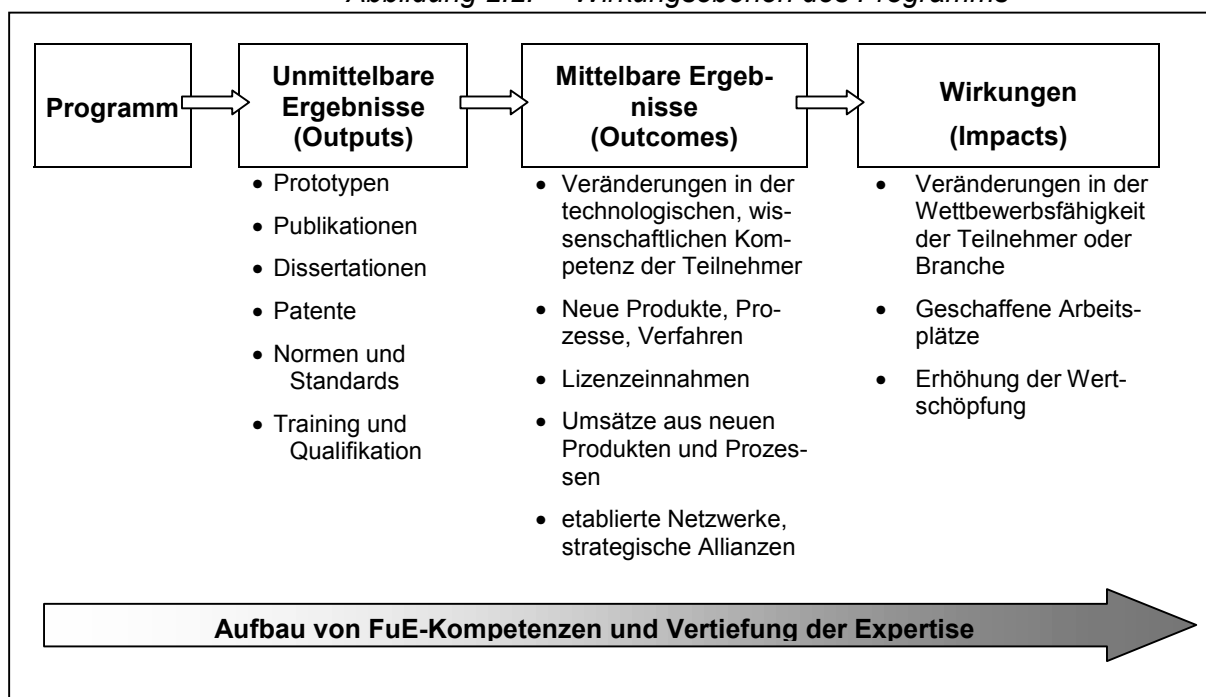
Was den Erhebungszeitpunkt anbelangt, kann die gegenständliche Wirkungsanalyse auf nunmehr eine Dekade Mikrosystemtechnikförderung in der gegenwärtigen Programmstruktur zurückgreifen. Zieht man die vor allem in den letzten beiden Programmphasen stark betonte Anwendungsorientierung in Betracht, dann scheint diese Zeitspanne durchaus angemessen, um erste, über die unmittelbaren Projekterfolge hinausreichende Wirkungen nachweisen zu können.

Die Festlegung der Wirkungsebene ist vor allem mit der Frage der **Zurechenbarkeit** von beobachtbaren Wirkungen verbunden. Gehen wir von einer klassischen Unterscheidung von drei Wirkungsebenen aus – Mikroebene (Programmteilnehmer), Mesoebene (Märkte und Technologiefelder) sowie Makroebene (die Volkswirtschaft als Ganzes)– dann wird die Zuordnung von möglichen Wirkungen zum konkreten Programm mit jedem Aggregationsschritt schwieriger. Die Problematik der Zurechenbarkeit trifft insbesondere Forschungs- und Technologieförderprogramme, die ja gerade Vorhaben mit hohem Risiko in vielfach noch unentwickelten Märkten anregen sollen. Die Schwierigkeit beginnt bereits auf der Ebene der Programmteilnehmer. In der Regel wird ein im Rahmen eines Technologieprogramms durchgeführtes Projekt eines in einem ganzen Projektportfolio sein, das als ganzes neue Produkte bzw. Prozesse hervorbringt. Weitere Überlagerungen in der Kausalkette ergeben sich in der kommerziellen Umsetzung von Innovationen. Das Unternehmen ist hier einer Reihe von exogenen Einflüssen ausgesetzt, die weder in seinem noch im Einflussbereich des Technologieprogramms liegen.

Der hier verfolgte Ansatz besteht im Wesentlichen darin, auf ein Bündel von Wirkungsindikatoren zurückzugreifen, die, wenn auch im Einzelnen nicht durchwegs robust, aber in Summe doch eine belastbare Basis für vornehmlich qualitative Aussagen

zulassen. Bei der Ableitung von Wirkungsindikatoren hat sich als hilfreich erwiesen, drei Stufen der Wirkungsentfaltung zu unterscheiden: (i) unmittelbare Projektergebnisse (Outputs), (ii) mittelbare Projektergebnisse (Outcomes) und (iii) eigentliche Wirkungen (Impacts). Entlang dieser Wirkungskette wird Erfahrung und Expertise aufgebaut, die zukünftige Aktivitäten maßgeblich mitbestimmen. Die folgende Skizze (Abbildung 2.2) veranschaulicht das Wirkungsmodell.

Abbildung 2.2: Wirkungsebenen des Programms



Das hier verwendete Modell dient in erster Linie zur Identifizierung von Wirkungstypen und ist nicht zwingend als Chronologie der Wirkungsentfaltung zu verstehen. In der Praxis werden vielfach Gleichzeitigkeiten und Wechselbeziehungen zu beobachten sein. Basis für die Abschätzung der Programmwirkung bilden Einschätzungen der Programmteilnehmer, die im Zuge der Fragebogenerhebung sowie in Fachgesprächen erhoben wurden.

## 2.4 Struktur und Dynamik der Verbände

Ein explizites Ziel des Programms MST 2000+ ist es, zur Bildung von Verbänden mit starker KMU-Beteiligung beizutragen.

Der besondere Fokus auf KMU wird in der Regel damit begründet, dass es kleineren Unternehmen oft an finanziellen und personellen Ressourcen fehlt, größere Forschungsvorhaben in Eigenregie durchzuführen. Da die Finanzierung von Forschungsvorhaben durch Fremdkapital mit Problemen verbunden ist, haben größere Firmen strategische Vorteile in Bezug auf den Aufbau von Innovations- und Technologiekompetenzen. Sie können einen Großteil ihrer FuE- Investitionen aus dem eigenen Cash Flow finanzieren. Mit FuE- Förderprogrammen kann diesem Wettbewerbsnachteil begegnet werden. Die Einbeziehung von Großunternehmen in die Verbundförderung liegt darin begründet, dass sie als Systemintegratoren fungieren, und damit für den Projekterfolg eine maßgebliche Rolle einnehmen.

Grundsätzlich soll die gleichzeitige Teilnahme von Forschern und Anwendern verschiedener Institutionen für Wissens-Spillover und Technologietransfer sorgen und damit einen Zusatznutzen gegenüber der Situation schaffen, in der Firmen auf sich alleine gestellt sind. Bei den Unternehmen stoßen dagegen Kooperationen vielfach auf Interessenkonflikte: Jede Firma würde am liebsten von den Forschungsergebnissen des Konsortiums profitieren ohne dabei eigene Kompetenzen offen zulegen. Viel hängt von der Zusammensetzung des Konsortiums (z.B. horizontale vs. vertikale Gliederung, Nichteinbindung von Konkurrenten usw.) ab.<sup>22</sup>

Dieses Kapitel untersucht, ob sich die Hauptziele des Programms (KMU -Fokus und Zusammenarbeit von Forschern und Anwendern) in der Zusammensetzung der Verbände widerspiegeln, und inwieweit die Förderprogramme einen Beitrag zur Bildung von Netzwerken geleistet haben.

---

<sup>22</sup> Es gibt eine breite Literatur zum Thema Forschungskonsortien. In der Theorie können Kooperationen und Konsortien die mit Forschungsinvestitionen verbundenen externen Effekte internalisieren. Wie D'Aspremont und Jacquemin (1988) in ihrem klassischen Artikel gezeigt haben, gilt dies allerdings nur bei hohen ‚spillover‘ Effekten. Bei geringen ‚spillover‘ Effekten ist aus sozialer Sicht die nicht-kooperative Lösung vorzuziehen, da ansonsten die negativen Monopoleffekte überwiegen.

### **2.4.1 Struktur und Zusammensetzung der Verbünde**

Der KMU-Schwerpunkt ist in der Zusammensetzung der Verbünde klar erkennbar: In über 90% aller Verbünde war mindestens ein KMU vertreten. Dies entspricht der inhaltlichen und fördertechnischen Weiterentwicklung der Programme, deren Marktnähe im Zeitverlauf zunahm.

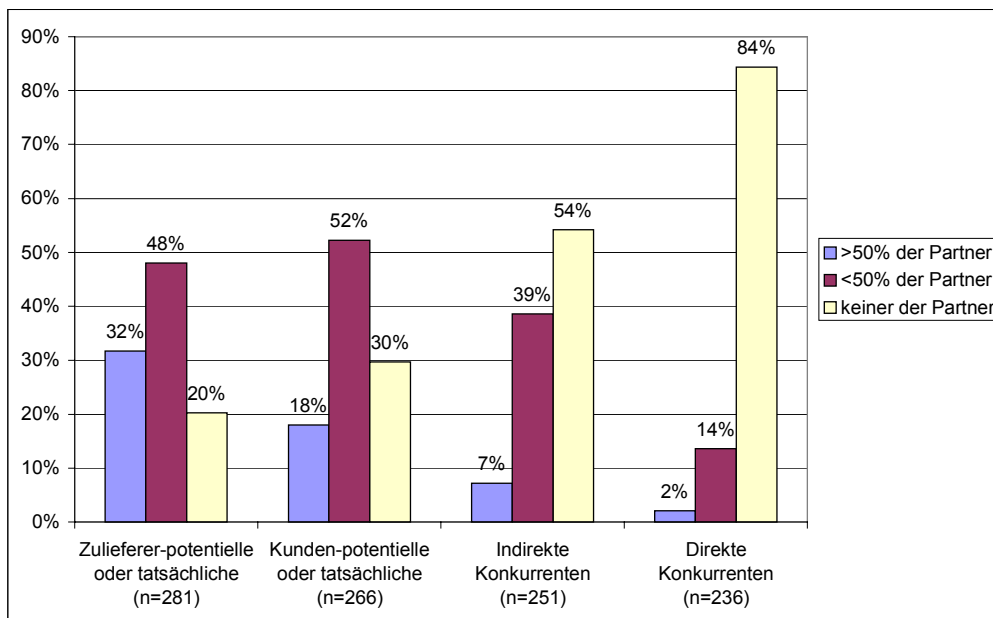
Die Verbünde sind sehr unterschiedlich hinsichtlich ihrer Größe und reichen von Einzelprojekten bis zu Verbänden mit 26 Teilnehmern. Die meisten Verbünde sind allerdings eher klein: 46% der Verbünde bestanden aus nicht mehr als 2 bis 5 Einzelorganisationen. 27% bestanden aus 6 bis 10 und 4% aus 11 bis 20 Einzelorganisationen.

Erfahrungen aus der Organisationstheorie zeigen, dass eine zu hohe Teilnehmerzahl bei Projekten zu suboptimalen Ergebnissen führen kann, da die Transaktionskosten mit der Teilnehmerzahl wachsen und die Effizienz daher sinkt. Interessanterweise scheint dieses Erkenntnis nicht oder nur in sehr geringem Maß auf das MST-Förderprogramm zuzutreffen. Wie in Kapitel 2.5.4. näher beschrieben, beeinflusst die Größe des Verbundes, an dem sie teilnahmen, die Kosten-Nutzeneinschätzung der Respondenten kaum.

Die Einschätzung, dass große Verbünde nicht notwendigerweise die Transaktionskosten erhöhen und daher von den Verbundpartnern als ineffizient bewertet werden, hat sich auch in den Fallstudien bestätigt: Große Verbünde wurden in kleine Arbeitsgruppen unterteilt, die über gut organisierte Schnittstellen miteinander kommunizierten. Die Kommunikation verlief primär über e-mail und Statustreffen, und war im allgemeinen wenig problematisch.

Einleitend wurde gesagt, dass die Beziehungen zwischen den teilnehmenden Firmen horizontal oder vertikal gegliedert sein können, wobei die Art der Gliederung Einfluss auf die Anreizstrukturen innerhalb des Konsortiums haben kann. Da das MST Programm eher marktnah angesiedelt war, spielt es eine große Rolle, ob es sich bei den Mitgliedern eines Verbundes um Konkurrenten oder um vertikale Elemente der Wertschöpfungskette handelt.

Abbildung 2.3: Charakterisierung der Unternehmen im Projekt-konsortium



Quelle: Eigene Fragebogenerhebung

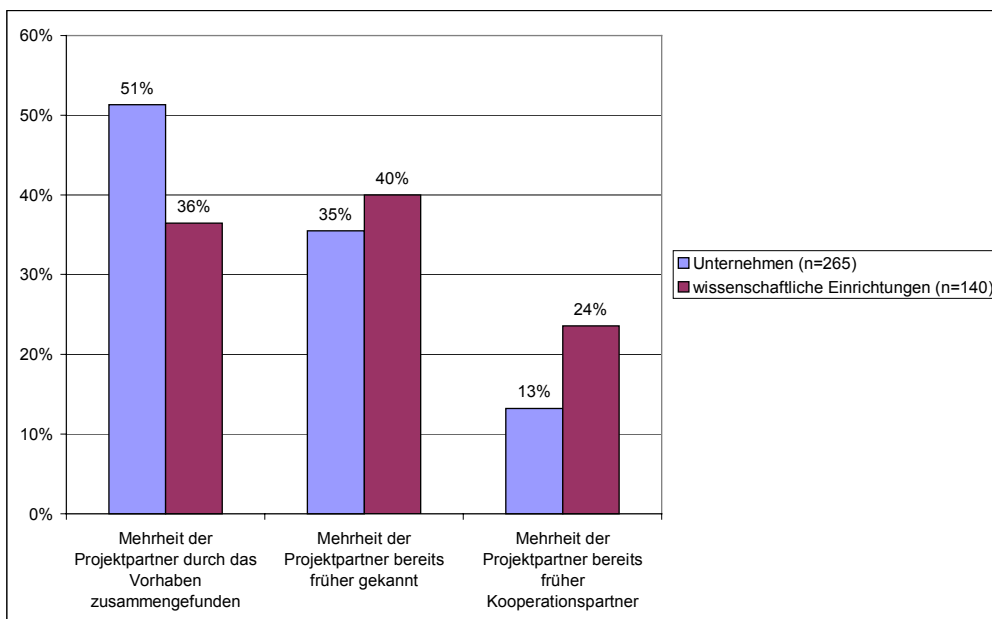
Die meisten Konsortien waren offenbar vertikal aufgebaut (vgl. Abbildung 2.3) und umfassten neben den Kernfirmen hauptsächlich Zulieferer und Anwender. Dieser Aufbau ist für ein marktnahes Programm positiv zu beurteilen, da in einem solchen Umfeld die angesprochenen Probleme der Geheimhaltung weit weniger virulent sind als bei einer horizontalen Struktur.<sup>23</sup>

23 "Horizontal" bedeutet hier nicht notwendigerweise miteinander in Wettbewerb stehend. Es ist durchaus denkbar, dass Firmen innerhalb eines Verbundes unterschiedliche Marktsegmente beliefern, und daher kein Konkurrenzverhältnis besteht.

### 2.4.2 Bildung und Dynamik der Verbünde

Größe und Zusammensetzung eines Konsortiums alleine sagen noch nicht viel darüber aus, ob die Konsortien auch zu neuen Netzwerken geführt haben. Abbildung 2.4 zeigt, wie Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen die Mehrheit ihrer Projektpartner kennen gelernt hatten.

Abbildung 2.4: Entstehung der Verbünde für Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen



Quelle: Eigene Fragebogenerhebung

Demnach gaben 51 % der Firmen sowie 36 % der wissenschaftlichen Einrichtungen an, dass sie in ihrem Verbund mehr als die Hälfte der Partner vorher nicht kannten bzw. nicht mit ihnen kooperiert hatten, sondern diese erst durch das geförderte Projekt gefunden wurden. 13 % der Unternehmen und 24 % der wissenschaftlichen Einrichtungen gaben an, mit der Mehrheit der Kooperationspartner bereits früher zusammengearbeitet zu haben. Das Ziel, neue Netzwerke aufzubauen, wurde demnach erreicht.

Bei der Suche nach Verbundpartnern für die Förderprojekte erwies sich die Betreuung des Projektträgers als sehr hilfreich: Sowohl bei Unternehmen als auch bei wissenschaftlichen Einrichtungen wurde bei über der Hälfte aller Verbundpartner, die erst durch das Vorhaben zusammengekommen waren, der Kontakt über den Projektträger hergestellt.

Der großen Bedeutung der Förderprogramme bei der Bildung von Netzwerken wird auch in den mündlichen Interviews sowie in den Fallstudien Rechnung getragen: Die Interviewpartner gaben fast ohne Ausnahme an, dass die jeweiligen Verbünde ohne das Förderprogramm nicht in dieser Form zustande gekommen wären. Meist entstanden die Verbünde um eine Achse bereits miteinander kooperierender Partner (so z.B. ein Unternehmen und ein FuE-Institut), und einige neue, im Zuge der Projektvorbereitungen zusätzlich einbezogenen Teilnehmern. Die positive Rolle des Projektträgers bei der Verbundbildung wurde dabei immer wieder unterstrichen.

Interessanterweise gab ein Großteil der Befragten in den Interviews und Fallstudien an, dass die Förderprojekte ohne die Vorgaben des BMBF in anderer Form (z.B. einer bilateralen Kooperation zwischen einem Unternehmen und einem FuE-Institut) abgewickelt worden wären, da anfänglich die Verbundförderung aufgrund ihrer Komplexität eher auf Skepsis stieß. Im Laufe der Projekte jedoch erkannten die meisten der Befragten die Vorzüge größerer Verbünde. In dieser Hinsicht wurden immer wieder die Synergieeffekte genannt, die sich aus dem Zusammenspiel von Partnern mit unterschiedlichem Erfahrungshintergrund ergaben. Ein wichtiges Argument vor diesem Hintergrund war der Zuliefercharakter der MST, aufgrund dessen der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen besondere Bedeutung zukommt.

Obwohl nach Meinung der Befragten auch bilaterale Formen der Zusammenarbeit zu verwertbaren Projektergebnissen geführt hätten, wären die Ergebnisse im Vergleich zu den im Verbund erzielten Ergebnisse eher suboptimal. In der Folge gaben auch die meisten InterviewpartnerInnen an, in FuE-Projekten jederzeit wieder an einem Verbund teilnehmen zu wollen. Die kommerzielle Verwertung von Projektergebnissen hingegen beabsichtigen die meisten Firmen alleine zu bewältigen.

Ebenso wird die Zusammenarbeit mit Konkurrenten äußerst skeptisch beurteilt. Als Haupthindernisse wurden Probleme in Bezug auf die Geheimhaltung sowie mangelnder Kooperationswille auf beiden Seiten genannt.

## 2.5 Das Programm aus der Sicht der Teilnehmer

### 2.5.1 Ziele und Zielerreichung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Priorisierung der Ziele durch die Respondenten sowie mit dem Ausmaß der Zielerreichung. Dadurch ist es möglich, festzustellen, ob a) die Erwartungshaltungen der Programmteilnehmer den Zielsetzungen des Programms entsprochen haben, und b) inwieweit die Erwartungen und Zielsetzungen der Teilnehmer erfüllt wurden. Bei der Einschätzung der Zielerreichung handelt es sich um subjektive Bewertungen, die Aufschluss darüber geben, inwieweit die an das Programm herangetragenen Erwartungen auch tatsächlich erfüllt wurden. Aus diesem Grund soll an dieser Stelle auch keine Bewertung des Programms und seiner Auswirkungen auf die teilnehmenden Organisationen vorgenommen werden.

Im Fragebogen wurde eine Reihe von Zielen genannt, die von den Respondenten auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet wurden (wobei 1 "sehr wichtig" und 5 "unwichtig" bedeutete). Verknüpft damit wurde die Frage nach dem Ausmaß der Erreichung der angegebenen Ziele, ebenfalls anzugeben auf einer Skala von 1 bis 5. Diese Ziele lassen sich in vier übergeordnete Kategorien unterteilen:

- Markt- und anwendungsorientierte Zielsetzungen: Diese Zielsetzungen sind strategischen oder kommerziellen Charakters, und zielen auf die Herstellung konkreter Anwendungen, die kommerzielle Umsetzung der Projektergebnisse sowie die Verbesserung der Stellung am Markt ab. Beispiele hierfür wären die Entwicklung von Prototypen oder der Erhalt der Technologieführerschaft.
- Wissensorientierte Zielsetzungen betreffen den Aufbau von Know-how und die Konsolidierung der Wissensbasis in einem Unternehmen/einer wissenschaftlichen Einrichtung. Das Vorantreiben von Entwicklungen im Grundlagenbereich oder die Verbesserung der Qualifikation von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern wären Beispiele für wissensorientierte Zielsetzungen.

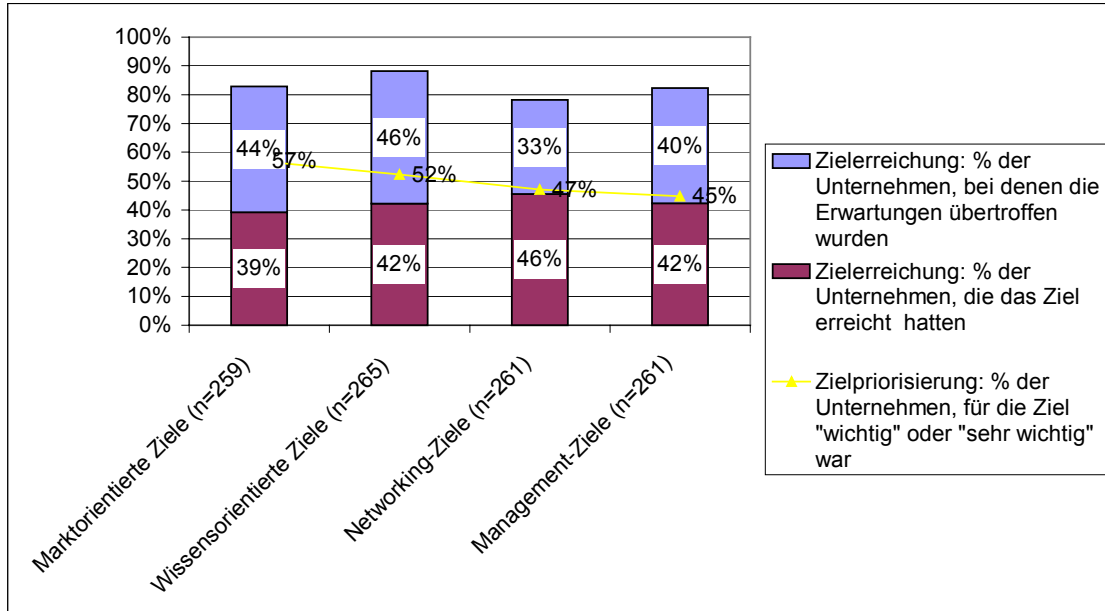
- Netzwerkorientierte Zielsetzungen beinhalten den Aufbau und den Erhalt von Netzwerken sowie die Bildung von neuen Allianzen und Partnerschaften. Beispiele hierfür sind der Zugang zu Lieferanten und Kunden sowie der Zugang zu komplementärer Expertise und Netzwerken.
- Managementbezogene Zielsetzungen beziehen sich auf Praktiken, die für ein effizientes FuE-Management notwendig sind, so z.B. der Zugang zu zusätzlichen Finanzierungsquellen sowie die Reduktion von Kosten oder die Risikoteilung mit Projektpartnern.

### **2.5.2 Ziele und Zielerreichung bei Unternehmen**

Abbildung 2.5 zeigt die Zielpriorisierung und Zielerreichung für die Unternehmen. Dabei wurden die im Fragebogen angegebenen Einzelziele nach dem oben beschriebenen Schema jeweils einer der vier übergeordneten Kategorien zugeordnet und ein aggregierter Prozentsatz errechnet.

Am höchsten priorisiert wurden demnach die markt- und anwendungsorientierten Zielsetzungen, die fast 60% aller Unternehmen als "wichtig" bzw. "sehr wichtig" bezeichneten. Gefolgt wurden sie von wissensorientierten, netzwerkorientierten und managementbezogenen Zielen. Dies verdeutlicht, dass die Zielsetzungen des Förderprogramms in Bezug auf Marktnähe und Anwendungsorientierung den Prioritäten der Unternehmen entsprachen.

Abbildung 2.5: Zielpriorisierung und Zielerreichung bei Unternehmen



Quelle: Eigene Fragebogenerhebung

Bei den **markt- und anwendungsorientierten Zielsetzungen** steht die "Entwicklung von Prototypen" klar an vorderster Stelle - 84% der Unternehmen bezeichneten diese Zielsetzung als "wichtig" oder "sehr wichtig"<sup>24</sup>. Ebenso kommt die starke Priorisierung marktnaher Zielvorstellungen in den mündlichen Interviews und Fallstudien zum Ausdruck, in denen immer wieder die Entwicklung von Prototypen und neuen Lösungen als primäre Zielerwartungen erwähnt werden.

Neben den genannten markt- und anwendungsorientierten Zielsetzungen finden sich ebenfalls noch **wissensorientierte Zielsetzungen** auf den vordersten Plätzen. Die Vertiefung der bereits vorhandenen MST-Expertise wurde von fast 70% der Unternehmen als wichtige bzw. sehr wichtige Zielsetzung genannt.

Entgegen den Zielsetzungen der Förderprogramme wurden **netzwerkorientierte Ziele** weniger hoch priorisiert. Lediglich 47% aller Unternehmen gaben an, dieses Ziel sei ihnen "wichtig" bzw. "sehr wichtig". Zieht man jedoch den hohen Grad der Zielerreichung in Betracht – immerhin 78% aller Unternehmen

<sup>24</sup> Allerdings ist in diesem Zusammenhang zu bedenken, dass die Definition des Begriffs "Prototyp" keineswegs eine einheitliche ist. Das Begriffsverständnis variiert zwischen vollentwickeltem Produkt, das kurz vor der Fertigung steht, und Demonstrator. Im allgemeinen neigen Firmen zu der ersten, wissenschaftliche Einrichtungen hingegen eher zu der zweiten Definition.

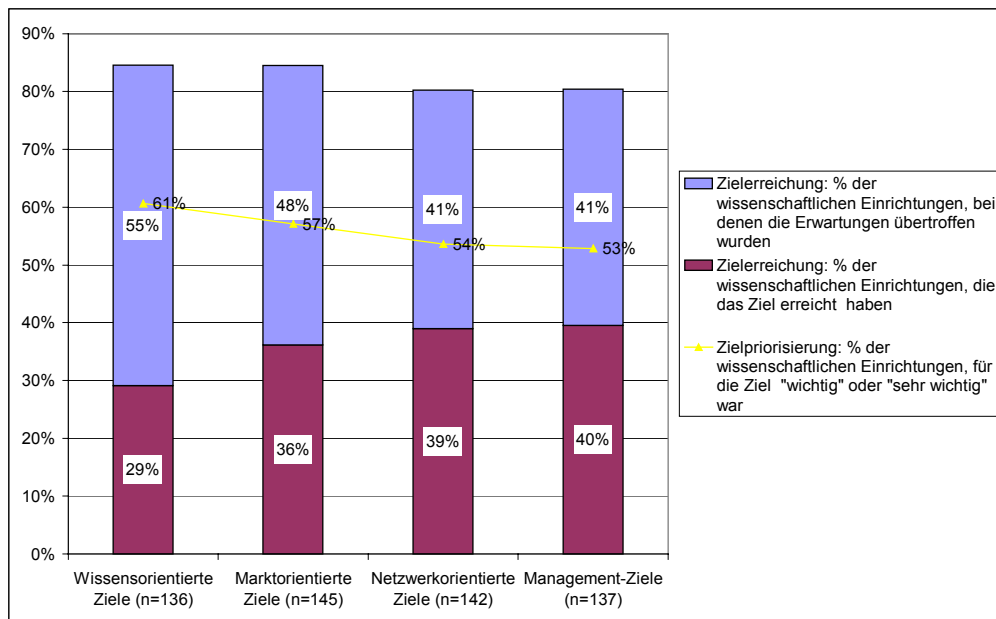
haben dieses Ziel erreicht bzw. ihre Erwartungen wurden diesbezüglich übertroffen - ist dies ein Indiz dafür, dass die Unternehmen mit eher geringen Erwartungen in Bezug auf Netzwerkbildung in das Programm hineingingen, jedoch im Laufe der Förderprojekte immer mehr die Vorteile von Verbundlösungen erkannten und die Bildung von Netzwerken als wichtiges Projektergebnis gewertet wurde. Auch in den Fallstudien wurde immer wieder darauf hingewiesen, dass die Bildung neuer Netzwerke ursprünglich nicht zu den primären Zielsetzungen der Unternehmen gezählt hatten, jedoch am Ende des Projektes sehr oft ein hoch geschätztes Ergebnis darstellten.

Der Grad der Zielerreichung ist bei allen Zielkategorien sehr hoch: Der Prozentsatz der Unternehmen, die die Ziele erreicht bzw. deren Erwartungen in Bezug auf die Zielerreichung übertroffen wurden, liegt in allen vier Kategorien um die 80%. Bei wissensorientierten Zielen gaben sogar 88% der Unternehmen an, diese Ziele erreicht bzw. sogar übertroffen zu haben. Wie bereits erwähnt, betrug die Zielerreichung bei netzwerkorientierten Zielen, die von den Unternehmen lediglich an dritter Stelle gereiht wurden, immerhin 78%.

### 2.5.3 Ziele und Zielerreichung bei wissenschaftlichen Einrichtungen

Bei den wissenschaftlichen Einrichtungen sind die Prioritäten etwas anders gelagert als bei den Unternehmen. Wie in Abbildung 2.6 dargestellt, werden wissensorientierte Ziele höher bewertet als markt- und anwendungsorientierte Zielsetzungen: 61% der Befragten werteten diese Zielkategorie als "wichtig" bzw. "sehr wichtig". An zweiter Stelle jedoch wurden die marktorientierten Zielsetzungen gereiht, die – ebenso wie bei den Unternehmen – von immerhin 57% als "wichtig" bzw. "sehr wichtig" eingestuft wurden. Netzwerkorientierte Zielsetzungen wurden auch von wissenschaftlichen Einrichtungen an dritter Stelle gereiht, wurden jedoch prozentuell höher bewertet als bei den Unternehmen: Während 47% der Unternehmen netzwerkbezogene Zielsetzungen als "wichtig" bzw. "sehr wichtig" einstufen, waren es bei den wissenschaftlichen Einrichtungen immerhin 54%. An letzter Stelle folgen managementorientierte Zielsetzungen.

Abbildung 2.6: Zielpriorisierung und Zielerreichung bei wissenschaftlichen Einrichtungen



Quelle: Eigene Fragebogenerhebung

Die Topprioritäten der wissenschaftlichen Einrichtungen sind die Vertiefung der bereits vorhandenen MST-Expertise sowie die Entwicklung von Prototypen, die mit 84% als gleich wichtig beurteilt wurden. 81% werteten Kontakte zu Firmen als hohe Priorität. Daraus ist abzulesen, dass sich die Topprioritäten von wissenschaftlichen Einrichtungen gleichmäßiger auf die vier übergeordneten Zielkategorien verteilen, als dies bei Unternehmen, bei denen sich hauptsächlich markt- und anwendungsorientierte Ziele am oberen Ende der Liste finden, der Fall ist. Der Zugang zur Finanzierung wird bedeutend höher bewertet als bei den Unternehmen – 76% der wissenschaftlichen Einrichtungen beurteilten diese Kategorie als "wichtig" bzw. "sehr wichtig" – im Gegensatz zu 48% der Unternehmen.

Ebenfalls sehr hoch bewertet wurde die Zielkategorie "Entwicklungen im Grundlagenbereich", die bei den wissenschaftlichen Einrichtungen naturgemäß einen höheren Stellenwert einnimmt als bei den Unternehmen. Wie bereits vorher erwähnt, muss in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, dass der Begriff "Entwicklungen im Grundlagenbereich" für Unternehmen eine etwas andere Konnotation beinhaltet als für wissenschaftliche Einrichtungen. Während Unternehmen mit diesem Begriff meist eine gewisse Marktnähe und Anwendungsorientierung verbinden, bedeutet er für wissenschaftliche Einrichtungen eher einen zweckfreien Erkenntnisgewinn.

Analog zu den Unternehmen weisen auch die wissenschaftlichen Einrichtungen in allen Zielkategorien einen hohen Grad der Zielerreichung auf: Der Prozentsatz derer, die die Ziele erreicht bzw. deren Erwartungen in Bezug auf die Zielerreichung übertroffen wurden, liegt in allen vier Kategorien um die 80%. Bei wissensorientierten und marktorientierten Zielen gaben sogar 85% der wissenschaftlichen Einrichtungen an, diese Ziele erreicht bzw. sogar übertroffen zu haben. Auch in Hinblick auf die netzwerkorientierten Ziele, die von den Unternehmen lediglich an dritter Stelle gereiht wurden, betrug die Zielerreichung bzw. -übertreffung immerhin 80%.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Erwartungen aller Programmteilnehmer durchaus den Zielsetzungen des Programms entsprachen: Markt- und anwendungsorientierte Zielsetzungen wurden von einem hohen Prozentsatz an Unternehmen als auch wissenschaftlichen Einrichtungen stark priorisiert. Ebenso ist der Grad der Zielerreichung für alle Organisationstypen erfreulich hoch. Dies legt den Schluss nahe, dass das Förderprogramm den Bedürfnissen der Teilnehmergruppe entsprochen hat und in Bezug auf die Zielerreichung effektiv war.

#### 2.5.4 Probleme im Projektverlauf

Die Frage nach den Problemen im Projektverlauf gibt Aufschluss darüber, in welchen Bereichen die für die Programmteilnehmer größten Hürden auftraten. Man könnte zwischen endogenen und exogenen Problemen unterscheiden, wobei bei den endogenen wiederum organisationsinterne sowie verbundbezogene Probleme unterschieden werden müssen. Organisationsinterne Probleme wären z.B. Fluktuationen im eigenen Projektteam, die zu Verzögerungen führen. Verbundbezogene Probleme beziehen sich auf alle Schwierigkeiten, die nach Meinung der Teilnehmer durch Kooperation entstehen. Der Mangel an qualifizierten Fachkräften wäre ein Beispiel für ein exogenes Problem.

Generell ist zu sagen, dass die Prozentsätze meist nicht über die 8%-Marke hinausgehen – dass also der Anteil derjenigen Unternehmen, bei denen im Projektverlauf große Probleme entstanden sind – relativ gering ist. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund der Komplexität von Verbundprojekten als positiv zu werten und deutet auf einen relativ reibungslosen Ablauf der Projektarbeiten hin.

Als größtes Problem wurde der Mangel an qualifiziertem Personal angesehen, der von fast 12% der Unternehmen genannt wurde. Aufgrund der mündlichen Erhebungen entstand allerdings der Eindruck, dass dieser Prozentsatz wesentlich höher ist. Praktisch alle Interviewpartner bezeichneten den Mangel an qualifiziertem Personal nicht nur als großes Problem im Projektverlauf, sondern auch als wesentliche Innovationsbarriere. Als Gründe dafür wurden einerseits die sinkenden Studentenzahlen in technologischen Studienrichtungen und andererseits die gestiegene Nachfrage seitens des Marktes genannt.

Ansonsten standen für Unternehmen die Probleme, die durch die Kooperation mit anderen Organisationen entstehen, im Vordergrund. 7% der Unternehmen sahen die Veränderung der Ziele bei ihren Projektpartnern als Problem an, gefolgt von der Fluktuation im Projektteam der Partner. Dies könnte darauf hindeuten, dass bei manchen Unternehmen der Eindruck entstanden ist, dass die Träger der Teilprojekte zum Teil ihre eigenen Interessen verfolgen, die sich nicht immer zur Gänze mit denen der Projektpartner decken. Dieser Eindruck wurde zum Teil auch in den Fallstudien vermittelt, wo einige Gesprächspartner ihrer Frustration über die Tatsache Ausdruck verliehen, dass manche Verbundteilnehmer während der Laufzeit des Projektes ihre Zielsetzungen veränderten. Dies hatte oft unnötige Verzögerungen, die allen Seiten Zeit und Geld kosteten, zur Folge.

Wie ebenfalls aus den mündlichen Interviews und den Fallstudien herauszuhören war, entstanden die meisten durch die Zusammenarbeit in Verbänden bedingten Probleme wohl eher im

Vorfeld, als im Laufe der Projekte. Die Zusammenstellung komplexer Verbünde erwies sich oft als langwierig und mühsam: So sind z.B. manche Projektpartner (in der Mehrheit KMU) kurz vor Projektbeginn abgesprungen, und es entstand die Schwierigkeit, den Verlust kurzfristig zu ersetzen. Generell erwies es sich als schwierig, die richtigen Partner mit dem richtigen Profil zu finden, die auch willig waren, ihre Expertise mit anderen zu teilen. Der Projektträger erwies sich bei der Suche nach Verbundpartnern als sehr hilfreich.

Die Offenlegung von Produkt- und Innovationsstrategien gegenüber Dritten war für nicht einmal vier Prozent der Befragten ein großes Problem, die Geheimhaltung gemeinsam erzielter Ergebnisse für lediglich 3%. Dies bedeutet, dass ein wesentliches Hemmnis für Kooperation – nämlich die Angst vor der Preisgabe strategisch wichtiger Informationen – in diesem Programm nur in geringfügigem Maße bestand. Allerdings ist anzumerken, dass in den mündlichen Interviews und den Fallstudien mehr als ein Drittel aller Unternehmen Bedenken über die umfassende Veröffentlichungspflicht im Rahmen der Projekte äußerten.

Die Probleme, die von den wissenschaftlichen Einrichtungen wahrgenommen werden, liegen etwas anders. Ebenso wie bei den Unternehmen deuten die geringen Prozentsätze an Respondenten, die in den verschiedenen Kategorien "große Probleme" orten, auf einen relativ reibungslosen Projektverlauf hin. Die Kategorien "Fluktuation in den Projektteams der Partner" als auch "Änderung der Ziele bei den Partnern" werden von wissenschaftlichen Einrichtungen kritischer eingeschätzt als von Unternehmen. Dies ist nicht verwunderlich, da Unternehmen gezwungen sind, flexibler auf die Bedürfnisse des Marktes zu reagieren und daher ihre strategischen Zielsetzungen dementsprechend anpassen.

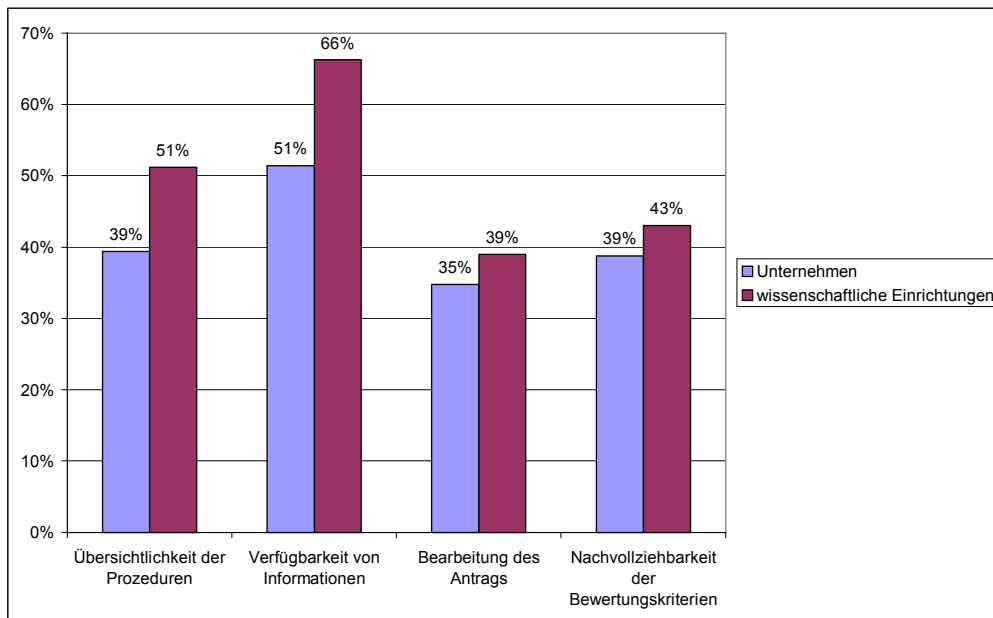
Ebenso wenig verwunderlich ist, dass wissenschaftliche Einrichtungen weniger Ängste in Bezug auf Geheimhaltung haben als Unternehmen, da für sie die Veröffentlichung von Forschungsergebnissen sogar im höchsten Grade wünschenswert ist. Erfreulicherweise gaben auch lediglich 4% aller Unternehmen an, Probleme in Bezug auf die Offenlegung von Strategien zu haben.

Der Mangel an qualifiziertem Personal ist für 12% der Unternehmen ein großes Problem, aber nur für 9% der wissenschaftlichen Einrichtungen. Dennoch sollte dieser Mangel auch in Bezug auf wissenschaftliche Einrichtungen ernst genommen werden, da in den mündlichen Interviews und den Fallstudien auch ein Großteil der wissenschaftlichen Einrichtungen den Rückgang der Studentenzahlen und das mangelnde Interesse der Studierenden an MST-bezogenen Fragestellungen beklagte.

### **2.5.5 Bewertung der administrativen Prozeduren**

Im allgemeinen wurden die administrativen Prozeduren sowohl von Unternehmen als auch von wissenschaftlichen Einrichtungen als befriedigend beurteilt (siehe Abbildung 2.7), wobei letztere sich durchwegs positiver äußerten als erstere. Dies liegt unter anderem daran, dass wissenschaftliche Einrichtungen normalerweise über größere administrative Kapazitäten verfügen, um Programmanträge zu bearbeiten, und daher die bürokratische Last als weniger bedeutsam empfinden als Unternehmen. Am besten beurteilt wurde die Verfügbarkeit von Informationen, die von 51% der Unternehmen und von 66% der wissenschaftlichen Einrichtungen als positiv bewertet wurde. Weniger positiv beurteilt wurden die Übersichtlichkeit der Prozeduren, die Bearbeitung des Antrags und die Nachvollziehbarkeit der Bewertungskriterien, bei denen die Zustimmungsraten meist unter der 40%-Marke lagen.

Abbildung 2.7: *Prozentsatz der Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen, die die administrativen Prozeduren für "gut" befanden (nU=310, nW=168)*



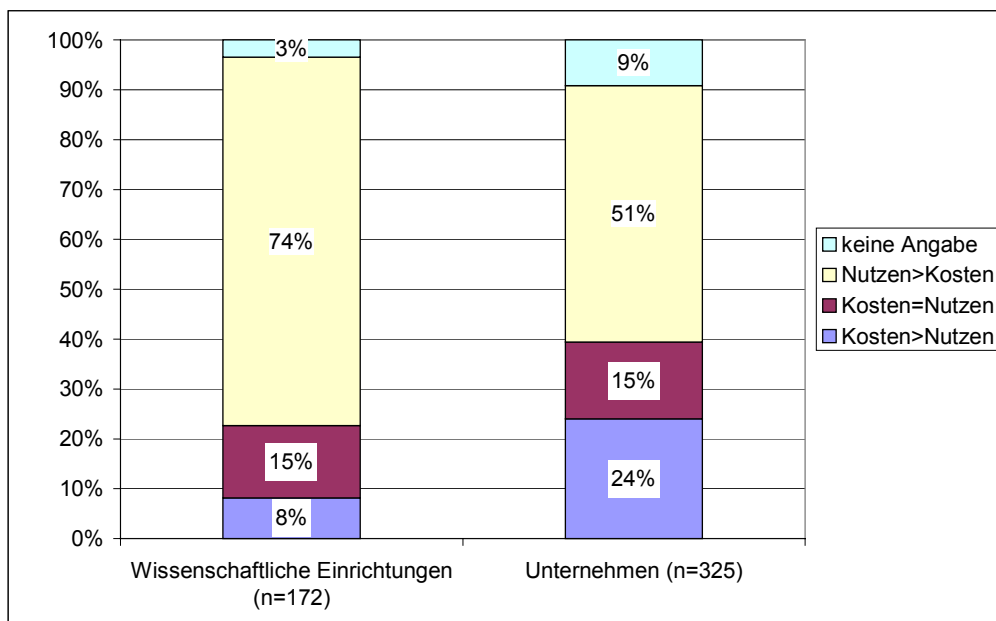
Quelle: Eigene Fragebogenerhebung

Auch die mündlichen Interviews und die Fallstudien ergaben eine eher ambivalente Einschätzung. Einerseits gab die Mehrheit der Befragten an, dass die Antragsprozeduren zu kompliziert und die Entscheidungsfristen zu lang wären. Auch seien klare und transparente Prozeduren und Entscheidungskriterien nicht erkennbar. Andererseits wurde eingeräumt, dass die Lernkurve bei der Projektbeantragung sehr steil sei und daher lediglich die Beantragung des ersten Projektes als schwierig empfunden wurde. Auch wurde die Betreuung und Beratung seitens des Projektträgers von den meisten Interviewpartnern sehr positiv beurteilt. Je präsenter eine verantwortliche Mitarbeiterin oder ein verantwortlicher Mitarbeiter des Projektträgers für die Projektteilnehmer war, desto positiver wurde die Betreuung eingeschätzt. Generell ist zu sagen, dass sich ebenso wie bei der schriftlichen Befragung die wissenschaftlichen Einrichtungen positiver äußerten als die Unternehmen.

### 2.5.6 Kosten und Nutzen der Programmteilnahme

Dieses Kapitel beinhaltet eine Einschätzung des Verhältnisses zwischen dem gesamten Kostenaufwand der Beteiligung und dem Nutzen, der aus der Beteiligung gezogen wurde. Die Kosten-Nutzeneinschätzung ist ein wichtiger Indikator dafür, wie das Programm von den Teilnehmern wahrgenommen wird, und ob es für sie sinnvoll war, dieses Programm überhaupt in Anspruch zu nehmen.

Abbildung 2.8: Kosten-Nutzen bei Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen



Quelle: Eigene Fragebogenerhebungen

Im allgemeinen war, wie in Abbildung 2.8 dargestellt, die Kosten-Nutzeneinschätzung weniger positiv als man aufgrund des hohen Zielerreichungsgrades erwarten könnte. Vor allem bei Unternehmen fällt die Kosten-Nutzeneinschätzung bei vergleichbaren Programmen etwas positiver aus<sup>25</sup>, jedoch liegt die Bewertung der MST-Förderprogramme auf jeden Fall im positiven Bereich. Zwar schätzt die Mehrzahl der Respondenten den Nutzen der Programmteilnahme höher ein als die Kosten, doch ist der Anteil derer, die die Kosten gleichhoch oder sogar höher

<sup>25</sup> Siehe z.B. das Finnische Energieprogramm (1993-1998), das in Bezug auf Verbundthematik, Marktnähe und Komplexität der Materie mit der MST-Förderung vergleichbar ist. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass regelrechtes "Benchmarking" in dieser Hinsicht mit Vorsicht zu genießen ist. Andere Programme sollten eher als Vergleichswerte und nicht als absolute Benchmarks herangezogen werden, da – auch wenn eine gewisse Vergleichbarkeit gegeben ist – das Umfeld, in dem Förderprogramme ablaufen, stark variiert, und sich selten zwei ohne weiteres vergleichbare Programme finden lassen

einschätzen als den Nutzen im Vergleich zu ähnlichen Förderprogrammen relativ hoch. Interessant ist das unterschiedliche Antwortverhalten nach Organisationstypen. So stehen wissenschaftliche Einrichtungen dem Programm positiver gegenüber als Unternehmen: Während für 74% der Ersteren der Nutzen der Teilnahme höher lag als die Kosten, waren es bei den Unternehmen "nur" 51%. Der Prozentsatz derjenigen, die ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen sehen, liegt bei beiden Organisationstypen bei 15%. Der Grund für die positivere Einschätzung seitens der wissenschaftlichen Einrichtungen liegt zum Großteil in den geringeren Opportunitätskosten einer Programmteilnahme.

Verschiedene Faktoranalysen (so z.B. eine Verknüpfung von Kosten-Nutzen-Einschätzung und Umsatz, MST-Kompetenz oder Verbundgröße) ergaben kein kohärentes Bild, wodurch ein solches Antwortverhalten erklärt werden könnte. Ein Grund könnten jedoch die von den Teilnehmer als komplex und langwierig eingestuft administrativen Prozeduren sein, die die Kosten einer Teilnahme erhöhten (siehe vorheriger Abschnitt).

Ebenso ging aus den mündlichen Erhebungen hervor, dass viele Teilnehmer die Zusammenstellung des Verbunds als sehr zeit- und ressourcenaufwendig empfanden. Dies gilt vor allem für Verbünde, in denen die Mehrheit der Partner sich nicht vorher kannte und erst durch das MST-Förderprogramm zusammenfand. Als besondere Probleme wurden das Abspringen von Verbundpartnern und das damit verbundene Suchen von neuen Partnern kurz vor Projektbeginn genannt. Es ist also davon auszugehen, dass der Aufwand, der im Vorfeld der Projektarbeit entstand, die Kosten-Nutzen-Einschätzung negativ beeinflusste. Ebenso als Faktoren zu nennen sind das generell hohe Risiko, das FuE-Projekten anhaftet, sowie die in vielen Teilen erst zu erfolgende kommerzielle Verwertung der Projektergebnisse (siehe Abschnitt 2.6.3.).

Diese nur befriedigende Kosten-Nutzeneinschätzung hielt jedoch den Großteil der Teilnehmer an den mündlichen Erhebungen nicht davon ab, sich jederzeit wieder eine Teilnahme an einem MST-Förderprojekt vorstellen zu können.

### 2.5.7 Additionalitäten

Das Konzept der Additionalität erlaubt die Analyse des Anreizeffektes von öffentlicher Förderung von Forschungsaktivitäten. Dadurch kann festgestellt werden, ob es sich bei dem Förderprogramm um eine bloße Substituierung anderer Förder- oder Finanzierungsquellen handelt oder um eine veritable Korrektur potentiellen Marktversagens. Eine übliche Methode, um die Additionalität eines Förderprogramms festzustellen, ist die Frage, welche Handlungen die betreffende Organisation im Falle einer Projektablehnung durchgeführt hätte. Hätte die Organisation das Projekt in jedem Falle mit den gleichen Mitteln und Ressourcen weiterverfolgt, ist keine Additionalität vorhanden.<sup>26</sup> Teiladditionalität entsteht dann, wenn das Projekt im Falle einer Ablehnung mit einem geringeren Ressourcenaufwand durchgeführt worden wäre.

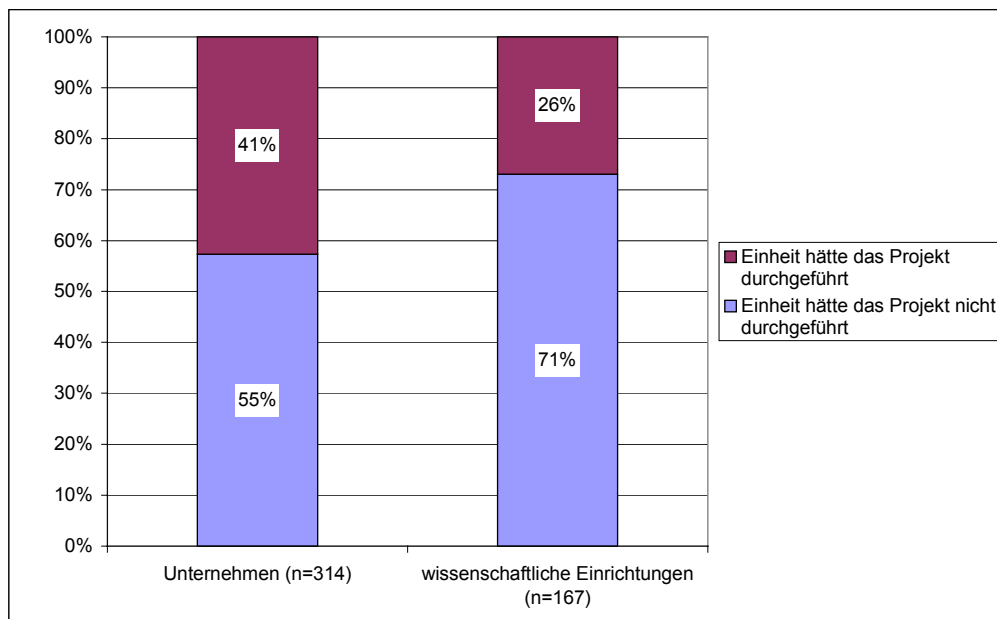
Zwischen den einzelnen Organisationstypen ergeben sich eindeutige Unterschiede bei der Frage nach der Additionalität. 55% der Unternehmen gaben an, dass das Projekt im Falle einer Ablehnung nicht durchgeführt worden wäre (Abbildung 2.9). Bei den wissenschaftlichen Einrichtungen waren dies 71%. Für nationale Technologieförderprogramme, die im Hinblick auf die Kriterien: Marktnähe, Verbundthematik und Komplexität der Materie mit den MST-Förderprogrammen vergleichbar sind, liegen die Additionalitäten in der Regel zwischen 45% und 60% für Unternehmen.<sup>27</sup> Für EU-Rahmenprogramme, bei denen generell hohe Additionalitäten bestehen, liegt der Prozentsatz der Unternehmen, die das Projekt im Falle einer Ablehnung nicht weiter verfolgt hätten, bei 60%, und derjenige der wissenschaftlichen Einrichtungen bei 80%. Den MST-Förderprogrammen sind daher hinsichtlich dieser Frage gute Noten auszustellen.

---

<sup>26</sup> Zur weiteren Erklärung des Begriffs "Additionalität": Im besten theoretischen Fall geben 100% der Unternehmen an, dass sie das Projekt bei Ablehnung nicht durchgeführt hätten. Dies wäre eine maximale Additionalität.

<sup>27</sup> Beispiele wären das Finnische Energieprogramm (Tekes Energy Technology Programme, 1993-1998) oder das Finnish Digital Media Programme

Abbildung 2.9: Additionalitäten nach Organisationstyp



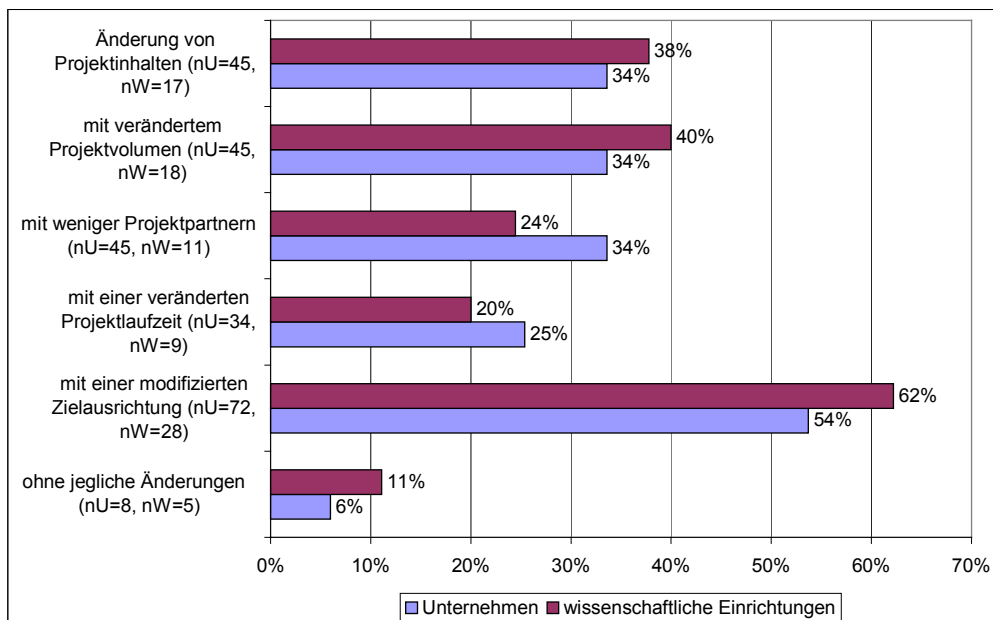
Quelle: Eigene Fragebogenerhebung

Zusätzlich muss bei den Organisationen, die das Projekt auch ohne die Unterstützung des Förderprogramms durchgeführt hätten, zwischen denjenigen Organisationen, die das Projekt ohne Änderungen verfolgt hätten, und denjenigen, die Änderungen (z.B. Verminderung der Projektlaufzeit etc.) vorgenommen hätten, unterschieden werden.

Die allgemeine hohe Additionalität des Förderprogramms zeigt sich auch im niedrigen Prozentsatz derer, die das Projekt im Falle einer Ablehnung ohne jegliche Änderungen durchgeführt hätten (Abbildung 2.10). Dies sind bei wissenschaftlichen Einrichtungen 11%, bei Unternehmen lediglich 6%. 54% der Unternehmen und 62% der wissenschaftlichen Einrichtungen gaben an, dass sie das Projekt mit einer modifizierten Zielausrichtung verfolgt hätten.

Auch die Additionalität des Programms in Bezug auf die Verbundbildung ist beträchtlich: Bei den 55%, die das Projekt nicht weiterverfolgt hätten, wären die jeweiligen Verbünde aller Wahrscheinlichkeit nach nicht in dieser Form zustande gekommen. Auch ein Teil derjenigen Organisationen (34% bei den Unternehmen und 24% bei den wissenschaftlichen Einrichtungen) hätte das Projekt mit weniger Projektpartnern durchgeführt. Diese Aussage deckt sich auch mit Ergebnissen aus der Frage nach der Entstehung der Verbünde (siehe Kapitel 2.4), wonach über 70% der Unternehmen und 65% der wissenschaftlichen Einrichtungen angaben, zumindest einige der Projektpartner durch das Programm gefunden zu haben.

Abbildung 2.10: Verhalten bei Projektablehnung nach Organisationstyp (Mehrfachnennungen möglich)



Quelle: Eigene Fragebogenerhebung

Betrachtet man bei Unternehmen die Additionalitäten nach dem Umsatz, lassen sich zwischen KMU und Großunternehmen Unterschiede feststellen. Hätten 65% der Unternehmen mit einem Umsatz bis zu 40 Mio. € das Projekt im Falle einer Ablehnung nicht durchgeführt, sind es bei Großunternehmen lediglich 45%. Dies zeigt die größere Notwendigkeit des Förderprogramms für KMU.

## 2.6 Wirkungsanalyse

Im Unterschied zu indirekten Maßnahmen (z.B. Innovationsanreize über das Steuersystem) adressieren Technologieförderprogramme konkrete Entwicklungspotenziale bzw. Probleme in einem bestimmten Technologiefeld. Technologieförderprogramme zielen auf ganz konkrete Wirkungen ab, die zu dokumentieren typischerweise Gegenstand von ex-post Evaluationen ist. Hinter der Wirkungsanalyse steht die Frage, welche Ergebnisse das Programm letztendlich gebracht hat bzw. ob sich der Einsatz von Fördermitteln in der Gesamtbilanz gelohnt hat. Die Antwort auf diese Frage legitimiert unter anderem die Verwendung von Steuergeldern und gibt darüber hinaus wichtige Impulse für die Konzeption und Planung künftiger Aktivitäten. Insgesamt erbringt die Wirkungsanalyse eine Bewertung von Qualität und Angemessenheit der angebotenen Leistung.

Das folgende Kapitel gibt die Ergebnisse der im Rahmen dieser Evaluierung durchgeführten Wirkungsanalyse wieder, die sich im wesentlichen auf die Ergebnisse der Fragebogenerhebung sowie der Fachgespräche mit Programmteilnehmern stützen.

### 2.6.1 Aufbau von FuE-Kompetenzen

Ein Technologieförderprogramm bewirkt in erster Linie eine Änderung der volkswirtschaftlichen Allokation von Ressourcen. Dabei wird in der Regel durch die Bereitstellung öffentlicher Mittel für bestimmte FuE-Aktivitäten auch angestrebt, dass sie zusätzliche private Investitionen und Innovationsaktivitäten nach sich ziehen werden. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der Hebelwirkung von Förderprogrammen. Zur Einschätzung dieser Primärwirkung ist neben der rein quantitativen Bestimmung der Hebelwirkung vor allem die Frage zu stellen, wie dauerhaft oder nachhaltig die durch das Programm ausgelöste Fokussierung ökonomischer Ressourcen zugunsten eines Technologiefeldes wirkt?

Die Abschätzung der Hebelwirkung wird in der Programmevaluierung entlang der Frage nach dem Mehrwert (Additionalität) des Programms vorgenommen. Wie in Kapitel 2.5.7 dargestellt, hat die MST-Förderung eine unmittelbare Wirkung, was das Zustandekommen von neuen Projekten und Verbänden betrifft. Mehr als die Hälfte der Unternehmen (55 %) und knapp Dreiviertel der wissenschaftlichen Einrichtungen (71%) hätten ohne das Programm ihre Projekte bzw. Teilprojekte überhaupt nicht durchgeführt. Vor diesem Hintergrund kann man also davon

ausgehen, dass die MST-Förderung tatsächlich einen substantiellen Beitrag dazu geleistet hat, Ressourcen auf ein Thema zu konzentrieren, die ohne das Programm anderweitig verwendet worden wären. Eine grobe Hochrechnung<sup>28</sup> der durch das Förderprogramm originär ausgelösten Investitionsvolumina kommt immerhin auf 550 Mio. €. Mit anderen Worten, ohne das Förderprogramm wären Projekte mit einem Gesamtvolumen von 550 Mio. € nicht durchgeführt worden.

Die Reallokation von finanziellen Ressourcen zugunsten von Forschungs- und Innovationsaktivitäten in der Mikrosystemtechnik bildet volkswirtschaftlich betrachtet die erste Analyseebene nach der unmittelbaren Betrachtung der Programmwirkung. Sie stellt die Basis dar, auf der das Programm seine langfristige Wirkungen für den Technologiestandort Deutschland entfalten konnte. Die Bereitstellung von finanziellen Ressourcen ist die Voraussetzung für den Aufbau und die Vertiefung von wissenschaftlicher und technologischer Expertise. Neben der finanziellen Ausstattung sind hier Kontinuität und Aufbau kritischer Massen wichtige Faktoren. Zur Orientierung: Aus den geführten Interviews sowie aus der Evaluation vergleichbarer Technologieprogramme<sup>29</sup> kann man davon ausgehen, dass es 4-5 Jahre braucht, bis sich ein Forschungs- und Entwicklungsteam in einem neuen Technologiefeld etablieren kann. Ein typischer Verlauf des Aufbauprozesses aus der Sicht einer Forschungseinrichtung beginnt in der Regel mit ersten, kleineren Forschungsprojekten entlang derer Diplomarbeiten und Dissertationen durchgeführt werden. Die Etablierung eines Themas und der Aufbau von Kooperationen mit der Industrie wird oftmals dann erreicht, wenn erste Absolventen in den FuE-Abteilungen der Industrie aufgenommen werden und als Ankerpunkt für künftige Kooperationen dienen. Als „ideale“ Teamgröße wird in diesem Zusammenhang die auch aus der Organisationstheorie geläufige Größenordnung von 6-8-köpfigen Teams genannt.

Für den Auf- und Ausbau der deutschen Mikrosystemtechnikkompetenz wurde mit dem Förderprogramm des BMBF eine wichtige Voraussetzung geschaffen. Sowohl die Programmlaufzeit als auch die bewilligten Fördervolumina gaben hinreichend Raum

---

28 Für die Hochrechnung wurde die für die jeweilige Teilnehmergruppe (Unternehmen bzw. wissenschaftliche Einrichtungen) erhobene Additionalitätswirkung (55% bzw. 71% der Unternehmen bzw. wissenschaftlichen Einrichtungen hätten das Projekt ohne Förderung nicht durchgeführt) auf die Gesamtkosten der geförderten Projekte bezogen. In Zahlen: 55% von 680 Mio. € (Gesamtprojektvolumen der Unternehmen) plus 71% von 260 Mio. € (Gesamtprojektvolumen der wissenschaftlich Einrichtungen) hat die MST-Förderung an zusätzlichen Aufwendungen in FuE ausgelöst. In Summe sind das 562 Mio. €. Diese Hochrechnung unterstellt eine Gleichverteilung der Projektgrößen. Weiterhin unterstellt sie, dass die Programmteilnehmer ohne die Förderung nicht andere MST-Projekte außerhalb des Förderprogramms durchgeführt hätten. Letzteres ist für die MST-Förderung insofern plausibel als seine Inhalte im wesentlichen bottom-up definiert wurden.

29 Benchmark sind hier vor allem die FTE-Programme der EU sowie inhaltliche verwandte Programme anderer Länder (Bsp. Die beiden finnischen Programme im Bereich Informationstechnologie – ETX und TLX).

für den langfristigen Aufbau von überkritischen<sup>30</sup> FuE-Kompetenzen. Dass dies bereits in Teilen erfolgt ist, zeigt der hohe Zielerreichungsgrad für die Kategorie "wissensorientierten Zielsetzungen". Inwieweit dies tatsächlich gelungen ist, wird sich letztlich am ökonomischen Erfolg zeigen. Dieser ist in Teilen bereits deutlich sichtbar. Angesichts der langen Entwicklungszeiten ist für den überwiegenden Teil der erarbeiteten Ergebnisse die Markteinführung für die nächste Zukunft zu erwarten (siehe dazu auch Kapitel 6.3.)

Ein weiterer Indikator für den Aufbau von FuE-Kompetenzen ist die Größe der Projektteams, die von den Programmteilnehmern für die Abwicklung der Teilprojekte eingesetzt wurden). Wie ersichtlich, variiert die durchschnittliche Teamgröße über die Programmlaufzeit. Allerdings gibt es keinen eindeutigen Trend. In der Programmphase II sind die Projektteams im Schnitt etwas größer als in der vorhergehenden und nachfolgenden Programmphase. Eigentlich könnte erwartet werden, dass der über die Programmlaufzeit steigende Anteil von KMU's sich auch in der Größe der Projektteams niederschlägt. Dies ist nicht der Fall. Schließlich zeigen die relativ großen Standardabweichungen doch, dass die Größe der Projektteams stark variiert. Die Zahl der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bezieht sich auf Köpfe und nicht auf die dem Teilprojekt zur Verfügung gestellte Manpower (Menschenjahre).

---

<sup>30</sup> Von überkritischen FuE-Kapazitäten spricht man wenn die verfügbaren FuE-Ressourcen auf Dauer die wissenschaftliche und technologische Präsenz in einem Technologiefeld sicherstellen. In der Praxis ist dies in der Regel eine Organisationseinheit oder Gruppe von Forschern, die sowohl in der Lage ist einen aktiven Innovationsbeitrag zu leisten und sich soweit stabilisiert hat, dass sie nicht durch normale Personalfuktuation in ihrem Bestand gefährdet ist.

Tabelle 2.2: Zahl der Projektmitarbeiterinnen und -mitarbeiter in den geförderten Teilprojekten

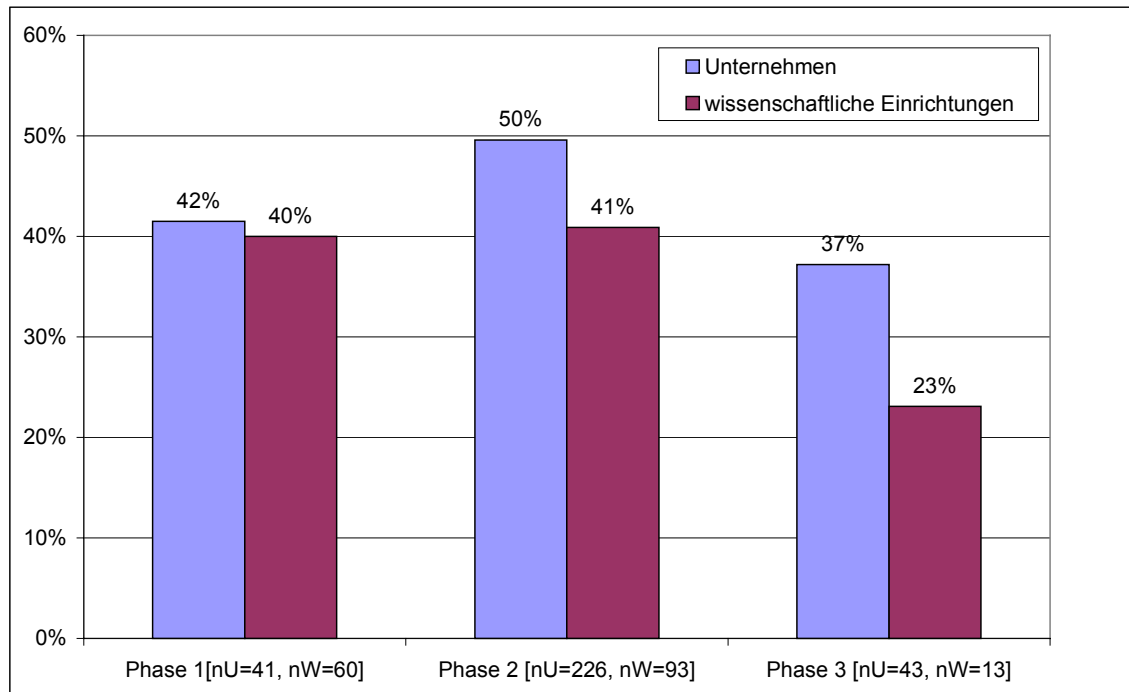
	PHASE 1	PHASE 2	PHASE 3
N	137	374	232
Mittelwert	5,3	6,7	5,7
Median	4,00	4,00	4,00
Standardabweichung	4,07	6,66	5,08

Quelle: Eigene Fragebogenerhebung

Insgesamt deuten die großen Variationen und das Fehlen eines einheitlichen Trends doch auf die Vielschichtigkeit des Programms hin. Das Programm hat offensichtlich ganz unterschiedliche Zielgruppen und Szenen bedient. Neben einer Minderheit großer, auf langfristigen Kompetenzaufbau im Bereich MST arbeitenden Gruppen, wurde eine breite Schicht von Einsteigern und kleinen Unternehmen angesprochen. Beides entspricht der Diffusionsorientierung des Programms.

Die Diffusion neuerer Technologien erstreckt sich auf zwei Ebenen: Die Anbieter- und die Anwendungsebene. Die erste Ebene steht für die Ausweitung des Anbieterkreises, also der Zahl der Unternehmen, die entsprechende Technologiekompetenz aufbauen und in weiterer Folge neue Produkte und Prozesse am Markt anbieten. Die zweite, die Verbreitung des Anwendungsspektrums, steht für die Erschließung neuer Einsatzgebiete der Technologie. Die beiden Diffusionsdimensionen gehen in der Regel Hand in Hand. Die folgende Darstellung (Abbildung 2.11) dokumentiert die Diffusionsleistung des Programms. Sie zeigt die Zahl der Programmteilnehmer, für welche die Teilnahme auch gleichzeitig der Einstieg in die Mikrosystemtechnologie war. Auf dieser Darstellungsebene wird nicht zwischen Anbieter und Anwender unterschieden. Neueinsteiger können sowohl Anbieter als auch Anwender sein.

Abbildung 2.11: % der Respondenten, für die die Teilnahme am Programm gleichzeitig den Einstieg in die MST bedeutete,



Quelle: Eigene Fragebogenerhebung

44% der Respondenten gaben an, dass die Teilnahme am Programm gleichzeitig der Einstieg in die MST war. Der größte Schub ist in der zweiten Programmphase erfolgt. Die Hälfte (49,6%) der Unternehmen und 40,9% der wissenschaftlichen Einrichtungen sahen sich in der zweiten Programmphase als Neueinsteiger. Für die dritte Phase liegen die Einsteigerquoten mit 37,2% (Unternehmen) und 23,1% (wissenschaftliche Einrichtungen) etwas niedriger. Aus diesem Rückgang der Neueinsteigerquote kann zu diesem Zeitpunkt noch nicht auf ein Abflauen der Diffusionsdynamik geschlossen werden. Es ist zu beachten, dass die in diese Erhebung eingeflossenen Zahlen für die laufende Programmperiode lediglich eine erste Momentaufnahme sind. Das Bild kann sich in der weiteren Programmumsetzung durchaus noch verschieben.

Insgesamt jedoch ist zu sagen, dass der Anteil an Neueinsteigern sowohl bei wissenschaftlichen Einrichtungen als auch bei Unternehmen relativ hoch ist. Dies lässt den Schluss zu, dass das Programm für einen hohen Prozentsatz der teilnehmenden Organisationen einen Anreiz zum Einstieg in die MST darstellte. Das Ziel, eine möglichst hohe Zahl an Neueinsteigern zu erreichen, um so eine möglichst breite Diffusion einer bestimmten Technologie zu erzielen, wurde somit erreicht.

Eine für den Programmerfolg wichtige Frage, die auch Aufschluss über die Additionalität des Programms gibt, ist die nach den im Zuge der Programmteilnahme neu rekrutierten FuE-Mitarbeiterinnen und -mitarbeiter. Bei den in den folgenden Absätzen dargestellten Analysen handelt es sich jedoch nicht um die Messung des Beschäftigungseffekts der MST-Förderprogramme. Die Zahl der aufgrund der Förderprojekte eingestellten Mitarbeiterinnen und -mitarbeiter wird lediglich als Indikator für den Aufbau von FuE-Kompetenzen behandelt.

Knapp 1.000 Neueinstellungen<sup>31</sup> wurden seit Programmbeginn getätigt, der Großteil davon in wissenschaftlichen Einrichtungen (613). Gerade diese sind bei Neueinstellungen auf die Einbeziehung von extern finanzierten Projekten angewiesen. Im Verlauf der MST-Förderung ist der Anteil der Neueinstellungen bei den Unternehmen sukzessive angestiegen. Entfielen in der ersten Programmphase noch 80% der Neueinstellungen auf die wissenschaftlichen Einrichtungen, so ist dieser Anteil in der derzeit laufenden Programmphase bereits auf 50% gesunken.

Setzt man die für die Programmteilnahme neu eingestellten FuE-Mitarbeiterinnen und -mitarbeiter in Beziehung zur Gesamtzahl der mit der Projektabwicklung befassten Mitarbeiter, dann wurden erwartungsgemäß vor allem in den ersten beiden Programmphasen (1990-93, 1993-1999) die personellen Ressourcen ausgeweitet. Immerhin 55% (Programmphase I) bzw. 60% (Programmphase II) der antwortenden Programmteilnehmer gaben an, neue Mitarbeiter für die Abwicklung der geförderten Projekte eingestellt zu haben. Etwas mehr als jede/r Vierte (27% in Programmphase I) bzw. jede/r Fünfte (22% in Programmphase II) der Projektmitarbeiterinnen und -mitarbeiter entfiel zwischen 1990 und 1999 auf Neuzugänge. Beide Indikatoren waren in der laufenden Programmphase (MST 2000+) rückläufig: 52% der antwortenden Programmteilnehmer meldeten Neuzugänge im Zuge der Projektabwicklung. 19% der Mitarbeiter in den Projektteams waren Neuzugänge, die „im Zuge der Programmteilnahme“<sup>32</sup> eingestellt wurden.

---

31 Auf eine Hochrechnung auf die Grundgesamtheit wurde hier verzichtet. Wir gehen davon aus, dass im Zuge der Fragebogenerhebung 69% der geförderten Projekte erfasst wurden (siehe Kapitel 3). Die hier präsentierten Zahlen sind also als Untergrenze zu verstehen.

32 Wörtliche Formulierung im Fragebogen: Siehe Frage 17 (in beiden Fragebögen).

Zur Interpretation dieser Beobachtungen gehen wir von folgender Prämisse aus: Der systematische Kompetenzaufbau in einem Zukunftsfeld erfordert ein langfristiges Engagement, das sich unter anderem in einer Sequenz von aufeinanderfolgenden FuE-Projekten niederschlägt. Ferner werden in einem vielversprechenden Technologiefeld die FuE-Kompetenzen, zumindest in der Einstiegsphase, ausgeweitet. Vor diesem Hintergrund ist MST ein Einstiegsprogramm, das substantiell zum Aufbau von FuE-Kapazitäten in MST beigetragen hat.

Im Zuge des bisherigen Programmverlaufs hat eine doch relativ große Gruppe langfristig MST-Kompetenz aufgebaut. 37% der Programmteilnehmer (siehe Kapitel 2.2) haben mehr als ein Vorhaben im Rahmen des Programms durchgeführt. Die Zahl der im Zuge der Programmteilnahme eingestellten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ist beachtlich. Daneben zeigt der große Anteil der Neueinsteiger die große Breitenwirkung der MST-Förderung. Rückblickend können also folgende zwei Wirkungsebenen des Programms identifiziert werden: Einerseits hat sich eine Gruppe von Unternehmen und FuE-Einrichtungen etabliert, die langfristig MST-Kompetenz aufbauen konnte. Andererseits hat das Programm einen substantiellen Beitrag zur Verbreiterung der Anbieter- und Anwenderbasis geleistet.

Diese Ergebnisse sind durchaus als eine schlüssige Umsetzung der Programmziele zu interpretieren. Den Zielsetzungen – insbesondere in Phase II und III – entsprechend, lag der Schwerpunkt nicht auf dem Ausbau wissenschaftlicher Exzellenz, sondern auf der Verbreiterung der Anwendungsbasis. Die präsentierten Ergebnisse bestätigen eine starke Breitenwirkung. Das Programm hat insbesondere vielen kleinen und mittleren Unternehmen den Einstieg in die MST ermöglicht und substantiell zum Aufbau eines qualifizierten Personalstocks in der deutschen Mikrosystemtechnik beigetragen.

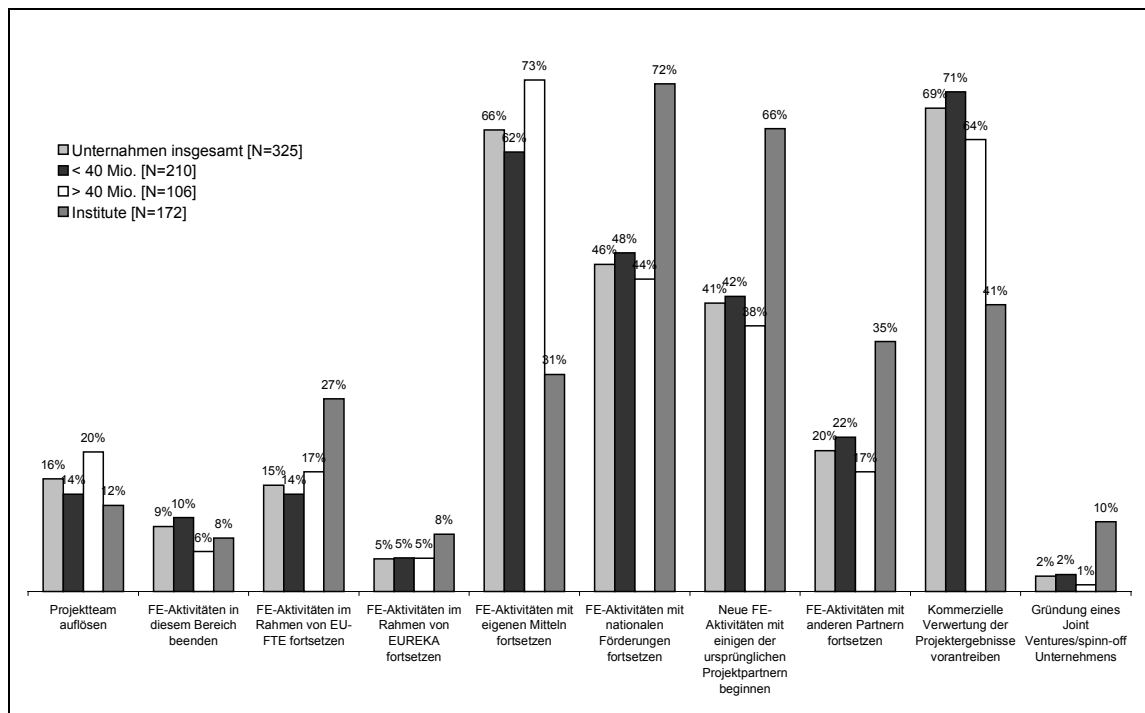
Die Bedeutung des Programms für die deutsche MST-Landschaft bestätigt sich auch, wenn man den Finanzierungsaspekt in den Vordergrund rückt. Gerade für die wissenschaftlichen Einrichtungen ist das Programm zu einer wichtigen Finanzierungsquelle geworden.

So gaben knapp die Hälfte (49%) der am Programm teilnehmenden Universitätsinstitute an, dass der externe Finanzierungsanteil der MST-Förderung an MST-bezogenen Projektvorhaben über 50 % lag. Erwartungsgemäß ist dieser Anteil bei den stärker industrieorientierten Fraunhoferinstituten und den gewerblichen Instituten geringer. Immerhin lag er aber auch bei den Fraunhoferinstituten noch bei 32%.

Die in diesem Abschnitt präsentierten Ergebnisse belegen zumindest auf einer qualitativen Ebene<sup>33</sup> die Bedeutung der MST-Förderung als treibende Kraft zum Auf- und Ausbau von FuE-Kompetenz im Bereich Mikrosystemtechnik. Investitionen wurden in diesem Bereich über die durch das Programm direkt bereitgestellten Mittel und zusätzlich über die Eigenkostenanteile der Unternehmen hinaus getätigt.

Technologieförderprogramme sind keine Dauereinrichtungen. Sie haben vielmehr eine Impuls- und Anschubfunktion. Eines der Ziele in diesem Zusammenhang ist es, Innovationsaktivitäten in einem bestimmten Technologiefeld langfristig, also über die reine Dauer des Programms hinaus, anzuregen. Auf der Ebene der Programmteilnehmer stellt sich dabei die Frage, was nach Beendigung der Teilnahme in dem Themenbereich weiter passieren wird. Die Ergebnisse der entsprechenden Fragen in der durchgeführten Primärerhebung sind in Abbildung 2.12 zusammengefasst.

Abbildung 2.12: Pläne nach Projektende (Mehrfachnennungen möglich)



Quelle: Eigene Fragebogenerhebung

<sup>33</sup> Ein quantitative Abschätzung des Finanzierungsanteils der MST-Förderung an allen MST-Aufwendungen ist im Rahmen dieser Betrachtung nicht möglich.

Drei Botschaften können aus den dargestellten Ergebnissen abgeleitet werden:

- Die überwiegende Mehrheit der Programmteilnehmer wird auch nach Abschluss des/der geförderten Projekte/s die FuE-Aktivitäten im Bereich Mikrosystemtechnik fortsetzen. Nur 9% der teilnehmenden Unternehmen und 8% der wissenschaftlichen Einrichtungen signalisierten den Ausstieg aus dem Themenbereich.
- Die deutlich Mehrheit der Unternehmen zeigt sich engagiert, das Thema nach Projektende selbständig weiterzutragen und dies sowohl durch den Einsatz eigener Mittel für künftige FuE-Aktivitäten als auch durch das Vorantreiben der kommerziellen Verwertung der Projektergebnisse.
- Die durch das Programm entstandenen Kooperationen bleiben weitgehend bestehen. Nur 20% der Unternehmen gaben an, mit anderen Partnern, die im Rahmen des Programms verfolgten FuE-Aktivitäten fortzusetzen. 41% der Unternehmen und 66% der wissenschaftlichen Einrichtungen werden zumindest mit einigen der ursprünglichen Projektpartner weiterarbeiten bzw. neue Aktivitäten beginnen.

Neben diesen drei Kernaussagen sind aus den Ergebnissen zwei Einzelpunkte bemerkenswert. Zunächst ist auf die doch relativ geringe Bedeutung von internationalen Forschungsförderungen hinzuweisen. Nur 15% der Unternehmen beabsichtigt, sich im Bereich Mikrosystemtechnik an den EU-Rahmenprogrammen für FTE zu beteiligen. Allerdings liegt der entsprechende Anteil bei wissenschaftlichen Einrichtungen immerhin bei 27%. Offensichtlich, und dies deckt sich mit den Ergebnissen aus verschiedenen nationalen Impact-Studien zu den EU-Rahmenprogrammen, ist der Einstieg in und die Pflege von internationalen FuE-Netzwerken nach wie vor eine Domäne der wissenschaftlichen Einrichtungen. Schließlich fallen die 10% der wissenschaftlichen Einrichtungen ins Auge, für welche die Teilnahme an der MST-Förderung in der Gründung von Joint Ventures oder von spin-off Unternehmen mündet. Wenn dahinter auch eine relativ kleine Gruppe (18 Einrichtungen) steht, ist dies doch ein starkes Zeichen von Optimismus.

Den Abschnitt zusammenfassend können die folgenden Punkte festgehalten werden:

- Die MST-Förderung hat maßgeblichen Anteil am Aufbau von FuE-Kompetenzen in der Mikrosystemtechnik in Deutschland. Die durch das Förderprogramm bewilligten Mittel haben den Einsatz substantieller privater Ressourcen mitausgelöst. Insbesondere für das Engagement der wissenschaftlichen Einrichtungen in der Weiterentwicklung der Mikrosystemtechnik ist die MST-Förderung zu einer zentralen Finanzierungsquelle geworden.
- Die Diffusion der Mikrosystemtechnik auf der Akteursebene ist durch die MST-Förderung maßgeblich beschleunigt worden. 44% der Programmteilnehmer sind Neueinsteiger.
- Rückblickend hat das Programm den Einstieg in die MST und den Aufbau von substantiellen FuE-Kompetenzen in Deutschland begleitet und unterstützt.

## 2.6.2 Projektergebnisse (Outputs)

Nachdem wir im vorigen Kapitel den durch die MST-Förderung initiierten und getragenen Aufbau von FuE-Kapazität beschrieben haben, kommen wir in den folgenden Abschnitten zu den im Rahmen der geförderten Projekte erarbeiteten Ergebnisse und deren mittelbarem und unmittelbarem Impact.

Die Frage nach den tatsächlich realisierten Projektergebnissen hängt natürlich stark vom Erhebungszeitpunkt ab. Zur Berücksichtigung der Zeitverzögerung haben wir die in der Fragebogenerhebung berücksichtigten Projekte nach dem Zeitraum der geplanten Projektabschlüsse<sup>34</sup> kategorisiert. So haben beispielsweise 96% der Projekte<sup>35</sup>, die zwischen 1992 und 1994 abgeschlossen wurden, bereits Prototypen hervorgebracht.

Insgesamt weisen die Anteile der antwortenden Programmteilnehmer, die die aus ihrer Sicht wichtigen Projektergebnisse bereits erreicht haben, auf einen hohen Umsetzungsgrad des Programms hin.

---

<sup>34</sup> Die Zuordnung des Projektabschlussdatums ist über die Verknüpfung der eingelangten Fragebögen mit der vom Programmträger bereitgestellten Förderdatenbank des Projektträgers erfolgt.

<sup>35</sup> Die Angaben im Folgenden beziehen sich auf die Teilprojekte des einzelnen Teilnehmers.

Erwartungsgemäß ist der Umsetzungsstand bei Prototypen und Publikationen am weitesten fortgeschritten. Die überwiegende Mehrheit der Programmteilnehmer hat hier das angestrebte Ergebnis bereits erreicht. Ähnlich ist die Lage beim Ergebnistyp „Patente“. Die Mehrheit derer, die Patente als ein „wichtiges“ oder „sehr wichtiges“ Ergebnis eingestuft haben, haben dies bereits erreicht.

Ein relativ hoher Umsetzungsstand ist außerdem bei „neuen oder verbesserten Verfahren“ bzw. „verbesserten Produktionstechnologien“ zu verzeichnen. Beide Ergebnistypen zielen auf Prozessinnovationen. Vergleicht man den Umsetzungsstand dieser in diesen beiden Kategorien mit jenen, die auf Produktinnovationen abstellen („neue“ oder „verbesserte“ Produkte), dann wird sichtbar, dass die Entwicklungszeiträume im Prozessbereich kürzer sind als im Produktbereich. Der ökonomische Nutzen aus den geförderten MST-Projekten zeigt sich früher, wo es um neue oder verbesserte Produktionstechnologien oder Verfahren geht.

Dennoch ist auch die Bilanz der „marktnahen“ oder ökonomisch unmittelbar verwertbaren Projektergebnisse beachtlich. Von den in der durchgeführten Fragebogenerhebung erfassten Projekten haben immerhin bereits 62% (133 von 215) zu Patenten und 32% (88 von 279) zu neuen Produkten geführt. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass die Entwicklung von fertigen Produkten aufgrund der Natur von FuE-orientierten Förderprogrammen niemals ein direkter Output eines Förderprojekts sein kann, sondern aus den während des Projekts entwickelten Prototypen resultiert.

Zum wirtschaftlich unmittelbar wirksamen Projektoutput sind auch die im Rahmen der Projekte erarbeiteten Prozessinnovationen zu sehen. 113 Projekte von 225 (also 50%) haben verbesserte Produktionstechnologien hervorgebracht, 139 verbesserte Verfahren (von insgesamt 263 Projekten) wurden registriert.

Mangels entsprechender Daten aus vergleichbaren Programmen bleibt eine Einschätzung der Effektivität des Programms hinsichtlich der produzierten Projektergebnisse natürlich problematisch. Aber auch ohne unmittelbaren Vergleich ist allein die Tatsache, dass von den 279 in diese Analyse einbezogenen Projekten 88 (immerhin 32 %) tatsächlich zu neuen Produkten geführt haben, ein beachtliches Ergebnis.

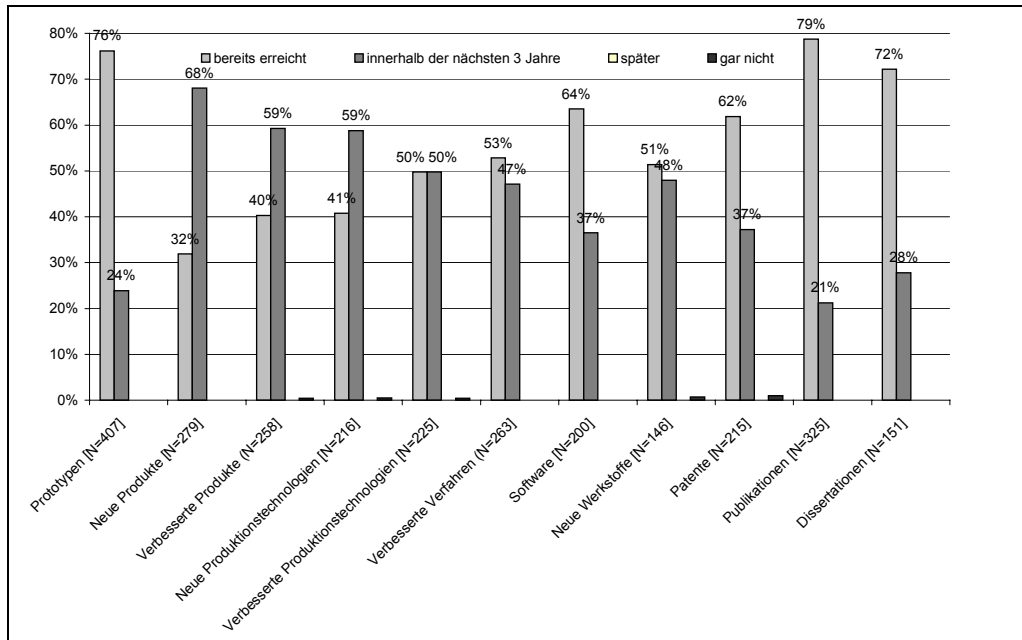
Am dargestellten Umsetzungsstand ist bemerkenswert, dass Projekte in der ersten Abschlussphase (1992-1994) nicht zwingend in der Umsetzung weiter fortgeschritten sind als Projekte, die erst zu einem späteren Zeitpunkt abgeschlossen wurden. Besonders augenfällig ist dies in der Kategorie „neue Produkte“. Während 38% der Projekte, die zwischen 1992 und 1994 abgeschlossen wurden, mittlerweile zu neuen Produkten geföhrt

haben, trifft dies bereits auf 57% der Projekte zu, die erst in der Folgeperiode (1995 –97) zum Abschluss gebracht worden sind. Dieser Befund kann die in der Programmzielsetzung verstärkte Anwendungsorientierung bestätigen, die insbesondere von der ersten zur zweiten Programmphase forciert wurde. Einer anderen Erklärung kommt man bei Betrachtung des Diffusionsprozesses der MST auf die Spur. Danach ist für den Befund relevant, dass die Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen, die das Thema früh aufgegriffen haben, Grundlagen erarbeiteten, auf welche die Teilnehmer der späteren Förderphasen aufbauen konnten (vgl. Abschnitt 3).

Der in Abbildung 2.13 gezeigte Umsetzungsstand ist eine Momentaufnahme. Vieles an wichtigen Projektergebnissen wird erst in Zukunft realisiert werden. Um eine Vorstellung über die noch ausstehenden Ergebnisse zu erhalten, wurden die Programmteilnehmer auch danach befragt, welche Projektergebnisse in Zukunft – „innerhalb der nächsten 3 Jahre“, „später“ - oder „gar nicht“ erreicht werden.

Der Interpretation der Ergebnisse sind zunächst zwei generelle Einschränkungen vorzuschicken: (i) Derartige Befragungen neigen systematisch zu einer Verzerrung in Richtung erfolgreicher und optimistischer Teilnehmer. Dies gilt insbesondere, wenn die Untersuchung unter dem Schlagwort „Evaluation“ durchgeführt wird. (ii) Das Ausmaß und die Qualität der Zielerreichung in den einzelnen Ergebnistypen kann stark variieren. Letztendlich sind Aussagen über den ökonomischen Wert der erzielten Projektergebnisse zu diesem Zeitpunkt auch von den Teilnehmern nicht wirklich leistbar. Am Ende wird diese Bewertung vom Markt durchgeführt. Für den überwiegenden Teil der Projekte steht diese Bewertung noch aus.

Abbildung 2.13: Stand der Projektumsetzung: in % der wichtigen Projektergebnisse



Quelle: Eigene Fragebogenerhebung.

Trotz dieser grundsätzlichen Einschränkungen lassen sich Aussagen über den bisherigen und erwarteten Umsetzungserfolg ableiten. Als erstes fällt auf, dass von den als wichtig erachteten Projektergebnissen nahezu alle binnen drei Jahren als erreichbar eingeschätzt werden. Die Antwortmöglichkeiten „später“ bzw. „gar nicht“ sind bis auf wenige Ausnahmen nicht besetzt. Wir nehmen das als Indiz dafür, dass FuE-Projekte in der Regel um Ergebnisse organisiert werden, die innerhalb weniger Jahre erreichbar sind. Innovationsvorhaben werden in zumindest halbwegs planbaren Etappen durchgeführt. Projektergebnisse wie sie im Rahmen dieser Untersuchung abgefragt wurden, stehen gewissermaßen für den Abschluss von Entwicklungsetappen. Vor diesem Hintergrund spiegelt das gezeigte Ergebnis den auf eine Etappe begrenzten Planungshorizont der Programmteilnehmer wieder.

Abbildung 2.13 zeigt also, dass die als wichtig eingestuftes Projektergebnisse entweder bereits erreicht oder innerhalb der kommenden drei Jahre voraussichtlich erreicht werden. Dies gilt insbesondere für die Entwicklung von Prototypen: Von den 407 Teilnehmern, welche die Entwicklung von Prototypen als wichtiges oder sehr wichtiges Ergebnis eingestuft haben, gaben 76% (310) an, dass dies bereits erreicht worden ist.

Anders verhält es sich bei den unmittelbar ökonomisch relevanten Ergebnissen. Neue oder verbesserte Produkte und Produktionstechnologien sind für die Mehrheit der Antwortenden noch nicht realisiert. Es ist anzunehmen, dass diese Projektergebnisse nicht im Rahmen von geförderten Projekten erzielbar sind, sondern in der Regel erst in weiterführenden Arbeiten hervorgebracht werden. Insgesamt weisen die in Abbildung 2.13 dargestellten Ergebnisse darauf hin, dass die breite kommerzielle Verwertung der Projektergebnisse noch bevorsteht. So gaben 68% der Befragten an, dass die angestrebte Entwicklung neuer Produkte innerhalb der kommenden drei Jahre realisiert wird.

Zusammenfassend haben die in diesem Abschnitt präsentierten Ergebnisse die Outputorientierung der MST-Förderung unterstrichen. Die bisher durchgeführten Projekte haben in einem hohem Ausmaß die angestrebten Ergebnisse erreicht oder werden dies in den kommenden Jahren tun. Insbesondere der angestrebte wissenschaftliche Output (Publikationen und Dissertationen) konnte zum überwiegenden Teil bereits realisiert werden. Zum jetzigen Zeitpunkt hat die MST-Förderung substantiell dazu beigetragen, die Produktpipeline deutscher Mikrosystemanbieter aufzufüllen.

### 2.6.3 Kommerzielle Umsetzung der Projektergebnisse (Outcomes)

Die unmittelbaren Projektergebnisse sind die erste Stufe der Programmwirkung. Der folgende Abschnitt geht einen Schritt weiter. Es wird der Stand der kommerziellen Umsetzung der Projektergebnisse sowie die mittlerweile erzielten Umsatzzuwächse analysiert.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass die kommerzielle Verwertung, wie sie in den folgenden Ausführungen beschrieben wird, nicht das volle kommerzielle Potenzial der im Rahmen der MST-Förderung erarbeiteten Projektergebnisse abbildet. Die Analyse der kommerziellen Verwertung stellt ausschließlich auf neue oder verbesserte Produkte ab, also auf Ergebnisse, die auf den Markt gebracht werden. Nicht berücksichtigt bleiben neue oder verbesserte Produktionstechnologien, die sehr wohl ökonomisch wichtig, allerdings ungleich schwieriger quantifizierbar sind. In diesem Sinne geht es im folgenden Abschnitt ausschließlich um die Entwicklung des MST-Marktes.

Der Stand der kommerziellen Verwertung der Projektergebnisse wurde in der durchgeführten Primärerhebung explizit abgefragt<sup>36</sup>. 27 % der Unternehmen, die diese Frage beantwortet haben (86 von 316), haben mit der kommerziellen Verwertung bereits begonnen<sup>37</sup>. Erwartungsgemäß rekrutiert sich diese Gruppe vorwiegend aus den Unternehmen, die im Rahmen des geförderten Projektes bereits neue oder verbesserte Produkte realisieren konnten.

Abbildung 2.14 dokumentiert den Stand der kommerziellen Umsetzung. Ausgangsbasis ist das Vorliegen unmittelbarer Projektergebnisse in Form von neuen oder verbesserten Produkten. Die Mehrzahl der Unternehmen (275 von 316 antwortenden Unternehmen) gaben an, dass neue oder verbesserte Produkte zum Erhebungszeitpunkt (September 2001) bereits vorlagen. Davon haben 27 % (N=86) bereits mit der kommerziellen Verwertung begonnen. 189 Unternehmen, die im Rahmen der Programmteilnahme bereits neue oder verbesserte Produkte

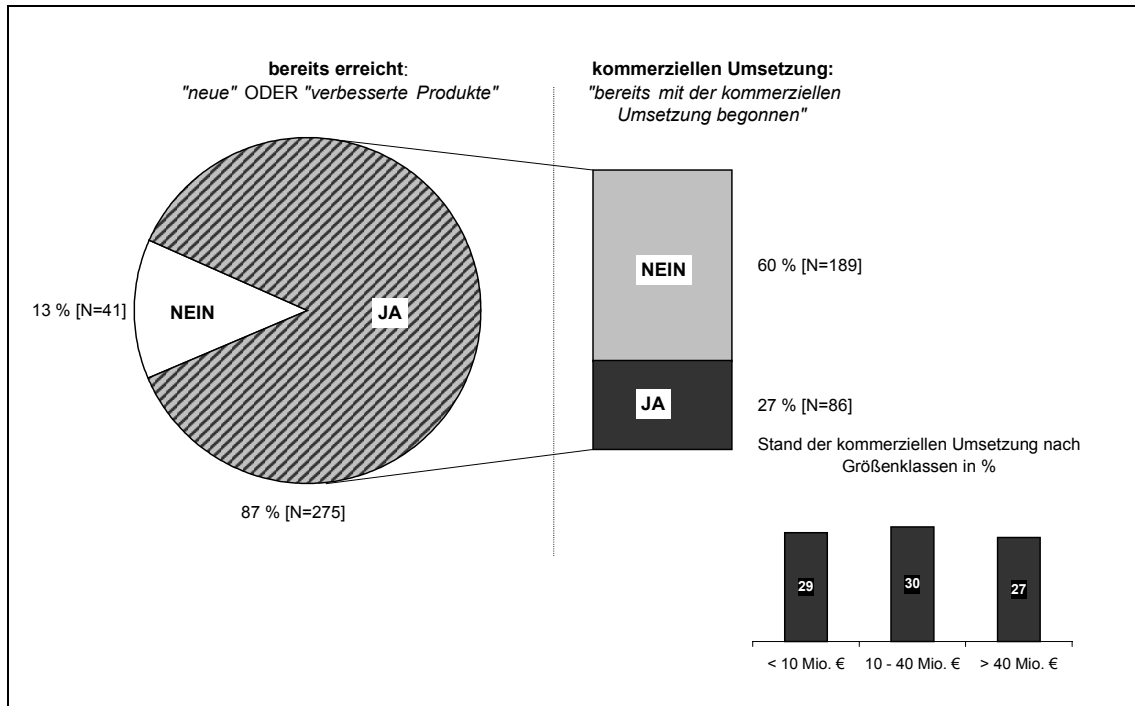
---

<sup>36</sup> Der im Rahmen dieser Untersuchung entwickelte Fragebogen hat den Stand der kommerziellen Umsetzung in drei Kategorien gefasst (siehe Fragebogen Frage 24): (i) "wir haben noch keine kommerziellen Verwertungsszenarien entwickelt", (ii) "wir haben bereits mit der kommerziellen Verwertung begonnen" sowie (iii) "wir haben konkrete Szenarien für die künftige Verwertung entwickelt". Mehrfachantworten waren möglich. Die Untergliederung der zweiten Antwortmöglichkeit – „wir haben bereits mit der kommerziellen Verwertung begonnen“ – spezifiziert, ob bereits erste Umsatzerlöse realisiert werden konnten. Die dritte Antwortmöglichkeit – „ wir haben konkrete Szenarien für die künftige Verwertung entwickelt“ – fragt konkrete Ergebnisse von durchgeführten Marktanalysen ab. Das Vorliegen konkreter Vermarktungsszenarien bleibt bis zu einem bestimmten Ausmaß eine Frage der individuellen Interpretation. Aus diesem Grund beschränken wir in diesem Untersuchungsrahmen unsere Analyse ausschließlich auf die Gruppe der Unternehmen, die bereits mit der kommerziellen Verwertung begonnen hat.

<sup>37</sup> Kommerzielle Verwertung bezieht sich dabei in unserer Erhebung eindeutig auf die Realisierung erster Umsätze aus den Projektergebnissen.

entwickeln konnten, haben nicht mit der kommerziellen Umsetzung begonnen. Der Stand der kommerziellen Umsetzung korreliert nicht signifikant mit der Unternehmensgröße.

Abbildung 2.14: Stand der kommerziellen Umsetzung



Quelle: Eigene Fragebogenerhebung

Die Frage nach der kommerziellen Verwertung der Projektergebnisse bezieht sich auf das Vorliegen erster Umsatzerlöse aus den im Rahmen des geförderten Projekts neu entwickelten oder verbesserten Produkten. Als relevante Einflussgröße zu nennen ist die Zeit, die zwischen Projektende und Markteinführung liegt. Bemerkenswert ist, dass die Mehrheit der Projekte (65 %), aus denen bereits erste Umsatzerlöse resultieren, nach 1997 abgeschlossen worden sind. Die Hypothese, dass vor allem Teilnehmer aus den ersten Programmphasen bereits tiefer in die kommerzielle Umsetzung eingestiegen sind, kann damit nicht bestätigt werden. Erklären lässt sich dieser Befund dadurch, dass die Markteinführung von MST-Produkten weniger eine Frage des absoluten Zeitraums für die Umsetzung der Entwicklungsergebnisse in ein Produkt als vielmehr eine Frage der Marktreife und spezifischen Nachfragebedingungen in einzelnen Anwendungsfeldern ist (vgl. Kapitel 3).

Insgesamt überrascht an den präsentierten Ergebnissen doch der im Vergleich zu ähnlichen Förderprogrammen (siehe z.B. das Finnische Energieprogramm 1993-1998) hohe Anteil der Unternehmen, die noch keine Umsätze aus den Projektergeb-

nissen realisieren konnten, obwohl bereits neue oder verbesserte Produkte vorliegen. Dies ist zunächst ein Indiz für die Unabwägbarkeiten in der Markteinführungsphase von neuen Produkten. Dies ist typisch für neue Technologiefelder die auf der Anwendungsseite noch stark von Pionierkunden abhängen.

Eine für die Abschätzung von Programmwirkungen interessante Frage ist jene nach den Entwicklungszeiten. Bei der Hälfte der antwortenden Unternehmen, die Angaben über den Zeitpunkt der ersten Umsätze aus den Projektergebnissen gemacht haben (N=78), vergehen mehr als 4 Jahre vom Beginn des geförderten MST-Projektes bis zur Realisierung der ersten Umsätze. Die Bandbreite reicht von 1 Jahr bis zu 9 Jahren. In Anbetracht der Tatsache, dass die Mehrheit der Respondenten noch keine Umsätze mit den in der MST-Förderung erarbeiteten Ergebnissen erzielt haben, relativiert die Aussagekraft der angeführten Entwicklungszeiträume.

Es ist anzunehmen, dass die hier berücksichtigten Antworten das Drittel jener repräsentiert, die relativ schnell den Weg in die kommerzielle Verwertung gefunden haben. Vor diesem Hintergrund gelten die 4 Jahre (Median der Entwicklungszeiten) als erste und optimistische Abschätzung. In der Praxis liegen die Entwicklungszeiten deutlich über den 4 Jahren, wie sich auch in der Diffusionsanalyse (vgl. Kapitel 3) zeigt.

Von den 86 Teilnehmern, die neu entwickelte oder verbesserte Produkte erarbeiteten und die bereits mit der kommerziellen Verwertung der Projektergebnisse begonnen haben, haben 48 Angaben über die im abgeschlossenen Geschäftsjahr gemachten Umsätze gemacht. Im Durchschnitt sind die von Großunternehmen erzielten Umsätze mit 2,9 Mio. € doppelt so groß wie jene der Klein- und Mittelbetriebe (1,4 Mio. €).

Nach nunmehr 10 Jahren MST-Förderung haben knapp 30 % der am Programm teilnehmenden Unternehmen, die neu entwickelte oder verbesserte Produkte erarbeiteten, bereits mit der kommerziellen Verwertung der Projektergebnisse begonnen.

Damit steht für die Mehrzahl der Programtteilnehmer mit neu entwickelten oder verbesserten Produkten die kommerzielle Umsetzung noch bevor. Im Kapitel 3.3 wird im Rahmen der Diskussion der Diffusionsdynamik der MST in Deutschland untersucht, welche Einflussfaktoren zu diesem Ergebnis geführt haben.

#### **2.6.4 Wirkung auf die Teilnehmerorganisation**

Die durch das Programm ausgelösten Wirkungen auf die Programmteilnehmer sind nur schwer objektiv messbar. Das Problem der Zurechenbarkeit der Unternehmensperformance (allgemeine Wettbewerbsfähigkeit, technologische Kompetenz) zur Teilnahme an Technologieförderprogrammen ist, wie bereits ausgeführt (siehe Abschnitt 2.3), problematisch. Methodisch lässt sich diese Schwierigkeit zumindest für Förderprogramme in sehr eng abgegrenzten Technologiefeldern durch Kontrollgruppenansätze einigermaßen fassen. Bei einer derart jungen und vielschichtigen Querschnittsmaterie wie der Mikrosystemtechnik ist dieser Weg nicht gangbar. Vor diesem Hintergrund sind wir in der folgenden Analyse auf subjektive Einschätzungen der teilnehmenden Unternehmen angewiesen.

Für die Mehrheit der Unternehmen hat sich die Programmteilnahme letztendlich deutlich positiv auf die allgemeine Wettbewerbsfähigkeit ausgewirkt. Die Ergebnisse legen nahe, dass die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit in erster Linie über den internen Kompetenzaufbau zustande kommt, der seinerseits für die Mehrheit der Unternehmen durch das Programm positiv beeinflusst wurde.

Eine spürbare Wirkung des Programms auf die Beschäftigung ("Einstellung neuer Mitarbeiter") sah rund ein Drittel (34%) der antwortenden Unternehmen. Interessanterweise gibt es hier signifikante Unterschiede zwischen den Unternehmensgrößen. Für kleine und mittlere Unternehmen sind von der Programmteilnahme stärkere Beschäftigungsimpulse ausgegangen als für große Unternehmen. Immerhin 44% der kleinen Unternehmen (< 10 Mio. €) haben der Programmteilnahme eine große bzw. sehr große Wirkung auf die Einstellung neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zugemessen. Dies ist plausibel als mit der Unternehmensgröße auch der vorhandene Pool an qualifizierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, der zur Bearbeitung neuer Themen eingesetzt werden kann, steigt. Kleine Unternehmen können den Einstieg in neue Technologiefelder vielfach nur über die Einstellung neuer qualifizierter Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter organisieren.

Die Möglichkeit, dass durch den Einsatz von Mikrosystemtechnologien etwaige Rationalisierungsschritte und die damit verbundene Reduktion des Beschäftigungsstandes eingeleitet werden könnten, wird nur in Einzelfällen gesehen.

Eine weitere Dimension der Programmwirkung betrifft die Beeinflussung der Unternehmensstrategie. Inwieweit neue Technologien die Marktdynamik und damit die Unternehmensstrategien grundlegend verändern können, zeigt sich nicht zuletzt an den beiden Beispielen Informationstechnologie und Biotechnologie. Beide haben zum Markteintritt neuer Unternehmen geführt und die strategische Ausrichtung etablierter nachhaltig verändert. Im Fall Mikrosystemtechnik sieht, zumindest auf die Teilnahme am Förderprogramm bezogen, nur eine Minderheit Konsequenzen für die eigene strategische Ausrichtung oder, noch konkreter, die Organisation des Unternehmens. Ähnlich wie für die Beschäftigung, sehen kleine Unternehmen grundsätzlich größere Auswirkungen des Programms auf die Unternehmensstrategie.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die MST-Förderung der interne Kompetenzaufbau und in weiterer Folge die Wettbewerbsfähigkeit der MST-Hersteller und Anwender auch im Bereich der KMU spürbar unterstützt wurde.



### **3. Stand der Mikrosystemtechnik in der deutschen Wirtschaft und Diffusionshemmnisse**

#### **3.1 Ziel und Vorgehen der Untersuchung**

##### **MST: ein branchen- und disziplinenübergreifendes Innovationsfeld**

Die schon im Ansatz des Förderprogramms Mikrosystemtechnik erkennbaren Schwierigkeiten zur Definition und Abgrenzung der MST gegenüber Einzeltechnologien wirken sich unmittelbar auf die Möglichkeiten zur Analyse des gegenwärtigen Stands der Anwendung von Mikrosystemtechnik (MST) in Deutschland aus. Die Abgrenzungskriterien, die sich etwa für die Beurteilung der Wirksamkeit des Programms (Zahl, Thematik und wirtschaftliche Bedeutung der bisher geförderten Projekte) anbieten, sind für die **Analyse der Diffusion der MST** in der Wirtschaft wenig aussagekräftig: Der mit dem Förderprogramm angestrebte Innovations- und Beschäftigungserfolg bezieht sich nach den oben genannten Zielen des Programms nicht nur auf Innovations- und Beschäftigungseffekte in den effektiv geförderten Unternehmen. Die darüber hinaus intendierte Beseitigung von Innovationshemmnissen, die Schließung technischer Lücken und die Schaffung bzw. Erhaltung von Arbeitsplätzen in für Deutschland besonders wichtigen und wachstumsintensiven Wirtschaftszweigen geht deutlich über den geförderten Bereich im engeren Sinne hinaus.

##### **Praktische Anwendung von MST als wichtiges Kriterium für die Diffusion der MST**

Über den Stand der Anwendung und die Diffusion der MST in Deutschland lässt sich nur etwas aussagen, wenn es gelingt, neben den geförderten auch die nicht-geförderten Unternehmen in das Blickfeld der Analyse einzubeziehen. Diese nutzen gegenwärtig Ergebnisse der MST-Forschung entweder für die Herstellung von Mikrosystemen bzw. von entsprechenden Systemkomponenten (Hersteller) oder verwenden diese, um mit ihrer Hilfe die eigenen Produkte markt- und kundengerecht weiter zu entwickeln (Integratoren).

Ein wichtiges Entscheidungskriterium zur Beurteilung des Stands der Diffusion ist die Frage, ob und inwieweit Mikrosysteme bzw. entsprechende Komponenten und damit ausgestattete Produkte bereits zu **konkreten Umsätzen** geführt haben bzw. in absehbarer Zeit führen werden. Der Umsatz kann jedoch in **ganz unterschiedlichen Erscheinungsformen** auftreten:

- Mikrosysteme oder entsprechende Komponenten ersetzen die bisher verwendeten Elemente oder Systeme auf Grund geeigneterer Leistungsmerkmale. So wurde z.B. im Fahrzeug ein mechanischer Airbagauslösesensor aus vielen Einzelteilen durch einen hochintegrierten Si-basierten Sensor ersetzt.
- Durch die zusätzliche Ausstattung von bestehenden Produkten mit Mikrosystemen oder entsprechenden Komponenten lässt sich die Funktionalität des bisherigen Produkts erweitern oder verbessern. Beispielsweise ist die automatische Überwachung des Werkzeugzustands von Werkzeugmaschinen auf Mikrosysteme angewiesen.
- Die Anwendung von Mikrosystemen oder entsprechenden Komponenten erlaubt die Verkleinerung, Verselbständigung und Verbilligung von Modulen oder Teilsystemen, wie dies z.B. zur Voraussetzung für den Aufbau der Mobilfunknetze geworden ist.
- Der Bau kleiner und kleinster Systeme erlaubt die Entwicklung von eigenständigen und dezentral vielfältig einsetzbaren Endprodukten, woran beispielsweise in der Medizintechnik für die zielgerichtetere Dosierung von Medikamenten oder eine dezentrale Diagnostik gearbeitet wird.

Bereits diese Beispiele machen die **Vielfalt der für die Diffusion der MST potenziell relevanten Märkte** deutlich. Sie ist Folge der unterschiedlichen technischen Entwicklungs- und Anwendungsfelder und wird zusätzlich gesteigert durch die Vielfalt der unterschiedlichen Innovationsbedingungen und Marktbeziehungen, unter denen Unternehmen als Hersteller und Anwender sowie deren Kunden in häufig mehrgliedrigen Wertschöpfungsketten über Produktion und Kauf von Mikrosystemen bzw. mikrosystemhaltigen Produkten entscheiden.

### **Bei der Diffusion der MST handelt es sich um unterschiedliche, sich zeitlich überlagernde Diffusionsprozesse**

Die Vielfalt der mit MST potenziell zusammenhängenden Umsätze lässt die **Durchführung einer Diffusionsanalyse, wie sie in der Konsummarktforschung geläufig ist, problematisch erscheinen**. Die bereits in der Einleitung zum Ausdruck kommende Offenheit oder Anwendungspotenziale von MST erschwert jede dafür unverzichtbare Abgrenzung. Herkömmliche Diffusionsuntersuchungen stellen zu einem bestimmten Zeitpunkt und für eine möglichst eindeutig definierte Anwendungsform die Zahl der potenziellen Anwender bzw. Nachfrager derjenigen der tatsächlichen Nutzer bzw. Käufer gegenüber. Aus dieser Relation lässt sich ein Diffusionsgrad errechnen. Er drückt den prozentualen Anteil aus, mit dem das jeweilige Produkt den bestehenden Markt durchdrungen hat.

Eine solche Betrachtung lässt sich für einzelne Produkte durchführen, wie dies die Marktanalysen in der Nexus-Studie für eindeutig definierte bzw. abgrenzbare Produkte versuchen. Diese Voraussetzung ist bei der Breite der tatsächlichen und potenziellen MST-Anwendungen nicht gegeben. Wir haben es bei der MST **mit unterschiedlichen und sich zeitlich überlagernden Diffusionsprozessen zu tun haben**. Diese Ausgangsthesen werden in der Diffusionsstudie überprüft.

### **Statt Aussagen zum Diffusionsgrad zu formulieren, wird die Dynamik der Diffusion beschrieben**

Vor diesem Hintergrund wurde zunächst die Diffusion der MST auf Branchenebene bzw. auf der Ebene von Anwendungsfeldern analysiert. Dem lag die Annahme zu Grunde, dass es im wesentlichen Branchenspezifika sind, die zu unterschiedlichen Diffusionsmustern führen.<sup>38</sup> Im Laufe der Arbeiten erwies sich dieser Analyseansatz jedoch als nicht gangbar: aufgrund der im Laufe der Erhebungen deutlich gewordenen parallelen Orientierung der MST-Hersteller an unterschiedlichen Anwendungsfeldern war die Eingrenzung auf eine branchenbezogene Betrachtung nicht mehr vertretbar. Auch sie scheiterte an der Vielfalt und Mehrfachverwendbarkeit der MST in unterschiedlichen Kontexten, ihrem stark ausgeprägten Querschnittscharakter.

---

<sup>38</sup> Einen ähnlichen Ansatz verfolgte auch die Untersuchung von Bierhals et al.: Mikrosystemtechnik- Wann kommt der Marktdurchbruch? Schriften-Reihe Technik, Wirtschaft und Politik. Seite 133. Heidelberg 2000

Um dennoch Aussagen über die Diffusionsprozesse der MST und ihre Bedeutung für die deutsche Wirtschaft machen zu können, mussten andere Wege beschritten werden, die dem Querschnittscharakter der MST entsprachen.

Statt auf Aussagen zu einem Diffusionsgrad abzielen, wurden Indikatoren erarbeitet, die die Entwicklung in den Anwendungsfeldern der MST sowie bei den Entwicklern und Herstellern von MST beschreiben. Mit diesen Indikatoren erhält man Auskunft über die Veränderungen des Umsatzes bei den Akteuren oder über die gegenwärtig noch bestehenden Differenzen zwischen Erwartungen der Unternehmen und tatsächlichen Entwicklungen sowie über die Struktur des Diffusionsprozesses in einem bestimmten Anwendungsfeld. Aussagen zum letztgenannten Punkt basieren auf den Angaben der Unternehmen über die Ursachen solcher Differenzen bzw. die Schwierigkeiten oder Erfolgsbedingungen für die Diffusion einzelner MST-Anwendungen.

Im Ergebnis gewinnt man dadurch zusätzliche Erkenntnisse über die Faktoren, die für die Diffusion der MST in Deutschland besonders kritisch sind. Zwar ist die Bedeutung dieser Faktoren und ihr konkretes Gewicht von der unterschiedlichen Situation in den einzelnen Branchen und Anwendungsfeldern abhängig. Sie erlauben aber doch Rückschlüsse auf den Stand oder besser die Wahrscheinlichkeit einer mehr oder weniger schnellen Diffusion der MST in unterschiedlichen Anwendungsbereichen.

Mit dem erhobenen empirischen Material wurden die folgenden Fragen beantwortet:

- Wer sind die Akteure, die MST herstellen oder anwenden? Welche Motive stehen hinter ihrem Engagement? Seit wann führen sie mit der MST in Zusammenhang stehende Aktivitäten durch? In welcher Form sind die Akteure in Netzwerken eingebunden?
- Welchen wirtschaftlichen Erfolg haben insbesondere die Unternehmen mit ihren MST-Aktivitäten? Wie entwickelt sich die Bedeutung der MST-bezogenen Umsätze?
- Wie dynamisch ist die Diffusion? Inwiefern wurden die Erwartungen der Unternehmen bezüglich ihres MST-Engagements erfüllt oder enttäuscht? Was fördert, was hemmt die weitere Verbreitung der MST?

## **Bestimmung der Bedeutung der MST für die deutsche Wirtschaft auf Basis der Produktionsstatistik**

Ferner wurde die volkswirtschaftliche Bedeutung der MST für die deutsche Wirtschaft untersucht. Sie lässt sich unter anderem an der MST-bezogenen Wertschöpfung und den damit verknüpften Arbeitsplätzen erkennen. Um Aussagen über diese Indikatoren treffen zu können, lassen sich die tatsächlichen Produktions- und Kaufentscheidungen auswerten, die ihren statistischen Niederschlag in der **amtlichen Produktionsstatistik** finden, wie sie das Statistische Bundesamt regelmäßig veröffentlicht. In ihr werden die Produktionsmengen und –werte der für den Absatz bestimmten Produkte in allen Wirtschaftszweigen und Betrieben mit in der Regel mehr als 20 Beschäftigten bundesweit erhoben.

Die Verwendung dieser Datenquelle ist jedoch für die zu beantwortende Fragestellung nicht voraussetzungslos. Die Gründe dafür hängen gleichermaßen mit den unterschiedlichen Wegen, über die Entwicklungen in der Mikrosystemtechnik Einfluss auf das wirtschaftliche Geschehen nehmen und nehmen können, so wie mit der zu Grunde gelegten Systematik der Produktionsstatistik zusammen: Viele der inzwischen realisierten Mikrosysteme bzw. deren Komponenten waren zum Zeitpunkt der Festlegung der Erhebungssystematik noch nicht auf dem Markt und konnten daher auch nicht separat erfasst werden oder sie wurden und werden mit anderen Produkten zusammengefasst ausgewiesen.

Aufgrund der genannten Einwände ist zu prüfen, inwieweit sich auf anderen Wegen Informationen generieren lassen, die belastbare Aussagen für Teilbereiche ermöglichen und darüber hinaus als Basis für die Einbeziehung der amtlichen Produktionsstatistik dienen können. Die Voraussetzung ist eine differenzierte Betrachtung der Vielzahl von Anwendungsfeldern und Produktions- bzw. Absatzbedingungen, die über die Diffusion der Erkenntnisse aus der Mikrosystemtechnik entscheiden. Dabei geht es vor allem darum, möglichst konkrete Anhaltspunkte darüber zu gewinnen,

- welches Gewicht Mikrosysteme bzw. mikrosystemhaltige Produkte an der laufenden Produktion von verschiedenen Produkten und Produktgruppen bereits haben und
- auf Grund welcher Kriterien sich nicht nur die herstellenden, sondern vor allem auch die abnehmenden Unternehmen und privaten Kunden für die Verwendung bzw. den Kauf von Mikrosystemen bzw. mikrosystemhaltigen Produkten entscheiden.

### **Aufbau des Abschnitts**

Dieser Abschnitt stellt die Ergebnisse der durchgeführten Arbeiten in den folgenden Kapiteln zusammen:

- Im anschließenden Kapitel 3.2 werden die Akteure vorgestellt. Es wird beschrieben, in welchen Branchen sie aktiv sind, welche Anwendungsfelder der MST sie bearbeiten und in welche Kooperationsstrukturen sie eingebunden sind. Ferner wird ihr Erfolg mit ihrem MST-Engagement anhand von Umsatzwachstum und dem Anteil der MST daran verdeutlicht. Insbesondere wird gezeigt, wie Erfolg und Kooperationsverhalten der Unternehmen bei der wirtschaftlichen Nutzung der MST zusammenhängen. Die Beschreibung der Erwartungen der Unternehmen an die MST leiten über zum folgenden Abschnitt.
- Das Kapitel 3.3 beschäftigt sich mit Gründen, warum die Erwartungen an die wirtschaftliche Nutzung der MST nicht immer haben erfüllt werden können. Hauptthema ist die Diffusionsdynamik und die Bedingungen der Diffusion der MST in Deutschland sowie die Betrachtung der Situation Deutschlands im Vergleich zu den USA, Japan und den Staaten der EU.
- Im Abschnitt 3.4 geht es um die Frage der Aussagefähigkeit der Erkenntnisse, die auf Grund der Befragungen zur Abschätzung der Bedeutung, die die MST mit ihren verschiedenen Komponenten für die deutsche Wirtschaft und ihre Innovationskraft hat, gewonnen wurden. Hier stehen zunächst qualitative Argumentationsketten im Vordergrund, die ihrerseits die Basis für eine grobe Abschätzung von Umsatz- und Beschäftigungseffekten liefern.

## 3.2 Akteure und Aktionen im Zusammenhang mit der Anwendung von Mikrosystemtechnik

### 3.2.1 Wissenschaftliche Einrichtungen

In Deutschland hat sich in den letzten beiden Jahrzehnten im Vergleich zu vielen anderen Ländern eine **breite Forschungs- sowie Aus- und Weiterbildungslandschaft im Zusammenhang mit MST-Entwicklungen** etablieren können. Sie wird sich auch in Zukunft getrieben durch wissenschaftliche Neugier, wirtschaftliche Erfordernisse und politische Schwerpunktsetzungen fortentwickeln. Die Beschreibung des Förderkonzepts MST 2000+ weist in diesem Zusammenhang auf mehr als 50 Universitäten und Fachhochschulen hin, die auf dem Gebiet der MST forschen und lehren.<sup>39</sup> Diese Einrichtungen erhielten in der laufenden dritten Programmphase 19 % der Zuwendungen. Sie leisten dafür wesentliche Beiträge zur Entwicklung der MST und sind vor allem in der Ausbildung der Fachkräfte engagiert. Dazu kommen noch 8 Sonderforschungsbereiche zu MST-relevanten Fragestellungen.<sup>40</sup> Betrachtet man diese Momentaufnahme, ist zu konstatieren, dass sich in Deutschland eine leistungsfähige MST-bezogene Lehr- und Forschungslandschaft im Bereich der Universitäten und Fachhochschulen herausgebildet hat, auf die die Unternehmen aufbauen können.

Außerhalb der Hochschulen haben die folgenden Einrichtungen bzw. Verbünde von Einrichtungen noch ein besonderes Gewicht im Sinne einer MST-Forschungs- und Dienstleistungsinfrastruktur:

- PMT – Programm Mikrosystemtechnik im Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)
- Fraunhofer-Verbund  $\mu$ E ( $V\mu$ E)

Diese Einrichtungen sind Kooperationspartner der Industrie in vielen im Rahmen von MST 2000+ geförderten Projekten, aber auch in sonstigen nicht im Rahmen des Förderkonzepts unterstützten Vorhaben. Ferner stellen sie aufgrund ihrer Größe ein bedeutendes Potenzial dar und arbeiten in verschiedenen Gremien wie etwa dem Gesprächskreis Mikrosystemtechnik mit, der das BMBF im Rahmen des MST-Förderkonzepts berät.

---

<sup>39</sup> Vgl. BMBF (Hg.): Förderkonzept Mikrosystemtechnik 2000+, 2000, S. 31.

<sup>40</sup> Die Sonderforschungsbereiche wurden nicht aus Mitteln der MST-Programme finanziert; vgl. ebd. S. 40

Die deutsche Forschungs- und Dienstleistungsinfrastruktur im Bereich der MST und ihre Leistungsfähigkeit ist in ihrer Gesamtheit nicht Gegenstand dieser Evaluation. Das MST-Förderkonzept des BMBF umfasst nicht die hierfür ausschlaggebende institutionelle Förderung, so dass wissenschaftliche Einrichtungen nur im Rahmen ihrer Beteiligung an der Projektförderung in diese Untersuchung einbezogen worden sind.

Für die Diffusionsanalyse ist es gleichwohl wichtig, wenigstens die oben genannten außeruniversitären Einrichtungen anhand ihrer Größe (Budget, Beschäftigtenzahl), ihrer Aktivitäten und ihrer Bedeutung für die MST-Entwicklung in Deutschland kurz vorzustellen. Die Basis dafür bilden neben einschlägigen Veröffentlichungen und vorausgegangenen Begutachtungsprozessen der Institutionen vor allem Einschätzungen, die von verschiedenen Gesprächspartnern in den Fachgesprächen formuliert wurden. Ergänzend werden anschließend einige Beobachtungen aus den schriftlichen Erhebungen bei den wissenschaftlichen Einrichtungen aufgegriffen, soweit sie für die Beurteilung der Diffusionsprozesse wichtig erscheinen.

#### **PMT – Programm Mikrosystemtechnik im Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)**

Das Programm Mikrosystemtechnik (PMT) des Forschungszentrums Karlsruhe (FZK) wurde Ende 1992 auf Beschluss des Aufsichtsrats im Rahmen der Neuorientierung der Aktivitäten des FZK (Reduzierung kerntechnischer Arbeiten und Aufbau zukunftsweisender Schlüsseltechnologien) gegründet.

Das PMT verfügt über ein Jahresbudget von ca. 30 Mio. €. Dies entspricht etwa der Hälfte der Jahresfördersumme für Verbundprojekte, wissenschaftliche Projekte sowie innovationsunterstützende Maßnahmen im Programm MST 2000+. Etwa 80 % des PMT-Budgets werden als Grundfinanzierung gewährt (im Verhältnis Bund: Land Baden-Württemberg 90:10), rund 20 % sind Drittmittel, davon stammen gut 50 % aus der Industrie.

Das PMT beschäftigt sich mit Grundlagenforschung und industrienaher Vorlauforschung mit einem längerfristigen Horizont und der kurzfristigen Umsetzung erarbeiteter Ergebnisse in marktfähige Produkte. Der Schwerpunkt liegt auf MST-Technologien, die nicht Silizium zum Aufbau der funktionstragenden Strukturen verwenden, sondern Polymere, Metalle und Keramiken.

Das PMT wurde in den Jahren 1995 und 2000 von einer vom Aufsichtsrat eingesetzten Gutachterkommission mit jeweils positivem Ergebnis evaluiert, so dass das PMT stets mit dem bisherigen Umfang, d.h. mit der bisherigen institutionellen Förderung, weitergeführt werden konnte. Weiterhin wird das PMT seit seiner Gründung von einem industriegeführten Beirat begleitet.

Der Transfer von der Forschung in die industrielle Praxis wird im PMT durch folgende Organisationen und Maßnahmen unterstützt:

- FIF "Forschungszentrum Karlsruhe IndustrieForum Mikrosystemtechnik" (1999 gegründet). Inzwischen sind 24 Firmen Mitglied im FIF, darunter auch Firmen, die nicht im Rahmen der MST-Programme gefördert wurden. Die Mitgliedsunternehmen haben neben den allgemeinen Leistungen der Netzwerkorganisation und Information auch den Anspruch auf spezifische individuelle Beratungsleistungen und zahlen 10 T€ Jahresbeitrag. FIF trifft auf Zuspruch: Seit Gründung ist die Mitgliederzahl kontinuierlich angewachsen und nähert sich dem angestrebten Endwert von ca. 25 bis 30.
- ZWM "Zentrum Werkstoffe der Mikrotechnik" (gegründet 2000). ZWM ist ein von Bund und Land über 4 1/2 Jahre sonderfinanziertes Zentrum, um die Industrie insbesondere im Bereich der MST-Materialien zu unterstützen.
- Im PMT werden zur Einwerbung von Drittmitteln pro Jahr mehr als 200 Firmenaufträge abgearbeitet.
- Neben den direkten Firmenaufträgen bearbeitet das PMT mehr als 20 % seiner Arbeiten in vertraglich festgelegter Form mit Industrieunternehmen in Form gemeinsamer Projekte im Bereich der Vorlaufforschung, wobei beide Partner zur Entwicklung den gleichen, vertraglich definierten Aufwand erbringen.
- Aus dem PMT sind Produkte hervorgegangen, die die Industriepartner vertreiben (Mikrospektrometer/Steag-microParts, Gassensoren/Bürkert, Prägeanlagen/Jenoptik Mikrotechnik, Stents/Schüssler-Euroflex, Faserstecker/Spinner, Entgaser/Agilent-Technologies, Sensor für Fahrradleuchte/RoBo, usw.).
- Das PMT lizenziert seine Ergebnisse an Industrieunternehmen.
- Aus dem PMT sind mehrere Ausgründungen hervorgegangen, weitere sind in Vorbereitung (Schüssler-Euroflex, RTM, WEFIS-Vision, micro-biolytics und SYSCA [in Vorbereitung]).
- Das PMT wirkte an mehr als einem Dutzend Verbundprojekten des Förderprogramms Mikrosystemtechnik mit und hat dabei viele Projekte selbst initiiert, obwohl das PMT keine Fördermittel aus dieser Verbundförderung erhält (METEOR, DEMIS, OMID, MINOP, AVT-KEO, MICRO-Fab, MSV-Mikrosystem, AROMA, Wasserstoffherzeugung, Greiferbaukasten, MicroFeed2, MicroWebFab, usw.).

Die Evaluierungskommission beurteilt im Jahr 2000 die Arbeit des PMT abschließend: „Die Vorgaben des Aufsichtsrats zur Kooperation mit Praxispartnern wurden in wachsendem Maße und seit 1998 in vollem Umfang erfüllt bzw. übererfüllt.“ „In den vergangenen 5 Jahren sind innerhalb des PMT Materialien, Verfahren, Komponenten, Geräte und Systeme entwickelt worden, die im internationalen Vergleich z. T. Spitzenpositionen einnehmen.“ Ferner „ist ausdrücklich anzuerkennen, dass die in früheren Evaluierungen gewünschte Konzentration auf die Beherrschung der Prozesstechniken konsequent und erfolgreich durchgeführt wurde.“ Diese positiven Einschätzungen werden von den Fachgesprächspartnern nicht in vollem Umfang geteilt. Das mag an Kenntnissen zu Einzelprojekten liegen, die verallgemeinert wurden. Insgesamt steht zu erwarten, dass das PMT für die künftige Entwicklung der MST weiterhin eine zunehmend bedeutende Rolle spielen wird.

### Fraunhofer-Verbund $\mu$ E

Institute der Fraunhofer Gesellschaft arbeiten bereits seit langer Zeit in den verschiedenen Feldern der Mikroelektronik und sind auch seit Beginn der MST-Förderung **stark in die Entwicklungsarbeiten zur MST** einbezogen.<sup>41</sup> Seit dem Jahr 1996 werden die sich bis dahin teilweise überlappenden Aktivitäten der beteiligten Institute im Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik ( $V\mu$ E) gebündelt. Der  $V\mu$ E organisiert regelmäßige Treffen zwischen den Institutsleitern. Die Entscheidungen des Gremiums sind für die Verbundmitglieder verbindlich.

Im Jahr 1999 überstieg das Gesamtbudget der angeschlossenen Institute 100 Mio. €. Davon kommen annähernd 50 % aus der Industrie. Die Institute der Fraunhofer-Gesellschaft, darunter auch solche, die nicht zu  $V\mu$ E gehören, nahmen im Rahmen der MST-Förderprogramme zwischen 5 und 10 % der Fördermittel in Anspruch. In den Instituten arbeiten mehr als 1.000 Beschäftigte. Seit Bestehen des Verbunds gründeten sich 22 Unternehmen aus.<sup>42</sup>

---

<sup>41</sup> Zum Fraunhofer-Verbund  $\mu$ E gehören die folgenden Forschungsinstitute: Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF; Fraunhofer-Institut für Festkörpertechnologie IFT; Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen – Angewandte Elektronik IIS-A; Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen – Bautechnologie IIS-B; Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen und Systeme IMS, Dresden; Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen und Systeme IMS, Duisburg; Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT und das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM.

<sup>42</sup> Vgl. Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik (Hg.): Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik  $V\mu$ E. Strategie und Leitbild 2000/2001, S. 6.

Im Effekt hat sich die Zusammenarbeit zwischen den Instituten deutlich verbessert, die notwendige kritische Masse, um ein Thema bearbeiten zu können, wird von den verbundenen Einrichtungen leichter erreicht. Gleichzeitig verbleibt eine gewisse Konkurrenz zwischen den Instituten, da sie zu einem erheblichen Teil durch die Länder finanziert werden, die sie ihrerseits in landesspezifische Innovationsstrategien einbeziehen.

Jeweils einzelne Institute bzw. Institutsverbünde beschäftigen sich mit für die Diffusion der MST wichtigen Fragen:<sup>43</sup>

- Entwurf – Simulation – Modellierung – Test (u.a. Tool-Pool)
- Modulare Mikrosystemtechnik (MST-Baukasten)

Die **Kooperation mit Fraunhofer-Instituten des VμE** wird von den Fachgesprächspartnern als **überwiegend positiv eingeschätzt**. Dabei wird jedoch auch immer wieder darauf hingewiesen, dass auch einzelne Fraunhofer-Institute teilweise dazu neigen, ihre „Steckenpferde“ zu reiten, was von manchen Industrieunternehmen als innovativer Ansporn hingenommen wird, bei einigen aber auf Ablehnung stößt. Unabhängig davon werden die im VμE zusammengesetzten Fraunhofer-Institute generell als Kompetenzzentren mit hoher nationaler und internationaler Ausstrahlung eingeschätzt, nicht zuletzt wegen ihrer vielfältigen, oft im Rahmen der MST-Programme geförderten Kooperationen mit Industrieunternehmen.

### **Beschäftigung und Arbeitsschwerpunkt der im MST-Programm einbezogenen wissenschaftlichen Einrichtungen**

Im Rahmen der schriftlichen Erhebungen antworteten **177 wissenschaftliche Einrichtungen**, die bereits ein- oder mehrmals im Rahmen der MST-Förderung des BMBF gefördert worden sind.<sup>44</sup> In diesen wissenschaftlichen Einrichtungen arbeiten insgesamt ca. 14.000 Wissenschaftler. Zu ihnen gehören auch die im VμE zusammenarbeitenden Fraunhofer Institute. Im Durchschnitt haben die Einrichtungen 81 Wissenschaftler, der Median liegt dagegen nur bei 21 Mitarbeitern. Einer relativ kleinen Zahl recht großer Einrichtungen und Institute steht also eine sehr viel größere Zahl von kleinen Einrichtungen mit weniger als 20 Mitarbeitern gegenüber. Dies entspricht auch der bereits oben erwähnten Vielfalt in der MST-Forschungslandschaft.

---

<sup>43</sup> Vgl. VDI/VDE-IT: Jahresbericht 1999 Mikrosystemtechnik und Jahresbericht Mikrosystemtechnik, Teltow 2000.

<sup>44</sup> Bei der schriftlichen Befragung wurden die einzelnen Lehrstühle und Abteilungen innerhalb von Forschungsinstituten separat angeschrieben. Dadurch weicht diese Zahl deutlich von den Daten der Förderstatistik ab.

Die antwortenden wissenschaftlichen Einrichtungen **befassen sich bereits vergleichsweise lange mit MST-relevanten Fragestellungen**. Über die Hälfte der diese Frage beantwortenden Einrichtungen beobachteten die MST-Entwicklungen schon vor 1990 (53 %).

Die Aktivitäten der wissenschaftlichen Einrichtungen sind hinsichtlich der **Anwendungsfelder stark gestreut** und **durch Mehrfachnennungen charakterisiert**. Etwa die Hälfte der Einrichtungen ist in den Anwendungsfeldern „Informations- und Kommunikationstechnik“, „Medizintechnik und Gesundheit“ und „Automation“ aktiv. Weiter ist „Automobil und Verkehr“ ein starkes Anwendungsfeld. Ca. 60 % der antwortenden wissenschaftlichen Einrichtungen sind hier aktiv. Jeweils etwa ein Drittel der Einrichtungen arbeitet an Themen, die das Anwendungsfeld „Maschinenbau“ und das Anwendungsfeld „Telekommunikation“ betreffen. Mit einem Fünftel befassen sich vergleichsweise wenige der antwortenden wissenschaftlichen Einrichtungen mit den Anwendungsfeldern „Chemie / Pharmazie“, „Luft- und Raumfahrt“ sowie „Umwelt“.

### 3.2.2 Unternehmen

#### Vorbemerkungen

Mit der Unternehmensbefragung wurde von insgesamt 519 Unternehmen, die sich mit MST beschäftigen, auswertbare Angaben gewonnen. Von diesen Unternehmen sind 325 (62,6 %) bereits ein- oder mehrmals im Rahmen der **MST-Projektförderung** des BMBF gefördert worden. Für diese Unternehmensgruppe kann die Erhebung als **repräsentativ für alle Unternehmen mit einer MST-Projektförderung** gelten.

Die 194 sonstigen MST-affinen Unternehmen gehören zu der großen Gruppe von **Unternehmen im Umfeld der MST-Projektförderung**, die sich an MST-Entwicklungen interessiert zeigen haben (z.B. durch Teilnahme an Veranstaltungen, Bezug von mst-news etc.). Sie waren insoweit indirekt auch Nutznießer des MST-Programms, haben aber keine Projektförderung in Anspruch genommen. Bei diesen Unternehmen ist eine Repräsentativität und damit eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf alle im oben genannten Sinne MST-affinen Unternehmen nicht gegeben. Die Auswertung lässt vielmehr einen systematischen Bias zu Gunsten derjenigen Unternehmen vermuten, die sich außerhalb des Kreises der direkt geförderten Unternehmen bereits überdurchschnittlich stark mit der MST auseinandergesetzt haben.

### **MST-affine Unternehmen sind keine Kontrollgruppe!**

Die Unternehmensgruppe der sonstigen MST-affinen Unternehmen kann **nicht als Kontrollgruppe** zu den im MST-Programm geförderten Unternehmen herangezogen werden. Umso wichtiger sind dafür die Hinweise, die sich aus ihren Angaben hinsichtlich der **Diffusionsprozesse bei MST** gewinnen lassen.

Bei der Breite des Ansatzes in der MST-Förderung selbst, die sich bewusst nicht nur auf die Projektförderung konzentrierte, und bei den vielen offenen Schnittstellen zu anderen Förderprogrammen und -schwerpunkten, lassen sich die sonstigen MST-affinen Unternehmen kaum als „nicht gefördert“ einstufen, zumal knapp ein Drittel (32 %) von ihnen durch andere Stellen gefördert wurde, so z.B. durch Programme der Bundesländer (12 %), andere BMBF-Programme (10,2 %), andere Bundesministerien (8,4 %) oder die EU (6,0 %).<sup>45</sup>

### **Unternehmen kommen aus vielen Branchen und sind überwiegend jung**

Die Unternehmen, die MST betreiben, sind überwiegend jung und (noch) klein. Sie tätigen ihre Umsätze überwiegend in Deutschland. Sie kommen aus vielen unterschiedlichen Branchen und produzieren oder integrieren MST-Produkte oder MST-Komponenten für sehr unterschiedliche Anwendungsfelder.

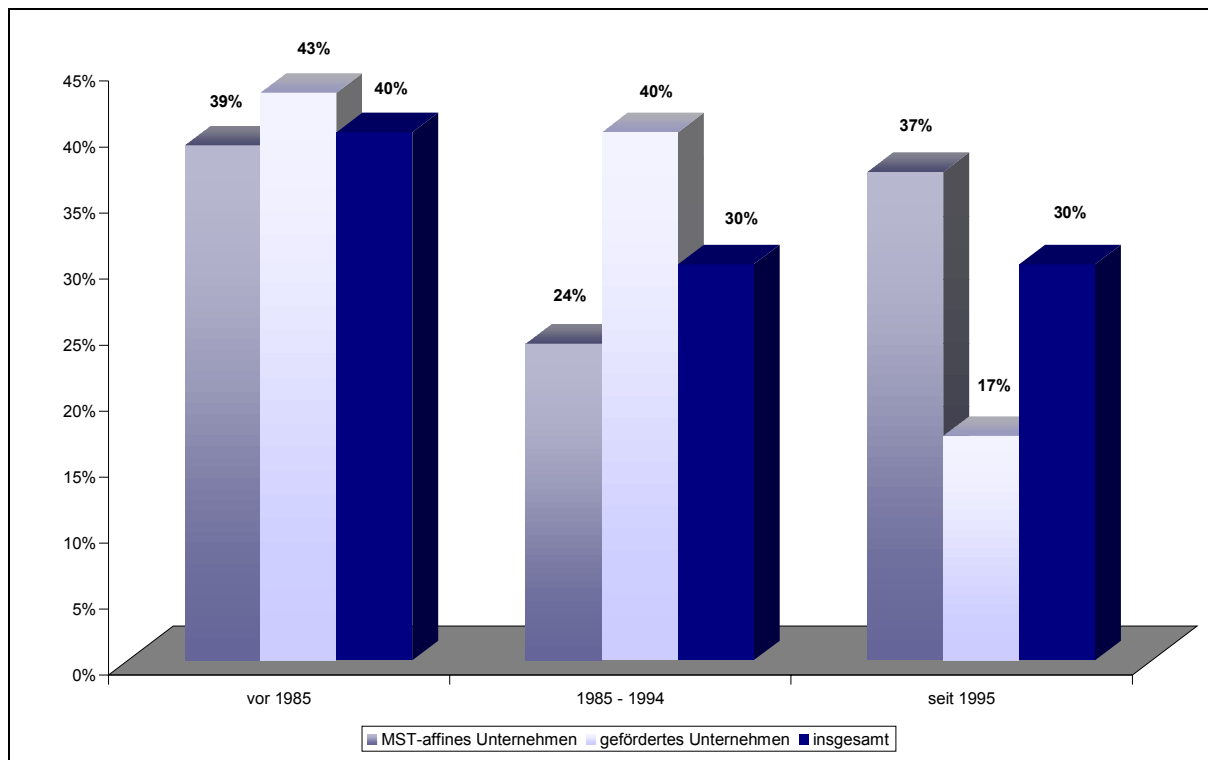
Auffällig ist das **relativ geringe Alter** aller antwortenden Unternehmen: Zwar liegt der Durchschnitt bei 26 Jahren, jedoch sind 50 % von ihnen 11 Jahre und jünger. Ein größerer Teil dieser relativ jungen Firmen sind Neugründungen aus den neuen Bundesländern.<sup>46</sup> Betrachtet man die geförderten und nicht geförderten Unternehmen getrennt, so fällt auf, dass bei den sonstigen MST-affinen Unternehmen das Durchschnittsalter mit nur 22 Jahren deutlich unter dem Durchschnittsalter der in die Projektförderung einbezogenen Unternehmen (29 Jahre) liegt.

---

<sup>45</sup> Eine Aussage, welchen Anteil die MST-Programm-Mittel an allen Fördermitteln im Bereich der MST-Aktivitäten der Unternehmen haben, lässt sich auf Basis der hier zur Verfügung stehenden Informationen nicht ableiten.

<sup>46</sup> Bis zu 90 % der 163 ostdeutschen Unternehmen entstand nach 1990, und etwa ein Drittel der 356 westdeutschen (ohne Berlin) Unternehmen entstand seit 1990.

Abbildung 3.1: Struktur der Unternehmen nach Gründungsjahr



Quelle: Eigene Berechnungen

Insgesamt haben 503 von 519 Unternehmen geantwortet, davon 190 MST-affine und 313 geförderte Unternehmen

Die Zugehörigkeit der antwortenden Unternehmen zu einzelnen Branchen zeigt zunächst ein **breites Spektrum überwiegend industrieller Wirtschaftszweige**, bei denen jedoch folgende Schwerpunkte deutlich erkennbar sind:<sup>47</sup>

- Zu der Branche „Herstellung von Mess-, Kontroll-, Navigations- u.ä. Instrumenten und Vorrichtungen“ zählen sich 23 % der antwortenden Unternehmen.
- Mit der Herstellung von medizinischen und optischen Geräten befassen sich knapp 16 % der Firmen.
- Weitere 14 % haben ihren Schwerpunkt bei der „Herstellung elektronischer Bauelemente“ und

<sup>47</sup> Die Aufteilung der Branchen wurde auf Basis der WZ93 vorgenommen. Die Liste besteht aus elementfremden Klassen. Wenn, um die für die Untersuchung notwendige Schärfe zu erhalten, tiefer liegende Klassen in die Liste aufgenommen wurden, wurden die höher stehenden entsprechend neu abgegrenzt (z.B. Maschinenbau ohne Werkzeugmaschinen etc.); vgl. Statistisches Bundesamt: Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen, Ausgabe 1993.

- 11 % ordnen sich dem „Maschinenbau ohne Werkzeugmaschinen und Haushaltsgeräte“ zu.

Auf die restlichen der insgesamt 20 angegebenen Wirtschaftszweige verteilen sich immerhin noch knapp 37 % aller antwortenden Unternehmen, etwa 10 % davon aus dem Bereich der Dienstleistungen.<sup>48</sup>

### Unternehmen sind überwiegend KMU und erzielen ihre Umsätze in Deutschland

Die Angaben zu den Umsätzen der Unternehmen zeigen eine **starke Dominanz von kleinen und mittleren Unternehmen**: über die Hälfte der antwortenden Unternehmen erzielen im Geschäftsjahr 2000 einen Umsatz von unter 10 Mio. €. Die in der Erhebung als Obergrenze genannte Umsatzmarke von 40 Mio. € überschritten nur 28 % der Firmen. Dabei sind vermutlich auch in dieser Gruppe noch eine erhebliche Zahl von größeren mittelständischen Industriebetrieben mit enthalten. (vgl. Tabelle 3.1).

*Tabelle 3.1      Größenstruktur der befragten Unternehmen gemessen am Umsatz in 2000*

Umsätze in €	Alle Unternehmen
Bis 2 Mio.	29 %
2 bis 10 Mio.	24 %
10 bis 20 Mio.	9 %
20 bis 40 Mio.	10 %
Über 40 Mio.	28 %
Gültige Antworten (100%=)	500
Keine Angaben	19

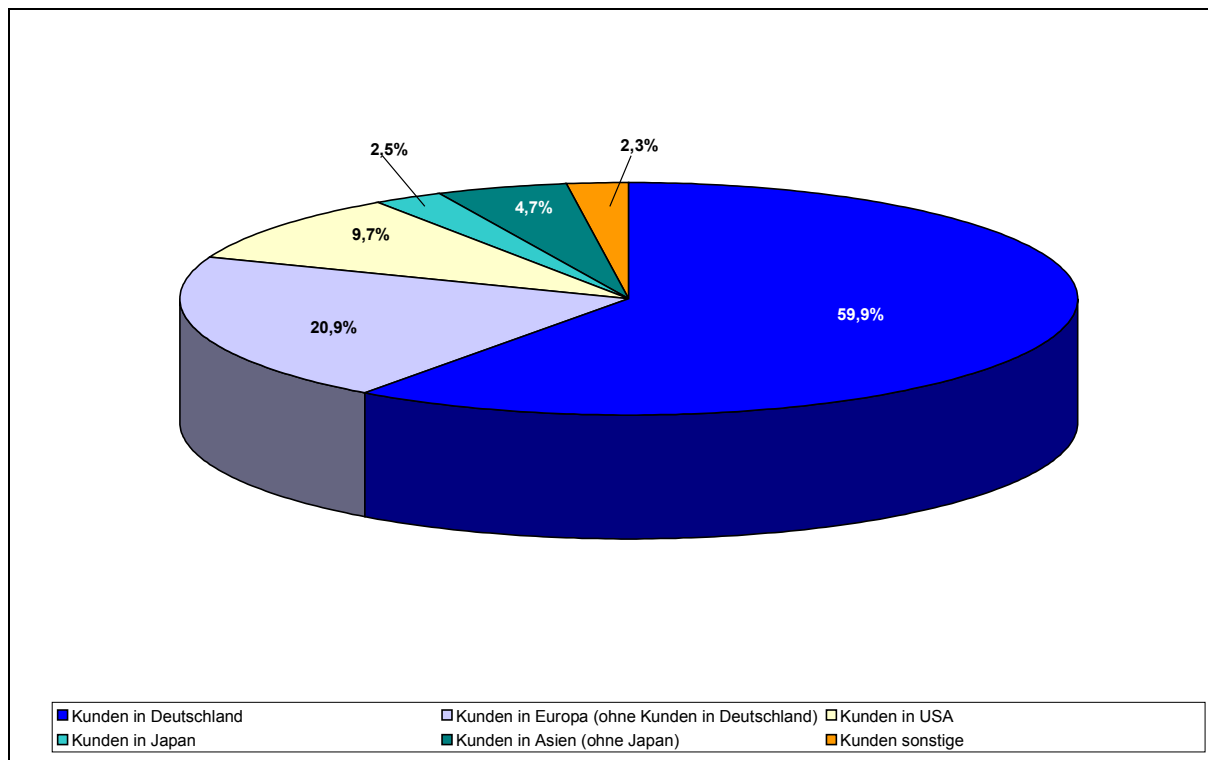
*Quelle: Eigene Erhebung*

Die **Umsätze** erzielten die antwortenden Unternehmen ganz überwiegend **auf dem deutschen (60 %) oder europäischen (21 %) Markt**. Exporte außerhalb Europas spielen dagegen nur eine geringe Rolle. Das folgende Kreisdiagramm (Abbildung 3.2) veranschaulicht die durchschnittliche prozentuale Verteilung der Absatzmärkte. Demnach sind die USA mit einem Umsatzanteil von knapp

<sup>48</sup> Unter Dienstleistungen fallen: Softwarehäuser und DV-Dienste, wissenschaftliche Forschungseinrichtungen und Institute, technische, physikalische und chemische Untersuchung.

10 % der größte außereuropäische Absatzmarkt, gefolgt von Japan mit einem durchschnittlichen Umsatzanteil von 2,5 %. Durch die Belieferung anderer asiatischer Länder werden durchschnittlich 4,7 % der Umsätze erzielt.

Abbildung 3.2: Durchschnittliche prozentuale Verteilung der Absatzmärkte



Quelle: Eigene Erhebung  
439 gültige von 519 möglichen Angaben

### Motive der Unternehmen zur Beschäftigung mit MST sind individuell

Insgesamt sind die **Motive der Unternehmen ausgesprochen heterogen**, es gibt kein **dominantes Motiv**. In der Regel handelt es sich sogar jeweils um eine branchenspezifische und häufig sogar firmenindividuelle Mischung, die keineswegs frei von Zufälligkeiten ist. Dabei findet sich das oft noch relativ wenig markt- und absatzbezogene Interesse an der Sichtung von technischen Optionen neben dem u.U. sehr kurzfristigen und konkreten Verlangen, durch MST die eigene Wettbewerbsposition zu verbessern, und der unmittelbaren Notwendigkeit, auf entsprechende Kundenwünsche zu reagieren.

Den für die Unternehmen ausschlaggebenden Motiven für die Beschäftigung mit der Mikrosystemtechnik wurde in den Fachgesprächen nachgegangen. Da das Spektrum ausgesprochen breit ist, wurden die Motive kasuistisch erfasst. Dazu werden im folgenden **einige Beispiele vorgestellt**.

Für viele, gerade auch kleinere und jüngere Hersteller von MST-Bauteilen oder Komponenten, wie Drucksensoren, Beschleunigungssensoren etc., stand, wie Fachgespräche und Fallstudien ergaben, die **technische Faszination** und eine teilweise noch vage Überzeugung im Vordergrund, dass sich die technischen Möglichkeiten der MST künftig auch wirtschaftlich gut verwerten lassen. Entsprechend gering sind die Erfahrungen mit Kunden und die Kenntnisse von potenziellen Märkten.

Für andere Unternehmen ist der Einstieg in die MST ein Weg, die **eigene Produktpalette fortzuentwickeln**. Die Beschäftigung mit MST-Entwicklungen erfolgt dabei gerade im Unterschied zur ersten Gruppe nicht offensiv. Dies gilt beispielsweise für manche am Markt etablierte Sensorhersteller. Sie verfolgen Projekte, um die Kooperationsbeziehungen mit Universitäten, anderen FuE-Einrichtungen und anderen mittelständischen Herstellern von Messgeräten aufrecht zu erhalten. Ferner wollen sie neben der Technikentwicklung mit den Partnern auch die gemeinsame Suche nach Normen für Schnittstellen vorantreiben und damit gleichzeitig die eigene Informationsbasis über laufende Entwicklungen und den Stand in der Wissenschaft und bei Kooperationspartnern aktualisieren. Die eigene MST-Anwendung ist davon sicherlich nicht unabhängig, über sie wird aber ausschließlich nach den internen Geschäftsplanungen entschieden.

Für eine weitere Gruppe von Unternehmen bietet die MST eine willkommene Möglichkeit, ihre bisherigen **Kenntnisse aus der Halbleiterfertigungstechnik** über den bisherigen Nutzungsbereich hinaus auszudehnen bzw. die entsprechenden Anlagen zur Herstellung von Siliziumwafern, die sie für die eigene Produktion benötigen, mit Hilfe von MST noch besser auszulasten. Ohne diese Unternehmen wäre z.B. die schnelle Reaktion der Hersteller von einschlägigen MST-Produkten nicht möglich gewesen, als in der Automobilindustrie nach dem inzwischen berühmt gewordenen „Elchtest“ in der Mercedes A-Klasse der Bedarf an billigen Mikrosystemen plötzlich anstieg und zu einem starken Motor für die MST-Aktivitäten dieser Unternehmen wurde.

Manche Unternehmen wurden nur deswegen gegründet, um **spezielle Fertigungsverfahren industriell** zu nutzen, oder gaben als Motiv an, ihre Unternehmen aus einer durch andere Unternehmen bedrohten Marktnische befreien zu wollen. In diesem Zusammenhang gab es Beispiele, wo Unternehmen bestimmte Prozesse der Fertigung elektronischer Baugruppen beherrschten und absehen konnten, dass sie mit diesen nicht auf Dauer würden überleben können.

Bei vielen, vor allem Großunternehmen liegt der Beschäftigung mit der MST auch eine eher mittel- und längerfristige Vorstellung zur **Sicherung und Auslotung von technisch interessanten Optionen** zu Grunde, auch wenn der unmittelbare Anwendungsbezug noch nicht immer ganz eindeutig zu erkennen war. So sind etwa in der Luft- und Raumfahrttechnik alle technischen Entwicklungslinien von hoher Relevanz, die die Aussicht bieten, mit ihrer Hilfe Baugröße, Gewicht und Preis bei gleicher oder steigender Zuverlässigkeit etc. senken zu können.

Die Pharma-Branche wieder nutzt MST-Entwicklungen, um unter den Bedingungen des zunehmenden Wettbewerbs die **möglichen Optionen** für die Entwicklung neuer Arzneimittel **auszuloten** und die Suche nach wirksamen Substanzen zu beschleunigen. Die entsprechenden Projekte führten hier unter anderem zum High-Throughput Screening und zur Suche nach wirksameren Formen der Medikamentabgabe. Hersteller von Diagnostika sehen die Optionen für neue Verfahren im Labor, in der Arztpraxis oder am point of care.

Wieder andere Unternehmen, selbst eher Anwender als Hersteller von MST, sehen Möglichkeiten zur **Weiterentwicklung oder Ergänzung ihrer vorhandenen Produktpalette**, um ihren traditionellen Markt durch verbesserte Produkte mit zusätzlicher Funktionalität auszudehnen oder zu sichern. Typisch ist dafür der Maschinenbau, wo sich die Integratoren von MST versprechen, Maschinen durch deren Anwendung zu komplexen und flexiblen mechatronischen Systemen weiterentwickeln zu können.

### **Unternehmen erschließen sich zunehmend die Anwendungsfelder**

Die Heterogenität in den Motiven spiegelt sich in der **Heterogenität der Anwendungs- und Marktfelder** wider, für die die Entwicklung und Nutzung von MST aus Sicht der Unternehmen besonders interessant erscheint. Schon die Branchenverteilung der Unternehmen weist auf die große Vielfalt der für die MST relevanten Absatz- und Wertschöpfungsketten hin. Bei der Frage nach den Anwendungs- und Marktfeldern wird dieses Geflecht noch deutlicher (vgl. Tabelle 3.2).

Besonders bemerkenswert und zugleich für den Diffusionsprozess der MST in die wirtschaftliche Anwendung wichtig ist, dass die Unternehmen im Durchschnitt nicht nur ein, sondern **mehrere unterschiedliche Anwendungs- und Marktfelder gleichzeitig** angeben. Diese scheinen sogar auf den ersten Blick unmittelbar wenig miteinander gemeinsam zu haben (wie z.B. Automation, Automobil und Verkehr, Medizintechnik und Gesundheit), werden aber gleichwohl von den Unternehmen als durchaus kombinierbare Anwendungsgebiete für ihr Engagement in MST gesehen.

Am häufigsten, nämlich zu 60 %, nennen die Firmen „**Automation (incl. Mess- und Regeltechnik)**“ als Anwendungs- und Marktfeld. Neben der „Automation“ werden von sehr vielen Unternehmen auch andere stärker auf die Endnachfragesektoren ausgerichtete Anwendungsfelder wie „Medizintechnik und Gesundheit“, „Informations- und Kommunikationstechnik“, „Automobil und Verkehr“ sowie „Telekommunikation“ als Anwendungs- und Marktfeld genannt.

Eine Erklärung für die Vielfalt der Angaben von Anwendungsfeldern (vgl. Tab. 3.2) ist wie folgt: Die Marktentwicklung für MST-Komponenten hängt entscheidend von der Bereitschaft der im Vergleich zum MST-Zulieferer meist größeren industriellen Abnehmer ab, die traditionellen Zulieferteile in ihren Endprodukten ggf. durch MST-haltige zu ersetzen bzw. MST-haltige zusätzlich zur Qualitätsverbesserung ihrer Produkte zu verwenden. Sehen sie darin keinen eigenen Vorteil, so ist der Zulieferer für seine Vermarktung gezwungen, sich entweder nach anderen Anwendungsfeldern und Kunden umzusehen oder die MST-Entwicklung selbst weniger intensiv zu verfolgen. Für beide Reaktionsformen gab es in den Fachgesprächen gut begründete Hinweise: besonders für gut etablierte Firmen war die beobachtete Zurückhaltung ihrer wichtigen Großkunden Grund genug, um sich auch selbst gegenwärtig noch darauf zu beschränken, die Möglichkeiten der MST auszuloten; die weniger etablierten suchten dagegen auch nach Alternativen in anderen Anwendungsfeldern. Bei solchen Diffusionsprozessen ist es nicht verwunderlich, dass die Firmen jeweils **mehrere Anwendungsfelder parallel** verfolgen. Die Möglichkeit dazu eröffnet der Querschnittscharakter der MST.

**Tabelle 3.2** *Durchschnittliche Zahl und Gegenstand zusätzlich genannter Anwendungsfelder je Anwendungsfeld der Unternehmen – für die sechs meistgenannten Anwendungsfelder*

Genannte Anwendungsfelder	Anzahl in %	Anzahl der durchschnittlich angegebenen Anwendungsfelder	Die drei zusätzlich am häufigsten genannten Anwendungsfelder
Automation (incl. Mess- und Regeltechnik)	60%	3,5	Maschinenbau, Automobil und Verkehr, Medizintechnik und Gesundheit
Medizintechnik und Gesundheit	34%	4,1	Automation (incl. Mess- und Regeltechnik), Automobil und Verkehr, Maschinenbau
Information und Kommunikation	33%	4,0	Automation (incl. Mess- und Regeltechnik), Telekommunikation, Automobil und Verkehr
Automobil und Verkehr	32%	4,5	Automation (incl. Mess- und Regeltechnik), Medizintechnik und Gesundheit, Information und Kommunikation
Maschinenbau	28%	4,4	Automation (incl. Mess- und Regeltechnik), Automobil und Verkehr, Medizintechnik und Gesundheit
Telekommunikation	21%	4,5	Information und Kommunikation, Automobil und Verkehr, Automation (incl. Mess- und Regeltechnik)

495 gültige von 519 möglichen Antworten  
Quelle: eigene Erhebung

### Unternehmen der MST-Szene kooperieren intensiv

Die häufig zu beobachtende Einbindung von MST-Anwendungen in teilweise komplexe Beziehungen in Wertschöpfungsketten führt dazu, dass Kooperationsnetzwerke für MST-Hersteller wie Anwender von außerordentlich großer Bedeutung sind.

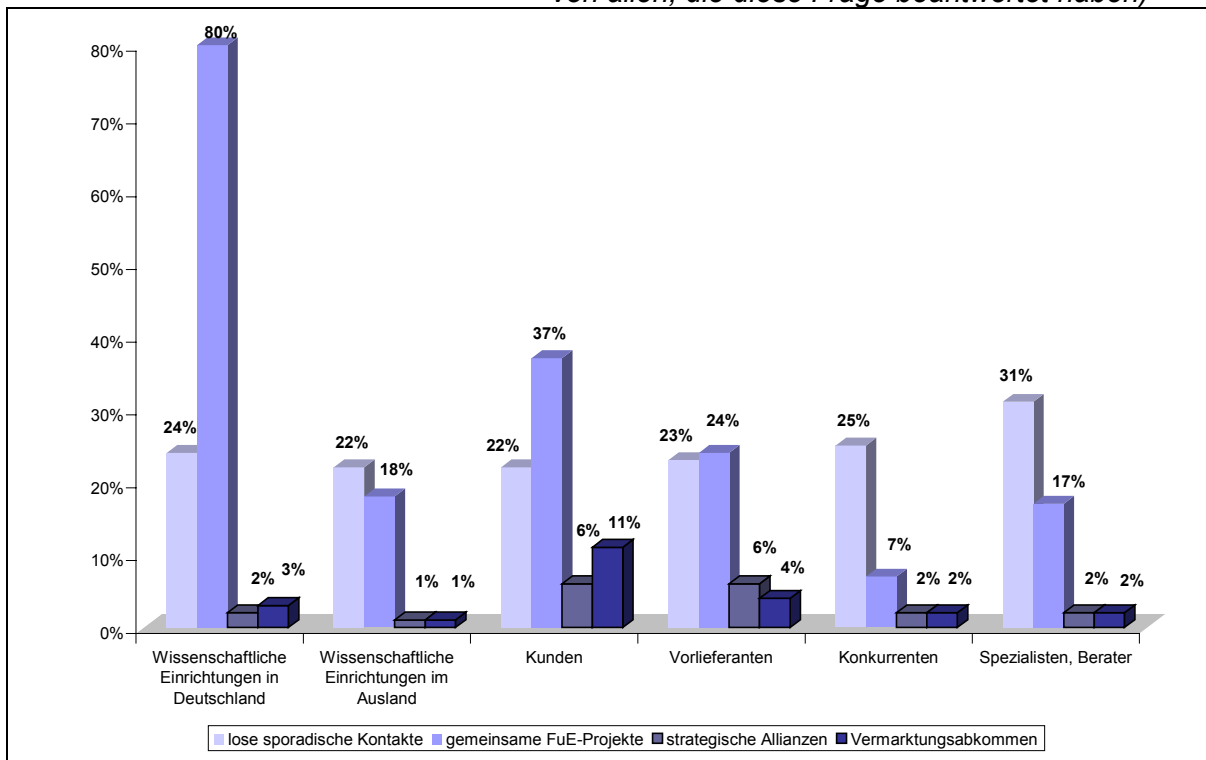
Dies bestätigt sich in den Antworten der befragten Unternehmen. **Nahezu alle Unternehmen arbeiten mit anderen Unternehmen oder mit FuE-Einrichtungen zusammen.** Dabei ist die Intensität unterschiedlich und reicht von losen sporadischen Kontakten über gemeinsame Projekte und strategische Allianzen bis hin zu festen Vermarktungsabkommen. Im Durchschnitt kreuzten die Unternehmen von sechs vorgegebenen Kooperationspartnern<sup>49</sup> 3,2 Organisationsformen an. Allein diese Angaben lassen auf ein relativ weitreichendes Kooperationsgeflecht schließen, zumal nach den Fachgesprächen davon auszugehen ist, dass sich hinter den Antworten noch weitere Kooperationsbeziehungen mit mehreren Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen gleichzeitig verbergen.

<sup>49</sup> Wissenschaftliche Einrichtungen in Deutschland, wissenschaftliche Einrichtungen im Ausland, Kunden, Vorlieferanten, Konkurrenten, Spezialisten und Berater

Am häufigsten (94 %) nennen die antwortenden Unternehmen **Kooperationsbeziehungen mit deutschen wissenschaftlichen Einrichtungen**. Die Regel sind „gemeinsame FuE-Projekte“, 80 % der Unternehmen verfügen über derartige Verbindungen. Die Kontakte zu wissenschaftlichen Einrichtungen im Ausland sind demgegenüber sehr viel geringer: Am häufigsten noch bestehen lose sporadische Kontakte (22 %), von gemeinsamen FuE-Projekten sprechen nur 18 % (vgl. Abb. 3.3).

In der **Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen** wie Vorlieferanten, Kunden, Konkurrenten oder Spezialisten und Beratern dominieren die Kooperationsbeziehungen zu Kunden (61 %) vor der Zusammenarbeit mit Vorlieferanten (50 %), Spezialisten und Beratern (48 %) und Konkurrenten (32 %). Das besondere Gewicht der Kunden/Lieferantenbeziehungen in der MST wird noch zusätzlich dadurch erkennbar, dass diese Beziehungen über die losen sporadischen Kontakte hinausgehen und sich auch in gemeinsamen FuE-Projekten (Kunden 37 %, Vorlieferanten 24 %), Vermarktungsabkommen (Kunden 11 %, Vorlieferanten 4 %) und strategischen Allianzen (Kunden 6 %, Vorlieferanten 6 %) niederschlagen.

Abbildung 3.3: Häufigkeit der unterschiedlichen Formen der Kooperation bei allen Unternehmen (Prozentsatz von allen, die diese Frage beantwortet haben)



Insgesamt gab es 504 gültige von 519 möglichen Antworten.  
Quelle: Eigene Erhebung

**MST-Unternehmen setzen auf Kooperationen, um anspruchsvolle Aufgaben lösen zu können**

Die große Häufigkeit von konkreten FuE-Projekten mit wissenschaftlichen Einrichtungen selbst bei den Firmen außerhalb der MST-Verbundförderung deutet darauf hin, dass ein Engagement in der MST die Unternehmen einerseits vor **anspruchsvolle technisch-wissenschaftliche Aufgaben** stellt, für deren Lösung sie wissenschaftliche Unterstützung und einen entsprechenden Rückgriff auf eine leistungsfähige FuE-Infrastruktur benötigen. Die gleichfalls stark ausgeprägte Bereitschaft zur Zusammenarbeit mit Kunden und/oder Vorlieferanten zeigt andererseits, dass es für die Verwertung der Ergebnisse nicht nur um Technologie- und Wissenstransfer, sondern auch um eine **möglichst funktionale und kostengerechte Abstimmung in der Absatz- und Wertschöpfungskette** geht. Die Entwicklung von neuen Produkten oder deren Prototypen macht in der MST oftmals erst dann wirtschaftlich Sinn, wenn sie auch in die aufnehmenden Makroprodukte bzw. –systeme unter Kosten-/ Leistungsgesichtspunkten integrierbar sind.

Insgesamt erfüllen die Kooperationen die in sie gesetzten Erwartungen: Weniger als 25 % der antwortenden Unternehmen äußern ihre Enttäuschung bei den von ihnen als wichtig eingeschätzten Kooperationszielen. Beim anspruchsvollsten Kooperationsziel, dem Erhalt der Technologieführerschaft, zeigen sich 86 % zufrieden (vgl. Tabelle 3.3).

*Tabelle 3.3: Die jeweils sechs wichtigsten Kooperationsziele der Unternehmen mit dem höchsten Erfüllungs- bzw. Enttäuschungsgrad*

Am stärksten wurden die Erwartungen der Unternehmen erfüllt bei	Am stärksten wurden die Erwartungen der Unternehmen enttäuscht bei
1. Erhalt der Technologieführerschaft (86 %)	1. Entwicklung von Normen und Standards (48 %)
2. Vertiefung bereits vorhandener MST-Expertise (83 %)	2. Zugang zu zusätzlichen Finanzquellen (44 %)
3. Zugang zu Labor-, Tests- und Prüfeinrichtungen (83 %)	3. Neue strategische Allianzen (39 %)
4. Entwicklung von Prototypen (83 %)	4. Aktivitäten zur Förderung des Technologietransfers (36 %)
5. Optimierung bestehender MST-Lösungen (80 %)	5. Simulation von MST-Lösungen (33 %)
6. Risikoteilung mit den Projektpartnern (80 %)	6. Exploration neuer MST-Anwendungen (31 %)

*194 gültige von 519 möglichen Antworten  
Quelle: Eigene Erhebungen*

### Für FuE-Projekte übliche Kooperationshürden

Die im Ganzen positiven Erfahrungen, die sich sowohl in der Intensität der Kooperationsbeziehungen wie auch in den Antworten zur Erfüllung der Zielerwartungen niederschlagen, spiegeln sich auch in den **Hinweisen auf Kooperationshürden** wider: 27 % der Unternehmen geben an, dass sie bisher keine ernsthaften Probleme in der Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen bzw. anderen Unternehmen gehabt haben. Und auch die Unternehmen, die auf Kooperationshürden hinweisen, geben in der Regel nur ein Argument an.

Bei den genannten Kooperationshürden gibt es allerdings deutlich **unterschiedliche Gewichte hinsichtlich der Probleme, die es mit wissenschaftlichen Einrichtungen bzw. anderen Unternehmen** gegeben hat (vgl. Tabelle 3.4):

- Finanzierungsfragen scheinen vor allem ein Problem in der Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen zu sein. Hier stehen die FuE-Kapazitäten dafür eher zur Verfügung, die andererseits bei Kooperationen mit Unternehmen am häufigsten zu einem Engpass werden.
- In der Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen gibt es deutlich häufiger Schwierigkeiten mit Organisation und Management als in Kooperationen mit Unternehmen.
- Die Sicherung der Geheimhaltung ist bei Kooperationen jeglicher Art ein Problem, in der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen nur wenig häufiger als in der mit wissenschaftlichen Einrichtungen.

*Tabelle 3.4: Von den Unternehmen genannte Hürden in der Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen und anderen Unternehmen*

Hürden in der Kooperation mit wissenschaftlichen Einrichtungen	Hürden in der Kooperation mit anderen Unternehmen
1. Geringe Selbstfinanzierungskraft (44 %)	1. Zu geringe eigene FuE-Kapazitäten (41 %)
2. Mangel an Management- und Organisations-Know-How (23 %)	2. Geringe Selbstfinanzierungskraft (29 %)
3. Probleme mit Geheimhaltungsfragen (22 %)	3. Probleme mit Geheimhaltungsfragen (27 %)
4. Zu geringe eigene FuE-Kapazitäten (16 %)	4. Mangelnde Kenntnis geeigneter Kooperationspartner (21 %)
5. Mangel an Management- und Organisations-Know-How (12 %)	5. Mangel an Management- und Organisations-Know-How (9 %)

Quelle: Eigene Erhebungen

### Unternehmen, die auf MST setzen, haben Erfolg!

Die **Entwicklung der Umsätze, Exporte und FuE-Ausgaben** war in den vergangenen 5 Jahren bei den antwortenden Unternehmen **überwiegend positiv**. Das Umsatzwachstum lag bei über der Hälfte der Unternehmen innerhalb der letzten fünf Jahre bei über 20 % (oder 3,7 % pro Jahr). Deutlich weniger stark fiel das Wachstum der Exporte und der FuE-Ausgaben aus (vgl. Tabelle 3.5). Die Unterschiede zwischen den befragten geförderten und den sonstigen MST-affinen Unternehmen hängen mit ihrer unterschiedlichen Größenstruktur zusammen und halten sich unter Beachtung dessen in vergleichsweise engen Grenzen. Im Hinblick auf mögliche Förderwirkungen sind sie keineswegs aussagefähig.

*Tabelle 3.5: Entwicklung der Umsätze, Exporte und FuE-Ausgaben der Unternehmen in den vergangenen fünf Jahren*

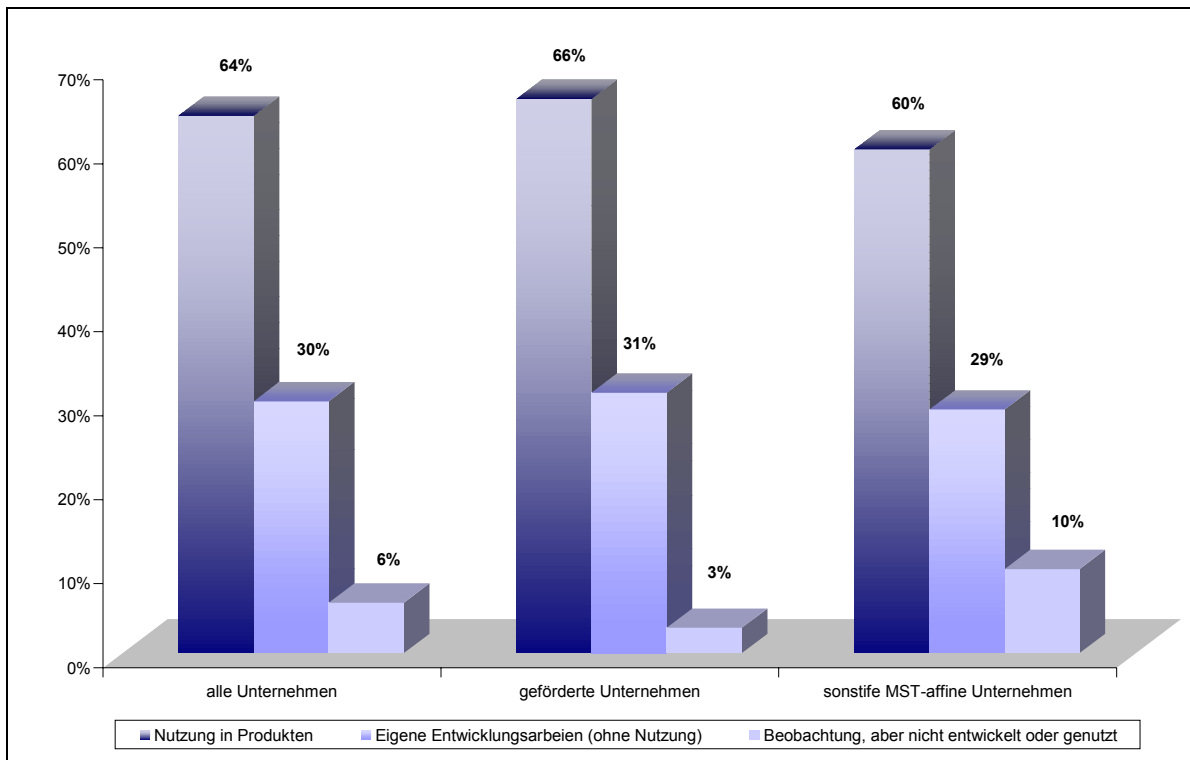
	Geförderte Unternehmen			Sonstige MST-affine Unternehmen		
	Umsatz	Export	FuE-Ausgaben	Umsatz	Export	FuE-Ausgaben
bis 0%	7%	4%	6%	7%	3%	5%
0%	2%	12%	11%	12%	26%	11%
0 bis + 20 %	42%	44%	52%	21%	27%	42%
> + 20 %	49%	40%	30%	60%	45%	42%
gültige Antworten (100% =)	(n = 303)	(n = 287)	(n = 298)	(n = 167)	(n = 159)	(n = 160)
Keine Angaben	22	38	27	27	35	34

Quelle: Eigene Berechnungen

### Umsatzwachstum geht stark auf Wachstum des Geschäfts mit MST zurück

Die MST-Hersteller und die Integratoren haben als erste Schritte ihres MST-Engagements zunächst Entwicklungsprojekte durchgeführt. Inzwischen wird die wirtschaftliche Bedeutung der diesbezüglichen Aktivitäten zunehmend erkennbar. Bereits 64 % der antwortenden Unternehmen nutzen MST-Entwicklungen auch schon in Produkten – aufbauend auf entsprechenden Entwicklungsarbeiten in der Vergangenheit. Nur 6 % der Unternehmen geben dagegen an, dass sie die MST-Szene lediglich beobachten. Weitere 30 % beobachten und verfolgen eigene Entwicklungen, nutzen diese aber noch nicht in Produkten (vgl. Abbildung 3.4).<sup>50</sup>

Abbildung 3.4: Nutzung der MST bei allen Unternehmen



*Jeweils sieben der geförderten und der MST-affinen Unternehmen haben überhaupt keine Angaben gemacht. Die Prozentwerte beziehen sich auf alle Unternehmen der entsprechenden Gruppe, die mindestens eine Angabe gemacht haben.*

Quelle: Eigene Erhebung

<sup>50</sup> Diese Beobachtung bestätigt die Prognose aus dem gib-Gutachten. Dort wurde vorhergesagt, dass nach 1993 weitere Unternehmen in die MST einsteigen würden; vgl. Magnan, R.; Pfirrmann, O.; Zur industriellen Verbreitung der Mikrosystemtechnik, Berlin 1994, S. 60; vgl. Abb. 2.5.

Der **Umsatzanteil, der auf MST-haltige Produkte entfällt**, ist zwischen 1995 und 2000 im Durchschnitt aller antwortenden Unternehmen von 18 % auf 29 % gestiegen (vgl. Tabelle 3.6). Auch der Anteil der zugekauften bzw. selbst produzierten MST am Gesamtumsatz wuchs in dieser Zeit durchschnittlich von 13 % auf 20 % an. Wachsende Umsatzanteile in wachsenden Unternehmen belegen eindrucksvoll die zunehmende Bedeutung der MST für die Unternehmen.

Insbesondere bei KMU, deren Gesamtumsatz im Jahr 2000 unter 2 Mio. € gelegen hat, ist ein starker Anteilzuwachs festzustellen: Durchschnittlich 41 % der Umsätze entfielen bei ihnen im Jahr 2000 auf MST-Produkte. Im Jahr 1995 lag der Anteil noch bei 25 %. Und auch der Anteil der selbst produzierten bzw. zugekauften MST ist bei dieser Umsatzgrößenklasse deutlich gewachsen. Im Gegensatz zu den größeren Unternehmen, bei denen zwar die Umsatzanteile mit MST-Produkten in ähnlichem Ausmaß zunehmen, wird die MST bei den kleineren Unternehmen zur Stütze des Geschäfts. Es zeigt sich somit, dass sich KMU in den vergangenen fünf Jahren in nennenswertem Umfang Anwendungsfelder der MST erschließen konnten und ihren geschäftlichen Erfolg an die MST binden.

*Tabelle 3.6: Umsatzanteile mit Produkten, in denen MST integriert ist (Mittelwerte)*

	Umsatzanteil der MST-Produkte 1995	Umsatzanteil der MST-Produkte 2000	Durchschnittl. Steige- rung
bis 2 Mio. €	25%	41%	64%
2 bis 10 Mio. €	22%	32%	50%
10 bis 20 Mio. €	20%	28%	40%
20 bis 40 Mio. €	10%	16%	60%
über 40 Mio. €	11%	19%	73%
Ingesamt	18% (N = 342)	29% (N = 427)	
keine Angabe	177	92	

Quelle: Eigene Erhebung

## Erfolgreiche KMU kooperieren intensiver!

Betrachtet man nur die Gruppe der Unternehmen, die in der Befragung einen Jahresumsatz in 2000 von bis zu 40 Mio. € und einen Anteil der MST-Produkte am Gesamtumsatz von über 5 % sowie ein Wachstum von über 20 % zwischen 1995 und 2000 angegeben haben (insgesamt 91 Unternehmen), so stellt sich heraus, dass sich das Kooperationsverhalten deutlich von demjenigen der anderen Unternehmen unterscheidet: Bei etwa vergleichbar starker Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen bestehen hier **signifikant häufigere und intensivere Kooperationen mit Kunden** als beim Rest der befragten Unternehmen<sup>51</sup>. Kundenkooperationen dienen der Definition und Überwachung der Anwenderanforderungen an die MST-Komponenten und Produkte sowie ihrer schnelleren Vermarktung.

Außerdem geben diese Firmen sehr viel häufiger als die anderen **Kontakte zu wissenschaftlichen Einrichtungen im Ausland, zu Vorlieferanten und sogar zu Konkurrenten** an. Dabei zeigen die Fachgespräche durchaus unterschiedliche Schwerpunkte:

- In der Zusammenarbeit mit Vorlieferanten geht es vor allem um die Eignung und Qualitätssicherung der gelieferten Materialien und Vorprodukte bzw. Dienstleistungen.
- Über die FuE-Einrichtungen sichern sich die KMU neben Fertigungsmöglichkeiten vor allem Hilfestellungen bei Design und Simulation von MST-Komponenten sowie bei der Entwicklung von Prototypen.
- Für die Zusammenarbeit mit Konkurrenten spricht das gemeinsame Interesse an der Vereinbarung von einheitlichen Standards für Schnittstellen.

## MST – ein sich entwickelndes, aber noch kein boomendes Geschäft

Bei der Befragung geben die Unternehmen an, dass sich ihre Erwartungen im Hinblick auf die Entwicklung der MST überwiegend erfüllt haben. Besonders interessant für die Frage der Diffusion sind jedoch die Abweichungen: Dauer und Aufwand der Entwicklung marktreifer Produkte wurden unterschätzt, die Erwartungen an die Durchdringung am Markt wurden nicht ganz erfüllt, entsprechend sind auch die Ertragsersparungen (noch) nicht erfüllt worden (vgl. Tabelle 3.7).

---

<sup>51</sup> Für die erfolgreichen, kleinen, MST-treibenden Unternehmen wurden das beobachtete mit dem zu erwartenden Kooperationsverhalten verglichen. Der erwartete Wert ist die Anzahl von Fällen, die man erwarten würde, wenn kein Zusammenhang zwischen beiden Variablen bestünde. Beispiel: Haben X% aller Unternehmen lose, sporadische Kontakte zu wissenschaftlichen Einrichtungen im Ausland und sind Y% aller Unternehmen erfolgreiche MST-treibende Unternehmen, so wird erwartet, X% von den Y% lose, sporadische Kontakte zu wissenschaftlichen Einrichtungen im Ausland haben. Weichen erwartete und beobachtete Werte deutlich von einander ab, so deutet dies auf einen Zusammenhang hin. Schließlich wurde mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests die Signifikanz überprüft.

Tabelle 3.7: *Erfüllungsgrad der vor ca. fünf Jahren gehegten Erwartungen an den Einsatz von MST*

Die Erwartungen wurden	Dauer und Aufwand zur Entwicklung		Durchdringung am Markt		Erträge		Anerkennung bei Kunden	
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
....enttäuscht	39	11%	36	10%	48	14%	18	5%
....ein wenig enttäuscht	141	39%	141	40%	112	33%	49	14%
....eher erfüllt	132	37%	134	38%	149	44%	155	45%
....ein wenig übertroffen	39	11%	35	10%	28	8%	101	29%
....übertroffen	6	2%	7	2%	4	1%	22	6%
Angaben insgesamt	357	100%	353	100%	341	100%	345	100%
Keine Angabe	162		166		178		174	

Quelle: Eigene Erhebung

Dies wieder kontrastiert bemerkenswert mit der Aussage, dass die Erwartungen hinsichtlich der Anerkennung bei den Kunden sogar oft übertroffen wurden. Konsequenterweise sieht die Mehrzahl der Firmen in der **Entwicklung und Umsetzung von MST-Anwendungen** gegenwärtig eher ein **sich entwickelndes, aber noch kein boomendes Geschäft**.

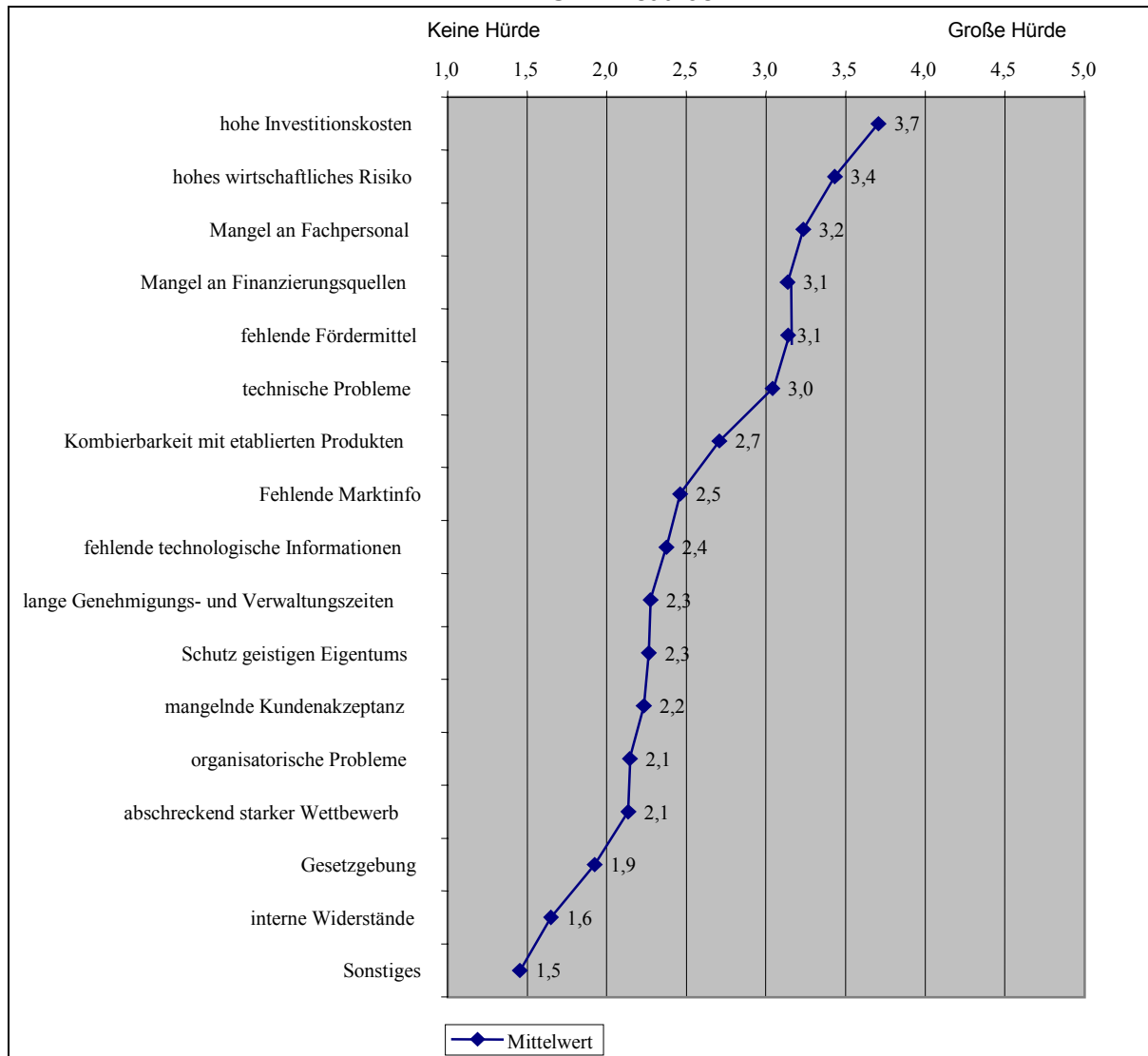
Näheren Aufschluss über die Gründe liefert eine **Analyse der Hürden**, die der erwünschten Realisierung des MST-Einsatzes entgegen stehen. Danach wurden ausschließlich die sonstigen MST-affinen Unternehmen gefragt. Aus den Antworten konnten die folgenden Problemgruppen als wichtig identifiziert werden:<sup>52</sup>

- Finanzierungs- und Kostenprobleme
- technische Probleme
- Marktrisiken
- Risiken durch Genehmigungs- und Zulassungsverfahren
- Informationsmangel
- unternehmensinterne Probleme

<sup>52</sup> Mit Hilfe der Faktorenanalyse wird versucht, die zugrundeliegenden Variablen (Faktoren) zu bestimmen, welche die Korrelationsmuster innerhalb eines Datensatzes beobachteter Variablen erklären. In dem Fragebogen (Frage 14 P) wurden die befragten Akteure (nur sonstige MST-affine Unternehmen) aufgefordert, unterschiedliche Arten von Hürden für die Beschäftigung mit der MST auf einer Skala von 1 bis 5 zu bewerten. Es wurden sechs Faktoren berechnet, die allesamt Eigenwerte größer als eins aufweisen. Auch eine andere Anzahl von Faktoren ist möglich. Angewandt wurde die ‚Hauptkomponenten Methode‘ als Extraktionsmethode und als Rotationsmethode ‚Varimax mit Kaiser-Normalisierung‘. Die einschlägigen Voraussetzungen dieser Methoden sind erfüllt.

Die meisten Unternehmen nennen **Finanzierungsprobleme** als stärkstes Hemmnis beim Einsatz von MST (vgl. Abbildung 3.5).

Abbildung 3.5: *Hürden bei der Realisierung des gewünschten MST-Einsatzes*



194 möglichen Antworten (sonstige MST-affine Unternehmen)

Quelle: Eigene Berechnungen

### **3.3 Diffusionsdynamik der MST und deren Bedingungen in Deutschland**

Die Hürden, die sich der Realisierung des gewünschten MST-Einsatzes entgegenstellen, haben Einfluss auf die Diffusionsdynamik. Ein wichtiger Indikator für diese Bewegung sind die Vorlaufzeiten, mit denen bei der Beschäftigung mit MST derzeit zu rechnen ist. Das Diffusionsgeschehen mit dem Ziel der Herausarbeitung von Diffusionshürden oder –hemmnissen und –bedingungen zu beschreiben, gelingt, wenn die einzelnen Anwendungsfelder der MST mit ihren Eigenheiten betrachtet werden. Die anschließende Analyse der unterschiedlichen Diffusionsbedingungen und –hemmnisse endet mit einer Zusammenfassung der relevanten Diffusionshemmnisse. Hiernach wird der Diffusionsprozess in Deutschland vergleichend im internationalen Kontext betrachtet. Es folgt eine Einschätzung auf Basis von Literaturauswertungen und Fachgesprächen mit Unternehmensvertretern hinsichtlich der Möglichkeiten, durch Design- und Simulationsinstrumente bzw. Baukastensysteme zu einer Überwindung von Wirtschaftlichkeitsschwellen zu kommen. Abgeschlossen wird der Abschnitt mit einer Zusammenstellung qualitativer Aspekte der Bedeutung der MST für die deutsche Wirtschaft und einer quantitativen Abschätzung der Produktionsvolumina und der mit der MST im Zusammenhang stehenden Beschäftigung in Deutschland.

#### **3.3.1 Vorlaufzeiten der MST**

##### **Der Weg zum Markt - MST hat lange Vorlaufzeiten**

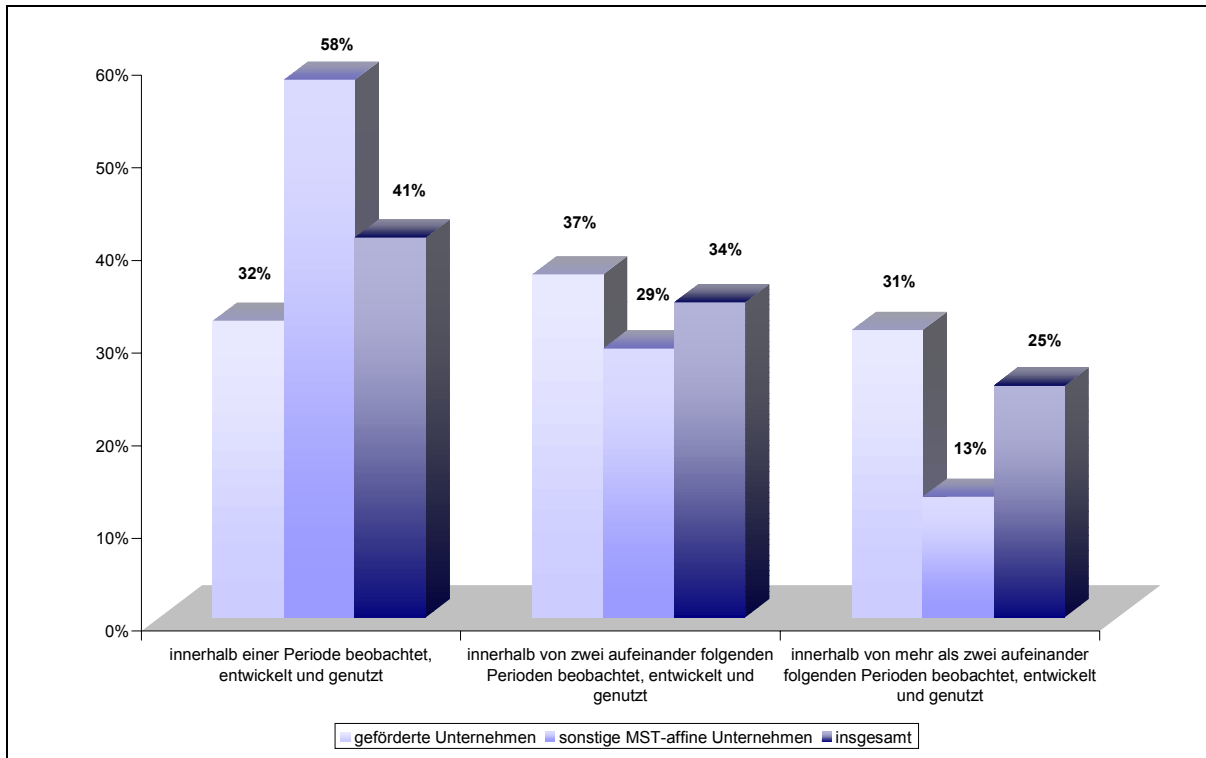
50 % der Unternehmen haben die Dauer und den Aufwand für die Entwicklung von MST-Produkten oder Komponenten unterschätzt. Dieses Ergebnis ist nicht überraschend, denn die Entwicklung komplexer technischer Systeme, wie sie die MST-Produkte oder Komponenten darstellen, benötigt lange Zeiträume, die vor allem KMU vor Probleme stellen. Auf Basis der Daten aus der schriftlichen Erhebung lassen sich die tatsächlich benötigten Entwicklungszeiträume abschätzen. Die Unternehmen wurden gebeten, den zeitlichen Beginn der Beobachtung, der eigenen Entwicklung und der Nutzung von MST in Produkten den unterschiedlichen Förderprogrammphasen<sup>53</sup> zuzuordnen. Die Auswertung der Angaben von 256 antwortenden Unternehmen zeigt, dass die Zeitspanne vom Beginn der Beobachtung der MST

---

<sup>53</sup> vor 1990 – 1993, 1994 – 1999, ab 2000+

bis zu ihrer Nutzung für 34 % zwischen 4 und 8 Jahre dauert und bei einem weiteren Viertel ist sie mit drei Zeitperioden, also mit 8 bis 12 Jahren zu berechnen (Abbildung 3.6).

Abbildung 3.6: Anteil der Unternehmen nach Zeitspanne zwischen Beobachtung und Nutzung der MST



86 gültige von 194 möglichen Antworten von sonstigen MST affinen Unternehmen und 170 gültige von 325 möglichen Antworten von geförderten Unternehmen

Quelle: eigene Erhebung

Immerhin geben noch etwas mehr als 40 % der Unternehmen an, dass alle drei Schritte innerhalb nur einer Zeitspanne (die meisten zwischen 1994 und 1999) lagen, sie also maximal 5 Jahre von der Beobachtung bis zur ersten Nutzung benötigten. Dass in dieser Gruppe die sonstigen MST-affinen Unternehmen besonders stark vertreten sind, erklärt sich aus deren Besonderheiten hinsichtlich Alter und Struktur. Zwar lässt sich an Hand der schriftlichen Erhebung nicht beantworten, in welchem Ausmaß die Firmen auf Vorentwicklungen in wissenschaftlichen Einrichtungen oder anderen Unternehmen (z.B. auch durch Übernahme von Personal, Lizenzen etc.) aufbauen konnten, aber nach den Ergebnissen der Interviews ist dies sehr wahrscheinlich und gerade bei Neugründungen in besonders hohem Maße zu erwarten.

Die hier angegebenen Zeitspannen passen zu den in Kapitel 2.6.3 angegebenen Entwicklungszeiten, die als Zeitspannen zur Umsetzung von Ergebnissen der geförderten Projekte definiert sind. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass die untersuchten Gegenstände<sup>54</sup> und die Gruppen, auf die sich die Messung bezog,<sup>55</sup> unterschiedlich sind. Die Entwicklungszeit, liegt bei der Hälfte der antwortenden geförderten Unternehmen, die Angaben über den Zeitpunkt der ersten Umsätze aus den Projektergebnissen gemacht haben, bei mehr als 4 Jahren. Sie ist im allgemeinen kürzer als die Zeitspanne von der Beobachtung zur Nutzung der MST in Produkten, denn die Beobachtung der MST als Technologie, Zeiten zur Vorbereitung von Projektanträgen etc. sind nicht berücksichtigt.

### 3.3.2 Differenzen zwischen aktueller und erwarteter Diffusion

Innerhalb der generellen Analyse von Diffusionsprozessen kommen zwangsläufig die zum Teil erheblichen Unterschiede zwischen einzelnen Anwendungsfeldern kaum zum Ausdruck. Sie treten dafür stärker in den Vordergrund, wenn man sich mit der spezifischen Situation in einzelnen Bereichen befasst. Im folgenden werden daher anhand **einiger exemplarischer Anwendungsfelder** die Differenzen zwischen dem erwarteten und dem aktuellen Diffusionsstand, soweit sie aus den Erhebungen und den Interviews erkennbar wurden, exemplarisch aufgezeigt. Insgesamt zeigen sich an den Beispielen **vielfach typische Problemfelder**, die – vielleicht nicht mit derselben Intensität – auch in anderen Anwendungsfeldern und Branchen zu beobachten sind und dort die Einschätzung zur Diffusion von MST-Anwendungen entsprechend mit beeinflussen.

Vor der Betrachtung der einzelnen Diffusionsprozesse in den Anwendungsfeldern mit ihren spezifischen Problemen ist es angebracht, diese einzuordnen. Je nach dem, welche Erwartungen hinsichtlich der Geschwindigkeit der Diffusionsprozesse gehegt werden, ist die Diffusion der MST bzw. einzelner MST-Anwendungen als schnell oder eher langsam zu bezeichnen. Die folgenden Zahlen verdeutlichen, dass die bei der MST-Diffusion ablaufenden Prozesse durchaus nicht untypisch langsam verlaufen. Der Zeitraum von der fertigen technischen Idee zum Fernsehgerät dauerte mehr als 45 Jahre, die breite Einführung weitere zwei Jahrzehnte. Der Airbag wurde in den 50er Jahren

---

<sup>54</sup> Entwicklungszeiten, als Zeitspanne zwischen Start des geförderten Projekts und dem Zeitpunkt des Erzielens erster Umsätze mit neuen oder verbesserten Produkten und Zeitraum zwischen Beobachtung und Nutzung der MST.

<sup>55</sup> (a) geförderte Unternehmen, (b) alle geförderten und MST-affinen Unternehmen.

konzipiert und kam am Beginn der 80er Jahre in Gebrauch. Ähnliche Zeiträume werden auch von einzelnen MST-Anwendungen berichtet (vgl. Tabelle 3.8).

*Tabelle 3.8: Dauer zwischen Innovation und Kommerzialisierung bei ausgewählten MST-Produkten*

Produkt	Jahr des Innovationsbeginns	Dauer in Jahren für die			
		Innovation	Produktentwicklung	Kostenreduzierung	Volle Kommerzialisierung
Drucksensor	1954	6	15	5	36
Beschleunigungssensor	1974	11	5	8	24
Gassensor	1986	8	4	7	19*
Ventile	1980	8	8	6	22*
Düsen	1972	12	6	12	30*
Photonics/ Displays	1980	6	12	6	24*
Bio/chemische Sensoren	1980	14	6	4	24*
RF-MST-Produkte	1994	4	3	4	11*
Drehratensensoren	1982	8	6	6	20*
Mikrorelais	1977	5	5	4	14*

\* Schätzwerte, die volle Kommerzialisierung wird zwischen 2002 und 2005 erwartet.  
Quelle: Roger Grace Associates, San Francisco

## Maschinenbau – Chancen für MST, aber noch wenig Anwendung

Den vielfältigen Möglichkeiten von MST-Anwendungen,<sup>56</sup> die von MST-Herstellern und den der MST gegenüber aufgeschlossenen Vertretern der Maschinenbauunternehmen genannt werden, stehen aktuell nur wenige bereits eingeführte Anwendungen<sup>57</sup> gegenüber. Als ausschlaggebend für die erst geringe Diffusion der MST im Maschinenbau erscheinen die folgenden Gründe:

- Der Maschinenbau ist **kein Massenmarkt**. Der Markt selbst ist stark nach Maschinentypen segmentiert, die jeweils von mehreren meist mittelständischen Herstellern getrennt entwickelt, gebaut und vermarktet werden. Das führt zu geringen Abnahmemengen für die ggf. spezifisch zu entwickelnden und daher kostenintensiven MST-Anwendungen. Entsprechend bleibt die Diffusion hinter den technischen Möglichkeiten zurück.<sup>58</sup> Noch nicht absehbar ist, inwiefern sich die Situation verändert, wenn verstärkt nicht-Silizium-basierte MST auf den Markt kommt.
- Ferner wirkt das traditionell an oft wenigen Abnehmern ausgerichtete **Innovationsverhalten der Maschinenbauunternehmen** einer schnellen Diffusion von technischen Entwicklungen entgegen. Produktinnovationen werden hier meistens von den Kunden angeregt und gehen viel seltener auf entsprechende Initiativen von Zulieferern zurück.
- Mit Einführung von MST-Anwendungen verändern sich unter anderem die **Qualifikations- und Ausbildungsanforderungen** an die Mitarbeiter der Maschinenbau-Unternehmen.

---

<sup>56</sup> Von den befragten Experten werden Anwendungen genannt wie z.B. autonome Subsysteme, Betriebsmittelsensorik, Verschleißsensoren auf Werkzeugen, Weg/Winkelsensorik zur Positionsbestimmung, aktive Dämpfungskomponenten von Maschinen, mit denen die zunehmend gestellten Anforderungen nach permanentem Messen und Prüfen sowie Erhöhung der Genauigkeit der Maschinen erfüllt werden können.

<sup>57</sup> Von den Herstellern von Maschinensteuerungen werden unter anderem MST-Anwendungen wie Sensoren und Aktoren eingesetzt. Beispielsweise werden Füllstandsmesser, Drucksensoren und im Zusammenhang mit der Verkleinerung der Produkte auch kleinere Komponenten wie Mikropumpen, aus denen die Maschinen zusammengesetzt werden, nachgefragt.

<sup>58</sup> Diesem Problemkreis nehmen sich unter anderem die Initiativen „MST-Tool Pool“ oder „MST-Baukasten“ an; vgl. Abschnitt 3.3.4.

## **Luft- und Raumfahrttechnik – immenses Potenzial, hohe Hürden aufgrund konservativer Ingenieure und Systemkomplexität**

Bei dem immensen Potenzial,<sup>59</sup> das die MST im Anwendungsfeld Luft- und Raumfahrttechnik in Folge der Chancen zur Gewichts- und Volumenreduktion bietet, überrascht die in den Fachgesprächen konstatierte **geringe Verbreitung**. Gründe für diesen Befund sind unter anderem in den **sehr spezifischen Anforderungen an MST-Komponenten** in diesem Anwendungsfeld zu suchen.

Hinzu kommt bei allen Luft- und Raumfahrtssystemen ein **stark ausgeprägtes Sicherheitsstreben der Ingenieure**, die über den Einsatz von Technologien mit zu entscheiden haben. Dies führt dazu, dass sich gerade diese Branche in Bezug auf den Einsatz von neuen Technologien oft außerordentlich konservativ verhält. Nachhaltig gestützt wird das Sicherheitsstreben durch das behördliche Zulassungsverfahren, das sich mit marginalen Verbesserungen in eng begrenzten Bereichen sehr viel weniger schwer tut als mit grundlegenden technischen Veränderungen, wie sie mit dem Einsatz von MST verbunden sein können.

Unterstützt wird dieser Konservatismus durch die **hohe Komplexität aller Luft- und Raumfahrzeuge**. Sie führt dazu, dass der Ersatz von Subsystemen, die auf einem bestimmten Funktionsprinzip aufbauen und sich bisher unter praktischen Bedingungen bewährt haben, durch ein neues MST-basiertes Subsystem erst dann erwogen werden kann, wenn dadurch entweder mögliche negative Auswirkungen auf die vielfältigen Schnittstellen zu anderen Subsystemen ausgeschlossen werden können oder diese entsprechend angepasst wurden.

---

<sup>59</sup> Aktuell werden Überlegungen zum Einsatz von MST-Anwendungen im Anwendungsfeld Luft- und Raumfahrttechnik sowohl im zivilen wie militärischen Bereich angestellt. Beispielsweise untersuchen Triebwerkshersteller aktive Elemente für die Dämpfung von Schwingungen, die Lärm verursachen. Für die militärischen Anwendungen vgl. etwa: Broad Requirements for Advanced Military Micro-Systems, 2000.

## **Chemie / Pharmazie / Umwelt / Lebensmittelindustrie – Boom zu erwarten, wenn staatliche Auflagen die MST erforderlich machen**

Den Fachgesprächen zufolge **setzt sich die Mikroreaktorik** im Bereich der chemischen Produktion **erst allmählich durch**. Die Anwendung der Mikroreaktorik verspricht zwar reinere Produkte und die Möglichkeit, auch kleine Mengen wirtschaftlich zu produzieren, was bei gefährlichen Substanzen zu mehr Sicherheit beiträgt.<sup>60</sup> In den befragten Chemieunternehmen herrschte gleichwohl eine deutlich abwartende Haltung vor; man sieht für die Mikroreaktionstechnik noch keine breite Anwendung über Laboranwendungen hinaus.

Die abwartende Haltung hängt teilweise mit dem **Fehlen ausreichender praktischer Erfahrung** zusammen, ferner werden entsprechende Ansätze erst seit wenigen Jahren diskutiert. Sie wird aber auch dadurch gestützt, dass das Geschäft mit in kleinen Mengen und dezentral hergestellten Feinchemikalien noch **keinen ausreichenden zusätzlichen Umsatz** für viele große Chemieunternehmen verspricht. Dies gilt vor allem dort, wo bei Aufnahme einer dezentralen Fertigung die bisher etablierten Produktionslinien herunter gefahren werden müssten. Unter solchen Bedingungen wird die praktische Einführung der MST erst dann rentabel, wenn sich für die effiziente Produktion in kleinen Volumina entweder eine hinreichende zusätzliche Nachfrage ergäbe oder die bisher genutzten Anlagen wirtschaftlich ersetzt werden könnten. Eine Beschleunigung der Diffusion ist unter anderem zu erwarten, wenn der Staat verschärfte Sicherheits- und Umweltauflagen zur Senkung von Sicherheitsrisiken bei Produktion und Transport gefährlicher Stoffe erlasse.

Ähnlich ist die Situation im **Umweltbereich** und für die **Lebensmittelindustrie**. Besonders im Umweltbereich gibt es eine Reihe von MST-Anwendungen, wie diverse Wasser- und Gasanalysesensoren. Deren breite Durchsetzung auf dem Markt ist mindestens vorübergehend und kurzfristig mit Umstellungs- und ggf. auch höheren laufenden Kosten für die entsprechenden Firmen verbunden. Daher ist sie erst mit einer Verschärfung von bestehenden Auflagen zu erwarten.

In der **Lebensmittelindustrie** hängt die Realisierung der Vorteile beim Einsatz von MST-Sensoren für die Lebensmittelqualität und -sicherheit, wie sie portable einfache Testsysteme, Sensorik für die Lagerungs- und Transportüberwachung sowie Systeme zur Prozessautomatisierung und Qualitätskontrolle erwarten lassen, in aller erster Linie vom Interesse und der Zahlungsbereitschaft des Verbrauchers ab. Für den aber sind diese **Vorteile sehr viel**

---

<sup>60</sup> Vgl. BMBF (Hg.): Förderkonzept Mikrosystemtechnik 2000+, 2000.

**schwerer sichtbar** als die unterschiedlichen Preishöhen, so dass sich MST-Anwendungen auch hier vermutlich erst im Zusammenhang mit einer verbesserten staatlichen Lebensmittelkontrolle durchsetzen können.<sup>61</sup>

### Medizintechnik und Gesundheit – Risiko: Akteurskonstellation

Relativ weit fortgeschritten ist die Diffusion der Komponenten, Instrumente und Systeme der minimalinvasiven Medizin. Die „Schlüssellochchirurgie“ verspricht die Verweildauer von Patienten im Krankenhaus und damit die Kosten im Gesundheitswesen drastisch zu senken.<sup>62</sup> Die Verbreitung dieser Technologie im herkömmlichen Gesundheitssystem ist gewissermaßen „systemkonform“ und stößt daher nur auf geringen Widerstand. In anderen Bereichen des Anwendungsfeldes „Medizintechnik und Gesundheit“ ist hingegen eine **grundsätzlich abwartende** Haltung der Pharmahersteller zu konstatieren, die einer schnellen Verbreitung der bereits vorhandenen Anwendungsmöglichkeiten entgegen steht.<sup>63</sup> Das begründen Pharmaunternehmen und Hersteller der MST-Anwendungen sowohl für Krankenhaus- als auch für ambulante Anwendungen u.a. wie folgt: Die Wirkungen eines breiten Einsatzes von Diagnostika und Therapeutika, die MST-Anwendungen enthalten bzw. selbst darstellen, auf die Kosten des **Gesundheitssystems** seien noch unklar. Insbesondere gebe es keine Gewissheit über die Kostenübernahme durch die Kassen, die aber für eine wirtschaftlich ausreichende Verbreitung Voraussetzung sei.

Hemmend wirkt sich bei der Einführung von Diagnostiksystemen für den niedergelassenen Arzt oder die Patienten auch der Umstand aus, dass insbesondere die Hersteller von Diagnostika, die ihre Anlagen und Reaktionschemikalien bislang auf **Großlabors als Kunden** innerhalb und außerhalb von Kliniken ausgerichtet und für diese optimiert haben, nicht nur ihre Produktions-, sondern auch ihre gesamten Vertriebskanäle und ihr Marktverhalten bei Einführung von dezentraleren Diagnosesystemen für die Arztpraxis oder gar den Patienten umorientieren müssten. Dies ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden, für den der Wirtschaftlichkeitsnachweis noch aussteht.

---

61 Erst Lebensmittelskandale, öffentliche Aufmerksamkeit und nachfolgende Verordnungen veranlassen die Branche verfügbare Technik zur Verbesserung der Lebensmittelqualität einzusetzen. Von sich aus nutzen die Unternehmen die Möglichkeiten der Profilierung ihrer Produkte über die Lebensmittelqualität sehr viel zurückhaltender.

62 Vgl. BMBF (Hg.): Förderkonzept: Mikrosystemtechnik 2000+, Bonn 2000, S. 23.

63 Im Bereich der Diagnostik gibt es unter anderem: Mikrospektrometer, Glukosesensor, pH-Sensor. Für die Therapie wurden unter anderem die folgenden MST-Anwendungen entwickelt: Dilatationskatheter mit Mikropumpe, Sprüherstäuber mit besserer medizinischer Wirkung, die ohne das schädliche FCKW auskommen. Ferner werden für die Diagnostik Multiparametersysteme angedacht und im Bereich Therapie wird u.a. an den folgenden Anwendungen gearbeitet: Mikronadeln zur schmerzfreie Medikation, Stents, DNA-Analytik zur individuenbezogenen Arzneigabe, Wirkstoffdepots mit geregelter Abgabe, Insulinpumpe, künstliches Herz, Retinaimplantat, Nervenstecker.

Für andere Anwendungen, wie etwa den Dilatationskatheter, erscheint die Anzahl der zu erwarteten Diagnosen für eine wirtschaftliche Verwertung zu gering. Vielfach scheitert der dezentrale Einsatz von Diagnostika auch an den **Kosten**: Teilweise fehlen noch preiswerte Materialien für MST-basierte Wegwerfartikel oder die absehbaren Marktvolumina werden als zu klein eingeschätzt.

### **Domotik – Optionen sind vorhanden, Zurückhaltung bei privaten Bauherren**

In der Domotik liegen die größten Diffusionshemmnisse nach der Einschätzung der Fachgesprächspartner vor allem in der bisher noch dominierenden **Zurückhaltung der privaten Bauherren** gegenüber den vielfältigen MST-Anwendungen.<sup>64</sup> In Zweckbauten konnten sie sich dagegen schneller durchsetzen. Bislang verhinderte auf dem zersplitterten Anbietermarkt auch das Fehlen von allgemein akzeptierten Standards die Verbreitung im privaten Wohnungsbau. Inzwischen zeichnet sich hierfür eine europäische Lösung ab.<sup>65</sup>

Für die Zurückhaltung im privaten Bauwesen ist ausschlaggebend, dass für private Bauherren die Höhe der absoluten Investitionskosten einen besonders hohen Stellenwert hat, während bei Geschäftsbauten eine wirtschaftliche Betrachtung üblich ist, bei der die Kosten im Nutzungszeitraum im Vordergrund stehen. Hinzu kommt der noch geringe Kenntnisstand über MST-basierte Anwendungen von Architekten, Bau-Ingenieuren und Handwerkern im Wohnungsbau, auf deren Empfehlungen die meisten privaten Bauherren angewiesen sind.

Die Diffusion könnte sich in den kommenden Jahren stark beschleunigen, wenn z. B. für die Energieversorgung nicht mehr der Wohnungsbesitzer sondern der Stromversorger die Investitionskosten auf der Basis von Energiedienstleistungsverträgen übernimmt. Denn für letztere zeichnen sich mit der MST-Nutzung interessante Geschäftsmöglichkeiten ab, wie etwa Verbindungen zur Informationsversorgung, automatische Zählerablesung, Havarie-Meldung, Fernwartung.<sup>66</sup>

---

64 Aktuell gibt es im Zusammenhang mit der Domotik Anwendungen der Sicherheitstechnik (Feuer-, Wasser-, Einbruchalarm), Klimasensoren, intelligente Steckdosen zur Verbindung und Abstimmung div. elektr. Geräte (Bügeleisen-Tür, Tür-Radio) die unter anderem Sicherheit, insbesondere auch für ältere Menschen, Komfort und Kostensenkungen durch Energiesparen versprechen. In Zukunft wird der Vernetzung der Anwendungen noch größerer Raum gegeben. Ferner sind Sensoren zur Erkennung der Anwesenheit von Personen, intelligente Türschlösser und Codesysteme etc. in der Entwicklung.

65 Eine Reihe von Standards wurde in der Vergangenheit entwickelt: EIB European Installation Bus von Siemens, den EHS sowie den französischen Bati-Bus. Sie sollen im Konnex-Standard aufgehen, der zur Verknüpfung von Elektroinstallation, Telekommunikations- und Unterhaltungselektronik dient. In den USA findet der LON-Standard der Fairma Echelon oder CEBUS Anwendung; vgl. Heimer, T.; Schroeder, R.: Is the house of the future an intelligent home? In: mst news (2001)2, S. 38 f.

66 Vgl. ebd. S. 39.

## Handel verpasst Chancen

Noch **ganz am Anfang** steht in Deutschland die Diffusion der bereits vorhandenen Anwendungsmöglichkeiten von MST im Bereich des Handels.<sup>67</sup> Die Vorteile von MST-Anwendungen liegen hier vor allem in der besseren und kontinuierlichen Überwachung von Warenströmen und Bewegungen einschließlich der sich daraus ergebenden Kostenreduktion und Verbesserung der Qualitätssicherung. Dies bietet vor allem dem Einzelhandel die Chance, das Bestell- und Lagerwesen am Kaufverhalten seiner Kunden auszurichten. Für die Kunden ergibt sich daraus eine bessere und ggf. schnellere Versorgung.

Bisher sind solche Systeme in Deutschland allerdings noch nicht im Einsatz. Die ersten Experimente laufen vor allem in den USA und einigen europäischen Ländern. Der Grund dafür liegt nach der Einschätzung des Experten vor allem in einer großen Technikskepsis der führenden Handelsunternehmen verbunden mit einer starken Fokussierung auf Preiswettbewerb und Kostensenkung. Der Handel begreift sich in Deutschland primär als Warenverteiler, der die Möglichkeiten seiner Endkundenkontakte für ein besseres Marketing kaum aktiv nutzt.<sup>68</sup>

## Komplexität der Diffusionshemmnisse

Betrachtet man die exemplarischen Darstellungen der spezifischen Situation in den Anwendungsfeldern zusammenfassend, deutet sich an, dass der schnelleren Verbreitung der MST in diesen Feldern vor allem die folgenden häufig negativ bewerteten Risikoabwägungen entgegenstehen:

- Marktrisiken durch schwer kalkulierbare Innovationszeiträume,
- Finanzierungs- und Kostenprobleme,
- Risiken der Genehmigungs- und Zulassungsverfahren.

Bezüglich der Marktrisiken zeigt sich, dass die kommerzielle Nutzung von MST-Anwendungen außerordentlich stark **mit dem Innovationsgeschehen in den vor- und nachgelagerten Branchen verknüpft** ist. In dieser Situation stehen viele MST-Hersteller in **direkter Konkurrenz zu traditionellen Zulieferprodukten**. Ferner lässt sich die Einführung meist nur in

---

<sup>67</sup> Bereits verfügbare Anwendungen sind das elektronische Preisetikett oder Infoboards am Einkaufswagen. Künftig sind Sensorik für Kühlgeräte, Kassen, Lager etc., Kommunikationsgeräte zwischen vorgenannten Systemen oder die Infrarotidentifikation von Kunden(bewegungen) möglich. Ohne MST-Anwendungen kommt die Vision durchgängiger Kontrolle über die Warenbewegungen in der Logistikkette nach Auskunft von Fachgesprächspartnern nicht aus.

<sup>68</sup> Inwieweit Logistikunternehmen wie DHL oder UPS bei der Verfolgung der einzelnen Sendungen MST einsetzen, ist bei den Fachgesprächen nicht thematisiert worden.

Zusammenarbeit mit den Abnehmern durchsetzen, denn sie erfordert auch von ihnen nicht selten größere Umstellungen im Design ihrer (noch) marktgängigen Produkte und deren Fertigung.

Die von den Unternehmen angegebenen Finanzierungs- und Kostenprobleme stellen sich nach der Betrachtung der Vorlaufzeiten der MST und der anwendungsfeldspezifischen Diffusionsbedingungen wie folgt dar:

- (a) die langen Vorlaufzeiten und damit die langen Zeitspannen zwischen Investition und Rücklauf der investierten Mittel stellen insbesondere für die häufig eigenkapitalschwachen KMU an sich schon ein Finanzierungsproblem dar;
- (b) daneben tauchen Kostenprobleme auf, die mit dem Problem der kritischen Mengen verknüpft sind.

Das **Problem der kritischen Mengen** stellt sich für alle potenziellen Partner auf der Wertschöpfungskette gleichermaßen:<sup>69</sup> MST-Hersteller wenden ihre MST-Kompetenzen nur an, wenn der zu erwartende Umsatz mit ihrem oder ihren Kunden eine kostendeckende Fertigung verspricht. Ebenso werden sich Vorlieferanten von Spezialmaterialien und –komponenten nur zu entsprechenden Entwicklungen bereit finden, wenn sie mit einem Kosten deckenden Umsatz rechnen können. Schließlich werden MST-Nutzer die entsprechenden Anpassungen bei den eigenen Produkt- und Produktionslinien nur in Angriff nehmen, wenn sie sich davon Verbesserungen in ihrer Wettbewerbs- oder Ertragsposition versprechen.

Hinzu kommt in manchen Feldern<sup>70</sup> ein zeitraubender und meist kostspieliger Prozess zur Beantragung neuer Produkt- und Fertigungsgenehmigungen.

### **Automobil und IuK – Ohne MST nicht mehr denkbar**

Konzentriert man sich auf die Beispiele für bisher besonders erfolgreiche MST-Anwendungen in der Automobilproduktion und im Informations- und Telekommunikationsbereich, so zeigt sich, dass es sich bei diesen Anwendungen **meistens um typische Zulieferprodukte** handelt, die in vielfach bereits vorhandene (technische) Makrosysteme integriert wurden. Die entsprechenden Abnehmer (meist Großunternehmen mit einer entsprechend starken Wettbewerbsposition gegenüber ihren Zulieferern) konnten die MST-Komponenten dabei teilweise erst einsetzen, wenn sie

---

<sup>69</sup> Z.B. im Maschinenbau, Medizintechnik und Gesundheit, Luft- und Raumfahrttechnik oder Chemie / Pharmazie / Umwelt / Lebensmittelindustrie.

<sup>70</sup> Z.B. Luft- und Raumfahrttechnik, Chemie / Pharmazie / Umwelt / Lebensmittelindustrie sowie Medizintechnik und Gesundheit,

dafür auch die bisher am Markt bereits eingeführten Makrosysteme (z.B. Autos, Rechner, Peripheriegeräte) entsprechend umgestellt und teilweise neu konzipiert haben. Auch dies erforderte bei ihnen nicht selten kostenintensive Veränderungen bei den eingeführten Produkten und Herstellverfahren.

In diesen Bereichen kam die Diffusion daher erst in Fahrt, als die industriellen Nutzer, d.h. die Unternehmen, die die MST-Anwendung in ihr Endprodukt integrieren, von deren Vorteilen überzeugt waren. In diesem Zusammenhang waren die folgenden Aspekte wesentliche **Kriterien für den Erfolg**:

- der Nachweis **höherer Absatzchancen für das Makrosystem** durch Einsatz der Mikrosysteme (z.B. auf Grund von einer höheren Funktionalität und/oder niedrigeren Kosten),
- die **Zuverlässigkeit und Qualitätsstabilität** der MST-Zulieferprodukte, die insbesondere durch Silizium-basierte MST-Massenfertigung mitgebracht wird,
- die möglichst einfache und im Idealfall additive **Integrierbarkeit der MST-Komponenten** in die Makrosysteme,
- die **Kompatibilität der eingesetzten MST-Komponenten** mit Einflüssen aus der Umgebung der Anwendung sowie
- ein **potenzieller Imagegewinn** bzw. eine gewisse Werbewirksamkeit der MST-Anwendung für das Endprodukt.

#### **Erfolgsbedingung:**

#### **Kooperation mit Vertretern der gesamten Absatz- und Wertschöpfungskette**

Insbesondere in den Anwendungsfeldern Automobil und IuK wirkt sich die technische Abhängigkeit der Diffusion von MST-Komponenten von der Integration in funktions- und verkaufsfähige Endprodukte auch auf die **wirtschaftlichen Diffusionsbedingungen** aus: Die Entwicklung und Nutzung der MST erfolgt in diesen Fällen zunächst bei Komponentenherstellern und Zulieferern, die sich davon einerseits die Erhaltung der Technologieführerschaft und Optionen für Produktinnovationen versprechen, andererseits aber mit den eigenen Entwicklungen in Konkurrenz zu bisherigen, auch eigenen Angeboten von Komponenten in traditioneller Technik treten und dafür meist nur sehr begrenzte Preisspielräume haben. Gleichzeitig müssen sie ihre wirtschaftlich oft sehr viel kapitalstärkeren Abnehmer zu spezifischen Innovationsanstrengungen veranlassen, damit sie die neuen MST-haltigen Komponenten in ihre eigenen Produkte integrieren können.

Die MST-Hersteller und –Entwickler dieser Anwendungsfelder sind **damit Glieder in einer Absatz- und Wertschöpfungskette**, in der viele rechtlich und wirtschaftlich selbständige Unternehmen zusammen arbeiten müssen und von deren **gemeinsamer Innovationskraft** auch ihr eigener Erfolg abhängt.<sup>71</sup> Dies macht die enge Kooperation zwischen den Unternehmen beispielsweise in der Zulieferkette Automobil (z.B. Bewegungssensor - Airbag - Fahrzeug) notwendig. Auch in anderen Anwendungsfeldern ist die Zusammenarbeit ein entscheidender Erfolgsfaktor für die Diffusion der MST in Deutschland. So existieren Abhängigkeiten zwischen MST-Komponenten-Hersteller und Abnehmer im Maschinenbau, die Anforderungen an die Systemintegration in der Luft- und Raumfahrttechnik stellen ein Problem der MST-Anwendung dar, im Umwelt- und Lebensmittelbereich sind u.a. Abhängigkeiten von der Gesetzgebung gegeben. Ferner trifft die MST in der Medizintechnik auf Seiten der Pharmahersteller, Kassen und Leistungserbringer auf Schwierigkeiten im Hinblick auf Fragen der Akzeptanz und Zulassung. In allen diesen Feldern gilt, dass rechtlich selbständige Institutionen zusammenarbeiten müssen, um mit der Innovation durch Einsatz von MST gemeinsam Erfolg zu haben. Nicht zufällig legen gerade die erfolgreichen Nutzer von MST großen Wert auf den Abschluss von Vermarktungsabkommen und strategische Allianzen mit Kunden oder Vorlieferanten.

### 3.3.3 Einschätzungen zum Stand der deutschen MST im internationalen Vergleich

Ein wichtiger Faktor für die Diffusion neuer technischer Entwicklungen ist der internationale Handel und die Stellung der Unternehmen eines Landes im internationalen Wettbewerb zunächst im Hinblick auf Forschung und Entwicklung dann aber besonders hinsichtlich der erfolgreichen wirtschaftlichen Umsetzung von neuen technischen Entwicklungen. Dieser Abschnitt thematisiert den internationalen Stand der deutschen MST\_Forschung und Umsetzung von MST-Fragestellungen aus der Sicht der antwortenden Unternehmen.

Eine **Stärke Deutschlands** wird von den in diesen Feldern aktiven Unternehmen in einer Reihe von Anwendungsfeldern wie vor allem der **Chemie, der Umwelttechnik, bei Automobil und Verkehr, Energie, Haushaltselektronik und Lebensmittelverarbeitung** gesehen.

---

<sup>71</sup> Vgl. hierzu auch: ZVEI (Hg.): Erfolgsfaktoren für eine industrielle Mikrosystemtechnik in Deutschland, Juni 2002, S. 10.

In all diesen Bereichen ist zumindest die Forschung gleichauf mit oder sogar weiter entwickelt als die entsprechende Forschung in Japan. Eher skeptisch fällt die Einschätzung für Chemie und Umwelt (einschl. Recycling) im Hinblick auf die praktische wirtschaftliche Anwendung aus. Hier werden die USA als eindeutig führend eingestuft. Das trifft aber nicht auf die Umsetzung des High Throughput Screening in der **Chemie / Pharmazie** zu, wo Deutschland als international führend von einem Experten gesehen wird.

In den Anwendungsfeldern **Informations- und Kommunikationstechnik sowie Telekommunikation** sehen die hier aktiven Unternehmen einen deutlichen **Vorsprung der USA und Japans** in der Forschung.

Als führend in der Forschung für die Anwendungsfelder **Umwelt und Energie** werden ebenfalls die **USA** eingeschätzt.

Die im Anwendungsfeld **Automation** aktiven Unternehmen sehen Deutschland in der Umsetzung gut positioniert. In ausgewählten MST-Anwendungsfeldern wie der **Prozessmesstechnik** und der **Füllstandsmessung** sehen einzelne Fachgesprächspartner sogar Deutschland als international führend an.

Widersprüchlich ist die Einschätzung in bezug auf den **Maschinenbau**. Hier sieht die Mehrzahl der Fachgesprächspartner Deutschland bei der Integration von MST durchaus an der Spitze, während eine Minderzahl die Diffusion der MST in ihrem eigenen Bereich sogar noch vorsichtiger einschätzt als die Firmen außerhalb des Maschinenbaus.

Auch im Anwendungsfeld **Medizintechnik und Gesundheit** zeigt sich ein eher differenziertes Bild. Danach ist die deutsche Position im Vergleich zu derjenigen der USA in Forschung und Umsetzung je nach der konkreten Anwendung sehr unterschiedlich. So werden beispielsweise die USA bei den Mikronadeln als führend eingeschätzt, während Deutschland die Spitzenposition für den Wirkstofftransport bei Aerosolen hält.

Auch im Anwendungsfeld **Domotik** sind die Anbieter aus den USA sehr ernst zu nehmende Konkurrenten. Ein uneinholbarer Vorsprung wird darin allerdings nicht gesehen. US-amerikanische Firmen konzentrieren sich bisher vor allem auf Anwendungen im Zweckbau. Für den gesamten Baubereich sind dagegen die technischen Kompetenzen in Deutschland nicht nur vorhanden, sondern auch eher auf eine markterschließende Ausdehnung der MST-Nutzung auf den gesamten Baubereich ausgelegt. Die gemeinsame Definition von Industrie-Standards in den EU-Staaten hat zudem die Vermarktungschancen deutlich verbessert.

Das Anwendungsfeld **Luft- und Raumfahrttechnik** wird von einzelnen Fachgesprächspartnern aufgrund seiner Bedeutung für die äußere Sicherheit als strategisches Feld bezeichnet. Sie bewerten die Position Deutschlands hier als gut in Bezug auf Know-how und Infrastruktur. Allerdings fehlten ihnen zufolge Betriebe, die mit britischen, französischen und insbesondere US-amerikanischen Unternehmen konkurrieren könnten. Hier wirkt sich besonders die Tatsache aus, dass anders als in Deutschland die Rüstungsindustrie in diesen Staaten seit dem 2. Weltkrieg eine größere Rolle spielte und sich die Firmen besonders in den USA einer massiven Unterstützung durch DARPA erfreuen.

Das führt zu dem Schluss, dass **MST-Forschung und Umsetzung in Deutschland verglichen mit den anderen Staaten Europas an der Spitze und ansonsten in der Spitzengruppe anzusiedeln ist**, etwa gleichauf mit den USA und evtl. noch vor Japan. Dabei variiert die deutsche Position von Anwendungsfeld zu Anwendungsfeld. Sie ist insbesondere dort stark, wo auch die deutsche Industrie ihre traditionellen Stärken hat. Hierzu gehören u.a. Automobil und Verkehr, Maschinenbau, Chemie. Ferner wird von Industrievertretern im Bereich der Nicht-Silizium-Anwendungen eine Stärke der deutschen Position vermutet. Schwächen liegen daher eher in den Bereichen Informations- und Kommunikationstechnik oder der Luft- und Raumfahrttechnik.

In den Grundzügen werden damit die Aussagen von Bierhals et al. Bestätigt, jedoch aufgrund des hier gewählten Untersuchungsansatzes differenziert.<sup>72</sup> Im Vergleich der Untersuchungsergebnisse zeigen sich erfreuliche Entwicklungen. Seit dem Untersuchungszeitpunkt der Bierhals-Studie scheint die dort konstatierte Dominanz der Institute zurückzugehen und die Zurückhaltung der Industrie lockert sich.<sup>73</sup>

### 3.3.4 Design, Simulation und MST-Baukasten zur Diffusionsförderung?

Als **wichtige Handicaps** für die schnelle Diffusion von Neuentwicklungen in der MST erweisen sich immer wieder zwei Aspekte, ein technischer und ein wirtschaftlicher:

- **Technisch** macht die Entwicklung und vor allem die Herstellung von Mikrosystemen oftmals viele unmittelbar aufeinander aufbauende Arbeitsschritte nötig.

---

<sup>72</sup> Bierhals, R.; Cuhls, K.; Hüntrup, V.; Schünemann, M.; Thies, U.; Weule, H.: Mikrosystemtechnik. Wann kommt der Marktdurchbruch? Miniaturisierungsstrategien im Technologiewettbewerb. Physica, Heidelberg, 2000.

<sup>73</sup> Vgl. hierzu die Aussagen der Bierhals-Studie; ebd. S. 132.

- **Wirtschaftlich** lassen sich diese vielfältigen Arbeitsschritte bzw. der Aufbau entsprechender Produktions- und Vertriebskapazitäten nur vertreten, wenn die spezifischen Kosten- und Absatzrisiken nicht zu hoch und mit ausreichender Sicherheit kalkulierbar sind.

Diese technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen für die MST-Nutzung haben vielfach dazu geführt, dass die verschiedenen **MST-Entwicklungen** heute **meist in unmittelbarem Bezug zu ganz bestimmten individuellen Anwendungen** vorangetrieben werden. Dabei müssen auch alle anfallenden Entwicklungskosten allein durch diese spezifischen Anwendungen gedeckt werden. So ist der Drucksensor für die Anwendung im Endprodukt des Unternehmens A nicht derselbe wie der, der im Endprodukt des Unternehmens B zum Einsatz kommen kann. In der Folge liegen die zu fertigenden Stückzahlen relativ niedrig. Um so höher fallen die Risiken aus, die sich aus Entwicklungsaufwendungen, -zeiten und -kosten, dem Bau und Betrieb der Produktionseinrichtungen sowie dem Aufwand für Qualitätsprüfung und Test der MST-Produkte kumulieren.

Vergleichbare Probleme waren auch im Zusammenhang mit der Entwicklung der Mikroelektronik aufgetreten und konnten dort zumindest teilweise durch die **Entwicklung von ASICs** auf Basis der Vereinbarung übergreifender Standards sowie durch die Wahl des Werkstoffs Silizium mit einem darauf abgestimmten Produktionsprozess überwunden werden.<sup>74</sup> Nicht zufällig stützte sich auch die Entwicklung von Mikrosystemen technisch in den wirtschaftlich bisher erfolgreichsten Anwendungsfeldern, nämlich im Automobilbau, vor allem auf MST-Entwicklungen, die auf Erfahrungen in der Mikroelektronik basieren.

Vor diesem Hintergrund liegt es nahe, die in der Vergangenheit erfolgreich angewandten Strategien zur Lösung dieser Probleme gedanklich für die MST weiterzuentwickeln. Dies hat zu mehreren Projekten mit Beteiligung der Industrie geführt. Im Vordergrund standen vor allem folgende Ansätze:

- Die **Entwicklung von Tools** für Design, Simulation und Tests für Mikrosysteme sowie der Aufbau entsprechender Dienstleistungsanbieter.
- Die Entwicklung, Standardisierung und (ggf. arbeitsteilige) Produktion eines **MST-Baukastens**, dessen Komponenten die jeweiligen MST-Anwender anwendungsspezifisch verknüpfen bzw. integrieren können.

---

<sup>74</sup> ASIC - Application Specific Integrated Circuits

- Der Aufbau und der Betrieb von **Foundries**, die analog zur Herstellung von ASICs im Bereich der Mikroelektronik die Produktion von Mikrosystemen im Kundenauftrag und nach dem Design der Kunden in kleinen Stückzahlen übernehmen können.

Die Entwicklungsarbeiten an diesen Instrumenten werden seit Mitte der 90er Jahre vorangetrieben. Auch die EU ist in diesem Bereich z. B. mit der Unterstützung von Foundries in Deutschland tätig.<sup>75</sup> Angesichts der hier bestehenden theoretischen, technischen und vor allem auch wirtschaftlichen Probleme des Aufbaus einer solchen MST-spezifischen Dienstleistungs- und Produktionsinfrastruktur ist jedoch der Zeitraum für die Einschätzung der Wirkungen dieser Initiativen auf die Diffusion der MST in Deutschland eindeutig zu kurz.

Beispielsweise gingen im Bereich der Mikroelektronik hierfür zumindest in Deutschland Jahrzehnte ins Land, ohne dass der Prozess nach Einschätzung einiger Experten bereits als abgeschlossen angesehen werden kann.

### Design, Simulation, Test

Ein ganz erheblicher Teil der Entwicklungskosten für neue MST-Anwendungen hängt gegenwärtig noch damit zusammen, dass – wie ein Gesprächspartner es auf den Punkt brachte – „wir jedes Mikrosystem für jede neue Anwendung nach dem uralten Verfahren des Trial-and-Error ausprobieren und zwar manchmal bis zum bitteren Ende, bei dem ein ausgeliefertes System zu hohen Kosten aus der praktischen Anwendung zurückgerufen werden muss.“

Wie bei der Entwicklung von ASICs wäre es vor diesem Hintergrund wünschenswert, wenn man in der Lage wäre, am elektronischen „Reißbrett“ ein MST-Design und –Layout zu entwickeln, dieses im Computer zu modellieren und dessen Funktionalität zu simulieren. Dadurch könnten die Optimierungszyklen, die heute noch viele trial-and-error-Schleifen notwendig machen, verkürzt und der notwendige Mitteleinsatz zur Steigerung der Entwurfs-effizienz und Einbettung der MST in die Systemumgebung erheblich gesenkt werden. Besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die Entwicklung von Testverfahren für die produzierten MST-Anwendungen.<sup>76</sup> Vor diesem Hintergrund werden Projekte wie der MST-Tool-Pool diskutiert.

---

<sup>75</sup> EUROPRACTICE mit dem deutschen Manufacturing Cluster.

<sup>76</sup> Über die Entwurfs-lücke in  $\mu$ E und MST vgl.: Elst: Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen.

Die Fachgespräche ergeben im Hinblick auf das Interesse der Unternehmen und die erwarteten Erfolgchancen dieser Ansätze ein **vergleichsweise ernüchterndes Bild**:

- In den Fachgesprächen werden durchweg **Zweifel an der beschriebenen Strategie** geäußert. Zunächst wird darauf hingewiesen, dass schon in der Mikroelektronik in Deutschland die Unternehmen fehlten, die Standardsoftware für Design und Simulation von ASICs schrieben. Diese Unternehmen, die vor allem in den USA angesiedelt sind, versuchen die dabei entwickelten Werkzeuge bereits heute auch für MST-Anwendungen einer breiten Kundenschicht verfügbar zu machen.
- Unabhängig davon wurde aber in allen Fachgesprächen seitens der Unternehmen bezweifelt, dass der Weg analog zur Entwicklung von ASICs in der Mikroelektronik im Bereich der MST überhaupt gangbar ist. Die MST unterscheidet sich durch ein Vielfaches an Varianten von den Vorbildern in der Mikroelektronik. Energie- und Stoffströme, Varianten von Input- und Outputgrößen, Umgebungsbedingungen und Funktionalität der Komponenten sind so vielfältig, dass sich die Gesprächspartner Standardisierungen in der Design- und Simulationsphase kaum, noch weniger aber in der Kombination von „Lego-Bausteinen“ vorstellen konnten.

Dies scheint im Widerspruch zum Engagement von Unternehmen zu stehen, die sich z.B. als Dienstleister an der entsprechenden Werkzeugentwicklung beteiligen. Hier ist zu bemerken, dass die oben zitierten Gesprächspartner nicht Teilnehmer derartiger Aktivitäten sind.

Vor diesem Hintergrund ist zu konstatieren, dass die mit den Vorhaben unternommenen Versuche, Erfahrungen mit MST-Entwürfen zu bündeln und in für Ingenieure handhabbare Form zu bringen, wichtig für die Fortentwicklung der MST sind.

## **MST – Baukasten**

In der Gegenwart versuchen die Unternehmen, die sich intensiv mit der Entwicklung und dem Einsatz von MST-Anwendungen befassen, andere **Wege zur Kostensenkung und Qualitätssicherung** zu identifizieren. Dazu bemühen sie sich, ihre eigenen Entwicklungsanstrengungen so auszurichten, dass sie dafür auf am Markt gängige und unter Qualitäts- bzw. Gewährleistungsgesichtspunkten zuverlässige MST-Komponenten zurückgreifen, wo immer dies möglich ist. Sehr häufig stammen diese aus den Bereichen Automobil und Verkehr bzw. Information und Kommunikation.

Die Unternehmen nähern sich mit diesem **pragmatischen Vorgehen** durchaus den theoretischen Vorstellungen, wie sie auch dem Versuch zugrunde liegen, durch die Bereitstellung eines MST-Bau-

kastens<sup>77</sup> die Entwicklungsrisiken zu senken, die Stückzahlen zu erhöhen und die Individualität der Anwendung durch eine unterschiedliche Kombination von Eigen- und Fremdkomponenten sicherzustellen.<sup>78</sup> So stimmten auch die in den Fachgesprächen zu diesem Thema befragten Unternehmensvertreter überwiegend zu, dass es sich bei der Definition von Standardelementen um ein wichtiges Element zur Verbreitung der MST handelt. Entsprechend haben auch die Aktivitäten in dieser Richtung in diversen Anwendungsfeldern, so Fachgesprächspartner, zu intensiven Diskussionen geführt. Damit haben diese Aktivitäten einen deutlich erkennbaren Awareness-Effekt. Das Problem wird von den Herstellern von MST-Komponenten wahrgenommen.

Ihr eigentliches Problem sehen sie aber mit dem an sich theoretisch so überzeugenden Ansatz weder gegenwärtig gelöst, noch als auf Dauer aus heutiger Sicht lösbar: Angesichts der Heterogenität und Leistungsstruktur der zum Einsatz kommenden Techniken, deren Kombination und Abstimmung praktisch nur durch die noch größere Vielfalt der jeweils spezifischen Anwendungsformen für die MST möglich ist, fällt es den Gesprächspartnern schwer, sich eine endliche, aber zugleich ausreichende Zahl von Systemkomponenten vorzustellen, die entsprechend eindeutig definiert und für die große Zahl von MST-Anwendungen mit ihren unterschiedlichen Qualitätsanforderungen kombiniert werden können.

Daher wurde das bisherige Vorgehen zur Entwicklung von MST-Bausteinen von den Unternehmen vielfach als akademisch bezeichnet. Diese Herangehensweise an das Thema ist ihnen relativ fremd und sie unterscheidet sich von dem von ihnen bisher eingeschlagenen Weg vor allem dadurch, dass sie selbst für ihre Anwendungen keine MST-Komponenten und -teile, sondern bereits fertige und im praktischen Einsatz erprobte Mikrosysteme nutzen. Soweit dies auch bereits Standardprodukte aus besonders qualitätsbewussten Anwendungsfeldern sind, erleichtert oder erspart dies sogar zusätzlich die eigene Qualitätskontrolle für die Zulieferteile.

Vor diesem Hintergrund sind Ansätze zu begrüßen, die quasi bottom-up von bestehenden MST-Komponenten ausgehend versuchen, Standardelemente und Wege zur Anpassung derartiger Komponenten an andere Einsatzfelder zu finden.

---

<sup>77</sup> Aktuell laufende Projekte sind: IMODAS, PNEUVENTIL, MoMiMec, Einsatz der MST im Maschinen- und Anlagenbau, BAULIN, MSTMASCH II, AMA-MST, LIM mit einem Gesamtbudget von ca. 20 Mio €.

<sup>78</sup> Modularisierung, um kleine bis mittlere Stückzahlen zu ökonomisch akzeptablen Preisen anbieten zu können; vgl. Studie mit VDMA Unternehmen. Produkte des Maschinen- und Anlagenbaus mit integrierten Mikrosystemen. Exec. Vers., Stuttgart, Sept. 96.

Nicht zuletzt zeigt die Tatsache, dass sich die Verbände<sup>79</sup> als Sachwalter der Unternehmen einschalten, dass die Unternehmen das mit den Vorhaben zu lösende Problem drängt. Ferner erhöht deren Engagement die Chancen, dass sich entgegen der Beurteilungen der im Rahmen dieser Studie Befragten positive Ergebnisse erzielen lassen.

## Foundries

Die folgenden Ausführungen zu den Foundry-Aktivitäten beziehen sich vornehmlich auf die Silizium-basierte MST, bei der schwerpunktmäßig die Foundry zur Reduktion der spezifischen Kosten der Produktion diskutiert wird. Im Hinblick auf die Bedeutung und Notwendigkeit von Foundries im Zusammenhang mit der Diffusion von MST sind die Aussagen weniger eindeutig. Ganz sicher wäre die Anwendung von MST, wie sie heute nach den hier zu Grunde liegenden Erhebungen in Deutschland vorzufinden ist, ohne die Existenz von Foundries<sup>80</sup> zur Herstellung von SI-basierten Mikrosystemen noch nicht so weit fortgeschritten.

Foundries<sup>81</sup> bieten Produktionskapazitäten für MST-Komponenten an, wenn sich der Kunde an die Designvorgaben der Foundry hält. Die unter anderem in sog. Foundries vorhandenen MST-Fertigungskapazitäten sind in Deutschland nach Auskunft einer Reihe von Fachgesprächspartnern inzwischen in ausreichender Menge vorhanden. Gleichzeitig gibt es aber noch keine Foundry, die über MST-Produktion allein voll kostendeckend arbeitet. In den meisten Fällen handelt es sich um Einrichtungen, bei denen die MST zusätzliche Auslastung der Halbleiterfertigung bringt und damit hilft, deren Kosten zu senken.

Hinzu kommen bei einigen MST-Herstellern spezifische Probleme: Die Foundry-Betreiber sind in aller Regel auch selbst Hersteller und Lieferanten von Mikrosystemen und in dieser Eigenschaft tatsächliche oder potenzielle Konkurrenten derjenigen, die ggf. auf ihre Hilfe für die Herstellung der eigenen Designs angewiesen sind. So befürchten manche der befragten Fachgesprächspartner, dass ihnen durch die notwendige Kooperation bei Entwicklung, Test und Einfahren der Fertigung wichtiges Entwicklungs-Know-how zu den Mitarbeitern des Foundry-Betreibers abfließt, das diese bei der Entwicklung der eigenen MST-Anwendungen zum Nachteil des früheren Auftraggebers nutzen, auch wenn sie sich

---

<sup>79</sup> Beispielsweise haben sich an Projekten zum Thema Baukasten die Verbände: VDMA, AMA, ZVEI, Dechema als Partner oder in beratender Eigenschaft engagiert.

<sup>80</sup> Foundry ist hier definiert als Produktionsanlage für MST-Komponenten, die von unterschiedlichen MST-Unternehmen für die Herstellung ihrer MST-Komponenten genutzt wird. Eine andere Möglichkeit der Definition stellt darauf ab, dass MST-Komponenten verschiedener Hersteller auf einem Wafer gefertigt werden sollen. Nach dieser Definition gibt es aktuell in Deutschland keine Foundry.

<sup>81</sup> Foundries sind beispielsweise: Microfab (Bremen), Bosch (Reutlingen), Fh-ISIT (Itzehoe)

dessen im Einzelfall gar nicht bewusst sind und gegen keine Schutzrechte verstoßen.

Die aktuell vorhandenen Foundries sind meist Fertigungsstätten, auf denen vorwiegend Halbleiterbauelemente gefertigt werden. Die Produktion von MST-Bauteilen ist meist ein Zusatzgeschäft. Vor diesem Hintergrund verweisen Fachgesprächspartner aus Industrie und Wissenschaft gleichermaßen auf der Basis eigener Erfahrungen darauf, dass die MST-Hersteller nur geringe Einflussmöglichkeiten auf die Aktivitäten der Foundries haben. Das resultiert in erheblichen Qualitätsproblemen, treibt die Kosten in die Höhe und die Lieferfähigkeit ist nicht sichergestellt.

## 3.4 Volkswirtschaftliche Bedeutung der MST für Deutschland

### 3.4.1 Qualitative Anhaltspunkte zur Bedeutung von MST auf Basis der durchgeführten Erhebungen

Die Erhebungen und Fachgespräche lassen erste qualitative Aussagen über die Bedeutung der MST für die deutsche Wirtschaft zu:

1. Die MST hat im Laufe der 90er Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen und ist insbesondere für eine **wachsende Zahl kleinerer Unternehmen** zur Basis ihrer Geschäftstätigkeit geworden: Über die Hälfte der antwortenden Unternehmen erzielen im Geschäftsjahr 2000 einen Umsatz von unter 10 Mio. €. Die in der Erhebung als Obergrenze genannte Umsatzmarke von 40 Mio. € überschritten nur 28 % der Firmen. Die Wirkungsanalyse zeigte, dass der Anteil an Neueinsteigern bei Unternehmen über alle Programmphasen hinweg hoch ist. Ferner stieg der Umsatzanteil, der auf MST-haltige Produkte entfällt, zwischen 1995 und 2000 im Durchschnitt aller antwortenden Unternehmen von 18 % auf 30 %, und der Anteil der zugekauften bzw. selbst produzierten MST am Gesamtumsatz wuchs in dieser Zeit durchschnittlich von 13 % auf 20 % an.
2. Die MST hat sich als eine typische **Querschnittstechnologie** erwiesen, die es gerade KMU erlaubt, sich mit einem **spezifischen Know-how** als unentbehrlicher Zulieferer für unterschiedliche Anwendungsfelder zu positionieren. Praktisch keines der in der MST engagierten Firmen konzentriert seine Anstrengungen dabei auf nur einen Anwendungsbereich. So sind beispielsweise 60 % der Firmen im Feld „Automation (incl. Mess- und Regeltechnik)“ und durchschnittlich in mehr als 2 weiteren Feldern tätig. Dieses Muster zeigt sich bei der Betrachtung aller Anwendungsfelder in gleicher Weise.
3. Die Betrachtung der Anwendungsfelder zeigte, dass die MST bisher ganz überwiegend in Vorleistungsprodukten zum Einsatz kommt. Diese Vorleistungsprodukte führen ihrerseits zu Verbesserungen von marktgängigen Systemprodukten oder Produktsystemen bzw. versprechen dazu zu führen. Dies ist inzwischen bei einer Reihe von für Deutschland besonders wichtigen Wirtschaftszweigen der Fall: Die Verbesserungen durch die MST haben beim Automobil- sowie Maschinen- und Anlagenbau, der Elektrotechnik, der chemischen und pharmazeutischen Industrie und insbesondere in der Automations-, Mess- und Regeltechnik (einschl. Medizintechnik) zu einer **Steigerung der Innovationskraft** beigetragen.

Dieses Urteil lässt sich wie folgt begründen: Die antwortenden Unternehmen, die sich mit MST-Produkten bzw. – Komponenten beschäftigen, sind in vielen Anwendungsfeldern aktiv, die für den Automobilbau, Maschinen- und Anlagenbau, die Elektrotechnik etc. von besonderer Bedeutung sind. Allein 60 % der Unternehmen beschäftigen sich mit der Automatisierungstechnik, 34 % mit Medizintechnik, im Bereich IuK sind ein Drittel aller Unternehmen tätig. Diese Aktivitäten sind, betrachtet man die Entwicklung der Umsätze der Unternehmen und der Umsatzanteile (s.o.), überwiegend erfolgreich. Wenn die Unternehmen oder Endkunden Produkte kaufen, die ihnen einen wirtschaftlichen Vorteil bieten, ist davon auszugehen, dass die MST zur Steigerung der Innovationskraft beiträgt. Gestärkt wird dieses Argument, wenn man zusätzlich bedenkt, dass insbesondere das Interesse der Kunden an den MST-Entwicklungen der antwortenden Unternehmen über deren eigene Erwartung hinaus groß ist.

4. Gerade die im Vergleich zu den Erwartungen große Anerkennung von den Kunden hinsichtlich der Beschäftigung mit der MST deutet zusammen mit der Kenntnis der häufig noch zähen Diffusion weiter darauf hin, dass es selbst in Bereichen, in denen die MST bisher noch keine große Bedeutung gewonnen hat, **indirekt zu Innovationsanstößen** bei den bisher etablierten Produkten und den dort angewandten Techniken gekommen ist. Hier konnten etablierte Produkte ihre Märkte auch gegen die Konkurrenz von Produkten auf MST-Basis durch Leistungsverbesserungen verteidigen („sailing ship Effekt“)<sup>82</sup>. Das gilt unter anderem für die Sensorik in vielen Anwendungsfeldern.

### 3.4.2 Quantitative Abschätzung der Bedeutung der MST

#### Schätzung der Umsätze mit MST auf Basis der schriftlichen Erhebung

Über die qualitativen Einschätzungen hinausgehende quantitative Aussagen zur Größenordnung des gegenwärtigen Beitrags der MST zur wirtschaftlichen Entwicklung und Beschäftigung in Deutschland und zum Stand der gesamtwirtschaftlichen Diffusion lassen sich aufgrund der Ergebnisse der durchgeführten Erhebungen nur mit eingeschränkter Belastbarkeit machen. Die Gründe dafür liegen in den methodisch kaum vermeidbaren

---

<sup>82</sup> Der „sailing ship Effekt“ verweist auf den Innovationswettbewerb zwischen Großseglern und Dampfern im 19. Jahrhundert. Das Erscheinen der Dampfer erzwang bei den Seglern erhebliche Leistungsverbesserungen, die sie über einen großen Zeitraum des 19. Jahrhunderts hinweg gegenüber den später obsiegenden Dampfern konkurrenzfähig hielten.

Verzerrungen der Erhebungen, die eine einfache Übertragung der Befragungsergebnisse auf die Gesamtwirtschaft nicht zulassen: In die Erhebungen einbezogen waren nur Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen, die sich an der Förderung der MST beteiligt hatten oder auf Grund ihrer Teilnahme an einschlägigen Veranstaltungen in Deutschland als MST-Interessenten identifiziert wurden.

Die Schlussfolgerungen auf der genannten Datengrundlage sind eindeutig: Die in den Erhebungen angegebenen Umsätze und Beschäftigtenzahlen mit MST zurechenbaren Produkten bzw. mit MST enthaltenden Produkten liegen bezogen auf den Anteil dieser Produkte am Umsatz sicherlich höher als in anderen vergleichbaren, aber nicht erfassten Unternehmen. Andererseits ist die Zahl der in den Erhebungen repräsentierten Unternehmen bezogen auf die Gesamtwirtschaft zu klein. Dies dürfte besonders stark bei den Anwendern und Integratoren von MST-haltigen Komponenten zutreffen, die diese im Rahmen von komplett gefertigten Zulieferprodukten von den Lieferunternehmen übernehmen und sich relativ wenig Gedanken über deren technische Komponenten machen, solange die Qualitätsanforderungen eingehalten werden.

Die erhebungstechnischen Einschränkungen haben für die Verwertbarkeit der Aussagen über Umsätze und Beschäftigtenzahlen im Zusammenhang mit MST-Produkten auf dieser Basis einen entscheidenden Vorteil: Die so berechneten Werte unterschätzen systematisch die für die Gesamtwirtschaft vermutlich geltenden Werte, liegen also auf der sicheren Seite.<sup>83</sup>

Ausgangspunkt für die Schätzungen von Umsätzen und Beschäftigten im Zusammenhang mit MST-Produkten liefern die erhaltenen Informationen zur Umsatzgrößenklasse<sup>84</sup> und zu den Umsatzanteilen, die sie mit Produkten machen, in denen MST integriert ist bzw. die sie mit selbst produzierten oder zugekauften MST-Komponenten erzielen, sowie zu der Zahl der Beschäftigten. Die Beschäftigtenangaben wurden nur in der Erhebung bei den sonstigen MST-affinen Unternehmen erfragt. Bei der festgestellten grundsätzlichen Ähnlichkeit zwischen beiden Unternehmensgruppen lassen sich aber für die hier notwendige Schätzung die angegebenen durchschnittlichen Beschäf-

---

<sup>83</sup> Aufgrund der Problematik, die MST-relevanten Unternehmen (Hersteller und Anwender) präzise zu fassen, ist eine weitergehende Abschätzung des Fehlers nicht möglich.

<sup>84</sup> Die Unternehmen wurden gebeten, sich einer Umsatzgrößenklasse zuzuordnen. Das hat den Vorteil, dass ein deutlich höherer Anteil der Unternehmen die Frage beantwortet. Erfahrungsgemäß antworten nicht publizitätspflichtige Unternehmen sehr ungern auf Fragen nach Umsatz, Ertrag etc.

tigszahlen je Umsatzgrößenklasse auch auf die Gruppe der Unternehmen in der MST-Projektförderung übertragen.<sup>85</sup>

In die Auswertung können nur solche Unternehmen einbezogen werden, die auch Angaben zu Umsätzen mit MST-Komponenten gemacht haben. Dies trifft für insgesamt 277 geförderte und 153 sonstige MST-affine Unternehmen zu. Dabei wurden die Unternehmen gebeten, einmal den Umsatzanteil der Produkte anzugeben, in die MST integriert ist, und zum anderen denjenigen, der auf zugekaufte bzw. selbst produzierte MST entfällt. Die Differenz gibt uns erste Anhaltspunkte über das Verhältnis zwischen Umsätzen mit der eingesetzten MST selbst und denjenigen mit MST-haltigen Produkten. Beide Werte dürfen nicht addiert werden. Andernfalls käme es zu Doppelzählungen, da ja die selbst produzierten bzw. zugekauften MST-Komponenten auch in den Umsätzen der aufnehmenden Produkte enthalten sind.

In Tabelle 3.9 sind die entsprechenden Angaben für das Jahr 2000 zusammengestellt:

- Danach liegt der geschätzte Gesamtumsatz aller Auskunft gebenden Unternehmen bei über 17 Mrd. €, derjenigen mit MST-relevanten Umsätzen bei 14 Mrd. €, d.h. 19 % niedriger.
- Von diesen Umsätzen insgesamt entfallen auf MST-relevante Umsätze allerdings insgesamt nur 3 Mrd. € oder 21 %.
- Der Einsatz von selbstproduzierten oder zugekauften MST-Komponenten erreicht mit 1,5 Mrd. € etwas über 50 % der MST-relevanten Umsätze. Der Anteil ist mit 68 % bei den sonstigen MST-affinen Unternehmen deutlich höher als bei den Unternehmen mit Projektförderung (45 %), eine Konsequenz des in dieser Gruppe höheren Anteils von jungen MST-basierten Unternehmen.

Die Umsatzschätzungen auf Grund der Erhebung lassen sich bei den Unternehmen mit MST-Projektförderung wegen der hohen Rücklaufquote auf die Gesamtzahl aller Unternehmen hochrechnen, die im Laufe des MST-Förderprogramms in die Projektförderung einbezogen waren. Für diese

---

<sup>85</sup> Die Anknüpfung an Umsatzgrößenklassen – aus erhebungstechnischen Gründen notwendig – hat für die Schätzung der Gesamtumsätze aller Unternehmen den Nachteil, dass ohne zusätzliche Annahmen nur Aussagen über die Summen von Unter- bzw. Obergrenzen angegeben werden können. Kritisch sind dabei vor allem die beiden offenen, d.h. die unterste und oberste Größenklasse. Bei der untersten Größenklasse liegt die Untergrenze bei Null, d.h. die Umsätze der kleinsten Unternehmen würden hier unterschätzt; bei der obersten Größenklasse lässt sich eine Obergrenze nicht definieren. Dieses Problem lässt sich mit einer ausreichenden Genauigkeit durch die Verwendung von Klassenmitten umgehen, wobei für die oberste Größenklasse, also die Unternehmen mit über 40 Mio. € Umsatz ein Durchschnittsumsatz von 100 Mio. € angenommen wurde. Diese Annahme wurde gestützt auf die durchschnittliche Zahl der Beschäftigten in dieser Größenklasse multipliziert mit dem durchschnittlichen Umsatz je Beschäftigten in einem typischen Unternehmen der Mess- und Regeltechnik mit über 5000 Beschäftigten. Hierbei wurde auf öffentlich zugängliche Information einschlägiger Unternehmen zurückgegriffen.

Unternehmensgruppe ist die Erhebung repräsentativ. Für die sonstigen MST-affinen Unternehmen gilt dies nicht. Dies hängt damit zusammen, dass die Grundgesamtheit aller sich mit Fragen der MST befassenden und MST nutzenden Unternehmen praktisch nicht fassbar und entsprechend unbekannt ist.<sup>86</sup>

Mit Hilfe plausibler Annahmen können aber die für diese Gruppe erhaltenen Angaben ebenfalls in eine Hochrechnung einbezogen werden. Ausgangspunkt dafür ist die Vermutung, dass der Anteil der mit der Erhebung erfassten sonstigen MST-affinen Unternehmen an der tatsächlichen Zahl dieser Unternehmen in Deutschland deutlich niedriger liegt als der bekannte entsprechende Anteil zwischen erfassten und nicht erfassten Unternehmen mit Projektförderung. Unter dieser Annahme lässt sich die für die Hochrechnung bei Unternehmen mit Projektförderung ermittelte Relation auch auf die andere Unternehmensgruppe übertragen. Der dadurch entstehende Fehler führt lediglich zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Verhältnisse und liefert daher eine durchaus belastbare weitere Annäherung.

Das Ergebnis der Hochrechnung auf der Basis der durchgeführten Erhebungen (vgl. Tab. 3.9) weist für das Jahr 2000 ein geschätztes Umsatzvolumen mit MST-relevanten Umsätzen in Höhe von knapp 8 Mrd. € aus, dem etwa 4 Mrd. € für die eigentlichen MST-Komponenten entsprechen. Die tatsächlichen Werte für die Bedeutung von MST für die Gesamtwirtschaft in Deutschland dürften aus den erwähnten erhebungstechnischen Gründen höher liegen.

---

<sup>86</sup> In einer früheren Untersuchung ist versucht worden, die Grundgesamtheit der MST-Unternehmen bzw. der potenziellen MST-Antragsteller zu fassen; vgl. Magnan, R.; Pfirrmann, O.: Zur industriellen Verbreitung der Mikrosystemtechnik. Ergebnisse einer Befragung in den alten Ländern, Berlin 1994. Prämisse der Studie war, dass der MST-Einsatz auf die Unternehmen der Mess- und Regelungstechnik beschränkt werden kann. Diese Annahme war vor dem Hintergrund der damals aktuellen MST-Definition (Mikrosysteme integrieren Sensorik, Aktorik und Signalverarbeitung) plausibel. In der hier vorliegenden Studie liegt ein sehr viel offenerer Begriff der MST zugrunde. Das zeigt sich auch in der Vielfalt der Angaben zu den Herkunftsbranchen der antwortenden Betriebe. Ferner wurde in der hier vorliegenden Studie auch die Seite der MST-Anwender explizit mit einbezogen. Diese ist durch ausgesprochene Heterogenität gekennzeichnet. Der Versuch, eine Abschätzung der Anzahl der MST-Unternehmen machen zu wollen, läuft vor diesem Hintergrund ins Leere.

**Tabelle 3.9:** Schätzung der MST-relevanten Gesamtumsätze 2000 in allen dazu Angaben machenden Unternehmen sowie Hochrechnung der sich aus der Erhebung ergebenden Werte für die MST-relevanten Gesamtumsätze 2000<sup>87</sup>

	<b>Schätzung:</b> Alle Unternehmen	<b>Hochrechnung:</b> Alle Unternehmen – (Schätzwert für untere Grenze)
Gesamtumsätze aller Unternehmen Mio. €	17.200 N = 500	46.400
Gesamtumsätze der MST nutzenden Unternehmen in Mio. €	14.000 N = 430	37.700
MST-relevante Umsätze in Mio. €	2.950 N = 430	7.900
Umsätze mit selbst hergestellter bzw. zugekaufter MST in Mio. €	1.500 N = 391	4.000

Quelle: Eigene Erhebung, eigene Berechnungen.

### Beschäftigung im Zusammenhang mit MST

Angaben zu Zahl und Entwicklung der Beschäftigten in den Unternehmen liegen nur für die Gruppe der sonstigen MST-affinen Unternehmen vor. Allerdings kann man auf Grund der oben durchgeführten Auswertung und des Vergleichs der beiden Unternehmensgruppen davon ausgehen, dass die Relation zwischen der angegebenen Beschäftigtenzahl und den Angaben je Umsatzgrößenklasse in beiden Unternehmensgruppen ähnlich ist.

Unter dieser Bedingung lassen sich die oben durchgeführten Umsatzschätzungen in Schätzungen für Beschäftigtenzahlen umrechnen. Dafür wird allen Unternehmen einer Umsatzgrößenklasse der Medianwert für die Beschäftigten zugewiesen, wie er sich aus der Erhebung bei den sonstigen MST-affinen Unternehmen ergibt.<sup>88</sup> Die Grundlage dafür ist die Annahme, dass es in den Unternehmen keine systematisch verzerrenden Unterschiede im Umsatz pro Beschäftigten bei Gesamt- und MST-relevanten Umsätzen innerhalb der jeweiligen Umsatzgrößenklasse gibt. Die Hochrechnung erfolgt nach denselben Regeln wie bei der Umsatzschätzung (vgl. Tabelle 3.10).

<sup>87</sup> Die in Tabelle 3.8 enthaltenen Werte wurden entsprechend der Relation zwischen den 851 insgesamt geförderten und den 316 in die Auswertung einbezogenen Unternehmen mit MST-Projektförderung hochgerechnet.

<sup>88</sup> Hierbei wurde der Medianwert dem Mittelwert vorgezogen, weil dieser durch erhebliche Streuungen verzerrt erschien.

**Tabelle 3.10: Schätzung der MST-relevanten Beschäftigten in den in der Erhebung erfassten Unternehmen und deren Hochrechnung für 2000**

		Unternehmen mit MST-Förderung (Schätzwert für untere Grenze)	Sonstige MST-affine Unternehmen (Schätzwert für untere Grenze)	Alle Unternehmen (Schätzwert für untere Grenze)
Laut Erhebung	Beschäftigte aller Unternehmen (in Tsd. Beschäftigte)	148 (N = 316)	52 (N = 184)	200 (N = 500)
	Beschäftigte mit selbst hergestellter oder zugekaufter MST (in Tsd. Beschäftigte)	11 (N = 248)	6 (N = 143)	17 (N = 391)
Hochrechnung	Beschäftigte aller Unternehmen (in Tsd. Beschäftigte)	399	140	539
	<b>Beschäftigte mit selbst hergestellter oder zugekaufter MST (in Tsd. Beschäftigte)</b>	<b>30</b>	<b>16</b>	<b>46</b>

Quelle: Eigene Erhebung, eigene Berechnungen.

Die Gesamtbeschäftigtenzahl im direkten Zusammenhang mit der Herstellung von MST-Komponenten beläuft sich aufgrund dieser Berechnungen auf insgesamt 46.000 Beschäftigte.

### Schätzung von Umsatz und Beschäftigung auf Basis der amtlichen Produktionsstatistik

Die Schätzungen der mit MST verbundenen Umsatz- und Beschäftigungsvolumina auf Grund der schriftlichen Erhebungen bauen zwar auf einer belastbaren Datenquelle auf, führen aber aus den bereits oben genannten Gründen zu einer systematischen Unterschätzung der Bedeutung von MST für die Gesamtwirtschaft. Weitere Abschätzungen lassen sich gewinnen, wenn es gelingt, die in den Erhebungen erhaltenen Antworten zu den MST-Anwendungsfeldern und -Produkten mit repräsentativen Statistiken und hier insbesondere mit der amtlichen Produktionsstatistik zu verknüpfen (vgl. 3.1).

Um die Zahlen der amtlichen Produktionsstatistik verwenden zu können, ist von den folgenden Überlegungen auszugehen:

1. Notwendig ist eine mindestens näherungsweise Identifikation der MST-affinen Produkte. Dafür liefern die mündlichen wie schriftlichen Erhebungen wichtige Kriterien. Dabei ist zwischen Herstellern von MST-Komponenten und MST-Integratoren bzw. MST-Anwendern deutlich zu unterscheiden.
2. Das relative Gewicht, das der MST innerhalb der so identifizierten Produktgruppen zukommt, liegt gesamtwirtschaftlich bei Herstellern wie Integratoren niedriger als bei den befragten Unternehmen. Auch dürften hier die in den Erhebungen genannten Diffusionshemmnisse ein höheres Gewicht haben und zwar besonders dort, wo MST-Komponenten noch gegen traditionelle technische Lösungen konkurrieren.

Die im folgenden dargestellte Schätzung stützt sich auf die amtliche Produktionsstatistik mit Angaben für das Jahr 1999<sup>89</sup>.

### **MST-Hersteller**

Der Schätzung von Umsatz- und Beschäftigungsvolumina für MST-Hersteller liegt das folgende Vorgehen zu Grunde:

- In einem ersten Schritt werden in der amtlichen Produktklassifikation die Produkt(bereich)e identifiziert, zu denen nach den Erkenntnissen aus den vorliegenden Erhebungen MST-Produkte und Komponenten selbst zu zählen sind (Hersteller).<sup>90</sup>
- Für die identifizierten Produkt(bereich)e wird der prozentuale Anteil geschätzt, den MST-Komponenten bzw. MST-haltige Produkte gegenwärtig an dem Gesamtproduktionswert haben können (MST-Affinität). Ausgangspunkt für die Schätzung der MST-Affinität war der Medianwert für die Umsatzanteile von zugekauften oder selbst-produzierten MST im entsprechenden Anwendungsfeld, wie er sich aus den durchgeführten Erhebungen ergeben hatte, und dessen Korrektur entsprechend den obigen Überlegungen.
- Die Multiplikation dieser %-Anteile mit den angegebenen für den Absatz bestimmten Produktionsvolumina ergibt den Schätzwert für das entsprechende Umsatzvolumen von MST-affinen Produkten je Produktbereich. Aus der Addition der produktspezifi-

---

<sup>89</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (Hg.): Statistisches Jahrbuch 2000 für die Bundesrepublik Deutschland. Metzler-Poeschel, Stuttgart, 2000.

<sup>90</sup> Die ersten Berechnungen für die MST-Komponenten-Hersteller wurden auf Basis der sehr differenzierten Produktionsstatistik, bei der mehrere Positionen aus Datenschutzgründen ausgepunktet waren, durchgeführt. Der Vergleich mit den etwas aggregierteren Daten aus dem Statistischen Jahrbuch ergab nur geringfügige Differenzen. Aus diesem Grunde werden die Angaben im Statistischen Jahrbuch zugrunde gelegt. Nach Auskunft des Statistischen Bundesamts halten sich die Differenzen in sehr engem Rahmen, da nur wenige Bereiche der Produktion im Statistischen Jahrbuch nicht berücksichtigt sind.

schen Umsatzvolumina folgt entsprechend der Schätzwert für das gesamte Umsatzvolumen der MST-Hersteller.

- Die Schätzungen für die Beschäftigung der MST-Hersteller gehen von den so ermittelten Umsatzvolumina aus und dividieren diese durch die in der Erhebung gemessene Umsatzproduktivität für die Hersteller.

### MST-Integratoren

Die Schätzung der Umsatz- und Beschäftigungsvolumina mit Produkten, in denen MST-Bauteile oder Komponenten integriert sind, deren Wert aber insgesamt weit über ihren MST-Anteil hinausgeht (MST-Integratoren), folgt einem vergleichbaren Vorgehen: Im zweiten Schritt gilt es an Stelle der MST-Affinität bei diesen Produkten den Diffusionsgrad, d.h. den prozentualen Anteil zu schätzen, in dem die MST-Komponenten auf Grund der vorliegenden Informationen bereits zum Bestandteil der fraglichen Produkte geworden sind.<sup>91</sup> Die Informationen hierfür basieren überwiegend auf Experteneinschätzungen aus den durchgeführten Fachgesprächen. Alle weiteren Schritte sind identisch.

Die Ergebnisse der Schätzungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt (vgl. Tab. 3.11):

*Tabelle 3.11: Schätzung von Umsatz und Beschäftigung in Deutschland im Zusammenhang mit der Anwendung von MST auf Basis der Produktionsstatistik von 1999*

	Umsatz [Mrd. €]	Beschäftigung in Tausend
Herstellung von MST-Komponenten	4,2	49
Produkte, in die MST-Komponenten integriert sind	277	630

*Quelle: Eigene Berechnungen*

<sup>91</sup> Die Zahlenwerte liegen zwischen 0 – keine Verbreitung und 1 – alle Produkte enthalten MST-Komponenten.

## Diskussion der quantitativen Ergebnisse

Der Vergleich der beiden Schätzungen von Umsatz und Beschäftigung im Zusammenhang mit MST in Deutschland, zum einen auf der Basis der eigenen Erhebungen und zum anderen auf der Basis der Produktionsstatistik kommt hinsichtlich der Umsatzvolumina mit MST-Komponenten in beiden Fällen auf einen nahezu gleichen Wert von rund 4 Mrd. €.

Die Plausibilität dieser Größenordnung lässt sich zusätzlich überprüfen, wenn man versucht, die in der ex-ante Analyse ermittelten Werte für das Weltmarktvolumen bei verschiedenen MST-Produkten auf Deutschland herunter zu brechen. Dafür dürfen jedoch nur Produkte herangezogen werden, die auch in Deutschland hergestellt werden, so dass einige wichtige Marktfelder wie die Herstellung von Festplatten und Tintenstrahldruckern außer Acht bleiben müssen. Die Addition aller anderen Weltmarktdaten ergibt für das Jahr 1999 eine Gesamtschätzung von knapp 29 Mrd. €. Der Marktanteil Deutschlands wird in diesen Feldern auf Größenordnungen zwischen 10 und 25 % geschätzt. Daraus würde sich ein Umsatzvolumen für Deutschland errechnen, das zwischen knapp 3 und 7 Mrd. € liegt, also der oben ermittelten Größenordnung nicht widerspricht.

In den Umsatzwerten sind zwangsläufig Doppelzählungen enthalten, da sowohl die MST-Komponenten selbst als auch die sie enthaltenden Produkte mit ihren Umsatzwerten, d.h. ohne Abzug von Vorleistungen, einbezogen wurden. Dies wirkt sich allerdings nicht auf die Beschäftigtenzahlen aus, da sich hier die Vorleistungen über die Pro-Kopf-Umsätze ausgleichen.

Alle Schätzungen beziehen sich auf die Gesamtsumme. Sie sollten aus methodischen Gründen nicht weiter aufgliedert werden, selbst wenn dies auf Grund der Einzelschätzungen mathematisch nahe liegen mag.

## 4. Zusammenfassende Bewertung der bisherigen MST Förderung aufgrund der ex-post Evaluation

### Einleitung

Ex-post Evaluationen von Förderprogrammen haben im wesentlichen zwei Aufgaben:

- zum Einen sollen sie Auskunft geben, ob und inwieweit die Ziele der MST-Förderung mit dem eingesetzten Instrumentarium erreicht wurden, und
- zum Anderen sollen sie aufgrund der vorhandenen Erfahrungen Hinweise geben, die im Fall einer künftigen Förderung berücksichtigt werden sollten.

Der Beantwortung dieser Fragen gilt der folgende Abschnitt. Er verknüpft die in den Kapiteln 2 und 3 dargestellten Ergebnisse der ex-post Analysen zur Wirksamkeit der Förderung und zur Diffusion von MST in Deutschland. Im Vordergrund stehen dabei die Bewertung des bisher eingesetzten Instrumentariums sowie die im Diffusionsprozess erkennbar gewordenen Schwierigkeiten und Innovationsbarrieren. Die inhaltliche Ausrichtung eventueller neuer Förderkonzepte steht dagegen im Zentrum der ex-ante Analyse.

### Aufbau von MST- Kompetenz in Deutschland

Ein zentrales Ziel der MST-Förderung war die Entwicklung und Unterstützung von MST-Kompetenz in Deutschland und zwar sowohl in der FuE-Infrastruktur wie auch in der Wirtschaft. Die durchgeführten ex-post Analysen erlauben hier eine eindeutige Aussage: Die **MST-Förderung hat maßgeblichen Anteil am Aufbau von FuE-Kompetenz** in der Mikrosystemtechnik in Deutschland gehabt. Dies gilt sowohl hinsichtlich der in die Projektförderung einbezogenen FuE-Einrichtungen wie auch hinsichtlich des Engagements von Unternehmen im Zusammenhang mit MST-Entwicklungen:

- Der **Anteil an Neueinsteigern in die MST** war im Zusammenhang mit der MST-Förderung sowohl bei wissenschaftlichen Einrichtungen als auch bei Unternehmen relativ hoch. Dies lässt den Schluss zu, dass die Förderung für einen hohen Prozentsatz der teilnehmenden Organisationen einen wichtigen Anreiz zum Einstieg in die MST darstellte.

- Der Einstieg führte bei den Unternehmen zu einer **nachhaltigen Beschäftigung mit MST**: Die überwiegende Mehrheit der Programmteilnehmer will auch nach Abschluss des/der geförderten Projekte/s die FuE-Aktivitäten im Bereich Mikrosystemtechnik fortsetzen. Nur 9% der teilnehmenden Unternehmen und 8% der wissenschaftlichen Einrichtungen signalisierten den Ausstieg aus dem Themenbereich. Die Mehrheit der Unternehmen gibt an, dass sie das Thema nach Projektende selbständig weitertragen werden und zwar sowohl durch den Einsatz eigener Mittel für künftige FuE-Aktivitäten als auch durch das Vorantreiben der kommerziellen Verwertung von Projektergebnissen.
- Diese Beobachtungen werden ergänzt und unterstrichen durch die **positive Bewertung der FuE-Infrastruktur**, die sich nach Aussage der in- und ausländischen Experten im Bereich der MST im letzten Jahrzehnt in Deutschland entwickelt hat. Die MST-Forschung und Umsetzung in Deutschland liegt, verglichen mit anderen Staaten Europas, an der Spitze und wird auch gemessen am weltweiten Standard in der Spitzengruppe angesiedelt.

### Anreizeffekt und Hebelwirkung

Die beobachtete Kompetenzerweiterung im Bereich der MST ist auf das Förderprogramm selbst zurückzuführen. Dies lässt sich aus dem Anreizeffekt der MST-Förderung schließen. Er gibt an, ob es sich bei dem Mitteleinsatz lediglich um eine Substituierung bereits bestehender Finanzierungsquellen oder um die angestrebte Korrektur des Entscheidungsverhaltens handelt. Im letzteren Fall tritt eine Hebelwirkung ein, wenn durch die Bereitstellung der öffentlichen Mittel für bestimmte FuE-Aktivitäten zusätzliche private FuE-Investitionen und Innovationsaktivitäten ausgelöst werden, die andernfalls unterblieben bzw. nicht zur MST-Entwicklung verwandt worden wären.

Der **Anreizeffekt des Förderprogramms** ist nach den Angaben der Unternehmen **beträchtlich**: 55% der geförderten Unternehmen hätten das Projekt im Falle einer Ablehnung gar nicht durchgeführt. Bei den wissenschaftlichen Einrichtungen waren dies 71%. Die restlichen Firmen bzw. FuE-Einrichtungen hätten die Projekte für diesen Fall nur wesentlich reduziert oder mit veränderten Schwerpunkten verfolgt. So ist der Prozentsatz derer, die das Projekt im Falle einer Ablehnung ohne jegliche Änderungen durchgeführt hätten, niedrig. Danach sind die eingesetzten öffentlichen Mittel überwiegend nicht an die Stelle anderer Förder- oder Finanzierungsquellen getreten.

Entsprechend ist davon auszugehen, dass die MST-Förderung einen substantiellen Beitrag dazu geleistet hat, zusätzliche private Ressourcen auf ein Thema zu konzentrieren, das ohne die Förderung nicht oder in sehr viel geringerem Maße aufgegriffen worden wäre. Eine Hochrechnung der auf diese Weise durch das Förderprogramm zusätzlich für MST ausgelösten FuE-Volumina kommt auf 550 Mio. €.<sup>92</sup>

### **Erfolgreiche Einbeziehung von KMU**

Ziel der strukturellen Änderungen und neuen programmatischen Ausrichtung zwischen der ersten und der zweiten Programmphase Mitte der 90er Jahre war die Hinwendung zur entwicklungs- und zunehmend anwendungsorientierten Forschung. Die Förderung sollte verstärkt die Industrie und hier besonders KMU in die Innovationsprozesse einbinden. Diese Zielsetzung wurde erreicht und findet ihren Ausdruck in dem im Lauf der Zeit **steigenden Gewicht von kleinen und mittleren Unternehmen** in der Teilnehmerstruktur.

Die gezielte Einbindung von KMU hat sich auch vor dem Hintergrund der Diffusionsprozesse von MST als richtig erwiesen: Obwohl Großunternehmen in vielen Märkten die Konditionen für produktspezifische Standards definieren und der wirtschaftliche Erfolg von MST-Produkten von deren Produktstrategie und Innovationsbereitschaft abhängt, liegt die Herstellung von MST-Produkten und -Komponenten überwiegend in der Verantwortung von KMU. Die Ausrichtung der Förderung entsprach damit der Bedeutung, die **KMU als technisch hoch spezialisierte Vorleister** in den entsprechenden industriellen Wertschöpfungsketten haben.

Dies spiegelt sich auch in der Branchenzugehörigkeit der im Bereich der MST engagierten Unternehmen wider. Sie gehören insgesamt 20 unterschiedlichen Wirtschaftszweigen an mit Schwergewicht in den Branchen „Herstellung von Mess-, Kontroll- u.ä. Instrumenten“ (23 %), „Herstellung von elektronischen Bauelementen“ (14 %) und Maschinenbau (ohne Werkzeugmaschinen und Haushaltsgeräte, 11 %). Auffällig ist das relativ geringe Alter der antwortenden Unternehmen: 50 % von ihnen sind 11 Jahre und jünger, gleichzeitig ist deutlich erkennbar, dass sich die Anzahl der in der MST aktiven Unternehmen seit Mitte der 90er Jahre stark erhöht hat.

---

<sup>92</sup> Vgl. Kapitel 2.6.1, Fußnote 13.

## Hohes Gewicht von Kooperation – Positive Erfahrungen mit Verbundprojekten

Engen Kooperationsbeziehungen sowohl zu FuE-Einrichtungen wie zu anderen Unternehmen messen alle Unternehmen einen hohen Stellenwert im Zusammenhang mit ihrem MST-Engagement bei. Diese Bewertung zeigt sich deutlich in der Diffusionsanalyse und ist unabhängig davon, ob die Unternehmen an der MST-Projektförderung beteiligt waren oder nicht. Auch lässt sich ein positiver Zusammenhang zwischen den Erfolgen der Firmen gemessen an der Umsatz- und Beschäftigtenentwicklung und der Intensität ihrer Kooperationsbeziehungen beobachten.

Die Gründe dafür liegen gleichermaßen **im wissenschaftlichen wie im wirtschaftlichen Bereich**: Der Wunsch zum Erhalt der Technologieführerschaft im etablierten Marktfeld steht dicht neben dem Zugang zu Lieferanten und Kunden, von denen eine erfolgreiche Entwicklung und Nutzung der MST abhängt. Dabei zeigt sich allerdings, dass die Kooperationserwartungen gerade hinsichtlich der wirtschaftlichen Möglichkeiten häufig enttäuscht wurden. Zurückhaltung bei Kunden oder Lieferanten, ungelöste Finanzierungsfragen, Managementprobleme und Fragen der Geheimhaltung werden am häufigsten als Kooperationshürden genannt.

Damit bestätigt die Diffusionsanalyse die der Förderung zugrunde liegende Vorstellung, dass die Zusammenarbeit von Forschern und Anwendern in industriellen Verbundprojekten bzw. Wissenschaftlichen Vorprojekten ein wichtiges Instrument zur Innovationsförderung ist. Diesem Ziel dient die Konzentration auf Verbundprojekte, in die KMU integriert werden müssen, während die Einbindung von FuE-Einrichtungen möglich, aber nicht notwendig ist.

Mit dieser Ausrichtung ist es der Förderung gelungen, Grundlagen für **nachhaltige Kooperationsnetzwerke aufzubauen**. Die meisten von ihnen wären ohne die MST-Förderung nicht zustande gekommen. So gaben 42% der Firmen sowie 29% der wissenschaftlichen Einrichtungen an, dass sie in ihrem Verbund mehr als die Hälfte der Partner vorher nicht kannten bzw. nicht mit ihnen kooperiert hatten, sondern diese erst durch das geförderte Projekt gefunden haben. Lediglich 8% der Unternehmen und 5% der wissenschaftlichen Einrichtungen kannten bereits alle ihre Projektpartner vor der Vorbereitung des Förderprojekts. Das Ziel, durch die gemeinsame Forschungsarbeit in den Verbänden die Grundlage für neue Netzwerke zu bilden, wurde demnach erreicht.

**Mit den Verbundprojekten** machten die Firmen **überwiegend positive Erfahrungen**. Die anfängliche Skepsis vieler Unternehmen konnte im Laufe der Förderprojekte zerstreut werden und die Vorteile von Kooperationen in größeren Verbänden wurden im Laufe der Zeit positiver eingeschätzt. Die im Rahmen der Verbundaktivitäten entstandenen Schwierigkeiten waren nicht gravierend.

Bei der Suche nach Verbundpartnern für die Förderprojekte erwies sich die Betreuung durch den Projektträger als sehr hilfreich: Sowohl bei Unternehmen als auch bei wissenschaftlichen Einrichtungen wurden über die Hälfte aller Verbundpartner, die erst durch das Vorhaben zusammengefunden haben, vom Projektträger empfohlen.

### **Unterstützung der Diffusion von MST durch die Förderung**

Alle Ergebnisse der Wirkungsanalyse sprechen dafür, dass die MST-Förderung die **Diffusion der Mikrosystemtechnik maßgeblich beschleunigt** hat. Die MST-Förderung hat neue Gruppen potentieller MST-Anbieter bzw. MST-Anwender erschlossen. Die MST-Förderung hat sichtbar Einstiegshilfe geleistet und Barrieren abgebaut. Seit der zweiten Hälfte der neunziger Jahre geht die frühere Dominanz der Institute zurück und das Engagement der Industrie ist gestiegen. Gleichzeitig hat die Zahl an Neugründungen unter Nutzung von Entwicklungen in der MST zugenommen. Neben dem durch die Förderung reduzierten finanziellen Risiko waren der Zugang zu bestehenden Netzwerken und komplementärem Know-how wichtige Einstiegshilfen, die durch die MST-Förderung bereitgestellt wurden.

Die Wirkung des Programms blieb dadurch nicht auf den engen Kreis der Teilnehmer an geförderten FuE-Projekten beschränkt. Die Betonung von Kooperation und Netzwerkbildung in der Projektförderung ebenso wie in den innovationsbegleitenden Maßnahmen hat zu **positiven Ausstrahlungseffekten** (spillover) geführt. Durch die Förderaktivitäten wurden Unternehmen auf die MST aufmerksam, konnten die sich entwickelnde Forschungslandschaft nutzen und auf Personal zurückgreifen, das sich in FuE-Einrichtungen und Projekten qualifiziert hatte.

Die Ausstrahlungseffekte lassen sich empirisch nur schwer erfassen. Für ihre Existenz und Bedeutung sprechen aber die Aussagen der befragten Experten ebenso wie die Angaben derjenigen Unternehmen, die sich an den verschiedenen innovationsbegleitenden Maßnahmen (Veranstaltungen, Veröffentlichungen u.ä.) beteiligten, ohne bisher Projektförderung in Anspruch genommen zu haben. Die überwiegende Zahl von ihnen (knapp 60 %) begann erst in der zweiten Hälfte der 90er Jahre, sich mit MST intensiver zu befassen, und

konnte deshalb besonders gut auf Vorerfahrungen und Mitarbeiter bei Teilnehmern an geförderten Vorhaben zurückgreifen.

### **Das Spektrum von MST-Anwendungen wächst**

Insgesamt lassen die heutigen Anwendungen der MST im Hinblick auf die **Erschließung neuer Nachfrage- und Wachstumfelder** drei unterschiedliche Anwendungsformen erkennen:

1. Mikrosysteme bzw. ihre Komponenten ersetzen oder ergänzen bisherige Vor- und Zulieferprodukte. Mit Hilfe von MST werden marktgängige Produkte im wesentlichen verbessert.
2. Die Mikrosysteme erlauben durch Miniaturisierung und Funktionsverbesserungen die wirtschaftliche Weiterentwicklung von komplexen Produkten bzw. Produktsystemen.
3. Die Mikrosystemtechnik ermöglicht die Erschließung von neuen eigenständigen Bedarfsfeldern. Kommerzielle Anwendungen dieser Art sind nach den Erhebungen bisher allerdings eher die Ausnahme.

Der **Durchbruch der MST ist in zwei wichtigen Anwendungsfeldern**, nämlich dem Automobilbau und der Informations- und Kommunikationstechnik auf breiter Front erfolgt. Heute verlässt in Deutschland kein Fahrzeug die Fabrik ohne mindestens eine MST-Komponente: ABS-Steuerlektronik und elektronische Fahrstabilitätsprogramme bilden hier die wesentlichen Neuerungen. Die Leistungsfähigkeit von PCs ist abhängig von Festplatten mit mikromechanischen Komponenten und die Druckerköpfe von Tintenstrahldruckern sind MST-Anwendungen par excellence. Auch in der Medizintechnik ist die Anwendung in Teilbereichen wie der minimal-invasiven Chirurgie nicht mehr wegzudenken. In anderen Feldern wie dem Maschinen- und Anlagenbau, der Chemie, Umwelt- und Lebensmitteltechnik wird die **Zweckmäßigkeit der MST anerkannt**, teilweise liegen auch MST-Erstanwendungen vor. Diese haben zu einer Verschärfung des Innovationswettbewerbs zwischen der Weiterentwicklung von traditionellen Produkten und neuen konkurrierenden MST-Anwendungen geführt („sailing ship Effekt“).

Unternehmen, die auf MST setzen, geben eine überwiegend positive Entwicklung der Umsätze, Exporte und FuE-Ausgaben in den vergangenen 5 Jahren an: Das Umsatzwachstum lag bei über der Hälfte der antwortenden Unternehmen innerhalb der letzten fünf Jahre bei über 20 % (oder 3,7 % pro Jahr) und damit über dem Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes insgesamt. Knapp zwei Drittel dieser Unternehmen nutzen die MST bereits im Rahmen ihrer Produktion. Der Umsatzanteil, der auf MST-haltige Produkte entfällt, ist zwischen 1995 und 2000 im Durchschnitt aller antwortenden Unternehmen von 18 % auf 30 % gestiegen. Der Anteil der in diese Produkte eingebauten zugekauften bzw. selbst produzierten MST am Gesamtumsatz wuchs in dieser Zeit etwas langsamer, nämlich von durchschnittlich 13 % auf 20 %.

### **Volkswirtschaftliche Bedeutung der MST**

Sowohl die Ergebnisse der Wirkungsanalyse wie auch der Diffusionsanalyse erlauben die Schlussfolgerung, dass die MST-Förderung bereits in der Vergangenheit eindeutig identifizierbare **volkswirtschaftliche Auswirkungen** hatte. Dies gilt zunächst für eine stärkere Konzentration von Ressourcen auf FuE für MST-Entwicklungsvorhaben.

Doch unabhängig von diesen unmittelbaren Wirkungen der MST-Förderung erlauben die Ergebnisse der ex-post Betrachtung auch, von einer erkennbar steigenden Bedeutung der MST für die gesamtwirtschaftliche Entwicklung zu sprechen. Dies zeigt sich vor allem in der Diffusionsanalyse an mehreren Stellen:

5. Die MST hat im Laufe der 90er Jahren zunehmend an Gewicht gewonnen und ist insbesondere für eine **wachsende Zahl kleinerer Unternehmen** zur Basis ihrer Geschäftstätigkeit geworden.
6. Die MST hat sich als eine typische Querschnittstechnologie erwiesen, die es gerade KMU erlaubt, sich mit einem **spezi-fischen Know-how** als unentbehrlicher Zulieferer für unterschiedliche Anwendungsfelder zu positionieren. Praktisch keine der in der MST engagierten Firmen konzentriert ihre Anstrengungen dabei auf nur einen Anwendungsbereich.
7. Die MST kommt bisher ganz überwiegend in Vorleistungsprodukten zum Einsatz. Diese Vorleistungsprodukte führen ihrerseits zu Verbesserungen von marktgängigen Systemprodukten oder Produktsystemen bzw. versprechen dazu zu führen. Dies ist inzwischen bei einer Reihe von für Deutschland besonders wichtigen Wirtschaftszweigen der Fall: Die Verbesserungen durch die MST haben beim Automobil-sowie Maschinen- und Anlagenbau, der Elektrotechnik, der chemischen und pharmazeutischen Industrie und insbesondere in der Automations-, Mess- und Regeltechnik (einschl.

Medizintechnik) zu einer **Steigerung der Innovationskraft** beigetragen.

8. Selbst in Bereichen, in denen die MST bisher noch keine große Bedeutung gewonnen hat, kommt es **indirekt zu Innovationsanstößen** bei den bisher etablierten Produkten und den dort angewandten Techniken. Hier konnten bisher die etablierten Produkte und die dort angewandten Techniken ihre Märkte auch gegen die Konkurrenz von Produkten auf MST-Basis verteidigen („sailing ship Effekt“).

Die **quantitative Beschäftigungs- und Umsatzwirkung** der MST für die deutsche Wirtschaft lässt sich im Unterschied zu diesen qualitativen Aussagen nur näherungsweise schätzen. Dies liegt nicht zuletzt an dem Querschnittscharakter der MST selbst. Viele Innovationen, die ganz oder teilweise auf die Anwendung von MST zurückgehen, führen erst bei anderen, direkter marktgängigen Systemprodukten und Produktsystemen wie etwa im Automobil-, Informations- und Telekommunikationssektor, im Maschinen- und Anlagenbau, in der Chemie, bei Herstellern von Messgeräten u.a. zu fassbaren Umsatz- und Beschäftigungswirkungen. Entsprechend deutlich ist zu unterscheiden zwischen MST-Komponenten und deren Herstellern auf der einen und den MST-haltigen Produkten bzw. den Anwendern oder Integratoren von MST-Komponenten auf der anderen Seite.

Schätzungen zur Bedeutung der MST auf der Basis der verfügbaren Angaben in der amtlichen Produktionsstatistik kommen zu folgenden Ergebnissen:

- Die Umsatzvolumina mit MST-Komponenten wurden für das Jahr 2000 auf insgesamt 4,2 Mrd. € geschätzt. Dem entspricht ein Beschäftigungsvolumen von etwa 49.000 Beschäftigten.
- Sehr viel höher liegt das Umsatzvolumen mit Produkten, in die bereits gegenwärtig MST-Komponenten integriert sind. Hierfür ergeben die Schätzungen einen Gesamtwert von 277 Mrd. €, dem ein Beschäftigungsvolumen von 630.000 Beschäftigten in Deutschland entspricht.

Diese Berechnungen sprechen zusammen mit den qualitativen Analysen deutlich für die **Existenz von positiven und innovationsfördernden Ausstrahlungseffekten** der MST auf die Gesamtwirtschaft und die Erhaltung bzw. Schaffung von Arbeitsplätzen bei den Herstellern von MST-basierten Produkten wie bei für Deutschland wichtigen Industriezweigen als deren Abnehmern in der Wertschöpfungskette. Aufgrund der Ergebnisse der Wirkungsanalyse hat dabei die MST-Förderung einen wesentlichen Beitrag zur Entstehung solcher Effekte durch die Schließung technischer Lücken sowie die Hilfen zur Überwindung von Kooperationshemmnissen und zur Stärkung von KMU in den technologieproduzierenden Branchen geleistet.

### Vorsichtige Zukunftserwartungen

Im Zuge der bisherigen Entwicklung traten allerdings auch immer wieder Barrieren auf, die sich auf die zügige Diffusion von MST-basierten technischen Lösungen in die wirtschaftliche Anwendung hemmend auswirkten. So kam es zu **Enttäuschungen bei den innovationsbereiten Unternehmen**. Dies kommt nicht nur in den Aussagen der Unternehmen zum Ausdruck (50 % hatten mit einer schnelleren Marktdurchdringung gerechnet), es zeigt sich auch daran, dass nur die Hälfte der MST nutzenden Unternehmen in der Befragung ein im Vergleich zum Industriedurchschnitt überdurchschnittliches Wachstum verzeichnen konnte.

Entsprechend vorsichtig sind die Erwartungen der befragten Unternehmen zum künftigen MST-Einsatz: Sie deuten eher auf ein sich **langsam entwickelndes Geschäft** hin. Dafür spricht unter anderem der Kontrast zwischen den vielfach nicht erfüllten hohen Erwartungen an die Marktdurchdringung im MST-Geschäft und dem gleichzeitig artikulierten großen Interesse der Kunden, das den Unternehmen mit ihren MST-Entwicklungen entgegen gebracht wurde.

### Weiterhin Innovationsbarrieren bei der Diffusion von MST

Auch wenn die MST-Förderung die Diffusion beschleunigt hat, sind heute noch Diffusionshemmnisse zu konstatieren. Worin sie bestehen, wird beim Betrachten der Rahmenbedingungen in **unterschiedlichen Branchen** deutlich. Lediglich im Automobilbau und im IuK-Sektor hat die MST inzwischen bereits soweit Einzug gehalten, dass ein Verzicht darauf undenkbar geworden ist. In allen anderen Wirtschaftszweigen ist dies bisher noch keineswegs der Fall, wie die folgenden Beispiele zeigen:

- Im **Maschinenbau** finden sich große Chancen für MST, aber nur wenige Anwendungen. Hier fehlt bislang noch ein ausreichend großer und kontinuierlich zu bedienender Markt,

der potenziellen Anbietern Umsätze oberhalb der kritischen Menge erlaubt.

- In der **Luft- und Raumfahrttechnik** liegt ein immenses Potenzial für die MST. Dessen Realisierung stehen aber Hürden besonders aufgrund der hohen Systemkomplexität und den sich daraus ergebenden Anforderungen entgegen, die den Einsatz und die Zulassung neuer Techniken erschweren.
- Im Anwendungsfeld **Chemie / Pharmazie / Umwelt / Lebensmittel** könnten vielfach erst staatliche Forderungen nach einer intensiveren Qualitätskontrolle sowie die Akzeptanz im Gesundheitswesen MST-gestützten Anwendungen und – Verfahren zum Durchbruch verhelfen.
- Bei **Medizintechnik und Gesundheit** ist MST in einigen Feldern gut etabliert, weitere Anwendungen treffen aber auf eine gegenwärtig innovationshemmende Akteurskonstellation.
- In der **Domotik** liegen bereits viele MST-Optionen vor, finden aber aufgrund der Zurückhaltung der privaten Bauherren noch keinen Markt in einem ausreichenden Maß.
- Im deutschen **Handel** scheint gegenwärtig noch kein Interesse zu bestehen, sich mit MST-Anwendungen zur Optimierung der Warenströme, zur Qualitätskontrolle oder Kundenbeobachtung auseinander zu setzen.

Ob, wann und welche technischen Entwicklungen aus dem Bereich der MST in den ganz unterschiedlichen Branchen einmal aufgegriffen und wirtschaftlich genutzt werden, ist aufgrund der vorliegenden Analysen nicht vorherzusagen. Es hängt entscheidend von den **jeweiligen technisch-wirtschaftlichen Bedingungen** in den verschiedenen Marktfeldern ab. Dabei entscheiden nicht nur technische Aspekte über die Diffusionsmöglichkeiten. Von ihnen hängt zwar die Möglichkeit zur Erfüllung der spezifischen Anforderungen und mindestens teilweise auch die Höhe der Fertigungs- bzw. Beschaffungskosten ab. Gleichermäßen bedeutend für die MST-Diffusion sind die konkreten Marktstrukturen, d.h. die jeweiligen Wettbewerbs- und Marktmachtpositionen auf den vor- und nachgelagerten Märkten.

Die enge Bindung an die gewachsene Wirtschaftsstruktur und der Zuliefercharakter der MST zeigt sich auch in den Angaben der Unternehmen zum bisherigen Absatzmarkt für ihre MST-Produkte: Sie konzentrieren sich überwiegend auf den **deutschen bzw. europäischen Markt**. Außereuropäische Exporte haben bei den MST-Herstellern nur vergleichsweise geringes Gewicht.

Die kommerzielle Nutzung von MST-Anwendungen ist damit außerordentlich eng **verknüpft mit dem Innovationsgeschehen in den vor- und nachgelagerten Branchen**, den dort engagierten Unternehmen und ihren Innovationsstrategien. Die Verwertbarkeit von weiteren technischen MST-Entwicklungen ist in starkem Maße abhängig von den Produktions- und Produktstrategien anderer Unternehmen in der Wertschöpfungskette und den von ihnen identifizierten Innovations- und Absatzchancen mit Produkten, die MST-Komponenten enthalten.

In dieser Situation stehen MST-Hersteller häufig in **direkter Konkurrenz zu traditionellen Zulieferprodukten**, in einigen Fällen sogar aus dem eigenen Unternehmen. Dies begünstigt bei ihnen selbst eine MST-kritische Risikoeinschätzung und zwar besonders dort, wo die neuen MST-Anwendungen bisher erfolgreich eingesetzte konventionelle Zulieferprodukte des eigenen Unternehmens zu verdrängen geeignet sind.

**Die Integration von MST-Komponenten lässt sich im allgemeinen nur in Zusammenarbeit mit den Abnehmern durchsetzen**; denn sie erfordert auch von ihnen nicht selten größere Umstellungen im Design ihrer (noch) marktgängigen Produkte und deren Fertigung. Zu derartigen Änderungen sind Hersteller wie Abnehmer nur begrenzt bereit, solange die bisher gut etablierten Produkte noch ausreichende Renditen abwerfen. Hinzu kommt in manchen Feldern (wie z.B. Luftverkehr und Gesundheit) ein zeitraubender und meist kostspieliger Prozess zur Beantragung neuer Produkt- und Fertigungsgenehmigungen.

### **Lange Vorlaufzeiten und hohe Entwicklungsrisiken**

Die wirtschaftliche Nutzung der MST hat unter solchen Bedingungen meist **lange Vorlaufzeiten**. Bei den meisten Unternehmen (ca. 60 %), die nach eigenen Aussagen die MST heute nutzen, vergingen 5 und mehr Jahre von der ersten unternehmensspezifischen Einschätzung bis zur Nutzung der MST in Produkten, bei einem Viertel waren es sogar 8 und mehr Jahre. Bei neugegründeten Firmen sind die Zeiträume meist kürzer als bei etablierten Firmen. Hier liegt allerdings der technische Vorlauf häufig bei Vorläuferprojekten in FuE-Einrichtungen oder anderen Unternehmen. Außerdem sind neugegründete Firmen sehr viel stärker auf eine möglichst schnelle Vermarktung der neuen

Produkte und Technologien angewiesen, auf die sie ihre Gründung stützen.

Die Zeitspannen sind **nicht unüblich für die Diffusion von Querschnittstechnologien** und resultieren aus vielen Anwendungsverzweigungen und technischen Einmündungen bei der MST. Selbst wenn Ergebnisse aus der anwendungsnahen Forschung vorliegen, wird die Zeit benötigt, um in den beteiligten Unternehmen jeweils Kompetenzen aufzubauen und die Produkte für die industrielle Nutzung weiter zu entwickeln, zu fertigen und zu testen. Dabei müssen Lieferanten von Material und Vorprodukten ebenso gefunden und eingebunden werden wie interessierte Kunden, deren spezifische technische und wirtschaftliche Anforderungen es zu berücksichtigen gilt.

Gelingt dies nicht oder nur teilweise, so verlängert sich die Zeitspanne bis zur wirtschaftlichen Nutzung für den MST-Hersteller zusätzlich. Vor allem aber wird sie kaum noch kalkulierbar. Entsprechend steigen die **Entwicklungskosten und –risiken gerade für KMU**. Denn sie selber haben nur wenig Einfluss darauf, dass und wann die potenziellen Zulieferer und Abnehmer die für sie jeweils notwendigen Entwicklungen in den jeweils relevanten Stufen der Wertschöpfungskette vorantreiben.

Zusätzlich stellt sich das **Problem der kritischen Mengen** für alle potenziellen Partner auf der Wertschöpfungskette gleichermaßen: MST-Nutzer werden die entsprechenden Anpassungen bei den eigenen Produkt- und Produktionslinien nur in Angriff nehmen, wenn sie sich davon Verbesserungen in ihrer Wettbewerbs- oder Ertragsposition versprechen. Für MST-Hersteller sind eigene Entwicklungsanstrengungen nur zu rechtfertigen, wenn der zu erwartende Umsatz mit ihrem oder ihren Kunden eine kostendeckende Fertigung verspricht. Ebenso werden sich Vorlieferanten von Spezialmaterialien und –komponenten nur zu entsprechenden Entwicklungen bereit finden, wenn sie mit einem Kosten deckenden Umsatz rechnen können.

Um diese wechselseitigen Abhängigkeiten in der Wertschöpfungskette mit ihren negativen Konsequenzen auf die Entwicklungskosten und –risiken bei MST-Produkten überschaubarer und niedriger zu machen, wurde in der Vergangenheit begonnen, **modulare Verfahren zur Entwicklung und zum Bau von Mikrosystemen**, den sogenannten MST-Baukasten zu entwickeln. Die EU förderte außerdem im Rahmen von EUROPRACITICE die Arbeit von Foundries, die für potenzielle MST-Nutzer die Fertigung übernehmen und sich selbst in sogenannten Manufacturing Clusters ergänzen.

Die bisherigen **Einschätzungen zum Erfolg dieser Bemühungen sind ambivalent**. Auf der einen Seite haben sich viele FuE-Einrichtungen ebenso wie Unternehmen in diesen Projekten

engagiert und viele Unternehmen beteiligen sich auch an den Entwicklungskosten und den Bemühungen zur Definition der notwendigen Schnittstellenstandards. Auf der anderen Seite verspricht sich die überwiegende Zahl der in den Fachgesprächen und der schriftlichen Erhebung befragten Firmen und hier gerade auch die Vertreter von KMUs gegenwärtig kaum Fortschritte auf diesem Weg. Sie weisen auf die technische wie anwendungsbedingte Heterogenität bei MST-Entwicklungen hin. Besonders kleine Unternehmen äußern große Skepsis hinsichtlich der Möglichkeit und Bereitschaft zur Entwicklung und Vereinbarung von allgemein verwendbarer Schnittstellen- wie Qualitätsstandards, auf die sie sich bei Beschaffungen verlassen und bei Lieferungen an ihre Kunden berufen könnten. Auch diese Situation ist nicht ungewöhnlich für frühe Entwicklungsstadien bei neuen Querschnittstechnologien.

## Offene Fragen

Trotz der bisherigen Erfolge bei der Diffusion der MST ist auf absehbare Zeit **nicht mit einer starken Eigendynamik bei MST-Entwicklungen und –Anwendungen in der deutschen Wirtschaft** auf breiter Front zu rechnen. Eine solche Dynamik besteht weltweit lediglich in den beiden bisher schon dominanten Anwendungsfeldern, dem Automobil- und IuK-Sektor. In allen anderen Anwendungsfeldern und Branchen ist die Ausbreitung der MST nach wie vor durch große Unsicherheiten geprägt. Diese liegen gleichermaßen auf technischer wie wirtschaftlicher Ebene und hängen allem Anschein nach eng mit den spezifischen Eigenschaften der MST selbst zusammen. Diese Schlussfolgerung resultiert aus den nach der ex-post Analyse noch offen gebliebenen Fragen:

1. Welche Möglichkeiten gibt es, die bis heute noch **hohen Risiken** für die industrielle Anwendung von MST-Entwicklungen in Folge der schwer kalkulierbaren Vorlauf- und Entwicklungszeiten und der damit eng verbundenen Entwicklungskosten zu senken?  
Welche Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die für MST-Entwicklungen typische **wechselseitige Abhängigkeit von unterschiedlichen Techniken und anwendungsbedingten Anforderungen** für die Ausrichtung der FuE-Arbeiten?  
Wie lässt sich die der **MST immanente Systemkomplexität** in künftigen FuE-Anstrengungen für noch zu erschließende Anwendungsfelder früher und effizienter als bisher berücksichtigen?
2. Welche Möglichkeiten bestehen, um bereits im Vorfeld der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, d.h. bei der Beschreibung der technischen Probleme und Anforderungen die für verschiedene MST-Entwicklungen jeweils unterschiedlichen relevanten **FuE-Einrichtungen, Anwender und sonstigen Stellen einzubinden**? Ihre Problemsicht, ihr Engagement und

ihre Entscheidungskriterien (z.B. für die eigene Produktplanung oder für Genehmigungen) haben bei MST-Entwicklungen entscheidenden Einfluss auf die Auswahl und Kombination der einsetzbaren Techniken, die Umsetzungschancen und damit die Ausrichtung der FuE-Arbeiten.

3. Wie lässt sich zukünftig die **Problematik der kritischen Mengen** für MST-Hersteller und ihre Vorlieferanten (bei Entwicklungs- und Fertigungsdienstleistern ebenso wie bei Materialherstellern) gezielter angehen? Wie lassen sich die Innovationsprozesse in den jeweils relevanten Wertschöpfungsketten wirkungsvoll verknüpfen?
4. Welche technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten liegen in der **Weiterentwicklung von modularen Ansätzen** zur Herstellung von Mikrosystemen über alle Stufen hinweg, d.h. Design, Entwicklung, Test und Fertigung, und wie lassen sich geeignete Bedingungen schaffen, um sie für ökonomisch tragfähige Strukturen nutzbar zu machen?

Offen ist weiterhin die Frage nach der konkreteren technischen Beschreibung der hinter den festgestellten Diffusionshemmnissen stehenden technischen Fragestellungen. Dies ist unter anderem Gegenstand der folgenden Kapitel.

## 5. Kriterien und Vorgehensweise in der ex-ante Evaluation

### 5.1 Ziele und Kriterien der ex-ante Evaluation

Mit der ex-ante Evaluation wurden die Zukunftspotenziale der Mikrosystemtechnik auf der Basis umfangreicher empirischer Erhebungen beschrieben. Im Mittelpunkt der Arbeiten stand die Identifikation von zukunftssträchtigen Feldern. In diesen **Zukunftsfeldern** ist eine erfolgreiche Verbindung von zukunftssträchtiger Technologieentwicklung und zukünftigen hohen Anwendungspotenzialen zu vermuten. Ein Zukunftsfeld ist definiert als Cluster, in dem verschiedene, vorhandene und/oder zu entwickelnde Technologien, deren Zusammenspiel ein großes wirtschaftliches und gesellschaftliches Potenzial aufweisen, zusammengefasst werden. Zukunftsfelder werden durch Technologien und deren **Anwendungsgebiete** (Märkte) beschrieben.

Auch wenn zweifellos die exakte Vorhersage der Zukunft unmöglich ist, können mögliche zukünftige technologische Entwicklungstrends durchaus prognostiziert werden. Die Qualität der Identifikation von potentiellen Zukunftsfeldern hängt dabei von den verwendeten prognostischen Verfahren ab. Die Grundlage für möglichst vertrauenswürdige und realitätsnahe prognostische Verfahren für die **Identifikation** von **Zukunftsfeldern** ist die Analyse und das darauf aufbauende Verständnis der Technologiegeneseprozesse. Im Rahmen der Technologiegeneseforschung werden in der neueren Innovationsforschung alle Einflüsse untersucht, die eine Auswirkung auf die Ausgestaltung von technologischen Lösungen haben.

In der **Innovationsforschung** lassen sich drei grundlegende Arten von Ansätzen zur Erklärung von Technologiegenese unterscheiden. Hierbei handelt es sich um:

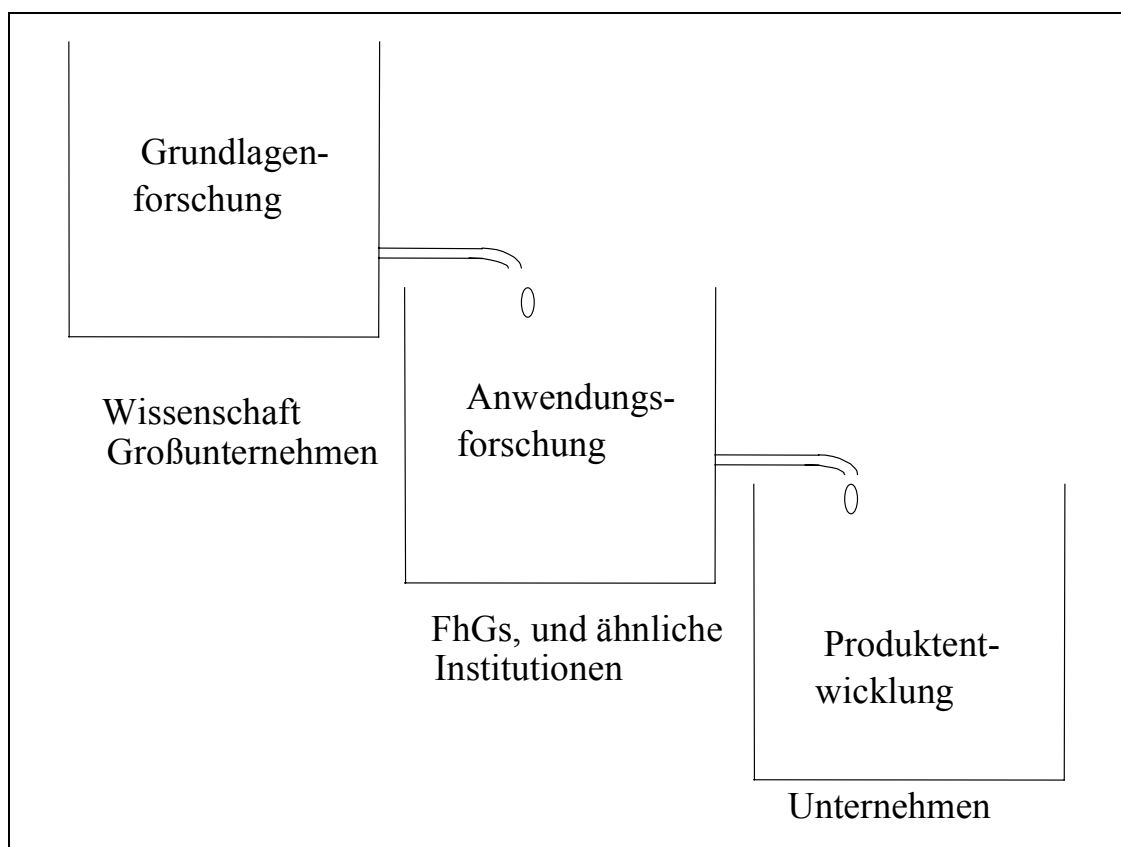
- technology-push Ansätze,
- demand-pull Ansätze,
- evolutionstheoretische Ansätze.

**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 auf 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 5.1) von der Grundlagenforschung hin zu den marktlichen Produkten unterstellte **Geneseprozess** wird aufgrund der ausschließlichen Einbeziehung naturwissenschaftlich-technologischer Parameter als technologischer Determinismus bezeichnet.

Abbildung 5.1: Kaskadenmodell des technology-push Ansatzes



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 Konzept bei Mensch<sup>93</sup>, der mit der Differenzierung zwi-

<sup>93</sup> Mensch, Gerhard: Das technologische Patt. Innovationen überwinden die Depression, Frankfurt/Main, 1975

schen 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.<sup>94</sup> 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 deutlich sichtbar, bei der verschiedene Entwicklungspfade parallel verfolgt werden.<sup>95</sup>

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. den Abschnitt über die evolutionären Ansätze).

---

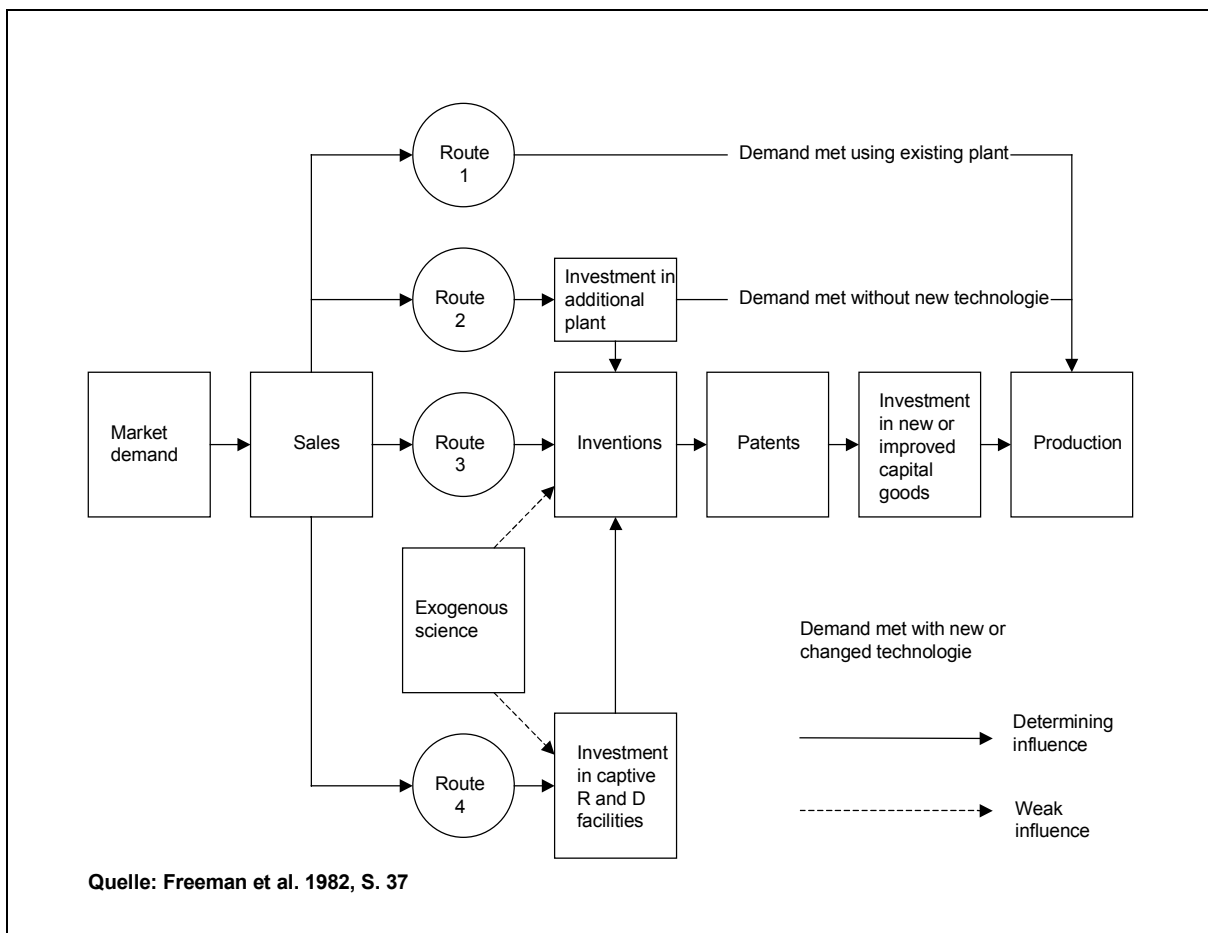
<sup>94</sup> Arthur, B.W., Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events, in: The Economic Journal, Vol.99, S.116-131.

David, P.A., J.A. Bunn, 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.

<sup>95</sup> 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 Vehicle, in: Callon M., Law, John, Rip, Arie (eds.), Mapping the Dynamics of Science and Technology, Macmillan, LONDON; S:19-34.

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 Schmookler <sup>96</sup> 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 5.2). Eine Vielzahl von empirischen Studien haben darauf aufbauend versucht, die direkte Beeinflussung der Technologiegenese durch den marktgesteuerten Einsatz von Forschungsressourcen aufzuzeigen.

Abbildung 5.2: Der Demand-Pull Ansatz



96 Schmookler, Jacob, Invention and Economic Growth, Cambridge. Bonus und 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.

Interessant an dem Ansatz ist die Überlegung, dass nicht technische sondern **wirtschaftliche** Faktoren, wie in den Routen 3 und 4 gezeigt (vgl. Abb. 5.2), 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 Förderung generell problematischer als dies im Rahmen des technology-push Ansatzes der Fall ist, da ordnungspolitische Grundsätze<sup>97</sup> 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.<sup>98</sup>

---

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

98 Dies wird besonders deutlich an der Untersuchung von v.Hippel (1989), 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.<sup>99</sup> 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.<sup>100</sup> 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.<sup>101</sup> 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.<sup>102</sup> Dieses Zusammenwirken wird in den

---

<sup>99</sup> 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.

<sup>100</sup> Dies ist auch im ersten Zwischenbericht für die potentiellen Zukunftsfelder erfolgt.

<sup>101</sup> Hier ist immer wieder auf die Aussage des Vorstandsvorsitzenden von IBM zu verweisen, der Ende der 70er Jahre das Marktpotenzial für Personalcomputer bei etwa 100 Nachfragern pro Jahr sah.

<sup>102</sup> 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.

evolutionären Ansätzen auf unterschiedlichen Ebenen (Makro-, Meso- oder Mikroebene) behandelt. Für die evolutionstheoretische Betrachtung auf der Mikroebene, also der Ebene, die für die Betrachtung im Rahmen dieser Studie von besonderem Interesse ist, bildet ein Akteursansatz den Ausgangspunkt, der die folgenden Elemente aufweist:

- Problemlösungsversuche mittels **Paradigmata**, die sowohl naturwissenschaftlich-technologische als auch gesellschaftlich-wirtschaftliche Parameter enthalten.
- Die beteiligten Akteure aus Industrie, Wissenschaft und Intermediären verständigen sich vor dem Hintergrund eines Paradigmas auf eine gemeinsame **Problemdefinition**.
- Das bewusste Aufgreifen von auftretenden **kritischen Ereignissen**, die während des Technikgeneseprozesses, die entweder die Problemdefinition oder das verwandte Paradigma erschüttern.

Im Rahmen der evolutionären Technikgeneseansätze muss nun zwischen zwei Prozessen unterschieden werden. Einerseits die Entstehung von neuen handlungsanleitenden technologischen Paradigmata. Andererseits die Problemdefinition im Sinne einer anwendungsorientierten Vorgehensweise im Rahmen eines technologischen Paradigmas.

Ein Paradigma bildet sich aus den von den beteiligten Akteuren geteilten expliziten und impliziten Annahmen über die zu lösenden Probleme und Problemlösungsansätze.<sup>103</sup> Es wird also durch explizite und implizite Annahmen gebildet.

Die in der MST vorhandene Paradigmagebundenheit kam bei der quantitativen Erhebung im Rahmen der ex-ante Evaluation zum Ausdruck. Die hohen Besetzungsdichten bei der AVT und der Mikroelektroniktechnik<sup>104</sup> deuten eine solche Paradigmagebundenheit an. Offensichtlich sehen die Akteure hier zentrale Probleme und Lösungsansätze, die durch die MST gelöst werden können.

Innerhalb eines Paradigmas kann es dabei durchaus unterschiedliche Entwicklungsstränge (Trajectories) geben. So wurden in der

---

<sup>103</sup> Anschauliche Beispiele für Paradigmata sind die Video- und die CD-Technik. Obwohl beide auf das Speichern und das Abspielen von Informationen abzielen, unterliegen sie einem vollständig distinktem Ansatz. Aus technischer Perspektive haben sie kaum Gemeinsamkeiten sowohl was die Problemstellungen als auch was die Problemlösungsstrategien angeht. In ökonomischer Hinsicht unterscheiden sie sich vor allem hinsichtlich der dahinterliegenden Geschäftsmodelle.

<sup>104</sup> Vgl. die Auswertung der quantitativen Erhebung im Materialband.

Videotechnik bspw. verschiedene Strategien durch Sony (Beta-max) und JVC (VHS) verfolgt. Gemeinsam war den Ansätzen zwar die durch das Paradigma vorgegebene Problemstellung: Bildaufzeichnung durch eine Speicherung auf einem Magnetband. Jedoch wurde die technische Umsetzung bei JVC und Sony durch jeweils spezifische Unterschiede in der Herangehensweise in dem so abgesteckten Rahmen bewerkstelligt.<sup>105</sup>

Im Rahmen der ex-ante Untersuchung haben wir uns primär mit der Entstehung und dem Wandel von Problemdefinitionen befasst, um Hinweise auf sich herausbildende Entwicklungstrends zu erhalten. Die Definition der Zukunftsfelder steht in einem direkten Zusammenhang mit dieser Art der Problemdefinitionen. Zukunftsfelder stellen im Rahmen eines bestehenden Paradigmas zukünftige Entwicklungsfelder dar.

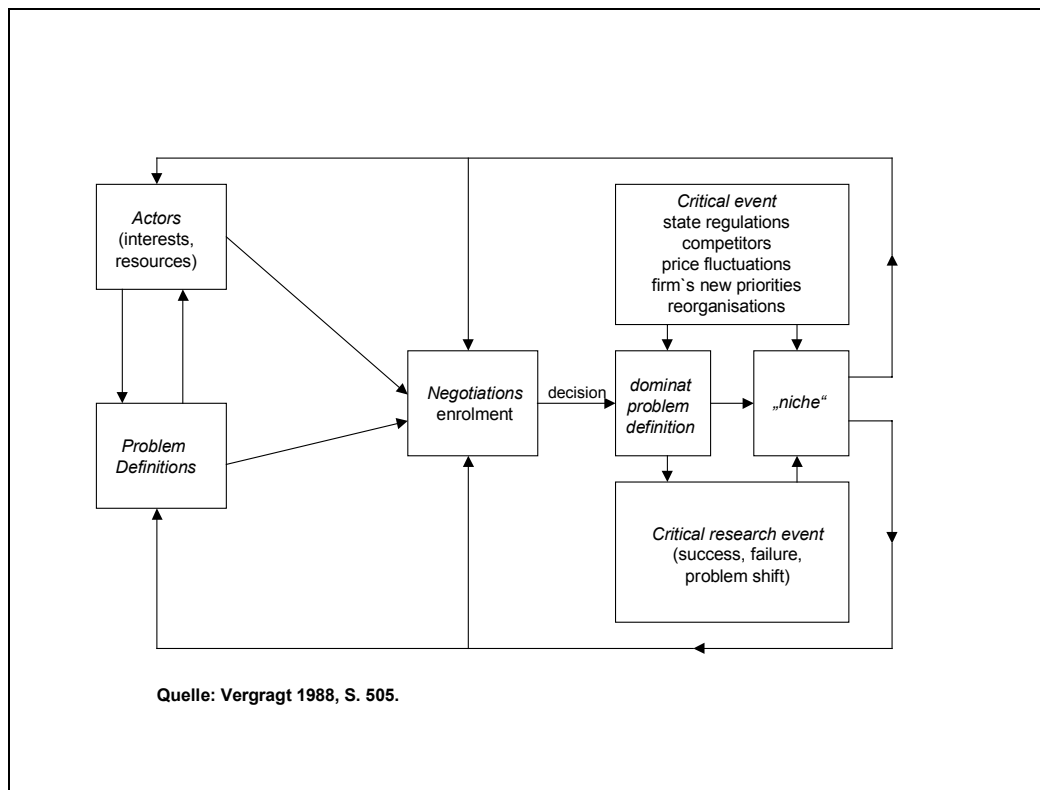
Die evolutionären Ansätze behaupten dabei nicht, dass die Technikgenese als konfliktfreier Prozess verläuft. Vielmehr wird um die Definition einer gemeinsamen Problemdefinition zwischen verschiedenen Akteuren gerungen. Was ein Problem darstellt, ist somit nicht mehr per se gegeben, sondern das Ergebnis eines dynamischen Aushandlungsprozesses.

Besonders anschaulich wird der evolutionäre Ansatz in der folgenden Abbildung nach Vergragt dargestellt.

---

<sup>105</sup> Ehrhardt, Markus, 2001, Netzwerkeffekte, Standardisierung und Wettbewerbsstrategie, Dt. Universitäts-Verlag, Wiesbaden

Abbildung 5.3: Der evolutionäre Ansatz nach Vergragt



Der Ansatz von Vergragt weist den beteiligten **Akteuren** einen starken Einfluss zu. Sie einigen sich in teilweise sehr heftig geführten Verhandlungen auf eine gemeinsame Problemdefinition, die neben der Gruppe der naturwissenschaftlich-technologischen eben auch die Gruppe der gesellschaftlich-wirtschaftlichen Parameter aufweist. Somit ist die Integration der beiden Parametergruppen durch die beteiligten Akteure gewährleistet und die Auswahl und die Einbindung der Akteure wird somit zu einem zentralen Element des Technologiegeneseprozesses.

Die Probleme im Prozess der Technologiegenese verändern sich aber über den **Zeitablauf** des Vorhabens. Entsprechend unterscheidet die evolutionäre Innovationstheorie zwei Phasen im Technologiegeneseprozess, nämlich die De- und die Rekontextualisierungsphase.

In der **Dekontextualisierungsphase** ist es die zentrale Aufgabe der beteiligten Akteure, im Rahmen der gemeinsamen Problemdefinition und der Arbeit innerhalb dieser eine notwendige Abstraktion auf die zentralen Problemfelder innerhalb des Paradigmas zu

erreichen.<sup>106</sup> Im Rahmen der Dekontextualisierung kommt den naturwissenschaftlich-technologischen Parametern eine zentrale Rolle zu, da in dieser Phase gesellschaftliche und/oder individuelle Bedürfnisse in technologische Probleme transformiert werden. So ist beispielsweise in der MST die „Applikation“ Insulinpumpe in die Frage nach einem vertrauenswürdigen Sensor, eine körperresistente Aktorik und eine technisch optimierte Wiederbefüllung aufgesplittet worden. Das individuelle Bedürfnis der optimalen Insulinversorgung wurde entsprechend in technische Teilprobleme untergliedert.

Für die **Rekontextualisierungsphase** ist zentral, die in der Dekontextualisierungsphase entwickelten Prototypen an die Realität anzupassen und sie am Markt durchzusetzen.<sup>107</sup> In der Rekontextualisierung kann es sowohl zu einer Verschiebung der Akteure als auch zu einer Anpassung der Prototypen an marktliche Parameter kommen. So wurde der Kampf um den Videostandard durch VHS gegenüber den Konkurrenten Betamax und Video2000 durch eine schnellere Anpassung der Spieldauer der Videokassetten an die gängige Spielfilmlänge und die systematische Ausweitung des Angebots ausleihbarer Kassetten entschieden, obwohl der VHS-Standard den Konkurrenten in der Wiedergabequalität unterlegen war.

Die jüngere **Innovationspolitik** hat die Ergebnisse der evolutionären Innovationsforschung in ihrer Ausrichtung implizit bereits ansatzweise integriert.

Das verstärkte Augenmerk auf Netzwerke – seien es Innovationsnetzwerke oder Kompetenznetze – spiegeln diesen Wandel in der Innovationspolitik ebenso wieder wie der Ausbau der Verbundanteile in Forschungsförderungsprogrammen. Gleichzeitig ist mit der verstärkten Einbindung von anwendungsorientierten Fragestellungen aber auch eine Reduktion bei den grundlegenden Forschungsprojekten festzustellen, die die Variationsbreite erhöhen.

---

<sup>106</sup> So wurde in den 70er Jahren sowohl an der Bildplatte für bewegliche Bilder als auch an dem Videorekorder gearbeitet. Durchgesetzt hatte sich der Videorekorder, der erst in jüngster Zeit durch den DVD-Player wieder bedroht ist. Beiden Forschungsvorhaben lagen jeweils Ansätze zugrunde, die sich sowohl hinsichtlich der naturwissenschaftlich-technologischen als auch hinsichtlich der gesellschaftlich-wirtschaftlichen Parameter unterschieden.

<sup>107</sup> Das Konzept der De- und Rekontextualisierung findet sich ausführlich dargelegt bei Hack et al. Technologieentwicklung als Institutionalisierungsprozeß. Stand der Forschung, Lage der Dinge, gemeinsame Überlegungen, in: Fleischmann, Gerd (Hrsg.), Interdisziplinäre Technologieforschung, Diskussionsbeiträge, Arbeitspapier 1/91, Frankfurt(Main) und bei Heimer, Thomas (1993), Zur Ökonomie der Entstehung von Technologie, Dissertation, Frankfurt(Main).

## 5.2 Methodische Umsetzung der Ergebnisse der Innovationsforschung in die ex-ante Evaluation der MST 2000+

Die Übertragung der evolutionären Ansätze auf die Mikrosystemtechnik stellt kein einfaches Unterfangen dar. Die MST als Querschnittstechnologie weist eine erhebliche Vielfalt von integrierten unterschiedlichen Paradigmata auf, denen sie folgt, und die Zahl der beteiligten Akteure ist wesentlich größer als dies bei klar fokussierten Techniken der Fall ist. Dies heißt aber nicht, dass das Unterfangen hoffnungslos ist. Vielmehr lassen sich die Überlegungen der evolutionären Ansätze auf die ex-ante Evaluation anwenden, wenn in dieser **drei Schritte** durchgeführt werden. Diese sind:

1. Erhebung der in **Akteursnetzwerken** angelegten Problemdefinitionen und ihre Umsetzung in technologische Paradigmata.
2. Untersuchung von mittel- und langfristigen Forschungs- und **Anwendungsfeldern** für die Entwicklungen im Rahmen der jeweiligen Problemdefinition.
3. Identifikation von kurz- und mittelfristigen **Märkten** für die jeweilige Problemdefinition und das verfolgte technologische Paradigma.

Nur die Bearbeitung **aller** drei Schritte lässt Schlüsse auf potentielle Zukunftsfelder zu, da so alle wesentlichen technologischen und gesellschaftlichen Parameter untersucht werden, die die Entwicklung der MST beeinflussen. Um dies in der ex-ante Evaluation pragmatisch umzusetzen, wurde diese in **zwei Stufen** durchgeführt. In der ersten Stufe lag der Schwerpunkt auf der Schaffung eines **Überblicks** über zukünftige Problemdefinitionen in der MST. Die zweite Phase war dann auf **vertiefende Untersuchungen** in einzelnen möglichen Zukunftsfeldern ausgerichtet.

Bei der Erhebung der Problemdefinitionen und der technologischen Paradigmata in der **ersten Stufe** war es vor allem wichtig zu identifizieren, welche Fragestellungen die Akteure als **Problem** definieren und mittels welcher Lösungswege sie versuchen, diese zu lösen. Um dies zu erreichen, mussten die Akteursnetzwerke in der MST und in MST-affinen Bereichen erhoben und auf ihre Problemdefinition hin untersucht werden. Im Rahmen der ex-ante Evaluation MST 2000+ wurde dies in der ersten Evaluierungsphase geleistet. In der quantitativen und ergänzend in der international ausgerichteten qualitativen Erhebung wurden zentrale Akteure nach ihrer Problemdefinition befragt. Ziel war es dabei, einen technologischen Determinismus zu vermeiden und bereits von

Beginn an, neben der Erhebung technologischer Variablen, die Erfassung von gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Parametern in der Problemdefinition und den verfolgten Lösungsstrategien zu erreichen. Konkret wurde dies durch die Abfrage eines Sets von Parametern für Technologieoptionen<sup>108</sup> erreicht, das neben technologischen auch wirtschaftliche Bestimmungsgrößen enthielt.<sup>109</sup> Diese technologischen und wirtschaftlichen Kriterien sind in den drei unterschiedlichen Betrachtungsfeldern

- **Anwendungen**<sup>110</sup>,
- **Anforderungen**<sup>111</sup> und
- **Funktionen**<sup>112</sup>

abgefragt worden. In den **Anwendungen** wurden die Kriterien zusammengefaßt, die Rückschlüsse nicht nur auf zukünftige Märkte, sondern vor allem auch auf zukünftige Bedarfe zulassen. In den **Funktionen** wurden die Kriterien subsumiert, die Aussagen über technische und sozio-ökonomische Funktionsbedingungen an die Ausgestaltung der Lösungen (Artefakte) erlauben. In den **Anforderungen** wiederum wurden die Kriterien abgefragt, die technische und soziale Ansprüche an die zu entwickelnde Problemlösung erkennen lassen.

---

<sup>108</sup> Folgende Technologieoptionen wurden abgefragt: Aufbau- und Verbindungstechniken, Biotechnologie, Bulk- und Surfacemicromachining, Funktionale Oberflächen, Integrierte Optik, Mikro-/Nanofluidik, Mikro-/Nano-Manipulationstechniken, Mikroelektroniktechnologien, Mikroreaktionstechniken, Mikroreplikationsverfahren (z.B. Liga...), Nanotechnologien, Optische Faserkomponenten, Plasma- und Strahltechnologien, Ploymerelektronik/ -sensorik/ -aktorik, Schichttechnologien; Selbstorganisation, Smart Materials, Vakuummikrotechnologien.

<sup>109</sup> So wurden die technischen Parameter über die technologischen Optionen sowie über Ausprägungen der Anforderungen und Funktionen abgefragt. Die wirtschaftlichen Faktoren wurden über die Anwendungen sowie über andere Ausprägungen der Anforderungen und Funktionen ermittelt.

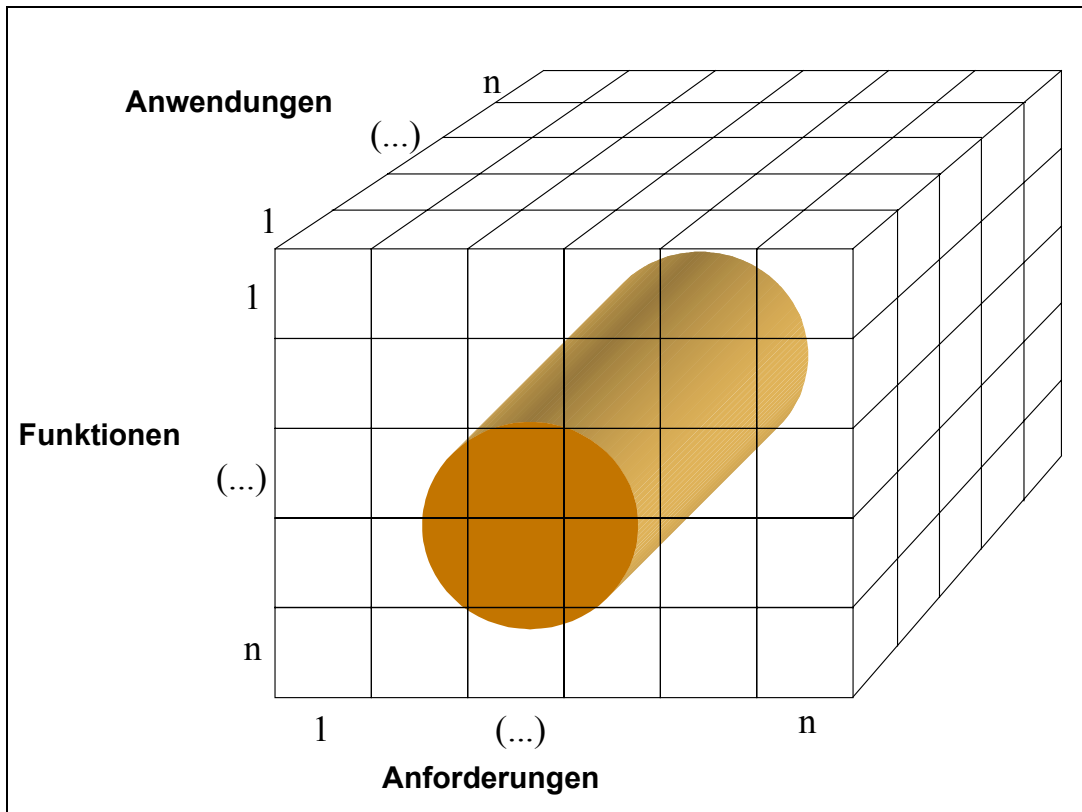
<sup>110</sup> Folgende Parameter wurden in der quantitativen Erhebung abgefragt: Information und Kommunikation, Medizintechnik und Gesundheit, Telekommunikation, Chemie/Pharmazie, Automation (incl. Meß- und Regelungstechnik), Umwelt (incl. Recycling), Automobil und Verkehr, Luft- und Raumfahrt, Maschinenbau, Energie (-versorgung), Haushalts-elektronik (Weiße Ware), Dienstleistung, Unterhaltungselektronik (Braune Ware), Haustechnik (Domotik) und Sicherheit, Lebensmittelverarbeitung.

<sup>111</sup> Folgende Parameter wurden in der quantitativen Erhebung abgefragt: Batchfähigkeit, Dauerhaftigkeit, Fertigbarkeit, Funktionale Autarkie, Integrierbarkeit, Implantierbarkeit, Kostenreduktion, Medienresistenz, Mobilität, Multifunktionalität, bio- und physiologische Verträglichkeit, Recyclefähigkeit, Strahlenhärte, Temperaturreistenz, Testbarkeit, Vandalismussicherheit, Energieeinsparung, Volumenreduktion.

<sup>112</sup> Folgende Parameter wurden in der quantitativen Erhebung abgefragt: Analytik und Diagnose, Biometrie, Displays, Energiewandlung, Fertigungsequipment, Neuro/Physio-Interface, Systemkommunikation, Telematik, Bildverarbeitung, Erfassung physikalischer Größen, Erfassung chemischer Größen, Erfassung biologischer Größen, Erzeugung physikalischer Größen, Design- und Simulation.

Die folgende Graphik zeigt symbolhaft das Ergebnis des skizzierten Vorgehens.

Abbildung 5.4: Identifikation von Clustern in technologischen Optionen mit Zukunftsfeldcharakter



Hierbei bildet der Zylinder in der Graphik einen möglichen **Ereignisraum** für eine Vielzahl von Kombinationen aus technisch-naturwissenschaftlichen und nicht-technischen Parametern in einem potentiellen Zukunftsfeld ab, wobei sich der Zylinder als mögliches Ergebnis der jeweiligen Punktwolken in der Matrix ergibt. Die eingezeichnete Fläche stellt also ein Cluster von Parameterkombinationen dar, das eine hohe Besetzungsdichte und damit nach Meinung von Experten eine hohe Zukunftsrelevanz aufweist.

Die Anwendung dieser Methode in einem Evaluationsprozess wird durch den **Querschnittscharakter** der MST erschwert. In der Evaluation wurde versucht, dieses Problem durch die ergänzenden qualitativen Erhebungen bei Experten handhabbar zu machen. Jedoch ist der Preis hierfür eine geringere erreichbare Tiefe als sie bei der vertiefenden Analyse nur einer Anwendungstechnologie möglich gewesen wäre.

Darüber hinaus wurden weitere **innovationspolitische Kriterien** in die Untersuchung einbezogen, um auch Rückschlüsse über die Potenziale eines Zukunftsfeldes sowie über zu erwartende Innovationsbarrieren in den Zukunftsfeldern zu erhalten. Hierbei handelte es sich um

- Forschungs- & Entwicklungsbedarf
- Verfügbarkeit von Akteuren im Feld in der BRD (Standortbezug)
- Branchenübergreifende Marktpotenziale
- KMU-Relevanz
- Diffusionsanstoß und Abdeckung der Wertschöpfungskette (Fertigung)
- Gesellschaftliche Faktoren

### **Forschungs- & Entwicklungsbedarf**

Der F&E-Bedarf einer Technologie bzw. eines Clusters von Technologien wird maßgeblich dadurch bestimmt, ob es sich um eine **evolutionäre** (inkrementelle) oder um eine **revolutionäre** Technologieentwicklung handelt. Unter einer evolutionären Technologieentwicklung wird dabei die Fortentwicklung einer bereits verfügbaren Technologie verstanden, wobei die weiteren Entwicklungen auf dem selben Paradigma basieren wie die vergangenen. Im Gegensatz dazu ist eine revolutionäre Technologieentwicklung dadurch gekennzeichnet, dass ein Paradigmenwechsel stattgefunden hat. Galt es in der Vergangenheit über den Stand einer Innovation innerhalb der Innovationskette den F&E-Aufwand zu bestimmen, so wird gegenwärtig und zukünftig zunehmend die Rolle einer Technologie innerhalb eines Technologiebündels und der Stand dieses Bündels innerhalb der Innovationskette zu bestimmen sein und damit auch der notwendige F&E-Bedarf. Insbesondere die Rolle der MST als potentieller Schlüsseltechnologie<sup>113</sup> im Sinne von revolutionären Umbrüchen ist hier zu betrachten. Revolutionäre Entwicklungen in der MST können grundlegende Anstöße in anderen Technologiebereichen hervorrufen. Gleichzeitig haben grundlegende Entwicklungen in anderen Technologiebereichen, z.B. im Bereich verbesserter Funktionalität, kostengünstigerer Fertigung sowie der Erweiterung der wirtschaftlichen Anwendungen, Auswirkungen auf die MST. Auch hier mögen Barrieren zu detektieren sein, die möglichen Vorwärts- und Rückwärtsvernetzungen hinderlich sind. Für einzelne Technologieverknüpfungen bzw. Technologiefelder wären, bezogen auf An-

---

<sup>113</sup> Der Begriff ist hierbei von seiner traditionellen Bedeutung zu entkoppeln. Während im Modell des technologischen Determinismus der Begriff die Rolle eines Gate-Keepers signalisiert, ohne den keine erfolgreiche Entwicklung möglich ist, dient er hier als Kennzeichnung eines revolutionären Umbruchs.

wendungen, Anteile für Grundlagenforschung, industrienaher Forschung und industrielle Entwicklungsforschung zu bestimmen. Auch hier dienen als Ausgangspunkt der Untersuchung Daten aus den ex-ante Fragen an Unternehmen und Institute über Markteintritt, Stand im Innovationsprozess, Technologieoptionen, sowie Anforderungen, Funktionen und Anwendungen der Technologieoptionen. Mit Hilfe der deskriptiven Statistik konnten erste Ergebnisse zur Bestimmung eines F&E-Bedarfs gegeben werden, die mit Ergebnissen aus anderen Arbeitsmodulen, insbesondere der qualitativen ex-ante Evaluation abgeglichen wurden.

### **Verfügbarkeit von Akteuren im Feld in der BRD (Standort)**

Als standortabhängige Kriterien sind insbesondere zu nennen: die Verfügbarkeit einer **Innovationsinfrastruktur**, das Vorhandensein von kompetenten wissenschaftlichen Instituten (Kompetenzzentren) und herstellenden Unternehmen (Players) bezogen auf das jeweilige Zukunftsfeld. Neugründungen und Netzwerke waren hier zu berücksichtigen. Gerade Neugründungen können Aussagen über Diffusionstrends und -geschwindigkeiten von Technologien liefern, da Neugründungen überwiegend in solchen Bereichen zu erwarten sind, in denen sich die Gründer hohe Wachstumsraten erwarten.

Neben den Verfügbarkeiten und Kompetenzen im wissenschaftlichen und unternehmensinternen F&E-Bereich war die Position der Unternehmen im **weltweiten Wettbewerb** in den Zukunftsfeldern ebenso zu bestimmen wie die Aktivitäten wichtiger Konkurrenten auf dem Weltmarkt (Japan, USA). Die notwendigen Daten wurden aus allen verfügbaren Quellen ausgewählt. Insbesondere wurde hier auf Ergebnisse der qualitativen ex-post Analyse zurückgegriffen.

### **Branchenübergreifende Marktpotenziale**

Das Kriterium „Branchenübergreifendes Marktpotenzial“ signalisiert, dass es nicht nur auf die Umsatzhöhe in einem Markt ankommt, sondern zusätzlich auf die **Zahl der Anwendungen**. Entwicklungen in einem aussichtsreichen Zukunftsfeld sollten demnach Märkte adressieren, die einzeln oder zusammen eine kritische Menge aufweisen. Da zwischen dem Zeitpunkt des Markteintritts bis zur vollständigen Marktdurchdringung eine zeitliche Diskrepanz vorliegt, ist in einigen Fällen zu erwarten, dass Produkte, die bei Markteintritt einen Spezialmarkt oder hochwertigen Nischenmarkt bedienen, sich erst im späteren Verlauf zu einem Massenmarkt bzw. zu einem umsatzstarken Einzelmarkt entwickeln

Die genutzten Variablen aus den drei oben beschriebenen Erhebungsinstrumenten sollen Auskunft darüber geben, welche technologische Option bzw. welches technologische Themenfeld das ökonomische Potenzial eines Querschnittsmarktes aufweist. Indikatoren wie Umsatzgrößen, Anwendungen und Markteintrittsdaten für Produkte, die das Marktpotenzial verschiedener Technologieoptionen beleuchten, wurden aus den quantitativen ex-ante Daten der Evaluationsstudie ermittelt und zu belastbaren Ergebnissen verdichtet. Eine besondere Rolle kam bei der Verdichtung auch den Auswertungen der Technology & Market Forecast Studies und der qualitativen Erhebungen mittels Interviews zu, da diese sich explizit mit von Experten erwarteten Marktvolumina befassten.

### **KMU-Relevanz**

KMU haben, wie die Diskussion um die KMU-orientierte Innovationsförderung belegt, besondere Schwierigkeiten bei der Durchführung von Innovationsprojekten. Planungs-, Investitions- und Innovationszeiträume sind nicht deckungsgleich, die Finanzierung von risikoreichen Innovationsprojekten ist häufig nicht aus eigener Kraft möglich etc. KMU nehmen in der bundesdeutschen Unternehmenslandschaft einen sehr bedeutenden Platz ein. Die meisten Unternehmen gehören zu dieser Gruppe. Nicht zuletzt sind in vielen Wirtschaftszweigen auch die am Ende der Wertschöpfungskette stehenden Großunternehmen auf ihre Innovationskraft angewiesen. Entsprechend ist bei der Betrachtung der potenziellen Zukunftsfelder die KMU-Relevanz zu thematisieren.

Die Kriterien KMU Relevanz und branchenüberschreitendes Marktpotenzial stehen in einem Spannungsverhältnis zu einander. Die Auflösung dieses Widerspruchs erfolgt über die **Modularisierung** der Technologie. Neugründungen (KMU) übernehmen die Entwicklung und den ersten Markteintritt als Nischenmarkt, der sich schnell zu einem Querschnittsmarkt entwickelt. Dies bedeutet für das KMU, den Status eines KMU entweder zu verlassen, sei es durch Wachstum in Größe und/oder durch Aufkauf oder alternativ sich immer wieder neue Nischenmärkte zu suchen.

Entsprechend wurde bei der ex-ante Erhebung auch der Aspekt der Modularität einbezogen und gerade im Zusammenhang mit Fertigungsaspekten intensiver analysiert.

### **Diffusionsanstoß und Abdeckung der Wertschöpfungskette (Fertigung)**

Die Abdeckung einer Wertschöpfungskette wird bei einer arbeitsteiligen Wirtschaft als zentrales Argument für wirtschaftspolitische Eingriffe herangezogen. Hierbei geht es weniger darum, dass alle Wertschöpfungsstufen im Binnenland angesiedelt sind. Zentral ist, dass die Zugriffe auf die wertschöpfenden Einheiten die Umsetzung innovativer Lösungen erlauben. Besonders ist hierbei auf die Frage der Fertigung zu achten, da sich in der Vergangenheit immer wieder fehlende Fertigungsmöglichkeiten als Innovationsbarriere und Diffusionshemmnis herausgestellt haben. Nur wenn es gelingt die wertschöpfungsintensiven Fertigungsbereiche zu verzahnen, ist eine rasche Diffusion der Innovation zu erwarten. Damit liegt in diesem Kriterium zum einen ein **standortgebundenes** Argument; zum anderen ist es auch ein Argument für ein Marktpotenzial. Es ist ein wirtschaftspolitisches Bestreben, die gesamte Wertschöpfungskette am Standort mit ausreichender Kapazität zur Verfügung zu stellen, zumal die Fertigung einen hohen Anteil innerhalb der Wertschöpfungskette aufweist. Ein Mangel an Fertigungskapazität, wie z.B. bei den Foundries begründet durch einen relativ hohen Kapitalaufwand, bedeutet tendenziell eine Beschränkung von KMU-Herstellern und weitere Einschränkung der Nutzung des Arbeitskräftepotenzials. Die Daten zur Erhebung dieses Kriteriums waren nur zum Teil aus der quantitativen ex- ante Analyse zu generieren und mussten durch Daten aus anderen Arbeitsmodulen ergänzt werden.

### **Gesellschaftliche Faktoren**

Bei den gesellschaftlichen Faktoren sind vor allem die Einflüsse durch den demographischen Wandel, die steigende Mobilität und die zunehmende Veränderung in der Bevölkerungsstruktur auf die MST-Entwicklung zu berücksichtigen. Die Zukunft der Gesellschaften in den Industrienationen ist geprägt durch eine **Reduktion bzw. Stagnation des Bevölkerungswachstums** und eine wachsende Zahl älterer Menschen. Dieser Faktor wird nicht ohne Auswirkungen auf die Problemstellungen bei der weiteren Entwicklung der MST bleiben, da neue Anforderungen an die Versorgung älterer Menschen ebenso gestellt werden, wie auch die Unterstützung der sinkenden bzw. stagnierenden Bevölkerung durch technische Lösungen zunehmen wird.

Des Weiteren lässt sich bereits heute die Notwendigkeit für einen anderen Umgang mit der **Ressource Umwelt** als in der Vergangenheit erwarten. Technische Hilfestellungen bei der Beantwortung solcher Probleme wird auch von der MST erwartet.

Bedingt durch die **größere Mobilität** der Menschen werden die Anforderungen an die IuK-Technologien steigen. Auch wird die Sicherung bezahlbarer Mobilität weiter an Bedeutung gewinnen.

Um den Ausgangspunkt und die von den Akteuren wahrgenommenen wirtschaftlichen Anwendungen klarer zu erfassen, wurden in einem weiteren Schritt Marktdaten und Bedarfe für MST-affine Anwendungen durch Sekundäranalysen erhoben. Hierüber wurde versucht, die **nachfrageseitigen Stimuli** auf die Entwicklung der MST zu erheben.

Bei der Erhebung von Marktprognosen wurde auf eine Primärerhebung verzichtet, da die hiermit einhergehenden Probleme den Projektrahmen personell, zeitlich und finanziell überfordert hätten.<sup>114</sup> Die für die jeweiligen potentiellen Zukunftsfelder verfügbaren Daten aus der durchgeführten Analyse des Sekundärmaterials zeigen jedoch deutliche kurz- und mittelfristige Entwicklungsperspektiven auf, die ihre Wirksamkeit auf die Bereitstellung von Forschungsressourcen durch die Akteure (Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Intermediäre) im Feld nicht verfehlen werden. Vor allem die Märkte mit kurzfristig hohen Zuwachsraten lassen aussichtsreiche Forschungsprojekte erwarten.

Es wurde darauf verzichtet, eine einfache Fortschreibung dieser Daten über den Zeitraum von 5 Jahren vorzunehmen, wie sie häufiger in der Szenariotechnik praktiziert wird. Es ist ein Spezifikum von Zukunftsfeldern, dass mit diesen Umbrüche einhergehen, die nicht durch bloße Fortschreibung erfasst werden können. Besonders für die Prognose neuer Märkte, die durch die Transformation latenter Bedürfnisse in effektive Nachfrage realisiert werden, hilft die reine Fortschreibung nicht. Im Rahmen der ex-ante Evaluation wurden deshalb die Prognosen von Marktdaten auf einen Zeitraum bis 2006 beschränkt, da in diesem Zeitraum **strukturelle Umbrüche** durch die Schaffung neuer Märkte eher unwahrscheinlich sind.

Die methodisch größere Herausforderung lag in der **zweiten Stufe** der ex-ante Evaluation also der Erhebung mittel- und langfristiger **Forschungs- und Anwendungsbereiche**, da diese durch die Weiterentwicklung bestehender Märkte und Technologien sowie durch die neue Kombination zwischen solchen entstehen. Im Sinne der Innovationstheorie haben wir es hier also mit Strukturbrüchen zu tun. Besonders anschaulich wird die Problematik an der Nutzung der MST in der Domotik. Hier wurde seitens der Akteure aus Industrie und Forschung, unterstützt durch das BMBF,

---

<sup>114</sup> Die Schwierigkeiten bei der Erhebung von Marktdaten lassen sich deutlich an den Nexus Studien ablesen. Obwohl diese von den wirtschaftlichen Einheiten zusammengestellt werden, die für den Vertrieb von Mikrosystemtechnik verantwortlich sind, zeigen sie deutlich die Probleme bei einer Abgrenzung von Marktentwicklungen.

Landesministerien und die Europäische Kommission, ein enormer Betrag in die Forschung für solche Systeme investiert. Bisher ist es allerdings nicht gelungen, die **latenten Marktbedürfnisse** für diese Technologie in konkrete Nachfrage zu transformieren.<sup>115</sup>

Im Rahmen der ex-ante Evaluation wurden solche mittel- bis langfristigen Entwicklungen durch eine **interdisziplinäre Expertenbefragung** erhoben. Dabei wurden Vertreter aus verschiedenen das Zukunftsfeld beeinflussenden Forschungseinheiten und Unternehmen aber auch Vertreter von nicht technischen Einheiten (wie z.B. Krankenkassenvertreter beim Zukunftsfeld Life Sciences) aufgesucht und befragt. Zentrales Ziel der Interviews mit den Experten war die Identifikation von Anwendungen im Rahmen des jeweiligen potentiellen Zukunftsfeldes, die auf latenten Bedürfnissen basieren.

Aufbauend auf den Experteninterviews wurden die Ergebnisse dieser Gespräche durch eine gemeinsame **begleitende Diskussion** zwischen den beteiligten Experten und weiteren, externen Fachleuten in interdisziplinären Workshops validiert. In diesem Prozess sollte es nicht das Ziel sein, bereits die zukünftigen Anwendungsbereiche der Zukunftsfelder direkt zu erhalten. Vielmehr sollte die Diskussion auf die Frage zielen, welche Zukunftsfelder aufgrund fehlender Identifikationsmöglichkeiten von zukünftigen Anwendungsfeldern als wenig eindeutig angesehen werden. Über diesen Prozess ließen sich die Möglichkeiten in den potentiellen Zukunftsfeldern in einem induktiven Prozess wesentlich eingrenzen. Dies galt sowohl innerhalb eines potentiellen Zukunftsfeldes als auch hinsichtlich der Frage nach Verknüpfungen zwischen potentiellen Zukunftsfeldern in einzelnen Anwendungen.

Methodisch bedeutete dies, dass die Einbindung der Experten über eine offene Befragung vor dem Hintergrund von **Anwendungsfeldern** erfolgen musste. Unter Anwendungsfeldern sind dabei Entwicklungslinien unterschiedlicher Ausprägungen von zukünftigen Anwendungen zu verstehen, die durch ein Zukunftsfeld oder die neuartige Verzahnung mehrerer Zukunftsfelder entstehen.

Da dieser Ansatz eine hohe Komplexität aufweist, war es im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich, diese Erhebung für eine unbegrenzte Anzahl potentieller Zukunftsfelder vorzunehmen. Vielmehr wurden **vier exemplarische Zukunftsfelder** ausgewählt. Hierbei soll aber betont werden, dass das durchgeführte Ranking und die getroffene Auswahl der vier potentiellen Zukunftsfelder

---

<sup>115</sup> Dabei zählt die Forschung der Technologiegenese des Intelligenten Hauses zu den am meisten elaborierten. Eine Vielzahl von Erhebungen (W. Glatzer et al.; Revolution in der Haushaltstechnologie, Die Entstehung des Intelligent Home, Campus, Frankfurt(Main) 1998) ist es bislang nicht gelungen, einen Anknüpfungspunkt für eine zukunftsweisende Transformation hin zu einer Marktnachfrage zu identifizieren.

weder ein Präjudiz für eine zukünftige Ausrichtung einer Forschungsförderung noch für die Frage war, ob überhaupt gefördert werden soll.

Ausgangspunkt für die Auswahl der exemplarischen Zukunftsfelder war die Diskussion innerhalb eines **Expertenworkshops**, der im Rahmen des Projekts durchgeführt wurde. Ergänzend zu diesen Ergebnissen wurde bei der Auswahl der 4 Zukunftsfelder darauf geachtet, dass sie repräsentativ für die Vielfalt der zukünftigen Anwendungen der MST sind. **Repräsentativität** ist dann gegeben, wenn sowohl die Querschnittsfunktion über mehrere Technologiefelder als auch die Anwendungsorientierung und die Verzahnung zwischen verschiedenen potentiellen Zukunftsfeldern der MST durch die ausgewählten Felder abgedeckt wird. Gerade der Aspekt der Repräsentativität hat bei der Entscheidung der zu vertiefenden Felder eine zentrale Rolle gespielt, da es ja gerade nicht das Ziel der Auswahl ist, andere Felder auszugrenzen.