Das wirtschaftliche Potenzial der Nanotechnologie

von Wolfgang Luther und Norbert Malanowski, Zukünftige Technologien Consulting in der VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

Die Nanotechnologie ist eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Bereits heute werden mit Produkten, die sich nur mit Hilfe der Nanotechnologie realisieren lassen, beträchtliche Umsätze erzielt. Diese Umsätze dürften mit dem wirtschaftlichen Durchbruch der Nanotechnologie zukünftig enorm steigen. Als Beispiele für heutige und zukünftige Anwendungsfelder der Nanotechnologie lassen sich unter anderem die Pharmazie, die Elektronik, der Bereich Neue Materialien, der Automobilbau und der Maschinenbau sowie die Umwelttechnik nennen. Eine allgemein anerkannte breite Datenbasis zum wirtschaftlichen Potenzial ist bisher allerdings noch nicht erarbeitet worden bzw. liegt nicht öffentlich zugänglich vor. Das wirtschaftliche Potenzial der Nanotechnologie ist daher zum gegenwärtigen Zeitpunkt – so unsere Hypothese in einer neuen Studie – mit Erhebungen, basierend auf rein quantitativen Methoden der empirischen Wirtschaftsforschung kaum realistisch einzuschätzen.¹

1 Einleitung

Erste übergeordnete veröffentlichte Studien zur Nanotechnologie (z. B. Evolution Capital 2001; DG Bank und GZ Bank 2001; Beckmann und Lenz 2002; TAB 2003) sind bisher noch zu lückenhaft, als dass sie die wirtschaftliche Bedeutung der Nanotechnologie für sämtliche betroffenen Branchen präzise abbilden könnten, zumal die Definition meist vage bleibt. Darüber hinaus werden in solchen übergeordneten Studien in der Regel die jeweiligen so genannten Lead-Märkte² einzelner Länder nicht hinreichend berücksichtigt. Während beispielsweise die Bereiche Elektronik, Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK) und Biotechnologie in den USA betroffene Lead-Markets darstellen, sind dies in Deutschland vor allem die Branchen Chemie, Automobilbau, Optik, Life Sciences und Elektronik. Bezeichnend für diese Lead-Market-Branchen ist, dass

sie in einem besonders intensiven Partnerschaftsverhältnis zur Wissenschaft stehen, aus der sie ihre technologische Stärke schöpfen (siehe dazu unter anderem BMBF 2002; Beise 2002; Manager Magazin 9/2002). Auch wenn die wenige verfügbare Literatur zum direkten und indirekten wirtschaftlichen Potenzial der Nanotechnologie mehr oder weniger noch mit deutlichen Schwächen behaftet ist, so konnte sie dennoch als nutzbringende Ausgangsbasis für eine Studie aufbereitet werden, die eine realistische Einschätzung des Marktvolumens und der Marktrelevanz sowohl für Deutschland selbst als auch im internationalen Kontext zum Ziel hat.

2 Methodisches Vorgehen

Für eine derartige Studie zum wirtschaftlichen Potenzial einer noch sehr jungen neuen Technologie bietet sich ein Methodenmix geradezu an. Nach Alemann (1995) sind qualitative (z. B. Experteninterview und Literaturanalyse) und quantitative Methoden (z. B. standardisierte Umfrage) eher als komplementäre denn als konkurrierende Methoden der Erkenntnisgewinnung zu verstehen. Bei qualitativen Methoden werden offene Verfahren bevorzugt, die den befragten Personen (oder präziser: den Befragten) möglichst wenig Restriktionen bei der Formulierung ihrer subjektiven Realitätskonstruktionen auferlegen. Im Kontext von quantitativen Methoden werden in der Regel standardisierte Messinstrumente eingesetzt, um die gemessenen Variablen zu quantifizieren und mit Hilfe statistischer Modelle auszuwerten. Mittlerweile setzt sich in der empirischen Wirtschafts- und Sozialforschung immer stärker der Ansatz durch, dass „es den einen methodischen Königsweg nicht gibt, sondern eine dem jeweiligen Gegenstandsbereich, der Fragestellung und den verfügbaren finanziellen, zeitlichen usw. Ressourcen Rechnung tragende Methodenkombination, insbesondere aus qualitativen und quantitativen Methoden, anzuwenden ist“ (Wollmann, 2001, S. 382).

Dieses Verfahren der Methodenkombination bzw. des Methodenmix hat sich bei der Auswertung des Datenmaterials zur Evaluation der Mikrosystemtechnik (einer ebenfalls noch recht jungen Technologie) bereits bewährt und kann dazu verhelfen, die Defizite der jeweiligen qualitativen und quantitativen Methoden in

einer Studie zum wirtschaftlichen Potenzial der Nanotechnologie zu umgehen (Heimer und Werner 2004).

Für die Studie wurden – nach der Festlegung einer (breiten) Definition von Nanotechnologie – zunächst intensive Recherchen im Internet und in Datenbanken zu Marktaussagen und Patenten in Bezug auf Nanotechnologie durchgeführt. Daneben wurden ca. 15 explorative Experteninterviews mittels Interviewleitfaden geführt. Dies diente vor allem der Sammlung von Hintergrundinformationen (Arbeitsphase 1).

Nach diesen eher vorbereitenden Arbeiten erfolgte eine Befragung mittels standardisiertem Fragebogen der in Deutschland ermittelten Unternehmen, die im Bereich Nanotechnologie aktiv sind. Der Fragebogen wurde vor seinem Einsatz einem Pretest unterzogen. Die Unternehmensbefragung wurde mittels des Statistikprogramms SPSS ausgewertet. Die Entscheidung für SPSS wurde getroffen, da dieses Softwarepaket solide Auswertungsmöglichkeiten bietet und eine exzellente Datenverwaltung bereitstellt (Arbeitsphase 2).

Sämtliche aufbereiteten Ergebnisse der Literaturanalyse, der Patentanalyse, der Experteninterviews und der Unternehmensbefragung wurden in Thesenform als konstruktive Konfrontationsbasis in Expertenworkshops eingespeist (Delphi-Methode).³ An den Workshops nahmen Experten aus/von Banken, Wissenschaft, Kompetenzzentren der Nanotechnologie, Produzenten, Zulieferern, Systementwicklern und Venture-Capital-Unternehmen teil. Diese Experten dienten einerseits als kritische Kommentatoren der Ergebnisse, resultierend aus Literaturanalyse, Experteninterviews, Patentanalyse und Unternehmensbefragung. Andererseits brachten sie zusätzliches Expertenwissen aus ihrer jeweiligen Perspektive zum wirtschaftlichen Potenzial der Nanotechnologie ein. Überdies hatten sie die Aufgabe, sämtliche Ergebnisse zu bewerten. Um die Bedeutung der Nanotechnologie für die deutschen Lead-Markets aufzeigen zu können, wurde ein besonderes Augenmerk auf diejenigen Branchen gelegt, die die technologische Leistungsfähigkeit der deutschen Industrie prägen (Chemie, Automobilbau, Optik, Life Sciences⁴ und Elektronik⁵). Die durch ein solches Bündeln gewonnenen Daten wurden durch das Projektteam nochmals aufbereitet und vor ihrer abschließenden Dokumenta-

tion abermals in das jeweilige branchenspezifische Expertennetzwerk zur Validierung eingespeist (Arbeitsphase 3).

Im Anschluss daran folgte die abschließende Zusammenführung und Bewertung der gesamten ermittelten Ergebnisse. Die Ergebnisse wurden unter anderem im Kontext mit Ergebnissen aus anderen verfügbaren kommerziellen Quellen bewertet (Markus-Datenbank und aktuelle Marktstudie der Deutschen Bank, Fecht et al. 2003). Dies diente der Plausibilisierung der gesamten Ergebnisse und dem Herausarbeiten der spezifischen Perspektiven für den Standort Deutschland. Dabei wurde eine Stärken-Schwächen-Analyse der internationalen Wettbewerber in diesem Umfeld, ihre momentane und zukünftige Orientierung im Forschungs- und Applikationsbereich als auch eine vergleichende Positionsbestimmung Deutschlands vorgenommen. Auf der Basis der zusammengestellten Informationen wurde mit strukturierten Methoden (swot analysis und white spot analysis)⁶ eine Analyse des Status in Deutschland sowie der vorhandenen Chancen und Defizite durchgeführt (Arbeitsphase 4).

3 Zentrale Ergebnisse im Überblick

Bei der Definition der Nanotechnologie gibt es noch keine international einheitliche Sichtweise. Speziell die Frage der Abgrenzung zur Mikrotechnologie, zu bestehenden chemischen Prozessen oder auch die Zugehörigkeit verschiedener Verfahren und Methoden zur Nanobiotechnologie wird über die Erläuterung von Beispielen verdeutlicht. Eine absolut richtige und unanzweifelbare Definition für die Klassifizierung von technologischen Prozessen und Produkten in die Nanotechnologie gibt es nicht.

Im Rahmen der Studie beschreibt Nanotechnologie die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen, molekularen Materialien, inneren Grenz- und Oberflächen mit mindestens einer kritischen Dimension oder mit Fertigungstoleranzen (typischerweise) unterhalb 100 Nanometer. In der Regel werden hierbei aus der Nanoskaligkeit der Systemkomponenten resultierende neue Funktionalitäten und Eigenschaften zur Verbesserung bestehender oder Entwicklung neuer Produkte und Anwendungsoptionen genutzt. Diese neuen Effekte und Möglichkeiten sind überwiegend im Verhältnis von

Oberflächen- zu Volumenatomen und im quantenmechanischen Verhalten der Materiebausteine begründet (BMBF 2004).

Die Patentauswertung belegt nachdrücklich, dass die sehr dynamische Entwicklung der Nanotechnologie sich auch in den Patentanmeldungen wiederfindet. In den letzten fünf Jahren haben sich die jährlichen Patentanmeldungen in der Nanotechnologie etwa alle zwei Jahre verdoppelt. Die Länderverteilungen zeigen, dass Deutschland hinsichtlich der Patentsituation in der Nanotechnologie sehr gut aufgestellt ist – sowohl in der Nanotechnologie insgesamt als auch in dem zahlenmäßig wichtigsten Teilbereich, der Chemie. Deutschland befindet sich gerade bei den besonders werthaltigen Patenten in einer sehr guten Position. In keinem der in der Patentanalyse betrachteten Lead-Märkte (Chemie, Automobilbau, Optik) ist ein gravierender Rückstand auf die USA oder Japan zu verzeichnen.

In Bezug auf die Patentstrategie im Bereich Nanotechnologie weisen Branchenexperten darauf hin, dass die Nanotechnologie prinzipiell keine völlig andere Patentstrategie erfordert als andere Technologiebereiche. Ein Spezifikum besteht allerdings darin, dass die Entwicklungszeiten von einem nanotechnologischen Grundeffekt bis zur Anwendung in bestimmten Fällen so lang sein können, dass der Patentschutz kurz nach dem Erreichen der Produktreife ausläuft.

Mit Bezug auf KMU weisen Branchenexperten darauf hin, dass die Patentierneigung in diesen Unternehmen deutlich geringer ist als in Großunternehmen. In KMU wird eventuell bevorzugt, technologische Betriebsgeheimnisse – auch wenn sie patentierbar wären – gar nicht erst offen zu legen. Aus Kostengründen würden KMU im Zweifelsfalle beispielsweise eher Gebrauchsmuster anmelden. Eine sinnvolle Patentstrategie für KMU könnte nach Aussage der befragten Experten z. B. darin bestehen, eine Technologie gemeinsam mit den Hauptanwendern zu patentieren. Es ist zu betonen, dass eine breit angelegte Patentrecherche, wie sie hier vorgenommen wurde, sich zu einer Beurteilung der generellen Patentsituation eignet. Zur Einschätzung einzelner Firmen und spezifischer Technologien sind entsprechend detaillierte Patentrecherchen erforderlich.

Eine exakte Ableitung des „Nanotechnologieweltmarktes“ ist auf Basis der genannten Zahlen in öffentlich zugänglichen Studien kaum möglich, da nur für einen Teil nanotechnologischer Produkte Marktzahlen verfügbar und die Auflistungen somit unvollständig sind. Hinzu kommt, dass die Marktprognosen sich zum Teil auf unterschiedliche Zeithorizonte beziehen, Doppelungen bei der Nennung von Nanotechnologieprodukten in zwei oder mehreren Teilbereichen vorkommen (z. B. Anwendung von Nanogrundprodukten/-komponenten in Endprodukten verschiedener Branchen) und Produkte aus unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette in die Betrachtung einfließen (Grundprodukte, Zwischenprodukte, Endprodukte etc.). Eine Zusammenfassung der Marktpotenziale der wichtigsten nanotechnologischen Anwendungen in unterschiedlichen Teildisziplinen findet sich in der nachfolgenden Tabelle 1.

Der Elektronikmarkt wird z. B. mittelfristig weiterhin von der CMOS-Technologie dominiert werden. Bis zum Jahr 2006 wird der Anteil der Nanoelektronik (d. h. Strukturbreiten < 100 nm) ca. zehn Prozent des Gesamt-CMOS-Marktes betragen, mit einem Weltmarktvolumen von ca. 20 Mrd. USD. Die Magnetoelektronik hat bereits signifikante Marktanteile im Bereich der Festplattenspeicher in Form von GMR-Leseköpfen erobert und wird mittelfristig durch MRAM-Speicherchips auch Substitutionspotenziale im DRAM-Speichermarkt erschließen.

Im Bereich der Chemie werden mit lange etablierten nanostrukturierten Materialien wie Carbon Black, Kieselsäure oder Polymerdispersionen Milliardenumsätze am Weltmarkt erzielt, allerdings bei geringem Marktwachstum. Ein dynamisches Marktwachstum wird hingegen bei neueren Nanomaterialien wie Kohlenstoffnanoröhren, Polymernanokompositen, Aerogelen, organischen Halbleitern und anorganischen Nanopartikeln erwartet, vorausgesetzt, dass „Show Stopper“ technologischer (z. B. Probleme beim Upscalen von Herstellungsprozessen) oder sozioökonomischer Art (z. B. Toxizität von Nanomaterialien) keinen hemmenden Einfluss ausüben.

Tab. 1: Abschätzungen des jährlichen Weltmarktvolumens nanotechnologischer Produkte in den jeweiligen Lead-Märkten

<i>Nanotechnologische Produkte</i>	<i>Jährliches Weltmarktvolumen (Bezugsjahr)</i>
Chemie	
<i>Nanomaterialien</i>	
Metalloxid-/Metall-Nanopartikel	900 Mio. USD (2005) ¹
Nano-Kieselsäure	800 Mio. EUR (2003) ²
Nano-Schichtsilikate	25 Mio. USD (2006) ³
Kohlenstoffnanoröhren	145 Mio. USD (2005) ⁴ , 1,2 Mrd. USD (2006) ⁵
Carbon Black	3 Mrd. USD (2002) ⁶ , 8 Mrd. USD (2006) ⁵
Polymerdispersionen	15 Mrd. EUR (2002) ⁷
Organische Halbleiter	500 Mio. USD (2005) ¹⁰
Dendrimere	5-15 Mio. EUR (2006) ³
Mikronisierte Wirkstoffe	1 Mrd. EUR (2002) ⁷
Zeolithe	2,6 Mrd. USD (2006) ⁵
Aerogele	10 Mrd. USD (2005) ⁸
Polymere Nanokomposite	0,3 Mrd. USD (2006) ³ , 1,5 Mrd. EUR (2009) ⁹
<i>Zwischenprodukte</i>	
Korrosionsschutzpapier	10-50 Mio. EUR (2006) ¹²
Lacke	50-250 Mio. EUR (2006) ¹²
Folien für Displays	50-250 Mio. EUR (2006) ¹²
Markerstoffe	250-500 Mio. EUR (2006) ¹²
<i>Nanosensoren</i>	
Temperatursensoren	4,6 Mio. USD (2004), 217 Mio. USD (2011) ¹¹
Druck-Sensoren	4,4 Mio. USD (2004), 87 Mio. USD (2011) ¹¹
Chemische Sensoren	1,3 Mio. USD (2007), 36 Mio. USD (2011) ¹¹
Automobilbau	
Magnetoelektronische Sensoren	600 Mio. USD (2006) ¹³
Antifog-Coatings für Scheinwerfer	50-250 Mio. EUR (2003) ¹²
Lacke	50-250 Mio. EUR (2006) ¹²
Automobilreifen	7 Mrd. EUR (2006) ¹²
Komponenten mit Hart-schichten	0,5 -1 Mrd. EUR (2006) ¹²

<i>Nanotechnologische Produkte</i>	<i>Jährliches Weltmarktvolumen (Bezugsjahr)</i>
Elektronik	
CMOS-Elektronik <100 nm	20 Mrd. USD (2006) ¹⁸
GMR-HDD	26,6 Mrd. USD (2006) ⁵
MRAM	30-50 Mrd. USD (2010) ¹⁹ , (DRAM-Ersatz)
Optische Industrie	
Ultrapräzisionsoptiken davon Lithografieoptiken	1-5 Mrd. EUR (2006) ¹² 0,5 – 1 Mrd. EUR (2006) ¹²
Lithografie-Stepper	7,7 Mrd. USD (2006) ⁵
LED davon weiße LED	1-5 Mrd. EUR (2006) ¹³ 10-50 Mio. EUR (2006) ¹³
Diodenlaser davon Hochleistungs-Diodenlaser	1-5 Mrd. EUR (2006) ¹³ 50-250 Mio. EUR (2006) ¹²
OLED-Displays	0,1 Mrd. USD (2002), 2,5 Mrd. USD (2006) ⁵
CNT-FED	0,01 Mrd. USD (2002), 0,05 Mrd. USD (2006) ⁵
Optische Sensorik	1-5 Mrd. EUR (2006) ¹³
Laserinterferometer	10-50 Mio. EUR (2006) ¹²
Optische Dünnschicht-Messtechnik	250-500 Mio. EUR (2006) ¹²
Life Sciences	
<i>Medizin/Pharmazie</i>	
Biophysikalische Analytik	181 Mio. USD (2002), 745 Mio. USD (2007) ¹⁴
Gesamtmarkt Bio-chips/Schnelltests	2 Mrd. USD (2010) ¹⁵
DNA Chips	1,9 Mrd. USD (2006) ⁵
Protein Chips	0,4 Mrd. USD (2006) ⁵
Nanobasierte Diagnostik und Analytik	80 Mio. USD (2002), 391 Mio. USD (2007) ¹⁴
Wirkstoffe und Drug Delivery	8 Mio. USD (2002), 33 Mio. USD (2007) ¹⁴
Tissue Engineering	0 Mio. USD (2002), 1,5 Mio. USD (2007) ¹⁴
Ag-Nanopartikel in Antimikrobika	1 Mio. USD (2005) ¹⁶
<i>Kosmetik</i>	
Nanopartikel in Sonnenschutzmitteln	86,5 Mio. USD (2005) ¹⁶

Quellen: ¹ BCC 2002; ² Wacker Silicones 2003; ³ SRI 2002; ⁴ Mitsubishi Research Institute 2002; ⁵ Fecht et al. 2003; ⁶ Reuters 2002; ⁷ BASF/Distler 2002; ⁸ Aspen Systems 2001; ⁹ Stevenson 2003; ¹⁰ Frost&Sullivan 2002; ¹¹ Frost&Sullivan 2003; ¹² Unternehmensbefragung; ¹³ VDI TZ Experten-Workshops; ¹⁴ BCC 2003; ¹⁵ VDI-Nachrichten 2003; ¹⁶ BCC 2001; ¹⁷ Small Times 2002; ¹⁸ eigene Abschätzung; ¹⁹ Small Times 2003

Die Marktrelevanz der Nanotechnologie im Automobilbau wird von deutschen Nanotechnologie- und Automobilunternehmen derzeit noch relativ gering eingeschätzt, unter anderem aufgrund langer, an Innovationszyklen der verschiedenen Modellserien gekoppelte Vorlaufzeiten für Technologieentwicklungen. In einigen Automobilkomponenten hat die Nanotechnologie jedoch schon Eingang in Serienprodukte gefunden (z. B. kratzfester Lack, nanobeschichtete Einspritzpumpen, LED-Rücklichter etc.). Langfristig wird nanotechnologisches Know-how einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil im Automobilbau darstellen, hinsichtlich sämtlicher relevanter Kriterien von der Ökologie (z. B. energieeffiziente Antriebe, Leichtbau, Schadstoffreduktion und Ressourcenschonung), über die Sicherheit (passive und aktive Sicherheit) bis hin zum Komfort (Produktdesign, Infotainment etc.).

Marktpotenziale in der Optischen Industrie ergeben sich vor allem in der Herstellung ultrapräziser Optiken für die Halbleiterfertigung (optische Lithografie), im Bereich optoelektronischer Lichtquellen (Laserdioden und LED) sowie im Displaybereich (OLED und FED), wo jeweils bis zum Jahr 2006 mit Milliarden USD-Umsätzen zu rechnen ist.

Die Life Sciences werden langfristig als einer der bedeutendsten Märkte für die Nanotechnologie eingeschätzt. Mittelfristig sind die Umsatzpotenziale nanotechnologischer Produkte beispielsweise im Vergleich mit der Chemie, Optik und Elektronik eher gering einzustufen. Der Hauptanteil des nanotechnologischen Marktpotenzials im Bereich der Life Sciences basiert auf biomedizinischen Schnelltests (DNA-, Protein-Chips), bei denen der nanotechnologische Einfluss in erster Linie im Bereich der Detektionssysteme deutlich wird.

Die im Rahmen der Studie befragten Unternehmen lehnen die Aussage, dass Nanotechnologie nur ein neues Experimentierfeld darstellt, ebenso ab wie in abgeschwächter Form auch die Aussage, dass durch die Nanotechnologie die Technologiekompetenz abgerundet würde. Dieses Ergebnis widerlegt eindeutig die vielfach verbreitete Aussage, dass Nanotechnologie lediglich einen „Hype“ darstellt. Die Ergebnisse der Unternehmensbefragung haben ferner gezeigt, dass der Bereich Chemie (einschließlich Materialien) eindeutig an der Spitze

der Nanotechnologiefirmen und -anwendungen in Deutschland steht, gefolgt von den Life Sciences und IuK.

Die wichtigsten Innovationshürden in Deutschland sind Investitionskosten, Fremdkapital und Fördermittel, die ausschließlich finanzieller Natur sind. Die Rangfolge der genannten Barrieren lässt darauf schließen, dass die Entwicklung neuer Produkte oder Verfahren im Bereich der Nanotechnologie erhebliche Investitionen erfordert, die nicht allein aus dem Eigenkapital heraus finanziert werden können. Mit der Erschließung von Märkten mit Hilfe der Nanotechnologie sind ebenfalls deutliche Investitionen verbunden, die nicht ohne weiteres von der Industrie alleine aufzubringen sind. Begrenzte Marktkenntnisse und noch unzureichende Kooperationsverflechtungen, insbesondere in den bislang noch nicht so stark von der Nanotechnologie durchdrungenen Branchen, stellen eine Barriere für die Innovationsgeschwindigkeit und die Diffusion neuer Anwendungsbereiche dar. Ebenso stellt die Zusammenarbeit der Finanzwirtschaft und der Nanotechnologieunternehmen eine wichtige Herausforderung für die Zukunft dar, die insbesondere in Deutschland ungelöst ist.

Die Zurückhaltung von Investitionen der Venture-Capital-Branche in Start-up-Unternehmen wirkt sich derzeit äußerst negativ auf Unternehmensgründungen im deutschen Nanotechnologie-Umfeld aus. Die klassische Bankfinanzierung von Unternehmensgründungen ist in den letzten Jahren zunehmend schwieriger geworden, da sich die deutsche Bankenlandschaft selbst in einer Krise befindet.

Konservative Schätzungen des Beschäftigungszuwachses von Arbeitsplätzen in der Nanotechnologie lassen in Deutschland eine Zunahme von mindestens 10.000 bis 15.000 Arbeitsplätzen bis 2006 erwarten, allein durch die etwa 450 existierenden Nanotechnologieunternehmen in Deutschland. Auch wenn eine exakte Ermittlung der Anzahl der Arbeitsplätze im Bereich Nanotechnologie nicht möglich ist, lässt sich abschätzen, dass bereits heute mehrere zehntausend Arbeitsplätze in Deutschland in diesen Unternehmen direkt oder indirekt von der Nanotechnologie abhängig sind.

Für das Jahr 2015 wird erwartet, dass fast jeder Industriebereich durch die Nanotechnologie beeinflusst wird. Bei den erwartungsgemäß

am stärksten von der Nanotechnologie beeinflussten Bereichen handelt es sich aus internationaler Sicht um die Bereiche Chemie, Life Sciences und Elektronik.

Es lässt sich feststellen, dass Deutschland zurzeit über eine sehr gute Ausgangsbasis für die wirtschaftliche Umsetzung der Nanotechnologie-Aktivitäten verfügt. Die Exzellenz in der Forschung spiegelt sich allerdings nicht in vollem Umfang in der wirtschaftlichen Umsetzung wider. Hier sind die USA und Japan Deutschland bisher überlegen. Ebenso ist dem Umstand Rechnung zu tragen, dass weltweit die Investitionen und staatlichen Förderungen im Bereich der Nanotechnologie erheblich zugenommen haben. Das ist auch auf die prognostizierten sehr hohen Marktvolumina zurückzuführen. Daher ist in Zukunft ein noch stärkerer internationaler Wettbewerb in Bezug auf die Nanotechnologie zu erwarten.

4 Fazit

Die Studie hatte zum Ziel, eine realistische Einschätzung des Marktvolumens und der Marktrelevanz der Nanotechnologie sowohl für Deutschland selbst als auch im internationalen Kontext zu erarbeiten. Bei der Erhebung und Auswertung des Datenmaterials hat sich ein aufwändiger Methodenmix bewährt und hilft, die Defizite der jeweiligen eingesetzten qualitativen (Experteninterviews, Literaturanalyse, Delphi-Workshops) und quantitativen (schriftliche Unternehmensbefragung und Patentanalyse) Methoden zur Ermittlung des wirtschaftlichen Potenzials der Nanotechnologie zu umgehen. Auf diesem Wege gelingt es, dass die Einzelergebnisse im Rahmen der eingesetzten speziellen Methode nicht nur ausschließlich oder gar isoliert voneinander betrachtet, sondern im Kontext der gesamten Ergebnisse behandelt werden. Für die Bewertung der Ergebnisse war es äußerst hilfreich, dass (vorläufige) Ergebnisse in branchenspezifisch ausgerichteten Delphi-Workshops von ausgewiesenen Experten u. a. aus Industrie, Wissenschaft und Finanzwirtschaft kritisch beleuchtet und bewertet werden konnten. Damit wurden in diese Studie auch Elemente einer partizipativen Innovations- und Technikanalyse als Anstoß für einen stetigen und konstruktiven Diskurs mit den Stakeholdern eingebracht.

Folgende zukünftige Arbeiten könnten sehr sinnvoll sein, damit ein möglichst großer Anteil des prognostizierten enormen Marktpotenzials der Nanotechnologie in Zukunftsmärkten vom Standort Deutschland nutzbar gemacht werden kann:

- regelmäßige Erhebungen zum Marktpotenzial der Nanotechnologie,
- Aufbau einer internetbasierten Präsentationsplattform, um die Vermarktung von Nanotechnologieprodukten zu erleichtern,
- frühzeitige Untersuchungen möglicher Showstopper, wie z. B. die Toxizität bestimmter Nanomaterialien, um das Risiko von Fehlinvestitionen bzw. Marktbarrieren durch mangelnde Verbraucherakzeptanz zu minimieren.

Die vollständige Studie mit sämtlichen Ergebnissen wird voraussichtlich im Sommer 2004 unter dem Titel „Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt – Innovations- und Technikanalyse“ als Band 53 in der Reihe „Zukünftige Technologien“ der VDI Technologiezentrum GmbH erscheinen.

Anmerkungen

- 1) Die Studie entstand im Rahmen des Vorhabens „Innovations- und Technikanalyse zur Nanotechnologie“ der Abteilung Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH im Auftrag und mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Referat LS 21 (Förderkennzeichen 16 I 1503). Zum Projektteam gehörten Dr. Gerd Bachmann, Dr. Andreas Hoffknecht, Dr. Dirk Holtmannspötter, Dr. Wolfgang Luther, Dr. Norbert Malanowski und Dr. Axel Zweck (VDI TZ ZTC) sowie Prof. Dr. Thomas Heimer, Dr. Hermann Sanders (Hochschule für Bankwirtschaft), Dr. Matthias Werner, Dipl. Ing. Stephan Mietke, Jürgen Ilgner (Innovationsteam Mikro- und Nanotechnologie der Deutschen Bank) und Dipl. Ing. Thomas Köhler (ICMT GmbH). Wir möchten uns an dieser Stelle sehr herzlich bei den Mitautoren der Studie bedanken.
- 2) Der Begriff „Lead-Market“ wird in der Literatur teilweise unterschiedlich benutzt. Wir orientieren uns in dieser Studie an einer Definition, die im Jahr 2002 in einer Studie des BMBF vorgeschlagen wurde. Diese lautet: „Lead-Märkte sind regionale Märkte (in der Regel Länder), die ein bestimmtes Innovationsdesign früher als andere

Länder nutzen und über spezifische Eigenschaften (Lead-Market-Faktoren) verfügen, die die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass in anderen Ländern das gleiche Innovationsdesign ebenfalls breit adoptiert wird“ (BMBF 2002, S. 108).

- 3) Bei Anwendung der Delphi-Methode werden Experten aus dem jeweiligen zu untersuchenden Themenfeld in der Regel in einem Durchlauf oder mehreren Durchläufen befragt. Es wird ihnen meist ein ausführlich strukturierter Katalog mit Fragen und Thesen vorgelegt, mit dem sie Einschätzungen über zukünftige Entwicklungen und Trends abgeben sollen.
- 4) Das BMBF hat zum Thema „Nanotechnologie und Gesundheit“ eine Studie in Auftrag gegeben, die im Frühjahr 2004 fertig gestellt wurde (vgl. hierzu Farkas und Monfeld in diesem Schwerpunkt). In dieser Studie finden sich auch Ergebnisse zu den Marktpotenzialen der Nanotechnologie im Bereich Life Sciences. Um eine mögliche Doppelarbeit zu vermeiden, wurde auf die Durchführung eines eigenen Workshops zu diesem Thema verzichtet.
- 5) Dank der International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) gehört die Elektronik zu den Technologien, deren zukünftige Entwicklung sehr gut beschrieben ist. Da die Halbleiterindustrie sehr investitionsintensiv ist, sind Marktprognosen außerordentlich wichtig für unternehmerische Entscheidungen. Dieser Bedarf wird durch eine ganze Reihe von (kommerziellen) Marktforschungsinstituten bedient. Die Prognosen reichen derzeit ca. bis zum Jahr 2008. Wie sich dabei der Anteil der Nanoelektronik zur Mikroelektronik entwickeln wird und für welche Branchen sich daraus welche Konsequenzen ergeben, ist bisher noch nicht hinreichend systematisch untersucht worden, konnte jedoch mittels Sekundäranalyse ausgewählter kommerzieller Marktstudien herausgefiltert werden. Ein gesonderter Workshop war aus diesem Grund nicht notwendig.
- 6) Eine SWOT Analyse umfasst eine Stärken-Schwächen-Analyse (strength – weakness), also die Bewertung der Faktoren, die in Deutschland selbst beeinflusst werden können, und eine Chancen-Risiko-Analyse (opportunities – threats), d. h. eine Bewertung von global wirkenden Faktoren. Die white-spot analysis stellt ein qualitatives, strukturiertes Verfahren dar, um in einer Matrix, die zum Beispiel Märkte/Applikationen und Technologieplattformen beschreibt, nicht oder nur schwach besetzte Positionen (sog. weiße Flecken) zu identifizieren (Deschamps 2000).

Literatur

- Alemann, U. v.*, 1995: Einführung in die Methoden der Politikwissenschaft. Opladen: Westdeutscher Verlag
- Aspen Systems*, 2001: Aspen Systems takes a giant step toward commercialization of Aerogels. Pressemitteilung
- BASF*, 2002: s. Distler 2002
- BCC*, 2003: Biomedical Applications of nanoscale devices: Commercial Opportunities,. Conference proceedings, Nanotech and Biotech convergence. BCC, Stamford
- BCC*, 2002: Ion Implantation and MBE Technologies to grow at 25 per cent and 33 per cent through 2006. Pressemitteilung; <http://www.bccresearch.com/editors/RGB-186F.html>
- BCC*, 2001: Opportunities in nanostructured materials: Biomedical, pharmaceutical & cosmetic. Business Communication Company,. Norwalk, USA
- Beckmann, M.; Lenz, P.*, 2002: Profitieren von Nanotechnologie. Investment der Zukunft. München: FinanzBuch Verlag
- Beise, M.*, 2002: Identifizierung von „Lead-Markets“. Ein neuer Ansatz einer globalen Produkteinführungsstrategie. In: BMWI: Die innovative Gesellschaft – Nachfrage für die Lead-Märkte von morgen. Ergebnisse der Fachtagung in Berlin
- BMBF*, 2002: Bericht zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands. Bonn
- BMBF*, 2004: Nanotechnologie erobert Märkte – Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie. Bonn
- Deschamps, J.-P.*, 2000: Managing the Innovation Process. Lausanne: International Institute for Management Development.
- DG Bank, GZ Bank*, 2001: Im Fokus. Nanotechnologie in der Chemie. Frankfurt a. M.
- Distler, D.*, 2002: Nanoteilchen in Megatonnen: Vielfältige Anwendungen für Polymerdispersionen. BASF-Presseinformation, Mannheim
- Evolution Capital Ltd.*, 2001: Nanotechnology: Commercial Opportunity. London
- Fecht, H.-J.; Ilgner, J.; Köhler, T.; Mietke, S.; Werner, M.*, 2003: Nanotechnology Market and Company Report – Finding Hidden Pearls. WMtech Center of Excellence Micro and Nanomaterials, Ulm
- Frost&Sullivan: Stevenson, R.*, 2002: OLEDs set to glow. e-zine chemSoc; http://www.chemsoc.org/chembytes/ezone/2003/stevenson_jan03.htm
- Frost&Sullivan: Carillo, D.*, 2003: Nanosensors' Niche in Nanotechnology. In: Cepmagazin-online; <http://www.cepmagazine.org/pdf/110333.pdf>

Heimer, T.; Werner, M., 2004: Die Zukunft der Mikrosystemtechnik – Quo vadis MST? Ergebnisse der ex-ante Evaluation des Förderkonzepts Mikrosystemtechnik 2000+. Weinheim: Wiley (erscheint demnächst)

ITRS/International Technology Roadmap for semiconductors, 2003: <http://public.itrs.net/Files/2003ITRS/Home2003.htm>
<http://public.itrs.net/Files/2003ITRS/Home2003.htm>

Manager Magazin, 2002: Wo Deutschland Spitze ist. Heft 9, S. 48-73

Mitsubishi Research Institute: Kamei, S., 2002: Promoting Japanese-style Nanotechnology Enterprises; <http://www.ccst.us/ccst/pubs/nano/NanotechBiblio/II.Proceedings%20&%20Presentations/Worldwide/23.JapaneseStyleNanoEnterp.pdf>

Reuters, 2002: Degussa investigations into alleged price-fixing in the carbon black industry. Pressemitteilung. Online-Meldung vom 20. November 2002

Rügheimer, U.; Schiller, R., 2002: Von Zwergen und Mottenaugen – Audi zeigt Nanotechnologien auf der Hannover-Messe. Audi AG, Kommunikation Produkt und Technik, Ingolstadt

Small Times, 2002: Veeco came, saw, acquired majority of the AFM Market; <http://www.smalltimes.com>

Small Times, 2003: NVE gets ready to clean up when memory enters spin cycle. Meldung vom 10. März 2003; <http://www.smalltimes.com>

SRI, 2002: Nanoscale chemicals and materials: An overview on technology, products and applications. In: SRI Consulting Report. December 2002. Menlo Park: USA

Stevenson, R., 2003: OLEDs set to glow. e-zine chemSoc; http://www.chemsoc.org/chembytes/ezone/2003/stevenson_jan03.htm

TAB/Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, 2003: TA-Projekt Nanotechnologie Endbericht. Arbeitsbericht Nr. 92, Berlin

VDI-Nachrichten, 2003: Ausgabe vom 28.03.2003

Wacker Silicones, 2003: News; <http://www.wacker.com>

Wollmann, H., 2001: Politikevaluierung, Evaluierungsforschung. In: Nohlen, D. (Hrsg.): Kleines Lexikon der Politik. München: Verlag C. H. Beck oHG

Kontakt

Dr. Norbert Malanowski
Zukünftige Technologien Consulting der VDI TZ GmbH
Graf-Recke-Straße 84, 40239 Düsseldorf
Tel.: +49 (0) 211 / 62 14 - 516
Fax: +49 (0) 211 / 62 14 - 139
E-Mail: malanowski@vdi.de
Internet: <http://www.zt-consulting.de>

«