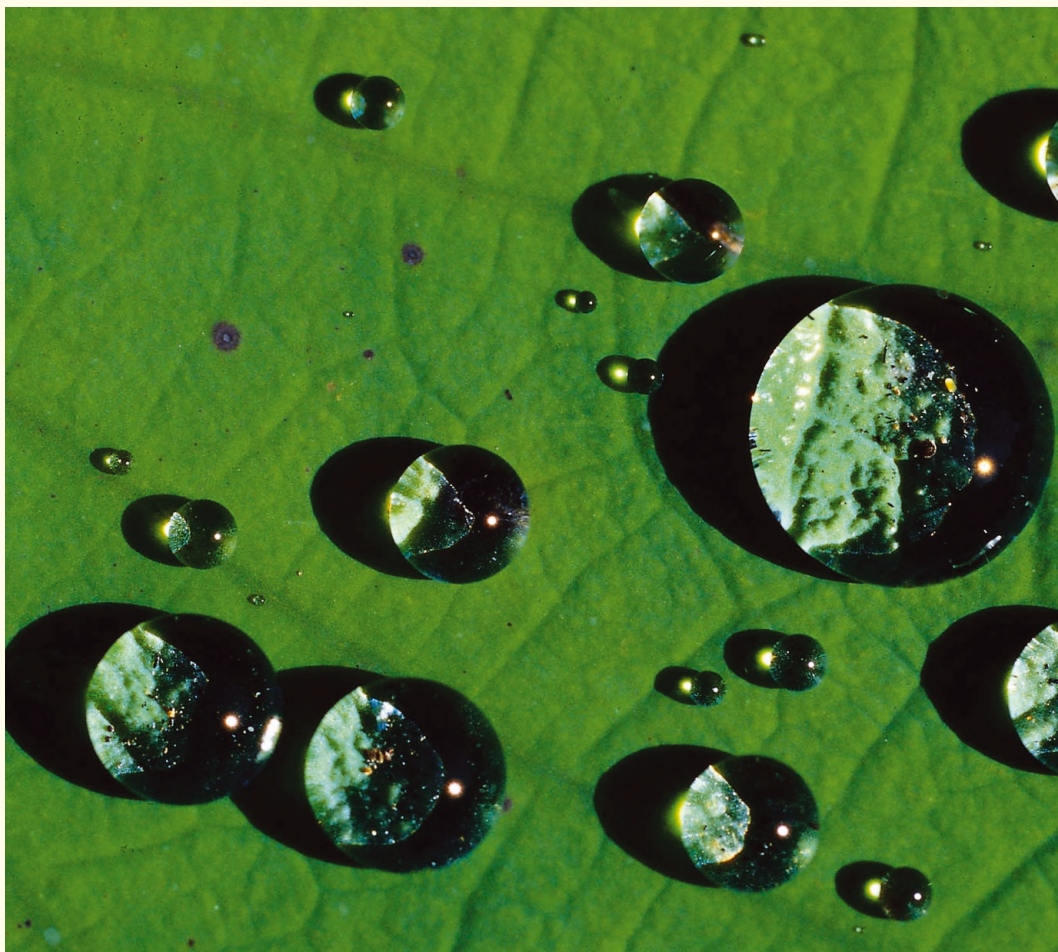




Zukunftspotenziale der Mikro- und Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie für die Umwelttechnik in Baden-Württemberg



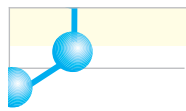
Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR

Zukunftspotenziale der Mikro- und
Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie
für die Umwelttechnik in
Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR
BADEN-WÜRTTEMBERG

70029 STUTTGART, POSTFACH 103439
[HTTP://WWW.UVM.BADEN-WUERTTEMBERG.DE](http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de)

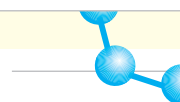


Impressum

Herausgeber	Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg 70029 Stuttgart, Postfach 103439 http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de
Bearbeitung	Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath, Daniel Heubach, Severin Beucker Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO 70569 Stuttgart, Nobelstrasse 12 http://www.iao.fraunhofer.de Dr. rer. nat. Christian Kühne Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg Abteilung Industrie und Gewerbe 70182 Stuttgart, Kernerplatz 9 http://uvm.bwl.de
Gestaltung	Orel & Unger Communication-Service GmbH 70178 Stuttgart, Humboldtstrasse 4 http://www.orel-unger.de
Titelbild	picture-alliance/dpa
Druck	e. kurz + co druck und medientechnik gmbh 70182 Stuttgart, kernerstrasse 5 http://www.e-kurz.de
Umwelthinweis	gedruckt auf Recyclingpapier aus 100% Altpapier

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung des Herausgebers unter der Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Vorwort



Die Nanotechnologie wird zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts gezählt. Sie umfasst Erkenntnisse über neue Funktionalität und Eigenschaften von Materialien und Werkstoffen, die maßgeblich von den nanoskaligen Effekten ihrer Komponenten abhängen. Beispielsweise ergeben sich durch Oberflächeneffekte neue Eigenschaften. Die Anwendungen reichen von selbstreinigenden oder bioziden Oberflächen durch mikroskalierte Oberflächenstrukturen bis zur nanokeramischen Feststoffelektrolyt-Membran in der Brennstoffzelle.

Entsprechend den möglichen Potenzialen sind die Erwartungen an die Mikro- und Nanotechnologie hoch. Bestehende Produkte und Prozesse können optimiert oder sogar revolutionär neu gestaltet werden und somit wichtige Impulse für die technische und wirtschaftliche Entwicklung der nächsten Jahre geben. Auch für die Umwelttechnik sind vergleichbare Potenziale zu erwarten. Mit Nanotechnologie lassen sich Prozesse effizienter gestalten und neue Anwendungsmöglichkeiten für den Umweltschutz erschließen. Für die tatsächliche Nutzung der Nanotechnologie besteht jedoch noch ein großer Bedarf an Wissens- und Technologietransfer.

Das Land Baden-Württemberg möchte die Entwicklung der Umwelttechnik in Baden-Württemberg durch zukunftsweisende Technologien aktiv fördern. Um diesen Prozess voranzutreiben, wurde vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg eine Studie zu den Einsatzpotenzialen der Mikro- und Nanotechnologie für die Umwelttechnik in Auftrag gegeben. Das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, IAO, hat hierzu in Kooperation mit dem Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart umfangreiche Recherchen durchgeführt und Akteure aus den Bereichen Wissenschaft, Forschung, Entwicklung und Produktion zu gegenwärtigen und zukünftigen Anwendungsfeldern für die Umwelttechnik befragt. Die Ergebnisse sind in dieser Broschüre zusammengefasst und geben allen im Bereich der Umwelttechnik aktiven Akteuren eine gute Ausgangsbasis, einen umfassenden Informationsaustausch zu initiieren, um die Anwendungspotenziale dieser interessanten Querschnittstechnologie auszuschöpfen.

Ulrich Müller MdL
Minister für Umwelt und Verkehr
des Landes Baden-Württemberg

Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath
Leiter des Fraunhofer-Instituts
für Arbeitswirtschaft und Organisation, IAO



Inhaltsverzeichnis

	Glossar	6
	Zusammenfassung	8
1	Einleitung	11
1.1	Wieso eine Studie?	11
1.2	Vorgehen und Inhalt der Studie	12
2	Aufgabenfeld des technischen Umweltschutzes	13
3	Stand der Mikro- und Nanotechnologie	15
3.1	Mikro- und Nanotechnologie	15
3.2	Anwendungsfelder der Mikro- und Nanotechnologie	18
3.3	Bewertung des Standes der Mikro- und Nanotechnologie	20
3.4	Forschungsförderung	24
3.5	Technikfolgenabschätzung	27
3.6	Hemmnisse	27
4	Mikro- und Nanotechnologie in der Umwelttechnik	29
4.1	Mikro- und Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie	29
4.2	Anwendungsfelder der Mikro- und Nanotechnologie in der Umwelttechnik	30
4.3	Bewertung von Anwendungsfeldern der Mikro- und Nanotechnologie in der Umwelttechnik	31
4.4	Fazit	33
5	Mikro- und Nanotechnologie in der Umwelttechnik von Baden-Württemberg	35
5.1	Vergleich mit der Wirtschaftsstruktur in Baden-Württemberg	35
5.2	Vergleich mit der Wissenschaftsstruktur in Baden-Württemberg	39
5.3	Fazit	52
6	Förderpolitische Handlungsspielräume und -strategien	43
6.1	Strategien	43
6.2	Akteure	45
6.3	Abbau von Hemmnissen	46
6.4	Fazit	47
7	Visionärer Ausblick	49
8	Abbildungsverzeichnis/Tabellenverzeichnis	50
9	Literatur	51
10	Anhang	57
10.1	Expertenbefragung	57
10.2	Interview-Leitfaden	58
10.3	Links und Adressen	62
10.4	Erwartetes Marktvolumen der Nanotechnologiebereiche	64
10.5	Förderung von Schwerpunkten und Institutionen	67
10.6	Zusammenstellung möglicher Einsatzmöglichkeiten der Mikro- und Nanotechnologie im Umweltschutz	68
10.7	Forschungsprogramme	73

FUNKTIONALITÄT (I. S. HIER)

Eigenschaft oder Effekt eines Werkstoffes oder einer (molekularen) Struktur, die genau beschrieben und definiert werden kann und die bestimmend für den Einsatz des Werkstoffes/der Struktur in einem Produktsystem ist.

MIKROTECHNOLOGIE

Werden Sensoren, Signalverarbeitung und Aktoren in miniaturisierter Bauform so zu einem Gesamtsystem verknüpft, dass sie „empfinden“, „entscheiden“ und „reagieren“ können, spricht man von einem Mikrosystem. Hierbei ist entscheidend, dass die Funktionen eigenständig erfolgen. Sensoren entsprechen den menschlichen Sinnesorganen, die Signalverarbeitung entspricht dem Gehirn und die Aktoren den Gliedmaßen.

NANOANALYTIK

Erforschung und Nutzung analytischer Methoden und Werkzeuge zur Erfassung nanoskaliger Strukturen und Basisphänomene. Die Nanoanalytik als Querschnittswissenschaft liefert die analytischen Methoden und Werkzeuge zur Erfassung der Basisphänomene und zur Produktcharakterisierung, außerdem sorgt sie für eine analytische Qualitätssicherung.

Anwendungsgebiete sind die Informationsgewinnung in Physik/Chemie/Biologie, Materialforschung sowie die Ingenieurwissenschaften.

NANOBIOTECHNOLOGIE

Bio2Nano: Erforschung und Nutzung der Prinzipien der Biologie in nanotechnologischen Verfahren und Systemen.

Anwendungsgebiete sind „smarte“ Strukturen von Biomolekülen – wie sie zum Beispiel auf der Oberfläche von Bakterien zu finden sind – als Trägermaterial (Template). Durch Anlagerung von Metallen können z.B. hochselektive Filter, Katalysatoren oder Materialien für biobasierte elektronische Schaltkreise hergestellt werden.

Nano2Bio: Erforschung und Nutzung der Miniaturisierung, Unterstützung bzw. Kontrolle biotechnologischer und biologischer Prozesse durch nanotechnologische Verfahren.

Anwendungsgebiete sind die Biochip-Technologie, in vivo Früherkennungs- bzw. Behandlungsverfahren, nanopartikelgestützte Gentherapie oder Tissue Engineering (Gewebe-Rekonstruktion).

NANOCHEMIE

Erforschung und Nutzung chemischer Systeme, deren Effekte und Funktionalität auf der Nanoskaligkeit beruhen.

Anwendungsgebiete sind Wirkstofftransport, schaltbare/steuerbare Systeme, funktionale Schichten, Bildungsprozesse von Nanostrukturen wie Partikel, Kolloide, Fluide oder Nanoröhren.

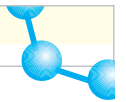
NANOELEKTRONIK

Erforschung und Nutzung elektronischer Eigenschaften von Nanostrukturen für vielfältige Anwendungen einer zukünftigen Informationstechnologie.

Anwendungsgebiete sind Transistoren im nm-Bereich, Logikbausteine auf molekularer Basis, Sensorik, Datenspeicherung und Displayherstellung. Derzeit befindet sich die Forschungsarbeit in der Mikroelektronik an der Schwelle zur Nanoelektronik.

NANOFABRIKATION

Erforschung und Nutzung von Methoden zur Herstellung von Strukturen, Schichten und Oberflächen auf der Nanoskala. Diese Verfahren sind für die Herstellung zukünftiger nanobasierter Produkte eine zwingende Voraussetzung.



Zur Anwendung kommen ultrapräzise Herstellungs- und Bearbeitungsmethoden mit Hilfe von Röntgenoptiken oder elektromechanischen Systemen.

NANOMATERIALIEN

Erforschung und Nutzung nanoskaliger funktionalisierter Materialsysteme.

Anwendungsgebiete sind makroskopische Körper mit optischen, elektronischen, magnetischen, katalytischen oder mechanischen Eigenschaften, beispielsweise kratzfeste optische Beschichtungen, elektrochrome Dünnschichtsysteme, Silikat-Katalyt-Oberflächen, materialtechnische Aspekte von Oberflächen/Kontaktflächen und inneren Grenzflächen.

NANOOPTIK

Erforschung und Nutzung reduzierter Dimensionen (Quanteneffekte) für Hochgeschwindigkeits-Kommunikationstechnik.

Anwendungsgebiete sind Optoelektronische Dioden- und Quantenpunktlaser, Informationsspeicherung, Bilderzeugung, Materialbearbeitung, etc.

NANOTECHNOLOGIE

Nanotechnologie beschäftigt sich mit Systemen, deren Funktionalität und Eigenschaften nur allein von den nanoskaligen Effekten ihrer Komponenten abhängig sind.

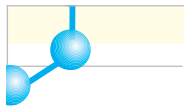
SCHLÜSSELTECHNOLOGIE

Als Schlüsseltechnologie werden solche Technologien bezeichnet, die aktuell eine hohe wettbewerbsstrategische Bedeutung haben, das heißt sie haben einen signifikanten Einfluss auf die Wettbewerbsposition, sind fester Bestandteil des Technologiespektrums, jedoch nicht allen Wettbewerbsteilnehmern zugänglich.

UMWELTECHNIK

Aufgabe der Umwelttechnik ist es, die Herstellung und Verwendung von Sachsystemen mit dem Schutz natürlicher Ressourcen zu verbinden.

(Quellen: Bachmann 2003/1, WGZ 2002, Förstner 1995)



Zusammenfassung

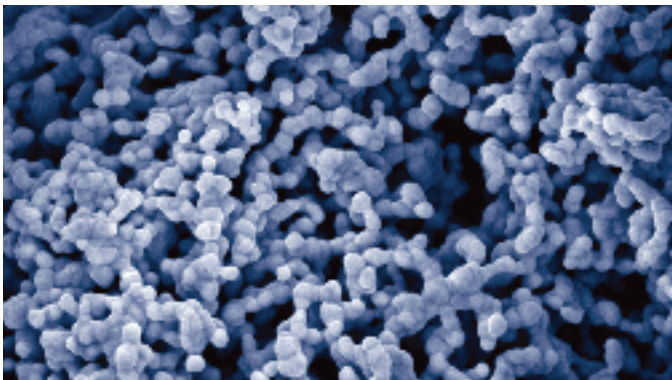
Die Mikro- und Nanotechnologie wird zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts gezählt. Die Erwartungen an diese Technologie reichen von der Optimierung bestehender Produkte und Prozesse bis hin zu einer revolutionären Neugestaltung von Produktion und dem gesellschaftlichen Leben.

Für Baden-Württemberg ergeben sich aus der Mikro- und Nanotechnologie interessante Potenziale: Baden-Württemberg ist jetzt schon ein Zentrum der Nanotechnologie. Besonders im Bereich Forschung und Entwicklung nimmt das Land eine Spitzenposition ein. Diesen Vorsprung gilt es für die Forschung und Anwendung zu sichern und für den Umweltschutz zu nutzen. Dabei eröffnet die Nanotechnologie potenzielle Anwendungsmöglichkeiten in der Umwelttechnik. Diese Potenziale werden bisher jedoch noch nicht im gewünschten Maße erschlossen, die Nanotechnologie ist mit ihren Möglichkeiten in der Umwelttechnik weitgehend unbekannt. Ein Informationsaustausch über das Problemlösungspotenzial der Nanotechnologie und die Problemfelder in der Umwelttechnik steht am Anfang eines Technologietransferprozesses. Diese Situation mag ernüchternd sein und ist mit vielen Unsicherheiten behaftet, sie bietet aber gleichzeitig die große Chance, zu einem frühen Zeitpunkt Forschungsfragen zu gestalten und neue Märkte zu entwickeln.

Besonders in den Branchen Elektrotechnik, Automobilbau, Medizin und Pharmazie, Chemie sowie allgemein in den Herstellungsverfahren wird ein großes

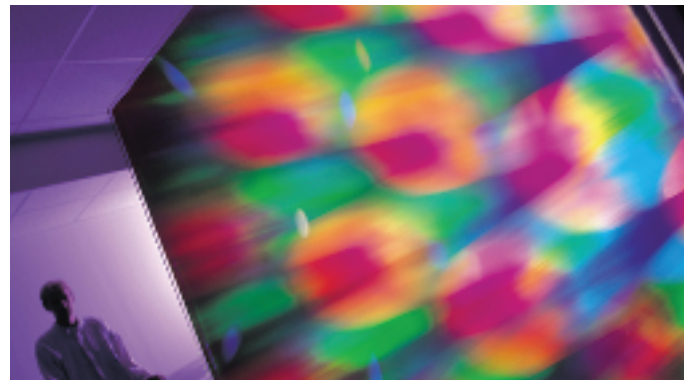
Anwendungspotenzial der Nanotechnologie erwartet. Der Entwicklungsstand der Nanotechnologie befindet sich im Vergleich zur Mikrotechnologie, die in einigen Anwendungsfeldern bereits seit Jahrzehnten zum Einsatz kommt, größtenteils noch in der Grundlagenforschung und dem Verstehen der Phänomene. Marktfähige Produkte oder Dienstleistungen gibt es nur ganz wenige. Die vorliegende Studie konzentriert sich daher verstärkt auf die Betrachtung und Bewertung der Nanotechnologie und deren mögliche Potenziale für die Umwelttechnik. Gerade von der Nanotechnologie werden in den nächsten Jahren wesentliche Impulse für die gesamte technische und wirtschaftliche Entwicklung erwartet. Eine Bewertung der Einsatzmöglichkeiten und Chancen ist dafür eine notwendige Voraussetzung.

Die Mikro-, besonders aber die Nanotechnologie lässt sich weniger über den Bezug zu wissenschaftlichen oder technischen Disziplinen definieren, als vielmehr über ihre Größenordnung. Die Mikrotechnologie ist eine konsequente Weiterentwicklung und Optimierung der Feinwerktechnik und Mikroelektronik. Mikroelektronische Bauteile werden um sensorische und aktorische Komponenten erweitert. Die Nanotechnologie beschäftigt sich hingegen mit Systemen, deren Funktionalität und Eigenschaften allein von den nanoskaligen Effekten ihrer Komponenten abhängig sind. Nanoskalige Effekte und Eigenschaften wurden auch in der Vergangenheit bereits industriell genutzt. Der Unterschied heutigen Forschung und kommerziellen Nutzung liegt jedoch im Verständnis und dem bewussten und



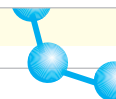
Hochporösen Nanosilber als Pulver (als Silberpartikel zum Schutz vor Bakterien),

Quelle: Fraunhofer IFAM



Nanostrukturierten Oberfläche (als antireflektierende Oberflächen, kontrastreiche

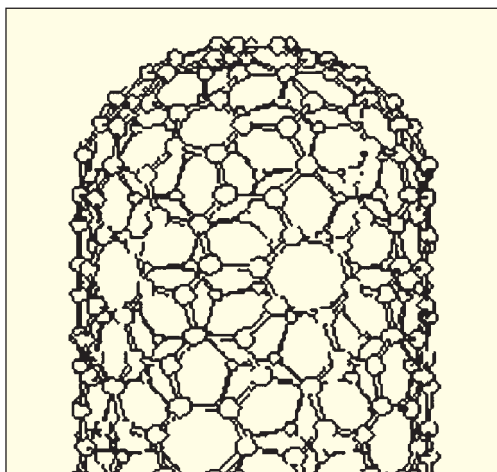
Displays, Sonnenschutz ...), Quelle: Fraunhofer ISE/ Bernd Müller



gezielten Aufbau von nanoskaligen Strukturen mit definierten Eigenschaften. Darauf bauen einerseits Visionen auf, in denen beispielsweise Nanoroboter einmal die menschliche Blutbahn reinigen. Diese Phantasien sind noch nicht einmal in Ansätzen realisiert, und werden auch von vielen Wissenschaftlern als wenig hilfreich abgelehnt. Sie setzen vielmehr auf die Entwicklung von beispielsweise Nanotubes (Kohlenstoffröhren) und deren faszinierende katalytische oder speichernde Effekte.

Mit dem Vordringen in den Nanometerbereich, der interdisziplinär von Biologie, Chemie und Physik erforscht wird, ändern sich die Eigenschaften und Betrachtungsweisen: An die Stelle der klassischen Kontinuumsphysik tritt die Quantenmechanik und Oberflächeneffekte dominieren, woraus sich neue, beispielsweise katalytische Eigenschaften ableiten lassen.

Besonders in der Nanotechnologie existiert derzeit noch keine einheitliche Strukturierung und Begrifflichkeit des Themenfeldes. Die Einsatzfelder der Technologie scheinen eher von den technischen Möglichkeiten und einer disziplinären Forschung, denn von den Notwendigkeiten des Marktes vorangetrieben zu werden. Neben der staatlichen Förderung sind es im Wesentlichen große Unternehmen, die die Forschung in der Nanotechnologie vorantreiben und in den angestammten Technologiefeldern wie Chemie, Pharmazie, Elektrotechnik und Automobilbau etablieren.

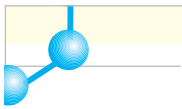


Carbon Nanotube

Die Umwelttechnik ist nicht die treibende Kraft hinter der Nanoforschung und -entwicklung. Die Umwelttechnik profitiert vielmehr von einer Reihe von „indirekten“ Anwendungsfeldern der Nanotechnologie. Zu diesen zählen beispielsweise Oberflächen mit ausgewiesenen umweltfreundlichen Eigenschaften. Eine Patentanalyse bestätigt, dass die meisten umweltrelevanten Patente mit Bezug zur Nanotechnologie in den Bereichen von Oberflächeneffekten, Nanopartikeln und Membranen anzusiedeln sind. Andererseits bieten sensorische Eigenschaften auf Basis der Nanotechnologie interessante zukünftige Anwendungsgebiete. Auch die Energiesysteme bieten sich als Anwendungsfelder; viel versprechend ist die Forschung im Bereich der Brennstoffzellen und Solarzellen.

Analysen und Bewertungen im Rahmen dieser Studie zeigen, dass der Forschungsgegenstand der Nanotechnologie im Bereich der Umwelttechnik weitgehend unbekannt ist. Vor einer tatsächlichen Nutzung der Nanotechnologie in der Umwelttechnik muss diese zunächst ihr Optimierungs- bzw. Problemlösungspotenzial in industriellem Maßstab unter Beweis stellen. Neben den Grundlagen besteht für die Folgenabschätzung weiterer Forschungsbedarf. Normierung, Gewährleistung, Finanzierung etc. sind Themen, die über die Nutzung von Nanotechnologie entscheiden können. Der Nanotechnologie fehlt noch, wie es einer der Interviewpartner ausdrückte, eine „Killerapplikation“, die ihren Nutzen und Mehrwert erkennen lässt.

Trotz der genannten und teilweise ernüchternden Einschränkungen sind vielfältige Einsatzmöglichkeiten der Nanotechnologie auch in der Umwelttechnik denkbar. Im Bereich der Luftreinhaltung, und dort besonders in der Abluftbehandlung, werden in Baden-Württemberg hohe Umsätze erzielt. Eine Nutzung in diesem Bereich ist vielversprechend. Ähnliches gilt für den Gewässerschutz. In der nanotechnologischen Forschung ist Baden-Württemberg gut positioniert. Vergleichsweise viele Teilnehmer der durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Nano-Kompetenz-



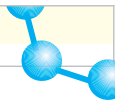
zentren kommen aus Baden-Württemberg. Konzentrationen von Forschungseinrichtungen zur Nanotechnologie finden sich in Baden-Württemberg in den Städten Stuttgart, Karlsruhe, Heidelberg und Tübingen.

Für die Förderung des Einsatzes von Nanotechnologie im Umweltschutz sind neben den genannten Grundlagen insbesondere die Rahmenbedingungen für eine anwendungsorientierte Forschung entscheidend. Dies betrifft sowohl Infrastruktur als auch qualifizierte Arbeitskräfte und Finanzierungsmodelle, die ein lang-

fristig erfolgreiches Arbeiten ermöglichen. Insbesondere die Finanzierung der Forschung und des Einstiegs in die Technologie stellt ein wesentliches Hindernis für die Bereitschaft vieler kleiner und mittelständischer Unternehmen dar. Aus wissenschaftlicher Sicht gilt für die Nanotechnologie und ihren Einsatz in der Umwelttechnik, dass insbesondere die Vernetzung und der Informationsaustausch zwischen wissenschaftlichen und technischen Disziplinen über ihren Einsatz und neue Nutzungsmöglichkeiten entscheidet.

DIE WESENTLICHEN ERKENNTNISSE AUS DER STUDIE SIND IN DEN FOLGENDEN FÜNF THESEN NOCH EINMAL FORMULIERT:

- ☐ Die Nanotechnologie befindet sich zu einem Großteil noch in der Grundlagenforschung, einige wenige Funktionalitäten der Nanotechnologie verbessern die Eigenschaften bestehender Produkte. Es werden jedoch hohe Wachstumsraten und großes Marktvolumen erwartet.
- ☐ Für die Mikro- und Nanotechnologie bieten sich einige potenzielle Anwendungsfelder in der Umwelttechnik, hauptsächlich im Bereich der Katalyse, der Sensorik, der Oberflächen, der Trenn- und Aufbereitungsverfahren sowie der Energiesysteme. Nanotechnologie ist in der Umwelttechnik jedoch noch weitgehend unbekannt.
- ☐ Baden-Württemberg steht mit an der Spitze der Nanotechnologieforschung, besonders im Bereich der Materialien, aber auch der ultrapräzisen Oberflächenbearbeitung oder der Nanopartikel. Sowohl in regionalen Clustern als auch in nationalen und internationalen Verbünden wird im Bereich der Nanotechnologie geforscht. Diese Kompetenz kann für neue Anwendungsfelder in der Umwelttechnik genutzt werden.
- ☐ Die Entwicklung der Nanotechnologie ist stark von den erforschten Möglichkeiten und entdeckten Funktionalitäten getrieben, während die Forschung in der Umwelttechnik problemgetrieben ist. Beide Herangehensweisen müssen marktorientiert zusammengeführt werden.
- ☐ Wesentliches Hemmnis eines verstärkten Einsatzes der Nanotechnologie in der Umwelttechnik ist zunächst der fehlende Informationsaustausch über die jeweiligen Forschungsfragen. Darüber hinaus sind die Rahmenbedingungen wie Infrastruktur, qualifizierte Arbeitskräfte und Finanzkapital ausschlaggebend.



1 Einleitung

1.1 WIESO EINE STUDIE?

Die Umwelttechnik ist längst eine anerkannte und etablierte ingenieurwissenschaftliche Disziplin – sowohl in der Forschung als auch in der Anwendung. Umweltschutz und Technologie sind kein Gegensatz, vielmehr ist der Umweltschutz an vielen Stellen Treiber von Technologien. Umweltschutz und technologische Entwicklung können Synergien erzeugen, was an den folgenden Beispielen deutlich wird:

- Der Umweltschutz war in der Vergangenheit immer wieder ein Motor für technologische innovative Neu- und Weiterentwicklungen (vgl. z. B. Kfz-Katalysator, Brennstoffzelle) – verbunden mit der Schaffung neuer Kompetenzen sowie neuer Arbeitsplätze.
- Der Umweltschutz besteht aus einer Vielzahl verschiedener Anwendungsfelder, in denen Technologien zum Einsatz kommen und damit zu einer Problemlösung und letztendlich zu einer Verbesserung der Umweltsituation beitragen. Beispielsweise tragen effizientere Technologien zu einer Verringerung des Ressourceneinsatzes oder zu einer Minimierung der Emissionen bei (z.B. Kraft-Wärme-Kopplung, Solarenergie). Hierbei können neue Technologien entweder alte verdrängen oder aber ganz neue Einsatzfelder aufzeigen.
- Nicht zuletzt leistet der Umweltschutz einen Beitrag zur Bewertung von Technologien, z.B. als Bestandteil einer Technikfolgenabschätzung oder in einer ganzheitlichen Lebenszyklusanalyse – und leistet somit einen Beitrag bei der Entwicklung neuer, innovativer und nachhaltiger Produkte und Dienstleistungen.

Die unterschiedlichen Akteure in der Gesellschaft haben daher ein Interesse daran, die wechselseitigen Beziehungen zwischen Umweltschutz und den eingesetzten Technologien immer wieder aufs Neue zu untersuchen und den gegenseitigen Nutzen hervorzuheben.

Dabei sind alle Akteure – Politik, Forschung und Wirtschaft – vor große Herausforderungen gestellt: Die Technologie- und Innovationszyklen werden immer kür-

zer, ebenso haben viele Innovationen der letzten Jahre die Produktion und unseren Lebensstil geprägt bzw. werden diesen merklich beeinflussen. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts wird die Gesellschaft nicht nur mit immer kürzeren Technologiezyklen konfrontiert, vielmehr wird die Technikanwendung auch durch den Einsatz von Schlüsseltechnologien revolutioniert.

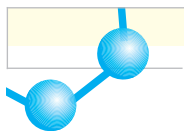
Zu solchen Schlüsseltechnologien zählt auch die Mikro- und Nanotechnologie. In den kühnsten Visionen wird beispielsweise die Möglichkeit beschrieben, winzige Roboter im Nanomaßstab in der Medizin einzusetzen, die Blutbahnen der Menschen von Ablagerungen säubern, Medikamente richtig dosieren und zielgerichtet im menschlichen Körper transportieren. Mit der Mikro- und Nanotechnologie verbindet sich der Reiz, bewusst und gezielt nanoskalige Strukturen aufzubauen – oftmals nach dem Vorbild der Natur.

Jenseits solcher noch weitestgehend spekulativen Einsatzmöglichkeiten der Mikro- und Nanotechnologie kann die Frage gestellt werden, ob und wie die Nanotechnologie Anwendung im Umweltschutz finden kann? Unter Berücksichtigung der eingangs beschriebenen wechselseitigen Beziehung zwischen Technologie und Umweltschutz folgt die logische Frage:

GIBT ES ANWENDUNGSFELDER DER MIKRO- UND NANOTECHNOLOGIE IM UMWELTSCHUTZ?

Und wenn ja, welche Technikfelder und Aufgaben des Umweltschutzes werden damit unterstützt bzw. welche Marktchancen ergeben sich daraus?

Zur Beantwortung dieser Frage ist es notwendig, die Mikro- und Nanotechnologie eingehend auf ihre Anwendungsmöglichkeiten und ihre Funktionalität hin zu untersuchen, diese mit den Anforderungen im Umweltschutz abzugleichen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse zu bewerten. Ziel dieser Studie ist die Abschätzung und Bewertung der Mikro- und Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie für die Umwelttechnik in Baden-Württemberg. Bereits vorhan-



dene und zukünftige Potenziale werden identifiziert, um die staatliche Förder- und Forschungspolitik in ihren strategischen Entscheidungen entsprechend zu unterstützen. Die Studie wurde vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg in Auftrag gegeben und durch das Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart bearbeitet.

1.2 VORGEHEN UND INHALT DER STUDIE

Die Grundlagen der Studie bilden zum einen der aktuelle Wissensstand der Fachliteratur, zum anderen wurden verschiedene Experten aus dem Bereich Mikro- und Nanotechnologie sowie Umwelttechnik angesprochen und zu deren Erfahrungen befragt. Die Ansprechpartner wurden aus den Bereichen Forschung, Wirtschaft, Wirtschaftsförderung sowie Technologietransfer in Baden-Württemberg ausgewählt – die Kompetenznetzwerke Nanotechnologie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) wurden im gesamten Bundesgebiet angesprochen. Die Auswahl der Experten erfolgte mit dem Ziel, die Aussagen zum Untersuchungsgegenstand aus verschiedenen Perspektiven zu erfassen. Die Auswahl und Befragung der Experten erhebt nicht den Anspruch einer repräsentativen Umfrage. Ziel war vielmehr, eine qualitative Bestimmung der aktuellen Position zum Stand der Mikro- und Nanotechnologie sowie deren Anwendungsmöglichkeiten in der Umwelttechnik zu erlangen. Die Aussagen der Experten wurden anonymisiert und sind als wertende Aussagen in die Studie eingegangen.

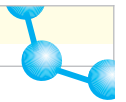
Die Studie gliedert sich in folgende Teile: In Kapitel 2 werden die Aufgabenfelder des technischen Umweltschutzes sowie die problemorientierte Heran-

gehensweise aufgezeigt. In Kapitel 3 wird der allgemeine Wissensstand der Mikro- und Nanotechnologie dargestellt. Die Mikro- und Nanotechnologie wird vorgestellt sowie die Anwendungsfelder beschrieben, anschließend wird ihr derzeitiger Entwicklungsstand bewertet. Die aktuelle Forschungsförderung wird dargelegt sowie der Stand der Technikfolgenabschätzung und gegenwärtige Hemmnisse angesprochen.

In Kapitel 4 wird auf die Mikro- und Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie näher eingegangen. Darauf aufbauend werden allgemein Anwendungsfelder der Mikro- und Nanotechnologie in der Umwelttechnik abgeleitet und die identifizierten Einsatzfelder bewertet. In Kapitel 5 wird das Potenzial der Mikro- und Nanotechnologie in der Umwelttechnik von Baden-Württemberg anhand der Wirtschafts- und Wirtschaftsstruktur beschrieben.

In Kapitel 6 werden darauf aufbauend handlungspolitische Förderstrategien aufgezeigt. Dabei werden Strategien sowie der notwendige Abbau von Hemmnissen angesprochen und mögliche Akteure benannt. Schließlich wird in Kapitel 7 auf die Visionen, die die Nanotechnologieforschung begleiten, eingegangen.

Im Anhang in Kapitel 10 sind die befragten Institutionen sowie der Leitfaden für die Interviews aufgeführt. Es werden relevante Links und Adressen, Marktvolumen der Nanotechnologiebereiche sowie Förderschwerpunkte aufgelistet. Weiter ist eine umfangreiche, unbewertete Zusammenstellung der Einsatzmöglichkeiten der Mikro- und Nanotechnologie im Umweltschutz enthalten sowie internationale und nationale Nano-Forschungsprogramme.



2 Aufgabenfeld des technischen Umweltschutzes

Aufgabe der Umwelttechnik ist es, die Herstellung und Verwendung von Sachsystemen mit dem Schutz natürlicher Ressourcen zu verbinden (Förstner 1995). Hieraus ergeben sich vielfältige interdisziplinäre Aufgabengebiete und Sichtweisen, die darauf abzielen, die Lebensgrundlagen der Menschen sowie der Natur insgesamt zu erhalten und eingetretene Umweltschäden wieder zu beheben. Das Ziel ist der Schutz von Luft, Wasser, Boden und Rohstoffen.

Der Ansatz, die Lebensgrundlage zu schützen, hat sich im Laufe der letzten Jahrzehnte von einer nachsorgenden Sicht hin zu einem ganzheitlichen, vorsorgenden Vorgehen weiterentwickelt. Neben dem Erkennen und Entfernen von Umweltbelastungen sowie der Minimierung von schädlichen Umweltauswirkungen kommt dem Vermeiden und der Vorsorge eine große Bedeutung zu: Prozesse und Produkte werden so gestaltet, dass entsprechende Auswirkungen, beispielsweise Abwässer, gar nicht erst entstehen. Verfahren werden auf eine effiziente Nutzung von Ressourcen abgestimmt. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Aufgabenbereiche der Umwelttechnik, die in der Anwendung miteinander verzahnt sind.

Die Behandlung von Umweltproblemen ist zum größten Teil problem- oder ursachengetrieben. D.h. ausgehend von einem erkannten Problem, beispielsweise der Zunahme des Treibhauseffekts, wird der Sachverhalt erfasst. Anschließend werden Handlungsoptionen und Lösungsmöglichkeiten identifiziert und bewertet (Förstner 1995). Dies ist für diese Studie insofern von Bedeutung, als die Entwicklung in der Nanotechnologie bisher stark von den technologischen Möglichkeiten und den materialspezifischen Eigenheiten von Nanostrukturen vorangetrieben wird. Daher werden die Eigenschaften von Nanotechniksystemen eher aus der Perspektive der technologischen Möglichkeiten diskutiert als aus Sicht spezieller Anwenderfragestellungen z. B. Produktionstechnik und Biowissenschaften.

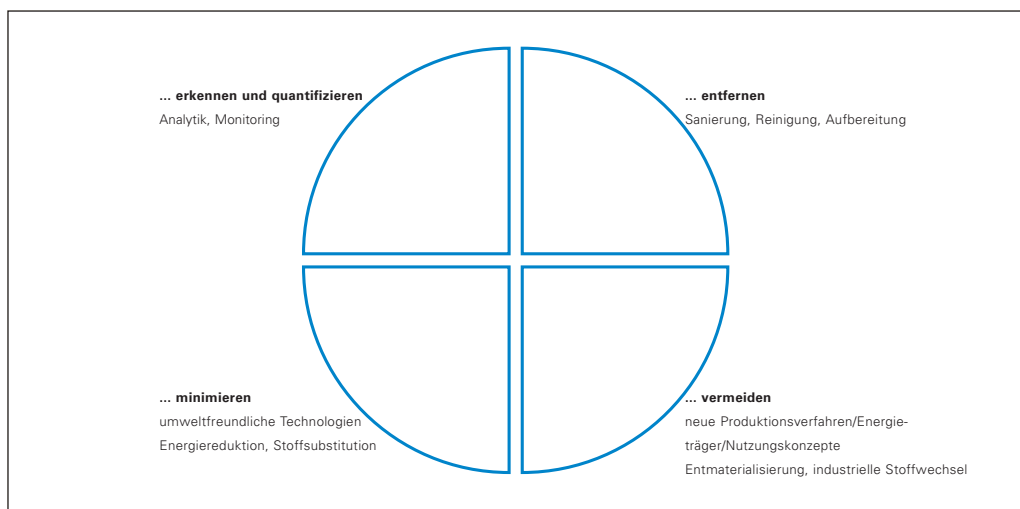
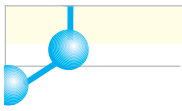


Abb. 1: Aufgaben der Umwelttechnik (eigene Darstellung)



Die folgende Aufzählung verdeutlicht beispielhaft Problemstellungen, mit denen sich der technische Umweltschutz konfrontiert sieht:

- Entwicklung einer Mess- und Analyseapparatur zur einfachen, kostengünstigen und flexiblen Analyse einer Probe: Die Apparatur muss tragbar sein oder in eine bestimmte Abmessung passen, beispielsweise eine Sonde im Rammkernrohr.
- Reinigung eines Abluftstroms mit gegebenem Volumenstrom und Ausgangskonzentration auf eine Zielkonzentration, vorgegeben durch einen gesetzlichen Grenzwert. Hierfür muss unter Berücksichtigung der Randbedingungen ein biologisches, chemisches oder mechanisches Verfahren ausgewählt werden.
- Änderung eines Produktionsverfahrens hin zu einer umweltfreundlichen Herstellungstechnik, welche beispielsweise zu einem effizienteren Rohstoffeinsatz führt oder den Energiebedarf reduziert.
- Auswahl einer nachhaltigen Energieversorgung aus nachwachsenden, erneuerbaren Energieträgern, um den Einsatz eines nichterneuerbaren Energieträgers zu verringern, oder um beispielsweise die CO₂-Emission zu reduzieren.

In der Umwelttechnik werden interdisziplinär unterschiedliche Fach- und Forschungsbereiche der Ingenieurs- und Naturwissenschaften berührt. Zu den Aufgabenfeldern der Umwelttechnik gehören die folgenden Arbeitsschwerpunkte, die sich u. a. an den Auswirkungen auf die Umweltmedien und der Schonung der Ressourcen orientieren (Förstner 2001):

ABFALLWIRTSCHAFT:

Abfallvermeidung, Abfallbehandlung, Recycling, Beseitigung

GEWÄSSERSCHUTZ:

Monitoring und Analyse, biologische, chemische und mechanische Abwasserreinigung und Wasseraufbereitung

LUFTREINHALTUNG:

Monitoring und Analyse, biologische, chemische und mechanische Abluft-/Rauchgasreinigung

BODENSANIERUNG:

Monitoring und Analyse, biologische, chemische und mechanische Sanierung und Dekontamination

UMWELTFREUNDLICHE PRODUKTION:

Ressourcenschonende Produktionsverfahren, innerbetriebliche Kreislaufwirtschaft, emissionsarme Prozesse, schadstoffarme Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe

UMWELTFREUNDLICHE PRODUKTGESTALTUNG:

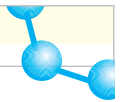
Recyclinggerechte Konstruktion und Werkstoffauswahl, nachhaltige Nutzungskonzepte, abfall-, schadstoff- und verbrauchsarme Produkte

REDUKTION DES ENERGIEVERBRAUCHS UND EINSATZ

UMWELTFREUNDLICHER ENERGIESYSTEME:

Einsatz Energiesysteme- und Technologien, Energiespeicherung, Auswahl der Energieträger

Das Einsatzpotenzial der Mikro- und Nanotechnologie im Hinblick auf die Aufgabenfelder der Umwelttechnik wird nun in den folgenden Kapiteln analysiert und bewertet.



3 Stand der Mikro- und Nanotechnologie

3.1 MIKRO- UND NANOTECHNOLOGIE

Die Mikro- und Nanotechnologie wird zu den neuen, innovativsten Technologien gezählt, die die Welt von Morgen verändern werden (Bierhals 2000 und BMBF 2002). Ihre Bedeutung beruht auf den Erkenntnissen und Möglichkeiten, die Materialeigenschaften und -strukturen auf mikroskopischer bzw. supramolekularer Ebene gezielt und bewusst zu beeinflussen.

Die Mikro- und Nanotechnologie kann weniger über eine Wissenschaftsdisziplin oder ein Anwendungsfeld definiert werden, als vielmehr über ihre Größenordnung. Eine gängige Definition der Nanotechnologie¹ lautet daher (Bachmann 1998):

„Nanotechnologie beschäftigt sich mit Systemen, deren Funktionalität und Eigenschaften nur allein von den nanoskaligen Effekten ihrer Komponenten abhängig sind.“

Die Mikrotechnologie ist dagegen die konsequente Weiterentwicklung der Mikroelektronik. Mikroelektronische Bauteile werden um sensorische und aktorische Komponenten erweitert. Eine Definition der Mikrosystemtechnik aus dem Programm „Mikrosystemtechnik 1994-1999“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) lautet demzufolge (WGZ 2002):

„Werden Sensoren, Signalverarbeitung und Aktoren in miniaturisierter Bauform so zu einem Gesamtsystem verknüpft, dass sie „empfinden“, „entscheiden“ und „reagieren“ können, spricht man von einem Mikrosystem. Hierbei ist entscheidend, dass die Funktionen eigenständig erfolgen. Sensoren entsprechen den menschlichen Sinnesorganen, die Signalverarbeitung entspricht dem Gehirn und die Aktoren den Gliedmaßen.“

Unter Nanotechnologie versteht man im Allgemeinen die Arbeit und die Beeinflussung von Strukturen unterhalb 100 nm Ausdehnung, die bereits quantenmecha-

nische Effekte aufweisen (siehe Tabelle 1). Die Forschung an größeren Dimensionen, die die klassische Physik unserer Alltagserfahrung widerspiegelt, wird als Mikrotechnologie bezeichnet. Es kann aber nicht scharf zwischen der Mikro- und Nanotechnologie getrennt werden: Bei einer weiteren Verkleinerung der herkömmlichen Mikrochips bis in den Nanometermaßstab wird man in Zukunft wahrscheinlich von „Nanoelektronik“ sprechen. Auch die analytischen Methoden, wie z.B. die Rastersondenmikroskopie, eignen sich gleichermaßen für die Analytik von Nano- und Mikrostrukturen.

Das Potenzial der Nanotechnologie erstreckt sich zum einen auf einen Größen-, zum anderen auf einen Struktureffekt. Die fortschreitende Miniaturisierung bis in den nanoskaligen Bereich erlaubt neue Anwendungsgebiete bzw. die Unterbringung von Funktionalitäten auf engstem Raum. Symbolisch hierfür steht die Aussage des US-Amerikaners Richard Feynman² – **„There is plenty of room at the bottom“** – der auf die unbegrenzten Möglichkeiten der Miniaturisierung hinwies: In atomarer Dimension sei auf einem Stecknadelkopf genügend Platz für das gesamte Wissen der Menschheit (Hullmann 2001 und Bachmann 1998)³. Mit dem Verstehen und bewussten Aufbau von Strukturen soll es möglich werden, die Eigenschaften von Materialien gezielt von Grund auf zu beeinflussen, zu nutzen und in komplexe Gesamtsysteme zu integrieren. Dadurch eröffnet sich ein noch kaum absehbares Spektrum an Produkten mit deutlich verbesserten, zum Teil ganz neuen Funktionalitäten, die auf anderen Wegen nicht zugänglich sind. Beispielhaft seien hier photovoltaische Fenster und Lacke, zuverlässig selektierende Sensoren oder langzeitstabile Speichermedien mit kürzesten Zugriffszeiten genannt.

Abbildung 2 stellt die einzelnen Anwendungsfelder der Mikro- und Nanotechnologie anhand ihres Größenmaßstabs gegenüber (WGZ 2002).

¹ Die Bezeichnung „Nano“-Technologie leitet sich von der Größenordnung des betrachteten Bereichs ab, dem Nanometer (nm, der Milliardste Teil eines Meters, 10^{-9} m). Das Wort „Nano“ kommt aus dem griechischen und heißt „Zwerg“.

² Richard Feynman (1918-1988), US-amerikanischer Professor für theoretische Physik, gewann 1965 den Nobelpreis für seine Erkenntnisse auf dem Gebiet der Quantenelektrodynamik

³ Das Ziel sind Speicherchips mit einer Speicherkapazität von 20 GB/cm².

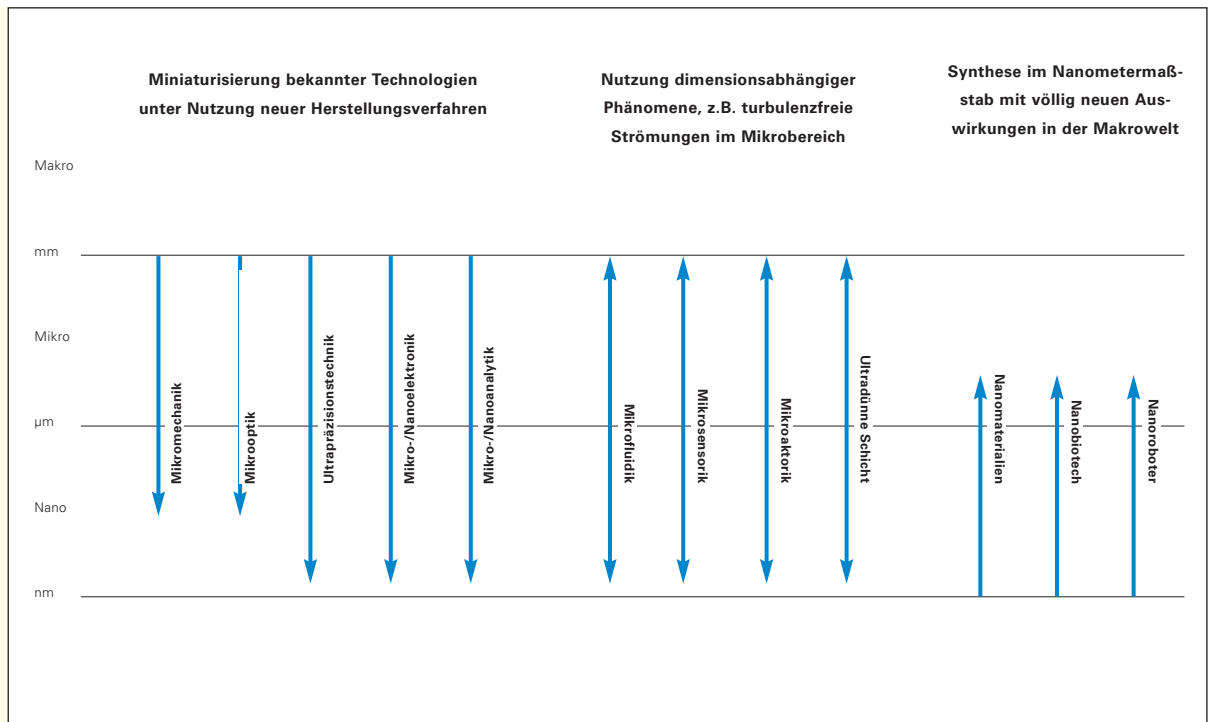
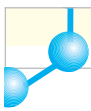


Abb. 2: Technologiefelder der Mikro- und Nanotechnologie (WGZ 2002)

Abbildung 2 zeigt deutlich sowohl die Gemeinsamkeiten der Mikro- und Nanotechnologie wie auch die grundlegenden Unterschiede: Die Miniaturisierung ist ein wesentliches Merkmal beider Technologien, verbunden mit neuen Anwendungsmöglichkeiten, die sich einerseits aus den fortschreitenden Erkenntnissen aus der Forschung ergeben, andererseits aus der Größe der Techniksysteme, beispielsweise winzige Sensoren, die die Aufnahme von Messwerten an neuen Stellen erlauben. Auf der anderen Seite kommen die Mikrotechnologie und die Nanotechnologie aus unterschiedlichen Richtungen auf der Größenskala („Top-Down“ vs. „Bottom-Up“, siehe Abbildung 3).

Wesentliche Entwicklungen der Mikrotechnologie und Mikrosystemtechnik kommen aus der Mikroelektronik und sind schon – im Vergleich Nanotechnologie – seit 30 Jahren mit kommerziellen Anwendungen auf dem Markt (Hofelich 2003). Beispiele sind Medizingeräte wie Diabetes-Schnelltests und Herzschrittmacher oder Airbag- und ABS-Sensoren. Nanotechnologie befindet sich hingegen in weiten Teilen noch in der Grundlagenforschung. Fernes Ziel ist der Aufbau von komplexen Systemen, die Nanotechnologie enthalten oder komplett auf dieser Technologie aufgebaut sind. Dann sind Funktionalitäten und Effekte der Nano-

technologie Teil eines (Mikrosystem-) Technologieträgers, beispielsweise die biosensorische Oberfläche auf einem Chip. Die Entwicklung in der Nanotechnologie ist aber noch nicht weit genug, um marktfähige Produkte oder Funktionalitäten anbieten zu können. Die Betrachtung und Bewertung in dieser Studie konzentriert sich deshalb stärker auf die Nanotechnologie und deren mögliche Potenziale, die dann Teil eines (Mikro-) Techniksystems sind.

Mit dem Übergang in den nanoskaligen Bereich, ein Größenmaßstab unter 100 nm, befindet man sich auf einer Ebene, die das Verständnis von biologischen Prinzipien und chemischen Eigenschaften voraussetzt und physikalisches Verhalten nutzt und beeinflusst. Damit wird der Querschnittcharakter deutlich, den die Mikro-, vor allem aber die Nanotechnologie ausmacht: Die Überschneidungen zwischen Physik, Biologie und Chemie bestimmen die Erkenntnisse der „Nanowissenschaften“. Tabelle 1 zeigt die geänderten Betrachtungsweisen beim Übergang in die Nanotechnologie (Luther, Bachmann 2003).

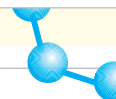


TABELLE 1: GEÄNDERTE SICHTWEISE VON EIGENSCHAFTEN BEIM ÜBERGANG IN DIE NANOSKALA (LUTHER, BACHMANN 2003)

BISHERIGE BETRACHTUNGSWEISE „ENGINEERING“	NOTWENDIGE ÄNDERUNG „MOLEKULARE STRATEGIE“
Klassische Kontinuumsphysik	Quantenmechanik
Festkörpereigenschaften	Bindungseigenschaften
Volumen dominierend	Äußere/innere Oberflächen dominierend
Homogene Materialien	Inhomogene Materialmischungen
Einfache Miniaturisierung	Kombination mit Selbstorganisation

Technologien und Wissenschaften haben sich – schon lange bevor die Mikro- und Nanowissenschaften Aufmerksamkeit erregten –, mit Effekten und Verhalten im Nanobereich auseinander gesetzt und diese für die jeweiligen Zwecke eingesetzt. So beruhen die Stofftrennungseigenschaften von Mikro- und Ultrafiltration auf Membranen mit einer Porengröße im Bereich von 0,1 μm bis 5 nm. Rußpartikel im Bereich von Nanometern werden dem Reifengummi seit Jahrzehnten beigemischt. Neu ist nun, dass man sich gezielt dieser Größenordnung von oben, also durch Miniaturisierung, oder von unten, durch Strukturaufbau, nähert. Letzteres führt zu einer Veränderung des Produktionsparadigmas: Materialien werden mit den Atomen als Bausteine gezielt zusammengebaut. Jenseits technischer Fragestel-

lungen ist damit die Hoffnung verbunden, die Ressourceneffizienz zu steigern und Abfälle zu vermeiden (Petschow 2003).

Beide Ansätze, die Annäherung an die Mikro- und Nanotechnologie von oben als „Top-Down“ Ansatz und unten als „Bottom-Up“ Ansatz sind in der folgenden Abbildung 3 zusammen mit der zeitlichen Entwicklung dargestellt. Auf der linken Achse ist die Strukturgröße aufgetragen, auf der horizontalen Achse der Zeitverlauf der Technologieentwicklung von 1940 bis in die heutige Zeit, sowie eine Zukunftsperspektive für die nächsten 50 Jahre. Rechts sind als Anhaltspunkte Materialien bzw. Gegenstände verschiedener Dimensionen aufgeführt (Rohrer 1994, zitiert in Bachmann 1998).

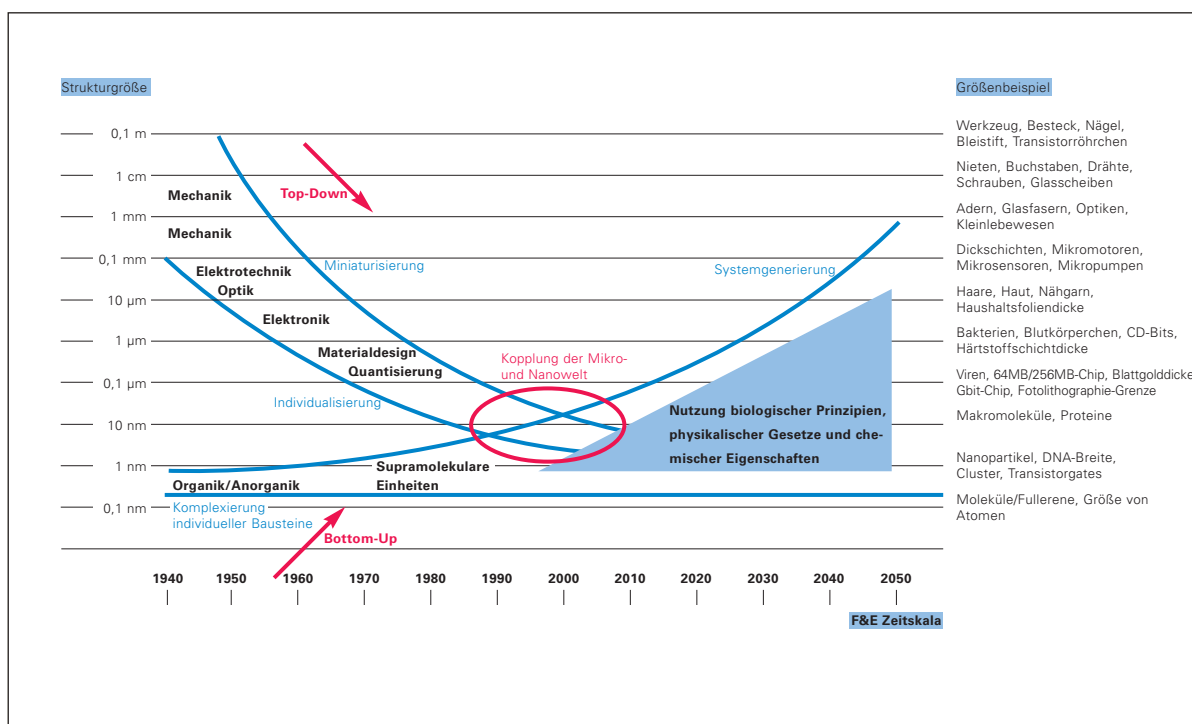
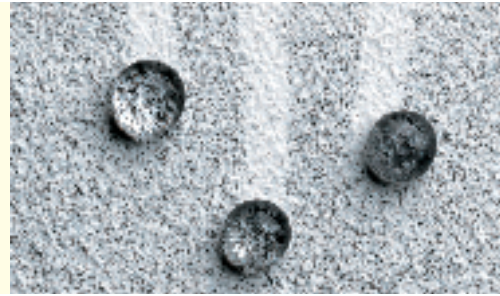
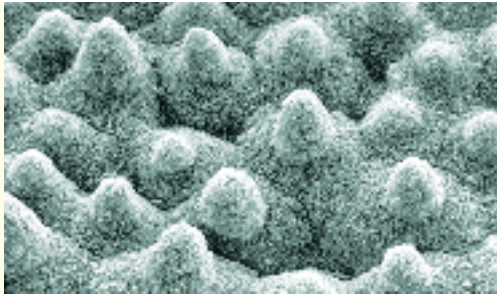
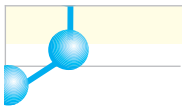


Abb. 3: Kopplung der Mikro- und Nanowelt (Bachmann 1998)



Links: Darstellung einer auf Selbstreinigung optimierten doppelt strukturierten biologischen Oberfläche: Durch die Kombination von Mikro- (Zellen) und Nanostruktur (Wachskristalle) werden Kontaktflächen minimiert. (Quelle: Professor Wilhelm Barthlott, Universität Bonn). Rechts: Fassadenfarbe „Lotusan“, die sich dank Lotus-Effekt® mit Regen selbst reinigt. (Quelle: Sto AG)

3.2 ANWENDUNGSFELDER DER MIKRO- UND NANOTECHNOLOGIE

Für die Mikro- und Nanotechnologie existiert noch keine in Wissenschaft und Praxis allgemein gültige Strukturierung und Abgrenzung (siehe auch Hullmann 2001). Dies ist Ausdruck des noch recht frühen Stadiums der Technologie und des Entwicklungscharakters mit hohem Innovationstempo: In der Nanotechnologie sind unterschiedliche Wissenschaften vereint, die interdisziplinär forschen. Darüber hinaus scheint die Nanotechnologie in stärkerem Maße von den Möglichkeiten neuer Werkstoffe und Verfahren, als von einem konkreten Anwendungsbezug vorangetrieben zu werden. Anwendungen ergeben sich häufig „zufällig“ aus der Nutzung eben dieser Werkstoffe und Verfahren für die Optimierung existierender Produkte und Prozesse. In Zukunft wird sich insbesondere die Forschung in der Nanotechnologie auch an deren Anwendbarkeit und den entsprechenden Marktpotenzialen messen lassen müssen. Tabelle 2 zeigt drei unterschiedliche Strukturie-

rungsansätze, mit deren Hilfe man sich der Nanotechnologie annähern kann.

Die Auflistung in Tabelle 2 zeigt, dass die verschiedenen Einteilungen der Nanotechnologie untereinander nicht konsistent bzw. überführbar sind: So beinhaltet die Ultrapräzisionstechnik alle Bearbeitungsverfahren, bei denen Körper und Oberflächen mit makroskopischen Abmessungen extrem präzise in Form und Glattheit für optische Oberflächen und ultraglatte Wafer hergestellt werden. Diese finden Anwendung in der Feinmechanik, Optik und Analytik, in der Elektronik und Informationstechnik sowie im Automobil- und Maschinenbau. Damit wird auch die Schwierigkeit deutlich, direkte, konkrete Anwendungsfelder der Mikro- und Nanotechnologie für den Umweltschutz zu benennen. Ein Zusammenhang kann jedoch über die bereitgestellten Funktionalitäten und Effekte, beispielsweise den Lotus-Effekt, hergestellt werden.

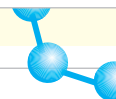
TABELLE 2: EINTEILUNG DER NANOTECHNOLOGIE IN ENTWICKLUNGSLINIEN, NACH INDUSTRIEBRANCHEN UND TEILDISZIPLINEN

EINTEILUNG NACH ZUKUNFTS- TRÄCHTIGEN ENTWICKLUNGSLINIEN ^a	EINTEILUNG IN RELEVANTE INDUSTRIELLE BRANCHENSEKTOREN ^b	EINTEILUNG NACH TEILDISZIPLINEN ^c
Erzeugung und Einsatz lateraler Nanostrukturen	Chemie, Material und Herstellung	Nanoelektronik
Nanostrukturen in der Optoelektronik	Umweltschutz und Energie	Nanooptik
Ultradünne funktionale Schichten	Elektronik und Computer	Nanofabrikation
Funktionalität durch Chemie	Medizin und Gesundheit	Nanomaterialien
Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung	Luft- und Raumfahrt	Nanochemie
Nanoanalytik	Automobilbau	Nanobiotechnologie
Nanomaterialien		Nanoanalytik

^a Einteilung in die meistversprechendsten nanotechnologischen Entwicklungslinien nach BMBF/VDI „Nanonet“. Siehe unter www.nanonet.de

^b Siehe auch (Hyder 2003)

^c Siehe auch (Bachmann in VentureCapitel 2002)



Die folgende Unterteilung erscheint aus Sicht der Autoren für diese Studie am zweckmäßigsten. Sie zeigt Teildisziplinen der Nanotechnologie mit Anwendungsbezug auf und gibt Beispiele aus dem jeweiligen Einsatzgebiet (nach Bachmann in VentureCapital 2002):

NANOELEKTRONIK

Erforschung und Nutzung elektronischer Eigenschaften von Nanostrukturen für vielfältige Anwendungen einer zukünftigen Informationstechnologie.

Anwendungsgebiete sind Transistoren im nm-Bereich, Logikbausteine auf molekularer Basis, Sensorik, Datenspeicherung und Displayherstellung. Derzeit befindet sich die Forschungsarbeit in der Mikroelektronik an der Schwelle zur Nanoelektronik.

NANOOPTIK

Erforschung und Nutzung reduzierter Dimensionen (Quanteneffekte) für Hochgeschwindigkeits-Kommunikationstechnik.

Anwendungsgebiete sind optoelektronische Dioden- und Quantenpunktlaser, Informationsspeicherung, Bildzeugung, Materialbearbeitung, etc.

NANOFABRIKATION

Erforschung und Nutzung von Methoden zur Herstellung von Strukturen, Schichten und Oberflächen auf der Nanoskala. Diese Verfahren sind für die Herstellung zukünftiger nanobasierter Produkte eine zwingende Voraussetzung. Zur Anwendung kommen ultrapräzise Herstellungs- und Bearbeitungsmethoden mit Hilfe von Röntgenoptiken oder elektromechanischen Systemen.

NANOMATERIALIEN

Erforschung und Nutzung nanoskaliger funktionalisierter Materialsysteme.

Anwendungsgebiete sind makroskopische Körper mit optischen, elektronischen, magnetischen, katalytischen oder mechanischen Eigenschaften, beispielsweise kratz-feste optische Beschichtungen, elektrochrome Dünnschichtsysteme, Silikat-Katalyt-Oberflächen, materialtechnische Aspekte von Oberflächen/Kontaktflächen und inneren Grenzflächen.

NANOCHEMIE

Erforschung und Nutzung chemischer Systeme, deren Effekte und Funktionalität auf der Nanoskaligkeit beruhen. Anwendungsgebiete sind Wirkstofftransport, schaltbare/steuerbare Systeme, funktionale Schichten, Bildungsprozesse von Nanostrukturen wie Partikel, Kolloide, Fluide oder Nanoröhren.

NANOBIOTECHNOLOGIE

Bio2Nano: Erforschung und Nutzung der Prinzipien der Biologie in nanotechnologischen Verfahren und Systemen.

Anwendungsgebiete sind „smarte“ Strukturen von Biomolekülen – wie sie zum Beispiel auf der Oberfläche von Bakterien zu finden sind – als Trägermaterial (Template). Durch Anlagerung von Metallen können z.B. hochselektive Filter, Katalysatoren oder Materialien für biobasierte elektronische Schaltkreise hergestellt werden.

Nano2Bio: Erforschung und Nutzung der Miniaturisierung, Unterstützung bzw. Kontrolle biotechnologischer und biologischer Prozesse durch nanotechnologische Verfahren.

Anwendungsgebiete sind die Biochip-Technologie, in vivo Früherkennungs- bzw. Behandlungsverfahren, nanopartikelgestützte Gentherapie oder Tissue Engineering (Gewebe-Rekonstruktion).

NANOANALYTIK

Erforschung und Nutzung analytischer Methoden und Werkzeuge zur Erfassung nanoskaliger Strukturen und Basisphänomene. Die Nanoanalytik als Querschnittswissenschaft liefert die analytischen Methoden und Werkzeuge zur Erfassung der Basisphänomene und zur Produktcharakterisierung und sorgt für eine analytische Qualitätssicherung.

Anwendungsgebiete sind die Informationsgewinnung in Physik/Chemie/Biologie und Materialforschung sowie die Ingenieurwissenschaften.

In Abbildung 4 ist das Zusammenspiel zwischen den so genannten Nanowissenschaften und den sich daraus ableitenden Teildisziplinen und Technologien abgebildet (Eigene Darstellung in Anlehnung an Hullmann 2001).

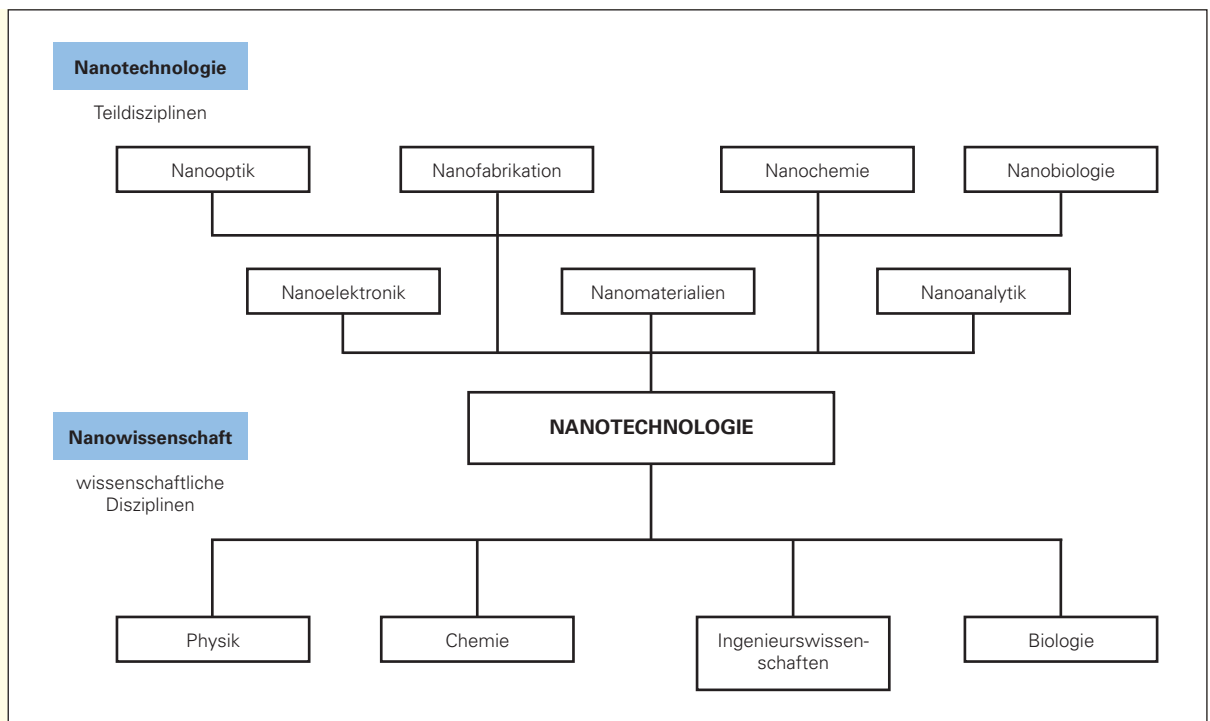
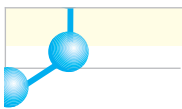


Abb. 4: Teilbereiche der Nanotechnologie und ihre wissenschaftlichen Grundlagen (Eigene Darstellung in Anlehnung an Hullmann 2001)

3.3 BEWERTUNG DES STANDES DER MIKRO- UND NANOTECHNOLOGIE

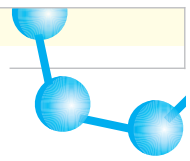
Der Mikro- und Nanotechnologie wird eine sehr große wirtschaftliche Bedeutung beigemessen: Nach einer Befragung von Experten im Rahmen des Technik-Delphi-Berichts 1998 sind 80% der Befragten dieser Meinung (Cuhls/ Blind/ Grupp 1998 zitiert in Hullmann 2001). Allerdings messen weniger als 30% der Nanotechnologie eine Bedeutung zur Lösung ökologischer Probleme bei.⁷ Das wirtschaftliche Potenzial der Mikro- und Nanotechnologie kann bisher nur abgeschätzt werden. Für das Jahr 2001 wurde ein Weltmarktvolumen von über 50 Mrd. Euro für quantifizierbare Produkte der Nanotechnologie erwartet. Zusätzlich wurde beispielsweise das weltweite Einsparpotenzial durch eine Reduktion des Energieverbrauchs von Elektronikbauteilen mit Nanotechnologie auf rund 35 Mrd. Euro pro Jahr abgeschätzt. Nach aktuelleren Angaben (von Business Communications Corporation (BCC)) aus dem Jahr 2000 wird für die Nanofiltrationstechnik, eingesetzt beispielsweise für die Trinkwasseraufbereitung durch Meerwasserentsalzung, in den nächsten 20 Jahren ein Marktvolumen von 70 Mrd. US-Dollar angegeben (Bachmann 2003/2).

Die einzelnen Forschungsbereiche der Mikro- und Nanotechnologie haben gegenwärtig unterschiedliche Wissens- und Anwendungsstände (Hullmann 2001 und Bachmann in VentureCapital 2002). Die meisten Forschungsbereiche stecken noch in der Grundlagenforschung, teilweise ist man weiterhin dabei, die grundlegenden Mechanismen im nm-Bereich zu verstehen. Auch beschränkt sich beispielsweise der Einsatz von Molekülen bisher auf wenige Elemente des Periodensystems wie TiO₂, sodass sich insgesamt ein viel größeres Spektrum bietet, als bisher erforscht. Hinzu kommt, dass die Auswirkungen der Gesetze auf der Nanoebene, wie sie in Tabelle 1 beschrieben sind, teilweise noch unbekannt sind: Die Mikrotechnologie arbeitet in den Mikrosystemen beispielsweise mit viel höheren Drehzahlen als die herkömmlich Technologie, fraglich ist, ob eine weitere Miniaturisierung eine Drehzahlsteigerung erlaubt.

In einigen wenigen Bereichen existieren jedoch bereits konkrete Anwendungen in Produkten, beispielsweise Nanopartikel in Sonnencremes⁸ oder in der Mikroskopie (z.B. Kraftermikroskop). Für viele Anwen-

⁷ Nach Hullmann (2001) liegen u.a. die Gründe hierfür vor allem in einer allgemeinen Skepsis der Experten, Visionen in der Nanotechnologie anzuerkennen.

⁸ Beispielsweise werden Nanopartikel in Sonnencremes eingesetzt: Titanpartikel mit einem Durchmesser von 15-20 nm dienen als UV-Schutz und ersetzen organische UV-Filter, die allergische Reaktionen hervorrufen können und die Haut nicht gleichmäßig schützen.



dungen oder Funktionalitäten kann eine Abschätzung der Marktreife gegeben werden. Nach Meinung von Dr. Reitberger (von Apax, einem Private Equity Unternehmen, verantwortlich für Telekommunikations-, IT- und Internet-Infrastruktur) werden von allen Nanotechnologianwendungen nur 5% irgendwann einmal kommerziell erfolgreich funktionieren (VentureCapital Magazin 2002).

In der Grundlagenforschung werden große Fortschritte gemacht, diese schlagen sich jedoch noch nicht in entsprechenden wirtschaftlichen Effekten nieder. Viele Anwendungen der Nanotechnologie stehen noch vor dem wirtschaftlichen Durchbruch und einer breiten Anwendung (Hullmann 2001). An diesem Punkt stellt sich die Frage, welche Erwartungen von Seiten der Praxis an die Forschung bestehen und in welche Richtung sich die nanotechnologische Forschung weiterentwickeln soll. Die Leitplanken des Forschungskorridors bilden die grundlagen- bzw. die anwendungsbezogene Forschung oder die Orientierung an revolutionären bzw. evolutionären Technologien (Gutowski 2000). Ob Mikro- und Nanotechnologie nun als „Konkurrenztechnologien“ auftreten oder „neue Technologiefelder“ besetzen (siehe hierzu Kapitel 4.1), die Entwicklung muss marktgetrieben sein (Nägele 2000).

Bisher gibt es keine reinen Nanoprodukte. Dort, wo Nanotechnologien in Produkten zum Einsatz kommen, stellen sie keine radikalen Innovationen im Sinne neuer Produkte oder Anwendungen dar. Vielmehr handelt es sich um Weiterentwicklungen oder Optimierungen vorhandener Produkte, die in direkter Konkurrenz zu bestehenden Produkten und Technologien stehen. Nach Franz und Essig (2002) stellt diese Konkurrenz neben dem Aspekt der Technologiebeherrschung für viele nanotechnologische Entwicklungen eine der wesentlichen Eintrittsbarrieren auf den Markt dar. Nanotechnologie in ihrer bestehenden Form beeinflusst hauptsächlich klassische Technologiefelder. Darüber hinaus werden am Markt eine Reihe von Produkten

angeboten, die nanotechnische Effekte seit langer Zeit nutzen⁹ jedoch nicht mit dieser in Verbindung gebracht werden (Beckmann und Lenz 2002).

Zwar verläuft die wissenschaftliche Entwicklung im Bereich der Nanotechnologie sehr dynamisch, auf Seiten der technologischen und wirtschaftlichen Entwicklung ergibt sich jedoch kein einheitliches Bild. Einige nanotechnologische Entwicklungen befinden sich in einem Entwicklungsstadium, das einen hohen wirtschaftlichen Umsatz in den nächsten 5 Jahren erwarten lässt. In Abbildung 5 ist der Zusammenhang zwischen wissenschaftlicher Entwicklung, technologischer Fortentwicklung und industrieller Produktion schematisch abgebildet (vgl. Hullmann 2001). Die Anzahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen dient zur Bestimmung der wissenschaftlichen Entwicklung, während die Anzahl der Patentanmeldungen den Stand der Technik bzw. die technologische Entwicklung repräsentieren.

Die Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Technologie in Abbildung 5 wird in 8 Phasen eingeteilt (Grupp 1995): Über die erste explorative Forschung im wissenschaftlichen Bereich (Phase I) und einer gut entwickelten, aber noch ausbaufähigen Forschung (Phase II) ist in Phase III die Forschung entfaltet, es gibt erste technische Realisierungen und Prototypen. Phase IV ist gekennzeichnet durch erkennbare Schwierigkeiten bei der wirtschaftlichen Umsetzung des Forschungsstandes, dies führt in Phase V zu einer zeitweiligen Stagnation in Wissenschaft und Technik, begleitet von einer Umorientierung. Jedoch führen neue Möglichkeiten in Forschung und Entwicklung (FuE) (Phase VI) zu ersten kommerziellen Anwendungen, und die industrielle und wirtschaftliche Entwicklung entfaltet sich voll (Phase VII). In der Phase VIII werden schließlich alle Märkte durchdrungen, und FuE nimmt bezogen auf den Umsatz an Bedeutung ab.

Abbildung 5 zeigt, dass einzelne Anwendungsfelder der Nanotechnologie nicht nur einen differenzier-

⁹ Beispielsweise Anti-Beschlag-beschichtete Spiegel, selbstreinigende Fensterscheiben oder die Beimischung von Rußpartikel in Autoreifen

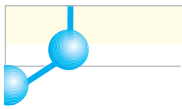


Abb. 5: Phasenstand und Entwicklungsdynamik der Nanotechnologie in 2000 – Prognose von 1993 (Hullmann 2001)

ten Stand aufweisen, sondern auch über die Entwicklungsphasen sehr unterschiedlich verteilt sind. Das Feld der Nanomaterialien, welches auch für Anwendungen im Umweltschutz interessant ist, hat eine breite Streuung zwischen den Phasen „Forschung entfaltet, erste technische Realisierungen“ und „erste kommerzielle Anwendungen“, der Schwerpunkt liegt aber auf der Phase der „Umorientierung“ (Prognosen aus dem Jahr 1993 für 2000).

Es wird erwartet, dass im Bereich der Mikro- technik Dispenser, Pumpen und Ventile für Mikroreaktionstechnik, Analytik und Screening im Bereich der Medizin- und Umwelttechnik sowie das Wirkstoff-Screening überaus hohe Wachstumsraten haben werden (Pelka 2002). Große Potenziale und Schwerpunkte der kommerziellen Anwendung von Nanotechnologien werden in den Bereichen neuer Materialien (Komposit-Strukturen), neuer Analyseverfahren, der Medizintechnik und dem gesamten elektrischen/informationstechnischen Bereich erwartet (Kotthaus 2003, Hullmann 2001). Kommerzielle Speichertechnologie und Hochleistungsrechner auf Nanotechnikbasis werden in den nächsten fünf Jahren erwartet, eine ähnliche Abschätzung wird für die Nanobiotechnologie getroffen (Reitberger in VentureCapital 2002). Allerdings steht

die Nanoelektronik an vielen Stellen noch auf der Stufe der Grundlagenforschung, sodass Anwendungsszenarien teilweise nur beschrieben werden können. Große Hoffnungen werden auch in nanoskalige Strukturen aus Kohlenstoff, den so genannten Carbon-Nanotubes (CNT), für die Energiespeicherung und -wandlung gesetzt (Müller und Righi 2002). Die Optik wird für viele Anwendungen und Technologien als Mittel zum Zweck notwendig sein, beispielsweise in der Bewertung und Qualitätsanalyse. Der Anwendungsbereich der Medizin wird vielleicht nicht auf den großen Markt treffen, hat aber trotzdem eine hohe gesellschaftliche Relevanz, als Beispiel sind der Wirkstofftransport zu nennen, oder Prothesen und allgemein die Wiederherstellungen von Körperfunktion.

Der Einsatz der Nanotechnologie in der Wehr- und Rüstungsforschung wird in den USA, Russland oder China offensiv betrieben, während in Deutschland diesem Anwendungsfeld relativ wenig Bedeutung beige- messen wird (Hullmann 2001, Zeit 2003).

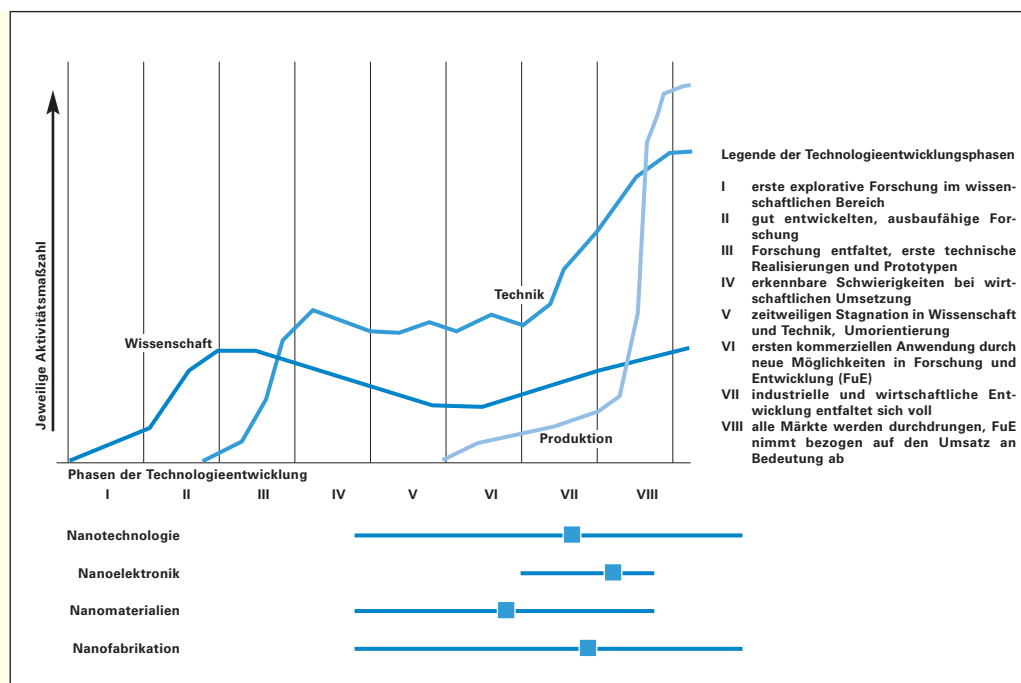
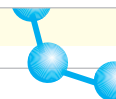


Abb. 5: Phasenstand und Entwicklungsdynamik der Nanotechnologie in 2000 – Prognose von 1993 (Hullmann 2001)



Chemie/ Materialien	Funktionale Schichten	Magnetische Fluide	CNT-Verbundmaterialien
	Nanopartikel/Kolloide	Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT)	
Energie/ Umwelttechnik	Farbstoff-Solarzellen	Nanostrukturierte Wasserstoffspeicher	Quantenpunktsolarzellen
	Nanomembran		
Medizin/ Life Service	Lab-on-a-chip-Systeme Biochip-Arrays	Gezielter Wasserstofftransport	Tissue Engineering Molekulare Kreberkrankung
Automobilbau	Nanopartikel für Reifen	Interferenzlacke	Schaltbare Lackfarben
	Antireflexionsschichten	Nanoskalige Verbundwerkstoffe	
Elektronik/ Informationstechnik	Neue Sensoren (GMR)	Nanoröhrchen-Displays	Millipede-Festplatten
	OLED (org. Leuchtdioden)	MRAM/FRAM-Speicher	Molekularelektronik
			Spintronik
	Marktreife bereits erreicht	Marktentwicklung 0 – 5 Jahre bis Marktreife	Prototypen 5 – 10 Jahre bis Marktreife
			Grundlagenforschung 10 – 15 Jahre bis Marktreife

Abb. 6: Entwicklungsstand einzelner Nanotechnologien nach Anwendungsbranchen (Bachmann in VentureCapital 2002) ¹⁰

Insgesamt ist nach Pelka (2002) „die vielfach propagierte Nanosystemtechnik noch lange nicht in Sicht“, und das theoretische Potenzial der Nanotechnologie wird sich trotz aller aktuellen Fortschritte erst in vielen Jahrzehnten voll entfalten (Beckmann und Lenz 2002).

Abbildung 6 zeigt einen Überblick über den Entwicklungsstand einzelner Anwendungen sowie deren Zuordnung zu einzelnen Industriebranchen. Diese Einteilung weicht von der gewählten Kategorisierung in Kapitel 3.2 (Tabelle 2, rechte Spalte) ab, zeigt aber trotzdem anschaulich die erwartete Technologieentwicklung für die nächsten 15 Jahre. Zudem werden bereits konkrete Anwendungsfelder der Nanotechnologie im Bereich Energie/Umweltschutz angegeben.

An der Spitze der Nanotechnologieforschung steht nach Meinung vieler Experten neben den USA und Japan Deutschland an dritter Stelle. Deutschland wird gegenüber Japan eine höhere Forschungskompetenz

zugewiesen, während Japan eine bessere Umsetzung der technologischen Entwicklungen bescheinigt wird (siehe Hullmann 2002).¹¹ So nimmt nach der Anzahl absoluter Publikationen im Zeitraum 1997 bis 1999 Deutschland mit einem Anteil von 11%, nach den USA und Japan, Platz 3 und nach den Patenten mit über 15% Anteil Platz 2 ein (Europäische Kommission 2003/1). Innerhalb der EU nimmt Deutschland damit, was die absoluten Zahlen anbelangt, eine Spitzenposition ein (vdi-nachrichten 2003). Eine detailliertere Unterteilung der jeweiligen Positionen nach den einzelnen Anwendungs- oder Technologiefeldern wurde bisher noch nicht vorgenommen.

Wie oben bereits angedeutet, ist es im Moment schwierig, verlässliche Zahlen über erwartete Marktvolumen und Umsätze mit der Mikro- und Nanotechnologie zu erhalten bzw. abzuschätzen (Theis 2000, Luther 2003). Dies liegt zum einen daran, dass nur vereinzelt eine Marktdurchdringung stattgefunden hat, zum anderen sind die Anwendungsfelder der Nanotechnologie

¹⁰ Millipede-Festplatten (Millipede=„Tausendfüßler“): Mit Hilfe tausender Nadeln in der Größe von 10 nm werden in einen dünnen Plastikfilm Krater geschmelzt und somit EINS und NULL repräsentiert. Auf diese Art wird die Speicherdichte gegenüber herkömmlichen Magnetspeichern um das 20-fache erhöht: Geplant sind Chips mit einer Speicherdichte von 80 GB/cm².

Tissue Engineering: Gewebe-Rekonstruktion

CNT (Carbon Nanotubes): Kohlenstoff-Nanoröhrchen

GMR (Giant Magneto Resistance): Untersucht wird der Magnetowiderstand in dünnen Multilagenschichtsystemen. Diese Systeme zeigen für Schichtdicken in nm-Bereich den sogenannten Giant Magneto Resistance. Diese Eigenschaften sind wichtig für sowohl das Grundverständnis des Magnetotransports in solchen Systemen als auch für Anwendungen in der Sensor- und Speichertechnologie

¹¹ Hullmann 2002 untersucht in einer Studie den internationalen Wissenstransfer anhand der Nanotechnologie. Hierzu werden unterschiedliche Indikatoren wie beispielsweise die Anzahl der Publikationen, Patente etc. herangezogen.

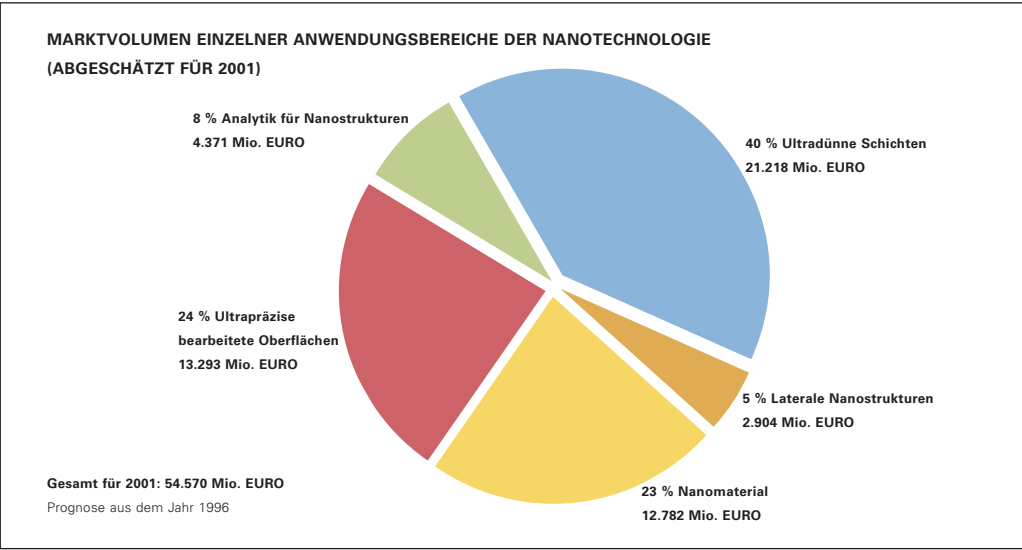
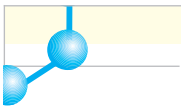


Abb. 7: Marktvolumen einzelner Anwendungsbereiche der Nanotechnologie – abgeschätzt für 2001 (Bachmann 1998)

sehr weit gestreut (siehe Tabelle 2). Eine Abgrenzung der Anwendungsfelder ist deshalb noch mit viel Unsicherheiten und Zuordnungsproblemen verbunden. Bachmann (1998) hat jedoch für die fünf Forschungsfelder, nach denen das BMBF und der VDI die Nanotechnologie einteilt und fördert, das Marktvolumen für das Jahr 2001 auf insgesamt rund 55 Mrd. Euro abgeschätzt. Nach Christ, Präsident des VDI, wurde im Jahr 2003 bereits ein Umsatz von 100 Mrd. Euro erzielt (Christ 2003). In Tabelle 3 und Abbildung 7 ist das Marktvolumen für 2001, abgeschätzt im Jahr 1998, mit der Steigerungsrate gegenüber dem abgeschätzten Wert von 1996 aufgeführt. Den „lateralen Nanostrukturen“ wurde in diesem Zeitraum eine Marktvolumensteigerung von über 600% zugetraut, allerdings ist das absolute Volumen noch recht gering gegenüber den „ultradünnen Schichten“ (Tabelle 15 bis Tabelle 19 im Anhang, Kapitel 10.4).

3.4 FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Die Mikro- und Nanotechnologie wurde und wird zu einem großen Teil noch aus öffentlichen Forschungsmitteln finanziert. Regierungen, Ministerien und Forschungseinrichtungen haben weltweit eigene Programme aufgesetzt, um die Forschung in der Nanotechnologie zu fördern. Die USA haben im Zeitraum 1997 bis 2002 insgesamt 1.857 Mio. US\$ für Forschung und Entwicklung im Bereich der Nanotechnologie ausgegeben. Im Jahr 2003 werden es allein 710 Mio. US\$ sein. Im selben Zeitraum wurden in West-Europa 1.281 Mio. US\$ in Forschung und Entwicklung investiert. Im Vergleich zu den Ausgaben 1997 sind die Ausgaben bis 2002 um 500% gestiegen (Greenpeace 2003). Tabelle 4 zeigt einen Überblick über die internationalen (USA und EU), nationalen (BMBF) und regionalen Forschungsprogramme in Baden-Württemberg mit Bezug zur Nanotechnologie und Relevanz für den Umweltschutz (nach Hyder 2003 und eigener Recherche). Eine ausführliche Darstellung ist im Anhang in Kapitel 10.7, Tabelle 23 abgebildet.

TABELLE 3: MARKTVOLUMEN EINZELNER FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE DER NANOTECHNOLOGIE – ABGESCHÄTZT FÜR 2001 (BACHMANN 1998)

BEREICH	WELTMARKTVOLUMEN GESAMT IN MIO. EURO	STEIGERUNG GEGENÜBER 1996
Ultradünne Schichten	21.218	110%
Laterale Nanostrukturen	2.904	638%
Nanomaterialen	12.782	85%
Ultrapräzise bearbeitete Oberflächen	13.293	100%
Analytik für Nanostrukturen	4.371	203%

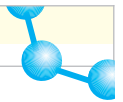
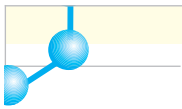


TABELLE 4: INTERNATIONALE, NATIONALE UND REGIONALE FORSCHUNGSPROGRAMME MIT BEZUG ZUR NANOTECHNOLOGIE UND RELEVANZ FÜR DEN UMWELTSCHUTZ (NACH HYDER 2003 UND EIGENE RECHERCHE; STAND DEZEMBER 2003)

LAND	FORSCHUNGSPROJEKT	BUDGET MIO. EURO	BEZUG DER MIKRO- UND NANOTECHNOLOGIE ZUR UMWELTTECHNIK
USA	National Nanotechnology Initiative (NNI) www.nano.gov	2002: 500 2003: 710 2004: 847	Nanoskalige Prozesse zum Umweltschutz Mögliche Auswirkungen der NT auf Umwelt und Gesellschaft
EU	Nanoforum www.nanoforum.org	2002-2006: 1.300 6. Rahmenprogramm	Neue öko-effiziente Produktionsverfahren Umwandlung/Behandlung von Produktionsabfällen
Deutschland	Nanonet www.nanonet.de	2002: 88,5 2003: 112	Technikfolgenabschätzung, Risiken Nachhaltigkeit und Nanotechnologie (Steinfeldt 2003) Ökologische Implikationen aus Förderschwerpunkten
Deutschland	BMBF Rahmenprogramm Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft – WING (bis 2003 MaTech Werkstoffe für Zukunftstechnologien)	1994-2003: 530	Ressourcen- und energieeffizientere Produktionsverfahren Batterien/ Wasserstoffspeicher durch Nanostrukturen Ökologische Implikationen von Oberflächenbearbeitung
Deutschland	BMBF Rahmenprogramm „Nanotechnologie erobert Märkte“ NanoMobile, NanoLux, Nano for Health, NanoFab, NanoChance	2004: 250	--
Deutschland	BMBF Förderkonzept: Mikrosystemtechnik 2000+	1990-2000: 1.031	Mikrosystemtechnik in der Umwelttechnik: Messtechnik, Regeltechnik
BaWü	Förderprogramm BWPLUS	Jährlich: 1,5-2 ca. 20 Projekte mit je 75.000 bis 100.000 Euro	Energieeffizienz und -umwandlung Innenraumbelastung Umweltgerechte Produktionstechnik Umweltverträgliche Verwertung und Beseitigung Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen (*) Stoffflüsse umweltrelevanter Substanzen (auch öko- und humantoxische Wirkungen) (*)
			(*) Forschungsprojekt mit Nanotechnologiebezug in diesem Schwerpunkt bereits erfolgt
BaWü (WiMi)	Forschungsschwerpunktprogramm für die Universitäten des Landes		Weniger ressourcen- und energieintensive Produktionsverfahren (Mikrosystemtechnik, Nanotechnologie und Neue Materialien, Verfahrenstechnik)
BaWü	Landesstiftung (Projektträger ist das VDI Technologiezentrum, umgesetzt durch die Landesstiftung BaWü)	--	Forschungsprogramm "Funktionelle Nanostrukturen" gemeinsam mit dem Kompetenznetz Funktionelle Nanostrukturen, Landesstiftung als Fördergeber



Die Europäische Union hatte bereits in ihrem 4. und 5. Forschungsrahmenprogramm einige Projekte der Nanotechnologie gefördert. Im 6. Rahmenprogramm fließen 7,5% der beantragten Forschungsgelder, rund 1,3 Mrd. Euro, in vorrangige Themenbereiche der Nanotechnologieforschung und Nanowissenschaften, wissensbasierte multifunktionale Werkstoffe und neue Produktionsprozesse und Geräte. Insgesamt werden 3,42 Mrd. Euro für Projekte im Bereich „Industrial Technologies“ und „Materialen“ bereitgestellt. Darin werden umweltfreundliche Technologien, wozu auch Anwendungen der Nanotechnologie gezählt werden, eine zentrale Rolle spielen (Europäische Kommission 2003/2).

In Deutschland fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) seit Beginn der 90er Jahre im Rahmen der Programme „Materialforschung“ und „Physikalische Technologien“ sowie „Laserschaltung“ und „Optoelektronik“ die Nanotechnologie. 1998 wurden auf Initiative des BMBF Kompetenzzentren mit Nanotechnologiebezug gegründet, die als Vernetzungsförderung neben die Verbundförderung treten.¹² Die Kompetenzzentren sind mit ihrem Aufgabenschwerpunkt in Tabelle 2, linke Spalte, dargestellt, sowie im Anhang in Kapitel 9.5 aufgeführt. Die Aufgaben der Kompetenzzentren liegen in den Bereichen

- ☐ der Öffentlichkeitsarbeit,
- ☐ der Aus- und Weiterbildung,
- ☐ der Schaffung eines wirtschaftlich attraktiven Umfeldes und
- ☐ der Beratung vor allem industrieller Interessenten auf dem jeweiligen Gebiet der Nanotechnologie.

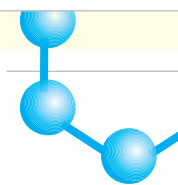
Darüber hinaus wird von Seiten des BMBF eine erste Koordinierung von FuE-Aktivitäten und Projektskizzen sowie die Beratung von Antragstellern über die Zentren als sinnvoll erachtet. Das BMBF hat im Zeitraum 1998 bis 2003 als Anschubfinanzierung jeweils eine Geschäftsstelle pro Kompetenzzentrum unterstützt, insgesamt waren dies 9,7 Mio. Euro (BMBF 2002). Neben dieser Vernetzungsförderung hat das BMBF Verbundprojekte in den letzten sechs Jahren mit insgesamt 340 Mio. Euro gefördert, dabei wurden die Ausgaben kontinuierlich gesteigert.

Tabelle 5 listet die Ausgaben europäischer Regierungen und der Europäischen Kommission für die Nanotechnologie im Zeitraum 1998 bis 2000 auf (Compano 2001 zitiert in Greenpeace 2003).

TABELLE 5: AUSGABEN DER EUROPÄISCHEN REGIERUNGEN FÜR DIE NANOTECHNOLOGIE VON 1998 – 2000 (TOP SECHS)
(COMPANO 2001 ZITIERT IN GREENPEACE 2003)

LAND/INSTITUTION	1998 IN MIO. EURO	1999 IN MIO. EURO	2000 IN MIO. EURO
Deutschland	49,0	58,0	63,0
Vereinigtes Königreich	32,0	35,0	39,0
Europäische Kommission	26,0	27,0	29,0
Frankreich	12,0	18,0	19,0
Niederlande	4,0	6,2	6,9
Schweden	3,4	5,6	5,8
Europa gesamt	139,0	164,8	184,0

¹² Siehe unter www.nanonet.de und www.bmbf.de/5462_6591.html



Die industrieseitigen deutschen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in der Nanotechnologie konzentrieren sich hauptsächlich auf die Branchen Grundstoffe und Chemie, in denen deutsche Unternehmen traditionell stark vertreten sind (Harper, 2002). Ein großer Anteil des Geschäfts entfällt, wie beispielsweise Patentanmeldeauswertungen zeigen (siehe Reiterberger 2002, Hullmann 2001, Hass et al 2003, und eigene Recherche in Abbildung 11), auf etablierte Konzerne wie BASF, Degussa, Henkel oder Siemens. Diese Unternehmen haben eigene Forschungsabteilungen und sind in die Arbeiten der BMBF Nano-Kompetenzzentren eingebunden. Den großen Unternehmen steht eine Vielzahl von kleinen Start-Ups gegenüber, die ebenfalls auf dem Gebiet der Nanotechnologie forschen und Produkte entwickeln. Hierbei handelt es sich oftmals um Ausgründungen aus dem universitären und nichtuniversitären Forschungsbereich. KMU sind bisher noch keine treibende Kraft in der Forschung und Entwicklung von Nanotechniksystemen. Gründe dafür mögen in den hohen Investitionskosten für Personal und Infrastruktur sowie einer unzureichenden Kooperation und Zusammenarbeit von Unternehmen liegen. Aufgrund der Anforderungen, die insbesondere die Nanotechnologie in Bezug auf Interdisziplinarität mit sich bringt, liegt es für KMU nahe, sich zu kooperativen Verbänden mit Kompetenzaufteilungen zusammenzuschließen. Hingegen gibt es in Deutschland bereits zahlreiche kleinere und auch mittlere reine Nano-Unternehmen, die als innovative Start-Ups gegründet wurden und die einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung leisten. Zu ihren Geschäftsfeldern zählen eher die Herstell-, Analyse- und Gerätetechniken, während die großen Unternehmen eher an Systemlösungen mit hohen Umsätzen interessiert sind (Bachmann 2003/1).

3.5 TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG

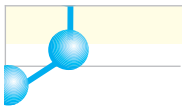
Bereits zu einem relativ frühen Zeitpunkt wurde und wird die Nanotechnologie unter den Aspekten der Technikfolgen analysiert und bewertet. Neben Unternehmen, die eigene toxikologische Untersuchungen

durchführen, hat das BMBF als begleitende Maßnahme zur Förderung der Nanotechnologie eine Studie zu „Nanotechnologie und Nachhaltigkeit“ in Auftrag gegeben (BMBF 2002, Steinfeldt 2003). Auch die U.S. Environmental Protection Agency (EPA) hat ein 4 Mio. US\$ Programm aufgesetzt, um die potenziellen Risiken der Nanotechnologie zu erforschen – dem stehen allerdings rund 859 Mio. US\$ gegenüber, die für Nanoforschung und -entwicklung im Jahr 2004 bereitgestellt werden (Feder 2003). Ein besonderes Augenmerk wird den Nanopartikeln und deren Auswirkung auf die Gesundheit zuteil. Untersuchungsgegenstand ist deren Ausbreitung und Auswirkung auf den menschlichen Organismus¹³ – sowohl die Blut-Hirn-Schranke, als auch Auswirkungen auf die Zellfunktionen. Zum jetzigen Zeitpunkt kann weder eine Aussage zur Gefährlichkeit der Nanopartikel, noch zu deren Ungefährlichkeit gemacht werden (Colvin 2003). Pritschow (2003) fasst zusammen, dass „das Wissen um die Sicherheits-, Umwelt- und Gesundheitsfolgen von Nanotechnologie gering ist“. Weiter ist zu berücksichtigen, dass mit dem noch recht jungen Entwicklungsstand der Nanotechnologie auch Erkenntnisse über Langzeiteffekte und Produktverhalten – sowohl positive wie negative – fehlen, beispielsweise wie lange Eigenschaften der Materialbeschichtung dem Produkt erhalten bleiben.

3.6 HEMMNISSE

Neben den Potenzialen der Mikro- und Nanotechnologie für den Umweltschutz können auch Hemmnisse identifiziert werden, die einer Wissensdiffusion oder einem Technologietransfer in andere Wissenschaftsdisziplinen und allgemein in die Gesellschaft entgegenstehen. Neben dem generellen Verstehen der Vorgänge auf der Mikro- und Nanoebene kommt der Infrastruktur, der finanziellen Mittelbereitstellung und dem qualifizierten Fachpersonal im FuE-Bereich und Produktion eine große Bedeutung zu. Treiber eines Nanotechnologieeinsatzes in der Umwelttechnik ist zudem die Reduktion der Kosten von Nanomaterialien sowie die Verbesserung der Funktionalität von Produkten und

¹³ vgl. die Untersuchungen zu den Auswirkungen von Rußpartikeln aus der Dieselmotoren-Emission



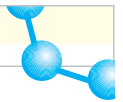
Technologien. Fragestellungen der Normierung, der Wertschöpfungskette mit Herstellungsprozess, Gewährleistung, Finanzierung etc., die noch vor einer Anwendung stehen, sind noch völlig unbeantwortet.

Die Venture Capital Gesellschaft 3i hat zusammen mit dem Institute of Nanotechnology und der Economist Intelligence Unit eine Umfrage unter Forschern aus Wissenschaft und Industrie, Unternehmensgründern, Investmentgesellschaften und Banken sowie Beratern, Anwälten und Politikern zu den größten Hürden und möglichen Ursachen einer Gegenreaktion gegen Nanotechnologie durchgeführt (3i White Paper 2002). Demnach ist das größte Hindernis das Erkennen kommerzieller Anwendung der Nanoforschung. Daraus

folgt, dass die Nanotechnologieforschung noch stärker als bisher aus Sicht der Kunden und Anwender, also vom Ende der Wertschöpfungskette betrachtet werden muss. Der gesuchten Anwendung, der so genannten „Killerapplikation“, steht ein Fehlversprechen über die Verbesserungsmöglichkeiten der Nanotechnologie als häufigste Ursache einer Gegenreaktion gegenüber. Dies hat sicher auch etwas mit den Visionen von Nanorobotern zu tun, die die Nanotechnologie zum einen in der Populärliteratur bekannt gemacht haben und sie plötzlich zum Gesprächsthema machten. Zum anderen wurden aber auch futuristische Szenarien entwickelt, die Ängste hervorriefen und bis heute nicht einmal in Ansätzen verwirklicht sind.

TABELLE 6: DIE GRÖSSTEN HÜRDEN EINES NANOTECHNOLOGIE-FORTSCHRITTS UND MÖGLICHE URSACHEN DER GEGENREAKTION (3I WHITE PAPER 2002)

WAS SIND DIE GRÖSSTEN HÜRDEN EINES FORTSCHRITTS?		WAS SIND MÖGLICHE URSACHEN EINER GEGENREAKTION AUF NANOTECHNOLOGIE?	
Erschwertes Sehen und Erkennen kommerzieller Anwendung der Forschung	36%	Fehlversprechen über die Verbesserungsmöglichkeiten durch die Nanotechnologie	47%
Mangelnde Fähigkeit zur Massenproduktion von nanobasierenden Produkten	17%	Zu starke Betonung von Größeneffekten anstatt der Nutzeneffekten	18%
Hohe Kosten von Nanomaterialien	12%	Misstrauen und ein Mangel an Bereitschaft der Allgemeinheit, die Wissenschaft zu verstehen	11%
Geringe Verfügbarkeit von Herstellungsanlagen für Nanomaterial	9%	Befürchtung, dass Nanotechnologie unvorhergesehene Umweltauswirkungen haben wird	5%
Schwierige Handhabung, Transport und Lagerung von Nanopulver	8%	Befürchtungen, ausgelöst durch eine Zunahme übermäßiger Überwachung	3%
Mangel an Koordination zwischen Finanzierung und Erfindergeist	5%	Die nahezu Unsichtbarkeit der Nanotechnologie	3%
Verfügbarkeit von analytischen Instrumenten	3%	Eine „Nano-Schere“, bei der die Reichen an dem Nutzen teilhaben, die Armen aber nicht	3%
Mangel an verfügbarer und geeigneter Ausbildung auf Universitätsniveau	2%	Andere/ keine Angaben	5%
Fragestellungen des geistigen Eigentums	0%		
Falsche Verbindung der Nanotechnologie mit dem „Dot-Com“ Boom und Fall	0%		
Andere/ keine Angaben	8%		



4 Mikro- und Nanotechnologie in der Umwelttechnik

4.1 MIKRO- UND NANOTECHNOLOGIE ALS SCHLÜSSELTECHNOLOGIE

Als Schlüsseltechnologie werden solche Technologien bezeichnet, die aktuell eine hohe wettbewerbsstrategische Bedeutung haben, das heißt sie haben einen signifikanten Einfluss auf die Wettbewerbsposition und sind fester Bestandteil des Technologiespektrums. Sie sind jedoch nicht allen Wettbewerbsteilnehmern zugänglich (Bullinger 1994). Es ist kritisch zu hinterfragen, ob man unter diesen Gesichtspunkten bei der Mikro- und Nanotechnologie schon von einer Schlüsseltechnologie für den Umweltschutz sprechen kann. Mit den – mehr oder weniger – großen Erwartungen, die von der Mikro- und Nanotechnologie für die Umwelttechnik ausgehen, müsste man vielleicht eher von einer Schrittmachertechnologie sprechen, die noch in der Entwicklungsphase steckt, bereits jetzt aber das Potenzial absehbar ist, um später wettbewerbsentscheidend zu sein. Es gibt jedoch keinen einheitlichen Entwicklungsstand der Mikro- und Nanotechnologie, wie Abb. 5 und Abb. 6 deutlich darstellen, weniger noch im Blick auf die Umweltsanwendung, sodass hier weiter von Schlüsseltechnologie gesprochen wird.

Hilfreich ist neben dem allgemeinen Verständnis von Schlüsseltechnologie die Betrachtung verschiedener Technologieebenen, um die strategische Bedeutung herausstellen zu können (siehe Aufzählung unten). Als „Technologie“ wird die Wissenschaft von der Technik oder von technologischen Produktionsprozessen verstanden.¹⁴ Mit Blick auf die Wettbewerbsrelevanz von Technologien allgemein – hier für den Umweltschutz – können diese nach dem folgenden Schema klassifiziert werden (Bullinger 1994):

□ NEUES TECHNOLOGIEFELD

Mikro- und Nanotechnologie führt zu neuen Anwendungsmöglichkeiten im Umweltschutz auf Grund bisher nicht gekannter Funktionalitäten oder notwendiger Einsatzfelder und damit zu einem neuen Geschäfts- und Technologiefeld.

Beispiel: Der Nachbau der Photosynthese durch Nanotechnologie führt zu neuen Anwendungs-

möglichkeiten und Energieversorgungssystemen sowie zu einer neuen Möglichkeit der CO₂-Reduktion durch Biomasseproduktion.

□ KONKURRENZTECHNOLOGIE/SUBSTITUTIONSTECHNOLOGIE

Mikro- und Nanotechnologie ersetzt bekannte Technologien oder den bisherigen Stand der Technik im Umweltschutz in einem bekannten Aufgabenfeld.

Beispiel: Nanoskalig strukturierte Füllkörper können zur Ab- und Adsorption und als katalytische Reaktoren in Reinigungsverfahren eingesetzt werden und ersetzen dann etablierte Technologien wie Aktivkohle.

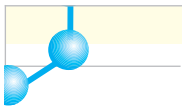
□ KOMPLEMENTÄRTECHNOLOGIE

Mikro- und Nanotechnologie erleichtert und/oder verbessert einen Hilfsprozess im Umweltschutz.

Beispiel: Neue elektronische Bauelemente und Batteriesysteme auf Basis der Nanotechnologie könnten kleiner und wesentlich energieeffizienter als bisherige Systeme sein. Damit wird eine ausdauernde Energieversorgung möglich, die auch eine fortlaufende und autarke Umweltbeobachtung oder Datenweitergabe per Funk – auch an schwer zugänglichen Orten oder beispielsweise im Untergrund – erlaubt, die so bisher nicht oder nur sehr schwer möglich war.

Aus Sicht des Anwendungsfeldes „Umweltschutz“ hat die Mikro- und Nanotechnologie für alle drei vorgestellten Technologiebezüge prinzipiell eine Relevanz. Zukünftige innovative Erkenntnisse und Erfindungen können einen Lösungsbeitrag zu Problemen im Umweltschutz leisten, die bisher nicht als solche wahrgenommen oder als Utopien klassifiziert wurden. Als Beispiel seien hier Überlegungen angeführt, wie zukünftig nicht nur die CO₂-Emission reduziert, sondern bereits emittiertes CO₂ rückgebunden werden kann. Weitaus konkreter ist die Herausforderung der Hormonbelastung im Grund- und Abwasser, für deren Entfernung noch keine gängigen Technologien existieren. Hier könnten sich neue Anwendungsfelder für die Nanotechnologie auftun.

¹⁴ Im Gegensatz dazu bezeichnet „Technik“ die materiellen Ergebnisse der Problemlösungsprozesse (Bullinger 1994)



4.2 ANWENDUNGSFELDER DER MIKRO- UND NANOTECHNOLOGIE IN DER UMWELTTECHNIK

Die Bedeutung der Nanotechnologie für den Umweltschutz wird in der Literatur an unterschiedlicher Stelle hervorgehoben. Neben branchenspezifischen Innovationsbeiträgen der Nanotechnologie – Bachmann (1998) zählt dazu die Medizin/Pharmazie, die Feinmechanik/Optik/Analytik, die Elektronik/Informationstechnik sowie die Chemie/Materialwirtschaft – wird das Potenzial zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen aufgeführt. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Produkt- und Anwendungsfelder der Nanotechnologie in den Aufgabenfeldern Ökologie, Ressourcenschonung, Energieerzeugung und Prozesssicherheit (Bachmann 1998).

Für den Bereich der Konkurrenz- oder Substitutionstechnologie können schon einige wenige konkrete Anwendungsbereiche spezifiziert werden, die sowohl in der Literatur angeführt werden, als auch in den Expertengesprächen deutlich wurden – allerdings wurden diese oftmals als „indirektes“ Anwendungsfeld bezeichnet, was die bisher relativ geringe Bedeutung der Umwelttechnik für die Entwicklung der Nanotechnologie unterstreicht. Bekannte Einsatzschwerpunkte von Funktionalitäten der Nanotechnologie im Umwelt-

schutz sind demnach im Bereich Energie, reinigungsfreundliche Oberflächen und Membranen zu finden. Es gibt bis heute jedoch kaum konkrete Anwendungsbeispiele für einen Einsatz der Nanotechnologie in der Umwelttechnik (siehe auch Abbildung 6).

Die Strukturierung der Nanotechnologie nach den Entwicklungslinien oder Technologiebranchen (wie in Tabelle 2 dargestellt) lässt nicht direkt auf Einsatzfelder im Umweltschutz schließen. Viele mögliche Produkte der Nanotechnologie haben einen indirekten positiven Einfluss auf die Umwelt, wie schmutzabweisende Oberflächen, die zu einer Einsparung von chemischen Reinigungsmitteln führen oder die Miniaturisierung, die zur Einsparung von Rohstoffen führen kann. Hilfreicher scheint es zu sein, über die bereitgestellten Funktionalitäten und Effekte auf Anwendungsmöglichkeiten im Umweltschutz zu schließen.

Erste Produkte mit „Lotus“-Effekt werden am Markt angeboten, mit deren Hilfe auch Ressourcen, vor allem Reinigungsmittel, eingespart werden können (Dambacher 2003, DLR 2003). Diese Technologie verbessert die Eigenschaft von Oberflächen und ist somit „nur“ eine Optimierung einer bestehenden Funktionalität – auch wenn sie auf ganz anderen Prinzipien bzw. einem

TABELLE 7: BEISPIELE FÜR GESELLSCHAFTSRELEVANTE PRODUKTE UND ANWENDUNGSFELDER DER NANOTECHNOLOGIE (BACHMANN 1998)

ÖKOLOGIE	RESSOURCENSCHONUNG
Selektive Chemie	Gezieltes Materialdesign
Kolloid-Membran	Schaltbare Werkstoffeigenschaften
Selektive Katalysatoren	Neuartige Legierungen/Werkstoffe
Sensitiver Schadstoffnachweis	Leichtere Trag- und Strukturbauteile
ENERGIEERZEUGUNG	PROZESSSICHERHEIT
	Kompakte Zeolithreaktoren
	Neuartige Klebtechnologien
Gasspeicher	Kopierschutz (CD/Geldscheine)
Photovoltaische Zelle aus Nanopartikel-Kombination	Eichnormal auf atomarer Skala
Kompakte Batterie und Brennstoffzelle mit großer Oberfläche	Selbstorganisationsprozesse
	Präzise Bearbeitungsverfahren
	Qualitätskontrolle auf atomarer Skala



TABELLE 8: ERLÄUTERUNGEN ZU DEN BEWERTETEN NANOTECHNOLOGIEN

NANOTECHNOLOGIE	PRODUKTE ODER FUNKTIONALITÄTEN
Nanoelektronik	Speicher/Prozessoren, Lithografie, Wafer-Oberflächen, Bio-Chips auf Basis von Molekülen, Millipede-Datenspeicher
Nanooptik	Röntgenoptik
Nanofabrikation	Herstellungsmethoden für Strukturen, Schichten auf Nanoskalen, Elektromechanische Systeme
Nanomaterialien	resistente Beschichtung, Bio./chem. Reaktive Sensoren, GMR-Sensoren, Membran, Datenspeicher, Katalysatoroberflächen, Farbeffekte, Keramik, Sol-Gel-Körper, Polymere-Komposite, Korrosionsinhibitoren, Carbon-Nanotubes
Nanochemie	Wirkstofftransport, Schaltbare Systeme, Self Assembly, Quantenpunktsolarzellen, Magnetische Fluide, Nanopartikel, Membran, Carbon-Nanotubes als H ₂ -Speicher, Katalytische Carbon-Nanotubes
Nanobiologie	Bio2Nano (hochselektive bio-basierende Filter, bio-basierte Schaltkreise), Nano2Bio (Bio-chip-Technologie, nanopartikelgestützte Gentherapie, Tissue Engineering)
Nanoanalytik	Erfassung von Mikro- und Nanostrukturen, Sensoren

neuen Verständnis beruht. Generell kann die Frage gestellt werden, wann bzw. unter welchen Umständen eine Mikro- oder Nanotechnologie in der Umwelttechnik zum Einsatz kommt. Neben dem Problemlösungsbeitrag („Reinigung eines Abluftstroms“) kommt diese neue Technologie dann zum Einsatz, wenn sie zum Beispiel kostengünstiger, robuster, effizienter, einfacher zu handhaben ist als die bestehende Technologie oder sie weniger Hilfs- und Betriebsmittel oder Energie verbraucht (siehe beispielsweise Barczewski et al. 2003).

4.3 BEWERTUNG VON ANWENDUNGSFELDERN DER MIKRO- UND NANOTECHNOLOGIE IN DER UMWELTTECHNIK

Um die Mikro- und Nanotechnologie für eine Bewertung hinsichtlich der Anwendungsfelder im Umweltschutz gegenüberstellen zu können, ist eine Strukturierung notwendig. Tabelle 2, Tabelle 3 und Abbildung 6 zeigen verschiedene Strukturierungsansätze, wie sie in der Literatur vorgenommen werden. Sie können nicht konsistent und eindeutig ineinander überführt werden, da ihnen unterschiedliche Betrachtungsweisen zugrunde liegen.

Da es sich bei der Mikro- und Nanotechnologie um eine Querschnittstechnologie handelt, scheint für die Bewertung eine Gruppierung nach Branchen zu

kurz gegriffen, zumal von unterschiedlichen Experten geäußert wurde, dass die Nanotechnologie einen indirekten Einfluss auf die Umwelt hat. Weiter fehlt in der Literatur oftmals in dieser Branchenaufzählung der Umweltschutz. Für die Bewertung wird hier viel mehr die Einteilung nach technologischen Teildisziplinen (Nanooptik, Nanobiologie, usw.) zugrunde gelegt. Hilfreich scheint der direkte Fokus auf die Technologien zu sein, denen dann einzelne Produkte oder angewandte Funktionalitäten zugrunde liegen. Damit wird auch stärker der Anwendungscharakter betont, der in dieser Studie im Zentrum steht. Tabelle 8 listet die bewerteten Nanotechnologien auf und erläutert deren Funktionalitäten. Tabelle 9 bewertet diese Technologien anhand einer Matrix.

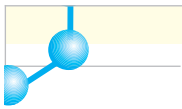


TABELLE 9: BEWERTUNG EINZELNER NANOTECHNOLOGIEN FÜR DEN EINSATZ IN DER UMWELTTECHNIK

	ABFALLWIRTSCHAFT		GEWÄSSERSCHUTZ		LUFTREINHALTUNG		BODENSANIERUNG		UMWELTFREUNDLICHE PRODUKTION	UMWELTFREUNDLICHE PRODUKTGESTALTUNG		UMWELTFREUNDLICHE ENERGIESYSTEME	
	Vermeidung	Behandlung	Monitoring/Analyse	Reinigung/Aufbereitung	Monitoring/Analyse	Reinigung	Monitoring/Analyse	Sanierung	Ressourceneffizienz	Werkstoffauswahl	Energieeffi. Produkte	Energiesysteme	Energiespeicherung
Nanoelektronik	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◐	◐	◐
Nanooptik	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Nanofabrikation	○	○	○	○	○	○	○	○	◐	○	◐	○	○
Nanomaterialien	◐	◐	●	●	●	●	◐	◐	●	●	◐	◐	●
Nanochemie	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●	●
Nanobiologie	○	○	◐	○	◐	○	◐	○	◐	○	○	◐	○
Nanoanalytik	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	○	○	○

Legende:

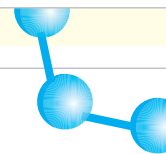
- = konkrete Einsatzmöglichkeiten ersichtlich
- ◐ = Einsatzmöglichkeiten in der Forschung beschrieben
- ◑ = Einsatzmöglichkeiten denkbar
- = Keine Aussage möglich

Einsatzfelder der Nanotechnologie im Umweltschutz werden hauptsächlich für Nanomaterialien, Nanochemie sowie in der Nanoelektronik und Nanoanalytik gesehen. Hier sind es überwiegend die sensorischen, katalytischen und trennenden Funktionalitäten, die Beschichtungen, die Energiesysteme und Energiespeicherung.

Die folgenden Ausführungen erläutern die in Tabelle 9 identifizierten Anwendungsfelder der Nanotechnologie in der Umwelttechnik.¹⁵

Im Anwendungsbereich der katalytischen und trennenden Verfahren ist ein Einsatz der Membrantechnologie, Katalytische Oberflächen, Ionenaustauscher oder Elektroden-Trennverfahren in der Reinigung und Aufbereitung von Wasser, Luft oder Bodenkontaminationen denkbar. Solche Technologien beruhen beispielsweise auf katalytischen Nanopartikeln auf Grundlage von Fe(II) und Fe(II)-Precursoren, nanoskaligen Kohlenstoffröhren und -füllkörpern oder Zeolithen. Weiter wird an gleichzeitig sensorischen und reagierenden synthetischen Oberflächen und Partikeln geforscht. Der Bereich

¹⁵ Im Anhang in Kapitel 9.6 sind in Tabelle 22 alle in der Literatur beschriebenen möglichen Einsatzfelder der Mikro- und Nanotechnologie im Bereich der Umwelttechnik aufgeführt.



der katalytischen und trennenden Verfahren ist auch für den Bereich der Chemie (Reaktionstechnik) sowie Pharmazie und Medizin (Wirkstoffproduktion) interessant.

Im Anwendungsbereich der Oberflächen mit ausgewiesenen umweltfreundlichen Eigenschaften ist der Einsatz von Oberflächen mit bestimmten Funktionalitäten wie Nicht-Verschmutzung und Selbstreinigungseffekten, oder mit Dämmungseigenschaften sowie Schutzmechanismen, beispielsweise gegen IR/UV-Strahlung, denkbar. Die erstgenannten Eigenschaften zielen hauptsächlich darauf ab, den Reinigungsmittelverbrauch zu reduzieren, weiter finden solche Eigenschaften in der Solarzellentechnik Anwendung, weil damit die Verschmutzung der Panels reduziert und somit die Lichtstreuung verringert wird. Der Bereich der Oberflächen mit ausgewiesenen umweltfreundlichen Eigenschaften ist auch für den Bereich der Chemie (Farben und Lacke), aber auch im Automobilbau (Lacke, Oberflächenbeschichtungen) interessant.

Im Anwendungsbereich der Umwelt-Analytik ist der Einsatz von biosensorischen (bioorganischen) Oberflächen mit synthetisch hergestellten Rezeptoren aus Aminosäureketten, Barcode-Marker auf Substanzen zur späteren Detektion, Mikrosystemanalytik als Gaschromatographen oder Flammenionisationsdetektor, die sowohl winzige Abmessungen haben, als auch eine einfache, sparsame Vor-Ort-Analytik mit telemetrischen Fernabfragesystemen und den Verbleib beispielsweise in einem Bohrloch erlauben, denkbar. Der Bereich der Analytik ist auch für den Bereich der Medizin und Pharmazie (Nachweisverfahren) sehr interessant.

Im Bereich der Energiesysteme wird am Einsatz von Kohlenstoffröhren, Kohlenstoff-Füllkörpern oder nanokristallinem Magnesiumhydroxid als Speichermedien von Wasserstoff geforscht. Weiter finden Polymer-Nanokomposit als Protonen-Austauscher-Membran (PEM) für die Trennung von Wasserstoff, Sauerstoff und Wasser in der Brennstoffzelle, Nanoröhren als katalytischer Kraftstoffumwandler im Kraftstoffreformer oder nanoporöse Elektrodenkatalysatoren in der Brennstoff-

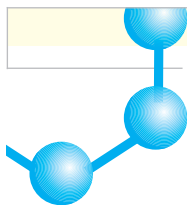
zelle, Zusammensetzungen aus Titandioxid (TiO_2) und Farbmolekülen gelöst in einem Elektrolyt als Solaranstrich, Molekulare Solarzelle, nanostrukturierte Materialien in Trocken- und Nassbatterien Anwendung.

Die Forschung im Bereich der Energiesysteme ist im Vergleich zu den oben aufgeführten Anwendungsfeldern diejenige, die am deutlichsten von einem konkreten Problem getrieben ist – sowohl einem gesellschaftlichen Problem (Energieversorgung und Treibhauseffekt) als auch einem technischen Problem (mobile Wasserstoffspeicherung für die Brennstoffzelle, Wirkungsgrad von Solarzellen), welches einen wirtschaftlichen Nutzen verspricht. Vergleichbar ist noch die Herangehensweise im Bereich der Meerwasserentsalzung, die ebenfalls eine hohe gesellschaftliche Relevanz, besonders für die Länder der dritten Welt, hat und ebenso kostengünstig, energieeffizient und handhabbar sein muss.

4.4 FAZIT

Die Nanotechnologie ist bis heute in stärkerem Maße von den Möglichkeiten neuer Werkstoffe und Verfahren, als von konkreten Anwendungsbezügen vorangetrieben worden. Praktische Umsetzungen in Produkten ergeben sich häufig „zufällig“ aus dem Nutzen eben dieser Werkstoffe und Verfahren und führen bisher in erster Linie zu einer Optimierung existierender Produkte und Verfahren. Die Mehrzahl der aktuell entwickelten nanotechnischen Produkte stellen keine radikalen Innovationen im Sinne neuer Produkte oder Anwendungen dar. Vielmehr handelt es sich um Weiterentwicklungen oder Optimierungen vorhandener Produkte. Oftmals ist diesen der Einsatz von Nanotechnologie weder anzusehen, noch wird mit diesem geworben. Die Vorteile nanotechnisch optimierter und verbesserter Produkte ergeben sich in der Konkurrenz zu bestehenden Produkten und Technologien daher nur aus den verbesserten Produkteigenschaften, wie z.B. schmutzabweisenden Oberflächen.

Trotz der genannten Einschränkungen im bisherigen Einsatz der Nanotechnologie wird diese von Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik als eine der Schlüsseltechnologien der kommenden Jahr-



zehnte angesehen. Wahre Entwicklungsschübe könnte die Nanotechnologie dann freisetzen, wenn es gelingt, Grundlagen, Prinzipien und Ergebnisse der Nanoformforschung zu grundsätzlich neuen Produkten zu kombinieren. Das wirtschaftliche und gesellschaftliche Potenzial der Nanotechnologie ist daher schwer abzusehen. Häufig mischen sich in den Prognosen tatsächliche wirtschaftliche Potenziale mit gesellschaftlich erwünschten und visionären Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnologie.

Während sich im Bereich der Elektronik und der Energietechnik konkrete und in großen Mengen vermarktete Produkte, wie z.B. leistungsfähige Prozessoren und Speicherchips oder verbesserte Solar- und Brennstoffzellen andeuten, so sind viele Anwendungen in der Medizin noch weit von einem praktischen Einsatz entfernt. Neben aufwändiger Grundlagenforschung steht hier aus wirtschaftlicher Sicht vor allem auch die Finanzierbarkeit neuer Anwendungen und Therapien im Mittelpunkt.

Die Umwelttechnik ist bisher keine treibende Kraft für die Forschung und Entwicklung in der Nanotechnologie. Die explizite Verbindung der Themen „Nanotechnologie“ und „Umwelttechnik“ konnte im Rahmen der Recherche zu dieser Studie nicht gefunden werden. Diese gilt für Forschungsaktivitäten ebenso wie für Produkte oder Dienstleistungsangebote. Es konnten jedoch einige konkrete, „indirekte“ Anwendungsfelder im Bereich der Umwelttechnik identifiziert werden, die bisherige Techniken ersetzen (z.B. in der Filter- und Membrantechnologie zur Reinigung von Wasser und Abwasser) oder zur technischen Verbesserung beitragen können (z.B. katalytische Oberflächen oder Wasserstoffspeicherung für Brennstoffzellen). Darüber hinaus sind völlig neue Anwendungsfelder der Nanotechnologie im Umweltschutz denkbar, zu diesen zählen beispielsweise die Felder der Analytik (z.B. in Form von Mikrosystemanalytik) und große Teile der Energiesysteme (z.B. in Form von Solaranstrichen, Molekularen Solarzellen oder Trocken- und Nassbatterien Anwendungen). Diese Anwendungen befinden sich jedoch aus Sicht der Nano-

technologie in frühen und forschungsintensiven Stadien.

Eine für diese Studie hilfreiche Einteilung der Nanotechnologie für den Einsatz in der Umwelttechnik verbindet die Nanotechnologie mit bekannten technischen Teildisziplinen zu den Feldern: Nanoelektronik, Nanooptik, Nanofabrikation, Nanomaterialien, Nanochemie, Nanobiotechnologie und Nanoanalytik. Einsatzpotenziale in der Umwelttechnik ergeben sich nach dieser Einteilung in den Feldern Nanomaterialien, Nanoanalytik und Nanochemie bzw. Nanoelektronik. Dies wurde sowohl durch die Auswertung der Fachliteratur als auch die Befragung von Experten bestätigt. Im Folgenden werden die genannten Bereiche mit ihren wichtigsten Anwendungen in der Umwelttechnik kurz aufgeführt.

NANOMATERIALIEN

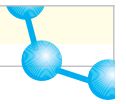
Zum Einsatz können katalytische und trennende Verfahren der Nanotechnologie kommen, beispielsweise in der Abwasser- und Abluftreinigung und -aufbereitung oder Meerwasserentsalzung. Oberflächen mit ausgewiesenen umweltfreundlichen Eigenschaften, die besonders reinigungsfreundlich sind (z.B. durch Lotus-Effekt), haben unterschiedliche Nutzeneffekte: Reinigungsmittel werden gespart, ein Bewuchs mit Mikroorganismen oder die Verschmutzung durch Stäube wird vermindert.

NANOANALYTIK

Der Bereich der Analytik, der auf nanoskaligen Effekten und Mechanismen aufbaut, wird insbesondere in den Feldern der Pharmazie oder Elektronik vorangetrieben. Es sind jedoch auch interessante Anwendungen für den Umweltschutz denkbar: z.B. biosensorische (bioorganische) Oberflächen mit synthetischen Aminosäureketten-Rezeptoren, Barcode-Marker auf Substanzen zur späteren Detektion oder miniaturisierte Analysysteme für Toxine, die durch geringen Energieverbrauch In Situ-Messungen erlauben.

NANOCHEMIE UND NANOELEKTRONIK

Im Bereich der Nanochemie und Nanoelektronik wird an Anwendungen im Bereich der Brennstoffzelle geforscht, beispielsweise zu Polymer-



Nanokompositen als Protonen-Austauscher-Membran oder Nano-Kohlenstoffröhren als Wasserstoffspeicher. Solarzellen aus Nano-Titandioxid (TiO_2) und Farbmolekülen gelöst in einem Elektrolyt sollen als Solar-Anstrich auf verschiedenen Flächen aufgetragen werden können. Diese Anwendungsfelder sind am deutlichsten mit einer umwelt- und gesellschaftsrelevanten Problemstellung gekoppelt, nämlich der der zukünftigen Energieversorgung.

Ein weiterer theoretischer Beitrag der Nanotechnologie könnte in der ressourceneffizienten Produktion liegen. Dieser ergibt sich, wenn ein Produkt mit Hilfe molekularer Bausteine von Grund auf zusammengebaut wird und damit unerwünschte Nebenprodukte und Abfall vermieden werden bzw. umweltfreundliche kohlenstoffbasierende Einsatzstoffe genutzt werden können. Die Potenziale in diesem Bereich sind theoretisch groß, es liegen bisher jedoch keine konkreten Ideen oder Anwendungen vor.

5 Mikro- und Nanotechnologie in der Umwelttechnik von Baden-Württemberg

5.1 VERGLEICH MIT DER WIRTSCHAFTSSTRUKTUR IN BADEN-WÜRTTEMBERG

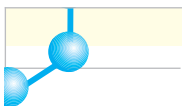
In Kapitel 4 wurden einzelne Nanotechnologien im Hinblick auf ihren Einsatz in der Umwelttechnik bewertet. Demnach werden die relevanten Einsatzfelder der Nanotechnologie im Umweltschutz hauptsächlich in den Technologiefeldern Nanomaterialien, Nanoanalytik, Nanochemie und Nanoelektronik gesehen. Als zentrale Funktionalitäten wurden hier die sensorischen, katalytischen, trennenden und speichernden Eigenschaften genannt, die in Beschichtungen, Energiesystemen und für die Energiespeicherung zum Einsatz kommen.

In den folgenden Abschnitten werden die Potenziale des Einsatzes der Nanotechnologie in der Umwelttechnik in Baden-Württemberg abgeschätzt. Für diesen Vergleich werden Daten zu den Umsätzen mit Waren und Dienstleistungen im Umweltschutz Baden-Württembergs, umwelttechnisch relevanten Patenten und Daten zur Forschungstätigkeit Baden-Württembergs auf dem Gebiet der Nanotechnologie herangezogen. Abschließend werden die Auswertungen dieser Daten mit den oben genannten Feldern verglichen und bewertet.

An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass es in Deutschland und in Baden-Württemberg wenige bzw. nur ungenaue Abschätzungen zu Wirtschaftsdaten im Bereich Mikro- und Nanotechnologie gibt. Dies wird sowohl in der Fachliteratur als auch in den Experteninterviews bestätigt (vgl. z.B. Luther 2003). Ursache für diese unzureichende Datenlage sind Schwierigkeiten bei der Abgrenzung der Mikro- und Nanotechnologie zu anderen Technologien (z.B. Feinwerktechnik, Biotechnik, etc.). Ein weiterer Grund liegt in dem noch relativ jungen Alter des Themenfeldes.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Bewertung des Einsatzes von Mikro- und Nanotechnologie in der Umwelttechnik liegt in der verfügbaren Form der Wirtschaftsdaten zum Umweltschutz begründet. Zwar sind ausreichende und detaillierte Daten zu Investitionen im Umweltschutz und zu Umsätzen mit Waren und Dienstleistungen für den Umweltschutz nach Umweltbereichen und Wirtschaftszweigen erhältlich.¹⁶ Diese geben jedoch nicht detailliert wieder, wie viele Unternehmen welcher Art in der Umwelttechnik gemäß der in Kapitel 2 vorgestellten Einteilung (Abfallwirtschaft, Gewässerschutz, Luftreinhaltung, Bodensanierung, etc.) tätig sind und

¹⁶ vgl. hierzu z.B. die Daten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg unter www.statistik.baden-wuerttemberg.de/UmweltVerkehr/Landesdaten



welchen Umsatz sie erwirtschaften. Unter den Stichwörtern „Umwelttechnik“ und „Nanotechnologie“ sind keine Daten zur Beschäftigung und zum Umsatz von Unternehmen vorhanden. In Kap. 4.4 wurde darauf hingewiesen, dass es neben einigen augenscheinlichen Anwendungsmöglichkeiten von Nanotechnologie auch zukunftssträchtige Felder im Bereich der Analytik und der Produktion gibt. Diese wurde in den folgenden Abschnitten nicht betrachtet, da hierzu keine Daten verfügbar sind.

Um trotzdem eine Vorstellung über die in Baden-Württemberg tätigen Unternehmen aus dem Bereich der Umwelttechnik und die möglichen Potenziale für den Einsatz von Mikro- und Nanotechnologie zu erhalten, wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Daten zu Umsätzen mit Waren und Dienstleistungen im Umweltschutz von Baden-Württemberg wurden nach den Feldern analysiert, in denen aufgrund der in Kapitel 4 beschriebenen Teilbereich der Mikro- und Nanotechnologie Anwendungspotenziale vermutet werden.

- Über Daten zu umwelttechnisch relevanten Patenten wurden nanotechnologische Innovationen in Baden-Württemberg erfasst. Dafür wurden Daten des Landesgewerbeamtes Baden-Württemberg ausgewertet.

- Die Forschungstätigkeit Baden-Württembergs auf dem Gebiet der Nanotechnologie wurde erfasst und mit der der Bundesrepublik verglichen.

Um Aussagen zu den Umsätzen in einzelnen Feldern der Umwelttechnik Baden-Württembergs zu machen, wurden Daten des Statistischen Landesamtes zu den Umsätzen mit Waren und Dienstleistungen im Umweltschutz von Baden-Württemberg herangezogen. Diese wurden nach jenen Feldern des Umweltschutzes sortiert, die in Kap 4.3 als relevant für den Einsatz von Mikro- und Nanotechnologie identifiziert wurden. Dazu zählen die Bereiche Abfallwirtschaft, Gewässerschutz, Luftreinhaltung und Bodensanierung (siehe Tabelle 9).

Abbildung 8 zeigt für die Jahre 1997 – 2001 steigende Umsätze für die Felder Abfallwirtschaft, Gewässerschutz und insbesondere Luftreinhaltung. Eine Nutzung

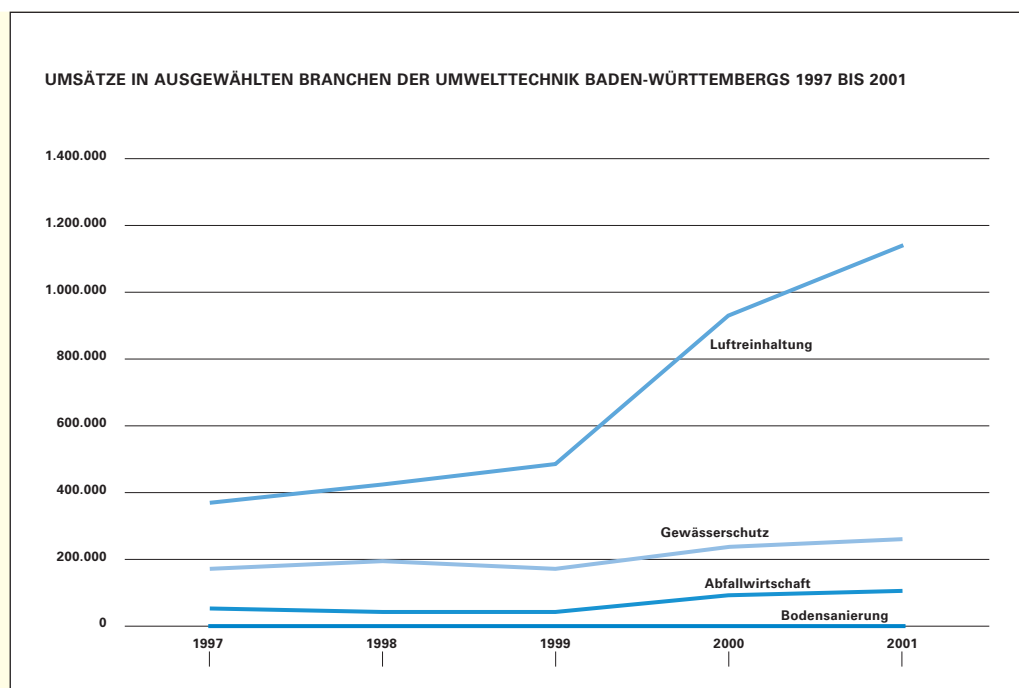


Abbildung 8: Umsätze in ausgewählten Branchen der Umwelttechnik Baden-Württembergs 1997 bis 2001
(eigene Bearbeitung nach Daten des Statistischen Landesamtes)

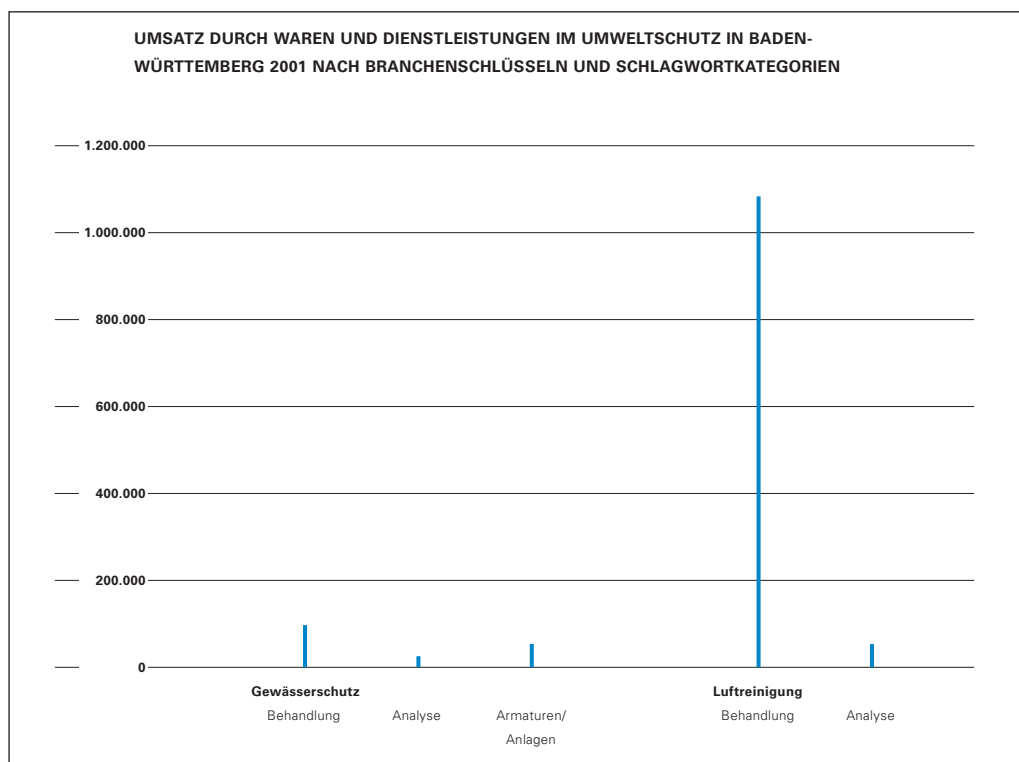


Abbildung 9: Umsatz durch Waren und Dienstleistungen im Umweltschutz in Baden-Württemberg 2001 nach Branchenschlüsseln und Schlagwortkategorien (Konsolidierte Daten, eigene Bearbeitung nach Daten des Statistischen Landesamtes)

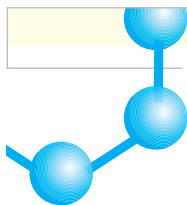
der Mikro- und Nanotechnologie in diesen umsatzstarken Feldern erscheint viel versprechend.

Um detaillierte Aussagen zu den oben aufgeführten potenziellen Feldern für die Nutzung der Mikro- und Nanotechnologie zu erhalten, wurden die Daten zu den Umsätzen nach Kombinationen der Schlagwortkategorien I: Abfallwirtschaft, Gewässerschutz, Luftreinhaltung und Bodensanierung sowie II: Behandlung, Armaturen und Analyse sortiert. Nach einer Zusammenfassung und Konsolidierung der Daten nach Branchenschlüssel und Schlagwortkategorien verbleiben nur wenige Daten mit dazugehörigen Umsätzen. Diese sind in Abbildung 9 dargestellt.

Es wird deutlich, dass die größten Umsätze derzeit in den Bereichen ‚Gewässerschutz Behandlung‘ und ‚Luftreinhaltung Behandlung‘ erzielt werden. Vergleicht man diese Daten mit der in Kapitel 4.3 getroffenen Aussage, dass konkrete Anwendungsbereiche der Nanotechnologie im Umweltschutz in den Bereichen katalytischer und trennender Verfahren sowie Oberflächen mit ausgewiesenen umweltfreundlichen Eigenschaften liegen, so wird deutlich, dass in den Feldern Luftreinhaltung und

Gewässerschutz am ehesten mit einem Einsatz der Technologie zu rechnen ist.

Eine Sonderstellung nehmen die energietechnischen Anwendungen in Form von Farbstoff-Solarzellen, Quantenpunktsolarzellen und nanostrukturierten Wasserstoffspeichern ein. Für die genannten Bereiche gibt es keine ausreichenden Daten, um ihr Potenzial zuverlässig abzuschätzen. Der Einsatz von solartechnischen Anwendungen und nanostrukturierten Wasserstoffspeichern ist zudem in hohem Maße von gesetzlichen Rahmenbedingungen und der Entwicklung der Umwelt- und Energiepolitik abhängig. Entsteht durch politische Rahmenbedingungen die Notwendigkeit, die genannten Anwendungen weiterzuentwickeln, so kann daraus ein starker Innovationsschub resultieren, in dem die Technologien zur industriellen Marktreife gebracht werden. Der Einsatz von Nanotechnologie in der Brennstoffzellentechnik, besonders für die Speicherung von Wasserstoff, ist zudem ein Thema, das von Seiten der Automobilindustrie weltweit stark vorangetrieben wird. In allen genannten Technologien könnte Baden-Württemberg aufgrund seiner starken Stellung sowohl in der Solar- als auch der Kfz-Industrie eine Vorreiterrolle zukommen.



Eine Möglichkeit, die Potenziale für den aktuellen Einsatz von Mikro- und Nanotechnologie in der Umwelttechnik abzuschätzen, kann die Anmeldung von Patenten sein. Mit Hilfe einer Patentsuche wurden Patentanmeldungen mit dem Stichwort „Nano“ und „Umwelt“ erfasst (siehe Abbildung 10), die Anzahl der angemeldeten Patente erlaubt einen Rückschluss auf den Stand der industriellen und angewandten Forschung. Weiter zeigt die Analyse nach unternehmerischen Patentanmeldern die Aktivitäten der einzelnen Unternehmen sowie die Unternehmensstruktur im Bereich der angewandten Forschung (siehe Abbildung 11). Eine Auswertung nach der Stadt der Anmelde-Adresse in Baden-Württemberg erlaubt zusätzlich die Identifikation von regionalen Hot Spots (Abbildung 12).

Für die Analyse wurde eine Patentrecherche in der EPAT-Datenbank¹⁷ durchgeführt.¹⁸ Die Recherche ergab, dass es in Deutschland insgesamt 664 Patentanmeldungen gibt, die den Begriff „Nano“ in der Patentbeschreibung enthalten, davon wurden 395 Patente von Unternehmen angemeldet, 139 von Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen sowie 130 Patente von anderen, nicht näher zuordenbaren Anmeldern (beispielsweise Privatpersonen).¹⁹

Innerhalb der recherchierten Gesamtmenge wurde für die Analyse der Anwendungsfelder „Nanofiltration“ und/oder „Membran“, „Katalysator“, „Nanopartikel“, „Oberflächen“ und „Analytik/Sensoren“ die jeweilige Anzahl der angemeldeten Patente erfasst.²⁰ Die Ergebnisse

der Recherche sind in Abbildung 10 zusammengefasst.

Die Patentrecherche bestätigt wiederum die in Kap. 4.3 ausgewiesenen Anwendungsbereiche der Nanotechnologie im Umweltschutz. Über drei Viertel der aktuellen Patente zu den genannten Stichwörtern werden in den Bereichen Oberflächen, Nanopartikel und Nanofiltration angemeldet. Hierbei kann es sich um Patente handeln, die katalytische und trennende Verfahren sowie Oberflächeneigenschaften zum Inhalt haben. Sieht man die angemeldeten Patente als einen Indikator für die aktuelle Forschungstätigkeit an, so legt er eine relevante und messbare Aktivität in den in Kap. 4.3 identifizierten Anwendungsfeldern Nanomaterialien und Nanochemie nahe. Für den Umweltschutz bzw. die Umwelttechnik könnten daraus Anwendungen in den Feldern Gewässerschutz und Luftreinhaltung resultieren.

Die Analyse der Unternehmen, die allgemein „Nano“-Patente (nicht allein mit Umweltbezug) angemeldet haben, zeigt, dass hauptsächlich große Unternehmen aus dem Bereich Chemie, Pharmazie, Automobil und Elektronik in der angewandten, produktbezogenen Forschung der Nanotechnologie aktiv sind (Abbildung 11). Eine weitere standortbezogene Unterteilung ist nicht möglich, mit DaimlerChrysler und Bosch kommen aber zwei große Unternehmen aus Baden-Württemberg.

Die größten Patentanmelder aus dem universitären und nichtuniversitären Bereich sind das Institut für neue Materialien (INM), Saarbrücken, mit 34 Patenten, die Institute der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) und

¹⁷ Die Datenbank EPAT enthält bibliografische Daten, Abstracts und Ansprüche zu Anmeldungen und Patenten des Europäischen Patentamtes (EP-Dokumente). Es können Dokumente im Zeitraum 1978 bis heute recherchiert werden. Eine Online-Suche (ohne Ansicht der Patent-Beschreibung) ist unter www.depatisnet.de möglich.

¹⁸ Die Recherche wurde am 10.11.03 im Informationszentrum des Landesgewerbeamts Baden-Württemberg in Stuttgart durchgeführt, die Patentrecherche umfasst den Zeitraum 1978 bis 2003.

¹⁹ Der Einstieg in die Datenbanksuche für die Erfassung von „Nano“-Patenten in Deutschland war der Suchstring: Nano? UND DE NICHT Nanometer NICHT Nanoliter NICHT Nanosekunde NICHT NatriumNitrat...

Eingrenzung für die Patentanmeldungen von Unternehmen:

... UND GmbH ODER AG ODER KG ODER CO NICHT Universität NICHT Institut NICHT Gesellschaft

Eingrenzung für die Patentanmeldungen von Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen:

... UND Universität ODER Institut ODER Gesellschaft NICHT AG NICHT KG NICHT GmbH

sowie Eingrenzung der anderen, nicht direkt zuordenbarer Patentanmelder (beispielsweise Privatpersonen):

... NICHT GmbH ... NICHT Universität ...

²⁰ Nanofiltration ODER Membran innerhalb Nano? UND DE NICHT Nanometer NICHT Nanoliter NICHT Nanosekunde NICHT NatriumNitrat Katalysator ODER Katalytisch ODER Katalyse innerhalb Nano? UND DE NICHT Nanometer NICHT Nanoliter NICHT Nanosekunde NICHT NatriumNitrat

Nanopartikel ODER nanoskalige Partikel innerhalb Nano? UND DE NICHT Nanometer NICHT Nanoliter NICHT Nanosekunde NICHT NatriumNitrat Oberflächen innerhalb Nano? UND DE NICHT Nanometer NICHT Nanoliter NICHT Nanosekunde NICHT NatriumNitrat

Analytik ODER Analyse ODER Sensoren innerhalb Nano? UND DE NICHT Nanometer NICHT Nanoliter NICHT Nanosekunde NICHT NatriumNitrat

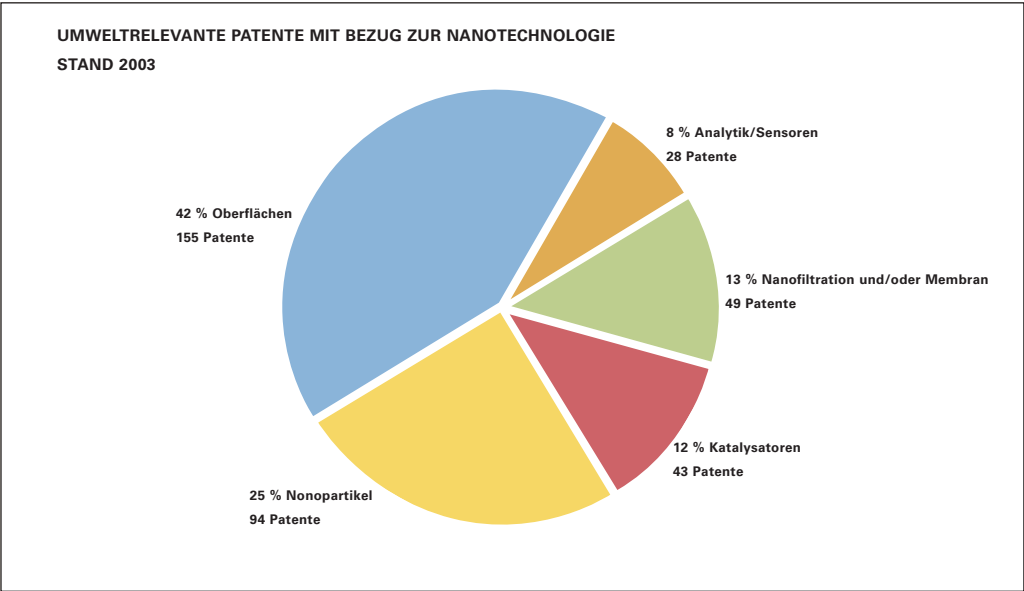


Abbildung 10: Umweltrelevante Patente mit Bezug zur Nanotechnologie (Stand 2003, eigene Recherche in EPAT)

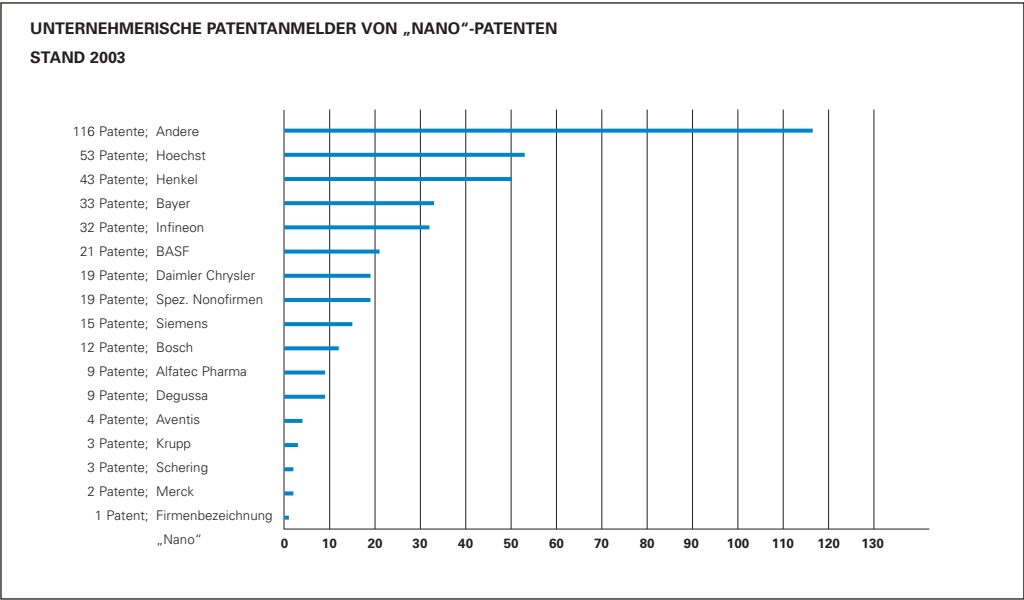


Abbildung 11: Unternehmerische Patentanmelder von „Nano“-Patenten (Stand 2003, eigene Recherche in EPAT)

der Fraunhofer-Gesellschaft (FhG) mit jeweils 16 Patentanmeldungen sowie das Forschungszentrum Karlsruhe (FZK) mit 9 Anmeldungen.

5.2 VERGLEICH MIT DER WISSENSCHAFTS-STRUKTUR IN BADEN-WÜRTTEMBERG

In Baden-Württemberg wird an mehreren Forschungsstandorten im Bereich der Nanotechnologie geforscht. Um einen Überblick über die verschiedenen

Standorte zu erhalten, wurden die Patentrecherche im Katalog EPAT²¹ in Bezug auf die örtliche Verteilung der Patente in Baden-Württemberg ausgewertet.²² Hot Spots sind demnach in Stuttgart, Karlsruhe, Heidelberg und Tübingen zu finden.

Zudem ist Baden-Württemberg überproportional mit Institutionen und Unternehmen an den Forschungsaktivitäten innerhalb der BMBF Nano-Kompetenz-

²¹ Die Datenbank EPAT enthält bibliografische Daten, Abstracts und Ansprüche zu Anmeldungen und Patenten des europäischen Patentamtes (EP-Dokumente). Es können Dokumente im Zeitraum 1978 bis heute recherchiert werden. Eine Online-Suche (ohne Ansicht der Patent-Beschreibung) ist unter www.depatisnet.de möglich.

²² Die erfassten Patente (s. Fußnote 18 und 19) wurden weiter nach Städten in Baden-Württemberg ausgewertet, indem das Feld „Anmelder“ in dem Patentdokument mit dem String Anmelder=Karlsruhe, Anmelder=Stuttgart usw. abgefragt wurde.

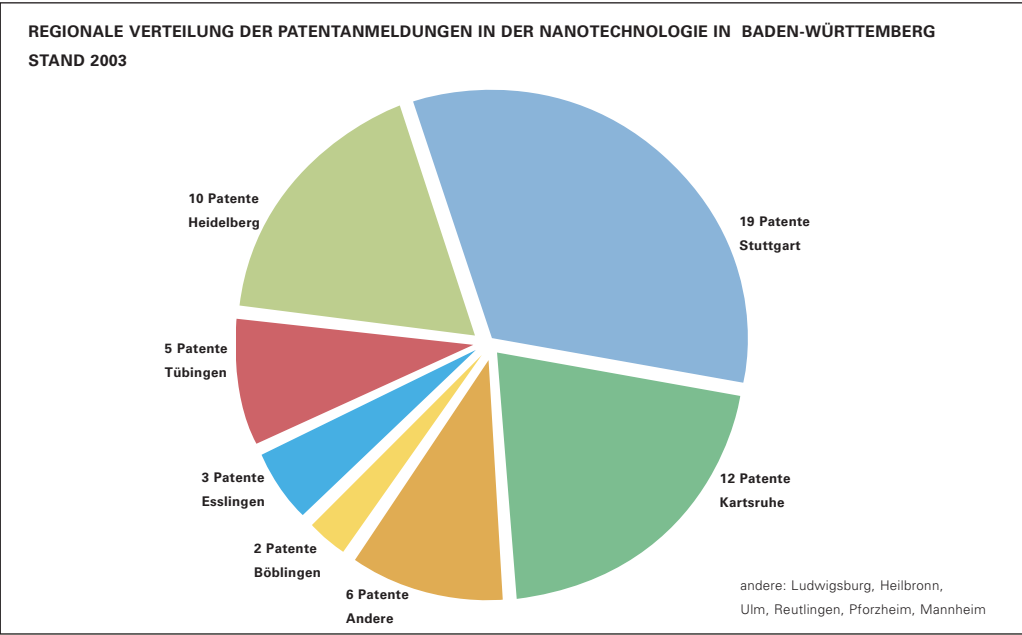
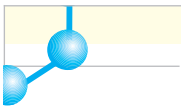


Abbildung 12: Regionale Verteilung der Patentanmeldungen in der Nanotechnologie in Baden-Württemberg (Stand 2003, eigene Recherche in EPAT)

zentren beteiligt. Tabelle 10 gibt einen Überblick über die Anzahl der an den jeweiligen Kompetenzzentren beteiligten universitären und nichtuniversitären Forschungseinrichtungen sowie Industrieunternehmen mit dem jeweiligen Anteil an der Gesamtmenge.²³ Auch hier kommen die meisten Beteiligten im Bereich Forschung aus dem Raum Stuttgart, Freiburg, Karlsruhe, Konstanz, Tübingen und Ulm. Unternehmen kommen auch aus eher ländlichen Teilen Baden-Württembergs. Im Anhang in Kapitel 9.3 sind alle Institutionen und Unternehmen aus Baden-Württemberg aufgelistet, die an den Kompetenzzentren beteiligt sind (Zusammenstellung aufgrund eigener Recherchen in Nanonet).²⁴

Die folgende Tabelle 11 zeigt die jeweils führenden Bundesländer in den einzelnen BMBF Nano-Kompetenzzentrum. Für die Auswertung wurden die beteiligten Forschungsinstitute und Unternehmen über die Internetseiten des VDI²⁵ zu den BMBF Nano-Kompetenzzentren ausgewertet (siehe auch Braun 2003).

□ Im Bereich der Lacke und Energietechnik (BMBF Nano-Kompetenzzentrum Ultradünne Beschichtung) finden sich vor allem in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen Forschungszentren. Sitz des Kompetenzzentrums ist Dresden (Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS).

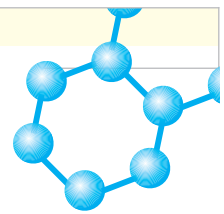
TABELLE 10: FORSCHUNGSEINRICHTUNGEN IN DEN BMBF NANO-KOMPETENZZENTREN AUS BADEN-WÜRTTEMBERG (EIGENE RECHERCHE)

	EINRICHTUNG IN DEUTSCHLAND	DAVON IN BADEN-WÜRTTEMBERG	ANTEIL IN %
Universitäre Forschungseinrichtungen	69	18	26%
Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen	57	11	19%
Firmen	66	11	17%

²³ In dieser Studie wurde für die Kategorisierung der Nanotechnologie im Hinblick auf die Anwendung in der Umwelttechnik eine andere Einteilung gewählt als die vom BMBF vorgenommene Einteilung in die meistversprechendsten Forschungsfelder und damit Nano-Kompetenzzentren. Trotzdem gibt die Einteilung einen Überblick über den Forschungsstand in Baden-Württemberg, auch im bundesdeutschen Vergleich.

²⁴ Siehe unter www.nanonet.de

²⁵ Siehe unter www.nanonet.de/fe/landschaft/index.php3



- Auch im Forschungsfeld „Laterale Nanostrukturen“ nimmt Baden-Württemberg eine Spitzenposition ein. Zu den zentralen Forschungsfragen gehört die gezielte Gestaltung von Nanopartikeln (Bottom-Up), beispielsweise für die Computertechnik. Die Geschäftsstelle des Kompetenzzentrums ist am „Advanced Microelectronic Center Aachen“ angesiedelt.

□ Im Forschungsschwerpunkt „Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung“ steht Baden-Württemberg ebenfalls, was die Anzahl der beteiligten Institutionen und Firmen anbelangt, an erster Stelle. Forschungsschwerpunkt in diesem Bereich ist die Oberflächenbearbeitung für optische Zwecke (Röntengeräte oder Laser) und Feinmechanik. Sitz des Kompetenzzentrums ist die Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig.

□ Das Forschungsfeld „Vermessung und Analyse von Nanostrukturen“ widmet sich der Analyse von Strukturen im Nanokosmos. Anwendung findet dies ebenso in Fragen der Qualitätskontrolle wie der Nanoanalytik von Toxinen, Pharmaerzeugnissen u. ä. Die Geschäftsstellen des Kompetenzzentrums wurden an der Universität Hamburg, Institut für Angewandte Physik, am Physikalischen Institut der Westfälischen Wilhelms Universität Münster sowie an der Ludwig Maximilians Universität München, Institut für

Angewandte Physik, eingerichtet.

□ In den Forschungsfeldern „Nanopartikel“ und „molekulare Architektur“ gehört Baden-Württemberg zu den Bundesländern mit den meistens Zuordnungen von Unternehmen und Forschungseinrichtungen innerhalb des Forschungsbereichs.

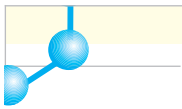
□ Am Forschungszentrum Karlsruhe wurde der Sitz des Kompetenzzentrums „Nanomaterialien“ eingerichtet, das neben den insgesamt sechs Zentren als siebtes ebenfalls von BMBF gefördert wird. Das Aufgabenfeld besteht aus der Gestaltung und Mischung von Nanopartikeln, beispielsweise für Materialien mit deutlich verbesserten Eigenschaften wie Stahl, oder aber auch für die Brennstoffzellentechnik. Neben Rheinland-Pfalz ist Baden-Württemberg stark vertreten.

Im Anhang in Kapitel 10.3 sind alle Institutionen und Unternehmen aus Baden-Württemberg aufgelistet, die an den Kompetenzzentren beteiligt sind.

Neben den sechs in Tabelle 11 aufgeführten Forschungsfeldern und den zugehörigen Kompetenzzentren gibt es noch das Kompetenzzentrum „NanOp-Anwendungen von Nanostrukturen in der Optoelektronik“, das sich mit optoelektronischen Komponenten in der

TABELLE 11: FÜHRENDE BUNDESLÄNDER IN DEN WICHTIGSTEN FORSCHUNGSFELDERN
(IN KLAMMER DIE ANZAHL DER BETEILIGTEN INSTITUTIONEN UND UNTERNEHMEN)

FORSCHUNGSFELD	KOMPETENZZENTRUM	RANKING		
		1. STELLE	2. STELLE	3. STELLE
Ultradünne Schichten	„Ultradünne funktionale Schichten“	Baden-Württemberg (10)	Nordrhein-Westfalen (10)	Bayern (9)
laterale Nanostrukturen	„Erzeugung und Einsatz lateraler Nanostrukturen“ (Nanoclub Lateral)	Baden-Württemberg (16)	Nordrhein-Westfalen (9)	Hessen (9)
Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung	„Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung“	Baden-Württemberg (6)	Sachsen (4)	Hamburg (3)
Vermessung und Analyse von Nanostrukturen	„Nanoanalytik“	Niedersachsen (12)	Baden-Württemberg (9)	Sachsen (6)
Nanopartikel		Rheinland Pfalz (10)	Baden-Württemberg (9)	Nordrhein-Westfalen (8)
molekulare Architekturen		Baden-Württemberg (8)	Hessen (8)	Bayern (7)
Nanomaterialien	„Nanomaterialien“ Nanomat	Baden-Württemberg (7)	Nordrhein-Westfalen (4)	Hessen (3)



Kommunikationstechnik sowie ihrem Einsatz in der Umweltüberwachung und in Konsumgütern beschäftigt. Der Sitz befindet sich an der Technischen Universität Berlin am Institut für Festkörperphysik. Das Kompetenzzentrum „Nanotechnologie – Funktionalität durch Chemie“ an der Universität Kaiserslautern und dem Institut für Neue Materialien (INM) in Saarbrücken bearbeitet Fragen nanostrukturierter Werkstoffe, die bei der Herstellung von Pharmazeutika, Dispersionsfarben, der Optimierung von Katalysatoren sowie bei Klebe-, Lackier- und Schmierprozessen Einsatz finden.

Gemessen an den Publikationen gehören das Max Planck Institut für Metallforschung und das Max Planck Institut für Festkörperforschung aus Stuttgart, das Freiburger Materialforschungszentrum an der Universität Freiburg, die Fakultät für Physik der Universität Konstanz, die Abteilung für Oberflächenchemie und Katalyse an der Universität Ulm, das European Molecular Biology Laboratorium, Heidelberg sowie das Institut für makromolekulare Chemie an der Universität Freiburg zu den 30 aktivsten Forschungsinstitutionen. Als wichtige Institution muss hier auch das 1999 eigens gegründete „Institut für Nanotechnologie“²⁶ am Forschungszentrum Karlsruhe in Verbindung mit der Universität Karlsruhe und der Université Louis Pasteur in Strassburg (Hullmann 2001) genannt werden. Die Auflistung zeigt den bisherigen naturwissenschaftlichen Schwerpunkt der (nicht-)universitären Forschung.

5.3 FAZIT

Grundsätzlich gibt es in Deutschland und Baden-Württemberg nur wenige bzw. ungenaue Abschätzungen zu Wirtschaftsdaten im Bereich Mikro- und Nanotechnologie. Aussagen über den Einsatz von Mikro- und Nanotechnologie in der Umwelttechnik sind daher weitestgehend auf Schätzungen und Vermutungen angewiesen. Um zumindest zu groben Abschätzungen der Situation zu gelangen, wurden Daten zu den Umsätzen mit Waren und Dienstleistungen im Umweltschutz Baden-Württembergs, umwelttechnisch relevanten Patenten und Daten zur Forschungstätigkeit Baden-

Württembergs auf dem Gebiet der Nanotechnologie herangezogen.

Die Daten zeigen, dass die größten Umsätze derzeit in den Bereichen ‚Gewässerschutz Behandlung‘ und ‚Luftreinhaltung Behandlung‘ erzielt werden. Ein Vergleich dieser Daten mit Kap. 4.3 zeigt, dass konkrete Anwendungsbereiche der Nanotechnologie im Umweltschutz in den Bereichen katalytische und trennende Verfahren, sowie Oberflächen mit ausgewiesenen umweltfreundlichen Eigenschaften liegen. Daraus wird deutlich, dass in diesen Feldern Luftreinhaltung und Gewässerschutz am ehesten mit einem Einsatz der Technologie zu rechnen ist.

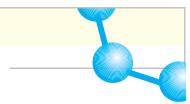
Keine Abschätzung konnte bisher über den Einsatz von Mikro- und Nanotechnologie in den Bereichen Analytik und Produktion (vgl. hierzu auch Kap. 4.4) gegeben werden, da hierzu keine Daten verfügbar sind.

Eine Sonderstellung nimmt die Anwendung von Mikro- und Nanotechnologie in energietechnischen Anwendungen (z.B. in Farbstoff-Solarzellen, Quantenpunktsolarzellen und nanostrukturierten Wasserstoffspeichern) ein. Für die genannten Bereiche gibt es keine ausreichenden Daten, um ihr Potenzial zuverlässig abzuschätzen. Die Vorreiterrolle der Industrie Baden-Württembergs in den genannten Bereichen legt jedoch ein großes Potenzial nahe.

In Bezug auf die Wissenschaftsstruktur nimmt Baden-Württemberg im nationalen Vergleich eine gute Position ein. Gemessen an den Patentanmeldungen, den Forschungsaktivitäten und der Beteiligung an Kompetenzzentren ist Baden-Württemberg gut positioniert.

Keine Aussagen lassen sich aus den Ergebnissen zu dem tatsächlichen Einsatz von Mikro- und Nanotechnologie in der Umwelttechnik ableiten. Wie bereits in den Kapiteln 4.1 und 4.3 deutlich wurde, besitzen einige Effekte und Bereiche der Nanotechnologie ein hohes Problemlösungspotenzial für die Umwelttechnik.

²⁶ Siehe unter www.fzk.de/int/



Dies hat jedoch bisher nur zu wenigen konkreten Produkten geführt, die nanotechnologische Eigenschaften als Wettbewerbsvorteile nutzen. Erschwert wird diese

Abschätzung zudem dadurch, dass die Hersteller in den seltensten Fällen mit dem Begriff der Nanotechnologie werben.

6 Förderpolitische Handlungsspielräume und -strategien

6.1 STRATEGIEN

Die Analyse der aktuellen Literatur und die Gespräche mit einzelnen Experten zeigen, dass in der Umwelttechnik die grundlegenden Erkenntnisse der Nanotechnologie und viel mehr noch deren Anwendungsmöglichkeiten weitgehend unbekannt sind (siehe auch Hyder 2003). Wenn auch in einigen Bereichen der Umwelttechnik im mikro- und nanoskaligen Maßstab gearbeitet und geforscht wird, so liegt dem nicht der bewusste und gezielte Aufbau nanotechnologischer Produkte zugrunde. Vielmehr handelt es sich um eine Verbesserung und Optimierung bestehender Produkte mit Mitteln der Nanotechnologie. Gründe hierfür sind, neben den unterschiedlichen Entwicklungsständen der Nanotechnologie und einer Entwicklung, die von der Grundlagenforschung getrieben wird (siehe Kapitel 3.3), dass der Umweltschutz innerhalb der Nanotechnologie kein Entwicklungsfeld hoher Priorität ist.

Wie die Bewertungen in Kapitel 4.1 und 4.3 jedoch zeigen, besitzen einige Effekte und Bereiche der Nanotechnologie durchaus ein konkretes Lösungspotenzial für die Umwelttechnik. Bisher gibt es nur wenige Produkte auf dem Markt, die nanotechnologische Eigenschaften als Wettbewerbsvorteile nutzen. Hier können durch den gesteigerten und gezielten Einsatz von Nanotechnologien in der Umwelttechnik noch Marktpotenziale erschlossen werden.

In Kapitel 5 wurde bereits deutlich, dass Baden-Württemberg in Bezug auf die Nanotechnologie bundesweit mit an der Spitze steht. Dies gilt sowohl für die Industrie wie auch die Forschung in den Überschneidungsfeldern von Nanomaterialien, Nanoanalytik, Nano-

chemie und Nanoelektronik. In allen genannten Feldern besitzt Baden-Württemberg eine gute Ausgangsposition für die Forschung und Entwicklung marktreifer Produkte im Überschneidungsfeld Umwelttechnik und Nanotechnologie.

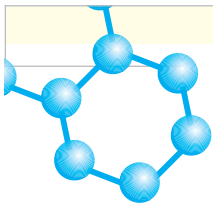
Geht man von den in Kapiteln 4.3 und 5 gefundenen Ergebnissen aus, so scheint insbesondere in den Bereichen der Nanochemie, Nanoelektronik und der Nanoanalytik ein größerer Bedarf an Grundlagenforschung zu existieren. Diese ist notwendig, um viele prognostizierte Anwendungen in der Umwelttechnik realisierbar zu machen, beispielsweise kostengünstige Solarzellen oder Wasserstoffspeicher für die Brennstoffzellentechnik. Im Bereich der Nanomaterialien scheint dagegen eine Reihe von umsetzbaren Lösungen zu existieren, so dass hier der industriellen Umsetzung eine größere Bedeutung beigemessen werden kann.

Aus diesen Ergebnissen lassen sich unterschiedliche Anforderungen an eine Forschungsförderung für den Einsatz von Nanotechnologie in der Umwelttechnik ableiten.

VERNETZUNG/KOOPERATION

Zum einen müssen die möglichen Funktionalitäten der Nanotechnologie – und zwar sowohl die anwendungsreifen, wie auch die noch in der Grundlagenforschung steckenden Technologien – mit den Herausforderungen und Aufgabenfeldern der Umwelttechnik zusammen gebracht werden. Diese Aufgabe wird als grundlegend angesehen, auch weil davon auszugehen ist, dass es in diesem Bereich keine bestehenden Kontakte und Zusammenarbeiten gibt, an die angeknüpft werden kann.²⁷ Die stärkere Verknüpfung der

²⁷ In der Evaluierung der einzelnen BMBF Nano-Kompetenzzentren wurde auch die Entstehung analysiert. Demnach haben frühere, vor der Gründung liegende gemeinsame FuE-Projekte zwischen den Partnern einen Anteil von über 50% an dem Entstehungskontext, während 20% den BMBF-Maßnahmen wie Gründungs- und Anfangsphase sowie die Geschäftsstellen zugerechnet werden können (Bührer 2002).



disziplinär ausgerichteten Forschung bleibt damit eine wichtige Zielrichtung der Forschung, dies gilt sowohl für die Umwelttechnik als auch die Nanotechnologie. Während in der Forschung bereits eine Reihe von Kompetenzzentren existieren (siehe hierzu auch Anhang 10.5), besteht insbesondere bei kleinen- und mittelständischen Unternehmen (KMU) ein hoher Bedarf an Vernetzung und Kooperation. Forschung und Förderung ist hier insbesondere noch im Bereich kooperativer Forschung, Angebote und Dienstleistungen notwendig, die es den KMU ermöglichen, stärker als bisher in das Themenfeld der Nanotechnologie einzusteigen. Dies gilt insbesondere auch für die Umwelttechnik.

EINE VERNETZUNGSBEZOGENE FÖRDERUNG IST AUF DREI ARTEN MÖGLICH:²⁸

- ☐ Ressourcenförderung zur Aktivierung des Potenzials: staatliche Finanzmittel, Infrastruktureinrichtungen, Zugang zu Risikokapital,
- ☐ Vernetzungsförderung zur Nutzung bisher nicht ausgeschöpfter Vernetzungs-/Synergiepotenziale über Technologien/Branchen/Regionen hinweg,
- ☐ Förderung der Strategiebildung im Sinne der Integration potenzieller Innovationsnetzwerke in nationale Innovationscluster.

Zu berücksichtigen ist dabei, dass Netzwerke, z. T. über einen Zeitraum von 10 Jahre hinweg, wachsen müssen, um sich auf Dauer erfolgreich zu etablieren.

Abschließend sei hier auf die Bildung von regionalen Clustern aus Forschungseinrichtungen und Unternehmen verwiesen. Aktive regionale Cluster im Bereich der Nanotechnologie gibt es derzeit in Berlin, München, Stuttgart, Dresden, Jena und Saarbrücken sowie im Rhein-Ruhr- und Rhein-Main-Gebiet (Henn 2003). Gründe für die dortige Ansiedlung sind nach Meinung der Institutionen und Unternehmen:

- ☐ die günstige Forschungsinfrastruktur,
- ☐ das qualifizierte Arbeitskraftpotenzial,
- ☐ die Nachbarschaft zu Forschungsinstituten und
- ☐ die Lebensqualität der Region.

Defizite und Hemmnisse der Technologieförderung innerhalb der Cluster sind zum einen entsprechende verfügbare regionale Förderprogramme, der teilweise Mangel an qualifizierten Arbeitskräften und fehlendes Beteiligungskapital (Henn 2003).

RAHMENBEDINGUNGEN

Eine wichtige Voraussetzung für die nanotechnologische Forschung in der Umwelttechnik ist, die allgemein notwendigen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen wie Investitionen, Infrastruktur und Personalressourcen zu schaffen, die für eine zielgerichtete Forschung und Produktentwicklung notwendig sind. Ein Augenmerk sollte hier auf der Qualifizierung von heutigem und zukünftigem Personal sowohl in der Umwelttechnik als auch in der Nanotechnologie liegen. Viele Unternehmen werden zukünftig einen wachsenden Bedarf an zusätzlichen Universitätsabgängern in den Bereichen Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften haben (Henn 2003). Diese können wiederum nur dann zu einer Vernetzung der disziplinären Forschung beitragen, wenn sie im Rahmen ihrer Ausbildung Zugang zu anderen Fachdisziplinen sowie fachübergreifenden Fragestellungen hatten.

Als eine weitere entscheidende Rahmenbedingung für die Forschung und den Markteintritt von Nanotechnologie und Umwelttechnik sind Finanzierungsmodelle zu nennen. Eine frühe Marktorientierung kann dabei helfen, die negativen Finanzierungserfahrungen des Internet-Hypes in der Nanotechnologie zu vermeiden. Während es sich im Bereich der Internettechnologien oftmals um virtuelle Produkte und Dienstleistungen handelte, die sich auf eine Technologie beschränkten, besitzt die Nanotechnologie ein breiteres Anwendungsgebiet in traditionellen technologischen Feldern (Beckmann und Lenz 2002).

²⁸ Siehe das Referenz-Fördermodell von Bühner (Bühner et al. 2002)

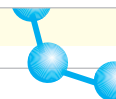


Abbildung 13 zeigt den steigenden Kapitalbedarf einer Technologie- oder Produktinnovation (WGZ 2002). Während zu Beginn die Produktentwicklung und die Erstellung eines Geschäftsmodells eine Seed-Finanzierung²⁹ benötigen, wird der Unternehmensaufbau und die Anlaufphase – mit Prototyp und Kleinserie – durch ein Start-Up Financing³⁰ unterstützt. Im Idealfall begleitet dann das Expansion-Financing³¹ die Wachstumsphase mit der Serienfertigung.

Zur Förderung der Nanotechnologie sind durch das BMBF eine Reihe spezifischer Rahmenprogramme aufgelegt worden (siehe Tabelle 4 und Tabelle 23). Eine explizite Verbindung von Nanotechnologie und Umwelttechnik haben diese Programme nicht zum Ziel. Allerdings bieten sich Anknüpfungspunkte für fachübergreifende Forschungsfragen, die den Einsatz der Nanotechnologie mit dem Ziel des Umweltschutzes zum Inhalt haben.³²

GRUNDLAGENFORSCHUNG

In einigen ausgewählten Teilfeldern der Nanotechnologie ist nach wie vor ein hohes Maß an Grundlagenforschung notwendig. Dies gilt vor allem für die oben erwähnten Felder Nanochemie, Nanoelektronik und Nanoanalytik. Diese sollte verstärkt mit den existierenden Kompetenzzentren und Schwerpunkten (siehe dazu Anhang 10.5) koordiniert werden.

6.2 AKTEURE

Gemäß der in Kapitel 6.1 dargestellten unterschiedlichen Strategien zur Förderung der Nutzung von Nanotechnologie in der Umwelttechnik, sind an der weiteren Forschung und Entwicklung, sowie der Markteinführung und -durchdringung von Nanotechnologie und deren Produkten verschiedene Akteure beteiligt (nach Bühner 2002).³³

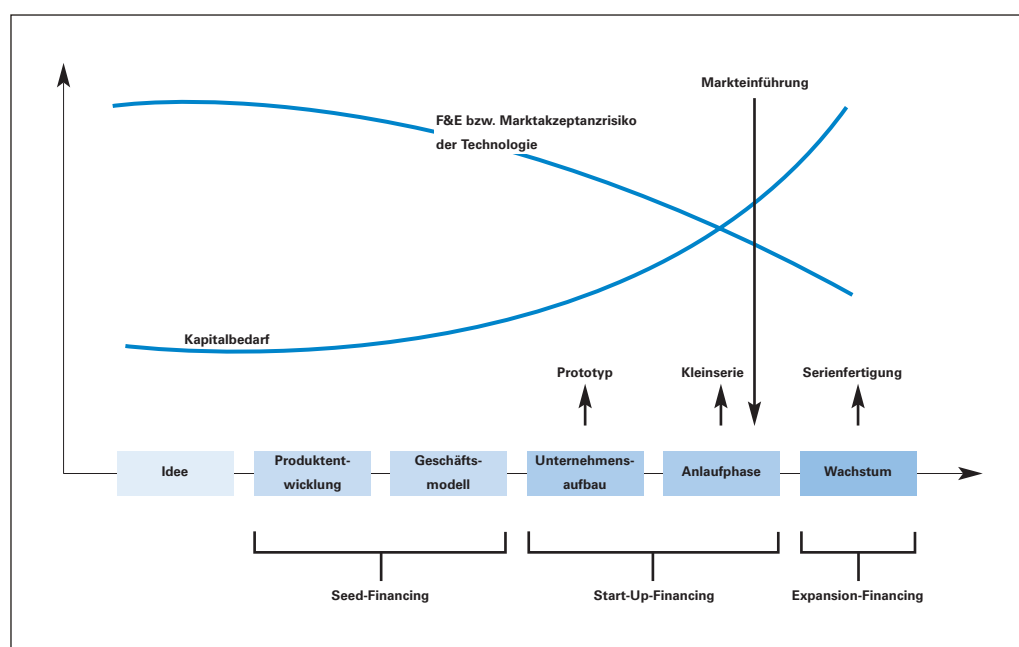


Abbildung 13: Risikokapitalrelevante Entwicklungsstufen von Unternehmen (WGZ 2002)

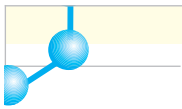
²⁹ Seed-Phase: Unternehmensgründung wird vorbereitet. In dieser Phase gilt es primär, Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen bis zur Erstellung eines Prototypen zu finanzieren, Anfangsaufwendungen dieser Phase können üblicherweise noch keine Erträge gegenüber gestellt werden.

³⁰ Start-up-Phase: Unternehmensgründung. Der Prototyp wird bis zur Marktreife weiterentwickelt und die Produktion vorbereitet, in dieser Phase sind Investitionen erforderlich, denen in den meisten Fällen keine Erträge gegenüberstehen, nicht mehr die reine Idee ist erfolgsbestimmend, sondern ihre kommerzielle Umsetzung.

³¹ Wachstumsfinanzierung: Das betreffende Unternehmen hat den Break-even-point erreicht oder erwirtschaftet Gewinne. Die Geldmittel werden zur Finanzierung der Expansion verwendet.

³² Nutzung von Forschung und Technologie für nachhaltige Entwicklungen ist eines der drei Leitziele von WING, dem Rahmenprogramm „Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft“ des BMBF, weitere Informationen unter www.fz-juelich.de/ptj/Wing/

³³ 1999 wurden das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe, sowie die mundi consulting, Siegen/ Bern, mit der begleitenden Evaluation der sechs BMBF-geförderten Nano-Kompetenzzentren beauftragt (Bühner et al (2002). Seit Februar 2002 liegt der Abschlussbericht vor.



POLITISCH ADMINISTRATIVE AKTEURE

Hierunter fallen der Bund, die Länder und die Kommunen, die Förderprogramme aufstellen, als Moderator einer strategischen Technologieentwicklung auftreten oder beispielsweise durch gesetzliche oder andere Maßnahmen Rahmenbedingungen aufstellen, die eine Technologieentwicklung fördern sollen.

AKTEURE DER WISSENSCHAFT

Hierunter fallen die Forschungsinstitute und -institutionen, beispielsweise die Universitäten und Fachhochschulen, die Fraunhofer Gesellschaft, die Leibniz Gemeinschaft, die Helmholtz Gesellschaft, die Max Planck Gesellschaft u.a. Sie treten sowohl in der Funktion als Projektträger wie auch als Zuwendungsnehmer und Auftragsforscher strategisch auf.

AKTEURE DER INDUSTRIE

Hierunter fallen die Großunternehmen, KMU's und Start-Up's, die eigene Forschung betreiben oder Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Marktreife und Anwendung bringen. Ebenso fallen darunter die Verbände wie beispielsweise die Industrie- und Handelskammer, die Transferfunktion besitzen.

AKTEURE DES BILDUNGSSYSTEMS

Hierunter fallen die Berufsschulen, die Fachhochschulen und Universitäten sowie Weiterbildungseinrichtungen, die ihrerseits Ausbildungs- und Forschungsarbeit übernehmen.

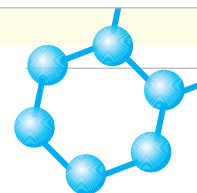
Da die Nanotechnologie, wie auch der Umweltschutz, in den Grundlagen interdisziplinär ist, muss eine Förderung dem Rechnung tragen: Die anwendungsorientierte Förderung, die teilweise auf dem Stand der Grundlagenforschung beginnt, muss dann nicht nur die Teilnehmer entlang der Wertschöpfungskette – von der Grundlagenforschung über die Anwendungsforschung zur Produktentwicklung und Verkauf – mit einbeziehen, sondern auch unterschiedliche Akteure zusammenführen. Informationsaustausch, Technologietransfer, Förder- und Forschungsprogramme sowie Kompetenz-Netzwerke und Cluster (siehe Kap. 6.1) sind die Möglichkeiten, um die-

sen Prozess aktiv und zielführend zu gestalten. Auch im Sinne einer effizienten, am Output orientierten Förderung ist ein Wissensaustausch regional, national und international notwendig. Nach der Auffassung von Roco und Tomellini (2002) können unter anderem gerade die Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnologie in den Bereichen Energieverbrauch und Umweltschutz durch technische Partnerschaften zwischen der EU und den USA unterstützt werden. Die Bedeutung dieser Anwendungen für kommerzielle und öffentliche Interessen zeigen, dass die Zeit für gemeinsame Forschung in Verbindung mit Industrie und Regierung reif ist.

6.3 ABBAU VON HEMMNISSEN

Eine wesentliche Aufgabe der Förderung kann in dem Abbau von Hemmnissen und Hürden gesehen werden, die einer Technologieentwicklung im Wege stehen. Im Falle der Nanotechnologie sind diese hauptsächlich infrastruktureller Art:

- Die Nanotechnologieforschung benötigt qualitativ hochwertige Infrastruktur wie Labor, Maschinenpark und Versuchsstände.
- Qualifizierte Arbeitskräfte sind Voraussetzung einer Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf hohem Niveau. Dies bezieht sich auf verfahrenstechnisches und naturwissenschaftliches Wissen ebenso wie auf Kenntnisse aus dem Bereich des Umweltschutzes und die Bereitschaft zur interdisziplinären Kooperation. Die Ausbildung und Nachwuchsförderung muss daher interdisziplinär erfolgen, beispielsweise in enger regionaler oder internationaler Kooperation mit Technologiezentren.
- Die Nanotechnologieforschung besitzt, sowohl im Grundlagenbereich wie auch in der anwendungsorientierten Forschung, immer noch einen großen Finanzierungsbedarf. Dieser erstreckt sich sowohl auf die Infrastruktur als auch auf das Personal. In vielen Anwendungsbereichen liegt der ‚Return on Investment‘ (ROI) deutlich über 3 Jahren (Fuchs 2003), im Bereich von 5 bis 10 Jahren. Dies erfordert die Bereitstellung von Beteiligungskapital, günstigen Krediten oder neuen Finan-



zierungskonzepten, z.B. in Form von Betreibermodellen. Für Nano-Start-Up's mit hohen Anfangsinvestitionen und einigen Jahren „time to market“ gibt es im Moment jedoch kein günstiges Finanzierungsumfeld (Hofelich 2003).

□ Der Wissenstransfer und -austausch zwischen den einzelnen Disziplinen oder Akteuren aus der Nanotechnologie, der Umwelttechnik und dem Markt bzw. Kunden muss ermöglicht und gefördert werden, um die Entwicklung von Produkten frühzeitig an diesen zu orientieren.

□ Nanotechnologie ist bisher für Außenstehende nur sehr schwer konkret zu fassen und zu greifen. Es existiert zum einen keine ‚Technologie-Road Map‘, die zukünftige Entwicklung aufzeigt und aktiv steuert. Dagegen gibt es eine große Begriffsvielfalt und Teildisziplinen innerhalb der Nanotechnologie, sodass es fast unmöglich ist, alle aktuellen Entwicklungen zu überblicken und einzuschätzen. Zudem gibt es bereits praktische Anwendungen von Nanotechnologie in einzelnen Produkten (beispielsweise Lotuseffekt, „Anti-Reflex“-Oberflächenbearbeitung von LKW-Armaturenkonsole (König und Presting 2003) oder Sonnenschutzverglasung), diese werden aber nicht explizit unter dem Stichwort „Nanotechnologie“ verkauft.

Als wichtigste Maßnahmen für den Abbau von Hemmnissen wird daher eine verstärkte Förderung der Nanotechnologieranwendung in der Umwelttechnik vorgeschlagen, die folgende Aspekte umfasst:

1. Informationsaustausch über Aufgabenfelder und Herausforderungen der Teildisziplinen.
2. Technologietransfer in Form einer Zusammenführung der Anwendungs- und Problemfelder des Umweltschutzes mit Nanotechnologie (Schlüsseltechnologien) unter dem Gesichtspunkt, wo und unter welchen Umständen Nanotechnologien ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen bzw. helfen, Prozesse zu optimieren.

3. Netzworlbildung zur Unterstützung des Informationsaustauschs zwischen Forschung und Industrie.

4. Förderprogramme zur Überwindung der Hemmnisse, anfangs Inputorientiert (Zuwendung) und dann übergehend in eine Outputorientierung (Auftragsvergabe).

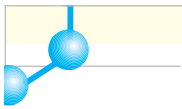
5. Finanzierungsmodelle zur Überwindung von Eintrittsbarrieren insbesondere für KMU's.

6. Ausbildung und Qualifizierung zur Förderung der Interdisziplinarität und zur Standortsicherung.

6.4 FAZIT

Um die möglichen Einsatzpotenziale der Nanotechnologie in der Umwelttechnik zu erschließen und um damit am Markt auftreten zu können, ist eine entsprechende Förderung notwendig, die der Interdisziplinarität dieses Forschungsbereiches und der bisher fehlenden Vernetzung von Nanotechnologie und Umwelttechnik Rechnung trägt. Die Analysen in dieser Studie zeigen, dass das grundlegende Problem das Informationsdefizit zwischen der Nanotechnologie und der Umwelttechnik ist. Neben dem Verstehen des jeweiligen Arbeitsgebietes gehört notwendigerweise der Austausch über die Problemfelder auf Seite des Umweltschutzes und das konkrete Problemlösungspotential der Nanotechnologie dazu. Die Möglichkeiten, die sich aus der Technologie der Nanowissenschaften ergeben, müssen mit den Aufgaben des Umweltschutzes in Verbindung gebracht werden, und zwar sinnvollerweise aus der Sicht des Kundennutzen.

Diese spezifische, auf der Verbindung von Nanotechnologie und Umwelttechnik begründete Aufgabe hat die erste Priorität. Darüber hinaus muss eine Förderung des Nanotechnologieeinsatzes im Umweltschutz weitere Hemmnisse abbauen, die allgemein mit der Nanotechnologie im Zusammenhang stehen: Bereitstellung und Förderung von Infrastruktur, qualifizierten Arbeitskräften, Finanzierung und Wagniskapital auf allen Stufen der Technologieforschung und -entwicklung sowie Wissenstransfer und -austausch.

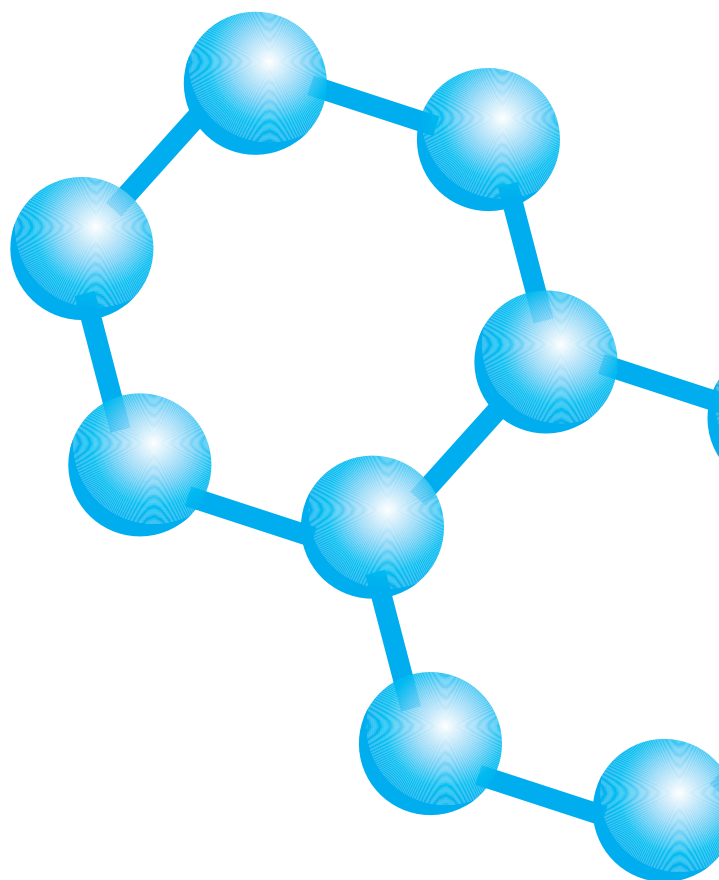


Insgesamt befindet sich die Nanotechnologie, mit ganz wenigen marktreifen Ausnahmen, noch im Forschungsstadium. Aus den Ergebnissen der Literaturstudie und der Expertenbefragungen lassen sich unterschiedliche Anforderungen an eine Forschungsförderung für den Einsatz von Nanotechnologie in der Umwelttechnik ableiten. Die Vernetzung und Kooperation findet bisher besonders im Bereich Nanotechnologieforschung statt. Forschung und Förderung ist hier insbesondere noch im Bereich kooperativer Forschung, Angebote und Dienstleistungen notwendig, die es den KMU ermöglichen, stärker als bisher in das Themenfeld der Nanotechnologie einzusteigen, und die das Themenfeld Nanotechnologie mit Umwelttechnik zusammenbringt.

Weiter müssen günstige Rahmenbedingungen wie Infrastruktur und Personalressourcen geschaffen werden, um einen Know-how-Abgang zu verhindern und neue Kompetenzen aufzubauen. Von besonderer Bedeutung ist die Qualifizierung von heutigem und zukünftigem Personal sowohl in der Umwelttechnik als auch in der Nanotechnologie. Auf unternehmerischer Seite ist von einem zukünftig wachsenden Bedarf an zusätzlichen Universitätsabgängern in den Bereichen Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften auszugehen. Ebenfalls von enormer Wichtigkeit ist die ausreichende Bereitstellung von Finanzkapital, welches die Technologieinnovation entlang der Entwicklung unterstützt. Zudem muss der Umstand berücksichtigt werden, dass bisher die Wertschöpfungskette unausgewogen ist und der wirtschaftliche Erfolg – sofern Anwendungen existieren – bevorzugt am Ende der Wertschöpfungskette realisiert wird.

Und schließlich ist nicht zu vergessen, dass in der Nanotechnologie immer noch weitere Grundlagenforschung notwendig ist, um Sachverhalte auf der Nanometer-Ebene zu verstehen. So hat beispielsweise das BMBF spezifische Rahmenprogramme aufgesetzt, um einzelne Technologien gezielt zu fördern.

Als wichtigste Maßnahmen für den Abbau von Hemmnissen und einen gezielten Einsatz der Nanotechnologie in der Umwelttechnik werden folgende Aspekte angesehen: Informationsaustausch, Technologietransfer, Netzwerkbildung, Förderprogramme, Finanzierungs- sowie Ausbildungs- und Qualifizierungsmodelle.



7 Visionärer Ausblick

Die Erkenntnisse und Potenziale der Mikro-, besonders aber der Nanotechnologie beschäftigen nicht nur die Wissenschaft, sondern faszinieren auch Futuristen und beflügeln die Phantasie. Neben wissenschaftlichen Publikationen und einer bekannten Forschergemeinde hat sich das Science-Fiction-Genre ebenfalls der Nanotechnologie angenommen – aus Sicht der Wissenschaft eher zum Schlechten. Ein bekannter Autor ist Eric Drexler³⁴, der mit seinen Visionen eines Maschinenbaus auf Nanometer-Ebene das Bild von Nanorobotern prägte, die sich selbst replizieren und die so gut wie jedes Material herstellen können – nebenbei den Treibhauseffekt umkehren, Krankheiten heilen und die Lebenserwartung dramatisch verlängern werden.³⁵ Die genannten Visionen haben die Nanotechnologie schnell zu einem bekannten und schlagzeilentragenden Thema werden lassen. Eine Entwicklung, die – berechtigt oder nicht – neben Hoffnungen auch Ängste vor der Nanotechnologie erzeugt. Wirft man einen Blick in die öffentlich verfügbare Literatur, so scheinen die meisten dieser futuristischen Szenarien heute nicht einmal in Ansätzen realisierbar zu sein.

Trotz alledem besitzen nanotechnische Zukunftsszenarien auch in Bezug auf die Umwelttechnik Charme. Visionen einer sauberen Lebensweise, bei der die Energie allein aus Sonnenenergie, Luft und Wasser mit Hilfe von Nanotechnologie hergestellt wird; winzige Nanoroboter, die die Straßenoberfläche reparieren und diese mit miniaturisierten Solarzellen zur Energiegewinnung bedecken, klingen fantastisch. Sie wecken die Hoffnung, in Zukunft die drängenden Umweltprobleme in den Griff zu bekommen. Gleichzeitig werden jedoch hohe Erwartungen an die Nanotechnologie gestellt, die diese in absehbarer Zeit nicht erfüllen kann. Die Folge kann eine Überschätzung und eine falsche Konzentration von Wissen und Forschungsmitteln sein. Statt kurzfristig realisierbare Potenziale der Nanotechnologie umzusetzen, würde dann vor der Zeit in prestigeträchtige Anwendungen investiert.

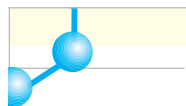
Die Realität der Nanoforschung fällt oft ernüchternder aus als die beschriebenen Visionen: Viele grundlegende Fragen und Effekte der Nanotechnologie sind nicht ausreichend verstanden, geschweige denn technisch nutzbar. Stellenweise haben sich Erwartungen nicht in dem Maße erfüllt, wie beispielsweise in der Nutzung von Carbon-Nanotubes für die Wasserstoffspeicherung.

Andererseits zeigen vergleichbare Technologien, wie rasant die Entwicklung verlaufen kann, wenn ein massenhafter Nutzen erkennbar wird. Wer hätte sich vor 10 oder 15 Jahren träumen lassen, dass über die Hälfte der deutschen Haushalte einen PC besitzt und regelmäßig das Internet nutzt. Die alte Werbung der Deutschen Post für Briefe „Schreib mal wieder“ bekommt in den Zeiten von E-Mail und SMS eine neue Bedeutung. Neue Anwendungsfelder wurden erschlossen: virtuelle Markt- und Finanzplätze, Information und Kommunikation sind die tragenden Pfeiler vieler neuer Dienstleistungen im Internet.

Man tut gut daran, die Nanotechnologie von der Erwartung, die Natur nachbauen zu können, zu befreien, und realistisch ihr Potenzial einzuschätzen. Und trotzdem soll ein Blick in die Zukunft erlaubt sein, der motiviert, sich immer wieder neu den Herausforderungen zu stellen, und der offen für einen Paradigmenwechsel bleibt.

³⁴ Forscher und Vorsitzender des Foresight Institute, USA (www.foresight.org/FI/Drexler.html)

³⁵ Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology, Eric Drexler, 1986, und Unbounding the Future: the Nanotechnology Revolution von Eric Drexler und Chris Peterson, William Morrow and Company, Inc., New York 1991



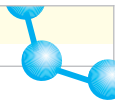
8 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1	Aufgaben der Umwelttechnik.....	13
Abb. 2	Technologiefelder der Mikro- und Nanotechnologie.....	16
Abb. 3	Kopplung der Mikro- und Nanowelt.....	17
Abb. 4	Teilbereiche der Nanotechnologie und ihre wissenschaftlichen Grundlagen	20
Abb. 5	Phasenstand und Entwicklungsdynamik der Nanotechnologie im Jahr 2000.....	22
Abb. 6	Entwicklungsstand einzelner Nanotechnologien nach Anwendungsbranchen	23
Abb. 7	Marktvolumen einzelner Anwendungsbereiche der Nanotechnologie	24
Abb. 8	Umsätze in ausgewählten Branchen der Umwelttechnik Baden-Württembergs.....	36
Abb. 9	Umsatz durch Waren und Dienstleistungen im Umweltschutz in Baden-Württemberg	37
Abb. 10	Umweltrelevante Patente mit Bezug zur Nanotechnologie	39
Abb. 11	Unternehmerische Patentanmelder von „Nano“-Patenten.....	39
Abb. 12	Regionale Verteilung der Patentanmeldungen in der Nanotechnologie in Baden-Württemberg	40
Abb. 13	Risikokapitalrelevante Entwicklungsstufen von Unternehmen	45

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	Sichtweise von Eigenschaften beim Übergang in die Nanoskala	17
Tabelle 2	Einteilung der Nanotechnologie in Entwicklungslinien, nach Industriebranchen und Teildisziplinen.....	18
Tabelle 3	Marktvolumen einzelner Forschungsschwerpunkte der Nanotechnologie.....	24
Tabelle 4	Forschungsprogramme mit Bezug zur Nanotechnologie und Relevanz für den Umweltschutz	25
Tabelle 5	Ausgaben der Europäischen Regierungen für die Nanotechnologie	26
Tabelle 6	Die größten Hürden eines Nanotechnologie-Fortschritts und mögliche Ursachen der Gegenreaktion	28
Tabelle 7	Beispiele für gesellschaftsrelevante Produkte und Anwendungsfelder der Nanotechnologie.....	30
Tabelle 8	Erläuterungen zu den bewerteten Nanotechnologien	31
Tabelle 9	Bewertung einzelner Nanotechnologien für den Einsatz in der Umwelttechnik	32
Tabelle 10	Forschungseinrichtungen in den BMBF Nano-Kompetenzzentren aus Baden-Württemberg.....	40
Tabelle 11	Führende Bundesländer in den wichtigsten Forschungsfeldern.....	41
Tabelle 12	Auflistung der im Rahmen der Studie befragten Experten.....	57
Tabelle 13	Links zur Nanotechnologie	62
Tabelle 14	Adressen der an den BMBF Nano-Kompetenzzentren beteiligten Institute und Unternehmen aus Baden-Württemberg.....	62
Tabelle 15	Abschätzbares Marktvolumen ultradünner Schichten	64
Tabelle 16	Abschätzbares Marktvolumen von Nanomaterialien	65
Tabelle 17	Abschätzbares Marktvolumen lateraler Nanostrukturen.....	65
Tabelle 18	Abschätzbares Marktvolumen ultrapräzise bearbeiteter Oberflächen.....	66
Tabelle 19	Abschätzbares Marktvolumen einer Analytik von Nanostrukturen.....	66
Tabelle 20	Aufwendungen in der BMBF-Förderung für die Nanotechnologie im Rahmen verschiedener BMBF-Schwerpunktthemen	67
Tabelle 21	Mittel für Nanotechnologieförderung im Rahmen der DFG-Förderung und der institutionellen Förderung.....	67
Tabelle 22	Zusammenstellung der möglichen Einsatzmöglichkeiten der Mikro- und Nanotechnologie im Umweltschutz ..	68
Tabelle 23	Forschungsprogramme mit Bezug zur Nanotechnologie und Relevanz für den Umweltschutz.....	73



9 Literatur

3I WHITE PAPER (2002)

Nanotechnology – Size matters: Building a successful nanotechnology company, White Paper von 3i, in Zusammenarbeit mit Economist Intelligence Unit und dem Institute of Nanotechnology, London 2002

BACHMANN, GERD (1998)

Innovationsschub aus dem Nanokosmos – Technologieanalyse, Bericht des VDI-Technologiezentrums, Abteilung Zukünftige Technologie des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI), Düsseldorf 1998

BACHMANN, GERD (2003/1)

Deutschland ist stark in den Nanowissenschaften, aber teils noch schwach in der Umsetzung, in: VentureCapital Magazin Sonderausgabe: Nano-/Mikrotechnologie – Märkte und Visionen, 4. Jahrgang, November 2003, Verlag GoingPublic Media AG, Wolfratshausen 2003

BACHMANN, GERD (2003/2)

Nanotechnologie: Märkte, Internetseite des Internetportals „Kompetenznetze“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), unter <http://www.kompetenznetze.de/Anzeige> unter Innovationsfelder >> Nanotechnologie >> Märkte, Aufruf vom 01.12.2003

BARCZEWSKI, BALDUR; BATEREAU, KATRIN; MÜLLER, MARTIN (2003)

Messtechnische Grundlagen, in: Barczewski, Baldur; Batereau, Katrin; Flachowsky, Johannes; Franzius, Volker; Hempel, Maximilian (Hrsg.): Vor-Ort-Analytik für die Erkundung von kontaminierten Standorten, Erich Schmidt Verlag, Berlin 2003

BECKMANN, MARCO; LENZ, PHILIP (2002)

Profitieren von der Nanotechnologie – Investment in die Zukunft, Finanzbuchverlag, München 2002

BMBF (2002)

Nanotechnologie in Deutschland – Standortbestimmung, Studie des Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn 2002

BRAUN, PHILIPP (2003)

Die Nanotechnologie – Eine Schlüsselwissenschaft des 21. Jahrhunderts, Internetrecherche bei Prof. Dr. Elke Theobald im WS 2002/2003, FH Pforzheim, Pforzheim 2003

BÜHRER, SUSANNE; BIERHALS, RAINER; HEINZE, THOMAS; HULLMANN, ANGELA; STUDER, THOMAS;

ERLINGHAGEN, ROBERT; LANG, CHRISTIAN (2002)

Die Kompetenzzentren der Nanotechnologie in der Frühphase der Bundesförderung – Ein Bericht der begleitenden Evaluation (Endbericht), Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe, und mundi Consulting, Siegen/Bern, Karlsruhe 2002

BULLINGER, HANS-JÖRG (1994)

Einführung in das Technologiemanagement: Modelle, Methoden, Praxisbeispiele, Teubner Verlag, Stuttgart 1994

CHRIST, HUBERTUS (2003)

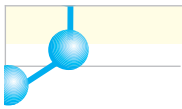
Mikro Nano Opto, in: Innovation in Deutschland, eine Publikation von Spektrum der Wissenschaft und vdi nachrichten, Ausgabe November 2003, Heidelberg/ Düsseldorf 2003

COLVIN, VICKI (2003)

Wie gefährlich ist Nanotechnologie – über Nutzen und Chancen von Nanomaterialien, in: MIT'S Magazine of Innovation – Technology Review (Deutsche Ausgabe), Nr. 1, Mai 2003, Heise Zeitschriften Verlag, Hannover 2003

COMPANO, R. (2001)

Technology Roadmap for Nanoelectronics, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg 2001



CUHLS, KERSTIN; BLIND, KNUT; GRUPP, HARIOLF (HRSG.) (1998)

Zukunft nachgefragt. Neues zum Delphi 98, Band 1: Nanotechnologie, Karlsruhe 1998

DAMBACHER, GERNOT (2003)

Selbstreinigende Oberflächen nach Blumenart, in: Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.): Trendbarometer Technik, Carl Hanser Verlag, München 2003

DLR (2003)

Effiziente Reinigung durch intelligente Beschichtung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn 2003

DREXLER, ERIC; PETERSON, CHRIS (1991)

Unbounding the Future: the Nanotechnology Revolution, New York 1991

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2003/1)

Third European Report on Science & Technology Indicators 2003 – Towards a Knowledge-based Economy, Directorate-General for Research: K – Knowledge-based economy and society; K3 – Competitiveness, economic analysis and indicators, Brüssel 2003

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2003/2)

Breaking down barriers to technologies to protect the environment and boost competitiveness, European Commission, Environmental Technology Consultation, DG Environment, Environmental Technology Action Plan Announcement 242, IP/03/430, Brüssel 2003

FEDER, BARNABY (2003)

As uses grow, tiny materials' safety is hard to pin down, New York Times vom 03.11.2003, New York 2003

FÖRSTNER, ULRICH (1995)

Umweltschutztechnik: eine Einführung, Springer, Berlin/Heidelberg/ New York 1995

FÖRSTNER, ULRICH (2001)

Umweltschutztechnik, in: Schulz, W., Burschel, C., Weigert, M., Liedtke, C., Bohnet-Joschko, S., Kreeb, M., Losen, D., Gefßner, C., Dffenhard, V., Maniura, A.: Lexikon Nachhaltiges Wirtschaften. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München/Wien 2001

FRANZ, INGA; ESSIG, HOLGER (2002)

Kommerzialisierung – Die zweite Hürde der Nanotechnologie, in: VentureCapital Magazin Sonderausgabe: Nanotechnologie – Märkte und Visionen, 3. Jahrgang, November 2002, Verlag GoingPublic Media AG, Wolfratshausen 2002

FUCHS, HARALD (2003)

Es wäre dringend an der Zeit, dass die Investoren einen längeren Atem haben, in: Venture-Capital Magazin Sonderausgabe: Nano-/Mikrotechnologie – Märkte und Visionen, 4. Jahrgang, November 2003, Verlag GoingPublic Media AG, Wolfratshausen 2003

GLÄNZEL, W.; MEYER, M.; DU PLESSIS, M.; THIJS, B.; MAGERMAN, T.; DEBACKERE, K.; VEUGELERS, R. (2003)

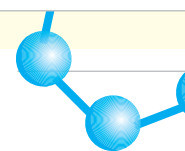
Nanotechnology: Analysis of an Emerging Domain of Scientific and Technological Endeavour, Report of Steunpunt O&O Statistiek, Leuven 2003

GREENPEACE (2003)

Future Technologies, Today's Choices: Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics – A technical, political and institutional map of emerging technologies, von Alexander Huw Arnall, University of London, London 2003

GRUPP, HARIOLF (1995)

Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts, Phylska Verlag, Heidelberg 1995



GUTOWSKI, JÜRGEN (2000)

1. Diskussionsrunde: „Welche Aufgaben stellen sich?“, in: Neue Materialien durch Nanotechnologie, 12. Bremer Universitäts-Gespräch am 11./12. November 1999 im Crown-Plaza Hotel Bremen, Bremen 2000

HAAS, KARL-HEINZ; HUTTER, FRANK; WARNKE, PHILINE; WENGEL, JÜRGEN (2003)

Produktion von und mit Nanomaterialien – Untersuchung des Forschungs- und Handlungsbedarfs für die industrielle Produktion, Fraunhofer-Institut für Silicatforschung, Würzburg, und Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe, Schlussbericht des BMBF-Projekts (02PH 2107, Projektträger PFT), Würzburg/Karlsruhe 2003

HARPER, TIM (2002)

The emerging cutting-edge Technology – Nanotechnology international, in: VentureCapital Magazin Sonderausgabe: Nanotechnologie – Märkte und Visionen, 3. Jahrgang, November 2002, Verlag GoingPublic Media AG, Wolfratshausen 2002

HARPER, TIM (2003)

Beyond Nanotechnology – Why it's time to look beyond the "N-world", in: VentureCapital Magazin Sonderausgabe: Nano-/Mikrotechnologie – Märkte und Visionen, 4. Jahrgang, November 2003, Verlag GoingPublic Media AG, Wolfratshausen 2003

HENN, SEBASTIAN (2003)

Nanotechnology in Germany – company features, locations and trends (Preliminary results of a company-survey), in: Nanofair 2003 – New ideas for industry (VDI-Berichte Nr. 1803), Tagung des VDI Kompetenzfeldes Nanotechnik, 20./21. November 2003 in Dresden, VDI Verlag, Düsseldorf 2003

HOFELICH, MARKUS (2003)

Investoren brauchen einen langen Atem (Editorial), in: VentureCapital Magazin Sonderausgabe: Nano-/Mikrotechnologie – Märkte und Visionen, 4. Jahrgang, November 2003, Verlag GoingPublic Media AG, Wolfratshausen 2003

HULLMANN, ANGELA (2001)

Internationaler Wissenstransfer und technischer Wandel – Bedeutung, Einflussfaktoren und Ausblick auf technologische Implikationen am Beispiel der Nanotechnologie in Deutschland, Physika-Verlag, Heidelberg 2001

HYDER, MOHAMMAD ABDUL HAMEED (2003)

Nanotechnology and Environment – Potential Applications and Environmental Implications of Nanotechnology, Master Thesis in Environmental Engineering, Technical University of Hamburg-Harburg, Hamburg 2003

JÄCKEL, RALPH (2003)

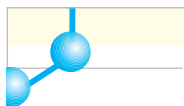
Nanotechnologie-Kompetenzzentrum „Ultradünne funktionale Schichten“ – Aktivitäten und aktuelle Projekte, Broschüre des Nanotechnologie-Kompetenzzentrums, Geschäftsstelle im Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Dresden 2003

KÖNIG, ULF (2003)

Nanotechnology for Energy Conversion in Automobiles, in: Nanofair 2003 – New ideas for industry (VDI-Berichte Nr. 1803), Tagung des VDI Kompetenzfeldes Nanotechnik, 20./21. November 2003 in Dresden, VDI Verlag, Düsseldorf 2003

KÖNIG, ULF; PRESTING, HARTMUT (2003)

Visionen für die Automobile der Zukunft – Perspektiven der Nanotechnologie in der Automobilindustrie, in: VentureCapital Magazin Sonderausgabe: Nano-/Mikrotechnologie – Märkte und Visionen, 4. Jahrgang, November 2003, Verlag GoingPublic Media AG, Wolfratshausen 2003



KOTTHAUS, JÖRG (2003)

In der Nanowelt zu Hause, in: VDI (Hrsg.): Technik in Bayern – Nachrichten aus Technik, Naturwissenschaft und Wirtschaft, 7. Jhg., Nr. 6, November/Dezember 2003, Ausgabe Süd, Schwerpunkt Nanoscience, Verlag Neuer Merkur, München 2003

LUTHER, WOLFGANG (2003)

Marktpotentiale in der Nanotechnologie – Wie aussagekräftig sind Marktzahlen und -prognosen? in: VentureCapital Magazin Sonderausgabe: Nano-/Mikrotechnologie – Märkte und Visionen, 4. Jahrgang, November 2003, Verlag GoingPublic Media AG, Wolfratshausen 2003

LUTHER, WOLFGANG; BACHMANN, GERD (2003)

Eine Ortsbestimmung, in: VDI (Hrsg.): Technik in Bayern – Nachrichten aus Technik, Naturwissenschaft und Wirtschaft, 7. Jhg., Nr. 6, November/Dezember 2003, Ausgabe Süd, Schwerpunkt Nanoscience, Verlag Neuer Merkur, München 2003

MALSCH, INEKE (2003)

Nanotechnology helps solve the world's energy problems, Report of network nanoforum, April 2003

MÜLLER, GERD; RIGHI, MARIE-LUISE (2002)

Nanochemie und Nanomaterialien – Querschnittstechnologie für die Zukunft, in: VentureCapital Magazin Sonderausgabe: Nanotechnologie – Märkte und Visionen, 3. Jahrgang, November 2002, Verlag GoingPublic Media AG, Wolfratshausen 2002

MÜLLER, JÖRG (2003)

Mikroanalytik in Mikrosystemtechnik, in: Barczewski, Baldur; Batereau, Katrin; Flachowsky, Johannes; Franzius, Volker; Hempel; Maximilian (Hrsg.): Vor-Ort-Analytik für die Erkundung von kontaminierten Standorten, Erich Schmidt Verlag, Berlin 2003

PELKA, JOACHIM (2002)

Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie – Abgrenzung und Schnittstellen, in: VentureCapital Magazin Sonderausgabe: Nanotechnologie – Märkte und Visionen, 3. Jahrgang, November 2002, Verlag GoingPublic Media AG, Wolfratshausen 2002

PETSCHOW, ULRICH (2003)

Umweltwirkung nanotechnischer Produkte und Verfahren, in: Steinfeldt, Michael (Hrsg.): Mit Nanotechnologie zur Nachhaltigkeit, Schriftenreihe des IÖW 166/03, Berlin 2003

ROCO, MIHAIL; TOMELLINI, RENZO (2002)

Nanotechnology – Revolutionary opportunities and societal implications, 3rd Joint EC-NSF Workshop on Nanotechnology, 31 January/01 February 2002 in Lecce, European Commission, Research Directorate-General, Luxembourg 2002

ROHRER, HEINRICH (1994)

The Nanometer Age: Challenge and Chance, Il Nuovo Cimento, Vol. 107A, Nr. 7, 1994

STEINFELDT, MICHAEL (2003)

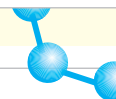
Mit Nanotechnologie zur Nachhaltigkeit, Schriftenreihe des IÖW 166/03, Berlin 2003

THEIS, DITMAR (2000)

Nanotechnologie und industrielles Potential, in: Neue Materialien durch Nanotechnologie, 12. Bremer Universitäts-Gespräch am 11./12. November 1999 im Crown-Plaza Hotel Bremen, Bremen 2000

VDI-NACHRICHTEN (2001/1)

Den Katalysator im Tank, Serie Nanotechnik (4): Nano im Auto könnte Einspritzsysteme verbessern und Benzin sparen, VDI nachrichten vom 29.06.2001, Jahrgang 55, VDI Verlag, Düsseldorf 2001

**VDI-NACHRICHTEN (2001/2)**

Nanotechnik kann das tägliche Leben erleichtern, VDI nachrichten vom 20.07.2001, Jahrgang 55,
VDI Verlag, Düsseldorf 2001

VDI-NACHRICHTEN (2003)

Deutschland in der EU Spitze bei der Nanotechnologie, VDI nachrichten vom 28.03.2003, Jahrgang 57,
VDI Verlag, Düsseldorf 2003

VENTURECAPITAL MAGAZIN 2002

VentureCapital Magazin Sonderausgabe: Nanotechnologie – Märkte und Visionen, 3. Jahrgang, November
2002, Verlag GoingPublic Media AG, Wolfratshausen 2002

WGZ (2002)

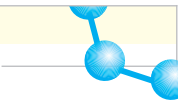
Mikro- und Nanotechnologie – Branchenreport aus Sicht des Kapitalmarktes, von Ernst & Young, IVAM
NRW e.V., MicroVenture und WGZ Venture-Capital Gesellschaft, Düsseldorf 2002

ZEIT (2003)

Der Kanzler aller Moleküle, Artikel von Gero von Randow in der Zeit 46/2003, Jahrgang 58, Hamburg 2003

ZHANG, WEI-XIAN (2003)

Nanoscale iron particles for environmental remediation: An overview, in: Roco, Mihail C. (Hrsg.): Journal
of Nanoparticle Research 5: 323-332, 2003, Kluwer Academic Publishers, Arlington (VA) 2003



10 Anhang

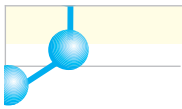
10.1 EXPERTENBEFRAGUNG

Folgende Institute, Institutionen und Unternehmen wurden befragt zu den aus ihrer Sicht vorhandenen Zukunftspotenzialen der Mikro- und Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie für die Umwelttechnik.

Die Antworten wurden teilweise in einem persönlichen Gespräch, per Email oder in einem Telefongespräch gegeben.

TABELLE 12: AUFLISTUNG DER IM RAHMEN DER STUDIE BEFRAGTEN EXPERTEN

INSTITUTION	BEREICH
Forschungszentrum Karlsruhe FZK	Industrieforum Mikrosystemtechnik (FIF)
Fraunhofer ISI	Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI, Abteilung Technikbewertung und Innovationsstrategien
Goema AG	Abwasserbehandlungsanlagen
Nano-Kompetenzzentrum	„NanOp“ an der Technischen Universität Berlin, Institut für Festkörperphysik
Nano-Kompetenzzentrum	„Ultradünne funktionale Schichten“ am Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS
Nano-Kompetenzzentrum	„Funktionalität durch Chemie“ am Institut für Neue Materialien INM
Nano-Kompetenzzentrum	„Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung“ an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig
Nano-Kompetenzzentrum	„Nanoanalytik“ an der Universität Hamburg, Institut für Angewandte Physik
Nano-Kompetenzzentrum	„Nanomaterialien NanoMat“ am Forschungszentrum Karlsruhe FZK
Nano-Kompetenzzentrum	„Erzeugung und Einsatz lateraler Nanostrukturen“
Steinbeis-Transferzentrum	für Umwelttechnik, Konstanz
Steinbeis-Transferzentrum	für Nanostrukturen und Festkörperanalytik an der Universität Konstanz
Steinbeis-Transferzentrum	für Technologie- und Umweltmanagement, Konstanz
Technologie-Lizenz-Büro (TLB)	der Baden-Württembergischen Hochschulen GmbH
Universität Karlsruhe (TH)	DFG-Center for Functional Nanostructures (CFN)
Universität Stuttgart	Lehrstuhl ISWA, Arbeitsbereich Industrielle Wasser- und Abwassertechnologie
Universität Stuttgart	Lehrstuhl ISWA, Lehrstuhl für Abfallwirtschaft und Abluft
Universität Stuttgart	Institut für Wasserbau, VEGAS (Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung)
Universität Stuttgart	Institut für Bioverfahrenstechnik
Universität Stuttgart	Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik IGVT, biomimetische Grenzflächen
Universität Stuttgart	Kompetenzzentrum Umwelttechnik KURS
VDI-Technologiezentrum	Abteilung Zukünftige Technologien
Wirtschaftsförderung	Stadt Konstanz
Wirtschaftsförderung	Stadt Stuttgart



10.2 INTERVIEWLEITFADEN

Fragebogen des Fraunhofer IAO und IAT, Universität Stuttgart:
Zukunftspotenziale der Mikro- und Nanotechnik als Schlüsseltechnologie für die Umwelttechnik in Baden-Württemberg

1 Allgemeines

In welchem Zeitgebiet der Mikro- und Nanotechnik oder Umwelttechnik sind Sie tätig?

2 Bewertung des Standes der Mikro- und Nanotechnik und Identifikation von Schlüsselfeldern

Wie beurteilen Sie den Stand der Mikro- und Nanotechnik insgesamt?
Welche Durchbrüche oder Überwinden wichtiger Hürden sind zu erwarten?

Wissenschaftliche Durchbrüche und/oder Bereiche

Wirtschaftliche Durchbrüche und/oder Bereiche

– Politische Durchbrüche und/oder Bereiche

Was sind mögliche Ursachen für Gegenreaktionen auf dem Einsatz und die Weiterentwicklung der Nanotechnologie?

Beispielsweise

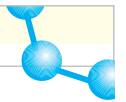
- Ethikdebatte über die Verbesserungsmöglichkeiten durch die Nanotechnologie
- Zu starke Betonung von Größenordnungen anstatt der Nutzeneffekte
- Ethische Unsicherheit der Nanotechnologie
- Befürchtung, dass die Nanotechnologie unheimliche Umwelteinwirkungen hat
- Missbrauch und die Mangel der Allgemeinheit, um die Wissenschaft zu verstehen
-

Welche Teilgebiete der Mikro- und Nanotechnik halten Sie allgemein für am erfolgversprechendsten?

- Halbleitertechnik (Transistoren im nm-Bereich, Lithographieverfahren, ...)
- Messtechnik (Optoelektronik, ...)
- Nanofabrikation (Herstellung von nanostrukturierten Oberflächen, Herstellung technischer Funktionsflächen, ...)
- Nanosysteme (funktionale, integrierte Systeme, ...)
- Nanomaterialien (Materialtechnische Aspekte von Oberflächen/ Kontaktflächen, materialtechnische Aspekte innerer Grenzflächen, Design, ...)

Daniel Heubach, Severin Beucker
Tel. 0711/970-2354
daniel.heubach@iao.fraunhofer.de, severin.beucker@iao.fhg.de

Seite 1/4



Fragebogen des Fraunhofer IAQ und IAT, Universität Stuttgart:
Zukunftspotenziale der Mikro- und Nanotechnik als Schlüsseltechnologie für die Umwelttechnik in Baden-Württemberg

- Nanotechnologie**
- Nanomedizin
 - ...

3 Identifikation und Bewertung von Anwendungsfeldern in der Umwelttechnik

Umwelttechnik

Welche allgemeine aktuelle Forschungsfragen im Bereich der Umweltschutztechnik (in Ihrem Fachgebiet bzw. anderen Fragestellungen für die Umwelttechnik)?

Beispiele:

- Energiesysteme
- Landwirtschaft
- Recycling/ Beseitigung
- Biochem./nach. Aufreinigung
- Wasserdampf
- Abwasserreinigung, Wasseraufbereitung
- Filterungsvorfahren
- Produktion
- Analytik
- andere

Welche Institutionen sind bei der Lösung der oben genannten Fragestellungen aktiv involviert?

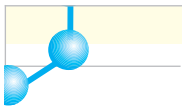
- Industrie
- Forschung
- Politik

Nanotechnik und Umwelttechnik

In welchem Bereich der Umwelttechnik könnten nach Ihren Erkenntnissen bereits die Nanotechnologie zum Einsatz?

Daniel Heubach, Severin Beucker
Tel. 0711/970-2354
daniel.heubach@iao.fraunhofer.de, severin.beucker@iao.fhg.de

Seite 2/4



Fragebogen des Fraunhofer IAQ und IAT, Universität Stuttgart:
Zukunftspotenziale der Mikro- und Nanotechnik als Schlüsseltechnologie für die Umwelttechnik in Baden-Württemberg

Energiesysteme

- Wasserverschärfung
- Katalytische Reinigung
- Biochemische Aufreinigung
- Risikoprüfung
- Abwasserreinigung, Wasseraufbereitung
- Sanierungsverfahren
- Produktion
- Analytik
- andere

Wie beurteilen Sie den Stand der Mikro- und Nanotechnik in Ihrem Tätigkeitsfeld im Hinblick auf das Anwendungsfeld „Umwelttechnik“?

- Frühes Stadium/ Einsatz ...
- reifes Stadium/ Einsatz ...

Welchen (zukünftigen) Forschungsbedarf gibt es in der Nanotechnologie im Hinblick auf neue Lösungsmöglichkeiten in der Umwelttechnik?

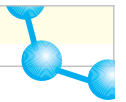
- Hinsichtlich Anwendungsfelder (Nanoptik, Elektronik, Fertigung, Chemie, Bio, ...)
- Hinsichtlich Funktionalität (Analyse, Trennung, Vorgabe, Oberflächenbeschichtung, ...)

Was sind die Trends, wie zukünftig werden können Einwirkungen der Nanotechnologie in der Umwelttechnik?

- Reduktion der Kosten von Nano-Material
- Verbesserung der Funktionalitäten von Produkten/ Technologien mit Bezug zur Nanotechnologie
- Vernetzung der Forschung der Nanotechnologie
- Wissensaustausch und -transfer zwischen den Disziplinen
- ...

Daniel Heubach, Severin Beucker
Tel. 0711/970-2354
daniel.heubach@iao.fraunhofer.de, severin.beucker@iao.fhg.de

Seite 3/4



Fragebogen des Fraunhofer IAQ und IAT, Universität Stuttgart:
Zukunftspotenziale der Mikro- und Nanotechnik als Schlüsseltechnologie für die Umwelttechnik in Baden-Württemberg

4 Ausbau des Einsatzes der Nanotechnologie in der Umwelttechnik

Wie beurteilen Sie die derzeitige Marktsituation der Mikro- und Nanotechnik in Baden-Württemberg?

In Bezug auf ...

- Forschung,
- Regulatorik,
- Industrie,
- Förderprogramme,
- Initiativen und Plattformen.

Inwieweit bewerten Sie eine Unterstützung bzw. Begleitung der Mikro- und Nanotechnik für notwendig, um deren Einsatz in der Umwelttechnik weiter voranzubringen und zu unterstützen?

Eckbereiche

- Informatik,
- Prozessentwicklung,
- Dienstleistungsentwicklung,
- ...

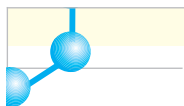
Zielgruppen/ Zielunternehmen

Welche Institutionen müssen hinsichtlich Zielvorgaben und weiterer Vorstufen Einsatz der Nanotechnologie in der Umwelttechnik gezielt gefördert sein, um im Entwicklungs/Umsetzungsprozess einzuwirken können?

- Forschung mit Zielrichtung ...
- Regulatorik mit Zielrichtung ...
- Industrie mit Zielrichtung ...
- Förderprogramme mit Zielrichtung ...
- Initiativen mit Zielrichtung ... und Plattformen mit Zielrichtung ...

Daniel Heubach, Severin Beucker
Tel. 0711/970-2354
daniel.heubach@iao.fraunhofer.de, severin.beucker@iao.fhg.de

Seite 4/4



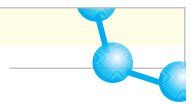
10.3 LINKS UND ADRESSEN

TABELLE 13: LINKS DER NANOTECHNOLOGIE

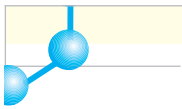
SEITE	URL
BMBF und VDI Startseite der Kompetenzzentren Nanotechnologie	www.nanonet.de
Kompetenzzentrum des BMBF „Anwendung von Nanostrukturen in der Optoelektronik“	www.nanop.de
Kompetenzzentrum des BMBF „Ultradünne funktionale Schichten“	www.nanotechnology.de
Kompetenzzentrum des BMBF „Nanotechnologie: Funktionalität durch Chemie“	www.cc-nanochem.de
Kompetenzzentrum des BMBF „Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung“	www.upob.de
Kompetenzzentrum des BMBF „Nanoanalytik“	www.nanoscience.de
Kompetenzzentrum des BMBF „Nanomaterialien“	www.nanomat.de
DFG-Center for Functional Nanostructures(CFN), Universität Karlsruhe (TH)	www.cfn.uni-karlsruhe.de
Webseite des BMBF zur Nanotechnologie	www.bmbf.de/5462.html
Informationsserver (Cordis) der EU zur Nanotechnologie im 6. Rahmenprogramm	www.cordis.lu/nanotechnology/
Internetportal „Nanoforum“ zu den Nanotechnologieaktivitäten innerhalb der EU	www.nanoforum.de/
Internetportal der Nanotechnologie Gemeinschaft	www.nanoscout.de/
Webseite des Forschungsprojektes “Nanotechnologie – Clusterevolution und Gründungsdynamik in Deutschland”	www.projekt-nanotec.de
Internetportal „Nanoworld“ des VDI	www.nanoworld.de

TABELLE 14: ADRESSEN DER AN DEN BMBF NANO-KOMPETENZZENTREN BETEILIGTEN INSTITUTE UND UNTERNEHMEN AUS BADEN-WÜRTTEMBERG

BEREICH	NAME	STRASSE	ORT
Univ. Forschung	Fachhochschule Aalen	Keplerstraße 3	73447 Oberkochen
Univ. Forschung	Universität Freiburg, Fakultät für Physik	Hermann Herder Str. 3	79104 Freiburg
Univ. Forschung	Universität Freiburg, Fakultät für Physik (Theoretische Physik)	Hermann Herder Str. 3	79104 Freiburg
Univ. Forschung	Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum	Stefan Meier Straße 21	79104 Freiburg
Univ. Forschung	Universität Karlsruhe, Inst. f. Höchstfrequenztechnik und Elektronik	Kaiserstraße 12	76131 Karlsruhe
Univ. Forschung	Universität Karlsruhe, Institut f. Physikalische Chemie u. Elektrochemie	Kaiserstraße 2	76128 Karlsruhe
Univ. Forschung	Universität Karlsruhe, Institut für Angewandte Physik	Postfach	76131 Karlsruhe
Univ. Forschung	Universität Karlsruhe, Institut für Elektrotechnische Grundlagen der Informatik	Hertzstr. 16	76187 Karlsruhe
Univ. Forschung	Universität Konstanz, Fakultät für Physik	Universitätsstr. 10	78434 Konstanz
Univ. Forschung	Universität Stuttgart, 4. Physikalisches Inst.	Pfaffenwaldring 57	70550 Stuttgart
Univ. Forschung	Universität Stuttgart, Institut für Technische Optik	Pfaffenwaldring 9	70569 Stuttgart
Univ. Forschung	Universität Tübingen, Institut für Angewandte Physik	Auf der Morgenstelle 10	72076 Tübingen
Univ. Forschung	Universität Tübingen, Institut für Physikalische und Theoretische Chemie	Auf der Morgenstelle 8	72076 Tübingen
Univ. Forschung	Universität Tübingen, Physikalisches Institut Experimentalphysik II	Auf der Morgenstelle 14	72076 Tübingen
Univ. Forschung	Universität Ulm, Abt. Experimentelle Physik	Albert-Einstein-Allee 11	89069 Ulm
Univ. Forschung	Universität Ulm, Abt. Optoelektronik	Albert-Einstein-Allee 45	89081 Ulm
Univ. Forschung	Universität Ulm, Organische Chemie III	Oberer Eselsberg	89081 Ulm



BEREICH	NAME	STRASSE	ORT
Außeruniv. Forschung	DLR e.V. Institut für Technische Physik	Pfaffenwaldring 38-40	70569 Stuttgart
Außeruniv. Forschung	Europäisches Laboratorium für Molekularbiologie	Meyerhofstraße 1	69012 Heidelberg
Außeruniv. Forschung	FZK Karlsruhe GmbH, Technik und Umwelt	Postfach 3640	76021 Karlsruhe
Außeruniv. Forschung	FZK Karlsruhe GmbH, IMF III Werkstoff-Prozeßtechnik	Postfach 3640	76021 Karlsruhe
Außeruniv. Forschung	Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- u. Bioverfahrenstechnik	Nobelstr. 12	70569 Stuttgart
Außeruniv. Forschung	Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAP	Tullastr. 72	79108 Freiburg
Außeruniv. Forschung	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)	Nobelstraße 12	70569 Stuttgart
Außeruniv. Forschung	Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (IPM)	Heidenhofstr. 8	79110 Freiburg
Außeruniv. Forschung	Institut für Mikro- und Informationstechnik (IMIT)	Wilhelm-Schickard-Str. 10	78052 Vill.-Schwenningen
Außeruniv. Forschung	Staatliche Materialprüfungsanstalt (MPA), Universität Stuttgart	Pfaffenwaldring 32	70569 Stuttgart
Unternehmen	BASF LYNX Bioscience AG	Postfach	69120 Heidelberg
Unternehmen	Bruker-AXS GmbH	Östl. Rheinbrückenstr. 50	76181 Karlsruhe
Unternehmen	Daimler-Benz Aerospace	Wörthstr. 85	89070 Ulm
Unternehmen	Dornier GmbH	Postfach	88039 Friedrichshafen
Unternehmen	INTOP – Ingenieur-Agentur für neue Technologie in Optik		
	und Precision Engineering	Postfach	88699 Frickingen
Unternehmen	Kleindiek Nanotechnik	Markwiesenstr. 55	72770 Reutlingen
Unternehmen	Mineralien-Werke Kuppenheim GmbH	Postfach 1255	76450 Kuppenheim
Unternehmen	Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG	Postfach 11 40	71283 Weissach
Unternehmen	Robert Bosch GmbH	Postfach 10 60 50	70049 Stuttgart
Unternehmen	H. C. Starck GmbH & Co.KG	Kraftwerksweg 3	79725 Laufenburg
Unternehmen	Team Nanotec GmbH am IMIT	Wilhelm-Schickard-Str. 10	78052 Vill.-Schwenningen
Unternehmen	WITec – Wissenschaftliche Instrum. und Techn. GmbH	Hoervelsingerweg 6	89081 Ulm



10.4 ERWARTETES MARKTVOLUMEN DER NANOTECHNOLOGIEBEREICHE

Auflistung von Bachmann (1998) zu den einzelnen Forschungsfeldern mit besonders erfolgsversprechendem Potenzial.³⁶

TABELLE 15: ABSCHÄTZBARES MARKTVOLUMEN ULTRADÜNNER SCHICHTEN (BACHMANN 1998) (IN ECKIGER KLAMMER IN DER TABELLE DIE QUELLE FÜR DIE ABSCHÄTZUNG)

ABSCHÄTZBARES MARKTVOLUMEN ULTRADÜNNER SCHICHTEN PRODUKTGRUPPE (INFORMATIONSQLLE)	BRANCHE	1996 MIO. EURO	2001 MIO. EURO
Beschichtung für Optiken (Brillen, ...) und Gläser (Automobilbau, Architekturglas, ...) [Gewiplan '91]	Optik, Automobilbau	700	850
Biokompatible Beschichtungen [Frost and Sullivan]	Medizin		3.000
Chemo-/Biosensorschichten [Gewiplan '91]	Mess- und Regeltechnik	500	1.000
Datenspeicherschichten (magnetisch, optisch, ...) [Gewiplan '91]	Infotechnik	6.000	8.000
Diamantartige Schichten [Internet '97: nanothinc.com]	Werkzeugtechnik	650	3.400
GMR-Sensoren [Elektronik-Praxis 15/95]	Automobil, Mess- und Regeltechnik	275	1.100
Quantenfilmlaser (Diodenlaser, ...) [Laser Focus World, Feb. 97]	Infotechnik, Optik, Maschinenbau	1.350	2.700
Solarzellen (nanokristallin, ...) [Gewiplan '91]	Energietechnik	400	700
Multilagenschichten (Röntgenoptiken, Schweißverfahren, ...)	Optik, Maschinen- und Anlagenbau	–	–
Klimatisierungsschichten	Automobiltechnik, Bauwesen	–	–
Klebeoberflächen	Chemie, Pharmazie	–	–
Katalysatoroberflächen	Chemie, Automobil	–	–
Haftvermittler	Chemie, Automobiltechnik	–	–
Farbeffektschichten	Automobilbau	–	–
Gesamtsumme		9.875	20.750

³⁶ Siehe auch im Internet unter: www.nanonet.de/anwendungen/index.php3 (Zugriff 02.12.2003)



TABELLE 16: ABSCHÄTZBARES MARKTVOLUMEN VON NANOMATERIALIEN (BACHMANN 1998)

(IN ECKIGER KLAMMER IN DER TABELLE DIE QUELLE FÜR DIE ABSCHÄTZUNG)

ABSCHÄTZBARES MARKTVOLUMEN VON NANOMATERIALIEN PRODUKTGRUPPE [INFORMATIONSQLLE]	BRANCHE	1996 MIO. EURO	2001 MIO. EURO
Keramiken aus Nanophasenmaterialien [Ber. DKG 72 (1995)]	Chemie	5.200	7.750
Keramiken- und Glasprodukte durch Sol-Gel-Technik [Ber DKG 73 (1996)]	Chemie	450	900
Lichtfiltersubstanzen/Sonnencreme [Beiersdorf-PM]	Chemie, Pharmazie	200	250
Molecular Modelling Software [Internet '97: nanothinc.com]	Chemie	425	1.700
Pigmente (nur BASF-Verkaufsvolumen) [BMBF Expertendiskussion '96]	Chemie	500	1.000
Polymere Komposit-Werkstoffe [DARPA '92]	Chemie	–	900
Sonstige nanoskalige Materialien (Fullerene, Dendrimere, supramolekulare Einheiten..)	Chemie	–	–
Wirkstoffe, Trägersubstanzen	Pharmazie	–	–
Korrosionsinhibitoren	Chemie	–	–
Elektro- und magnetorheologische Flüssigkeiten	Chemie, Automobiltechnik	–	–
Gesamtsumme		6.775	12.500

TABELLE 17: ABSCHÄTZBARES MARKTVOLUMEN LATERALER NANOSTRUKTUREN (BACHMANN 1998)

(IN ECKIGER KLAMMER IN DER TABELLE DIE QUELLE FÜR DIE ABSCHÄTZUNG)

ABSCHÄTZBARES MARKTVOLUMEN LATERALER NANOSTRUKTUREN PRODUKTGRUPPE [INFORMATIONSQLLE]	BRANCHE	1996 MIO. EURO	2001 MIO. EURO
Röntgenoptiken (Zonenplatten, ...) [Gewiplan '91]	Optik	5	30
Supraleitende Josephson-Kontakte [Int. Superconductivity Industry Summit 1996]	Elektronik, Mess- und Regeltechnik	350	2.750
Ultrafiltrationsmembrane [Gewiplan '91]	Umwelt-/Lebensmitteltechnik, Medizin	30	60
Lithographiegeräte	Feinmechanik, Elektronik	–	–
Funktionelle strukturierte Schichten	Automobilbau, Infotechnik	–	–
Zukünftige Speicher und Prozessoren	Elektronik	–	–
Gesamtsumme		385	2.830

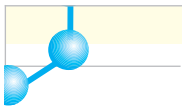


TABELLE 18: ABSCHÄTZBARES MARKTVOLUMEN ULTRAPRÄZISE BEARBEITETER OBERFLÄCHEN (BACHMANN 1998)

(IN ECKIGER KLAMMER IN DER TABELLE DIE QUELLE FÜR DIE ABSCHÄTZUNG)

ABSCHÄTZBARES MARKTVOLUMEN VON ULTRAPRÄZISE BEARBEITETEN OBERFLÄCHEN PRODUKTGRUPPE [INFORMATIONSQUELLE]	BRANCHE	1996 MIO. EURO	2001 MIO. EURO
Stepperoptiken [European Semiconductor, Oct. 96]	Optik	1.000	2.000
Ultraglatte Substrat- und Waferoberflächen	Optik, Elektronik	5.500	11.000
Ultraglatte Lagerschalen, Gleitelemente	Maschinenbau	–	–
Gesamtsumme		6.500	13.000

TABELLE 19: ABSCHÄTZBARES MARKTVOLUMEN EINER ANALYTIK VON NANOSTRUKTUREN (BACHMANN 1998)

(IN ECKIGER KLAMMER IN DER TABELLE DIE QUELLE FÜR DIE ABSCHÄTZUNG)

ABSCHÄTZBARES MARKTVOLUMEN EINER ANALYTIK FÜR NANOSTRUKTUREN PRODUKTGRUPPE [INFORMATIONSQUELLE]	BRANCHE	1996 MIO. EURO	2001 MIO. EURO
Rasterelektronenmikroskope [STN-PROMT-Datenbank '97]	Mess- und Regeltechnik	500	1.000
Rastersondensysteme (Geräte, Zubehör, Software) [Internet '97: nanothinc.com]	Mess- und Regeltechnik	350	2.400
Geräte zur Elementanalyse [Gewiplan '91]	Mess- und Regeltechnik	370	460
Sonstige Oberflächenmeßgeräte [Gewiplan '91]	Mess- und Regeltechnik	120	300
Positioniersysteme [Gewiplan '91]	Mess- und Regeltechnik	70	115
Gesamtsumme		1.410	4.225



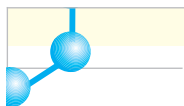
10.5 FÖRDERUNG VON SCHWERPUNKTEN UND INSTITUTIONEN

TABELLE 20: AUFWENDUNGEN IN DER BMBF-FÖRDERUNG FÜR DIE NANOTECHNOLOGIE IM RAHMEN VERSCHIEDENER BMBF-SCHWERPUNKTTHEMEN (BMBF 2002)

	2001 IN MIO. EURO	2002 IN MIO. EURO	2003 IN MIO. EURO
Nanomaterialien	23,5	23,9	29,1
Optische Technologien	12,6	17,0	17,6
Biotechnologie	1,3	8,5	9,6
Nanoelektronik	8,6	27,5	42,0
Kommunikationstechnologien	2,9	4,0	4,0
Produktionstechnologien	0,2	0,6	1,3
Mikrosystemtechnik	5,0	7,0	8,5
Summe (in Mio. Euro)	54,1	88,5	112,1

TABELLE 21: MITTEL FÜR NANOTECHNOLOGIEFÖRDERUNG IM RAHMEN DER DFG-FÖRDERUNG UND DER INSTITUTIONELLEN FÖRDERUNG (BMBF 2002)

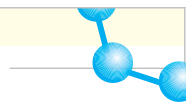
INSTITUTIONELLE FÖRDERUNG 2001	GESAMTSUMME IN MIO. EURO	DAVON ÖFFENTLICHE MITTEL IN MIO. EURO	DAVON INDUSTRIEANTEIL IN MIO. EURO
DFG Deutsche Forschungsgesellschaft	27,0	25,2	1,5
MPG Max-Planck-Gesellschaft	14,3	13,6	0,7
Fhg Fraunhofer Gesellschaft	8,5	4,4	4,1
WGL Wissenschaftsgemeinschaft W.G. Leibnitz	25,4	17,8	7,6
HGF Helmholtz-Gemeinschaft	31,8	26,0	5,8
andere (Caesar, PTB)	5,7	5,7	0
Summe in Mio. Euro	112,7	93,0	19,7



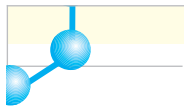
10.6 ZUSAMMENSTELLUNG MÖGLICHER EINSATZMÖGLICH- KEITEN DER MIKRO- UND NANOTECHNOLOGIE IM UMWELT- SCHUTZ

TABELLE 22: ZUSAMMENSTELLUNG DER MÖGLICHEN EINSATZMÖGLICHKEITEN DER MIKRO- UND NANOTECHNOLOGIE IM UMWELTSCHUTZ (NACH HYDER 2003, ERGÄNZT UM EIGENE RECHERCHE)

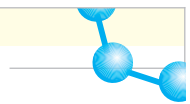
ANWENDUNGSFELD	EINGESETZTE FUNKTIONALITÄT	TECHNOLOGIE	ANWENDUNGSBEZUG	BEWERTUNG/ KOMMENTARE
1. Umweltbeobachtung	Biosensoren als bio-organische Oberfläche	Einbindung von nanoskaligen, synthetisch hergestellten Rezeptoren mit Aminosäureketten, an die sich spezifisch Toxin anlagern Detektion mittels einer UV-Lampe	Beobachtung/Überwachung von: - Emission und Luftverschmutzung - chemischen und bakteriologischen Veränderungen in Prozessen - aquatische Lebensformen, Flora und Fauna Monitoring und Identifizierung von Toxinen, Pathogene im Trink- und Abwasser Lebensmittelproduktion	Forschungsprojekt an U.S. EPA – National Center for Environmental Research
2.	Mikro-elektro-mechanische Sensoren (MEMS)	Integration von mechanischen Elementen, Sensoren, Aktoren und Elektronik auf einem Silizium-Chip durch Mikrotechnologie	Wetterbeobachtung durch autarke Mikrosensoren mit Fühler, die in einem Sturm mitfliegen	
3.	Faseroptische Sensoren	Kombination von Glasfaseroptik/ Kabeln mit Sensortechnologie wie Piezoelektrische "Speicher"-Legierung auf einer Materialoberfläche	Überwachung mit wärmesensitiven Sensoren	
4.	Barcodes-Signatur/Marker	Anheftung von Nano-Barcodes an Substanzen	Anzeige und Nachweis der Präsenz relevanter Substanzen in beispielsweise industrieller Abluft/Abwasser/ Boden	
5.	Intelligente Oberflächen/ Partikel	Sensorische und reagierende synthetische Oberflächen/ Partikel, die grundlegend ihr Verhalten ändern können wie voreingestellt oder gewünscht	Gleichzeitiges Monitoring (durch Farbwechsel) und Reinigung einer Phase (Wasser, Luft), Entfernung mittels Flockung und/oder Magnetismus	Forschungsprojekt an U.S. EPA – National Center for Environmental Research
6.	Mikrosystemanalytik	Gaschromatographen (2m-Säule mit 50 µm Durchmesser auf einem 25x25 mm ² -Chip)	Einfache, sparsame Vor-Ort-Analytik mit telemetrischen Fernabfragesystemen, Verbleib in einem Bohrloch	Technologie steht erst am Anfang, funktionsfähige Einzelsysteme bestehen bereits (Müller 2003)
7.		Flammenionisationsdetektor mit Mikrotechnologie	Energiesparsame Messung	(Müller 2003)
8. Bodensanierung	Nanoroboter	Baumartig-strukturierte Nanoröhren mit „Degradationsfunktion“ wie Bioorganismen, Energieversorgung mit Hilfe von Solarenergie	Aufsaugen chemischer toxischer Substanzen in einer Mülldeponie oder GW-Aquifer	bisher noch Vision (Drexler und Petersen 1991)
9.	Reduktion/Oxidation/Katalyse	Nano-Eisenpartikel zur Reduktion organischer/anorganischer Kontamination	Grundwasseraufbereitung/-reinigung	



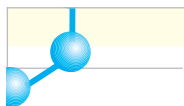
ANWENDUNGSFELD	EINGESETZTE FUNKTIONALITÄT	TECHNOLOGIE	ANWENDUNGSBEZUG	BEWERTUNG/ KOMMENTARE
10.		Nano-Bimetalle (Fe/Metall) als reaktive Oberfläche	Kostengünstige In-Situ-Sanierung von Perchloraten und Chrom(VI)	Forschungsprojekt an U.S. EPA – National Center for Environmental Research
11. Wasserreinigung und -aufbereitung	Nano-Filtration	Carbon-Nanotubes-Membran	Abwasserbehandlung Energieeffizientere Rückkehr- osmose oder Destillation	
12.	Reduktion/Oxidation/Katalyse	Nano-Eisenpartikel zur Reduktion organischer/anorganischer Kontamination	Wasserreinigung Grundwasseraufbereitung/-reinigung	
13.		Katalytische Nanopartikel auf Grundlage von Fe(II) und Fe(III)-Precursoren	Dekontamination von chlorierten organischen Lösemitteln, organo-chlorierte Pestizide und PCB	(Zhang 2003)
14.		Nanoskalige Zeolithe	Umweltkatalyse Oxidation in Kationenaustauscher NOx-Verminderung Photokatalytischer Abbau organischer Kontamination	Forschungsprojekt an U.S. EPA – National Center for Environmental Research
15.	Ab-/Adsorption, Ionenaustauscher	Carbon-Nanotubes/Carbon-Füllkörper	Meerwasserentsalzung Wasserbehandlung	
16.		Entionisierender Wasserfilter mit Elektroden auf der Basis von Nanotechnologie (Flow Through Capacitor Technology)	Meerwasserentsalzung mit geringerem Energieaufwand	
17.	Analyse/ Sensorik	Detektion von Schwermetallionen mit Nanoelektroden auf einem Silizium-Chip durch den Einsatz von Quantentunneleffekten, Messung	In-Situ Metallionen-Detektion in Wasser/Grundwasser	Forschungsprojekt an U.S. EPA – National Center for Environmental Research
18. Luftreinhaltung	Reduktion/Oxidation/Katalyse	Nanopartikel mit Metallocarbide und Oxycarbide als Ersatz für die Pt-Metallgruppe	Abgasbehandlung	Forschungsprojekt an U.S. EPA – National Center for Environmental Research
19.			Photokatalytische Luftreinigung	Marktreife 0-5 Jahre (Glänzel et al 2003)
20.		Nanopartikel als Katalysator im Verbrennungsprozess (Beigabe im Kraftstoff oder Zylinderwandbeschichtung)	Schadstoffreduktion in Kfz-Verbrennungsmotoren	(vdi-nachrichten 2001/1)
21. Saubere Technologie	Nanofabrikation	Produkte werden von Grund auf gebaut ohne Beiprodukte		
22.	Ressourceneinsatz und -effizienz	Nanoprodukte basieren zum Großteil auf Kohlenstoffbasis	Produkte werden kleiner und stabiler (vgl. carbonfaserverstärkte Werkstoffe) Kohlenstoff ist leicht und billig verfügbar	
				Fortsetzung nächste Seite



ANWENDUNGSFELD	EINGESETZTE FUNKTIONALITÄT	TECHNOLOGIE	ANWENDUNGSBEZUG	BEWERTUNG/ KOMMENTARE
23.	Reduktion von Hilfs- und Reinigungsmitteln	Hydrophobe bzw. ultraphobe (hydrophob auch oleophob) Oberflächen mit Mikrorauigkeit auf der Basis pyrogener Kieselsäure („Lotus-Effekt“)	Flüssigkeitsabweisend beschichtete Flächen, beispielsweise Einsatz in der Druckindustrie als Beschichtung von Druckwalzen	
24.	Nanotechnologie zur Reduktion von Umweltauswirkungen	Änderung/Umwandlung toxischer Abfälle auf atomarer Ebene – mit Hilfe geeigneter Werkzeuge		
25.		Hocheffiziente nanoskalige Katalysatoren führen zu einem verbesserten Prozess	Bessere chemische Reaktion Reinigungsprozesse Energie- und Ressourceneinsparung	
26. Umweltfreundliche und effiziente Energie	Solar-Energie/Photovoltaik	20 nm-dünne Titandioxid-Schicht (TiO ₂) dient als Grundmaterial für adsorbierte organische Moleküle, die von einem Elektrolyt-Fluid umgeben sind.	Kostengünstige, hocheffiziente Solarzellen Einsatz als so genannte Grätzel-Zelle	Effizienz mit ca. 7-8% geringer ggü. Kristall-Silicon-Zellen (ca. 15%) (Malsch 2003), Einsatz in Nischenanwendungen (Uhren, auf Wänden, Lernbaukasten)
27.			Beschichtung der Zelle mit einem Titandioxid-Film (anstatt Silizium) als Halbleiter	Forschungsprojekt an U.S. EPA – National Center for Environmental Research Marktreife 5-15 Jahre (Glänzel et al. 2003)
28.		Zusammensetzung aus Titandioxid (TiO ₂) und Farbmolekülen gelöst in einem Elektrolyt	Solaranstrich, beispielsweise Kfz	(König 2003)
29.		Kunststoffsolarzellen und Dünnschicht-Halbleiterzellen mit Nanopartikeln	Flexible Solarzellen, die sich Formen anpassen, beispielsweise Kfz-Karosserieoberfläche	(König 2003)
30.		Dünnere nanoskaliger Schichtfilm mit amorphem Silizium	Wafer in Solarzellen	Geringere Effizienz ggü. kristallinem Silizium (Malsch 2003)
31.		Molekulare Solarzelle		Marktreife in 5-15 Jahren (Glänzel et al. 2003)
32.	Saubere Brennstoffe aus Sonnenenergie, Luft und Wasser	Herstellung von Wasserstoff durch eine katalysierte Reaktion zwischen Wasser und Borhydrat	Anwendung als Kraftfahrzeug-Kraftstoff	Patentiertes Verfahren, Borhydrat ist in den Eigenschaften sicher (Malsch 2003)
33.	Brennstoffzelle	Polymer-Nanokomposit für die Trennung von Wasserstoff, Sauerstoff und Wasser	Einsatz in der Protonen-Austauscher-Membran (PEM), dadurch verbesserte Trennungseffizienz	(König 2003)
34.		Nanonetz-Struktur	Stabilisation der PEM, dadurch stabilere und dünnere Trennmembran	(König 2003)
35.		Nanoporöse Elektrodenkatalysatoren	Kompaktere Brennstoffzellenmodelle	(König 2003)



ANWENDUNGSFELD	EINGESETZTE FUNKTIONALITÄT	TECHNOLOGIE	ANWENDUNGSBEZUG	BEWERTUNG/ KOMMENTARE
36.		Hohe innere Oberflächen im katalytischen Kraftstoffumwandler durch dichte Anordnung von Nanoröhren als Katalysator im Kraftstoffreformer		(König 2003)
37.		Nano-Palladium-Folie	zur Abscheidung des Wasserstoffs von den übrigen Kraftstoffkomponenten	(König 2003)
38.	Speicherung von Wasserstoff, Butan oder Methan für Brennzelle	Carbon-Nanotubes oder Kohlenstoff-Füllkörper (Nano-Würfel)	Wasserstoffspeicherung/ -absorption in der Brennstoffzelle Reduktion der Korrosion in Nickel-Metallhydrid-Batterien durch Substitution der Metalllegierung	Anwendung der Nano-Röhre bisher mit zu geringem Wasserstoffgehalt (vdi-nachrichten 2001/1) Nanowürfel (3000 m ² /g) haben eine ca. 50% größere Oberfläche als Aktivkohle und eine ca. 1,5fache Beladung
39.		Nanokristallines Magnesiumhydroxid, Metallhydrid-Carbon Nanokomposite,	Speicherung von Wasserstoff in fester Form in Metallhydriden	
40.	Nachbau der Photosynthese auf molekularer Ebene			
41.	Gasaufbereitung	Carbon-Nanotubes	Reinigung von Naturgas	
42.	Verbesserung konventioneller Energiesysteme	Nanotechnologie in Turbinenkraftwerken Nanotechnologie zur Verbesserung der Strahlungsresistenz von Materialien	Kraftwerk Kernkraftwerk	
43.	Speicherung elektrischer Energie	Nanostrukturierte Materialien in Lithiumionen-Batterie (Trockenbatterie) Nanostrukturierte Materialien in Metallhydrid-Batterie oder Carbon-Nanotubes (Nassbatterie), indem die gleiche Technologie wie bei der Wasserstoffspeicherung angewandt wird		
44.	Umwandlung von Energie	Einsatz von Nanotechnologie in Brennstoffzellen oder zur Gasaufbereitung (Membran- oder Katalyse-Technologie)	Effiziente Energietransformation	
45.		Stromkonverter aus Halbleitern mit geringem Bandabstand aus Nanopartikeln	Stromgewinnung aus der Abwärme von Anlagen, beispielsweise Kfz-Motor und Katalysator	(König 2003)
46.	Energieeffizienz-Effekte	Isolierung aus Nano-Schaum		
				Fortsetzung nächste Seite



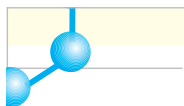
ANWENDUNGSFELD	EINGESETZTE FUNKTIONALITÄT	TECHNOLOGIE	ANWENDUNGSBEZUG	BEWERTUNG/ KOMMENTARE
47. Intelligente umwelt-funktionale Oberflächen	„Barrieren“-Funktionalität		Optisch Thermisch Diffusiv	
48.	Selbstreinigungseffekt auf Oberflächen	40 nm-dicke TiO ₂ -Oberfläche wirkt als Katalysator, um organischen Dreck mit UV-Licht zu oxidieren bzw. zu zersetzen und damit leicht abwaschbar zu machen Wasserabweisende Oberfläche verhindert Tropfenbildung/Trocknungsränder	Einsatz in selbstreinigenden Gläsern, Fenstern und Badarmaturen	(vdi-nachrichten 2001/2)
49.	Lotus-Effekt auf Oberflächen	Hydrophobe bzw. ultraphobe (hydrophob auch oleophob) Oberflächen mit Mikrorauigkeit auf der Basis pyrogener Kieselsäure	Wasser- und schmutzabweisend beschichtete Flächen mit Selbstreinigungseffekt durch Wasserperleffekt bzw. Schmutz leicht abwaschbar, kein MO-Bewuchs (Antibakterielle Beschichtung) Einsatz in transparente Folien für Solarzellen und Glasfassaden, Dachziegel, Beschichtung von Fassaden, Textilien, Anti-Graffiti-Farbe, Lackindustrie, bisherige Oberflächen noch sehr empfindlich gegen mechan. Einwirken	(Dambacher 2003)
50.	Mechanische Effekte von Dünnschicht-Oberflächen	Komposit-Oberflächen mit Titandioxid-Partikel	Erweiterte Stabilität und Belastbarkeit: Glatter, härter und dauerhafter, Resistenz gegen Verkratzung, Korrosionsschutz	(Jäckel 2003)
51.			Wasserabweisender Effekt	
52.	Dämmungseffekte von Oberflächen	Reflektion/Durchlässigkeit von Lichtwellen	UV/IR-Schutz und Hitzeschutz, beispielsweise Beschichtung von Autoscheiben und damit Reduktion des Benzinverbrauchs aufgrund der Klimaanlage	
53.		hochporöse nanostrukturierte Aerogele (nm-große Kieselglas-Kügelchen verzweigen sich zu Ketten und bilden so 50 nm-große Hohlräume)	transparenter Dämmstoff in der Solararchitektur FCKW-freie thermische Superisolation	(Bachmann 1998)
54.	Self-assembly-Schichten	Spontane Ein-Schicht-Bildung molekularer Größe auf Oberflächen	Schwermetalltrennung aus Gas- oder Flüssigphase	
55.	Transparente Oberflächen	Durchlässigkeit von Nanopartikeln gegenüber der Wellenlänge des Lichts	Klarsichtverpackung für unterschiedliche Produkte UV-, IR- und Hitzeschutz	
56.	Oberflächen-Funktionalität der Oberfläche	2-Dimensionalität ultradünner Schichten	Chemische, biologische, mechanische oder physikalische Funktionalität der Oberflächen durch Nanopartikel Eigenschaft, Partikel schnell oder langsam freizugeben auf Grund der Oberflächeneigenschaft	



10.7 FORSCHUNGSPROGRAMME

TABELLE 23: INTERNATIONALE, NATIONALE UND REGIONALE FORSCHUNGSPROGRAMME MIT BEZUG ZUR NANOTECHNOLOGIE UND RELEVANZ FÜR DEN UMWELTSCHUTZ

LAND	FORSCHUNGSPROJEKT	BUDGET MIO. EURO	FÖRDERSCHEWERPUNKT ZUR UMWELTECHNIK	BEZUG ZUM UMWELTSCHUTZ/
USA	National Nanotechnology Initiative (NNI) www.nano.gov	2002: 500 2003: 710 2004: 847 (Verteilt auf Ministerien für: Landwirtschaft, Wirtschaft, Verkehr, Umwelt, Transport, Verteidigung usw.)	- Grundlagenforschung (Nanostrukturen, Nanobiotechnik, Nanoskalige Prozesse und Phänomene) - Zukünftige Herausforderungen - Kompetenzzentren und „Networks of Excellence“ - Forschungsinfrastruktur - Gesellschaftliche und bildungsrelevante Auswirkungen	- Zukünftige Herausforderungen (u.A. Nanoskalige Prozesse zum Umweltschutz) - Mögliche Auswirkungen der NT auf Umwelt und Gesellschaft
EU	Nanoforum www.nanoforum.org	2002-2006 : 1.300 6. Rahmenprogramm	- Interdisziplinäre Grundlagenforschung - Nanobiotechnologie - Nanomaterialien - IT - Entwicklung von Produktionsprozessen - Anwendungsmöglichkeiten in den Gebieten: Gesundheit, Energie, Konstruktion, Transport usw.	- z.B. neue öko-effiziente Produktionsverfahren (Ressourcenschonung und weniger Abfallentstehung) - Umwandlung/Behandlung von Produktionsabfällen
Deutschland	Nanonet www.nanonet.de	2002: 88,5 2003: 112	- Erzeugung und Einsatz lateraler Nanostrukturen (Nanoclub Lateral) - NanOp-Anwendungen von Nanostrukturen in der Optoelektronik - Ultradünne funktionale Schichten - Nanotechnologie: Funktionalität durch Chemie - Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung - Nanoanalytik - Nanomaterialien (am Forschungszentrum Karlsruhe)	- Technikfolgenabschätzung - Risiken für Mensch und Umwelt durch Nanopartikel - Nachhaltigkeit und Nanotechnologie - Ökologische Implikationen aus Förderschwerpunkten Chemie, Oberflächenbearbeitung, Nanomaterialien usw.
Deutschland	BMBF Rahmenprogramm Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft – WING bis 2003 MaTech Werkstoffe für Zukunftstechnologien	1994-2003: 530	Materialforschung, Chemie und Nanowissenschaften zur Entwicklung neuer Werkstoffe und Werkstofftechnologien: - Herstellung neuer Nanopartikel und deren Funktionalisierung - Neuartige Schichten und Oberflächen - Herstellung nanoskaliger Strukturen durch Selbstorganisationseffekte - Mesoporöse bzw. schaumartige Strukturen - Toxizität und Sicherheitsaspekte von Nanosystemen	- Ressourcen- und energieeffizientere Produktionsprozesse durch katalytische Nanopartikel - Ressourceneffizientere Produktion (Selbstorganisation) - Leistungsfähigere Batterien und/oder Wasserstoffspeicher durch schaumartige Strukturen - Ökologische Implikationen von Oberflächenbearbeitung
				Fortsetzung nächste Seite



LAND	FORSCHUNGSPROJEKT	BUDGET MIO. EURO	FÖRDERSCHWERPUNKT ZUR UMWELTTECHNIK	BEZUG ZUM UMWELTSCHUTZ/
Deutschland	BMBF Förderkonzept: Mikrosystemtechnik 2000+	Gesamte BMBF Aufwendungen für MST: 1990-2000: 1.031	- Initiierung umsetzungsorientierter Kooperationsnetzwerke als Fundament für Innovationen - Unterstützung beim Aufbau der industriellen Infrastruktur für die Herstellung von MST-Produkten - Besondere Berücksichtigung des MST Potenzials der neuen Bundesländer - Internationale Kooperationsprojekte - Unterstützung der Umsetzung von MST in wichtigen Anwendungsfeldern: Kommunikationstechnik, Automobiltechnik, Maschinen- u. Anlagenbau, Chemietechnik, Medizin- u. Pharma, Umwelttechnik, Lebensmittel- u. Agrartechnik	- MST in Umwelttechnik: - Messtechnik, Regeltechnik
Bundesland Baden-Württemberg	Förderprogramm BWPLUS	Jährlich: 1,5-2 (ca. 20 Projekte mit je 75.000 bis 100.000 Euro)	Leitziel: Nachhaltige Entwicklung am Standort Baden-Württemberg durch Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen. Schwerpunkte (Auszug): - Klimaschutz und Ressourcenschutz - Umwelt und Wohnen - Umwelttechnik und Umweltinnovation	Insbesondere: - Energieeffizienz und -umwandlung - Innenraumbelastung (biologische, chemische und physikalische Faktoren; Expositions- und Effektmonitoring) - umweltgerechte Produktionstechnik - umweltverträgliche Verwertung und Beseitigung - Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen (*) - Stoffflüsse umweltrelevanter Substanzen (auch öko- und humantoxische Wirkungen) (*) (*) Forschungsprojekt mit Nanotechnologiebezug in diesem Schwerpunkt bereits erfolgt
Bundesland Baden-Württemberg Ministerium für Wissenschaft Forschung und Kunst	Forschungsschwerpunktprogramm für die Universitäten des Landes		Förderung der erkenntnis- und anwendungsorientierten Grundlagenforschung sowie der angewandten Forschung in den Hochschulen Schlüsselthemen und -technologien mit mittel- und langfristiger Perspektive: - Nanotechnologie und Neue Materialien, - Stammzellenforschung, - Life Sciences, - Mikrosystemtechnik und neue Operationsmethoden, - Mess- und Regeltechnik, - optische Technologien, - Verfahrenstechnik	- z.B weniger ressourcen- und energieintensive Produktionsverfahren - (Mikrosystemtechnik, Nanotechnologie und Neue Materialien, Verfahrenstechnik)

