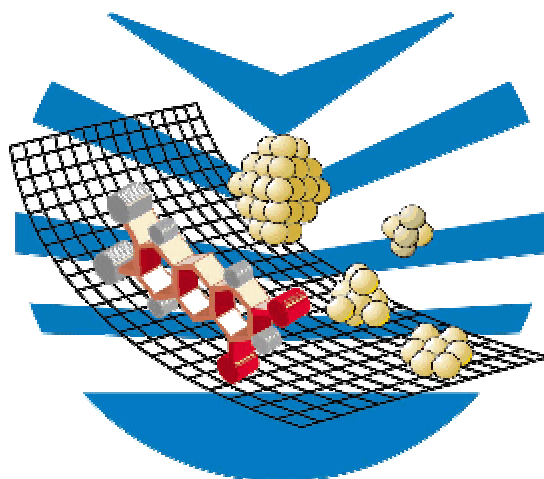




# Nanotechnologie erobert Märkte

- Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie -

## Perspektiven und Handlungsfelder für das nächste Jahrzehnt



Bundesministerium  
für Bildung und Forschung (BMBF)

März 2004

## Inhalt

<b>1. NANOTECHNOLOGIE - EINE INTERDISZIPLINÄRE INNOVATIONSCHANCE.....</b>	<b>7</b>
1.1. Nanotechnologie in Forschung und Entwicklung .....	7
1.2. Produkte und Anwendungsoptionen .....	9
<b>2. AUSGANGSSITUATION IN WISSENSCHAFT, WIRTSCHAFT UND POLITIK.....</b>	<b>12</b>
2.1. Akteure der Nanotechnologie-Szene in Deutschland.....	13
2.1.1. Projektförderung des BMBF.....	13
2.1.2. Netzwerke .....	14
2.1.3. Institutionelle Forschungseinrichtungen .....	15
2.1.4. Universitäten und sonstige Forschungseinrichtungen .....	17
2.1.5. Industrielle FuE .....	17
2.1.6. Nanotechnologieförderung in Deutschland.....	18
2.2. Deutsche Aktivitäten im internationalen Vergleich.....	19
<b>3. DEUTSCHE ZUKUNFTSOFFENSIVE FÜR NANOTECHNOLOGIE</b>	
<b>STRATEGISCHE NEUAUSRICHTUNG DER BMBF-NANOTECHNOLOGIE-FÖRDERUNG .....</b>	<b>21</b>
3.1. Markt- und Beschäftigungspotentiale der Nanotechnologie durch FuE erschließen.....	23
3.1.1. Leitinnovationen für Anwendungen nutzen.....	25
3.1.2. Forschungseinrichtungen und -akteure innovationsorientiert vernetzen .....	31
3.1.3. Wissenschaftlich-technologische Grundlagen sichern, ausbauen und erschließen .....	32
3.1.4. Chancen der europäischen und internationalen Kooperation nutzen.....	33
3.1.5. Rolle der KMU stärken .....	34
3.1.6. Unternehmensgründungen stabilisieren und Firmenansiedelungen ermöglichen .....	35
3.2. Nachwuchs fördern und Qualifikation vorantreiben.....	36
3.2.1. Wissenschaftlichen Nachwuchs fördern.....	36
3.2.2. Qualifizierungsbedarf erkennen und frühzeitig Kompetenzen entwickeln.....	38
3.3. Chancen und Perspektiven für die Gesellschaft nutzen, Risiken vermeiden.....	39
3.3.1. Gesellschaftliche Folgen abschätzen.....	39
3.3.2. Rechtliche Rahmenbedingungen fortentwickeln .....	40
3.4. Evaluation.....	39
<b>4. ANHANG .....</b>	<b>40</b>
4.1. Beispiele branchenrelevanter Anwendungsziele der Nanotechnologie.....	40

## Zusammenfassung

Weltweit findet die Nanotechnologie zunehmend Beachtung und wird als die Zukunftstechnologie bezeichnet. Sie zeichnet sich durch den Effekt aus, dass allein aufgrund der Nanoskaligkeit von Systemkomponenten neue Funktionalitäten entstehen, die zu neuen oder verbesserten Produkteigenschaften führen. Daher ist die Nanotechnologie in den letzten beiden Jahrzehnten sowohl aufgrund ständig verbesserter analytischer als auch präparativer Möglichkeiten zu einer dominanten FuE-Richtung herangereift und wird vermutlich in revolutionärer Weise unsere Möglichkeiten erweitern, Materialeigenschaften gezielt zu beeinflussen, zu nutzen und Nanostrukturen in komplexe Gesamtsysteme zu integrieren. Dabei stellt sie weniger eine Basistechnologie im klassischen Sinne mit eindeutig abgrenzbarer Definition dar, sondern beschreibt vielmehr eine neue interdisziplinäre Herangehensweise für weitere Fortschritte in der Biotechnologie, Elektronik, Optik, oder bei neuen Materialien.

Erkenntnisse der Nanotechnologie dienen derzeit nicht dem Ersatz bereits erzielter Anwendungen in diesen Feldern, sondern befördern sie zu höherer Funktionalität. In unserer täglichen Umgebung umgibt uns ein breites Produktspektrum, das von nanotechnologischen Erkenntnissen bereits profitiert, sei es die Festplatte in unserem Computer, die Sonnencreme mit hohem UV-Schutzfaktor oder die schmutzabweisende Oberfläche unserer Duschkabine. Zudem erschließen sich zunehmend durch interdisziplinäre und branchenübergreifende Sichtweisen insbesondere neue, bisher noch nicht im Detail formulierbare Innovationspotenziale der Nanotechnologie. Diese Entwicklung bedeutet einen qualitativen Sprung für den Einsatz und die weitere kommerzielle Nutzung der Nanotechnologie, der jetzt entschlossenes Handeln in der Forschungspolitik erfordert. Der Wettlauf um die Positionen bei der Eroberung des Nanokosmos ist bereits in vollem Gange. Die USA, Japan – und nicht zu unterschätzen - China, Korea oder Taiwan investieren schon heute außerordentlich in dieses Gebiet. Mit der Einrichtung der FuE-Priorität Nanotechnologie des in 2002 gestarteten 6. EU-Forschungsrahmenprogramm (FP6) hat die Europäische Kommission dieser Konkurrenzsituation Rechnung getragen.

Das BMBF hat diese Entwicklung schon frühzeitig in Angriff genommen. Bereits ab 1998 wurde neben der Intensivierung der BMBF-Verbundprojektförderung für dieses Gebiet der Aufbau einer unterstützenden Infrastrukturmaßnahme durch Einrichtung von sechs Kompetenz-Netzwerken begonnen. Obwohl international nicht entsprechend beachtet, geschah dies zwei Jahre bevor die USA ihre nationale Initiative bzw. vier Jahre bevor die EU vergleichbare Maßnahmen im Rahmen des 6. Rahmenprogramms ins Leben gerufen haben. Auf dem Gebiet der Nanotechnologie ist Deutschland dadurch die Nummer 1 in Europa.

Um im Umfeld der zunehmenden Internationalisierung und Globalisierung auch weiterhin erfolgreich zu sein, muss sich Deutschland auf seine Stärken in Wirtschaft und Wissenschaft besinnen und diese Stärken besser nutzen. Ein Vergleich der Publikations- und Patentanteile der verschiedenen Länder belegt, dass in Deutschland die wissenschaftlichen Domänen der Nanotechnologie noch stark getrennt von anwendungs- und produktbezogenen FuE-Bereichen bearbeitet werden, d.h. es ist ein gewisser Nachholbedarf bei der industriellen Umsetzung erkennbar. Produkt- und Systementwicklungen auf Basis nanotechnologischer Erkenntnisse und der Integration von Nanostrukturen in mikro- und makroskopische Umgebungen liefern hier eine Chance, die nicht verpasst werden darf. In vielen Teilbereichen der Nanotechnologie besitzt Deutschland noch einen Wissensvorsprung, der gepaart mit den für die Umsetzung notwendigen Produkti-

ons- und Vertriebsstrukturen und der international anerkannten deutschen Fähigkeit zur Systemintegration konsequent zum Markterfolg geführt werden muss.

Genau hier setzt die „Deutsche Zukunftsoffensive für die Nanotechnologie“ an. Auf Basis des auf dem NanoDe-Kongress 2002 vorgelegten Eckpunktepapiers und intensiven Diskussionen mit Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft zielt die angestrebte Neuausrichtung der BMBF-Nanotechnologieförderung im wesentlichen darauf ab, – ausgehend von der in Deutschland gut ausgebauten und weltweit konkurrenzfähigen wissenschaftlich-technischen Grundlagenforschung – die Anwendungspotenziale der Nanotechnologie durch an der Wertschöpfungskette strategisch ausgerichtete Forschungskooperationen (Leitinnovationen) zu erschließen und flankierend durch bildungspolitische Aktivitäten einem drohenden Fachkräftemangel entgegen zu wirken. Für viele in Deutschland wichtige Industriebranchen wie Automobilbau, Informationstechnik, Chemie, Pharma und Optik hängt die künftige Wettbewerbsfähigkeit ihrer Produkte auch von der Erschließung des Nanokosmos ab. Konkurrenzfähigkeit gegenüber Niedriglohnländern wird in zunehmendem Maße durch die Faktoren Technologie und Innovation bestimmt, so dass neue Technologietrends wie die Nanotechnologie einen deutlichen Einfluss auf die Arbeitsmärkte des 21. Jahrhunderts erwarten lassen, die es zur Sicherung des Wohlstands am Standort Deutschland zu nutzen gilt. Der Aufbruch, der in der wachsenden Dynamik der Nanotechnologie sichtbar wird, ist geschafft; jetzt kommt es darauf an, die Weichen für die künftige Förderung richtig zu stellen und den Durchbruch zu gestalten.

Der vorliegende strategische Gesamtansatz steckt den Handlungsrahmen für die künftige, neu ausgerichtete Nanotechnologieförderung des BMBF ab. Hervorzuheben sind:

- Zur **Erschließung der Markt- und Beschäftigungspotenziale** im Bereich der Nanotechnologie wird
  - der Startschuss für die Förderung von zunächst **vier Leitinnovationen (NanoMobil / Automobilbranche; NanoLux / Optische Industrie; Nano for Life / Pharma, Medizintechnik und NanoFab / Elektronik)** gegeben;
  - „**NanoChance**“, eine neue BMBF-Fördermaßnahme zur gezielten **Unterstützung FuE-intensiver KMU**, die bereits gegründeten Unternehmen in der Frühphase Konsolidierungshilfe bietet, gestartet;
  - die **Abstimmung zwischen institutioneller BMBF-Förderung** – hier insbesondere durch Synergieeffekte mit der programmorientierten Forschung der HGF-Zentren und der Förderung der Nanowissenschaften durch die DFG – **und Projektförderung** durch strukturelle Maßnahmen (Vernetzung, Schwerpunktbildung, regelmäßiger Informationsaustausch) optimiert.
- **Ergänzend** werden innovationsbegleitende Maßnahmen in Angriff genommen. Zur **Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses** wird der im Mai 2002 gestartete „**Nachwuchswettbewerb Nanotechnologie**“ – hier geht es darum, neue innovative Ansätze frühzeitig zu erkennen, und auch darum, bereits ins Ausland abgewanderte junge Spitzenwissenschaftler wieder nach Deutschland zurückzuholen – fortgesetzt. Weiterhin werden Aktivitäten im Bereich Normung, Patentierung sowie Aus- und Weiterbildung gestartet.
- Die Diskussion über die Innovations- und Technikfolgenabschätzung wird aktiv aufgegriffen, um der zum Teil kritischen **Diskussion zu den Chancen und Risiken der Nanotechnologie** in der Öffentlichkeit durch Versachlichung eine Richtung zu geben. Zur Entwicklung von Handlungsoptionen für die ge-

sellschaftlich erwünschte Nutzung der Nanotechnologie werden die in Kürze vorliegenden Ergebnisse der drei beauftragten **Studien zur Innovations- und Technikfolgenabschätzung** ausgewertet.

## **1. Nanotechnologie - eine interdisziplinäre Innovationschance**

### **1.1. Nanotechnologie in Forschung und Entwicklung**

Nanotechnologie beschreibt die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen, molekularen Materialien, inneren Grenz- und Oberflächen mit mindestens einer kritischen Dimension oder mit Fertigungstoleranzen (typischerweise) unterhalb 100 Nanometer. Entscheidend ist dabei, dass allein aus der Nanoskaligkeit der Systemkomponenten neue Funktionalitäten und Eigenschaften zur Verbesserung bestehender oder Entwicklung neuer Produkte und Anwendungsoptionen resultieren. Diese neuen Effekte und Möglichkeiten sind überwiegend im Verhältnis von Oberflächen- zu Volumenatomen und im quantenmechanischen Verhalten der Materiebausteine begründet.

#### **Historie**

Einen Meilenstein des Entstehungsprozesses der Nanotechnologie markiert die Entwicklung des Rastertunnelmikroskops (STM) im Jahr 1981, wodurch erstmals der direkte Zugang zur atomaren Welt ermöglicht wurde. Diese Leistung wurde '86 mit dem Physik-Nobelpreis belohnt. Die Nanotechnologie umfasst heutzutage aber weit mehr als nur die Verwendung atomar auflösender Mikroskope. Einige Nanomaterialien mit neuartigen, technisch wertvollen Eigenschaften können mit diversen Verfahren bereits großtechnisch hergestellt werden, Oberflächen können bis auf die Nanoskala präzise bearbeitet werden und komplexe Strukturen von wenigen Nanometern Größe lassen sich in Einzelfällen schon heute selbstorganisierend erzeugen. Das BMBF hat bereits Mitte der 80er Jahre erkannt, dass die Anwendungspotentiale der Nanotechnologie in allen führenden Industrienationen eine intensive Diskussion erfahren werden, in deren Folge sich eine markante Erhöhung der weltweiten Forschungsinvestitionen ergeben wird. Erste Förderprojekte gibt es daher schon seit Beginn der 90er Jahre. Um die Organisation des zunehmend komplexer werdenden Technologiefeldes zu optimieren wurde Ende der 90er Jahre - begleitend zur Projektförderung - der Aufbau einer unterstützenden Infrastruktur durch Kompetenzzentren begonnen.

Allein die BMBF-Projektförderung der Nanotechnologie beläuft sich heute in den Fachprogrammen Nanoelektronik, Nanomaterialien, Optische Technologien, Mikrosystemtechnik, Biotechnologie, Kommunikationstechnologien und Produktionssysteme insgesamt auf rd. 100 Mio. € pro Jahr - Tendenz steigend.

Ein Nanometer (nm) bezeichnet den millionstel Teil eines Millimeters, was vergleichbar mit der Länge einer Kette aus 5 bis 10 Atomen ist. Der Querschnitt eines menschlichen Haars ist im Vergleich dazu 50.000 mal größer. Einem Atom oder Molekül kommen jedoch uns vertraute physikalische Eigenschaften wie elektrische Leitfähigkeit, Magnetismus, Farbe, mechanische Härte oder ein bestimmter Schmelzpunkt noch nicht zu. Materialien in Staubkorngröße hingegen besitzen bereits alle genannten physikalischen Eigenschaften und unterscheiden sich in dieser Hinsicht nicht von einem tonnenschweren Objekt aus Stahl. Nanotechnologie spielt sich also in einem Übergangsbereich zwischen individuellen Atomen oder Molekülen einerseits und größeren Festkörpern andererseits ab. In diesem Zwischenbereich treten Phänomene auf, die man an makroskopischen Gegenständen nicht beobachtet. Die gekoppelte Betrachtungsweise von Strukturgröße

und Funktion macht es schwierig, eine scharfe Definition dessen, was zur Nanotechnologie gehört, anzugeben. Zur Verdeutlichung der angesprochenen, neuen Funktionalitäten nachfolgend einige Beispiele:

- Die zunehmende Komplexität der Informationstechnik erfordert neue nanoelektronische und optoelektronische Bauelemente, die beispielsweise auch quantenmechanische Effekte berücksichtigen.
- Sensorische Eigenschaften bekannter Materialien werden durch nanoskalige Strukturgrößen so verändert, dass neue und vielseitigere Sensoren entstehen.
- Für Lacke und Farben bieten kleinste Partikel neue Anwendungsmöglichkeiten wie z.B. unterschiedliche Farbeffekte durch kontrollierte Änderung ihrer Größe oder transparente und dennoch funktionale Beschichtungen wie Antischmutz-Versiegelung oder UV-Schutz.

- Minimale Beimischungen von Nanomaterialien ändern die Eigenschaften eines Festkörpers deutlich, so dass z.B. Folien reißfester werden bzw. Keramiken kaum noch zerbrechen.
- Die chemische Reaktivität und Lebensdauer von Katalysatoren kann durch eine geeignete Strukturzusammensetzung an einer Oberfläche deutlich erhöht werden.

Eigenschaftsänderungen solcher Art beruhen in hohem Maße auf einer neuen Herangehensweise bei der Nutzung von Dimension, Form und Zusammensetzung zum Erzielen neuer physikalischer, chemischer und biologischer Wirkprinzipien. Aufgrund dieser Integrationstendenzen hat sich die Nanotechnologie im wesentlichen aus drei Richtungen kommend entwickelt, die sich auf der Nanoebene treffen (vgl. Abbildung 1):

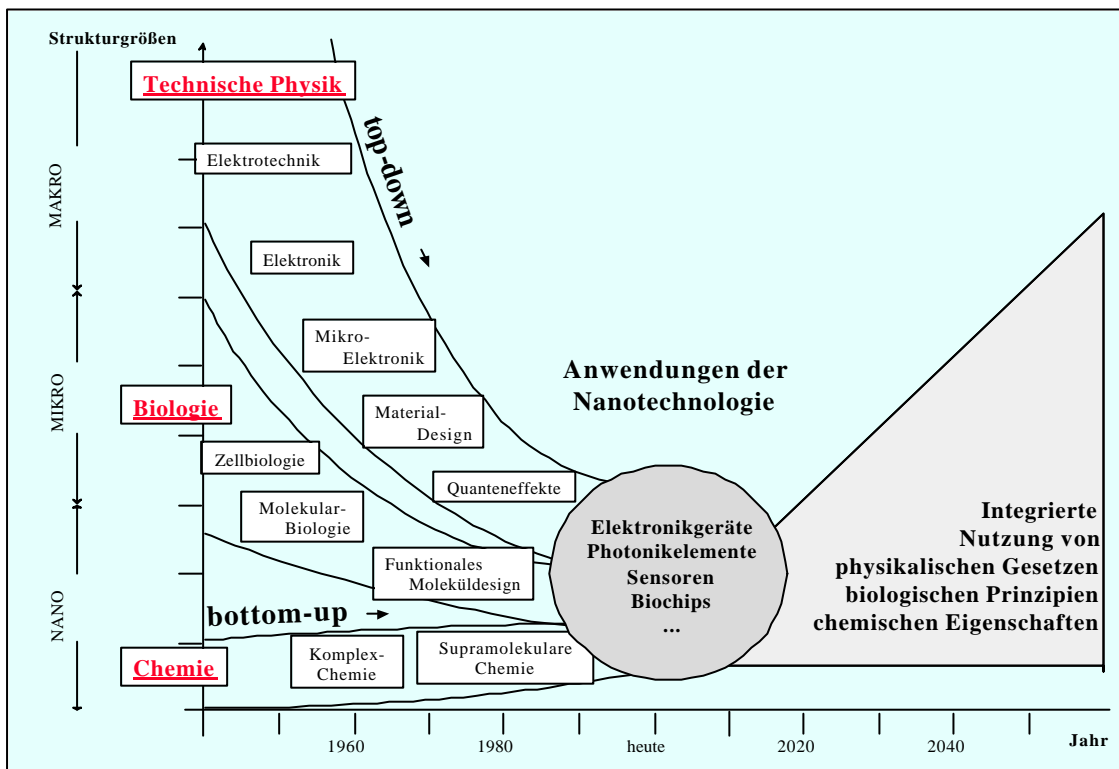


Abbildung 1: Generelle Entwicklungstendenzen und Bezug zur Nanotechnologie.

- Physikalisch technische Verfahren waren in den letzten Jahrzehnten der maßgebliche Treiber zur Erzeugung immer komplexerer Schaltkreise und damit kleinerer Strukturen (Top-down Bestrebungen) in der Mikroelektronik. In den Einkaufsregalen begegnen uns immer höher getaktete Prozessoren und zunehmend kapazitätsreichere Speicherbausteine und Festplatten. Mittlerweile unterschreiten die charakteristischen Chip-Strukturgrößen bereits die Grenze von 100nm.
- Erkenntnisse aus der Komplexchemie und der Supramolekularen Chemie haben zum gezielten Aufbau hochmolekularer, funktionaler chemischer Verbindungen mit enormem Anwendungspotenzial in der Katalyse, Membrantechnik, Sensorik oder Schichttechnologie geführt (Bottom-up Bestrebungen).
- Das Verständnis biologischer Prozesse wurde in jüngster Zeit auf zellulärer wie molekularer Ebene entscheidend ausgebaut. Hierzu gehören eine Vielzahl von Abläufen, wie z.B. der Informationsfluss vom Gen zum Protein, die Selbstorganisation von Molekülen oder die Photosynthese, von technologisch unerreichter Funktionalität und Komplexität. Zukünftig gilt es, die zugrunde liegenden biologischen Prinzipien verstärkt auf technische Systeme zu übertragen. Gleichzeitig stellt die Biotechnologie einen immer umfangreicheren Werkzeugkasten von Verfahren zum Design maßgeschneiderter, funkti-

onaler Moleküle zur Verfügung, die den zukünftigen Einsatz biologisch-technischer Hybridsysteme beispielsweise für Implantate, Neurochips oder eine künstliche Retina in greifbare Nähe rücken lassen.

Insbesondere können Methoden einer Disziplin durch Verfahren und Fachkenntnisse aus anderen Fachrichtungen sinnvoll ergänzt werden. Um nanoskalige Objekte zu untersuchen oder gezielt Strukturierungen vorzunehmen, werden meist physikalische Verfahren genutzt. Die Herstellung nanoskaliger Partikel hingegen ist in erster Linie eine Domäne der Chemie. Biologische Nano-Objekte wie Strukturproteine, Enzyme oder Viren entstehen hingegen durch Selbstorganisation nach Bauplänen der Natur, wobei ein Großteil der grundlegenden Prozesse wie z.B. zelluläre Energiegewinnungsprozesse (wie Atmungskette oder Photosynthese) auf der Nanoskala bzw. auf molekularer Ebene abläuft.

Der Brückenschlag zwischen Makro-, Mikro- und Nanowelt ist die Aufgabe der Systemintegrationstechniken. Zu den notwendigen Systemtechniken gehören z.B. Tools und Verfahren für Entwurf und Simulation, die Aufbau- und Verbindungstechnik, Testmethoden und entsprechende Fertigungsverfahren. Wichtige Anforderung an die Aufbau- und Verbindungstechnik am Mikro-Nano-Interface sind dabei z.B. die Realisierung der notwendigen mechanischen, elektromagnetischen oder bio-chemischen Verbindungen sowie die Platzierung und Verdrahtung von Nanobausteinen mit Hilfe der Mikrosystemtechnik.

## 1.2. Produkte und Anwendungsoptionen

Die Nanotechnologie liefert in zunehmendem Maße Beiträge zur Herstellung FuE-intensiver Güter in den unterschiedlichsten Wirtschaftsbereichen. Motor für eine erfolgreiche Produktentwicklung ist in vielen Fällen die Nachfrage nach extremen Einsparungen bei Gewicht, Volumen, Rohstoff- und Energieverbrauch sowie nach Schnelligkeit. Das Besondere an der Nanotechnologie ist, dass sie zahlreiche dieser Kriterien oftmals gleichzeitig erfüllt. Folglich wird in nahezu allen High-Tech-Branchen ein Innovationsschub erwartet, so z.B. in der Informations- und Kommunikationstechnologie, der Automobil-, Energie- und Produktionstechnik, der chemisch-pharmazeutischen Industrie sowie der Medizintechnik und Biotechnologie.

Einige **Beispiele für Produkte unseres Alltags**, die bereits heute von nanotechnologischen Erkenntnissen profitieren und auch weiterhin große Märkte erwarten lassen:

- Täglich nutzen wir Computer, MP3-Player, CD/DVD-Systeme oder Handy, in denen Elektronik-Chips, Festplatten, RAM-Speicher, Diodenlaser, Displays, Akkus oder neue Keramiken durch Ergebnisse der Nanotechnologie optimiert wurden.
- Leuchtdioden in Anzeigetafeln, Rückleuchten und Taschenlampen transformieren elektrische Energie deutlich effizienter in Lichtstrahlung und erzeugen weniger Wärme als Glühbirnen.
- Nanometer große Oxidpartikel sind für einen hohen Sonnenschutzfaktor in Sonnencremes verantwortlich, ohne Hautschäden zu verursachen. Auch in einigen Sonnenschutztextilien, Farben und Lacken sind diese UV-absorbierenden Nanopartikel schon zu finden, und in UV-reflektierende Folien bieten sie in der Landwirtschaft neue Möglichkeiten.
- Nanopartikel in Schutzschichten für Haushaltsgeräte, Brillenoberflächen, Verglasungen im Sanitärbereich oder in Farbanstrichen für die Hauswand verhindern Verkratzen, Anlaufen, Schmutzverkleben oder Algenbewuchs.

- Chemische Nanotechnologie verhindert das Stumpfwerden von Autolacken und macht diese kratz-fester gegen Flugstaub.
- Die tägliche Vitaminpille wird erst durch ihre nanopartikuläre Zusammensetzung wirksam. Sie entscheidet über die Wasserlöslichkeit und damit Verfügbarkeit für den menschlichen Körper.
- Beimischungen natürlicher nanopartikulärer Materialien lassen Babywindeln besser Feuchtigkeit absorbieren, sowie Frischhaltefolien reißfester und gasdichter werden.

Die Beispiele zeigen, dass der Fokus der FuE-Aktivitäten in den High-Tech Nationen zur Zeit eher in der Verbesserung von Produkten in bereits etablierten Anwendungsfeldern liegt, um deren Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen. Die Herstellung typischer „Nano-Produkte“ ist noch stark in der Grundlagenforschung beheimatet, deren Umsetzung erst in einigen Jahren, teilweise sogar erst in Jahrzehnten erwartet wird.

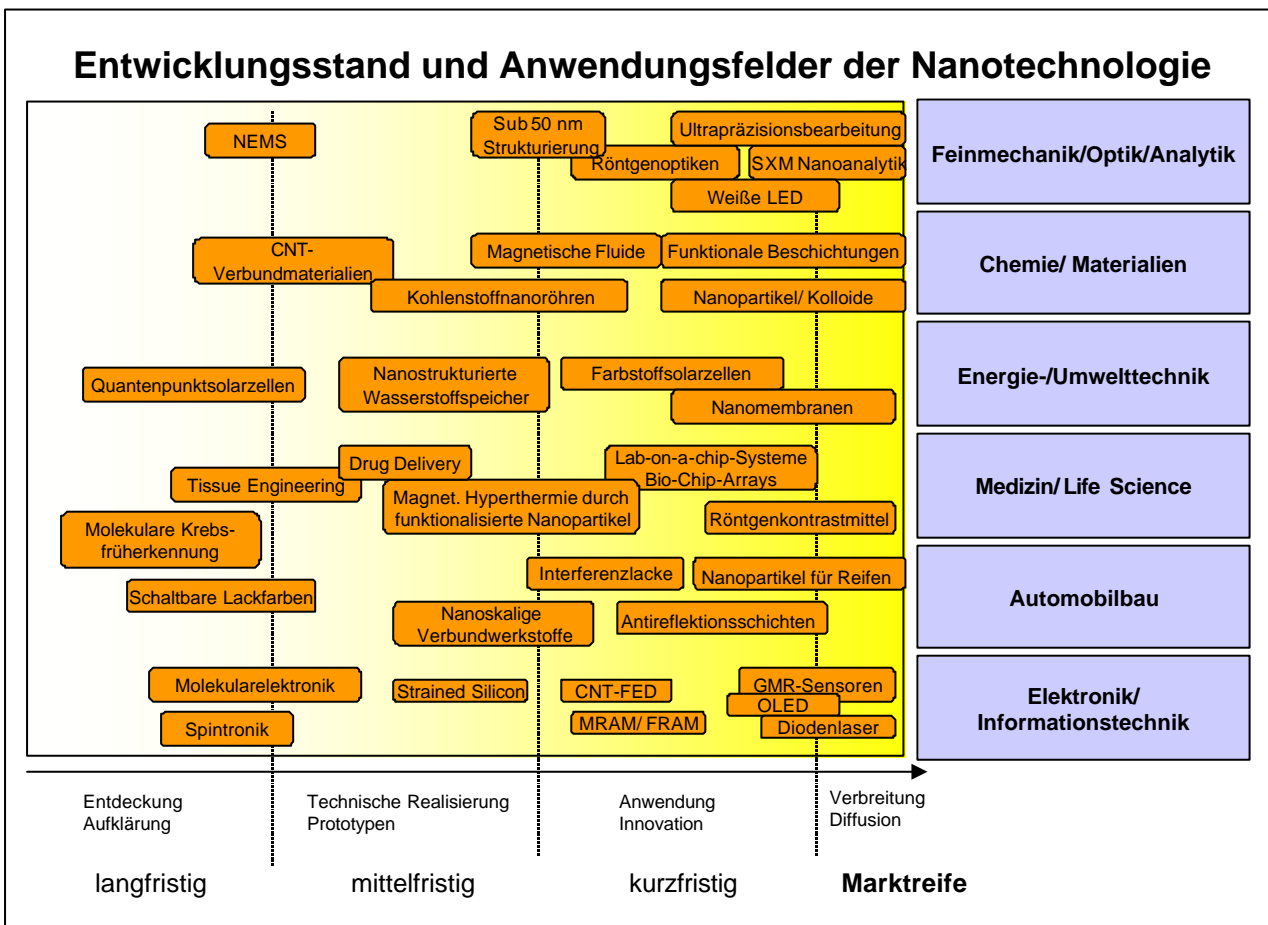


Abbildung 2: Entwicklungsstand von Produkten und Anwendungsfeldern der Nanotechnologie anhand einiger Beispiele. Die zeitliche Einordnung bis zur Marktreife stellt hierbei z. T. nur eine grobe Abschätzung dar. Insbesondere bei Anwendungen, die sich momentan erst im Stadium der Grundlagenforschung befinden, sind Prognosen bezüglich der Marktreife noch mit hoher Unsicherheit behaftet.

Der Gesellschaft werden sich dann Perspektiven für eine umweltverträglichere Lebensführung und Mobilität, eine drastisch verbesserte Kommunikation und Information sowie eine optimierte medizinische Versorgung eröffnen. Verbesserte und preiswertere Möglichkeiten bei der Humantherapie und Diagnostik, die beispielsweise auf nanostrukturierten Biochips, Nanosonden, intelligenten Medikamentendepots im Körperinneren, auf den Organismus ergänzenden Mikrosystemen oder auf künstlichen Basismaterialien für Gewebeimplantate beruhen, können mit zur Verbesserung der Gesundheit und zur Kostendämpfung im Gesundheitswesen in einer älter werdenden Gesellschaft beitragen.

Bereits heute lassen sich auf diesen Gebieten **Beispiele für zukünftige Anwendungsfelder** formulieren, zu deren Realisierung Erkenntnisse der Nanotechnologie wesentliche Beiträge liefern können:

- Die **Automobiltechnik** verfolgt Anwendungsziele, zu denen die Nanotechnologie einen erheblichen Beitrag leisten kann. Neue technische Raffinessen sind dabei sowohl von direktem Nutzen (Verbrauchsminimierung, Fahrsicherheit, Langlebigkeit) als auch von ästhetischer Bedeutung (z.B. schaltbare Lacke). Das Auto der Zukunft wird intelligent auf Umweltreize und Fahrerverhalten reagieren. Scheiben und Spiegel werden sich den äußeren Lichtverhältnissen anpassen, die Reifen werden auf unterschiedlichsten Straßenbelägen haften und zahlreiche Sensoren werden vorausschauend den Fahrzustand bei Änderung der Wetterlage oder bei Kollisionsgefahr regeln. Durch schaltbaren Farbwechsel des Lackes und durch Umbaumöglichkeiten bei Leichtbaukonzepten erhält das Fahrzeug eine individuelle Gestaltungsmöglichkeit. Nanotechnologische Erkenntnisse werden u.a. in die Optimierung des Verbrennungsprozesses und der Abgasreinigung, in die Gewichtsverminderung der Karosserie, die Entwicklung selbstaushheilender Lacke, die Abriebfestigkeit und Haftung der Reifen, oder in die funktionelle Verschiebung einfließen. Bereits heute trägt die Elektronik überproportional zur Wertschöpfung im Automobilbau bei. Zukünftig wird die Bedeutung der Automobilelektronik weiter ansteigen und durch die Rolle der Automobilindustrie als Technologietreiber nanoelektronische Innovationen zur Anwendungsreife bringen.
- Der **Maschinen- und Anlagenbau** trägt in doppelter Weise zum Fortschritt bei nanotechnologischen Anwendungen bei. Erstens stellt er neue Fertigungs- und Anlagentechnik (Herstellung von Nanostrukturen, Ultrapräzisionsbearbeitung, Anlagen für die Nanobiotechnologie und Nanochemie) bereit. Zweitens wird durch den Einsatz von Nanostrukturen in funktionsbestimmenden Schichten, Messtechnik und Sensorik ermöglicht, vorhandene Maschinen und Anlagen zu verbessern. Hierdurch wird die Produktivität und Zuverlässigkeit und damit die Wettbewerbsfähigkeit entsprechender Produkte dieser in Deutschland traditionell starken Branche erhöht.
- In der **Energietechnik** ist die hocheffiziente oder sogar autarke Energieversorgung tragbarer elektronischer Geräte ein drängendes Problem. Derzeitige Batterien oder Akkus sind nach wie vor hinsichtlich Gewicht und Leistungsfähigkeit unbefriedigend. Eine Kombination sparsamer elektrischer und elektronischer Komponenten, effizienter Beleuchtungs- und Anzeigesysteme und insbesondere neuartiger Energiespeicher wie z.B. kleinformatiger Brennstoffzellen verspricht hier einen neuen Lösungsweg. Mehr noch, integrierte Energiewandler auf Basis der Nanotechnologie wie z.B. hocheffiziente Solarzellen oder neuartige Materialien, die Wärme direkt in elektrischen Strom wandeln (Thermoelektrika), lassen für leistungsarme Anwendungen gar den Ersatz von Akkus erkennen, wodurch z.B. tragbare Elektronik- und Diagnosesysteme („Wearable Electronics“) einen enormen Schub erfahren können.
- In der **Medizin** stehen nach wie vor Diagnose- und Therapieansätze für Volkskrankheiten wie Krebs oder Diabetes im Fokus. Hier stellen funktionalisierte Nanopartikel eine neuartige Plattformtechnologie dar. Sie lassen sich im Tumor anreichern und eignen sich damit als spezielle Kontrastmittel für bildgebende Verfahren, zur lokalen Zerstörung des Gewebes durch Erwärmung und insbesondere als spezifische Wirkstofftransporter. Langfristig erscheinen auf dieser Basis auch nicht-invasive Frühdiagnoseverfahren möglich. Komplementär werden zudem mittels Nano- und Mikrosystemtechnik erzeugte Biochips, deren Einsatz in der Pharmaforschung und im Labor derzeit geradezu boomt, auch in der medizinischen Diagnostik Einzug halten. Mit dem Ausbau von Biochip-Technologien rückt zugleich das

Fernziel einer individualisierten Medizin, im Rahmen derer sich eine zeitnahe Vorort-Diagnostik und maßgeschneiderte Medikamente ergänzen, deutlich näher. Erste Drug Delivery Systeme für den Transport von Chemotherapeutika zum Tumor stehen bereits kurz vor der Zulassung.

- Im Bereich der **Information und Kommunikation** wäre die Verfügbarkeit jeder beliebigen Information an jedem Ort der Welt ein Ziel, zu dem die Nanotechnologien und unter diesen vor allem die Nanoelektronik einen bedeutenden Beitrag leisten können. Dem Menschen sollte es in Zukunft möglich sein, sich mittels eines Gerätes von vernachlässigbarer Größe (vergleichbar einer Armbanduhr) jede gerade benötigte Information abzurufen, beziehungsweise mit jedem gewünschten Gesprächspartner in Kontakt treten zu können. Dabei sollte die Information nicht nur als Ziffernfolge auf einem kleinen Display erscheinen, sondern es sollten verschiedenste, vom Nutzer jeweils gewünschte Aufbereitungsformen, beispielsweise von der künstlichen Sprachwiedergabe bis zur dreidimensional holographischen, optischen Darstellung wählbar sein. Der Nutzer hätte gleichzeitig eine medizinische Online-Diagnostikfähigkeit mit automatischer Alarmierung und sein Datenspeicher böte die Kapazität von der Größe einer nationalen Bibliothek. Die Leistungsfähigkeit eines solchen "elektronischen Assistenten" wäre vergleichbar der eines heutigen Rechenzentrums.
- Entwicklungen in der **Optik** lassen eine breite Produktpalette für die Zukunft erwarten. Neben der Rolle, die optoelektronischen Bauelementen in der Unterhaltungselektronik (CD/DVD, Laser-TV, Projektionsgeräte, optische Interconnects) bereits zukommt, werden auch Beleuchtungstechniken auf Basis optoelektronischer Komponenten, wie beispielsweise großflächige Leuchtdioden, immer wichtiger. Aufgrund ihrer langen Lebensdauer und ihrer hohen Effizienz sind optoelektronische Lichtquellen nicht nur zuverlässiger als konventionelle Leuchtmittel, sondern auch sehr sparsam im Energieverbrauch und damit kostengünstiger. Nanometer genau gefertigte optische Linsen beliebiger Geometrie erlauben darüber hinaus die hochpräzise, funktionsspezifische Führung bzw. Ablenkung von Licht, beispielsweise in Daten- und (Heim-)Kino-Projektionsgeräten, für die Lithografie oder in der Medizintechnik.

## **2. Ausgangssituation in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik**

Im Laufe der letzten Dekade wurde durch ein zunehmendes Verständnis von Quanteneffekten, Grenz- und Oberflächeneigenschaften sowie Selbstorganisationsprinzipien die Grundlage für neue Analyse- und Herstelltechniken gelegt, die einen regelrechten Interessensboom in der Nanotechnologie und weltweit Netzwerkaktivitäten entlang der Wertschöpfungskette ausgelöst haben. Besonders die frühzeitige Kombination von Ergebnissen der Grundlagenforschung mit Anwendungsoptionen und daraus zu erwartenden Marktpotentialen hat das Interesse stark beflügelt. Die Akteure der Nanotechnologieszene in Deutschland waren weltweit mit die Ersten, die auf Basis einer fundierten und breit angelegten Grundlagenforschung frühzeitig Anwendungsoptionen adressiert haben. Bereits mehr als 100 Unternehmen in Deutschland haben diese Innovationschance erkannt und nutzen nanotechnologische Erkenntnisse für ihr Kerngeschäft. Insgesamt haben ca. **400 bis 500 Unternehmen in Deutschland** mittlerweile Bezug zur Nanotechnologie und widmen sich als Produktentwickler, Zulieferer oder Investor zunehmend intensiver diesem Technologiefeld. Für sie stellen nanotechnologische FuE-Arbeiten keine kurzfristige Modeerscheinung dar, sondern sie widmen sich langfristig den Schlüsselementen für zukünftige Neuentwicklungen in Branchen mit hohem Beschäf-

tigungspotential, hauptsächlich im Bereich der Elektronik und Informationstechnik, des Automobil- und Maschinenbaus, der Chemie und Pharmazie, Optikfertigung, Medizin und Biotechnologie, oder bei der Energieerzeugung und in der Bauwirtschaft. In Deutschland existieren inzwischen zahlreiche kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die als reine Nano-Unternehmen bezeichnet werden können. Diese flexiblen Innovationsunternehmen besetzen spezifische Nischen innerhalb der Wertschöpfungskette und liefern einen wichtigen Beitrag zum Know-How Transfer aus der Forschung in die Industrie. KMU haben deshalb eine Schlüsselfunktion in den meisten Hochtechnologiebereichen, so dass die Gründung innovativer Start-ups auch in der jungen Nanotechnologiebranche von größter Bedeutung ist.

## 2.1. Akteure der Nanotechnologie-Szene in Deutschland

In Deutschland gründet sich der Erfolg der Nanotechnologie auf eine breite Akteursszene aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik, somit auf einem umfangreichen öffentlichen und privaten Engagement.

### 2.1.1. Projektförderung des BMBF

Nanotechnologieförderung des BMBF (in Mio €)	Schwerpunkte	1998	2002	2003	2004	2005
Nanomaterialien	Nanoanalytik, Nanobiotechnologie, Nanostrukturmaterialien, Nanochemie, CCN, Nanonachwuchswettbewerb, Nanochance,		19,2	20,3	32,7	38,1
Produktionstechnologien	Ultradünne Schichten, ultrapräzise Oberflächen		0,2	0,8	2,2	2,2
Optische Technologien	Nanooptik, Ultrapräzisionsbearbeitung, Mikroskopie, photonische Kristalle, Molekularelektronik, Diodenlaser, OLED		18,5	25,2	26	26
Mikrosystemtechnik	Systemintegration		7	7	9,4	10,2
Kommunikationstechnologien	Quantenstruktursysteme, photonische Kristalle		4,3	4	3,6	3,4
Nanoelektronik	EUVL, Lithografie, Maskentechnologie, eBiochips, Magnetoelektronik, SiGe-Elektronik,		19,9	25	44,7	46,2
Nanobiotechnologie	Manipulationstechniken, funktionalisierte Nanopartikel, Biochips,		4,6	5,4	5	3,1
Innovations- und Technikanalysen	ITA-Studien		0,2	0,5	0,2	
<b>Summe (in Mio. €)</b>		<b>27,6</b>	<b>73,9</b>	<b>88,2</b>	<b>123,8</b>	<b>129,2</b>

Tabelle 1: Aufwendungen für die Nanotechnologie im Rahmen verschiedener BMBF-Schwerpunkthemen

Das BMBF hat bereits seit Ende der 80er Jahre im Rahmen der Programme „Materialforschung“ und „Physikalische Technologien“ Forschungen auf dem Gebiet der Nanotechnologie gefördert. Schwerpunkte waren zunächst die Herstellung von Nanopulvern, Erzeugung lateraler Strukturen auf Silizium sowie Methodenentwicklung zur Nanoanalytik. Später wurden auch in anderen Programmen, so z.B. im Programm „Lasersforschung“ oder im Programm „Optoelektronik“ Forschungsarbeiten mit Nanobezug gefördert. Heute werden zahlreiche Projekte mit Nanotechnologiebezug durch eine ganze Reihe von Fachprogrammen (z.B. WING – Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft, IT Forschung 2006, Förderprogramm Optische Technologien, Rahmenprogramm Biotechnologie) unterstützt. Von 1998 bis 2004 ist das Fördervolumen von Verbundprojekten in der Nanotechnologie auf das Vierfache angestiegen und beläuft sich dann

auf rd. 120 Mio. €. Eine Auflistung der BMBF-Aufwendungen für die Nanotechnologie-Forschung in verschiedenen Schwerpunktthemen ist in Tabelle 1 für die Haushaltsjahre 1998 und 2002 bis 2005 abgebildet.

Zusätzlich zur Förderung des BMBF werden vom BMWA projektbezogene Investitionen in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt PTB und der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung BAM sowie Projekte mit Nanotechnologiebezug im Programm Innovationskompetenz PRO INNO für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) finanziert. Dafür werden ca. 25 Mio. € pro Jahr bereitgestellt.

### 2.1.2. Netzwerke

#### **BMBF-geförderte Kompetenzzentren (CCN)**

1998 wurden vom BMBF sechs Kompetenzzentren mit einer Fördersumme von ca. 2 Mio. € pro Jahr eingerichtet. In einer Phase 3 haben ab Herbst 2003 neun Kompetenzzentren als bundesweite thematische Netzwerke mit regionalen Clustern auf den wichtigsten Gebieten der Nanotechnologie ihre Arbeit fortgesetzt bzw. neu aufgenommen:

- Ultradünne funktionale Schichten (*Dresden*)
- Nanomaterialien: Funktionalität durch Chemie (*Saarbrücken*)
- Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung (*Braunschweig*)
- Nanobioanalytik (*Münster*)
- HanseNanoTec (*Hamburg*)
- Nanoanalytik (*München*)
- Nanostrukturen in der Optoelektronik NanOp (*Berlin*)
- NanoBioTech (*Kaiserslautern*)
- NanoMat (*Karlsruhe; vom FZK eingerichtet und finanziert*)

Ziel der infrastrukturellen Tätigkeit der Kompetenzzentren ist es, eine optimale Zusammenführung potenzieller Anwender und Nanotechnik-Forscher zu ermöglichen. Dabei soll nanotechnologisches Fachwissen der Mitglieder zur Beschleunigung von Innovationsprozessen effizient gebündelt und in der industriellen Entwicklung umgesetzt

werden. Weitere Aufgabe der Kompetenzzentren sind insbesondere Aktivitäten zu Aus- und Weiterbildung, Mitarbeit bei Fragen zur Standardisierung und Normung, Beratung und auch Unterstützung Gründungswilliger sowie Öffentlichkeitsarbeit. Die einzelnen Kompetenzzentren sind entlang thematischer Wertschöpfungsketten in ihrem jeweiligen Bereich strukturiert. In dem gesamten Netzwerk sind derzeit ca. 440 Akteure aus dem Universitätsbereich (29%), Forschungsinstituten (23 %), Großunternehmen (12%), kleinen und mittleren Unternehmen (31%) sowie Finanzdienstleister, Berater und Verbände (insg. 5 %) organisiert. Vor allem für kleine Unternehmen ist der durch die Kompetenzzentren organisierte Informationsaustausch eine wichtige Hilfe, um über aktuelle Entwicklungen informiert zu werden und diese richtig einschätzen zu können. In den kommenden drei Jahren sollen Schwerpunkte vor allem auf die Aus- und Weiterbildung sowie

#### **CCN- Evaluierungsergebnisse:**

- Integration verschiedener Fachszenen gelungen
- Forum für Wissenschaft und Industrie etabliert
- Formierung einer Nano-Fachszene
- Netzwerke entlang der Wertschöpfungskette
- Internationale Sichtbarkeit erreicht
- Erstkontakt für Interessierte
- Beschleunigung des Innovationsprozesses

auf die Unterstützung von Neugründungen gelegt werden. Zukünftig wird die BMBF-Förderung außerdem durch regionale Finanzierung aus den Ländern in gleicher Höhe ergänzt.

### Sonstige Netzwerke

Neben den direkt vom BMBF-geförderten Kompetenzzentren haben sich eine Reihe von Netzwerken etabliert, die unterschiedliche Ziele verfolgen und entsprechend auch verschiedene Zusammensetzungen aufweisen.

Im Gegensatz zu den in der Regel bundesweit (virtuell) angelegten Netzwerken haben einige Universitäten und Forschungszentren ihre Nanotechnologieaktivitäten im Grundlagenbereich durch lokale – teilweise sogar interne – Netzwerke gebündelt. Beispiele hierfür sind CeNS (München), CINSAT (Kassel), CNI (Jülich) oder CFN (Karlsruhe). Stark regionalen Bezug hat auch das NanoBioNet im Saarland.

Eine besondere Rolle nimmt die Gründung von Inkubatoren ein, die aus Universitäten entstehen und die Unterstützung von Ausgründungen im universitären Umfeld zum Ziel haben. Zu diesem Zweck hat bspw. die CenTech GmbH in Münster ein eigenes Gründerzentrum errichtet.

### 2.1.3. Institutionelle Forschungseinrichtungen

Institutionelle Nanotechnologieförderung (in Mio. €)	2002	2003	2004	2005
DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft	60	60	60	60
WGL Wissensgemeinschaft G.W. Leibniz	23,7	23,6	23,4	23,5
HGF Helmholtz-Gemeinschaft	38,2	37,1	37,4	37,8
MPG Max-Planck-Gesellschaft	14,8	14,8	14,8	14,8
FhG Fraunhofer-Gesellschaft	4,6	5,4	5,2	4,9
Caesar	1,8	3,3	4	4,4
<b>Summe (in Mio. €)</b>	<b>143,1</b>	<b>144,2</b>	<b>144,8</b>	<b>145,4</b>

Tabelle 2: Mittel für Nanotechnologieforschung im Rahmen der DFG-Förderung und der institutionellen Förderung.

Die institutionelle Forschung zur Nanotechnologie außerhalb der Universitäten liegt in Deutschland bei den vier großen Forschungsgemeinschaften MPG, FhG, HGF, WGL. Diese unterhalten zahlreiche Forschungseinrichtungen oder Arbeitsgruppen, in denen auch Forschungsschwerpunkte zur Nanotechnologie existieren. Zudem sind diese Partner auch in zahlreichen Sonderforschungsbereichen und Schwerpunktprogrammen der DFG eingebunden. Tabelle 2 weist die öffentlichen Aufwendungen für Forschung mit Nanotechnologiebezug in der DFG-Projektförderung und für die institutionelle Förderung des BMBF gemeinsam mit den Ländern aus.

#### **Wissenschaftsgemeinschaft G. W. Leibniz (WGL)**

In den Instituten der WGL werden sowohl grundlagennahe als auch industrieorientierte Arbeiten in der Nanotechnologie durchgeführt. Schwerpunkte sind zu erkennen in der Nanomaterialforschung - hier sind die Institute für Neue Materialien (INM, Saarbrücken), für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW, Dresden) und für Polymerforschung (IPF, Dresden) markante

Das **INM** ist ein reines Nanotechnologie-Zentrum. Neben der anwendungs nahen Entwicklung neuer Nanomaterialien mit Eigenschaften wie hitzebeständig, antireflektierend, elektrochrom, selbstreinigend etc. wird auch Technologietransfer geleistet. Mehrere Start-up-Unternehmen sind als Ausgründungen des INM bereits tätig. Das INM entwickelt (auch im Industrieantrag) Verarbeitungs- und Herstellungsprozesse für verschiedenste Nanomaterialie bis zur Anwendungsreife.

Akteure - und in der Oberflächenbearbeitung - z.B. am Institut für Oberflächenmodifizierung, (IOM, Leipzig) und am Forschungszentrum Rossendorf (FZR). Grundlegende Arbeiten zur Festkörperelektronik werden am Paul-Drude-Institut (PDI, Berlin) durchgeführt.

### **Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren (HGF)**

In der HGF sind ebenfalls Schwerpunkte der Arbeiten zu materialrelevanten Fragestellungen und in der Nanoelektronik festzustellen. Herausragend sind dabei die Tätigkeiten an den beiden Forschungszentren in Karlsruhe (FZK) und Jülich (FZJ). Aber auch am Forschungszentrum in Geesthacht (GKSS) und am Hahn-Meitner-Institut in Berlin (HMI) wird FuE zu Nanomaterialien und Schichtsystemen durchgeführt.

Im Forschungsbereich "Schlüsseltechnologien – NANO" des FZK gibt es zwei Schwerpunkte: Nanoelektronik und nanostrukturierte Materialien. Darüber hinaus wurde gemeinsam mit den Universitäten Karlsruhe und Straßburg das "NanoValley" ein Forschungsverbund eingerichtet. Die Forschung ist im neu errichteten Institut für Nanotechnologie des FZK (INT) untergebracht.

### **Max-Planck-Gesellschaft (MPG)**

Wesentliche grundlegende Erkenntnisse zu neuen Ansätzen nanotechnologischer Forschung werden durch Arbeiten von MPG-Instituten geliefert. So sind die Stuttgarter Institute für Festkörperforschung und Metallforschung und das MPI für Mikrostrukturphysik in Halle schon seit Jahren in den Bereichen Nanomaterialien, Charakterisierungsverfahren und neuer Funktionalitäten tätig. Weltweit anerkannte FuE-Ergebnisse stammen auch aus Tätigkeiten der Institute für Polymerforschung (Mainz), für Kolloid- u. Grenzflächenforschung (Golm) für Biochemie (München-Martinsried) für Kohlenforschung (Mülheim) und vom Fritz-Haber-Institut (Berlin).

Am MPI für Festkörperforschung wird eine enge Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Disziplinen der Physik und Chemie wie auch zwischen experimentell und theoretisch arbeitenden Wissenschaftlern angestrebt. Nanoforschung und -technologie wird vor allem in folgenden Bereichen betrieben: Nanoionik, Kohlenstoff-Nanoröhren, nm-dünne Schichten und Grenzflächen sowie Nanopartikel.

### **Fraunhofer Gesellschaft (FhG)**

Da in fast allen Teilbereichen der Nanotechnologie bereits heute industrielle Nachfrage besteht, werden in zahlreichen Fraunhofer-Instituten Nanotechnologie-Vorhaben mit konkreten Anwendungszielen gemeinsam mit der Industrie bearbeitet. Im Bereich Schichten und Oberflächen liegt aufgrund der langjährigen BMBF-Förderung ein Schwerpunkt der Tätigkeiten; hier sind die Institute für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS, Dresden), für Silicatiforschung (ISC, Würzburg), für Optik und Feinmechanik (IOF, Jena) und für Grenzflächenforschung (IGB, Stuttgart) sehr aktiv. Nanomaterialforschung hat bspw. in den Instituten für Angewandte Materialforschung (IFAM, Bremen), für Angewandte Festkörperphysik (IAF, Freiburg) und für Chemische Technologie (ICT, Pfinztal) Priorität. Erkenntnisse an der Schnittstelle von der Mikrotechnik zur Nanotechnologie werden an den Instituten für Siliziumtechnologie (ISIT, Itzehoe) und für Produktionstechnologie (IPT, Aachen) erarbeitet. Das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM, Berlin) liefert insbesondere Beiträge zur Aufbau- und Verbindungstechnik. Der Bezug zur Nanobiotechnologie ist für das Institut für Biomedizinische Technik (IBMT, St. Ingbert) ein Interessensfo-

Am FhG-IBMT wird Nanobiotechnologie-Forschung betrieben. Schwerpunkte sind dabei Biosensorik und Biochip-Forschung. Zu den einzelnen Arbeitsgebieten zählen u.a. Biosensorik, Biohybride Systeme, Molekulare Bioanalytik und Bioelektronik, sowie Medizinische Biotechnologie & Bio-Chip-Technik.

kus. Das Institut für Solare Energien (ISE, Freiburg) untersucht den Beitrag der Nanotechnologie für die Energieerzeugung.

#### 2.1.4. Universitäten und sonstige Forschungseinrichtungen

An fast allen deutschen Universitäten mit technisch-wissenschaftlichen Studieninhalten werden FuE-Aktivitäten mit Bezug zur Nanotechnologie durchgeführt. Dabei rückt das interdisziplinäre Verständnis für den Zusammenhang der Teilbereiche immer stärker in den Vordergrund. An einigen Universitäten wurden bereits Nanotechnologie-Studiengänge eingerichtet, die mit den aktuellen Forschungsthemen eng verknüpft sind. Beispielhaft

Studiengänge zur Nanotechnologie:

- Nanostrukturtechnik (Universität Würzburg)
- Nanostrukturwissenschaften (Universität Kassel)
- Mikro- und Nanostrukturen (Universität des Saarlandes)
- Masterstudium Mikro- und Nanotechnik (FH München)

für die zahlreichen und das Themenfeld weitgehend vollständig abdeckenden Aktivitäten seien die Universitätsstandorte in Karlsruhe, Aachen, München, Münster, Hamburg, Saarbrücken, Kaiserslautern, Berlin, Kassel, Würzburg, Freiburg, Marburg genannt. Zusätzlich beginnen auch die Fachhochschulen sich verstärkt diesem Themenfeld zu widmen.

Neben den bisher genannten Instituten existieren im stark diversifizierten FuE-System in Deutschland weitere Einrichtungen mit Schwerpunkten im Bereich der Nanotechnologie, so. z.B. das NMI in Reutlingen, IMS-Chips in Stuttgart, FBH Berlin, Bessy II Berlin, PTB Braunschweig, CAESAR Bonn, IPHT Jena.

#### 2.1.5. Industrielle FuE

Zu den Akteuren im Bereich der Nanotechnologie in Deutschland gehören auch einige hundert Industrie-Unternehmen. In zahlreichen Großunternehmen wie Infineon, DaimlerChrysler, Schott, Carl Zeiss, Siemens, Osram, BASF, Bayer, Metallgesellschaft oder Henkel gehören Problemfelder der Nanotechnologie zu den FuE-Inhalten. Zum Beispiel beschäftigen sich fast alle großen Chemie-Konzerne auch mit der Herstellung nanoskaliger Materialien. Die Forschung ist dabei unter-

**Carl Zeiss** besteht schon seit 1846 und widmete sich schon immer Themen der Präzisionsmechanik und Optik. Speziell im Gebiet der Ultrapräzisionsbearbeitung genießt Carl Zeiss Weltruf. Um dem Gebiet der Lithographie verstärkt Rechnung zu tragen wurde 2001 der eigenständige Unternehmensbereich Carl Zeiss Semiconductor Manufacturing Technologies AG in ein neues Werksgelände ausgegliedert.

schiedlich organisiert: Während Henkel die Firmen SusTech und Phenion in Kooperation mit den Universitäten in Darmstadt und Frankfurt für die Entwicklung und Vermarktung neuer Nanotechnologie-Anwendungen und Materialien außer Haus an einer Universität ausgegründet hat, ist z.B. bei Degussa das "Projekthaus Nano" der 100%-Tochterfirma Creavis für die Erforschung nanotechnologischer Verfahren und Produkte bis zur Anwendungsreife „inhouse“ mit Unterstützung von Universitäten initiiert worden. Diese Entwicklungen sind teilweise in Geschäftsbereiche überführt worden. Als drittes Modell bietet sich das totale Outsourcing der Ergebnisverwertung und Patentnutzung an. Beispielsweise hat sich die Firma Sunyx so aus der Bayer AG oder die Firma Mildendo aus der Jenoptik heraus gegründet. Die Infineon AG praktiziert ein weiteres Modell, indem zur Umsetzung nanotechnologischer Erkenntnisse eine konzerninterne Forschungsabteilung (Infineon-CPR Corporate Research) mit deutlichem Bezug zur Nanotechnologie beauftragt ist. Neben sub50nm CMOS Transistoren für die zukünftige Nanoelektronik werden hier gezielt Koh-

lenstoff-Nanoröhren (CNT) als mögliche Verbindungen zwischen unterschiedlichen Chipebenen (chip interconnects) untersucht.

Während Großunternehmen eher an Systemlösungen mit hohen Umsatzerwartungen interessiert sind, kümmern sich die kleinen und mittleren Unternehmen vornehmlich um Herstell-, Analyse- und Gerätetechniken. Zu den KMU zählt z.B. die Firma Nanogate Technologies GmbH (Saarbrücken), die für verschiedene Anwendungszwecke (u.a. easy-to-clean-Beschichtungen, Antihaf-Produkte, Antigrafittschutz etc.) ihre Nanomaterialien anbietet. Das Unternehmen HL-Planar als Hersteller von diversen Sensoren und als Dienstleister im Bereich dünner Schichten für Mikrosysteme nutzt bereits heute mit der

Die **Omicron Nanotechnologies GmbH** hat sich bereits zu Beginn der 80er Jahre mit Themen beschäftigt, welche in den darauffolgenden Jahren in der Nanotechnologie Bedeutung erlangten: Analytik und Beschichtungsverfahren. Nach der Entdeckung des Tunnelmikroskops konzentrierte sich Omicron recht früh auf die Herstellung von Rastersondengeräten und konnte durch die Verbreiterung seines Mikroskopie- und Analysegeräteangebots ab Mitte der 80er Jahre ein jährliches Wachstum von ca. 25% über die letzten 20 Jahre erreichen. Heute ist die Firma Weltmarktführer im Bereich Rastersondensysteme für die Forschung.

Fertigung von GMR-Sensoren für den Automobil- und Maschinenbau die Nanotechnologie unter industriellen Bedingungen. Auch zahlreiche Start-up-Unternehmen (Universitäts- und Institutsausgründungen) wie Nano-X, ItN-Nanovation, NanoSolution, Capsulation etc. gehören zu den wichtigen Nanotechnologie-Akteuren in Deutschland. Neben reinen Materialherstellern sind zahlreiche Firmen auch in der Nanostrukturierung (hierzu gehören z.B. Aixtron, NaWoTec, Team Nanotech, Nanosensors) oder –analytik tätig (u.a. Omicron Nanotechnologies, IoNTOF, NanoAnalytics, Nanotype, SIS, NanoTools).

### 2.1.6. Nanotechnologieförderung in Deutschland

Summe der Aufwendungen zur Förderung der Nanotechnologie in Deutschland:

<b>Nanotechnologieförderung in Deutschland</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
BMBF Projektförderung	73,9	88,2	123,8	129,2
BMWIA Projektförderung	21,1	24,5	24,5	23,7
Institutionelle Förderung	143,1	144,2	144,8	145,4
<b>Summe (in Mio. €)</b>	<b>238,1</b>	<b>256,9</b>	<b>293,1</b>	<b>298,3</b>

Tabelle 3: Aufwendungen der öffentlichen Hand für die Förderung von Vorhaben der Nanotechnologie in Deutschland.

Ohne den zusätzlichen Eigenanteil der Industrie zur Projektförderung ergeben die Aufwendungen Deutschlands in der öffentlichen Förderung der Nanotechnologie eine Gesamtsumme für 2004 von ca. 290 Mio. €. Die Aufwendungen der Länder für die Universitäten im Rahmen der Grundfinanzierung sind hier ebenso wenig berücksichtigt wie die eigenen Mittel der Industrie für Nanotechnologieforschung *außerhalb* der öffentlichen Förderung.

#### **Bewertung der Akteursszene in Deutschland:**

Deutschland kann auf dem Gebiet der Nanotechnologie auf eine gut ausgebildete Wissenschaftlerszene, eine ausdifferenzierte und vernetzte FuE- und Institutslandschaft sowie engagierte Ingenieure und Unternehmer aufbauen. Allen Akteuren ist bewusst, dass nanotechnologische Innovationen zwar hohe Investitionen erfordern, aber auch neue Beschäftigungsmöglichkeiten schaffen. Solche innovativen Unternehmen unterstützt das BMBF im Rahmen der Verbundprojektförderung speziell in solchen Anwendungsfeldern, in denen eine dominante Marktposition und die anvisierte Produktion hoher Margen erreichbar erscheinen. Sowohl die zukunftsorientierten Firmen als auch die öffentliche Hand setzen erhebliche Mittel zur Stärkung des Themas und seiner Akteure ein. Dabei werden gleichzeitig sowohl die FuE-Arbeit als auch der Ausbau flankierender Maßnahmen, wie der Aufbau vernetzter Strukturen, die Einrichtung von Studiengängen zur Nanotechnologie und sonstige Nachwuchsarbeit und die Einbindung der Gesellschaft in die Thematik adressiert.

## 2.2. Deutsche Aktivitäten im internationalen Vergleich

In der Erarbeitung der Grundlagen für neue Produkte und Anwendungen war Deutschland in den meisten Technologiebereichen mit an der Weltspitze, und auch in der Nanotechnologie-FuE wird Deutschland mit den USA und Japan auf vergleichbarem Niveau gesehen. Jedoch ergibt ein Vergleich der Publikations- und Patentanteile der verschiedenen Länder, dass in Deutschland die wissenschaftlichen Domänen der Nanotechnologie noch stark getrennt von den anwendungs- und produktbezogenen FuE-Bereichen bearbeitet werden. Hier ist ein eher mit japanischen Entwicklungen vergleichbarer Zustand festzustellen, während die USA doch deutlich stärker umsetzungsorientierte Ziele verfolgen.

Deutschland ist stark in den Nanowissenschaften, hat aber Nachholbedarf bei der industriellen Umsetzung. So faszinierend die Möglichkeiten der Nanotechnologie auch sind, so zögerlich scheinen sie seitens der heimischen industriellen Abnehmer und Vermarkter aufgegriffen und für innovative Produkte verwertet zu werden.

Verglichen mit seiner Qualität als Forschungsstandort, seinen zahlreichen Unternehmensgründungen und seinen Marktperspektiven hat Deutschland bei der Umsetzung seines nanotechnologischen Know-Hows noch einiges aufzuholen. Um diesem Zustand zu begegnen und den Grundstein für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit zu legen, hat das BMBF mit der Einrichtung von Kompetenzzentren, mit den Unterstützungsmöglichkeiten für KMU und mit der gleichzeitig erfolgenden Bildungsarbeit einen neuen Förderansatz eröffnet. Durch Aktivierung einer parallelen Förderstrategie – gleichzeitig Projektförderung und Aufbau einer unterstützenden Infrastruktur – wurde erreicht, dass nicht nur die Forschung in der Nanowissenschaft international einen der vordersten Plätze einnimmt, sondern auch die auf Nanotechnologie-Produkte ausgerichteten Firmen an Anzahl und Renommee deutlich zugelegt haben. Grob geschätzt besitzen die USA und Europa etwa gleich viele Unternehmen mit Bezug zur Nanotechnologie. Etwa die Hälfte der in Europa ansässigen Firmen stammen aus Deutschland. Ein Vergleich mit der Situation in Japan oder weiteren Ländern aus Südostasien ist schwierig, da für diesen Erdteil kaum verlässliche Firmenübersichten existieren.

	2001 (in Mio. €)	2002 (in Mio. €)	2003 (in Mio. €)	2004 (in Mio. €)
<b>Deutschland</b>	210	240	250	290
<b>Europa (inkl. nat. Förd.)</b>	360	480	700	740
<b>USA</b>	420	570	770	850
<b>Japan</b>	600	750	800	800

*Tabelle 1: Aufwendungen zur Förderung der Nanotechnologie in Deutschland, Europa, USA und Japan in Mio. Euro (wobei der Einfachheit halber 1\$ gleich 1€ gleich 100Yen verwendet wurde; die Vergleichbarkeit der Angaben ist fraglich, da keine international einheitliche Definition des Feldes existiert, die Angabe nach Voll- oder Nettokosten differiert, Kaufkraftunterschiede unberücksichtigt und die Industrieaufwendungen kaum zu spezifizieren sind.)*

Ein Vergleich der Aufwendungen in Europa, den USA und in Japan ergibt grob abgeschätzt und ohne auf die Förderdetails näher einzugehen durchaus ähnlich hohe Fördervolumina. In den USA wurden im Haushaltsjahr 2002 im Rahmen der "National Nanotechnology Initiative" um die 570 Mio. € und für das Jahr 2003 ca. 770 Mio. € aufgewendet. Der "Governmental Budget Plan for Nanotechnology" der Japaner weist für 2002 eine Fördersumme von ca. 750 Mio. € aus, ab dem Jahr 2003 stehen um die 800 Mio. € jährlich zur Verfügung. Auch die britische Regierung hat vor kurzem eine Initiative bekannt gegeben, die ab dem Jahr 2004 Ausgaben in Höhe von ca. 130 Mio. € für die nächsten 6 Jahre garantieren soll. Von der Generaldirektion Forschung der Europäischen Kommission wird für die gesamte Nanotechnologieförderung in

Europa in 2003 ein Volumen von ca. 700 Mio. € geschätzt. Die Europäische Kommission selbst hat durch die Förderaktivitäten des 6. EU-Forschungsrahmenprogramms (FP6) – bei dem Nanotechnologie im Wesentlichen in der 3. thematischen Priorität unterstützt wird – über die Laufzeit bis 2006 ein Volumen von insgesamt etwa 700-750 Mio. € vorgesehen, also ca. 250 Mio. € pro Jahr ab 2003. Deutschland hat mit ebenfalls ca. 250 Mio. € öffentlicher Mittel pro Jahr den größten Anteil an der nationalen Förderung der Nanotechnologie in Europa. Insgesamt kann folglich für die übrigen Mitgliedstaaten zusammen eine Fördersumme von ca. 200-250 Mio. € für nanotechnologische FuE als realistisch angesehen werden.

Die Nanotechnologie wird derzeit in allen relevanten Industrienationen als ein wichtiges Zukunftsfeld erkannt und entsprechend gefördert. Nicht nur in USA, Japan und in Europa werden daher nationale oder forschungsraumspezifische Programme aufgelegt, sondern auch in China, Korea, Taiwan, Australien, und weiteren Nationen. Neben den hohen Investitionen in dieses Zukunftsfeld sind weitere Besonderheiten der derzeitigen Förderung in fast allen diesen Ländern erkennbar, die vom BMBF bereits vor fünf Jahren adressiert wurden:

- der interdisziplinäre Ansatz zur Beförderung des Feldes;
- die gleichzeitige Förderung von Grundlagen- und angewandter Forschung;
- die Initiierung von Netzwerkaktivitäten;
- der Ausbau internationaler Kooperationen;
- die Kombination mit Fragen der zukünftigen Aus- und Weiterbildung;
- der öffentliche Diskurs mit gesellschaftsrelevanten Fragestellungen;
- der Drang nach schneller Erkenntnisumsetzung zur Standortstärkung.

*"The Germans are serious about nano; and have in place a good funding structure; and co-ordinated approach with useful networks and Centres of Excellence. No researcher complained about lack of funding!! Commercialisation has moved right up the agenda, and is actively encouraged and supported - a relatively recent change in approach for the Germans. Finally; Germany has established itself as a proactive player in global technology markets, through creating a strong, co-ordinated research base with good links to industry."*

*DTI-Report about "The International Technology Service Mission on Nanotechnology to Germany and the USA", 2001*

### **Fazit der Ausgangssituation**

Im Laufe der letzten Jahre konnte durch die BMBF-Maßnahmen zur Nanotechnologie die Sichtbarkeit der deutschen Aktivitäten deutlich gesteigert werden. Nach einem Statement von Philippe Busquin (Forschungskommissar der EU) „ist Deutschland bei den nanotechnologischen Innovationen die Wachstums-Lokomotive in der EU“. Dies lässt erkennen, dass Deutschland in der Nanotechnologie sowohl fachlich als auch infrastrukturell gut aufgestellt ist. Das BMBF hat früher als andere Nationen die Erschließung dieser Zukunftstechnologie eingeleitet und zurecht die Breite des Themas in mehreren Fachprogrammen adressiert. Durch die Fokussierung auf industrieorientierte Fragestellungen wurde in Teilbereichen eine international beachtete Position aufgebaut, die es durch weitere geeignete Schritte auszubauen gilt. Um gegen die stark aufkommende internationale Konkurrenz auch weiterhin bestehen zu können, ist sowohl die Geschwindigkeit im Innovationsprozess zu erhöhen als auch die langfristige Wertschöpfung durch innovationsbegleitende Maßnahmen zu sichern.

### **3. Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie**

#### **Strategische Neuausrichtung der BMBF-Nanotechnologie-Förderung**

Aufgabe einer zukunftsorientierten Innovationspolitik ist es, Trends frühzeitig zu erkennen, innovative Entwicklungen zu fördern und neue Produktzyklen - und damit auch neue Arbeitsplätze - zu generieren.

"Nur wer seine eigene Technologie an führenden Märkten ausrichtet, kann seine Innovationen rasch gegenüber alternativen Innovationslösungen anderer Länder am Weltmarkt durchsetzen."

*(zur Rolle der Marktführerschaft im Bericht zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2001)*

Um im Umfeld der zunehmenden Internationalisierung und Globalisierung auch weiterhin erfolgreich zu sein, muss sich Deutschland auf seine Stärken in Wirtschaft und Wissenschaft besinnen und diese Stärken besser nutzen. Die sich zunehmend durch interdisziplinäre und branchenübergreifende Sichtweisen erschließenden neuen Innovationspotenziale der Nanotechnologie bedeuten einen qualitativen Sprung für deren Einsatz und deren weitere kommerzielle Nutzung, der jetzt entschlossenes Handeln in der Forschungspolitik erfordert. Produkt- und Systementwicklungen auf Basis nanotechnologischer Erkenntnisse und die Integration von Nanostrukturen in mikro- und makroskopische Umgebungen liefern hier eine Chance, die nicht verpasst werden darf. In vielen Teilbereichen der Nanotechnologie besitzt Deutschland noch

#### **Nanotechnologie und Wachstumszyklen**

Die derzeit aufkommende internationale Konkurrenz im Bereich der Nanotechnologie ist eine logische Folge der technologischen Entwicklung der letzten drei Jahrzehnte. Während ab den 70er Jahren Biotechnologie und Mikroelektronik zu den global dominierenden strategischen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkten gehörten, besaß in den 80er Jahren auch die Materialforschung und Informationstechnik prioritären Charakter. Anfang der 90er Jahre wurden vor allem FuE-Arbeiten im Bereich der Miniaturisierung und Integration kleinster Funktionseinheiten gestartet. Gleichzeitig kamen in der Chemie neue Bestrebungen auf, eine zielgerichtete Produktgestaltung nach Selbstorganisationsprinzipien durch Zusammenfügen funktionalisierter individueller Systemkomponenten zu erreichen, wodurch auch die Oberflächen- und Werkstofftechnologien neue Gestaltungsmöglichkeiten erfahren haben.

Im beginnenden 21. Jahrhundert kommt es nun darauf an, durch Kombination dieser verschiedenen Disziplinen einen Mehrwert zu schaffen. Die Nanotechnologie wird in Kombination mit der Biotechnologie und der Informationstechnik als eine der möglichen Basistechnologien des nächsten langjährigen Wachstumszyklus gehandelt. Infolgedessen erfährt sie in allen High-Tech Regionen der Erde als eine der wichtigen Zukunftstechnologien eine immense Förderung. Nicht nur in den USA, in Japan oder in Europa werden daher nationale oder forschungsraumspezifische Programme aufgelegt, sondern auch bspw. in China, Korea, Taiwan, oder Australien.

einen Wissensvorsprung, der gepaart mit den für die Umsetzung notwendigen Produktions- und Vertriebsstrukturen und der international anerkannten deutschen Fähigkeit zur Systemintegration konsequent zum Markterfolg geführt werden muss.

Genau hier setzt die geplante Zukunftsoffensive „Nanotechnologie erobert Märkte“ und die hiermit angestrebte Neuausrichtung der BMBF-Nanotechnologieförderung an. Die Bündelung der bislang in den einschlägigen Fachthemen geförderten Aspekte der Nanotechnologie zu einer nationalen Gesamtstrategie zielt im Kern darauf ab, ausgehend von der in Deutschland gut ausgebauten und weltweit konkurrenzfähigen wissenschaftlich-technischen Grundlagenforschung, die Anwendungspotenziale der Nanotechnologie

durch an der Wertschöpfungskette strategisch ausgerichtete Forschungsk Kooperationen (Leitinnovationen) für die am Standort Deutschland wichtigen Industriebranchen zu erschließen und flankierend durch bildungspolitische Aktivitäten einem drohenden Fachkräftemangel entgegen zu wirken. Die Innovationspolitik muss sich dabei an einem ganzheitlichen Innovationsbegriff orientieren, der alle Aspekte von Innovationen berücksichtigt, die zu einer neuen Innovationskultur in Deutschland beitragen. Dazu gehören die Bildungs- und Forschungspolitik ebenso wie innovationsfördernde Rahmenbedingungen in Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft.

Deutschlands wirtschaftliche Zukunft hängt entscheidend davon ab, wie entschlossen Chancen neuer Technologien wie der Nanotechnologie genutzt werden und ihr Transfer in die wirtschaftliche Nutzung gelingt. Die Forschungsförderung muss daher konsequent dort ansetzen, wo die Veränderungsdynamik am größten ist und marktbeherrschende Innovationen ermöglicht werden, um der Gesellschaft auf mittel- und längerfristige Perspektive Wachstum, Beschäftigung und Wohlstand zu sichern.

Für viele in Deutschland wichtigen Industriebranchen wie Automobilbau, Informationstechnik, Chemie, Pharma und Optik hängt die künftige Wettbewerbsfähigkeit ihrer Produkte von der Erschließung des Nanokosmos ab. Der Anteil der Chemischen Industrie, des Maschinenbaus, der Elektrotechnik/Elektronik, der Informations- und Kommunikationstechnik und des Fahrzeugbaus am Bruttoinlandsprodukt betrug im Jahr 2002 ca. 36 %. Mit Exportquoten von teilweise über 50 % sind es gerade diese Wirtschaftszweige, mit deren innovativen Produkten Deutschland auf den Weltmärkten Geld verdient. Die Exportquote der nicht-forschungsintensiven Wirtschaftszweige beträgt demgegenüber nur ca. ein Viertel. Schlüsseltechnologien wie die Nanotechnologie beeinflussen somit unmittelbar die Wachstums- und Beschäftigungspotenziale der größten Branchen der deutschen Wirtschaft, die es zur Sicherung des Wohlstands am Standort Deutschland zu nutzen gilt.

Konkurrenzfähigkeit gegenüber Niedriglohnländern wird in zunehmendem Maße durch die Faktoren Technologie und Innovation bestimmt. Wie sehr der Wohlstand unserer Gesellschaft auf technischem Fortschritt – der Entwicklung und Nutzung von Schlüsseltechnologien – beruht, zeigt ein Beispiel aus den USA: Mehr als zwei Drittel des privaten Kapitalbesitzes sind nach 1970 geschaffen worden. Die vom Marktwert her größten Unternehmen der Welt sind alle jünger als 30 Jahre und zu großen Teilen Technologieunternehmen, die innovative Technologien produzieren und vermarkten.

Der Aufbruch, der in der wachsenden Dynamik der Nanotechnologie sichtbar wird, ist geschafft. Die Forschungs- und Innovationspolitik der Bundesregierung hat zu dieser Entwicklung maßgeblich beigetragen. Ein hohes staatliches Engagement für Forschung und Entwicklung ging dabei mit hohen Steigerungen der Forschungsaufwendungen der Wirtschaft einher, mit der Konsequenz, dass der Anteil von Forschung und Entwicklung am Bruttoinlandsprodukt wieder auf 2,5 % gestiegen ist. Jetzt kommt es darauf an, die Weichen für die künftige Förderung der Nanotechnologie richtig zu stellen und den wirtschaftlichen Durchbruch dieser Technologie zu gestalten.

#### **Notwendigkeit eines strategischen Gesamtansatzes:**

Um international auch weiterhin konkurrenzfähig sein zu können ist eine nationale Gesamtstrategie für die künftige Nanotechnologieförderung notwendig. Dieser Ansatz umfasst neben der Erarbeitung neuer Anwendungsmöglichkeiten auch die Problemlösung in den Bereichen Ernährung, Gesundheit, Umwelt, oder auch bei sicherheitstechnischen Fragestellungen. Zahlreiche Problemstellungen von heute werden durch Lösungsansätze, die auf kleinere, schnellere und leistungsfähigere Systemkomponenten zielen, zukünftig neue Marktchancen eröffnen, bei denen es auf eine frühzeitige Sicherung von Schlüsselpatenten ankommt und auf eine abgestimmte Wertschöpfung von der Grundlagenforschung bis zur Produktvermarktung. Dabei wird die Einführung neuer Produkte und Verfahren zunächst durch eine kontinuierliche Entwicklung bestehender Technologien erfolgen, die mehr und mehr mit nanotechnologischen Ansätzen kombiniert werden.

#### **Ziele der im Rahmenkonzept beschriebenen Umsetzungsmaßnahmen:**

- Das BMBF unterstützt mit seinen Aktivitäten zur Nanotechnologie die Bemühungen der Bundesregierung, einen wachsenden und anspruchsvollen Wohlstand mit weniger Energie und Ressourcenverbrauch zu verbinden.
- Das BMBF will mit Hilfe dieses Rahmenkonzeptes dazu beitragen, die Markt- und Beschäftigungspotenziale der Nanotechnologie zu erschließen, um vor allem bestehende Arbeitsplätze zu sichern und zudem durch die Umsetzung neuer Erkenntnisse in neue Produkte und Dienste zusätzliche, zukunftsfähige Arbeitsplätze zu schaffen.
- Das BMBF wird – in enger Kooperation mit Wirtschaft und Wissenschaft - neben der klassischen Projektförderung in Forschungsverbänden verstärkt mittels strategisch angelegter Forschungsk Kooperationen (Leitinnovationen) standortbedeutende Fragestellungen der Nanotechnologie aufgreifen.

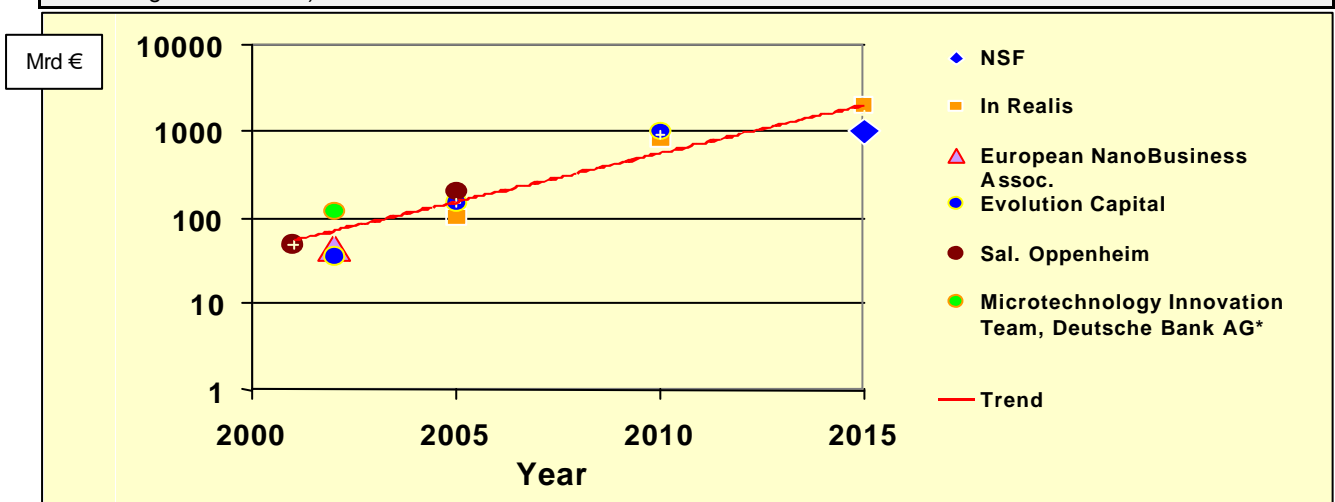
- Das BMBF wird verstärkt solche Forschungsprojekte der Nanotechnologie unterstützen, die eine intensive Mitwirkung von KMU beinhalten, eine Motivation für Start-ups erzeugen und junge Unternehmensgründungen stabilisieren. In einer Reihe von Maßnahmen hat das BMBF die Basis gelegt, die Fachprogramme für KMU noch attraktiver zu machen. Diese Maßnahmen werden im Bereich der Nanotechnologie besondere Berücksichtigung finden und durch den Start einer spezifischen KMU-Fördermaßnahme (NanoChance) weiter ausgebaut werden.
- Das BMBF wird den gesellschaftlichen Diskurs über die Chancen, Perspektiven und Risiken der Nanotechnologie bei der Diskussion künftiger FuE-Aktivitäten integrieren.
- Das BMBF unterstützt im Rahmen dieses Konzeptes Maßnahmen, die durch die Beförderung innovativer und wissensintensiver Technologien Standort- und Wettbewerbsvorteile aufbauen, den Nachwuchs fördern, Kompetenzen und Infrastrukturen bilden, sowie Qualifizierungsaktivitäten vorantreiben.
- Das BMBF wird neben den Forschungsanstrengungen für nanotechnologische FuE-Arbeiten und der Vernetzung der Forschungsinfrastruktur mit Hilfe der Kompetenzzentren und durch die Einrichtung einer nationalen Kontaktstelle auch die Gestaltung des "Europäischen Forschungsraums" aktiv mit vorantreiben.

### 3.1. Markt- und Beschäftigungspotentiale der Nanotechnologie durch FuE erschließen

Die Schaffung zukunftssicherer Beschäftigung ist die zentrale innenpolitische Aufgabe, deren Bewältigung auf allen politischen Handlungsfeldern eine Mobilisierung vorhandener Reserven erfordert. Neben der Arbeitsmarktreform müssen insbesondere neue Wachstumskräfte mobilisiert werden. Vorrangig die Forschungspolitik kann Wege zu mehr Wachstum aufzeigen und dazu beitragen, mittel- und längerfristig zukunftssichere Arbeitsplätze zu schaffen.

Der Schlüssel hierzu liegt in einer konsequenten Ausrichtung der Forschungsförderung auf Innovationen. Diese sind Grundlage für die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Deutschland und damit für Wachstum und Beschäftigung. Innovationen sind im Zeitalter der Globalisierung der Lebensnerv unserer Volkswirtschaft. Sie halten die Wirtschaft in Gang, kompensieren weggefallene Arbeitsplätze und sorgen für Wohlstand. Wissen ist im Zeitalter der Globalisierung und zunehmenden Vernetzung im Prinzip weltweit verfügbar. Aber nur derjenige wird Wachstum und Beschäftigung schaffen, der als erster Innovationen umsetzt.

Das Datenmaterial zur wirtschaftlichen Bedeutung der Nanotechnologie ist nicht nur in Deutschland, sondern auch in anderen Ländern noch sehr lückenhaft. Der Einfluss nanotechnologischer Erkenntnisse auf verkaufbare Produkte besteht aber schon seit Jahren in den Bereichen Elektronikherstellung, Datenspeicherung, funktionelle Schichten oder Präzisionsoptiken. In jüngster Zeit sind nanotechnologische Erkenntnisse zunehmend auch in die Felder Biologie, Chemie, Pharmazie und Medizin eingeflossen, und dieser Trend wird voraussichtlich weiter anhalten. Bereits heute sind deutliche Einflüsse nanotechnologischer Erkenntnisse auf Milliardenmärkte wie z.B. bei der Pharmakaherstellung, medizinischen Diagnostik, Analytik oder bei chemischen und biologischen Katalysatoroberflächen festzustellen. (Eine aktuelle Zusammenstellung der derzeit in der Literatur zu findenden Marktabschätzungen ist in der nachfolgenden Abbildung zu erkennen.)



*Abbildung 3: Aussagen zum weltweiten Marktvolumen der Nanotechnologie (in Mrd €) aus unterschiedlichen Quellen (Grafik der Deutschen Bank, Microtechnology Innovation Team)*

Zwar lässt sich die Wechselwirkung zwischen Innovationen im Bereich neuer Technologien und dem Beschäftigungssystem schwer quantifizieren, so dass keine einfache Prognose zu den Arbeitsmarktwirkungen in einer Volkswirtschaft möglich ist. Unbestritten ist jedoch, dass es zwischen denjenigen Volkswirtschaften, die an dem beschriebenen Innovationsschub teilhaben oder nicht teilhaben werden, zu globalen Verschiebungen auf dem Arbeitsmarkt kommt. Grobe Schätzungen gehen von einem heute durch nanotechnologische Erkenntnisse beeinflussten Weltmarktvolumen von um die 100 Mrd. € aus (siehe Abbildung 3), was ca. 500.000 Arbeitsplätzen entspricht. Unter den Branchen mit den höchsten Beschäftigungszahlen befinden sich mindestens drei, deren Zukunft von der Beherrschung nanotechnologischer Verfahren mit entschieden wird. Diese drei Branchen - Informations- und Kommunikationstechnologie, Kraftfahrzeugtechnik und Chemie - beschäftigen hierzulande mehr als 2 Mio. Menschen. Die internationale Wettbewerbsfähigkeit dieser Branchen basiert wesentlich auf wissens- und forschungsintensiven Industriebereichen, die darauf angewiesen sind, sich durch technische Innovationen schneller als ihre Mitbewerber auf die Nachfragesituation einzustellen. Auch in weiteren FuE-intensiven Sektoren, bspw. Optik, Biotechnologie, Medizintechnik oder Messtechnik, werden zunehmend Erkenntnisse aus der Nanotechnologie einfließen und eine wettbewerbsentscheidende Rolle bei der künftigen Produktpositionierung spielen. Hier will die neu ausgerichtete BMBF-Nanotechnologieförderung Impulse geben, marktbeherrschende Innovationen rechtzeitig anzustoßen und so eine nachhaltige mittel- und längerfristige Perspektive für Wachstum, Beschäftigung und Wohlstand am Standort Deutschland zu initiieren.

Eine stärkere Fokussierung der Forschungspolitik auf neue Technologien ist heute aufgrund der Positionsbestimmung zur technologischen Leistungsfähigkeit, notwendiger Beiträge zur Schaffung zukunftssicherer Beschäftigung und sich gegenwärtig vollziehender Änderungen in Innovationsprozessen somit unabdingbar. Dabei spielen technologische Megatrends wie Miniaturisierung, Individualisierung oder Vernetzung bei der Ausrichtung der Forschungspolitik eine herausragende Rolle. Am Beispiel des technologischen Megatrends „Miniaturisierung“ lässt sich das Potenzial der Nanotechnologie als künftige Schlüsseltechnologie, die in bislang unerreichte Dimensionen der Miniaturisierung vorzudringen und dadurch Wege zu Produkten mit deutlich verbesserten, oder gar ganz neuen Funktionalitäten zu eröffnen vermag, illustrieren. Gleichzeitig müssen gesellschaftliche Entwicklungen, wie Überalterung oder der Wunsch nach Mobilität und Sicherheit berücksichtigt werden.

Das BMBF stellt sich dieser Herausforderung und richtet seine Innovationspolitik im Bereich der Nanotechnologieförderung entsprechend aus. Primäre Ziele dabei sind, die Profilbildung der Wirtschaft im globalen Wettbewerb zu unterstützen, zum Erhalt und Ausbau wirtschaftlicher Stärken beizutragen sowie zugleich neue Entwicklungen aus Technik, Wirtschaft und Gesellschaft aufzugreifen.

Im Sinne einer „profilierter“ Forschungsförderung hat eine Fokussierung im Bereich Nanotechnologie konsequenterweise vorrangig dort zu erfolgen, wo sich eine besondere volkswirtschaftliche Hebelwirkung entfalten lässt, d.h. zukunftssichere Arbeitsplätze geschaffen, die Technologieführerschaften erhalten bzw. ausgebaut, Dienstleistungsangebote integriert und deutsche Unternehmen als „Systemführer“ auf dem globalen Markt unterstützt werden. Daher ist es zwingend, die „lead markets“ am Standort Deutschland in den Blick zu nehmen, also vor allem die Branchen Automobilbau, Maschinenbau, Optik und Chemie. Bezeichnend für diese Lead Market-Branchen ist, dass sie in einem besonders intensiven Partnerschaftsver-

hältnis zur deutschen Wissenschaft stehen, aus der sie ihre technologische Stärke schöpfen. Dies gilt es mit Bezug auf die Nanotechnologie zukünftig zu unterstützen. Aufgabe von Forschung und Politik ist es nun, die Chancen dieses neuen Technologiefeldes durch Stärkung der in Deutschland vorhandenen lead markets bzw. durch Erschließung neuer Märkte zu ergreifen, um das mögliche Potenzial der Nanotechnologie zur Lösung gesellschaftlicher Probleme (z.B. Arbeitslosigkeit, Nachhaltigkeit usw.) auszuschöpfen. Darüber hinaus geht es für die BMBF-Förderpolitik auch darum, die in der Öffentlichkeit intensiv, zum Teil auch kontrovers diskutierten Fragen über das Potenzial möglicher Anwendungen der Nanotechnologie und ihrer Folgen aufzugreifen und zu beantworten.

Zur Aktivierung von Markt- und Beschäftigungspotentialen der Nanotechnologie plant das BMBF folgende Maßnahmen vorzunehmen:

- prioritäre Förderung von Leitinnovationen
- Infrastrukturausbau durch Netzwerke, Kompetenzbildung und innovationsunterstützende Maßnahmen
- Nutzung wissenschaftlicher Exzellenz für Anwendungen
- verstärkte Nutzung der europäischen Integration
- forcierte Einbindung von KMU
- Unterstützung Gründungswilliger

### 3.1.1. Leitinnovationen für Anwendungen nutzen

Mit der inzwischen erfolgten Reifung von Teilgebieten der Nanotechnologie kann und muss stärker als bisher der Abgleich der öffentlichen Forschung mit den strategischen Interessen der Industrie in Deutschland gesucht werden. Hierbei ist eine Konzentration auf die Stärken der deutschen Wirtschaft notwendig, damit eine möglichst große volkswirtschaftliche Hebelwirkung erzielt wird. Forschungsanstrengungen werden auf Innovationsschwerpunkte konzentriert, d.h. auf strategische Technologieentwicklungen gemeinsam mit Wirtschaft und Wissenschaft bei gleichzeitiger technologieübergreifender Bündelung der Forschungskapazitäten und Forschungsgelder. Strategisch angelegte Forschungsk Kooperationen werden ins Leben gerufen, die geeignet sind als „**Leitinnovationen**“, das wirtschaftliche Innovationspotential und den gesellschaftlichen Nutzen der Nanotechnologie aufzuzeigen. Sie sollen entlang der Wertschöpfungsketten mit großem volkswirtschaftlichem Potenzial eine optimale Hebelwirkung auf Wachstum und Beschäftigung auslösen. Das heißt insbesondere „Stärken stärken.“ Dabei geht es um die Stärkung der Nanotechnologie als Wachstumstreiber in vielen – insbesondere den lead market – Branchen, ihre zunehmende Verknüpfung mit anderen Technologien sowie ihre Integration in Anwendungen (z.B. Automobil, Maschinen, Dienstleistungen), die Sicherung und den Ausbau bestehender Märkte sowie die Erschließung neuer Wachstumsfelder. Als Basis für die künftige Innovationsfähigkeit kommt es entscheidend darauf an, Kompetenz in Querschnittstechnologien wie der Nanotechnologie als „Enabler“ für anwendungsorientierte Produkt- und Systeminnovationen zu sichern und innovative, anwendungsnahe Technologiefelder zu identifizieren und konsequent dort zu erschließen (Mut zur Fokussierung), wo in arbeitsteiligen globalen Innovationsprozessen nachhaltige Differenzierung und Wettbewerbsvorteile erzielt werden können. Solche Vorhaben müssen unter der Federführung und signifikanten Eigenbeteiligung der Industrie ablaufen. Leitinnovationen werden als Verbundprojekte zwischen Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft gefördert. Zu den Leitinnovationen wird das BMBF jeweils Förderbekanntmachungen veröffentlichen.

Leitinnovationen im Bereich der Nanotechnologie dienen der Erschließung neuer Wachstumsfelder.

Weitere wichtige **Kriterien für Leitinnovationen** sind

- geschlossene Darstellbarkeit der Wertschöpfungskette,
- Aktivierung volkswirtschaftlicher Hebelwirkungen in benachbarten Anwendungsfeldern,
- Robustheit und Reproduzierbarkeit der Produktentwicklung, bei bestehender Ökovertäglichkeit,
- Adressierung neuer Funktionalitäten und deren Systemintegration,
- Möglichkeit der Serienproduktion und wirtschaftlichen Umsetzung,
- Vorhersagbarkeit des Herstellungsverfahrens/Produktverhaltens und daraus ableitbarer Zuverlässigkeit,
- Integration der Ergebnisse in neue Ausbildungsgänge und
- Sicherung der Erkenntnisse durch Normen und Patente.

Leitinnovationen zu gesellschaftlich relevanten Anwendungen erheben den Anspruch, Trendsetter für wirtschaftlich erfolgreiche Fördermaßnahmen des BMBF zu werden und neue Wege der schnelleren Umsetzung zu eröffnen. In starken Branchen sind meist alle für die Wertschöpfung notwendigen Akteure im Land vorhanden, so dass eine geschlossene Umsetzungskette beschrieben und unterstützt werden kann. Zur vollständigen Beschreibung von Leitinnovationen sind auch Roadmaps zu erarbeiten, die die fachlichen Potentiale mit den Marktgegebenheiten und der notwendigen Strategie verknüpfen, um so vom gesellschaftlichen Nutzen und dem marktwirtschaftlichen Potential kommend die Anforderungen an die Forschung und Entwicklung abzuleiten, daraus die notwendigen Arbeitspakete und Zeitabläufe festzulegen und die erforderlichen Beiträge der beteiligten Partner, einschließlich der notwendigen Aktivitäten in verschiedenen Fachprogrammen des BMBF, zu beschreiben. Sich dann ergebende konkrete Projekte sind als Bausteine auf einem langfristig angelegten Erfolgsweg zu verstehen. Vernetzung, frühzeitiges gemeinsames Einvernehmen über das zu erreichende Ziel und die Darstellung des breit gefächerten weiteren Nutzens der Ergebnisse sind zu beschreibende Elemente eines auf einer Leitinnovation aufbauenden Szenarios.

Die Ausrichtung nanotechnologischer Basisentwicklungen auf ein breites Anwendungspotenzial zur Partizipation an den weltweiten Märkten findet ein zunehmendes Interesse in der Akteursszene. Aus zahlreichen Gesprächen mit der Wissenschaft und Industrie haben sich beispielhaft die nachfolgend genannten Innovationsfelder ergeben, die darauf abzielen, die im Bereich der Nanoelektronik (Standort Dresden) erworbene Führungsstellung auszubauen (NanoFab), Nanotechnologie in deutschen Kernbranchen wie Automobil zu integrieren (NanoMobil), neue Anwendungsbereiche zu erschließen (NanoLux) und interdisziplinäre Ansätze (NanoforLife) zu ermöglichen:

### **Beispiel Nanoelektronik**

Die Elektronik stellt das Fundament nahezu jeder innovativen Technologie unserer Zeit dar. Kaum ein technisches Gerät kommt heute mehr ohne elektronische Komponenten aus. Der Markt für elektronische Bauteile beträgt allein in Deutschland rund 20 Mrd. € mit über 70.000 Beschäftigten in der Bauelementeindustrie. Noch wichtiger ist jedoch die Innovations-Hebelwirkung, die die Elektronik durch ihren grundlegenden Charakter aufweist. Weltweit ist die Elektronikindustrie bereits führend unter den produzierenden Industrien und hat hier sogar bereits die Automobilindustrie überholt. Von besonderer Bedeutung ist aber, dass kein anderer produzierender Industriezweig eine so hohe Wertschöpfung generiert, wie die Elektronik. Dies zeichnet den besonderen Charakter ihrer Schlüsselstellung auch in volkswirtschaftlicher Hinsicht aus. Wer sich heute mit innovativen technologischen Produkten führend am Weltmarkt positionieren will, für den ist die Elektronik ein unverzichtbarer Bestandteil der Wertschöpfungskette, dessen Bedeutung in Zukunft unverändert stark zunehmen wird.

### **Leitinnovation: Ultrapräzise Höchstdurchsatz-Fabrikation für die Nanoelektronik - NanoFab**

Beispiel für eine Leitinnovation, die vom BMBF bereits in Angriff genommen wurde, ist die Maßnahme zur Förderung der Nanoelektronik-Fertigungsverfahren der nächsten Generation. Hierzu zählt die Projektförderung zum Thema EUV-Lithografie, die sich - seit Anfang 2001 über einen Zeitraum von 5 Jahren mit über 50 Mio. € vom BMBF gefördert - mit grundlegenden Arbeiten für die zukünftige Elektronik-Chipproduktion auf Basis einer leistungsfähigen Gerätetechnologie befasst. Die Aufwendungen der Industrie übersteigen dabei mit über 120 Mio. € diese staatliche Förderung um mehr als das Doppelte.

Einen weiteren Förderschwerpunkt stellt das Verbundprojekt „Abbildungsmethodiken“ dar, im Rahmen dessen das erste „Leading Edge“-Maskenzentrum in Europa die strategische Vorlaufforschung für die Chipproduktion bündelt.

Vom BMBF sollen etwa 80 Mio. € zur Erforschung der Maskentechnologien und ihrer Alternativen für die Herstellung von Nanoelektronik-Chips mit Strukturgrößen von 65nm bis herab zum ultimativen Limit eingesetzt werden. Die Fabrikation von Nanoelektronik-Chips bedient sich dabei einer Vielfalt verschiedener Nanotechnologien. Nanometergenaue Reflexionsschichten ermöglichen das Steuern der Belichtung von Masken. Vorberechnete Nanostrukturen können Beugungsfehler ausgleichen, was das Schreiben von Strukturen ermöglicht, welche mehr als halb so klein sind wie die Wellenlänge des Lichts. Optische Abbildungsfehler können durch nanopräzise Strukturen und Schichten kompensiert werden. Maskensubstrate müssen großflächig atomar glatt sein. Nanopartikel müssen in einem industriellen Höchstdurchsatzverfahren gefunden und entfernt werden, um extreme Fehlerfreiheit zu ermöglichen. Die nanomechanischen Einflüsse der Gravitation müssen kompensiert werden. Schwere, massive Geräteteile müssen nanometergenau in kürzester Zeit positioniert werden. Dies alles dient dazu, Nanotechnologie mit extremer Produktivität verfügbar zu machen.

Damit ist die Nanoelektronik die erste Technologie, die auf breiter Front - nicht nur in ausgesuchten Nischen, sondern insbesondere bei der Massenfertigung für die Standard-Anwendungen vom Desktop-PC bis zum Automobil – in den Nanokosmos vordringt und als erste die Erwartungen an die Nanotechnologie in Form einer deutlichen Leistungssteigerung bei weiter sinkenden Preisen für jedermann erfahr- und bezahlbar einlöst. Die Elektronikindustrie ist die einzige Technologiesparte, die die Erschließung der Nanoskala in Form einer Roadmap formuliert hat, die als Leitlinie weltweite von allen führenden Chip- und Geräteherstellern konsequent verfolgt wird. Gemäß dieser Roadmap werden erste Speichermodule mit Strukturgrößen von 90nm ab 2004 am Markt angeboten werden.

Die derzeitigen Forschungsanstrengungen sind jedoch noch lange nicht das Ende, vielmehr ist bereits heute absehbar, dass entgegen früherer Vorbehalte die CMOS-Nanoelektronik durchaus das Potenzial für eine noch weitergehende Miniaturisierung besitzt. Ob eine Verkleinerung der Strukturen bis 15nm oder sogar weniger als 10nm möglich ist, kann natürlich nicht mit Sicherheit gesagt werden, aber auch für die Zeit nach der CMOS-Ära wird bereits an Lösungen auf Basis neuer Materialien und unter Nutzung neuartiger physikalischer Effekte gearbeitet. Der Nachweis, dass sich solche Strukturen kostengünstig und damit für die Allgemeinheit zugänglich herstellen lassen, steht freilich noch aus. Die Geschichte der Elektronik zeigt jedoch, dass der menschliche Erfindergeist bislang immer in der Lage war, jedes Hindernis auf dem Wege des elektronischen Fortschritts zu überwinden.

## Beispiel Automobiltechnik

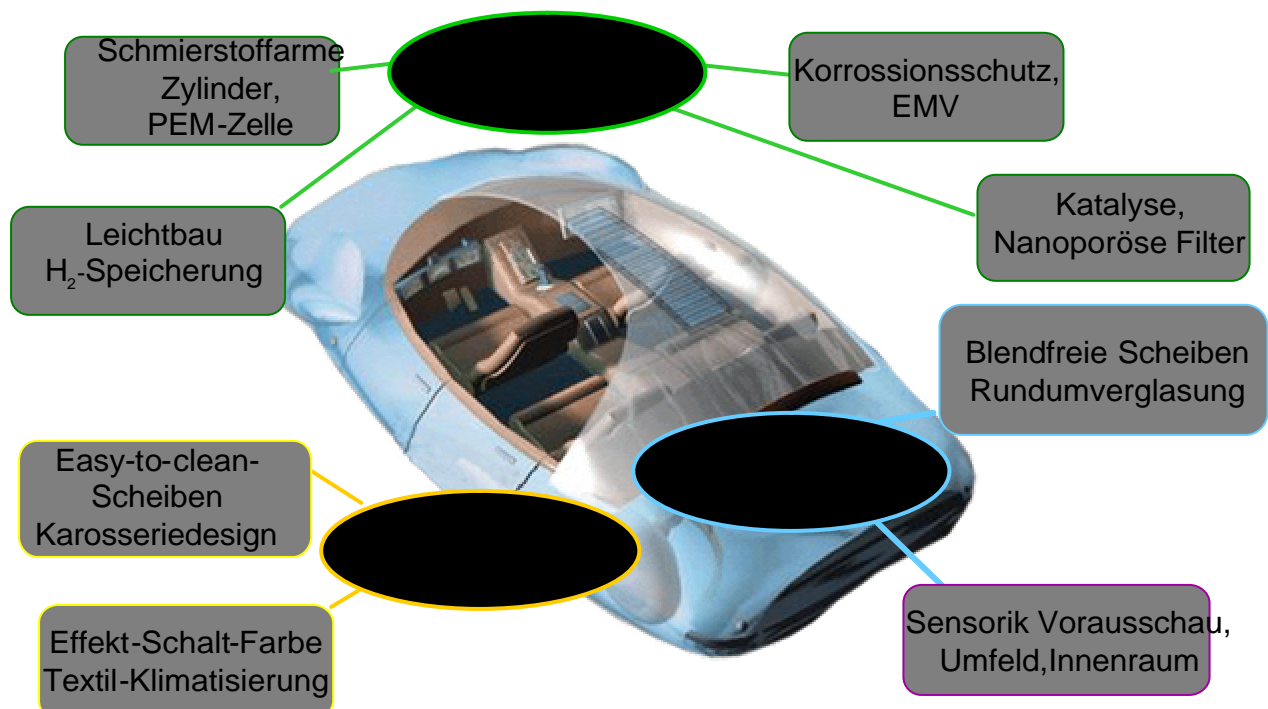
Die deutsche Automobiltechnik ist Weltspitze. Der Umsatz der deutschen Hersteller und Zulieferer stieg in den letzten zehn Jahren um rd. 80 Prozent an; ca. viermal soviel wie in anderen Industriezweigen: 2001 erwirtschafteten 770.000 Beschäftigte einen Umsatz von 202 Mrd. €. Die Automobilindustrie ist damit eine der wichtigsten Lokomotiven der deutschen Wirtschaft. Ihr Anteil an der Weltproduktion beläuft sich unter Einbeziehung von Fusionen auf 23 Prozent. Weltweit sind ca. 730 Mio. KFZ unterwegs; der Mobilitätsbedarf allein in China und Indien wird auf 600 Mio. KFZ geschätzt.

Für den Erfolg der deutschen Automobilbauer sind maßgeblich die heimischen Zulieferer verantwortlich. Diese sehen als größte Herausforderung die Stabilisierung ihrer Technologiekompetenz, welche entscheidend für die deutsche Marktposition ist. Die deutschen Hersteller haben sich für eine Strategie des Wettbewerbsvorsprungs durch Spitzentechnologie entschieden, wodurch hohe FuE-Aufwendungen erforderlich werden. Attraktive Produkte und neue Marktchancen sind nur durch ein kreatives Zusammenwirken aller am Wertschöpfungsprozess Beteiligten zu erreichen. Um diese Stärken der heimischen Industrie weiter zu stärken, bietet sich das Zusammenwirken der Akteure im Rahmen einer Leitinnovation an.

### Leitinnovation "Nanomaterialien und Nanotechnologie im Auto – NanoMobil“

Laut einer Studie des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag gehört nanotechnologische Kompetenz im Automobilbau der Zukunft zu den Kernfähigkeiten, die zum Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit unbedingt erforderlich sind. Das Automobil ist Arbeits- und Freizeitmittel - es sichert Individualität und garantiert Mobilität. Weltweit fahren ca. eine dreiviertel Milliarde Fahrzeuge, mit steigender Tendenz. Daher sind die Problemfelder Fahrzeugverbrauch, Schadstoffausstoß, Recycling und Verkehrsaufkommen auch gleichzeitig Chancenfelder für die Industrie, speziell für die international starke deutsche Automobilindustrie. Sie ist Lead-Market und ihre Stärke ist sowohl ihre Rolle als Technologietreiber, so dass sich durch eine solche Leitinnovation auch Perspektiven für weitere Anwendungsbranchen erschließen lassen als auch eine wichtige Komponente für die stark mittelständisch geprägte Zulieferindustrie auszumachen. Eine Leitinnovation im Automobilbereich unter Nutzung von nanotechnologischem Know-How für neue Funktionalitäten zielt ab auf Optimierung von **Nachhaltigkeit - Sicherheit - Komfort**. Soll den Zielen der Leitinnovationen, Arbeitsplätze zu schaffen und nachhaltige Entwicklungen zu befördern, näher gekommen werden, bedarf es neuer Lösungen insbesondere durch Nanotechnologie, Materialforschung und Adaptronik. Mit Hinblick auf mögliche Paradigmenwechsel im zukünftigen Automobilbau sind in die Leitinnovation NanoMobil daher verstärkt FuE-Einrichtungen und innovative Zulieferer einzubinden, welche Grundlagenerkenntnisse der Nanotechnologie erarbeiten und sowohl hinsichtlich ihrer Anwendung für das Auto der Zukunft als auch hinsichtlich einer weiteren breiten industriellen Verwertung bewerten und in neue Produkte zusammen mit geeigneten industriellen Partnern umsetzen.

## Leitinnovation NanoMobil



### **Beispiel Optische Industrie**

Im Jahr 2002 betrug der Umsatz der deutschen optischen, medizinischen und mechatronischen Industrie rund 31 Mrd. € und beschäftigte insgesamt 216.000 Mitarbeiter. Die optische Industrie bedient zahlreiche Zukunftsbranchen, wie zum Beispiel die Informations- und Kommunikationstechnik, das Gesundheitswesen, die Biowissenschaften, die Beleuchtungstechnik und die Sensorik. Auf vielen dieser Gebiete ist die deutsche optische Industrie weltweit führend. Um diese Position zu halten, wendet die Branche jährlich ca. 9% ihrer Ausgaben für FuE auf.

Optischen Technologien kommen oftmals Schlüsselfunktionen für innovative Anwendungen zu. Ihr Fortschritt wird aber in einigen Fällen auch von neuen Erkenntnissen aus anderen Zukunftstechnologiebereichen ermöglicht, bspw. durch FuE-Arbeiten in der Nanotechnologie. Leistungsfähigere, zuverlässigere und energiesparende Optikkomponenten werden durch kompaktere und schnellere Systemkomponenten erst möglich und sind Garanten für zukünftige Marktanteile.

### **Leitinnovation "NanoLux"**

Für eine große Anzahl innovativer Lichtenwendungen sind effiziente Strahlquellen auf Halbleiterbasis in Zukunft unverzichtbare Schlüsselkomponenten. Im Gegensatz zu herkömmlichen Lichtquellen können diese Leuchtdioden (LEDs) mit geringer Bauhöhe und sehr kompakt hergestellt werden und eignen sich somit ausgezeichnet für den Einsatz in einer Vielzahl optischer Geräte, wo Platzersparnis, Miniaturisierung und Verlustwärme entscheidende Systemmerkmale sind. Sie zeichnen sich durch Robustheit, Langlebigkeit und ein variables Farbmanagement aus, was eine ganz neue Qualität der Lichtverarbeitung ermöglicht. Aktuelle Forschungen zielen durch den Einsatz von Nanoschichten, Nanostrukturen und neuem Moleküldesign auf hohe Leuchtdichte, hohen Wirkungsgrad, sehr kleine Dimensionen und hohe Lebensdauer für Lichtquellen aller Spektralfarben. Auch eine vollkommen neue Form der Allgemeinbeleuchtung kann aus der Kombination der Halbleitertechnik mit der Nanotechnologie entstehen: Leuchtdioden (LEDs) haben das Potenzial, sehr effizient Licht nach Maß zu erzeugen, d.h. auch in einer für den Menschen angenehmen Form. Auch kann deren Effizienz bis zu 10fach höher als bei der Glühlampe und auch deren Lebensdauer um ein Vielfaches länger sein.

Das wirtschaftliche Potenzial von Lichtquellen ist sehr hoch. Acht Prozent der gesamten elektrischen Energie (43 Mrd. kWh/a) werden in Deutschland - und in den USA mehr als doppelt soviel - allein für die Allgemeinbeleuchtung aufgewendet. Dabei werden bei der noch weit verbreiteten Glühlampe nur 5% der Energie in Licht umgewandelt, der Rest geht als Wärme verloren. Ökologisch gesehen werden dadurch acht Prozent des gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes allein durch Beleuchtung verursacht. Volkswirtschaftlich betrachtet, betragen die zugehörigen Energiekosten ca. 0.3 % des Bruttosozialproduktes. Neue Lichtquellen können sowohl die Energiekosten als auch den CO<sub>2</sub> Ausstoß halbieren und somit einen Beitrag zum nachhaltigen Wirtschaften leisten. Das weltweite Marktvolumen für die Allgemeinbeleuchtung beträgt 12 Mrd. €, wovon 500 Mio. € allein auf Deutschland entfallen. Für innovative Produkte in diesem Bereich werden Umsatzsteigerungen von 10-15% per annum prognostiziert

In Deutschland gibt es mehrere Firmen, die technologisch führend sind und mit ca. 25%-Anteil den Weltmarkt bedienen. Allen voran sind hier OSRAM und die Global Light Industries, ein junges Technologieunternehmen aus Nordrhein-Westfalen mit sehr gutem Marktzugang zum Automobilsegment, zu nennen. Die genannten Firmen decken die gesamte Wertschöpfungskette für LEDs ab. Markttreiber für die weiße LED ist gegenwärtig die Automobilindustrie, die den konventionellen Frontscheinwerfer ablösen möchte. Ist dieser Schritt einmal gelungen, eröffnet sich auch der Markt für die Allgemeinbeleuchtung.



Neben der Stärkung starker Industriebranchen ist ein weiteres Ziel von Leitinnovationen, langfristig erreichbare neue Marktpotentiale rechtzeitig zu erschließen, neue Produkte und Dienste zu generieren und als Erster an den weltweiten Umsatzmöglichkeiten zu partizipieren. Im Pharma- und Medizinbereich lassen sich solche zukünftigen Marktchancen bereits erahnen, weshalb eine disziplinübergreifende Aktivität im Life-Sciences und Nanotechnologiebereich anzuraten ist.

### **Beispiel Life-Sciences und Nanotechnologie**

Die Biotech-Branche hat seit Mitte der 90er Jahre weltweit eine dynamische Entwicklung erfahren. Dabei führen die USA noch immer das Feld vor Europa an. Dieser Vorsprung lässt sich nicht anhand der Firmenzahl ausmachen, vielmehr spiegelt er sich im fortgeschritteneren Reifegrad der US-amerikanischen Branche wider. Auch die deutsche Biotech-Szene kann inzwischen zahlreiche innovative Biotech-Firmen vorweisen, die sich erfolgreich am internationalen Markt positioniert haben. Von den weltweit 4300 existierenden Biotech-Unternehmen, sind 360 in Deutschland lokalisiert. Dabei handelt es sich überwiegend um KMU mit weniger als 50 Mitarbeitern. Die Biotech-Branche zeichnet sich durch hohe FuE-Investitionen aus. Allein die etwa 600 börsennotierten Unternehmen, die vorwiegend im Bereich der roten Biotechnologie aktiv sind, investierten im Jahr 2002 ca. 22 Mrd. US \$ in FuE und erwirtschafteten einen Gesamtumsatz von 45 Mrd. US \$. Die Biotechnologie-Branche gilt inzwischen als Innovationsmotor für die Entwicklung neuer Therapeutika und Diagnostika mit deren Hilfe zukünftig auch die Pharma-Großunternehmen ihre Produktpipelines auffüllen bzw. ihr Produktportfolio erweitern können.

Um in der Nanotechnologie einen ähnlich erfolgreichen Start wie in der Biotechnologie zu forcieren, muss die Gründungsaktivität innovativer Start-ups und das Wachstum dieser Firmen bereits in der Frühphase gefördert werden. Das BMBF wird mit Hilfe flankierender Maßnahmen diesen Prozess unterstützen. Die Integration von Nanotech-KMU in Wertschöpfungsketten leistet aber nicht nur einen essentiellen Beitrag zum Technologietransfer, sondern sie erlaubt vielmehr die Erschließung neuer Felder und Märkte mit hohem Wertschöpfungspotential.

### **Leitinnovation "NanoforLife"**

Die Leitinnovation „NanoforLife“ verfolgt das Ziel, durch verstärkten Einsatz von Technologien und Erkenntnissen aus den Bereichen Nanomaterialforschung und Nanobiotechnologie einen entscheidenden Beitrag für die Gesundheit der Gesellschaft zu leisten.

Dies erfordert zum einen, die Stärkung der in Deutschland heranwachsenden Nanotech-Branche, deren Innovationskraft in hohem Maße von forschungsintensiven KMU abhängt. Diese KMU können erfolgreich spezifische Nischen in der frühen Phase von Wertschöpfungsketten besetzen, die auf die Entwicklung von Medizinprodukten und Pharmazeutika fokussieren. Zudem können die in Deutschland traditionell starken und für den Gesundheitsmarkt relevanten Branchen wie Pharma, Biotechnologie, Material- und Medizintechnik von der Einführung nanotechnologischer Verfahren und Anwendungen profitieren, um völlig neuartige Produkte mit großem sozioökonomischen Nutzen zu generieren.

Durch die demografische Entwicklung der Bevölkerung und die Verfügbarkeit neuartiger, innovativer Medikamente, steigen die Gesundheitsausgaben in Deutschland kontinuierlich. Im Jahr 2001 beliefen sich die Ausgaben auf 225,9 Mrd. €, damit auf 10,9 % des BIP. Weitgehend unbestritten unter Experten ist, dass die Nanotechnologie zukünftig neue Perspektiven in der Entwicklung von Therapeutika und Diagnostika eröffnen wird. Doch auch ihr großes Potenzial hinsichtlich Ressourcenschonung könnte mittelfristig zur Kostendämpfung im Gesundheitswesen beitragen.

Die Verfügbarkeit hochempfindlicher Diagnostika verbessert die Chancen von Prävention und Frühbehandlung schwerer Erkrankungen. Die Anwendung von DNA- oder Proteinarrays ermöglicht z.B. die gezielte Auswahl derjenigen Patienten, die mit großer Wahrscheinlichkeit auf ein bestimmtes Medikament ansprechen (z.B. Einsatz von Herceptin bei Brustkrebs). Dieses Vorgehen spart nicht nur Kosten, sondern kann auch zur Verminderung von Arzneimittel-Nebenwirkungen führen. Weitere Beispiele für nanomedizinische Anwendungen sind Nanopartikel, die als Drug-Delivery-Systeme fungieren, zur Hyperthermiebehandlung von Tumoren oder als Genfähren für die Gentherapie eingesetzt werden. Auch bei einigen bildgebenden Verfahren spielen Nanopartikel in der Medizin eine wichtige Rolle. Neben Nanopartikeln stellen Biosensoren und nanostrukturierte Implantatoberflächen bereits heute interessante Nano-Applikationen dar. Hier können kurzfristig umsatzträchtige Märkte erschlossen werden, da bspw. der Bedarf an künstlichen Ersatzgeweben (Haut-, Knorpel-, Knochen) das Angebot an Spendermaterialien um ein Vielfaches übersteigt.

Um die FuE-Ergebnisse einer breiten Verwertung zugänglich zu machen, werden bei der Umsetzung der Leitinnovationen zwei wesentliche Ziele anvisiert:

- a) Innovative Entwicklungen, die in starken Branchen zielorientiert erarbeitet worden sind, sollen zusätzlich weitere Anwendungsbereiche vorantreiben.
- b) Erfindungen, die aus einem Industriezweig stammen, sind oftmals die Basis für revolutionäre Entwicklungen in anderen Branchen. Daher gilt es, eine breite Informationspolitik branchenübergreifend zu gestalten, bspw. mit Hilfe der Kompetenzzentren der Nanotechnologie.

#### **Fördermaßnahme Leitinnovationen**

Das BMBF stellt in den nächsten Jahren im Rahmen der mit ca. 100 Mio. € pro Jahr geförderten Nanotechnologievorhaben verstärkt Fördermittel für industriegeführte, vorwettbewerbliche Innovationsprojekte zur Verfügung, die die gesamte Wertschöpfungskette einbeziehen (Leitinnovationen). Die durch solche Leitinnovationen initiierten Prozesse sollen Wege zu innovativen Produkten, Diensten und Verfahren aufzeigen, die zu neuen oder wesentlich verbesserten technischen Lösungen mit einem bedeutenden Marktpotential oder einem breiten gesellschaftlichen Nutzen führen und zu deren Realisation die Nanotechnologie einen erkennbaren Beitrag leistet. In der Regel ist hierfür ein inter- und multidisziplinäres Vorgehen und eine enge Zusammenarbeit von Unternehmen, Hochschulen und außeruniversitären FuE-Einrichtungen erforderlich, evtl. sogar Kooperationen auf europäischer oder internationaler Basis. Als typische Laufzeit für solche Leitinnovationen werden 5 Jahre angesehen.

#### **3.1.2. Forschungseinrichtungen und -akteure innovationsorientiert vernetzen**

Im Zeitalter der Globalisierung kommt es im technologischen Wettbewerb verstärkt darauf an, FuE -Arbeiten im vorwettbewerblichen Bereich gemeinsam mit kompetenten Partnern durchzuführen und die notwendigen

High-Tech-Unternehmen verfolgen zunehmend die Strategie, mit Forschung und Entwicklung da präsent zu sein, wo ihr Marktsegment die weltweit besten Bedingungen für Innovation und Wissensgenerierung findet. Sie begnügen sich nicht mit Standorten, die im Technologiewettlauf nur mithalten, sondern sie suchen gezielt die einzigartigen Spitzenzentren.

Arbeiten entlang der Wertschöpfungskette frühzeitig aufeinander abzustimmen. Durch diese Kompetenzbündelung ergeben sich langfristig Vorteile gemeinsamer Innovationsanstrengungen in Form von kürzeren Produktinnovationszyklen, verbessertem Zeitmanagement, Kosten- und Risikoteilung, Know-How-Zugewinn und -Sicherung, etc. Dies sind auch die herausragenden Faktoren, um bestehende Standorte wettbewerbsfähig zu

halten, die Überlebens- und Wachstumschancen für Start-ups zu erhöhen und auch die Basis für Unternehmensgründungen zu legen. Neben traditionellen Industriestandorten gewinnen daher global herausragende „Kompetenzzentren“ an standortprägender Bedeutung.

Im Zuge der weltweiten Anstrengungen im Bereich der Nanotechnologie haben die wichtigsten Industrienationen der Welt finanzkräftige Forschungsprogramme aufgelegt und Zentren- bzw. Netzwerkaktivitäten in Gang gesetzt. Wichtigstes Ziel solcher Zentren ist die räumliche bzw. thematische Konzentration von Nanowissenschaftlern als Vorstufe für Umsetzungsaktivitäten in der Nanotechnologie.

Nach einer anfänglichen Orientierungsphase ist zur Zeit im Umfeld der vom BMBF geförderten Kompetenzzentren bei der Kontaktaufnahme zwischen Wissenschaft und Industrie und der möglichen weiteren Zusammenarbeit ein Trend zur Regionalisierung zu beobachten. Das gleiche gilt auch für die Öffentlichkeitsarbeit der Zentren in Richtung von Schulen, Volkshochschulen, Industrie- und Handelskammern etc. Diese Entwicklung wird das BMBF weiter unterstützen, bietet diese doch die Aussicht, gleichsam auf kürzestem Weg Innovationen anzustoßen, interdisziplinäres Wissen zu bündeln und den gesellschaftlichen

Nutzen der Nanotechnologie einer breiten Öffentlichkeit bekannt zu machen. Zudem zeigen Erfahrungen in anderen Bereichen, dass die Ortsnähe hilft, „Hemmschwellen“ bislang unzureichend informierter Gesellschaftsgruppen und Unternehmen gegenüber neuen Technologien zu überwinden. Mit der künftigen Fokussierung der Forschungsnetze auf Regionen will das BMBF einen Beitrag zur Sicherung deutscher Forschungs- und Wirtschaftstandorte im internationalen Wettbewerb leisten.

#### **Fördermaßnahme zur Innovationsunterstützung**

Das BMBF wird die bestehenden Kompetenznetze auch weiterhin unterstützen. Schwerpunkte werden vor allem in der Aus- und Weiterbildung und in der Unterstützung von Neugründungen gelegt. Daher werden die Geschäftsstellen nach Ablauf der Anlaufphase auf Basis aktualisierter und konkretisierter Entwicklungskonzepte für weitere 3 Jahre anteilig gefördert.

Im Interesse einer auch künftig anzustrebenden Sichtbarkeit der Nanotechnologie in Deutschland wird das BMBF ergänzend zu diesem Konzentrationsprozess der Kompetenzzentren eine überregionale innovationsunterstützende Dachstruktur schaffen, die die Aufgaben übernimmt, die regionale Netze nur sehr eingeschränkt leisten können:

- Organisation eines regelmäßigen (inter-)nationalen Nanotechnologie-Kongresses.
- Betreuung eines umfangreichen, aktuellen Informationssystems zur Nanotechnologie.
- Kontaktvermittlung für nationale, europäische und internationale Forschungsk Kooperationen.
- Abschätzung internationaler Wachstumspotentiale, aber auch der gesellschaftlichen Folgen.
- Unterstützung bei der Aus- und Weiterbildung von Nachwuchs und Fachkräften.

#### **3.1.3. Wissenschaftlich-technologische Grundlagen sichern, ausbauen und erschließen**

Aufgrund einer hervorragend ausgebauten Forschungsinfrastruktur (u.a. mit DFG, MPG, WGL, HGF, FhG), seiner zahlreichen Universitäten und vielfältigen Länderaktivitäten gehört Deutschland zu den international stärksten Nationen in der grundlagennahen Nanotechnologie-Forschung, oft auch „Nanowissenschaften“ genannt. Frühzeitig wurden Fragen der Physik, supramolekularen Chemie und - durch das frühe Aufgreifen der Nanobiotechnologie - auch der Bezug zur Biologie adressiert. So wurden u.a. in der Ultrapräzisionsbearbeitung, Optik/Optoelektronik, Schichttechnologie und Analytik gute wissenschaftliche Grundlagen erarbeitet. Neben der vertieften Grundlagenerarbeitung in einzelnen Disziplinen werden mehr und mehr interdisziplinäre Ansätze bei der Forschung und Entwicklung das nanotechnologische Know-How erweitern und durch Vernetzung auch wissenschaftliche Ressourcen bündeln. Aus diesen Grundlagenergebnissen gilt es, frühzeitig Ansätze für interessante und zukunftssträchtige Themenfelder mit Anwendungsperspektiven abzuleiten und zu erschließen. Basisinnovationen sind die Grundlage für den zukünftigen Export von Hochtechnologiegütern. So hat bspw. die Zeitschrift "Science" Ende 2001 die Erkenntnisse bei der Untersuchung molekularer Nanodrähte als das wichtigste Forschungsergebnis des Jahres gekürt, da sie den Weg zur Entwicklung von Rechnerleistungen eröffnen, die "über Jahrzehnte hinweg weitere Durchbrüche in der Forschung garantieren." Nanowissenschaft sozusagen als Enabler für die Wissenschaft.

#### **Fördermaßnahme zur Grundlagenforschung**

Grundlagenwissen bildet die Basis für Innovationen. Die Erarbeitung von auf konkreten Anwendungsperspektiven ausgerichteten Grundlagenerkenntnissen hat daher eine hohe Bedeutung. Hierbei müssen bisher bestehende Disziplingrenzen überschritten und neue, unerprobte Kooperationen eingegangen werden. Es ist notwendig, durch interdisziplinäre Ansätze in Forschung und Entwicklung das nanotechnologische Know-How zu erweitern und vorhandene wissenschaftliche Ressourcen zu bündeln. Das BMBF wird im Rahmen der Verbundprojekte in zunehmendem Maße die Möglichkeiten der institutionellen Förderung nutzen und darüber notwendige Grundlagenaspekte mit einbinden. Eine Abstimmung mit der wissenschaftlich orientierten Förderung der außeruniversitären Forschungseinrichtungen und der DFG wird folglich durch regelmäßige, gegenseitige Information über grundlagennahe Nanotechnologieerkenntnisse im Rahmen innovationsunterstützender Maßnahmen mit dem Ziel durchgeführt, die Verwertung von Grundlagenerkenntnissen als eine zentrale Zielsetzung des Forschungshandelns zu forcieren.

### 3.1.4. Chancen der europäischen und internationalen Kooperation nutzen

In Zeiten globalisierter Märkte ist eine zunehmende Internationalisierung von Wissenschaft und Forschung notwendig. Die internationale Zusammenarbeit im Bereich der Forschung flankiert die intensiven Wirtschaftsbeziehungen deutscher Unternehmen zum Ausland. Sie steigert durch FuE-Kooperationen und die dadurch bewirkte Präsenz und Sichtbarkeit deutscher Wissenschaft und Forschung die Attraktivität des Produktions- und Forschungsstandorts Deutschland, wodurch Anreize für Investitionen aus dem Ausland geschaffen werden. Damit leistet sie einen wesentlichen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands.

Für die internationale Zusammenarbeit stehen eine Reihe von Möglichkeiten zur Verfügung, z.B. bilaterale Kooperationen im Rahmen wissenschaftlich-technischer Zusammenarbeit mit einzelnen Ländern, multilateraler Kooperationsrahmen wie z.B. EUREKA und insbesondere das 6. EU-Rahmenprogramm ([www.rp6.de](http://www.rp6.de)) für Forschung, technologische Entwicklung und Innovation, das die Ziele verfolgt, den „Europäischen Forschungsraum“ zu gestalten und auf diese Weise Europa bis zum Jahr 2010 zur weltweit wettbewerbsfähigsten und dynamischsten Wissensgesellschaft auszubauen. Wesentliches Ziel europäischer FuE-Kooperationen ist die Entwicklung gemeinsamer Standards, denn nur wer erfolgreich FuE betreibt, kann in den sich schnell entwickelnden Märkten Standards beeinflussen und setzen.

Die mit Unterstützung der Bundesregierung im 6. EU-Forschungsrahmenprogramm (FP6) beschlossene deutliche Aufstockung der EU-Fördermittel für die Nanotechnologie bietet für den Wissenschafts- und Innovationsstandort Deutschland die zu nutzende Chance, mit exzellenten Partnern aus ganz Europa zusammenzuarbeiten und durch aktive Partizipation an den Exzellenznetzwerken (NoE), den Integrierten Projekten (IP) und anderen Förderinstrumenten des FP6 sichtbar zu werden. Insbesondere die mit dem FP6 eingeführten sog. „integrierten Projekte“ sind, vergleichbar der künftigen BMBF-Förderung von „Leitinnovationen“, ein geeignetes Instrument, eine stärkere strategische Ausrichtung der europäischen Nanotechnologieförderung mit Schwerpunkten z.B. bei der Anwendung in Bereichen wie Gesundheit und medizinische Systeme, Chemie, Energietechnik und Optik, der Integration von Nanotechnologie in neue Werkstoffe und neue Produktionstechnologien, Ingenieurtechniken für Nanoröhren und damit verwandten Systemen sowie der Nanobiotechnologie weiter zu befördern. Künftig wird es verstärkt darauf ankommen, die nationale Förderung mit den europäischen Maßnahmen abzugleichen. Dabei gilt es den Vorteil, den Deutschland aufgrund seiner – auf vernetzte, interdisziplinäre Zusammenarbeit in Projekten ausgerichteten – Förderstrukturen hat, für eine stärkere strategische Orientierung an der europäischen Nanotechnologie-Forschung zu nutzen. Dazu gehört, auf Basis einer auf die Anwendungspotenziale der Nanotechnologie fokussierten nationalen Förderung, insbesondere durch eine verstärkte Bereitschaft deutscher Unternehmen und Forschungseinrichtungen innerhalb der europäischen Projekte, häufiger die Federführung zu übernehmen. Hierbei können neben den Nationalen Kontaktstellen ([www.vditz.de/nks](http://www.vditz.de/nks)) auf Grund ihrer Vernetzung auch die Kompetenzzentren eine wertvolle Mittlerrolle bei der Konzeption solcher strategisch angelegter Vorhaben leisten.

#### **Fördermaßnahme zur internationalen Zusammenarbeit**

Das BMBF hat zur Unterstützung deutscher Antragsteller bei der Partizipation an Projekten des 6. EU-Rahmenprogramms eine nationale Kontaktstelle eingerichtet. Über diese Kontaktstelle wird die Mitarbeit des BMBF im Rahmen der Aktivitäten zur Formierung des Europäischen Forschungsraumes (ERA) intensiver eingebunden.

Weiterhin werden Vorhaben der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit (WTZ) und der bilateralen Kooperation (bspw. mit Frankreich) im Nanotechnologiebereich dort eine zunehmende Unterstützung erfahren, wo sie einen konkreten Beitrag zum Erreichen der avisierten strategischen Ziele leisten können.

### 3.1.5. Rolle der KMU stärken

Kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) sind ein wichtiger Innovationsmotor für die deutsche Wirtschaft. Gerade sie können diese Wirkung oft nicht ausschließlich aus eigener Kraft entfalten, sondern sie sind auf den Zugang zu aktuellen FuE-Ergebnissen angewiesen. In der Nanotechnologie hat sich in den letzten Jahren eine neue Szene junger, innovativer Unternehmen herausgebildet, die eine wichtige Rolle in der Arbeitsteilung mit Großunternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen einnehmen. Das Interesse dieser Betriebe an der Nanotechnologie ist auffallend groß: Weit über 100 KMU sind Mitglieder bestehender Netzwerke zur Nanotechnologie. Insbesondere bei der Projektgestaltung, Systemintegration, Patentierung und beim nachfolgenden Vertrieb benötigen diese jungen, innovativen KMUs Unterstützung. Über die BMBF- Verbundförderung sind sie in Netzwerke eingebunden und haben über die Kompetenzzentren auch die Möglichkeit der Pilotphasenförderung für drängende Fragestellungen. Neben der direkten BMBF-Projektförderung ermöglichen weitere BMBF-Programme den KMU, ihre Erkenntnisse zu schützen und in Mehrwert umzusetzen (z.B. KMU-Patentaktion, InnoRegio, Innovative regionale Wachstumskerne).

Flankierend untersucht das BMBF die Notwendigkeit neuer beruflicher Qualifikationen auf Basis neuer nanotechnologischer Erkenntnisse, um sowohl bei der Lieferung und Nutzung von Zwischenprodukten, bei der Geräteherstellung als auch beim Aufbau von Dienstleistungseinrichtungen die weitere Konkurrenzfähigkeit insbesondere von KMU zu unterstützen.

#### **Fördermaßnahme zur KMU-Stärkung**

Das BMBF sieht es als Daueraufgabe an, den Zugang zu FuE-Ergebnissen für KMU zu optimieren und durch eine Steigerung der Beteiligung von KMU an nationalen wie europäischen Bildungs- und Forschungsprogrammen deren zunehmende Integration zu realisieren. Daher hat das BMBF aktuell eine Reihe von Maßnahmen eingeleitet, die die Fachprogramme für KMU noch attraktiver machen:

- Durch die Einführung von thematischen Öffnungsklauseln für KMU wird eine thematisch breitere Förderung ermöglicht.
- Durch den sog. „Quereinstieg“ erhalten KMU ein von Stichtagen unabhängiges, permanentes Antragsrecht.
- Durch Verstärkung der Transfer- und Diffusionsmaßnahmen werden die Forschungsergebnisse der Fachprogramme einem breiten Kreis interessierter KMU zukommen.
- Durch weitere Verfahrenserleichterungen (vereinfachte Bonitätsprüfung, Reduzierung externer Begutachtungen, Erweiterung von Pauschalierungsmöglichkeiten) wird der Zeitraum zwischen Projektidee und Förderentscheidung weiter verkürzt.
- Durch abgestimmte Konditionen und einheitliche Kalkulationsgrundlagen für alle mittelstandsorientierten Technologieprogramme werden weitere Verfahrensvereinfachungen erzielt.
- Mit der online-Abwicklung von Standardvorgängen bei der Beantragung und Abwicklung von Zuwendungen und der Einführung der digitalen Signatur werden die Möglichkeiten der elektronischen Antrags- und Vorhabenbearbeitung ausgebaut.
- Mit der neu eingerichteten KMU-Beratungsstelle des BMBF wird das Service-Angebot für KMU bei der Suche nach der passenden Förderung und möglichen Kooperationspartnern wesentlich verbessert.
- Zur Intensivierung der bestehenden Projektarbeit soll zudem im Rahmen der angewandten Forschung die Zusammenarbeit mit den Fachhochschulen verbessert werden.

Diese Maßnahmen sind Bestandteil der Initiative „Innovation und Zukunftstechnologien im Mittelstand“ des BMBF und BMWA im Rahmen der Mittelstandsoffensive der Bundesregierung.

### 3.1.6. Unternehmensgründungen stabilisieren und Firmenansiedelungen ermöglichen

Gerade in neuen Technologiefeldern und in den frühen Phasen der Übertragung wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Entwicklung neuer Produkte spielen junge Unternehmen eine herausragende Rolle. Durch Schaffung eines gründerfreundlichen Klimas an Schulen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen wird das Potenzial von Unternehmensgründungen im Bereich der Nanotechnologie weiter stimuliert. Bestehende Programme des BMBF und BMWA wie „Jugend gründet“, EXIST([www.exist.de](http://www.exist.de)), die Fördermaßnahme für gründungswillige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler „EEF-Fonds“ ([www.keim.de/service-foerderung-eef.html](http://www.keim.de/service-foerderung-eef.html)) und „EXIST-Seed“, BTU-Frühphase, FUTOUR2000 ([www.futour.de](http://www.futour.de)) sowie die Initiative „Power für Gründerinnen“ ([www.bmbf.de/pub/exist-news-2001-01.pdf](http://www.bmbf.de/pub/exist-news-2001-01.pdf)) bieten hierfür eine hervorragende Plattform, die zur Unterstützung herangezogen werden kann.

Die anwendungsorientierte Forschung in der Nanotechnologie, der existente, hohe Verflechtungsgrad zwischen Grundlagenforschung und industrieller FuE und die infrastrukturelle Unterstützung kommen hierbei nicht nur großen in- und ausländischen Unternehmen, sondern insbesondere auch Neugründungen zugute. Der Bereich der Nanotechnologie eignet sich gut, die Merkmale für Industrieattraktivität und neue Produktionsstandorte an den derzeitigen Trends für eine Standorteignung zu spiegeln: Eine hohe Marktnachfrage, ein intensiver Wettbewerb, günstige Produktionsbedingungen und vorhandene Forschungskompetenz müssen zusammentreffen:

- In der Nanotechnologie zeichnet sich eine zunehmende Aus- und Neugründungswelle aus dem Hochschulbereich ab. Dafür sprechen die über 40 Unternehmensgründungen, die seit der Einrichtung der Kompetenzzentren der Nanotechnologie mit deren Unterstützung entstanden sind. Akademische Spin-Offs sind dabei ein wichtiger Kanal für den schnellen Transfer von Forschungsergebnissen aus der Wissenschaft in die Wirtschaft. Diese Spin-Offs arbeiten an der technologischen Front und besitzen meist eine direkte FuE-Unterstützung im Hochschulbereich.
- Der gute FuE-Stand in Deutschland begünstigt auch Unternehmensansiedelungen aus dem Ausland. Multinationale, ausländische Unternehmen sind gerade dann in wissensintensiven Bereichen (Nanotechnologie gehört zweifelsfrei dazu) in nicht heimischen Regionen stärker spezialisiert als in ihrem Heimatland, wenn sie nur dort Zugang zu den erforderlichen Grundlagenerkenntnissen finden. Gleichzeitig wird durch eine sehr gute FuE-Basis aber auch ein mögliches Abwandern inländischer Industrie und Forschungskapazitäten verhindert.
- Ungeachtet der positiven Entwicklung in den letzten Jahren sind die jungen Nanotechnologieunternehmen - und damit ein wesentlicher Teil der deutschen Nanotech-Branche - noch nicht stabil. Die Forschungsergebnisse, mit denen die neuen Unternehmen starten, entstammen oftmals unmittelbar der erkenntnisorientierten Grundlagenforschung der Hochschulen und Forschungsinstitute und müssen in mehreren Jahren risikoreicher Forschung erst zur Anwendungsreife entwickelt werden, ehe eine Finanzierung der Firmen über eigene Umsätze möglich ist. In den meisten Fällen macht die Forschung den Hauptteil der anfänglichen Geschäftstätigkeit dieser Unternehmen aus. In dieser Phase greift die Finanzierung allein über Beteiligungs- und Fremdkapital zu kurz, denn für diese Finanzierungskanäle sind die Forschungsprojekte häufig noch zu marktfrem. Daher benötigen junge Nanotechnologieunternehmen den ergänzenden Zugang zu Fördermitteln für ihre Forschungsprojekte. Nur so lässt sich die industrielle Nanotechnologie in Deutschland erfolgreich etablieren und die damit verbundenen Zukunftschancen erschließen.

### **Fördermaßnahme zur Unterstützung FuE-intensiver KMU**

Das BMBF wird Forschungsprojekte, die Unternehmensgründungen stabilisieren, verstärkt fördern. Daher wird eine Förderbekanntmachung "NanoChance" erfolgen, die darauf abzielt - ähnlich wie die erfolgreiche Initiative des BMBF „BioChance“ - bereits gegründeten Unternehmen in der Frühphase Unterstützung bei deren Etablierung auf den Märkten zu bieten. Um Strategieveranstaltungen zur Abstimmung notwendiger akteursübergreifender Aktivitäten zu organisieren, wird im Rahmen innovationsbegleitender Maßnahmen Hilfe bereitgestellt. Weiterhin werden vom BMBF geförderte Potentialanalysen Gründungswilligen eine Hilfe bei der Einschätzung ihrer Marktposition bieten. Um die Wachstumsphase der jungen Unternehmen besser zu begleiten, kombiniert das BMBF seine Förderung mit den bestehenden mittelstandsorientierten Forschungsförderprogrammen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) und unterstützt die Gründer bei der Beschaffung weiterer Finanzmittel zur erfolgreichen Durchführung ihrer Innovationsprojekte. Eine stärkere Vernetzung der Akteure, z.B. mit Hilfe der Kompetenzzentren wird angestrebt.

## **3.2. Nachwuchs fördern und Qualifikation vorantreiben**

Nicht nur die Existenz eines kompetenten wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Umfelds, sondern auch die Verfügbarkeit qualifizierter Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf allen Ebenen ist einer der wichtigsten Faktoren für die wirtschaftliche Entwicklung von Standorten und somit existenzielle Voraussetzung für die Etablierung einer Nanotechnologie getriebenen Industrie in Deutschland. Die angestrebte Erhöhung der Selbständigenquote und insbesondere die gewünschte schnelle Diffusion von Technologien setzt entsprechend qualifizierte Beschäftigte voraus. Bildung ist somit auch der Schlüssel zum zukünftigen Arbeitsmarkt der Nanotechnologie.

### **3.2.1. Wissenschaftlichen Nachwuchs fördern**

Dass ein Mangel an gut ausgebildeten Fachkräften zu Engpässen führen kann, hat die Wirtschaft insbe-

#### **Nanotechnologie contra BrainDrain**

Mit der Dienstrechtsreform, der Einführung von Juniorprofessuren und dem konsequenten Ausbau der deutschen Hochschulen unterstützt das BMBF die Modernisierung und Internationalisierung des Hochschulwesens. Zukünftig wird es nicht nur in der Nanotechnologie ein Ringen um Spitzenkräfte und exzellente Wissenschaftler geben. Nur durch ein koordiniertes Vorgehen von Industrie und Politik kann die Attraktivität des Standorts Deutschland für die internationale Elite erhöht werden. Wer sich im weltweiten Innovationswettbewerb behaupten und die besten Köpfe sichern will, braucht ein international attraktives Wissenschaftssystem. Die Vielseitigkeit und Breite des Themenfeldes Nanotechnologie, die in allen High-Tech-Nationen zunehmenden Investitionen in diesem Gebiet und die industrielle Aufbruchstimmung zur Eroberung neuer Märkte sind Ursache dafür, dass dieses Rennen um die besten Köpfe begonnen hat und in den nächsten Jahren einem harten Konkurrenzkampf unterliegen wird.

sondere in Boomzeiten bereits erlebt und wird von Wirtschaftsexperten trotz aktuell hoher Arbeitslosenquoten als das künftige Standorthemmnis gesehen. Steigende Investitionen in die Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlern werden zur entscheidenden Voraussetzung für die künftige Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des jeweiligen Standorts und somit der dortigen Wachstums- und Beschäftigungsperspektiven.

Die breite Diffusion von optimierten oder neu funktionalisierten Produkten auf Basis nanotechnologischer Erkenntnisse wird entscheidend davon abhängen, ob sowohl die Hersteller/innen als auch die Nutzer/innen das nötige Wissen für die Produktion als auch die Anwendung von nanotechnologischen Systemkomponenten besitzen.

Die Interdisziplinarität und rasche Weiterentwicklung der Nanotechnologie stellen dabei das Bildungssystem und auch die Bildungswilligen vor besondere Aufgaben, einerseits hinsichtlich Studienangebot, Lehrmodule und den Aufbau von Studiengängen als auch hinsichtlich der Vermittlung und Erlangung

von Teamfähigkeit, Sprach- und Medienkompetenz. Einzelne Universitäten und Fachhochschulen gehen diese Aufgaben bereits an, indem sie auf nanotechnologische Disziplinen abgestimmte Studiengänge anbieten bzw. gerade einrichten. Wie die konkrete Qualifizierung für Tätigkeiten im Bereich Nanotechnologie aussehen soll, wird von Experten unterschiedlich beurteilt. Einige halten es für notwendig, dass im Rahmen des Hauptstudiums der Universitätsausbildung ein interdisziplinärer Schwerpunkt Nanotechnologie angeboten wird. Andere wiederum sehen den Bereich gerade wegen seiner Interdisziplinarität am ehesten in der etwas grundsätzlicher orientierten Physik oder Chemie in Form eines Aufbaustudiums angesiedelt. Zum Teil wird auch eine stärkere Verankerung der Nanotechnologie in der Ausbildung von Ingenieurinnen und Ingenieuren insbesondere an den Fachhochschulen gewünscht. Übereinstimmung besteht jedoch darin, dass im Rahmen der Ausbildung frühzeitig mit Unternehmen zusammengearbeitet werden soll. Auch wird favorisiert, dass zunächst ein Grundstudium angekoppelt an eine der klassischen Disziplinen (z. B. Physik oder Chemie) abzuschließen ist, bevor sich Studierende auf den Schwerpunkt Nanotechnologie konzentrieren. Dabei geht es nicht darum, Spezialisten mit disziplinärer Wissensbasis auszubilden und zusammenzuführen. Vielmehr besteht die Herausforderung an eine zukunftsgerechte Ausbildung von „Nanotechnologen“ an Universitäten und Fachhochschulen darin, eine neue Generation von Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern heranzubilden, die Kenntnisse sowohl in Physik, Chemie und Biologie als auch im Ingenieurwesen, der Produktionstechnik und Qualitätskontrolle besitzen, um das Gebiet der Nanotechnologie im Rahmen der geforderten interdisziplinären Ansätze erobern zu können.

#### **Fördermaßnahme zur Nachwuchsförderung**

Zur Stärkung all dieser Bestrebungen hat das BMBF bereits im Mai 2002 einen "Nachwuchswettbewerb Nanotechnologie" gestartet, der bis zu 250 wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern die Möglichkeit eröffnen soll, mit erheblichen Fördermitteln über einen Zeitraum von fünf Jahren im Bereich naturwissenschaftlich-technisch benachbarter Disziplinen eigenverantwortlich zu forschen. Neben den genannten Zielen bewirkt der Wettbewerb eine Durchdringung der beteiligten Grundlagendisziplinen und der Ingenieurwissenschaften, so dass neue Impulse für die Fortentwicklung der Nanotechnologie und ihrer Nutzung entstehen. Überdies sollen bereits ins Ausland abgewanderte junge Spitzenwissenschaftler/innen nach Deutschland zurückgeholt werden.

Daneben hat das BMBF zahlreiche Aktivitäten initiiert, die auf eine Modernisierung und Stärkung der Aus- und Weiterbildungssysteme abzielen und die den Standort Deutschland für junge Forscher/innen, sei es aus dem Inland oder dem Ausland, aufwerten. Hervorzuheben sind bspw. die Graduiertenförderung, das Emmy-Noether-Programm der DFG ([www.dfg.de/aufgaben/emmy-noether-programm.html](http://www.dfg.de/aufgaben/emmy-noether-programm.html)), das „BioFuture“-Programm ([www.bmbf.de/620-1138.html](http://www.bmbf.de/620-1138.html)), die Einführung der Juniorprofessur, die Zukunftsinitiative Hochschule oder die beginnende Etablierung international anerkannter akademischer Abschlüsse (Bachelor und Master). Der Internationalisierung kommt in diesem Zusammenhang eine entscheidende Rolle zu, um frühzeitig Kontakte zu Partnern in anderen Ländern für gemeinsame Forschungsaktivitäten zu knüpfen und die Attraktivität des Forschungsstandortes Europa zu erhöhen. Die Förderung der Ausbildung und der grenzüberschreitenden Mobilität sind daher ein zentraler Eckpfeiler im 6. EU-Forschungsrahmenprogramm. Für das Marie-Curie-Programm im 6. EU-Forschungsrahmenprogramm ([www.humboldt-foundation.de/mariecurie](http://www.humboldt-foundation.de/mariecurie)), mit dem u.a. Forschungsaufenthalte von Postdoktoranden, der Aufbau eigener Forschungsteams durch exzellente junge Wissenschaftler sowie die Ausbildung von Naturwissenschaftlern auf der Basis gemeinschaftlicher Forschungsprojekte („Forschungsausbildungsnetze“) mit dem Ziel einer Verbesserung des Wissenstransfers zwischen Universitäten und der Wirtschaft unterstützt werden, stehen insgesamt 1,58 Mrd. € zur Verfügung. Diese Möglichkeiten gilt es in der Nanotechnologieforschung konsequent zu nutzen, um die weltweit besten Köpfe anzuziehen.

### 3.2.2. Qualifizierungsbedarf erkennen und frühzeitig Kompetenzen entwickeln

Neue Technologien wie die Nanotechnologie erfordern neues Wissen und neue Fertigkeiten. Zukünftig werden Mitarbeiter/innen zunehmend in ihrem Berufsleben mit nanotechnologischen Methoden arbeiten und Entwicklungen weiterführen mit dem Ziel, daraus Mehrwert zu schaffen. Daher werden von Unternehmen entsprechend höhere Qualifikationen immer stärker nachgefragt. Somit erlangt nicht nur eine hochwertige Erstausbildung, sondern auch lebenslanges Lernen und die berufliche Weiterbildung zunehmende Bedeutung. Hiervon sind nicht nur bestehende forschende Betriebe und ihre Mitarbeiter/innen abhängig, sondern auch Gründer/innen in forschungsintensiven Wirtschaftszweigen sind auf entsprechend qualifiziertes Personal angewiesen. Augenmerk sollte insbesondere der Ausbildung von Meistern und Technikern gelten, denn oftmals sind sie es, die sich in der forschungsintensiven verarbeitenden Industrie in die Selbständigkeit begeben. Universitätsabsolventen tendieren eher zu Existenzgründungen im wissensintensiven Dienstleistungsbereich.

Durch die Früherkennung von beruflichen Qualifikationsanforderungen kann einem potenziellen Fachkräftemangel entgegen gewirkt werden. Derzeit existieren jedoch keine gesicherten Erkenntnisse über zukünftige Berufe in der Nanotechnologie. Daher lässt das BMBF die inhaltlichen Angebote der Nanotechnologie für die berufliche Aus- und Weiterbildung sowie den Qualifizierungsbedarf vertieft analysieren. Auch Strategien zur Erhöhung der Weiterbildungsakzeptanz sind sinnvoll, da nur 10% der Erwerbstätigen, gemittelt über alle derzeitigen technologischen Felder, Weiterbildungsmöglichkeiten wahrnehmen.

Mit der frühzeitigen Definition neuer – bzw. der Modernisierung bestehender - Berufsfelder und Zusatzqualifikationen für nanotechnologische Verfahren sowie dem gezielten Aufbau geeigneter Ausbildungs- und Schulungsmaßnahmen kann wesentlich dazu beigetragen werden, die deutsche Position auf dem Gebiet der Nanotechnologie gegenüber Wettbewerbern zu stärken. Dazu gehört auch, dass Interesse für die Naturwissenschaften - und dies auch im Hinblick auf die angestrebte Erhöhung des Frauenanteils in ingenieurwissenschaftlichen bzw. technischen Berufen und Studiengängen - frühzeitig in den Schulen zu fördern. Die vom BMBF beauftragten Kompetenzzentren der Nanotechnologie sind auf diesen Feldern bereits aktiv und veranstalten z.B. "Nanoscience-Nights" mit Schülern und auch Fortbildungsveranstaltungen für Lehrer, um dadurch frühzeitig auf sich andeutende Perspektiven aufmerksam zu machen.

#### **Fördermaßnahme zur Aus- und Weiterbildung**

Das BMBF lässt zur Zeit die Inhalte der Nanotechnologie hinsichtlich ihrer Eignung für die Aus- und Weiterbildung im Rahmen einer Studie prüfen. Dabei wird der Qualifizierungsbedarf in der Industrie und die daraus abzuleitende Handlungsnotwendigkeit analysiert, um Trendqualifikationen zu ermitteln, die für zukunftsstragende Strategien der Modernisierung bestehender Ausbildungsberufe von Bedeutung sind.

### 3.3. Chancen und Perspektiven für die Gesellschaft nutzen, Risiken vermeiden

#### 3.3.1. Gesellschaftliche Folgen abschätzen

Gerade die Nanotechnologie als weit in die Zukunft greifende und gleichzeitig viele Bereiche der Gesellschaft – Technik, Gesundheit, Individualität, Kommunikation – umfassende Basistechnologie bedarf auch der Innovations- und Technikanalyse. Begleitend zur Technologieentwicklung muss daher Orientierungswissen über mögliche gesellschaftliche und ökologische Konsequenzen generiert werden, um Handlungsoptionen für die gesellschaftlich erwünschte Nutzung der Nanotechnologie zu entwickeln. Die teilweise noch im Bereich des Visionären liegenden Erwartungen, die sich aus den Gestaltungsmöglichkeiten auf atomarer und molekularer Ebene für gänzlich neue Materialien und Produkte in den unterschiedlichsten Technik- und Wirtschaftsbereichen ergeben, bedingen eine frühzeitige öffentliche Diskussion der Fragestellung, welche Wirkungen diese neuen Technologien auf den Lebensbereich der Menschen und die volkswirtschaftliche Entwicklung des Standortes Deutschland haben könnten. Das BMBF hat daher einen Dialog zwischen Forschern, Anwendern und der Gesellschaft zu den Chancen und Risiken der Nanotechnologie initiiert und mehrere Studien beauftragt, die detaillierte Fakten für die Abschätzung der ökonomischen Potentiale und der sozioökologischen Chancen und Risiken liefern sollen. Sie sollen den Akteuren im Feld der Nanotechnologie Zahlenmaterial und Argumente bereitstellen, die die weitere Bewertung der Nanotechnologie unterstützen:

- Im Rahmen einer Studie zum wirtschaftlichen Potenzial der Nanotechnologie werden bereits vorhandene und zukünftig zu erwartende Produkte der Nanotechnologie identifiziert und ihr Marktpotenzial abgeschätzt. Diese Ergebnisse können als Entscheidungsgrundlage für die politische Argumentation im Zusammenhang mit der Förderung der Nanotechnologie und für Investoren von Nutzen sein. Die methodische Schwierigkeit ist, dass in vielen Produkten einzelne nanotechnologische Komponenten für den Markterfolg unbedingt erforderlich sind, aber das Produkt als Gesamtsystem nicht unbedingt der Nanotechnologie zuzurechnen ist. Ein Beispiel sind Festplatten für Computer, in denen zwar der Schichtaufbau im Schreiblesekopf auf ultradünnen Schichten beruht, dennoch niemand die gesamte Festplatte als nanotechnologisches Produkt auffassen würde. Diese „Hebelwirkung“ der Nanotechnologie ist schwer quantifizierbar und ist einer der Gründe für die weit differierenden gegenwärtigen Abschätzungen des Markt- und Beschäftigungspotentials.
- Der mögliche Beitrag der Nanotechnologie zu einer nachhaltigen Entwicklung wird gemeinhin als groß eingeschätzt. Als eine der "Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts" werden von ihr nicht nur enorme wirtschaftliche Potenziale erwartet, sondern insbesondere auch im ökologischen Bereich deutliche Entlastungseffekte vermutet. Umwelteffekte von Nanotechnologie sind bisher in der Fachliteratur nur rudimentär - in der „science fiction“-Literatur teilweise als Bedrohungsszenario - beschrieben; quantitative Abschätzungen liegen nicht vor. Eine vom BMBF beauftragte Studie liefert hierzu konkretes, empirisches Datenmaterial, um eine erste wissenschaftliche Bewertungen der ökologischen Chancen und Risiken der Nanotechnologie zu ermöglichen. Ziel ist es, einerseits möglichst breit die potenziellen Effekte der Nanotechnologie in Bezug auf Nachhaltigkeit/Umwelt aufzuzeigen und andererseits an ausgewählten, relevanten Fallbeispielen aus nanotechnologischen Anwendungen oder Produkten diese Effekte so weit wie möglich zu quantifizieren.

- Im Brennpunkt einer weiteren Studie stehen Anwendungen der Nanotechnologie in Medizin und Gesundheit. Die Nanotechnologie eröffnet neue Perspektiven für die Entwicklung innovativer Therapeutika und Diagnostika. Gesundheits- und soziökonomische Analysen beleuchten im Rahmen der Studie, welches gesellschaftliche und wirtschaftliche Potenzial die Nanotechnologie auf diesen Gebieten zukünftig bietet. Anwendungsbeispiele stellen dabei u.a. Implantate mit nanostrukturierten Oberflächen, spezifische Drug-Delivery-Systeme oder Nanopartikel für bildgebende medizinische Verfahren bzw. partikelbasierte Hyperthermie-Verfahren dar.

#### **Fördermaßnahme zur Chancen/Risiken-Diskussion:**

Das BMBF wird den Dialog Wissenschaft/Technologie und Gesellschaft zu ökologischen, gesundheitlichen, sozialen und politischen Aspekten der Nanotechnologie aktiv mitgestalten und der interessierten Öffentlichkeit Zahlenmaterial und Daten sowohl zu den technischen und wirtschaftlichen Chancen der einzelnen Teilbereiche als auch zu deren bisher erkennbaren Risiken zur Verfügung stellen. Auf Basis der Ergebnisse der derzeit beauftragten Studien und unter Einbeziehung der von der Europäischen Kommission im Rahmen des 6. EU-Forschungsrahmenprogramms hierzu initiierten Studie werden weitere Untersuchungen in die Wege geleitet mit dem Ziel, zu konkreten Handlungsempfehlungen für die Politik zu kommen.

#### **3.3.2. Rechtliche Rahmenbedingungen fortentwickeln**

Derzeit wird zwar keine erkennbare Notwendigkeit für Regulierungen oder eine zusätzliche Gesetzgebung im Bereich Nanotechnologie gesehen. Jedoch hat das BMBF im Rahmen der beauftragten gesellschaftsrelevanten Studien (3.3.1.) die Überprüfung der derzeitig bestehenden Rahmenbedingungen hinsichtlich der Nutzung von Produkten und Verfahren der Nanotechnologie im Blick. Aufgabe der nationalen Forschungspolitik ist es, den Schutz von Mensch und Umwelt auf hohem Niveau zu gewährleisten; bspw. sind die einschlägigen Gesetze und Verordnungen für den Emissions-, Arbeits- und Staubschutz auch hinsichtlich nanotechnologischer Verfahren zu überprüfen. Insbesondere bei der Anwendung von Produkten und Verfahren der Nanotechnologie am Menschen ist zu prüfen, ob die einschlägigen Rahmenbedingungen der biomedizinischen Gesetzgebung eine entsprechende Anwendung finden können oder inwieweit der Rechtsrahmen in Bezug auf Sicherheit und ethische Fragen gegebenenfalls weiterentwickelt werden muss.

Neben der Chancen/Risiken-Diskussion durch Nutzung nanotechnologischer Techniken sind gleichfalls die Rahmenbedingungen für die Ergebnisverwertung zu optimieren. Speziell Standardisierungs- und Normierungsprozesse haben einen wesentlichen Anteil an der Diffusion von Innovationsergebnissen. Besonders im Bereich der Nanotechnologie, in dem neue Größenklassen, sensiblere Prozess- und Nachweisführungen und auch neue Funktionalitäten anvisiert werden, ist die internationale Wettbewerbsfähigkeit stark von der Vergleichbarkeit von Produkteigenschaften abhängig. Auch tragen internationale Normen stark zur Intensivierung des Welthandels bei. Nur wer erfolgreich FuE betreibt und sich nicht der Internationalisierung verschließt, kann industrielle Standards beeinflussen und Normen innovationsfördernd festlegen.

Zum gezielten Aufbau einer starken Wettbewerbsstellung, aber auch um aus einer bestehenden Position der technologischen Stärke heraus agieren zu können, sind Patentaktivitäten unbedingt notwendig. Aus der Innovationsforschung entstehende Grundsatzpatente sind ernstzunehmende Leistungsnachweise und werden international respektiert. Gerade im Bereich der Nanotechnologie, als einem der Felder mit höchstem Entdeckungspotential, ist Patentierung eine Überlebensnotwendigkeit.

**Fördermaßnahme zu Rahmenbedingungen:**

Das BMBF wird daher solche Kooperationen verstärkt unterstützen, die das Ziel haben, Standards für nanotechnologische Fertigungsverfahren und Kenngrößen von Oberflächen, Schichten, Partikeln, chemischen Zusammensetzungen zu entwickeln. Die Chancen, die der europäische Binnenmarkt aufgrund seiner Größe bietet, müssen dabei wahrgenommen und strategische Allianzen mit anderen Wirtschaftsräumen aufgebaut werden.

Erste entwicklungsbegleitende Normierungsaufgaben werden im Bereich der Analytik und Metrologie anfallen. Hierzu existiert bereits ein BMBF-gefördertes Verbundvorhaben, das Empfehlungen für kalibrierbare Prozesse erarbeitet und im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit diskutiert. Das BMBF wird auch in weiteren Projekten notwendige Standardisierungs- und Normierungsaufgaben in die Förderung einbeziehen.

Auch wird das BMBF verstärkt auf die Nutzung der bestehenden Patentverwertungsmöglichkeiten drängen. Zudem wird geprüft werden, ob in Teilbereichen mit hohem Marktpotential oder mit Schlüsselcharakter eine strategisch angelegte Patentinitiative notwendig ist.

**3.4 Evaluation**

Für die einzelnen Programme, die zum Förderkonzept „Nanotechnologie erobert Märkte“ beitragen, sind jeweils Evaluationen vorgesehen. Die Federführung für diese Evaluationen liegt bei den für die jeweilige Maßnahme (z.B. Leitinnovation) zuständigen Fachreferaten. Aus den Ergebnissen der Einzelevaluationen wird Anfang 2008 eine zusammenfassende Bewertung des Förderkonzepts Nanotechnologie vorgelegt.

## 4. Anhang

### 4.1. Beispiele branchenrelevanter Anwendungsziele der Nanotechnologie

#### **Automobil:**

- Sensorische Wegfahrsperre (Diebstahl, Alkoholgehalt, ...)
- Omnifunktionale Sensorik (Beschleunigung, Luftdruck, Reifenabrieb, Temperaturen, Gase, ...)
- Kratzfeste Kunststoffverschleißung
- Multifunktionslacke (Design, Wärmereflektion, easy-to-clean, selbstheilend)
- Schaltbare Klebstoffe (auch für Flugzeug, Züge, ...)
- Routenplanung (Unterstützung durch leistungsfähige I&K-Systeme)
- Schaltbare Oberflächen und Hintergrundbeleuchtung (adaptive Materialien mit schaltbarer Haptik, Optik, Passiv-Aktiv-Verhalten)
- Leichte Trag- und Strukturbauteile, intelligente Dämpfungselemente, reibarme Lager und Laufelemente (auch für schnellere Fahrzeuge bei energiesparendem Antrieb)
- Brennstoffzellensysteme (Membrane, Speicher, ...)
- Verschleißfeste Superhaftbereifung
- Energiesparende, leistungsfähige Beleuchtungselemente hoher Lebensdauer und Ausfallsicherheit (LED-Basis)
- Reibungsminimierung
- Drive by Wire

#### **Chemie/Pharmazie/Medizin:**

- Präventivmedizinische Diagnostik (z.B. Atemluftanalyse, SNP-Analyse)
- Langzeitdosierbare Pharmakadepots (Wirkstoffträgersysteme mit Sensorik)
- Gen-Fähren für die Gentherapie
- Neuartige Krebsbekämpfungsmethoden (Nanopartikel als Träger bzw. aktive Elemente)
- Sichere Hautbräunung (Sonnenschutz mit Sensor, intelligente Detektoren für UV -A und UV-B)
- Künstliche Gewebe/Organfunktionen (nanostrukturierte Implantatoberflächen,, Stützgerüste, (künstliche Muskeln,) ....)
- Patientenschonende Bildgebungsverfahren mit hoher Auflösung
- Funktionale Bekleidung (Körperfunktionssensor, schweissaufsaugende Cyclodextrine, Wohlgeruchspender, Pharmakaspender (Neurodermitis),...)
- Programmierbare Materialien (von weich zu hart, von transparent zu absorbierend, reflektierend, diffus streuend, schaltbare elektrische Eigenschaften, .selbstorganisierend, ...)
- Membrane für Abgasreinigung (Chemiereaktoren, Kohlekraftwerke, ...)
- Kosmetiken mit vermindertem Gesundheitsrisiko und optimiertem Anfühlen (Nanosphären-Cremes, ...)
- Nanopartikel stabilisierte Vitamine (Core/Shell + Farbe)
- Superabsorber
- Katalyse

### **Optik:**

- Beleuchtungstechnik mit optoelektronischen Bauelementen (z.B. hocheffiziente Weisslichtquellen auf Basis von Leuchtdioden, alle Farben (z.B. für Ampelanlagen, Autoleuchten, ...))
- Anwendung optoelektronischer Bauelemente in der Unterhaltungselektronik (DVD, Laser-TV, ...)
- Datenträger (DVD, CD) mit Nanostrukturen
- Anzeigeelemente mit nanostrukturierten Komponenten
- Optiken mit Funktionsschichten (photoelektrochrome Sonnenbrillen mit UV-Absorbern, kratzfeste Kunststoffoptiken, ...)
- Nanopartikel für photographische Filme
- Röntgenoptiken

### **luK-Technologien/Elektronik:**

- Datenübertragung und -verarbeitung mit hoher Datendichte und –geschwindigkeit – Technologien der Höchstintegration
- Globale, individuelle Informations- und Erlebniswelt
- Neuartige leichte und energiesparende Displays hoher Auflösung
- Tragbare I&K-Zentrale (vgl. einer Uhr, Body Electronics)
- Multifunktionsgeräte (z.B. Handy mit integrierter Digitalkamera, Alkoholsensor, digitalem Hausschlüssel, Timer/Planer, ...)
- Preiswerte Massenproduktion nanostrukturierter Polymerelektroniken (hochleistungsfähige Wegwerfelektronik, Ident-Stick zur Prozessverfolgung von der Erzeugung bis zum Recycling, Chips von der Rolle, DNA-Labels, ...)
- Vollständig digitalisierte Heimelektronik verschwindet miniaturisiert in den Möbeln und kann durch Sprachbefehle bedient werden
- Großflächige dreidimensionale Bilddarstellung für Simulatoren und Unterhaltungselektronik
- Vollelektronischer Universalübersetzer als Handgerät (Babelfisch)
- Vielfältige Warn- und Assistenzsysteme im Fahrzeug – digitaler Copilot

### **Biotechnologie:**

- Tragbare Bio-Chips, Lab-on-a-Chip, oder sonstige Testsysteme für individuelle Diagnostik (Forensik, Allergieverhalten, Präventivmedizin, Laborgebrauch.)
- Neue DNA-Sequenzierverfahren (Nanopore-Sequencing)
- Verbesserte mikroskopische Verfahren (AFM)
- Gezielte Manipulation zellulärer Strukturen
- Neue Transfektionsmethoden (Gentransfer)
- Systeme für Zellbanken (Mikrosystemtechnik mit Nanoanalytik und nichtflüchtiger Datenspeicherung)
- Neuroprothetik
- Datenspeicher, optische und elektrooptische Bauelemente auf Biomolekülbasis
- Biomoleküle für Echtheitszertifikate
- Biokatalysatoren für abfallarme Produktion chemischer Erzeugnisse
- Zelluläre Maschinen auf Biobasis (als autarke Systeme visionär)
- DNA-Labels, Marker
- Membrane (aus S-Layern, ...)

**Lebensmittel:**

- Sensorische, transparente Verpackung (zeigt den Frischegehalt an) und verminderter Permeabilität.
- Nanopartikel in Lebensmitteln (Farbstoffe, Verdickungsmittel, Zusätze, Sensor für Giftstoffe, ...)
- Membrane zur Wasseraufbereitung (Nanotubesysteme zur Meerwasserentsalzung, Membrane zur Filterung, ...)
- Kunststoffverpackungen mit Garantie für Lebensmittelfrische (gasdichte, leichte PET-Flaschen)

**Energiesektor:**

- Preiswerte Solarzellen (farbstoffsensibilisiert, evtl. niedrigerer Wirkungsgrad, aber hohes Preis/Leistungsverhältnis)
- Effiziente, kompakte Energiespeicher (Nanopartikel-Kapazitäten mit schneller Lade/Entladecharakteristik)
- Unabhängigkeit vom Ölsektor

**Baubranche:**

- Intelligente Fassaden (multifunktional und schaltbar, z.B. photoelektrochrome Beschichtungen, wärme-regelnd, lichtleitend, als Beleuchtungs- und Anzeigefläche nutzbar, ...)
- Schmutzabweisende, oder auch antibakterielle Oberflächen (z.B. Küchenmöbel, Sanitärbereiche, ...)
- Transparente Schutzbeschichtungen für Stahl, Kupfer, ...
- Heizsysteme (Keramik als Bauteile, Membrane für Brennstoffzellen, )
- Photovoltaik (TiO<sub>2</sub>-Oberflächen, Grätzel-Zellen, ...)
- Leichtbaustoffe mit höchster Wärmeisolation (Aerogele, Polymerkomposite, Feuerschutzwände, nano- verkapselte Latentwärmespeicher...)

**Freizeit:**

- Skiwachs
- Sportschuhe
- Freizeitbekleidung
- Tennisschläger
- hochfeste Sportgeräte aller Art

