

in Kooperation mit

**Hans Böckler  
Stiftung** 

Industriegewerkschaft  
Bergbau, Chemie, Energie



Forschungsprojekt

Nanotechnologie

Innovationsmotor für den Standort Deutschland

Zusammenfassung der Ergebnisse

Autor/innen: Grimm, Vera (VDI TZ, ZTC)  
Heinrich, Stephan (Prognos)  
Malanowski, Norbert (VDI TZ, ZTC)  
Pfirrmann, Oliver (Prognos)  
Schindler, Eva (Prognos)  
Stahl-Rolf, Silke (VDI TZ, FTI)  
Zweck, Axel (VDI TZ, ZTC)

November 2010

## **1 Vorbemerkung**

Die Studie hat den Einsatz der Nanotechnologie in Anwendungen, Produkten und Produktion in vielfältiger Weise untersucht und dokumentiert. Auf der Grundlage von sechs Fallbeispielen - Kohlenstoffnanoröhren (CNT), Bio(DNA)-Chips, Nanomembranen, Nanosilber-Produkte, Organische Photovoltaik (OPV) und Lithium-Ionen-Batterien - sind jeweils für Deutschland Ergebnisse zu den Kriterien technologischer Stand und Produktion, Bedeutung für den Industriestandort Deutschland, Standortfaktoren und internationale Arbeitsteilung, darunter Beschäftigung und Qualifizierung, sowie Risikowahrnehmung und Sicherheitsforschung erarbeitet worden. Ausführliche Recherchen und über 50 Interviews mit Wissenschaftlern, Unternehmens- und Betriebsratsvertretern, Repräsentanten aus NGO, Politik und Behörden in Deutschland, Großbritannien, USA und Taiwan haben dazu beigetragen, die Fallbeispiele sowohl auf nationaler Ebene, als auch in einem internationalen Kontext zu analysieren und einzuordnen.

## **2 Nanotechnologie: Stand der Technik und Produktbeispiele in Deutschland**

Die Studie zeigt, dass Nanotechnologie-basierte Produkte einerseits am Markt angekommen sind und teilweise in Serie gefertigt werden. Beispiele sind Kohlenstoffnanoröhren (CNT), Bio(DNA)-Chips, Nanomembranen und zunehmend Nanosilber-Produkte. Andererseits befinden sich noch sehr viele Produkte im Entwicklungs- oder Prototypenstadium und werden gegenwärtig bestenfalls als Einzelanfertigungen hergestellt. Dazu gehören zum Beispiel nanooptimierte Lithium-Ionen-Batterien oder Anwendungen in der Organischen Photovoltaik. Darüber hinaus gibt es noch langfristige bis visionär angelegte Forschungsansätze, deren kommerzielle Umsetzung in den nächsten zehn Jahren nicht zu erwarten ist. Dazu gehören u. a. die Stromleitung mit CNT-Fasern, Ultraleichtbaustoffe auf CNT-Basis oder auch das Biomonitoring System mit integrierter molekularer Diagnostik.

Der Nanotechnologie wird in Anwendungen und Produkten besonders als „enabling technology“ eine hohe Bedeutung beigemessen. Sie ermöglicht Leistungssteigerungen und Funktionsoptimierung einzelner Komponenten wie etwa durch den Einsatz von Nanomaterialien oder die Nutzung von nanoskaligen Effekten. Beispiele beinhalten nanostrukturierte Elektroden in Lithium-Ionen-Batterien, nanoskalige Sonden oder Strukturen in Biochips oder CNT in Kompositmaterialien. Zahlreiche Produkte wären ohne den Einsatz nanoskaliger Komponenten und Verfahren nicht konkurrenzfähig und verschiedene nanotechnologische Methoden wie etwa Lithografieverfahren zur Herstellung nanoskaliger Strukturen sind daher schon lange etabliert.

Die Nanotechnologie-basierten Produkte aus den Fallbeispielen adressieren überwiegend (noch) kleinere Märkte und keine Massenmärkte. Sie werden in vergleichsweise geringen Tonnagen hergestellt, was u. a. daran liegt, dass nur ein geringer Nano-Anteil am Material ausreicht, um die gewünschten Eigenschaften wie etwas elektrische Leitfähigkeit oder mechanische Zugfestigkeit sicher zu stellen. Beispielsweise werden

nur 0,01 % mehrwandige CNT in Kompositmaterialien benötigt, um die Kunststoffe elektrisch leitfähig zu machen. Von der heute am häufigsten verwendeten Komponente Carbon Black ist hingegen ein Anteil von etwa 10 % am Material zur Erreichung derselben Funktionalität erforderlich.

Jährlich werden in der weltweit größten Pilotproduktionsanlage für mehrwandige Kohlenstoffnanoröhren rund 200 Tonnen Baytubes hergestellt, und für 2012 ist die Ausweitung der Produktionskapazität auf 3000 Jahrestonnen geplant. Andere Nanomaterialien aus den Fallbeispielen werden in deutlich geringeren Quantitäten hergestellt, so beläuft sich etwa die Jahresproduktion von metallischem Nanosilber den Schätzungen der Experten zufolge auf etwa 80 Tonnen. Die Kapazität der weltweit größten Technikums-Anlagen für die Produktion von einwandigen Kohlenstoffnanoröhren liegt den Experten zufolge bei unter 100 kg jährlich. Zum Vergleich: Die Produktionsmengen von nanoskaligem Titandioxid betragen 3,6 Mio. Jahrestonnen weltweit und auch nanoskaliges Zinkoxid wird in einer Größenordnung von etwa einer Mio. Tonnen hergestellt.

Auch wenn nanoskalige Komponenten nur einen geringen Anteil am Gesamtwert des (End-)Produktes haben, können sie für die Wettbewerbsfähigkeit des Produktes entscheidend sein. Ein Beispiel sind mit Nanosilber veredelte Textilien. Das Vorprodukt Nanosilber wird nur in sehr geringen Mengen benötigt, während das fertige Textil meist in großen Stückzahlen gefertigt wird.

Den befragten Experten aller Fallstudien zufolge sind auf Nanotechnologie-basierende „Blockbuster“-Produkte auch mittelfristig nicht zu erwarten. Allerdings werden gerade den Nanomaterialien wie Kohlenstoffnanoröhren und Nanosilber sehr große Potenziale attestiert. Mit Spannung werden etwa sowohl neue Forschungsergebnisse als auch staatliche Regulierungen im Bereich Nanosilber und seinem Einsatz in Medizinprodukten beobachtet. Denn Nanosilber könnte sich als eine Art Antibiotika-Ersatz mit nur geringen Nebenwirkungen in Medizin und Medizintechnik etablieren. In diesem Fall wären „Blockbuster“-ähnliche Anwendungen denkbar, da nur sehr wenige neue medizinische Wirkstoffklassen in den letzten Jahren entdeckt wurden und die Anzahl an Resistenzen gegenüber herkömmlichen Antibiotika stark zugenommen hat. Das Marktsegment der Nanomaterialien allgemein weist dem entsprechend auch den größten Anteil am Gesamtmarkt mit der höchsten jährlichen Wachstumsrate auf, die mit fast 15 % deutlich über der aller anderer Nano-Marktsegmente liegt.

In den nächsten drei Jahren ist mit dem Markteintritt einer ganzen Reihe neuer Nanotechnologie-basierter Produkte zu rechnen. Besonders Nanosilber-Produkte befinden sich vergleichsweise weit in der Entwicklung und etliche neue Nanosilber-basierte Produkte werden in den kommenden drei Jahren in die jeweiligen Märkte eintreten. Ähnlich verhält es sich mit CNT-haltigen Produkten. Die größer angelegte Produktion von mehrwandigen Kohlenstoffnanoröhren ist gerade erst angelaufen und darauf aufbauend wird erwartet, dass in den nächsten Jahren verschiedene neue CNT-Produkte in die Kommerzialisierung eintreten werden. Weiterhin wird kurzfristig auch mit einer verstärkten Vermarktung von nanooptimierten Lithium-Ionen-Batterien

gerechnet. Mittelfristig sind noch viele weitere nanotechnologischen Neuheiten zu erwarten und zwar besonders aus den Bereichen Biochips mit den Lab-on-a-Chip-Systemen, erste Anwendungen in der Organischen Photovoltaik und auch die Serienfertigung von nanooptimierten Lithium-Ionen-Batterien.

Die Markteinführung ist dabei in aller Regel für diverse Länder zeitgleich geplant, und internationale Unterschiede ergeben sich aus der kulturellen Akzeptanz oder aus unterschiedlichen Förderschwerpunkten.

### **3 Nanotechnologie: Bedeutung der Industriesektoren am Innovationsstandort**

Den Industriesektoren Chemie, Elektrizitätserzeugungs-/verteilungsgeräte sowie Pharmazie, aus denen jeweils die untersuchten Fallbeispiele stammen, kommt eine hohe Bedeutung für die deutsche Wirtschaft zu. Sie vereinigten in 2008 etwa 10% der Erwerbstätigen im Produzierenden Gewerbe auf sich und hatten einen Anteil von etwa 14% an der Bruttowertschöpfung im Produzierenden Gewerbe. Die Nutzung und Bedeutung der Nanotechnologie für die einzelnen Sektoren resultiert aus der Stellung der Branchen in der Wertschöpfungskette.

Der Industriesektor Chemie im hier behandelten Sinne ist charakterisiert durch die Produktion von Grundstoffen oder Vorleistungen (Nanosilber, CNT). Er ist kapitalintensiv und weit überdurchschnittlich in den Weltmarkt integriert sowie stark von der weltweiten konjunkturellen Entwicklung sowie den Innovationszyklen der Abnehmer abhängig. Die deutsche Chemieindustrie hat derzeit den höchsten Anteil am Weltmarkt sowie weltweit den viertgrößten Umsatz. Seit Ende der 1990er Jahre hat sich die Wertschöpfung erhöht, und es wurden hohe Produktivitätsfortschritte erzielt. Arbeitsplätze hingegen wurden und werden perspektivisch abgebaut. Auch wenn der Anteil der Nanotechnologie an der Gesamtgrundstoffproduktion noch niedrig ist, vermittelt diese Querschnittstechnologie wichtige Innovationsimpulse für die Chemieindustrie.

Im Sektor Energieerzeugungs-/verteilungsgeräte werden Investitionsgüter produziert (OPV, Batterien), die zumeist als Systembestandteile in größere und komplexere Systeme integriert werden. Der Sektor ist durch eine starke Exportabhängigkeit charakterisiert, die erheblich zum Wachstum des Sektors beigetragen hat. Damit verbunden ist ein hoher Einfluss von konjunkturellen Schwankungen feststellbar. Generell ist der Industriesektor Energie in Deutschland geprägt durch wenige Großunternehmen und viele KMU in Nischenmärkten, die ihrerseits über starke Positionen verfügen. Produktinnovationen und steigende Nachfrage führten im letzten Jahrzehnt zu einem Wachstum der Bruttowertschöpfung bei ansteigender Produktivität und einer leichten Reduzierung der Beschäftigten. Die Fortsetzung dieser Trends wird auch zukünftig erwartet. Innovationsimpulse resultieren vor allem aus Energieeffizienzanforderungen im Verarbeitenden Gewerbe sowie einen hohen Investitionsbedarf in Schwellen- und Entwicklungsländern, aber auch aus Änderungen im Energieversorgungsmix.

Nanotechnologie wird derzeit vor allem noch im Forschungsbereich angewandt und stellt nur einen kleinen Anteil am Endprodukt dar.

Im Industriesektor Pharmazie-/Medizintechnik werden überwiegend endverbraucher-nahe Konsumgüter bzw. Verbrauchsgüter (Biochips, Nanomembrane) produziert. Die gesamte Branche zeigte sich gegenüber der Finanz- und Wirtschaftskrise außerordentlich robust. Ein wesentlicher Grund hierfür ist in der konjunkturellen Stabilität der Gesundheitsausgaben zu sehen. Als Markttreiber sind die wachsenden Gesundheitsmärkte in den Schwellenländern (insbesondere China, Indien, Brasilien, teilweise Osteuropa) zu sehen, die eine dynamische Branchenentwicklung erwarten lassen. In beiden Teilsektoren wird Nanotechnologie zur Entwicklung oder Verbesserung von Therapieformen genutzt. Vor allem in der Medizintechnik ist sie in umfassendere technische Systeme integriert.

Im Pharmasektor existiert in Deutschland, neben einer kleinen Anzahl von dominanten Großunternehmen, eine breite mittelständische Basis. Seit 2000 erfolgte in der Pharmazie ein im Vergleich mit anderen Sektoren stark überdurchschnittliches Wachstum, das in großem Umfang exportgetrieben ist. Bei hohen Produktivitätszuwächsen ist ein leichter Beschäftigungsabbau feststellbar, auch zukünftig soll sich dieser Trend fortsetzen. Kennzeichnend für die Marktverhältnisse ist ein eingeschränkter Wettbewerb, der aus der hohen Regulierungsdichte resultiert und die Innovationseinführung und Herstellung neuer Produkte bremst. Ein Preiswettbewerb findet bei standardisierten Produkten statt, das Marktverhältnis bei Spezialprodukten hingegen ist durch einen Qualitäts- und Innovationswettbewerb gekennzeichnet

Auch im Industriesektor Medizintechnik wird der Wettbewerb hauptsächlich über Qualität und Produktinnovationen geführt. Deutsche Unternehmen sind international konkurrenzfähig, da sie sich auf Know-how-intensive Produkte spezialisiert haben und sich durch eine hohe Innovationsfähigkeit auszeichnen. Ein wesentliches Charakteristikum des Sektors besteht in hohen Markteintrittsbarrieren durch Patentschutz, Zulassungshürden und FuE-Kosten. In den letzten Jahren war ein moderates Wachstum zu beobachten, das sowohl Umsatz und Produktivität als auch die Beschäftigtenzahlen betraf. Zukünftig wird ein überdurchschnittliches Wachstum erwartet, das von hohen Produktivitätsfortschritten und einem moderaten Beschäftigungsrückgang begleitet wird.

#### **4 Nanotechnologie: Standortfaktoren und internationale Arbeitsteilung**

Während Forschung und Entwicklung in aller Regel international sind, ist im Bereich der Produktion die internationale Arbeitsteilung nicht in allen Fällen vorzufinden: sie war jeweils dann verhältnismäßig stark ausgeprägt, wenn große Unternehmen in den jeweiligen Wertschöpfungsketten eine herausragende Bedeutung spielen – dies war bei den Produktbeispielen Lithium-Ionen-Batterien, CNT und der Organischen Photovoltaik der Fall. Insofern bestätigte sich die Rolle großer, transnationaler Unternehmen als Treiber der Internationalisierung.

Dabei haben sich bereits erste Muster internationaler Arbeitsteilung herausgebildet: so ist Europa (und Deutschland) bei Proteinchips, Lab-on-a-Chip-Systemen oder völlig neuartigen Nanotechnologie-basierten Biochip-Systemen stark, während Akteure in den USA auf DNA-Chips fokussieren. Die Produktion von Nanosilber findet überwiegend in den USA, aber auch in Deutschland und an asiatischen Standorten statt. Bei den Nanomembranen für die Dialyse wird erwartet, dass die internationale Arbeitsteilung dem derzeitigen Markt für Dialysegeräte folgt, den sich weltweit wenige große Unternehmen untereinander aufteilen. Ob diese Orientierung an etablierten Mustern internationaler Arbeitsteilung auch für Lithium-Ionen-Batterien gilt, deren Produktion derzeit stark von Japan, Korea und zunehmend auch China dominiert wird, bleibt abzuwarten.

Um die Wettbewerbsfähigkeit des Standortes Deutschlands für die betrachteten Produktbeispiele abschätzen zu können, wurde die Relevanz einzelner Standortfaktoren für die jeweiligen Produktbeispiele untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Relevanz der Standortfaktoren für die einzelnen Produktbeispiele durchaus differenziert zu betrachten ist:

- Starke Forschung und Entwicklung sind die Grundvoraussetzung dafür, dass der Standort international wettbewerbsfähig ist. Dies war bei den meisten betrachteten Produktbeispielen der Fall. Lediglich bei Lithium-Ionen-Batterien wurde Nachholbedarf diagnostiziert. Damit diese Position auch in Zukunft gehalten werden kann, sind sowohl private als auch öffentliche Investitionen in Forschung und Entwicklung dauerhaft notwendig. Die teils hohe Förderung im Ausland - hier wurden insbesondere die Referenzländer USA und Taiwan genannt - stellen insofern eine echte Herausforderung für den Standort dar.
- Das Fehlen von Teilen der Wertschöpfungskette im Inland ist nicht notwendigerweise ein Problem für die Wettbewerbsfähigkeit des Standortes. Verfügen die Akteure über gut funktionierende Beziehungen zu vor- oder nachgelagerte Wertschöpfungsstufen im Ausland, so kann für die Standortverantwortlichen sinnvoller sein, diese Beziehung zu flankieren, auszubauen und zu stärken, als die diagnostizierten Lücken in der Wertschöpfungskette selber zu schließen.
- Es gibt des weiteren Belege dafür, dass die Nähe zu Absatz- und Anwendermärkten eine wichtige Rolle spielt. Dies gilt beispielsweise für zielmarktspezifische Anpassungen im Gesundheitssektor, wie sie bei Nanomembranen für die Dialyse erforderlich sind, für CNT, bei denen räumliche Nähe zu den Weiterverarbeitern angestrebt wird, oder für OVP, für die Mitteleuropa ein Leitmarkt ist. Vor diesem Hintergrund könnte sich die gezielte Absatzförderung als sinnvoll erweisen.
- Arbeitskosten spielen – wie das Kostenargument insgesamt – eine eher untergeordnete Rolle. Bei einigen Beispielen wurden Transportkosten als relevante Standortfaktoren genannt. Sind die Investitionskosten neuer Produktionsanlagen hoch, so ergeben sich aus der Investitionsförderung deutliche Standortvorteile.
- Die Verfügbarkeit von hochqualifizierten Fachkräften aus natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fächern wird auch in den kommenden Jahren ein wichtiger

Standortfaktor für Deutschland bleiben. Die Fallstudien zeigen, dass ausgezeichnete grundständige Qualifikationen in Chemie, Physik, Biologie und Ingenieurwesen für die weitere Entwicklung und Optimierung von Nanotechnologie-basierten Produkten ebenso wichtig sind wie die Fähigkeit zur Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams. Dabei erfolgt die Spezialisierung auf nanotechnologische Aspekte derzeit vor allem über das so genannte „Training on the job“. Insbesondere Sicherheitsschulungen werden in der Regel unternehmensspezifisch durchgeführt. Dank der guten akademischen und dualen Ausbildung ist die fachliche Qualifikation des Nachwuchses in Deutschland auf einem hohen Niveau. Damit das Angebot an hochqualifizierten Fachkräften auch weiterhin ein Standortvorteil für Deutschland bleibt, muss vor allem dem zunehmenden quantitativen Mangel an Hochschulabsolventen aus den MINT-Fächern entgegengewirkt werden.

## **5 Nanotechnologie: Bedeutung der Sicherheitsforschung und Risikowahrnehmung**

Sicherheitsforschung und Risikowahrnehmung stehen in einer engen Verbindung zueinander. Während die Sicherheitsforschung zur naturwissenschaftlich fundierten Risikoidentifikation, -bearbeitung und -bewertung beiträgt, ist die Risikowahrnehmung als Diskurs über den gesellschaftlich gewünschten Einsatz und Sicherheitsbedarf zu verstehen. Generell ist derzeit sowohl die Sicherheitsforschung als auch die Risikowahrnehmung in Deutschland sachlich und faktenorientiert, allerdings gibt es gegenwärtig auch Tendenzen der Internationalisierung und Polarisierung im Risiko-Diskurs.

Für die behandelten Produktbeispiele wird der Sicherheitsforschung in Deutschland übergreifend eine gute Aufgabenwahrnehmung attestiert, sowohl hinsichtlich der behandelten Themen als auch der Tiefe der wissenschaftlichen Forschung und deren Neutralität. Sicherheitsforschung wird sowohl öffentlich gefördert als auch von Unternehmen durchgeführt bzw. von Industrieverbänden beauftragt. Sie konzentriert sich derzeit vor allem auf die Primärproduktion und wenige Verbraucherprodukte. Der Forschungs- und Wissensstand hinsichtlich des Produktlebenszyklus bzw. der Produktionskette von Nanotechnologie-basierten Produkten und Stoffen ist mit Ausnahme der Arbeitssicherheit noch ausbaubar.

Die Nanotechnologie wird in Deutschland gegenwärtig positiv wahrgenommen und eher mit Chancen als Risiken verbunden. Auf Grund der Neuigkeit und Dynamik der Nanotechnologie ist die Wahrnehmung jedoch nicht stabil und kann stark schwanken. Derzeit laufen verstärkte Initiativen diverser Akteure, die Experten- und Stakeholderdiskussionen aus der Sicherheitsforschung in Bürgerdialoge unterschiedlicher Art zu überführen und damit Chancen und Risiken transparent zu vermitteln. Zunehmend kontrovers wird die Risiko-Debatte bei Nanosilber und Kohlenstoffnanoröhrchen geführt, die anderen Fallbeispiele finden kaum einen Niederschlag in

der Diskussion. Wesentliche Einflussfaktoren auf die Risikowahrnehmung und -diskussion stellen dabei insbesondere der wahrgenommene Nanotechnologie-Anteil im Endverbraucherprodukt, der konkrete Nutzen der Nanotechnologie für oder im Produkt, die Nähe des Produkts zum menschlichen Körper bzw. der Expositionswege sowie die mediale Darstellung dar. Die mediale Darstellung ist dabei stark abhängig von medienexternen Anstößen wie der Veröffentlichung von Forschungsberichten oder der Anschaulichkeit der Themen bzw. der möglichen Analogiebildungen.

Die derzeitige Sicherheitsforschung und Risikowahrnehmung in Deutschland wirken als positive Faktoren für die weitergehende Diffusion von Nanotechnologie-basierten Produkten sowie der Produktion von Nanomaterialien. Beide Aspekte werden auch im Ausland referenziert, in Deutschland gefertigte Nanotechnologie-basierte Produkte werden national und international als sicher wahrgenommen. Verstärkend wirkt die Art der Debatte über Nutzen, Chancen und Risiken der Nanotechnologie, die zumindest in Deutschland eine anhaltend hohe Akzeptanz befördert.

Hemmende Faktoren sind derzeit hingegen noch auf bestimmte Nanotechnologie-Anwendungen – vorwiegend Grundstoffe und Vorprodukte wie Nanosilber und CNT – beschränkt. Die kontrovers geführte Debatte hat hier schon zur Rücknahme von Investitionsentscheidungen geführt, ebenso nehmen manche Hersteller Abstand vom Begriff Nanotechnologie im Marketing. Befürchtet werden hierbei stigmatisierende Effekte, wenn bzw. falls die Debatte insgesamt stärker emotionalisiert wird und einzelne Beispiele stellvertretend für die gesamte Bandbreite nanotechnologischer Applikationen thematisiert werden.

## **6 Nanotechnologie: Chancen des Innovationsstandortes Deutschland**

Im Folgenden werden sich abzeichnende Handlungsfelder und -optionen dargelegt, die zur Konsolidierung des Innovationsstandortes im Bereich Nanotechnologie beitragen können. Dabei ist es sinnvoll, den Innovationsstandort als so genanntes Mehrebenensystem zu betrachten, das - wo notwendig - eine Differenzierung nach internationaler und europäischer Ebene sowie Bundes-, Landes- und betrieblicher Ebene zulässt.

Wie in der gesamten Studie wird auch hier wieder unterschieden nach den zukünftig weiterhin relevanten Handlungsfeldern "Produkte und Systeme", "Qualifizierung" und "Sicherheitsforschung und Risikokommunikation".

Die vorliegende Studie konnte nicht alle möglichen Industriesektoren und Produktanwendungen in ihrer Breite einbeziehen, wohl aber in drei Industriesektoren sechs ausgewählte Nanotechnologie-basierte Produkte vertieft analysieren. Bezüglich des Innovationsstandortes Deutschland im Bereich Nanotechnologie ist ein facettenreiches Bild zu beobachten. Neben Stärken lässt es auch Herausforderungen sichtbar werden, die durch die nachfolgend skizzierten Handlungsempfehlungen aufgegriffen werden.

In einem internationalen Kontext betrachtet, nimmt der Standort Deutschland bezüglich der ausgewählten Nanotechnologie-basierten Produkte eine gute wettbewerbliche Position ein. Das ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen. Zunächst ist darauf zu verweisen, dass ein Handlungsfeld, das hier als „Dialogformen“ bezeichnet wird, quer zu den oben genannten Handlungsfeldern liegt und eine besondere Bedeutung hat. Die aktive Beteiligung aller relevanten Akteure einschließlich der Industriegewerkschaften und weiterer NGOs, wie Verbraucher- und Umweltgruppen, an bestehenden und neuen institutionellen Dialogformen, wie zum Beispiel der Nanokommission des BMU, den auf Nanotechnologie ausgerichteten Branchendialogen des BMBF oder den Bürgerdialogen sowie den Innovationsclustern macht eine Stärke des Innovationsstandortes Deutschland im Bereich Nanotechnologie aus. Für weitere erfolgreiche und zudem auch verantwortungsvolle Innovationen im Bereich Nanotechnologie ist ein Zusammenspiel aller relevanter Akteure in neuen Gebieten entlang z. T. noch zu gestaltender Wertschöpfungsketten notwendig.

Technikentwicklung, so das entsprechende Verständnis dieser Studie, findet nicht isoliert in Forschungsstätten und Entwicklungslaboren statt, sondern bezieht das Innovationsumfeld mit ein. Von Bedeutung ist nun, dass die Nutzung der Nanotechnologie für Gesellschaft, Umwelt und Wirtschaft international und auch in Deutschland gegenwärtig noch am Anfang steht. Wie anhand der ausgewählten Nanotechnologie-basierten Produkte dargestellt, gibt es bereits nützliche Produkte am Markt (u. a. Nanomembranen für die Dialyse), doch steht so manche Markteinführung von Nanotechnologie-basierten Produkten erst in den nächsten drei bis zehn Jahren an (u. a. verbesserte Solaranlagen, stabilere Windräder und Biochips für eine präzisere medizinische Diagnose). Um diese Innovationen zum Vorteil für den Standort Deutschland nutzen zu können, bedarf es einer vertieften gesellschaftlichen Abstimmung, der zum Beispiel auch so genannte runde Tische dienen können, wenn beispielsweise die Chancen und Risiken von nanotechnologischen Anwendungen sachlich zu diskutieren sind.

Ferner kann bei der künftigen Förderung von Innovationsclustern und ähnlichen Instrumenten das zusätzliche Berücksichtigen von Aspekten aus den Bereichen Qualifizierung, Beschäftigungssicherung und Arbeitsschutz einen Innovationsschub auf landes- und betriebspolitischer Ebene herbeiführen.

Für die zukünftig weiterhin relevanten Handlungsfelder bedeutet dies bezüglich der Handlungsoptionen im Einzelnen:

### **Handlungsfeld Produkte und Systeme**

1. In der jüngeren Vergangenheit hat das BMBF bereits Branchendialoge konzipiert und durchgeführt, damit die Potenziale der Nanotechnologie nicht nur im Bereich der Hochtechnologie sondern auch in klassischen Industrien nutzbar gemacht werden können. Diese schnellere Form der Heranführung neuer Industriesektoren an den Innovationsmotor Nanotechnologie sollte fortgeführt

werden unter Beteiligung aller relevanten Innovationsakteure, inklusive der Industriegewerkschaften. Solche Aktionen bieten sich vor allem auf Bundes- und Landesebene an.

2. Aufgabe der Innovationsakteure wäre es, nicht nur ihre spezifischen Interessen in diese Dialoge einzubringen, sondern auch sachlich darüber zu diskutieren, wie der Nanotechnologiestandort Deutschland weiter entwickelt werden kann. Auf Bundes-, Landes- und betrieblicher Ebene bedeutet das, neben den bereits existierenden Plattformen wie die Innovationsallianzen zu Lithium-Ionen-Batterien, Organischer Photovoltaik und Kohlenstoffnanoröhren, für den Standort Deutschland weitere Plattformen oder Podien zu organisieren, die auf Anwendungen und Produkte ausgerichtet sind, um den in Deutschland immer wieder benannten Umsetzungsdefiziten im Hightech-Bereich auch im Bereich Nanotechnologie entgegenzuwirken.
3. Auf internationaler und europäischer Ebene sind die Aktivitäten zu Normung, Standardisierung und Regulierung bei der OECD, ISO und in der EU weiter voranzutreiben damit für den Innovationsstandort Deutschland im Bereich Nanotechnologie allgemein akzeptierte Leitlinien existieren, die für Planungssicherheit sorgen. Eine gewerkschaftliche Beteiligung kann beim letztgenannten Aspekt z. B. über das Trade Union Advisory Council (TUAC) bei der OECD oder über den Europäischen Gewerkschaftsbund und die Europäische Föderation der Bergbau-, Chemie- und Energiegewerkschaften (EMCEF) bei der EU erfolgen.

### **Handlungsfeld Qualifizierung**

4. Es empfiehlt sich aufgrund des demografischen Wandels am Innovationsstandort Deutschland gute kontinuierliche Qualifizierungsbestrebungen für die Vermittlung nanospezifischer Kompetenzen auf allen Ebenen voranzutreiben, auch wenn gegenwärtig von den befragten Experten im Bereich der Entwicklung und Herstellung ihrer Nanotechnologie-basierten Produkte noch kein gravierender Engpass konstatiert wird. Die Nachfrage nach qualifizierten Facharbeitern in „Nanotechnologie-Unternehmen“ wird auf mittlere Sicht deutlich steigen. Bei den Qualifizierungsansätzen spielen vor allem Interdisziplinarität und die Vermittlung des Querschnittcharakters der Nanotechnologie eine zentrale Rolle. Diese Punkte können auf Facharbeiterebene beispielsweise in die Arbeit des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) eingebracht, erörtert und in Teilen umgesetzt werden. Darüber hinaus sind hier, nicht zuletzt aufgrund verteilter föderaler Kompetenzen, Aktivitäten auf Bundes- und Landesebene anzustreben.
5. In Bezug auf die Ebene der Facharbeiteraus- und -weiterbildung ist darauf Wert zu legen, dass neben den Grundlagen der Nanotechnologie die Kommunikationsfähigkeiten zwischen Facharbeitern und Akademikern ebenso vermittelt werden wie das Thema „Sicherheitsstandards beim Umgang mit

Nanotechnologie“. Für die Umsetzung dieser Module der Aus- und Fortbildung bietet sich gegenwärtig vor allem eine Integration in bestehende Berufsbilder an. Ferner sind verstärkt flankierende Informations- und Weiterbildungsmaßnahmen auf Bundes-, Landes- und betrieblicher Ebene gefragt wie sie in ersten Ansätzen z. B. von einigen Kompetenzzentren Nanotechnologie, Hochschulen und technologie-orientierten Weiterbildungsträgern in Pilotmaßnahmen angeboten werden (vgl. [www.nano-bildungslandschaften.de](http://www.nano-bildungslandschaften.de) und [www.kursnet-finden.arbeitsagentur.de](http://www.kursnet-finden.arbeitsagentur.de)).

### **Handlungsfeld Sicherheitsforschung und Risikokommunikation**

6. Die Fortführung einer transparenten Nanotechnologie bezogenen Sicherheits- und Risikoforschung ist notwendig. Dazu gehört auch eine Bündelung vorliegender Forschungsergebnisse für die so genannten Stakeholder aus Gesellschaft, Politik, Behörden, Wirtschaft und Wissenschaft sowie das verständliche Aufbereiten der Ergebnisse für Laien wie es z. B. im Rahmen des Projektes DANA ([www.nanopartikel.info](http://www.nanopartikel.info)) anvisiert ist. Ferner ist eine offensive und offene Informationspolitik gegenüber der Öffentlichkeit zu forcieren, die sowohl auf die Bundes- und Landesebene ausgerichtet ist als auch auf die betriebliche Ebene, d.h. praxisnah agiert wie die ersten durchgeführten Bürgerdialoge im Rahmen von NanoCare.
7. Notwendig ist weiterhin ein ausgewogener und sachbezogener Dialog über Chancen und Risiken Nanotechnologie-basierter Anwendungen und Produkte unter gleichberechtigter Einbindung der Wirtschaft. Auch hier bieten sich entsprechende Formen und Aktionen auf Bundes-, Landes- und betrieblicher Ebene (ebenso wie auf internationaler und europäischer Ebene) an wie sie z. B. im Rahmen der Förderfelder NanoNature und NanoCare auf Bundesebene oder auf europäischer Ebene mit dem Nano Safety Dialogue for Success der Europäischen Kommission angelaufen sind.
8. Dazu gehört auch der verantwortungsvolle Umgang mit Forschungsergebnissen, der den sicheren und verantwortungsvollen Umgang mit Nanotechnologie genauso betont, wie die vielseitigen, effizienzverbessernden und neue Anwendungsvielfalt schaffenden Chancen der Nanotechnologie. Als Beispiel zur Förderung und Umsetzung eines solchen Vorgehens kann die von VCI und Dechema für das Frühjahr 2011 geplante Konferenz zum gegenwärtigen Stand der Risikobewertung sowie der Human- und Ökotoxikologie von Nanomaterialien genannt werden.