

# PANORAMA

## Ermittlung von Qualifikationserfordernissen in der Nanotechnologie



# Ermittlung von Qualifikationserfordernissen in der Nanotechnologie

Lothar Abicht  
Henriette Freikamp  
Uwe Schumann

Cedefop Panorama series; 129

Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 2006

---

Zahlreiche weitere Informationen zur Europäischen Union sind verfügbar über Internet, Server Europa (<http://europa.eu.int>).

Bibliografische Angaben befinden sich am Ende der Veröffentlichung.

Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 2006

ISBN 92-896-0428-X

ISSN 1562-6180

© Europäisches Zentrum für die Förderung der Berufsbildung, 2006  
Nachdruck mit Quellenangabe gestattet.

*Printed in Belgium*

Das **Europäische Zentrum für die Förderung der Berufsbildung** (Cedefop) ist das Referenzzentrum der Europäischen Union für Fragen der beruflichen Bildung. Es stellt Informationen und Analysen zu Berufsbildungssystemen sowie Politik, Forschung und Praxis bereit.

Das Cedefop wurde 1975 durch die Verordnung (EWG) Nr. 337/75 des Rates errichtet.

Europe 123  
GR-57001 Thessaloniki (Pylea)

Postanschrift:  
PO Box 22427  
GR-55102 Thessaloniki

Tel. (30) 23 10 49 01 11  
Fax (30) 23 10 49 00 20  
E-Mail: [info@cedefop.eu.int](mailto:info@cedefop.eu.int)  
Homepage: [www.cedefop.eu.int](http://www.cedefop.eu.int)  
Interaktive Website: [www.trainingvillage.gr](http://www.trainingvillage.gr)

**Autoren:**

Lothar Abicht  
Henriette Freikamp  
Uwe Schumann  
isw – Institut für Strukturpolitik und Wirtschaftsförderung

**Herausgegeben von:**

**Cedefop**

Manfred Tessaring,  
Olga Strietska-Illina,  
Alena Zukersteinova, Projektleiter

Veröffentlicht unter der Verantwortung von:  
Aviana Bulgarelli, Direktorin  
Christian Lettmayr, stellvertretender Direktor

Der Inhalt dieser Veröffentlichung spiegelt nicht unbedingt die Meinung der Europäischen Kommission oder des Cedefop wider.

# Vorwort

Die Entwicklung der Nanotechnologie wird als eine grundlegende technische Neuerung erachtet, die nur mit der Erfindung von Antibiotika, dem Fernsehen, der Atomkraft und der Computertechnik vergleichbar ist. Die Nanotechnologie erweist sich schon jetzt als eine Schlüsseltechnologie, denn sie umspannt ein breites Spektrum an wissenschaftlichen und technischen Aktivitäten, die Phänomene und Eigenschaften im Nanobereich (ca.  $0,1^{-100}$  m – ein Nanometer ist ein Milliardstel Meter) erforschen und bearbeiten.

Man geht davon aus, dass die Nanotechnologie nicht nur Wissenschaft und Forschung, sondern auch die industrielle Fertigung und möglicherweise unser tägliches Leben nachhaltig verändern wird. Selbst vorsichtige Schätzungen legen erhebliche durchschnittliche jährliche Wachstumsraten in der Nanotechnologie nahe, die die diejenigen der Bio- und die Informationstechnologie übertreffen dürften. Europa hat einen beträchtlichen Anteil an diesem Wachstumspotenzial und kann damit neue Beschäftigungsfelder auf unterschiedlichen Ebenen erschließen: für Forscher und Wissenschaftler mit Hochschulabschluss und Promotion ebenso wie für eine ganze Reihe von Technikern und Fachkräften mit Sekundar-, Postsekundar- und Fachhochschulabschlüssen. Doch besteht die Gefahr von Qualifikationsengpässen in der Nanotechnologie, wenn die Bildungs- und Ausbildungssysteme nicht rechtzeitig auf den sich abzeichnenden Bedarf reagieren. Dies könnte das Wachstumspotenzial und die Beschäftigungseffekte empfindlich beeinträchtigen.

Die vorliegende Veröffentlichung vermittelt einen Überblick über die derzeitige Sachlage und stand im Mittelpunkt eines internationalen Workshops zu neuen Technologien und Qualifikationsanforderungen im Bereich der Nanotechnologie, der im Juli 2005 in Stuttgart stattfand. Der Workshop beleuchtete den Qualifikationsbedarf in diesem Bereich aus verschiedenen Blickwinkeln; Organisatoren waren das Netzwerk des Cedefop für die Früherkennung von Qualifikationsanforderungen (Skillsnet), das Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (Fraunhofer IAO), das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und das Institut für Strukturpolitik und Wirtschaftsförderung (isw).

Diese Studie untersucht die jüngsten Entwicklungen und Trends auf unterschiedlichen Gebieten der Nanotechnologie und die sich aus ihnen ergebenden Qualifikationsanforderungen. Sie enthält eine umfassende Definition der Nanotechnologie und ihrer Anwendungsfelder in Europa. Sie hinterfragt auch die Potenziale, Trends und Entwicklungen auf internationaler Ebene und bewertet die Arbeitsmarktentwicklungen und den künftigen Fachkräftebedarf. Insbesondere wird kritisch geprüft, wie sich die Nachfrage nach grundlegenden und neuen Qualifikationen sowie neuartigen Berufsprofilen in der Nanotechnologie gestaltet. Und schließlich werden Maßnahmen zur europaweiten Einführung innovativer Qualifikationen und Ausbildungsgänge in dieser Technologie vorgeschlagen.

Cedefop, Skillsnet team:

Olga Strietska-Ilina  
Manfred Tessaring  
Alena Zukersteinova





# INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort .....	1
Zusammenfassung .....	5
1. Einführung .....	9
2. Forschungsziele .....	11
3. Methodischer Ansatz .....	13
3.1. Sekundäranalyse .....	13
3.2. Die Systematisierungsmatrix .....	14
4. Ergebnisse .....	18
4.1. Sektoren der Nanotechnologie .....	18
4.1.1. Nanobereiche .....	19
4.2. Potenziale, Trends und Entwicklungen der Nanotechnologie auf internationaler Ebene .....	23
4.2.1. Internationale Förderung der Nanotechnologie .....	23
4.2.2. Wirtschaftliche Bedeutung der Nanotechnologie .....	25
4.2.3. Forschungsschwerpunkte in der Nanotechnologie .....	26
4.2.4. Nationale Aktivitäten, Initiativen, Programme und Netzwerke .....	27
4.3. Arbeitsmarktentwicklungen und zukünftiger Fachkräftebedarf .....	32
4.4. Qualifikationsanforderungen im Bereich der Nanotechnologie .....	34
4.4.1. Bedarf an qualifiziertem Personal .....	34
4.4.2. Tätigkeitsbereiche in der Nanotechnologie .....	39
4.4.3. Auszuprägende Kompetenzen .....	41
4.4.4. Vorschläge für innovative Qualifikationsprofile (mittlere Qualifikation) .....	44
4.5. Wege zur Implementierung und Verifizierung innovativer Qualifikationsmaßnahmen in Europa .....	46
5. Resümee .....	49
Liste der Abkürzungen .....	51
Empfohlene Links .....	52
Literatur .....	52
Glossar .....	56
Anhang 1: Forschungsschwerpunkte in der Nanotechnologie .....	62
Anhang 2: Einrichtungen zur Früherkennung von Qualifikationsanforderungen und ihre Aktivitäten auf dem Gebiet der Nanotechnologie .....	67

# Verzeichnis der Tabellen und Schaubilder

## Tabellen

Tabelle 1:	Die Systematisierungsmatrix „Komplexe Anwendungssysteme“ (Ausschnitt).....	17
Tabelle 2:	Überblick über die Bereiche der Nanotechnologie.....	18
Tabelle 3:	Nanotechnologische Bereiche und Anwendungsfelder im Überblick.....	21
Tabelle 4:	Bereiche der Nanotechnologie, die von der Regierung gefördert werden (Auswahl).....	24
Tabelle 5:	Geschätzte staatliche Unterstützung für Nanowissenschaften und Nanotechnologie.....	29
Tabelle 6:	Personalbedarf von Unternehmen der Nanobiotechnologie bis 2007.....	34
Tabelle 7:	Neue Studiengänge zum Thema Nanotechnologie in Deutschland.....	36
Tabelle 8:	Interdisziplinäre Fachgebiete der Nanobiotechnologie.....	42
Tabelle 9:	Beispiele für ermittelte Fachkompetenzen im Bereich der Nanochemie.....	42
Tabelle 10:	Verfahren der Nanobiotechnologie.....	43
Tabelle 11:	Softskills.....	43
Tabelle 12:	Die Qualifikationsprofile im Überblick.....	44
Tabelle 13:	Übergreifendes Qualifikationsprofil (16): Spezialist für Nanooberflächenbearbeitung.....	45
Tabelle 14:	Modell zu Weiterbildungsmodulen im Bereich der Nanotechnologie.....	48

## Schaubilder

Schaubild 1:	Gliederung der Technologie als Wissenschaft.....	15
Schaubild 2:	Vor-, Haupt- und Nachphase von technologischen Verfahren.....	15
Schaubild 3:	Anwendungsfelder der Querschnittstechnologie Nanotechnologie.....	18
Schaubild 4:	Anwendung der Nanoanalytik.....	19
Schaubild 5:	Forschungsfördermittel für Nanotechnologie weltweit (Schätzung).....	23
Schaubild 6:	Schätzungen zum Weltmarktpotenzial der Nanotechnologie.....	25
Schaubild 7:	Nanotechnologie-Netzwerke in Europa.....	28
Schaubild 8:	Zahl der Studiengänge und Hochschulkurse für die Nanotechnologie.....	34
Schaubild 9:	Welche Form des Studienabschlusses wird benötigt?.....	35
Schaubild 10:	Untergraduierten-Abschlüsse und -Kurse im Bereich der Nanotechnologie.....	37
Schaubild 11:	Zahl der Kurz-Kurse für die Nanotechnologie.....	37
Schaubild 12:	Hauptürden für die Entwicklung der Nanotechnologie.....	38
Schaubild 13:	Das richtig ausgebildete Personal in der Nanotechnologie finden.....	39

# Zusammenfassung

Die Nanotechnologie wird im 21. Jahrhundert eine weltweite Schlüsselrolle spielen. Sie setzt Trends in allen industriellen Bereichen. Im Zusammenhang mit der Nanoskalierung und den dazu gehörigen typischen quantenmechanischen Phänomenen entstehen neue Funktionalitäten und Möglichkeiten, die es erlauben, bestehende Produkte zu verbessern und neue Produkte bzw. Anwendungsmöglichkeiten zu entwickeln. Nanotechnologie ist eine Querschnittstechnologie, welche für alle Bereiche wie Chemie, Medizin, Automobil, Nahrungsmittel, usw., zunehmend relevant wird. Bisher veröffentlichten Prognosen zufolge kann behauptet werden, dass die Nanotechnologie eine zunehmende wirtschaftliche Bedeutung hat. Eine zwingende Voraussetzung für die Effektivität von Forschung und Produktion in einem Hochtechnologiebereich wie der Nanotechnologie ist jedoch das Vorhandensein qualifizierten Fachpersonals.

Vor diesem Hintergrund beleuchtet die vorliegende Studie aktuelle Forschungsschwerpunkte, Entwicklungsrichtungen und Trends zu verschiedenen Bereichen und Sektoren der Nanotechnologie und zeigt die damit zusammenhängenden Qualifikationserfordernisse auf. Auf der Grundlage relevanter Forschungsergebnisse aus Europa und anderen Industriestaaten wie den USA oder Japan definiert diese Studie die Nanotechnologie und ihre An- und Verwendungsbereiche, insbesondere in Europa. Sie analysiert Schätzungen und Prognosen zur Bedeutung der Nanotechnologie und ihrer wissenschaftlich-technischen Entwicklung in unterschiedlichen Anwendungsfeldern. Zusätzlich wurde der zukünftige Qualifikationsbedarf auf dem spezifischen Arbeitsmarkt der Nanotechnologie untersucht. Dazu werden die wichtigsten Institute und Organisationen benannt, die sich mit der Identifikation zukünftiger Qualifikationserfordernisse im Bereich der Nanotechnologie auseinandersetzen. Hinzu kommt ein Überblick über die Forschungsergebnisse zum Bedarf an spezifischen und generellen Qualifikationen und speziell innovativen Qualifikationen, sowie über neu entstehende Berufe im Bereich der Nanotechnologie. Abschließend werden Handlungsempfehlungen für die europaweite Implementierung und Verifizierung innovativer Qualifikationen und Trainingsangebote in der Nanotechnologie erarbeitet.

Die vorliegende Analyse basiert zusätzlich auf Forschungen des Instituts für Strukturpolitik und Wirtschaftsförderung (isw) zu Qualifikationserfordernissen in der Nanotechnologie in Deutschland<sup>(1)</sup>. Vor dem Hintergrund der dort erarbeiteten Ergebnisse werden Erfahrungen bereichsbezogener Implementierungen und Anwendungen, typischer Arbeits- bzw. Tätigkeitsfelder der Mitarbeiter auf der Ebene der mittleren Qualifikationen (Fachkräfte) und Erfahrungen von Akteuren im Bereich der Nanotechnologie einbezogen, um die europaweite und internationale Relevanz und Transferfähigkeit der analysierten Forschungsergebnisse einschätzen zu können. Mittels einer Sekundäranalyse, die vor allem auf Online-Recherchen fokussierte, sowie der Nutzung einer speziellen Systematisierungsmatrix erfolgte die Analyse von Primärdaten und Sekundärdaten aus dem Bereich der Nanotechnologie. Dabei handelt es sich um eine Matrix,

---

<sup>(1)</sup> Das isw führte von 2002 bis 2005 ein Projekt zur Ermittlung der Qualifikationsentwicklung in der Nanotechnologie in Deutschland durch.

die auf den Prinzipien der „Allgemeinen Technologie“ basiert. Die Parameter der Matrix sind u. a. der technologische Prozess, die technischen Arbeitsmittel oder technischen Systeme. Eine solche Vorgehensweise erlaubt die Erfassung der Erscheinungsformen der Nanotechnologie und führt zur Ermittlung der jeweils relevanten Verfahren. Ziel der Arbeit mit der Systematisierungsmatrix ist es, tätigkeitsbezogene Anforderungen verfahrensbezogen zu erfassen. Deshalb war eine Strukturierung der Matrix, in der Verfahren die Eingangsgröße darstellen, für die Ermittlung von Qualifikationen im Bereich der Nanotechnologie von großer Bedeutung.

Die Entwicklungstrends und daraus folgende Qualifikationsentwicklungen werden für die Bereiche Nanoanalytik, Nanobiotechnologie, Nanochemie, Nanoelektronik und NanoOptik differenziert dargestellt. Die Anwendung einzelner nanotechnologischer Entwicklungen werden für die Bereiche Energie- und Umwelttechnik, Messtechnik, *Life Science*, Medizin, Pharmazie, Kosmetik, Chemische Industrie, Textilindustrie, Nahrungsmittelindustrie, Informations- und Kommunikationstechnik, Automobilindustrie, Haushaltswaren und Sportartikel beschrieben.

Die Nanotechnologie gewinnt weltweit immer mehr an Bedeutung. Dies kommt nicht zuletzt in den ständig steigenden Fördermittelausgaben für die Forschung, vor allem in den Industrienationen, zum Ausdruck. Besorgnis erregend ist jedoch, dass der Bereich Bildung nur von der EU, Indien und den USA gefördert wird.

Neben der Betrachtung einzelner Forschungsschwerpunkte und Einsatzfelder der Nanotechnologie werden auch ausgewählte Aktivitäten, Initiativen, Programme und Netzwerke mit Bezug zur Nanotechnologie auf internationaler und nationaler Ebene vorgestellt.

In der Nanotechnologie steigt der Bedarf an Arbeitskräften in der Forschung und Entwicklung. Im Zuge der Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen werden jedoch auch die Erfordernisse an gut ausgebildetem Personal in industriellen Arbeitsbereichen wie Produktion, Qualitätssicherung, Marketing und Vertrieb steigen. Die Studie stellt einige quantitative und qualitative Aussagen vor. So führte das europäische Netzwerk der Nanotechnologie Nanoforum im Jahre 2004 zusammen mit der Europäischen Kommission eine europaweite Online-Befragung zu Entwicklungen in der Nanowissenschaft und -technologie (N&N) durch. Insgesamt wurden 749 Personen befragt. In diesem Zusammenhang ist besonders bemerkenswert, dass 90 % der Befragten eine dringende Verstärkung der Aus- und Weiterbildung für die Nanotechnologie und deren interdisziplinäre Anforderungen artikulieren. Fast 75 % der Befragten erwarten bereits in fünf bis zehn Jahren einen Mangel an qualifiziertem und interdisziplinär ausgebildetem Personal.

Neben der Darstellung bereits bestehender Angebote zur Aus- und Weiterbildung in Europa, den USA und Asien geht die Studie auf Ergebnisse einer qualitativen Untersuchung in Deutschland zur Ermittlung von Trendqualifikationen im Bereich der Nanotechnologie ein. Für die Bereiche Forschung und Entwicklung, Fertigung und Produktion, Qualitätssicherung, Dokumentation, Marketing und Vertrieb wurden neue Anforderungen an die Qualifikationen der Mitarbeiter in Unternehmen analysiert und in so genannten Qualifikationsprofilen zusammengefasst.

Ausgehend von den Analyseergebnissen zu Qualifikationsentwicklungen in der Nanotechnologie stellt die Studie Wege zur Implementierung und Verifizierung innovativer Qualifikationsmaßnahmen in Europa mittels sechs Entwicklungsschritten bzw. -ebenen vor. Nach der Analyse der Nanotechnologie und deren Akteure in Europa und weltweit, der Untersuchung der wissenschaftlich-technologischen Entwicklung, der Ermittlung innovativer Qualifikationsanforderungen sowie der Entwicklung von Qualifikationsprofilen wird die Entwicklung und Erprobung neuer Qualifikationsmaßnahmen europaweit sowie die Verallgemeinerung und breite Implementierung der neuen Qualifikationsmaßnahmen dargestellt.

Die Autoren stellen resümierend fest, dass im internationalen Vergleich der umfangreichen öffentlichen Förderung der naturwissenschaftlichen und technologischen Forschung nur geringe Aktivitäten zur Erforschung und Entwicklung der benötigten Humanressourcen gegenüberstehen. Soweit diese Aktivitäten gefördert werden, sind sie meist Bestandteil der naturwissenschaftlichen oder technologischen Forschung und führen zu Einzellösungen ohne Beachtung der Nachbargebiete. Damit besteht die Gefahr, dass mittelfristig ein Fachkräftemangel entsteht. Fehlendes qualifiziertes Fachpersonal könnte zum limitierenden Faktor für die erfolgreiche Überführung der nanotechnologischen Forschung in nanotechnologische Produktion werden.

Um zu verhindern, dass fehlende Humanressourcen die wirtschaftliche Verwertung der Forschungsergebnisse behindern, sollte ein wesentlicher Teil der Fördergelder (z. B. 5 %) für die Erforschung von Qualifikationserfordernissen und die Entwicklung und Erprobung von Qualifizierungsangeboten eingesetzt werden. Der Gefahr der Entstehung von Einzellösungen ist durch eine systemische Herangehensweise sowohl an die Erstausbildung als auch an die Weiterbildung zu begegnen. Ein Monitoring-Programm zur Untersuchung der qualitativen Qualifikationsanforderungen und der quantitativen Fachkräfteerfordernisse ist dringend zu empfehlen. Die dabei gewonnenen Ergebnisse sollten in einen Aktionsplan zur Umsetzung in Aus- und Weiterbildung einfließen. Außerdem könnten Mittel des Europäischen Sozialfonds (ESF) gezielt für praktische Maßnahmen der Qualifikationsentwicklung eingesetzt werden. Institutionen der Berufsbildung, Exzellenzzentren und der Austausch bewährter Verfahrensweisen im Bereich der Nanotechnologie sollten in Europa stärker gefördert werden.



# 1. Einführung

Nanotechnologie<sup>(2)</sup> ist eine Querschnittstechnologie mit hoher Relevanz für alle wirtschaftlichen Bereiche und wird durch eine wachsende Zahl von Entdeckungen vorangebracht. Sie wird im 21. Jahrhundert eine weltweite Schlüsselrolle spielen und setzt Trends in allen industriellen Bereichen wie Chemie, Automotive, Nahrungsmittelindustrie, usw. Die Nanoskalierung und die dazu gehörigen quantenmechanischen Phänomene eröffnen neue Funktionalitäten, die es erlauben, Produkte zu verbessern und neue Produkte bzw. Anwendungsmöglichkeiten zu entwickeln. Bisher veröffentlichte Prognosen bestätigen die zunehmende wirtschaftliche Bedeutung der Nanotechnologie. Eine zwingende Voraussetzung für die Effektivität von Forschung und Produktion in einem Hochtechnologiebereich wie der Nanotechnologie sind jedoch das Vorhandensein qualifizierten Fachpersonals sowie gezielte Bildungs- und Ausbildungsmaßnahmen, um einen künftigen Fachkräftemangel in diesem Bereich zu vermeiden.

Vor diesem Hintergrund empfiehlt die Europäische Kommission (EK, 2004a) ihren Mitgliedstaaten, in den folgenden Bereichen aktiv mitzuwirken:

- (a) Ermittlung des Bildungsbedarfs in der Nanotechnologie und Sammlung von guten Beispielen aus der Praxis und/oder von Ergebnissen aus Pilotstudien;
- (b) Förderung der Definition und Implementierung von neuen Bildungsangeboten und Curricula, Training für Lehrpersonal und Bildungsmaterial für die Unterstützung interdisziplinärer Ansätze der Nanotechnologie in Schule, Studium sowie Aus- und Weiterbildung;
- (c) Integration ergänzender Qualifikationen in die wissenschaftliche Weiterbildung und lebenslanges Lernen, bspw. unternehmerisches Denken und Handeln, Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz, Patente, Verfahrensweisen bei der Aus- bzw. Neugründung (*Spin-off*), Kommunikation, usw.

In der vorliegenden Studie werden neue Qualifikationsanforderungen im Bereich der Nanotechnologie aufgezeigt, die in der Aus- und Weiterbildung berücksichtigt werden sollten. Die Umsetzung nanotechnologischer Qualifikationsinhalte in die berufliche Aus- und Weiterbildung ist ein entscheidender Beitrag zur Sicherung der Potenziale der Nanotechnologie. Unternehmen, die im Bereich Nanotechnologie tätig sind, benötigen eine wachsende Zahl qualifizierter Mitarbeiter. Trotz der zunehmenden wirtschaftlichen Bedeutung der Nanotechnologie befinden sich die meisten Anwendungen im Moment noch in der Phase der Grundlagenforschung, Anwendungsforschung oder Entwicklung. Eine Reihe von Entwicklungen und Trends versprechen ein hohes Wachstumspotenzial, sind derzeit aber oft noch instabil. Vor dem Hintergrund eines enormen Innovationspotenzials werden Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten derzeit hauptsächlich von Wissenschaftlern mit Universitätsabschluss ausgeführt.

---

<sup>(2)</sup> Gegenstand der Nanotechnologie ist die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen, molekularen Materialien, inneren Grenz- und Oberflächen mit mindestens einer kritischen Dimension oder Fertigungstoleranzen (typischerweise) unterhalb 100 nm (Nanometer) (Bachmann, 1998).

Doch insbesondere mit zunehmender Entwicklung und ökonomischer Bedeutung der Nanotechnologie – stark charakterisiert durch Arbeitsteilung – wird es eine verstärkte Nachfrage nach Mitarbeitern mit Berufsausbildung geben. Neben dem hohen Bedarf an Hochqualifizierten, bedingt durch den noch jungen, forschungsintensiven Entwicklungsstand der Nanowissenschaften und Nanotechnologie, wird auch der mittleren Qualifikation, also der Berufsbildung, verstärktes Gewicht beizumessen sein. Diese gewinnt mit steigenden Umsetzungs- bzw. Realisierungserfolgen von Forschungsergebnissen in der nanotechnologischen Produktion zunehmend an Bedeutung. Damit stellt die Identifizierung von Anforderungen für die mittlere Qualifikationsebene einen wichtigen Teil der vorliegenden Analyse dar.

Damit der Bedarf an Fachpersonal in allen relevanten Tätigkeitsbereichen der Nanotechnologie gedeckt werden kann, ist die Erforschung von innovativen Arbeits- und Qualifikationserfordernissen absolut notwendig.

Die vorliegende Studie stützt sich auf eine Analyse zur Ermittlung von Qualifikationserfordernissen im Bereich der Nanotechnologie.



## 2. Forschungsziele

Die Studie wurde als Sekundäranalyse auf der Basis von Forschungsergebnissen in Europa und anderen Industriestaaten wie den USA und Japan erstellt.

Schwerpunkte der Untersuchung:

- (a) Definition der Nanotechnologie, Felder und Bereiche ihrer An- und Verwendung, insbesondere in Europa.

Die Anwendungsfelder der Nanotechnologie sind breit gespannt. Nanotechnologische Produkte sind weit verbreitet, bspw. in der Medizin (neue Krebsbehandlungsmethoden), der Elektronik (größere Speicherkapazitäten) oder der Energieversorgung (effizientere Solartechnologie). Um einen Überblick über technologische Prozesse und Produkte sowie der zugrunde liegenden naturwissenschaftlichen Prinzipien zu erarbeiten, wurde eine spezielle Systematisierungsmatrix benutzt.

- (b) Schätzungen und Prognosen zur Bedeutung und wissenschaftlich-technischen Entwicklung der Nanotechnologie in unterschiedlichen Anwendungsfeldern.

Das ökonomische Potenzial der Nanotechnologie wird weltweit sehr unterschiedlich eingeschätzt. Quintessenz aller Prognosen ist, dass der Nanotechnologie eine stark wachsende ökonomische Bedeutung beigemessen wird.

- (c) Zukünftiger Bedarf an Arbeitskräften auf dem spezifischen Arbeitsmarkt der Nanotechnologie.

Eine wachsende Zahl von Unternehmen entwickelt und produziert in Kooperation mit Forschungsinstituten nanotechnologische Produkte. Firmen mit solchen unternehmerischen Aktivitäten benötigen eine wachsende Zahl qualifizierter Mitarbeiter. Im Rahmen dieser Entwicklung war es notwendig, den zukünftigen Nanotechnologie-Arbeitsmarkt einzuschätzen.

- (d) Identifizierung der wichtigsten Institute und Organisationen, die sich mit der Ermittlung zukünftiger Qualifikationserfordernisse im Bereich der Nanotechnologie befassen.

Um die Organisationen und Institutionen zu finden, war es notwendig, die relevanten Akteure – wie Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Netzwerke und Kompetenzzentren der Nanotechnologie – zu ermitteln.

- (e) Überblick über Forschungsergebnisse zum Bedarf an spezifischen und generellen Qualifikationen und speziell innovativen Qualifikationen, sowie zu neu entstehenden Berufen im Bereich der Nanotechnologie.

Schnelle Veränderungen in der Nanotechnologie in den Bereichen Forschung, Technik und Technologie erfordern dynamische Qualifikationsentwicklungen der Mitarbeiter. Die Früherkennung von Qualifikationserfordernissen, sowohl von generellen als auch speziellen

Qualifikationen, war Ziel des Projekts *Ermittlung von Trendqualifikationen in der Nanotechnologie* <sup>(3)</sup>. Die im Rahmen dieses Projekts erarbeiteten Forschungsergebnisse wurden für die Untersuchung analysiert. Um einen aktuellen Überblick über die relevante Forschung zu erhalten, haben die Autoren auch weitere Ergebnisse herangezogen.

- (f) Handlungsempfehlungen für die europaweite Implementierung und Verifizierung innovativer Qualifikationen und Ausbildungsangebote in der Nanotechnologie.
- (g) Die definierten Qualifikationserfordernisse sind Ausgangspunkt für die Entwicklung neuer Qualifikationsangebote. Konzepte für Qualifikations- und Bildungsinhalte wurden entwickelt, um bestehende Qualifikationsbilder bzw. Berufe zu modifizieren oder um neue Bildungsprogramme zu entwickeln, wie bspw. ein modulares Qualifizierungssystem. Die Konzepte zielen auf eine europaweite Implementation von Aus- und Weiterbildung ab.

---

<sup>(3)</sup> Die Felder NanoOptik, Nanomaterial, Nanoanalyse, Nanobiotechnologie und Nanoelektronik wurden analysiert, um Trendqualifikationen in Deutschland zu identifizieren. Im Forschungsprozess wurden gleichzeitig auch generelle Qualifikationsanforderungen an Beschäftigte in der Nanotechnologie identifiziert.

### 3. Methodischer Ansatz

Die vorliegende Analyse basiert auf Forschungen des isw zu Qualifikationserfordernissen in der Nanotechnologie in Deutschland <sup>(4)</sup>. Vor dem Hintergrund der dort erarbeiteten Ergebnisse konnten die Autoren Erfahrungen hinsichtlich

- (a) bereichsbezogener Implementationen und Anwendungen,
- (b) typischer Arbeits- bzw. Tätigkeitsfelder der Mitarbeiter mit mittleren Qualifikationen (Fachkräfte),
- (c) Erfahrungen der Akteure im Bereich der Nanotechnologie

einbeziehen, um die europaweite und internationale Relevanz und Transferfähigkeit einschätzen zu können.

Zusätzlich wurden Netzwerke und Kompetenzzentren im Bereich der Nanotechnologie kontaktiert, um sicher zustellen, dass relevante Literatur und Daten analysiert wurden. Im europäischen Rahmen wurden Experten und relevante Institutionen per E-Mail befragt, um weiterführende Daten und relevante Ergebnisse und Erfahrungen mit der Identifikation von Qualifikationserfordernissen im Bereich der Nanotechnologie für die anschließende Analyse zu erhalten.

#### 3.1. Sekundäranalyse

Als Sekundäranalyse bezeichnet man die Analyse bereits vorliegender Daten, die von Forschern in einem anderen Untersuchungszusammenhang und vor dem Hintergrund anderer Untersuchungsfragen gesammelt wurden. Die Einzelergebnisse einer Analyse vorhandener Forschungsergebnisse zu Qualifikationserfordernissen im Bereich der Nanotechnologie wurden zusammengefasst und ermöglichen einen Überblick über die ermittelten Qualifikationserfordernisse. Quellen für die Sekundäranalyse waren das Internet, Datenbanken, Literatur und die isw-Forschungsergebnisse des oben erwähnten Projekts zur Früherkennung von „Trendqualifikationen“ in der Nanotechnologie. Als zusätzliche Quellen dienten Projektdokumentationen, Publikationen, Informationsmaterial, Statistiken, usw. Angesichts des vorgegebenen Arbeitsaufwandes war es notwendig, sich auf die Recherche im Internet zu konzentrieren. Neben der regulären Analyse von ökonomischen Daten, Trends und Statistiken war es notwendig, eine umfangreiche technologisch orientierte Datenmenge systematisch aufzubereiten. Zur Systematisierung der unterschiedlichen technischen Informationen aus dem Bereich der Nanotechnologie wurde ein neues Instrument genutzt. Dabei handelt es sich um eine Matrix, die auf den Prinzipien der „Allgemeinen Technologie“ basiert. Parameter der Matrix sind u. a. der technologische Prozess, die technischen Arbeitsmittel, technische Systeme und die

---

<sup>(4)</sup> isw-Projekt „Ermittlung von Trendqualifikationen im Bereich der Nanotechnologie“, Projekt-Homepage [www.isw-institut.de/nano](http://www.isw-institut.de/nano).

Qualifikationsanforderungen. Die Systematisierungsmatrix erlaubt die Analyse von Primär- und Sekundärdaten, insbesondere aus dem Bereich der Nanotechnologie.

### **3.2. Die Systematisierungsmatrix**

Die Systematisierungsmatrix wurde auf Grundlage der Prinzipien der „Allgemeinen Technologie“ entwickelt. Ziel war es, ein Instrument zu schaffen, das es erlaubt, die vielfältigen Erscheinungsformen der Nanotechnologie wie technische Systeme, Verfahren, Prinzipien und Effekte systematisch in Hinblick auf innovative Tätigkeitsanforderungen zu untersuchen. Der Einsatz bzw. die Nutzung neuer oder veränderter technischer Systeme, technologischer Verfahren und Arbeitsmittel beeinflusst die qualifikatorischen Anforderungen der Tätigkeiten der Fachkräfte. Vor diesem Hintergrund erwiesen sich die technologischen Verfahren innerhalb des Projektes als sinnvollstes Ordnungskriterium der vielfältigen Erscheinungsformen. Deshalb wurden die Verfahren zur Eingangsgröße der Matrix, die sich bald als systematisches Untersuchungsinstrument bewährte. Die Entwicklung der Systematisierungsmatrix ist in einem Methodenpapier (Abicht et al., 2003a) ausführlich dokumentiert; es wird hier auszugsweise dargestellt.

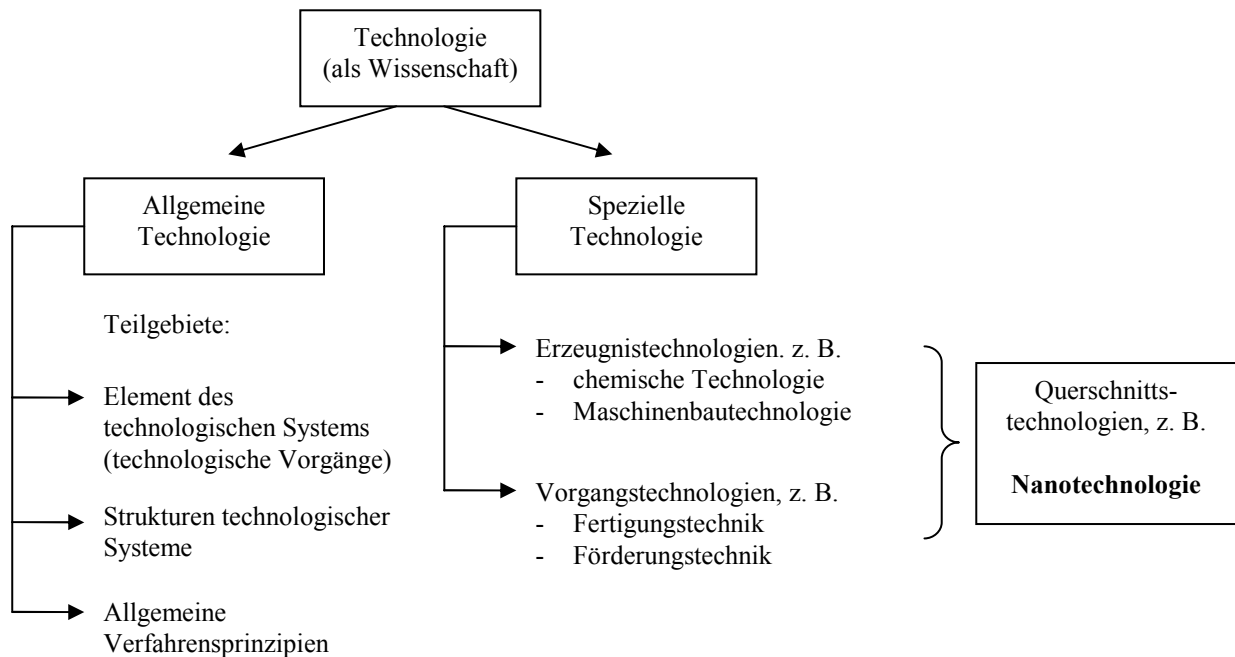
Technologische Verfahren im Bereich der Nanotechnologie sind bisher kaum wissenschaftlich systematisch durchdrungen. „Es ist also theoretisch wie praktisch aussichtslos, nach natürlichen Inseln in der Entwicklung der modernen Technik suchen zu wollen. Eine geeignete Einteilung muss aufgrund von Expertensachverstand vorgegeben werden, wobei offen ist, welche Zerlegungsstufe man wählen will.“ (Grupp, 1995)

Da bisher keine systematische Erfassung von nanotechnologischen Verfahren gefunden werden konnte, die gezielt Rückschlüsse auf den Inhalt von Qualifikationen zulässt, hat das isw ein Instrument zur Systematisierung technologischer Verfahren unter Berücksichtigung der Technologie als Wissenschaft erarbeitet, welches die logische Ebene der Erscheinungsformen erfasst und Querverbindungen offen legt. Mit Hilfe eines ersten Suchsystems sollten folgende Fragen geklärt werden:

- (a) Sind die Meldungen für die Qualifikationsforschung relevant?
- (b) Welcher der Begriffsebenen (Produkt, Produktionsverfahren, technisches System) ist die Beobachtung der technologischen Erscheinung zuzuordnen?
- (c) Lassen sich nach der Zuordnung ergänzende Informationen in den anderen Feldern finden?

Die Technologie als Wissenschaft stellt dabei eine wichtige Grundlage für die Systematisierung dar. In dieser Wissenschaft werden neben prinzipiellen Kriterien auch spezielle Merkmale von Technologien differenziert und untersucht. Die Nanotechnologie ist aufgrund ihrer interdisziplinären Ausrichtung eine Querschnittstechnologie. Sie beinhaltet Erzeugnis- und Vorgangstechnologien (siehe Schaubild 1).

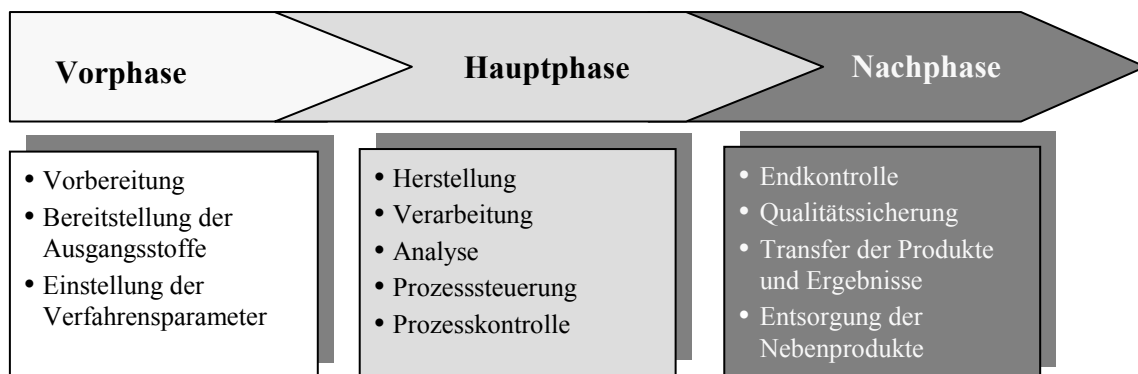
Schaubild 1: Gliederung der Technologie als Wissenschaft



Quelle: Wolffgramm, 1994.

Technologische Verfahren besitzen eine phasenartige Struktur. Aus Sicht der Bildungsforschung müssen auch diese Phasen berücksichtigt werden. Denn neben dem Hauptprozess können auch im Vor- und Nachprozess eines nanotechnologischen Verfahrens neue Tätigkeitsanforderungen entstehen, die damit beobachtbar und erfassbar werden (siehe Schaubild 2).

Schaubild 2: Vor-, Haupt- und Nachphase von technologischen Verfahren



Quelle: Wolffgramm, 1994.

Eine systematische Beobachtung der vielfältigen nanotechnologischen Erscheinungsformen ist dabei ein essenzieller methodischer Ansatz.

Eine solche Vorgehensweise erlaubt die Erfassung der Erscheinungsformen der Nanotechnologie und führt zur Ermittlung der jeweiligen Verfahren. Ziel der Arbeit mit der Systematisierungsmatrix ist es, tätigkeitsbezogene Anforderungen verfahrensbezogen zu erfassen. Deshalb ist eine Strukturierung der Matrix, in der Verfahren die Eingangsgröße darstellen, für die Ermittlung von Qualifikationen im Bereich der Nanotechnologie von großer Bedeutung. Durch die Systematisierungsmatrix können folgende verfahrensrelevante Fragestellungen beantwortet werden:

- (a) Befindet sich der Entwicklungsstand auf der Ebene der Vision, Forschung, Pilotanlage oder großtechnischen Serienproduktion?
- (b) Welches Produkt wird produziert? Was ist das Ausgangsmaterial? Handelt es sich um ein Halbzeug, einen Prototypen oder ein marktfähiges Produkt?
- (c) Welche technischen Mittel (Geräte, Software) kommen zum Einsatz? Werden diese im Labor, am Produktionsbeginn oder bereits in Routineabläufen verwendet?
- (d) Handelt es sich um ein Herstellungs-, Verarbeitungs- oder Analyseverfahren?
- (e) Welches naturwissenschaftliche Funktions- und Wirkprinzip liegt dem Verfahren zugrunde?
- (f) Kann man das Verfahren eher einer *Top-down*- (Miniaturisierung) oder einer *Bottom-up*-Strategie (Selbstorganisation) zuordnen?
- (g) Welche Netzwerke (Kompetenzzentren der Nanotechnologie) können dazu Hinweise geben?
- (h) Können den Erscheinungsformen bereits Tätigkeitssysteme und Qualifikationssysteme zugeordnet werden? <sup>(5)</sup>
- (i) Welchem der Nanobereiche – Nanoanalytik, Nanochemie/Material, Nanobiotechnologie, Nanoelektronik oder NanoOptik – kann das Verfahren zugeordnet werden? (Siehe dazu Abschnitt 4.1.1, Nanobereiche).

Die Nanobereiche sind aufgrund ihrer Branchennähe eine ideale Orientierungsmöglichkeit innerhalb der Nanotechnologie und wurden deshalb zu Ansatzpunkten für die Untersuchungskluster.

Die Systematisierungsmatrix „Komplexe Anwendungssysteme“ wird in Tabelle 1 ausschnittartig dargestellt. Sie ermöglicht die fortlaufende Einordnung von Informationen und Beobachtungen im Bereich der Nanotechnologie. Der Matrixaufbau ermöglicht es, unterschiedliche Systematisierungskriterien als Eingangsgröße zu wählen. Informationslücken können im Laufe der Projektarbeit durch weiterführende Analysen und Expertengespräche geschlossen werden. Die Matrix dient als Wissensbasis, in der relevante Informationen zu nanotechnologischen Verfahren in Hinblick auf damit verbundene Tätigkeitssysteme festgehalten werden.

---

<sup>(5)</sup> Tätigkeitssysteme bezeichnen den Einsatz technologischer Verfahren am Arbeitsplatz. Qualifikationssysteme bezeichnen Bildungs- und Ausbildungsmaßnahmen.

Tabelle 1: Die Systematisierungsmatrix „Komplexe Anwendungssysteme“ (Ausschnitt)

Veränderungsprozess (Technologie)		CVS Gasphasen-Synthese	CVD chem. Gasphasen-Abscheidung	Sol-Gel-Verfahren
Strategie Top-Down▼ Bottom-Up▲		▲	▲	▲
Verfahrensbereich	Herstellen	x	x	x
	Verarbeiten			x
	Anwenden			
	Messen/Prüfen			
Nanobereiche	Nanoelektronik		x	
	NanoOptik			
	Nanochemie	x	x	x
	Nanobiotech.			
	Nanoanalytik			
	Nano-Werkstoffe			
Kompetenz-zentrum	Nanoclub Lateral			
	NanOp			
	Ultrad.fkt.Schichten		x	x
	NanoChem	x	x	x
	Ultrapräz. Oberfl.			
	Nano-Analytik			
	Nanomat	x	x	x
	Nano.bionet			
Tätigkeits-system	nicht vorhanden			
	vorhanden	x		
	beobachtbar			
Qualifikations-system	nicht vorhanden			
	vorhanden			
	beobachtbar	?		
Produkt	Ausgangszustand	Precursor: Gas (TiCl <sub>4</sub> , SiCl <sub>4</sub> , Fe(CO) <sub>5</sub> , Si <sub>2</sub> O(CH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> )	Produkte bzw. Edukte aus der Gasphasensynthese, z.B. Titanoxid	Metallalkoholate, Si-Alkoxide u.a., Fällungsreagenz
	Endzustand	Nanopartikel aus (Metall)-Oxiden z.B. TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , Ruß, Silika	Nanopartikel, Beschichtungen, Filme	(keramische) Nanopartikel, Fasern, Schichten, Aerogele (poröse Gele)
Veränderungssystem (technisches Mittel)	Flammenreaktoren, Heißwandreaktoren, Plasmareaktoren, Laserreaktoren, Sputtering-Verfahren	Heiwand- und Kaltwand-Reaktoren, Plasmareaktoren, Laserreaktoren	Sol-Gel-Reaktoren	
Parameter/Steuerung	Temperatur, Reaktionsgeschwindigkeit (Verhältnis Koagulationsrate/ Wachstumsrate), Druck, <u>Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien</u>	Temperatur, Reaktionsgeschwindigkeit (Verhältnis Koagulationsrate/ Wachstumsrate), Druck, <u>Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien</u>	Reaktionsgeschwindigkeit (Verhältnis Bildungsgeschwindigkeit/Wachstumsgeschwindigkeit), <u>Menge und Art der Ausgangsmaterialien</u> , Temperatur, pH-Wert	
Naturwissenschaftliches Prinzip	chemische Reaktion	chemische Reaktion	Nasschemie - chemische Reaktion	
Beschreibung	Die Precursoren werden in einem Reaktor durch hohe Temperaturzufuhr zersetzt. Entweder werden die Produkte durch chemische Reaktionen stetig synthetisiert oder das übersättigte Precursor-Gas wird schnell abgekühlt.	Bei der CVD werden gasförmige Reaktanden über chemische Reaktionen zu festen Schichten auf eine Substratoberfläche gebracht.	1. Solherstellung, Ausgangsmaterialien werden hydrolysiert, also in Lösung gebracht; 2. durch Kondensation des Sols findet eine Neuorganisation der gelösten Teilchen zu einem Gel statt (Polymerisation).	
Quelle	Rössler et al. (2001)	Unrecht (2001)	Rössler et al. (2001)	

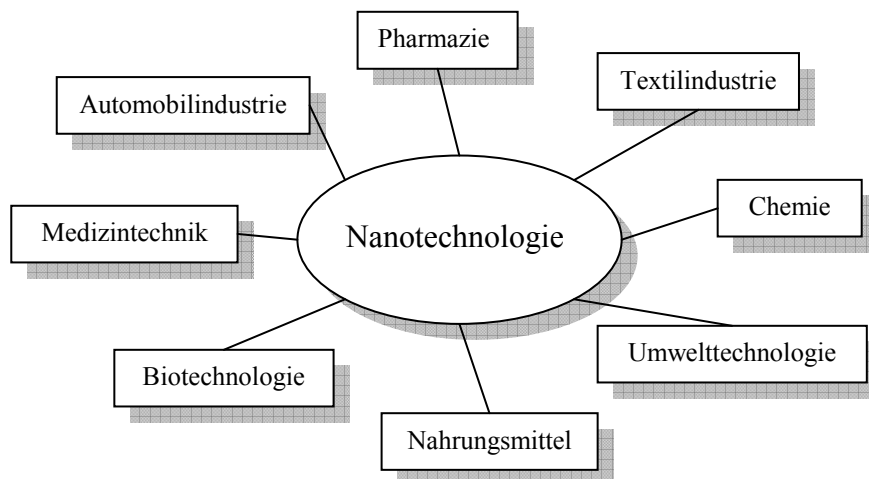
Quelle: Abicht et al., 2003a.

## 4. Ergebnisse

An dieser Stelle werden die Ergebnisse zu den folgenden Themen dargestellt: Bereiche und Sektoren der Nanotechnologie; Potenziale, Trends und Entwicklungen der Nanotechnologie auf internationaler Ebene; Zukünftiger Fachkräftebedarf/Arbeitsmarktentwicklungen; Qualifikationsanforderungen im Bereich der Nanotechnologie; Einrichtungen der Früherkennung von Qualifikationsanforderungen. Außerdem werden Wege zur Implementierung und Verifizierung innovativer Qualifikationsmaßnahmen in Europa aufgezeigt.

### 4.1. Sektoren der Nanotechnologie

Schaubild 3: Anwendungsfelder der Querschnittstechnologie Nanotechnologie



Quelle: isw Grafik

Die Nanotechnologie hat als Querschnittstechnologie neben verschiedenen fachlichen Bereichen auch vielfältige Anwendungsfelder (Schaubild 3). Die Entwicklung nahezu aller Wirtschaftsbereiche wird somit durch Entwicklungen in der Nanotechnologie beeinflusst. In Tabelle 2 sind Bereiche und Anwendungsfelder der Nanotechnologie angegeben.

Tabelle 2: Überblick über die Bereiche der Nanotechnologie

Bereiche der Nanotechnologie	Anwendungsfelder (Sektoren)
Nanoanalytik	Energie- und Umwelttechnik, Messtechnik
Nanobiotechnologie/Nanomedizin	Life Science, Medizin, Pharmazie, Kosmetika
Nanomaterialien/Nanochemie	Chemische Industrie, Textilindustrie, Nahrungsmittelindustrie, Haushaltswaren und Sportartikel
Nanoelektronik	Informations- und Kommunikationstechnik
NanoOptik	Automobilindustrie

Quelle: isw-Graphik



## 4.1.1. Nanobereiche

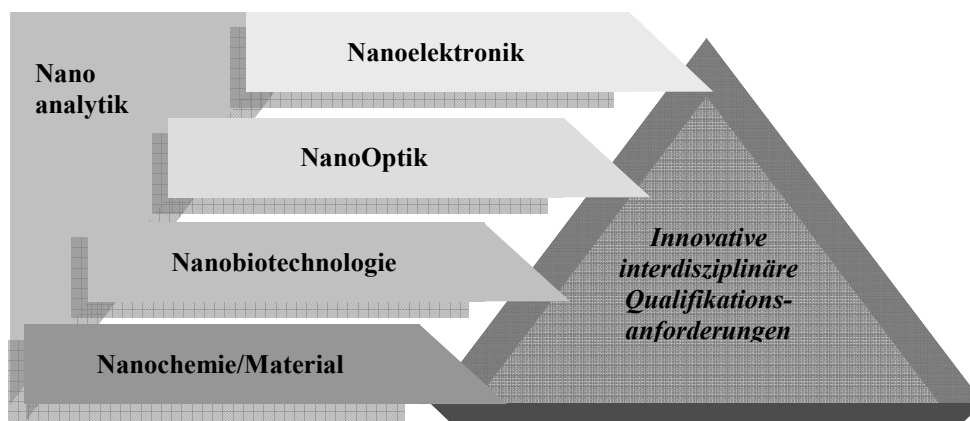
### 4.1.1.1. Nanoanalytik

Die Nanoanalytik liefert als Querschnittswissenschaft die analytischen Methoden und Werkzeuge zur Erfassung der Basisphänomene und zur Produktcharakterisierung; sie sorgt für eine analytische Qualitätssicherung durch Beiträge zu nationalen und internationalen Normungen. Nanoanalysetechniken bieten viele Möglichkeiten, auf der Nanometerskala wissenschaftliche Informationen im Bereich der Physik, Chemie, Biologie, der Materialforschung und in den Ingenieurwissenschaften zugänglich zu machen. Die voranschreitende Miniaturisierung setzt das Verständnis und die Beherrschung der Vorgänge auf der Nanometerskala unbedingt voraus.

Durch die Nanoanalytik mit ihren Analyseverfahren und Messgeräten ist es überhaupt erst möglich geworden, gezielte Untersuchungen und Manipulationen im Nanokosmos vorzunehmen. Damit nimmt sie eine Schlüsselstellung für die Nanotechnologie ein.

Die Entwicklung von Mess- und Analyseverfahren und deren permanente Weiterentwicklung ist Voraussetzung für zielgerichtete Forschungs- und Entwicklungsarbeit in den Bereichen der Nanotechnologie. Die Nanoanalytik findet ihre Anwendung in allen Bereichen der Nanotechnologie, wie in Schaubild 4 dargestellt.

Schaubild 4: Anwendung der Nanoanalytik



Quelle: isw Grafik

### 4.1.1.2. Nanobiotechnologie/Nanomedizin

Nanobiotechnologie verbindet technologische Verfahren mit dem Wissen über Biosysteme auf der Nanoebene. Dabei können zwei prinzipielle Strategien verfolgt werden. Zum einen die Strategie Bio→Nano, wobei Erkenntnisse biologischer Systeme als „Vorlage“ für die Entwicklung technologischer Systeme genutzt werden, im Sinne einer Nanobionik. Zum anderen die Strategie Nano→Bio, bei der nanotechnologische Verfahren den Umgang mit Biosystemen nachhaltig beeinflussen. Hierzu gehört auch die Nanoanalytik für die *Life Sciences*.

Nanobiotechnologie ist eine Querschnittstechnologie mit Berührungspunkten vor allem in den drei Zukunftstechnologien Nanotechnologie, Biotechnologie und Informationstechnologie. Zwischen diesen Technologiefeldern ergeben sich vielfältige Verbindungen zu weiteren Anwendungsbereichen und Branchen, wie beispielsweise der molekularen Simulation, der Nanomedizin oder der Bioinformatik. Darüber hinaus bietet die Nanobiotechnologie ein hohes Innovationspotenzial für die Nahrungsmittelindustrie, die Landwirtschaft und die Umwelttechnik. Wichtige naturwissenschaftliche Fachbereiche mit starkem Bezug zur Nanobiotechnologie sind beispielsweise: Molekularbiologie, Genetik, Biochemie, Kolloidchemie sowie Biophysik, Oberflächenphysik und Quantenmechanik. In technischer Hinsicht sind die Ingenieurwissenschaften von entscheidender Bedeutung bei der Entwicklung und Realisierung nanobiotechnologischer Produkte und Systeme und der dafür notwendigen zugrunde liegenden Verfahren. Vor allem die medizinisch-pharmazeutischen Bereiche Diagnostik und Therapeutik mit ihren vielfältigen Forschungs- und Entwicklungsrichtungen bieten ein weites Feld für die Nanobiotechnologie.

#### 4.1.1.3. Nanomaterialien/Nanochemie

Es gibt von Land zu Land unterschiedliche Ansichten darüber, was dem Bereich der Nanochemie zuzuordnen ist. Die Nanochemie befasst sich mit der Erzeugung und Veränderung von chemischen Systemen, die ihre Funktionalität aus der Nanoskaligkeit beziehen. Supramolekulare funktionale Systeme bilden die stoffliche Grundlage für neue Materialien. Nanochemie – international nicht immer einheitlich definiert – bezeichnet chemische Veränderungen der Systeme, die auf der Nanoskala ablaufen und ihre Funktionalität aus dieser Dimension beziehen. Nanochemie umfasst insbesondere funktionale supramolekulare Systeme, z. B. zum gezielten Wirkstofftransport, schalt- bzw. steuerbare Systeme und Systeme mit einstellbaren Eigenschaften, funktionellen Schichten sowie die Bildung von Nanopartikeln (Partikel, Kolloide, Fluide, Nanoröhren) <sup>(6)</sup>. Müller und Righi (2002) sehen die Möglichkeit eines Paradigmenwechsels in der Werkstoffentwicklung durch die Nanochemie, vom *Top-down*- – Anpassung des Materials an neue Anforderungen in vielen Iterationsschritten – hin zum *Bottom-up*-Aufbau von Werkstoffen, Atom für Atom, um gewünschte Eigenschaften zu erhalten.

#### 4.1.1.4. Nanoelektronik

Der Bereich der Nanoelektronik unterliegt keiner strengen Definition, da der Übergang zwischen der Mikroelektronik und der Nanoelektronik fließend ist. Zurzeit werden in der Mikroelektronik Strukturbreiten von 90 nm (Nanometer) erreicht. Als Nanoelektronik werden integrierte Schaltkreise bezeichnet, deren Strukturbreiten (deutlich) unter 100 nm liegen. Für das nächste Jahrzehnt wird hierbei mit einer weiteren Miniaturisierung (*Top-down*-Strategie) bis auf 23 nm ( $10^{-9}$  m) gerechnet. Die optische Lithographie stößt dann jedoch aus physikalischen Gründen (Wellenlänge) an ihre Grenze, so dass in der nahen Zukunft ein radikaler Technologiewechsel zu erwarten ist.

---

<sup>(6)</sup> VDI, Bachmann, 2002

#### 4.1.1.5. NanoOptik

Die NanoOptik befasst sich mit der Erforschung, Entwicklung und Herstellung nanometergenauer optischer Komponenten, Strukturen und Systeme. Die NanoOptik umfasst verschiedene Bereiche, wie beispielsweise die Ultrapräzisionsoptik, bei der nanometergenau gefertigte Linsen und Linsensysteme für die Geräteoptik oder für die Medizintechnik angefertigt werden. Ein weiterer wichtiger Bereich ist die Lasertechnik, die z. B. für optoelektronische Bauelemente in der Informations- und Kommunikationstechnik zum Einsatz kommen.

In der Optik bzw. Photonik sind nanotechnologische Aspekte an unterschiedlichen Stellen von Bedeutung. Die Photonik etwa beschäftigt sich mit Technologien zur Erzeugung und Nutzbarmachung von Licht und anderen Formen von Strahlungsenergie, die auf Photonen beruhen. Der Anwendungsbereich der Photonik erstreckt sich von der Energieerzeugung über Detektoren bis hin zur Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung.

#### 4.1.1.6. Anwendungsfelder der Nanotechnologie

In Tabelle 3 werden die beschriebenen Nanobereiche den dazugehörigen Anwendungsfeldern zugeordnet, die nachfolgend näher erläutert sind.

Tabelle 3: Nanotechnologische Bereiche und Anwendungsfelder im Überblick

	Nanoanalytik	Nanobiotechnologie/ Nanomedizin	Nanomaterialien/ Nanochemie	NanoOptik/ Nanoelektronik
Energie- und Umwelttechnik, Messtechnik	<b>XXX</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Life Science, Medizin, Pharmazie, Kosmetika	<b>X</b>	<b>XXX</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Chemische Industrie, Textilindustrie, Nahrungsmittelindustrie	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>XXX</b>	
Informations- und Kommunikationstechnik	<b>X</b>		<b>XX</b>	<b>XXX</b>
Automobilindustrie			<b>XX</b>	<b>XX</b>
Haushaltswaren und Sportartikel			<b>X</b>	<b>X</b>

Quelle: isw Graphik

#### Energie- und Umwelttechnik, Messtechnik

In diesem Sektor der Nanotechnologie gibt es vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Neue Wasserstoff-Energiespeicher und der Einsatz umweltschonender Techniken (Nanofilter,

Abwasserreinigung) sind nur einige Anwendungsmöglichkeiten. Die Anwendung neuartiger Mess- und Analysetechniken trägt wesentlich zur Beschleunigung nanotechnologischer Entwicklungen bei.

### ***Life Science, Medizin, Pharmazie, Kosmetika***

Dieser Sektor hat eine sehr große gesellschaftliche und wirtschaftliche Bedeutung. Durch die Nanotechnologie insbesondere die Nanobiotechnologie werden genauere, schnellere und umfangreichere Diagnoseverfahren sowie effektivere Therapieformen bis zur molekularen Ebene ermöglicht.

### **Chemische Industrie, Textilindustrie, Nahrungsmittelindustrie**

Die Entwicklung der Nanotechnologie in der Chemie ist Basis für viele Entwicklungen. Oberflächenbeschichtungen mit Nanopartikeln, funktionelle Beschichtungen, Kombinationen von verschiedenen Materialien und Strukturen (Komposite) bieten völlig neue Eigenschaften. Dieser Anwendungsbereich birgt gegenwärtig große wirtschaftliche Potenziale. Die Entwicklung spezieller Sensoren, funktioneller Verpackungen sowie diverser Lebensmittelzusätze sind Anwendungsfelder in der Nahrungsmittelindustrie. In der Textilindustrie werden vor allem im Sportbereich nanotechnologische Systeme entwickelt, z. B. Textilien mit integrierten Nanopartikeln als Geruchskatalysatoren.

### **Informations- und Kommunikationstechnik**

Die Informations- und Kommunikationstechnik zählt zu den Anwendungsfeldern, die in den nächsten Jahren hohe Zuwachsraten zu erwarten haben. Innovative Lithographie- und Herstellungsverfahren ermöglichen die Entwicklung neuer Generationen von Prozessoren und nicht flüchtigen Speicherchips. Die Entwicklung und der Einsatz von organischen Leuchtdioden (OLED) machen neue Applikationen und Kommunikationen möglich.

### **Automobilindustrie**

Nanotechnologie hat auch in diesem Sektor ein sehr großes wirtschaftliches Potenzial. Sie trägt dazu bei, die Fahrzeuge sicherer, umweltfreundlicher, energiesparender und benutzerfreundlicher zu machen. Nanotechnologische Entwicklungen tragen zur Verringerung des Verschleißes bei Reifen und bei Motoren bei. Neuartige Lacke schützen die Fahrzeuge besser vor Umwelteinflüssen und Beschädigungen. Zudem verhindern spezielle Nanobeschichtungen auf Spiegeln und Glasoberflächen das Beschlagen oder dunkeln diese durch photochromatische Effekte je nach Sonneneinstrahlung ab.

### **Haushaltswaren und Sportartikel**

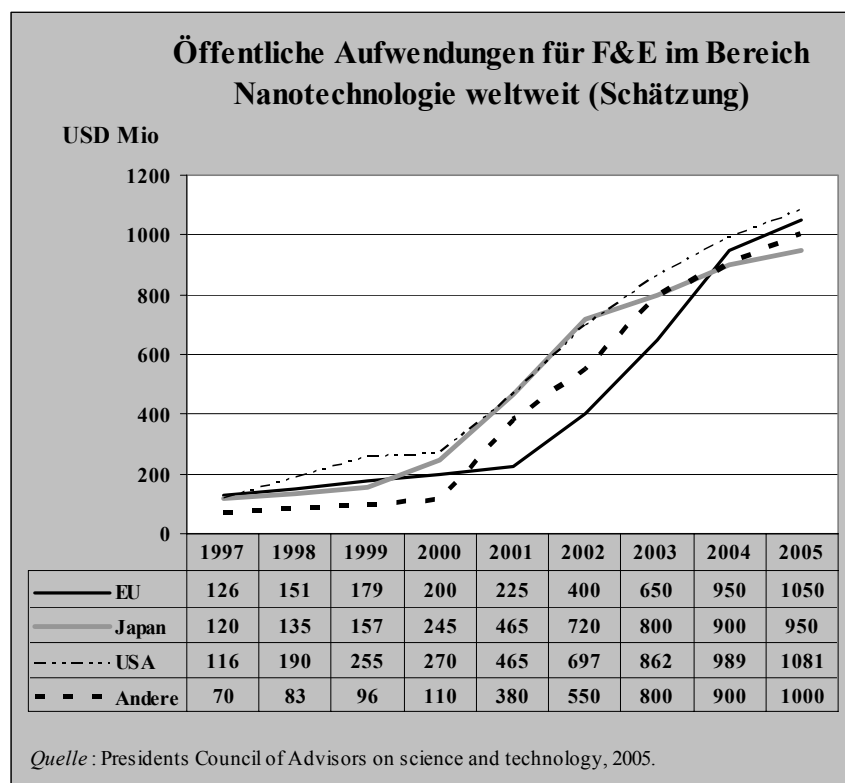
Die Nanotechnologie hat auch in diesen Sektor Einzug gehalten. Es sind bereits Pflege- und Reinigungsmittel im Handel, die auf Grund ihrer nanoskaligen Bestandteile neuartige Effekte ermöglichen. Auch im Sport wird Nanotechnologie bereits eingesetzt: Beispiele hierfür sind mit Nanoröhrchen verstärkte Tennisschläger oder mit Nanopartikeln versetzte Skiwachse.

## 4.2. Potenziale, Trends und Entwicklungen der Nanotechnologie auf internationaler Ebene

### 4.2.1. Internationale Förderung der Nanotechnologie

Die Nanotechnologie gewinnt weltweit immer mehr an Bedeutung. Dies zeigt sich nicht zuletzt in den ständig steigenden Fördermittelausgaben für die Forschung, vor allem in den Industrienationen (siehe Tabelle 4 bzw. Schaubild 5. Deren Ausgaben stiegen von gut 100 Mio USD im Jahre 1997 auf rund 1 Mrd USD im Jahre 2005 an.

Schaubild 5: Forschungsfördermittel für Nanotechnologie weltweit (Schätzung)



In Deutschland erhöhten sich die öffentlichen Forschungsmittel von EUR 210 Mio. im Jahr 2001 bis zum Jahr 2004 auf EUR 290 Mio. (BMBF, 2004)

Dabei werden von den jeweiligen Regierungen unterschiedliche Bereiche der Nanotechnologie gefördert (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Bereiche der Nanotechnologie, die von der Regierung gefördert werden (Auswahl)

Land	Material/ Herstellung	Geräte (inkl. Elektronik und Optik)	Energie und Umwelt	Biotechnologie/ Medizin	Instrumenten- entwicklung	Bildung
Argentinien	✓					
Australien	✓	✓	✓	✓		
Belgien	✓	✓		✓		
Brasilien	✓	✓		✓		
Tschechische Republik	✓	✓		✓		
EU 25	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Frankreich	✓			✓		
Deutschland	✓	✓		✓	✓	
Indien	✓	✓		✓	✓	✓
Irland	✓	✓	✓	✓		
Israel	✓			✓		
Italien	✓	✓		✓	✓	
Japan	✓	✓	✓	✓	✓	
Republik Korea	✓	✓				
Mexiko	✓					
Niederlande	✓	✓		✓	✓	
Neuseeland	✓					
Rumänien	✓			✓		
Südafrika	✓		✓	✓		
Schweiz	✓	✓		✓	✓	
Taiwan	✓	✓		✓		
Vereinigtes Königreich	✓	✓		✓		
Vereinigte Staaten	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Quelle: Meridian Institute, 2004.

Es wird deutlich, dass insbesondere der Bereich Materialien und Fertigung für die öffentliche Förderung von hoher Priorität ist: dieser wird von allen Staaten gefördert. Danach folgen die Bereiche Biotechnologie und Medizin sowie elektronische und optische Geräte.

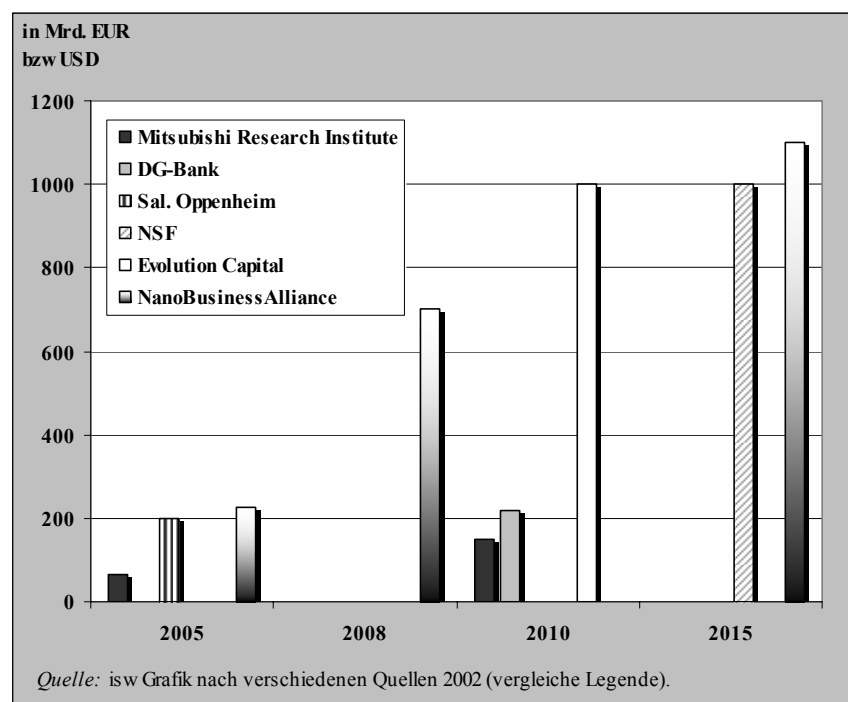
Alarmierend ist, dass der Bereich Bildung demnach nur von der EU (hier nur in einigen Mitgliedstaaten), Indien und den USA gefördert wird.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Daten aus der Tabelle sich auf eine Befragung im Rahmen einer internationalen Konferenz beziehen und somit keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben (Meridian Institute, 2004).

#### 4.2.2. Wirtschaftliche Bedeutung der Nanotechnologie

Nanotechnologie ist nicht nur für die Forschung und Entwicklung von großem Interesse, sondern gewinnt auch ständig an wirtschaftlicher Bedeutung. In Schaubild 6 werden Weltmarktprognosen zu den Potenzialen der Nanotechnologie bis zum Jahr 2015 aufgezeigt. Diese Schätzungen stammen von verschiedenen Institutionen und sind unterschiedlich stark ausgeprägt, zeigen jedoch stets steigende Tendenz.

Schaubild 6: Schätzungen zum Weltmarktpotenzial der Nanotechnologie



Die Einschätzung und die Vergleichbarkeit von Marktpotenzialen nanotechnologischer Produkte ist nur bedingt möglich, da keine einheitliche Definition dessen existiert, was ein Nanoprodukt ist. So betrachten manche z. B. nur reine Nanopartikel oder Kohlenstoffnanoröhrchen als Nanoprodukte, obwohl diese oftmals nur Zwischenprodukte sind. Andere beziehen sich auf komplette Endprodukte wie bspw. Automobile, bei denen lediglich einzelne Komponenten

wie die Lackierung auf Nanotechnologie beruhen. Dadurch ergeben sich große Unterschiede bei den Einschätzungen.

Während Europa in den Bereichen Chemikalien und Medizin/Pharma eine führende Position innehat, sind die USA im Bereich der Nanostrukturierung und Asien im Bereich der Nanoelektronik führend. Gute Ergebnisse haben die USA und Europa im Bereich der Nanomaterialien aufzuweisen.

#### **4.2.3. Forschungsschwerpunkte in der Nanotechnologie**

Nachfolgend werden einige Forschungsschwerpunkte, Entwicklungsrichtungen und Trends in verschiedenen Bereichen und Anwendungsfeldern der Nanotechnologie vorgestellt (für eine ausführliche Darstellung vergleiche Anhang 1).

##### **(a) Nanoanalytik**

Der Trend geht in Richtung Großanalysegeräte – effektivere Massenuntersuchungen – und hoch spezialisierte Analysegeräte mit eher kleinem Nutzungsbereich. Auch die Kombination unterschiedlicher Nachweismethoden in einem Analysesystem gewinnt immer mehr an Bedeutung, da auf diese Weise mehrere qualitative und/oder quantitative Parameter einer Probe parallel und nahezu zeitgleich gemessen werden können.

##### **(b) *Life Science*, Nanomedizin/Nanobiotechnologie/Kosmetika**

Im Bereich der Nanobiotechnologie werden innovative Diagnoseverfahren entwickelt, die u. a. schnellere und preiswertere Testmethoden mit geringeren Probemengen erlauben.

Ein Forschungstrend in der Nanomedizin ist die so genannte personalisierte Medizin, z. B. die spezifische Medikation nach Bedürfnissen des Einzelnen, die Entwicklung innovativer Medikamente und Therapieformen. Das *Tissue engineering* ist eine Zellkulturtechnik zur Therapie von Gewebeschäden. Biomimetische und biokompatible Materialien erlauben die passgenaue Therapie von Zahn-, Knochen- oder Knorpelgewebe im Sinne der regenerativen Medizin. Hinzu kommt die Entwicklung von funktionalen Nanopartikeln, die als Träger für Medikamente oder andere Substanzen dienen und deren Adressierung, Transport und Dosierung – und damit Wirkung – im Körper deutlich verbessern können.

Im Bereich der Kosmetik verbessern Forschungsergebnisse aus der Nanotechnologie bspw. Sonnenschutzmittel, Hautcreme mit speziellen Liposomen, Zahnpasta, Lippenstifte, antimikrobielle Beschichtungen und Sprays.

##### **(c) Chemische Industrie, Nanomaterialien/Nanochemie**

Forschungsschwerpunkte bilden die Herstellung von Nanopartikeln sowie die Kombination unterschiedlicher Materialien und Strukturen in Form von Nanokompositen, die neue Produkteigenschaften ermöglichen. Beispiele hierfür sind funktionelle ultradünne Oberflächenbeschichtungen, Katalysatoren, Enzyme oder Waschmittelzusätze.



#### **(d) Nanotechnologie in der Textilindustrie**

Für den Einsatz in der Textilindustrie wird sowohl an „intelligenten“, mit Sensoren (z. B. zur Pulsmessung) oder Geräten der Kommunikationstechnik ausgestatteten Textilien als auch an der Integration von Wirkstoffkapseln in Textilien (z. B. mit Vitamin C) geforscht.

#### **(e) Nanotechnologie in der Nahrungsmittelindustrie**

Forschungsschwerpunkt für die Nahrungsmittelindustrie sind u. a. funktionelle Nahrungsmittelverpackungen, Nahrungsmittelzusätze und Sensoren zum Nachweis von Frische, Einhaltung der Tiefkühlkette, usw.

#### **(f) Elektronikindustrie, Nanoelektronik, Informations- und Kommunikationstechnik**

Die Forschungsschwerpunkte hier liegen in innovativen Lithografieverfahren zur Herstellung von leistungsfähiger Elektronik, die bspw. das zeitaufwändige Ein- und Abschalten von Computern überflüssig macht. Ein weiterer Bereich ist die RFID-Funktechnik, die den verstärkten Datenaustausch durch Verwendung spezieller Labels bzw. Etiketten auf Produkten aller Art erlaubt und damit Anwendungen auf dem Gebiet der Logistik fördert.

#### **(g) Optische Industrie, NanoOptik**

Die Fertigung hochpräziser optischer Elemente wie Linsen, Spiegel oder Kristalle ermöglicht erst die moderne Hochleistungs- und Ultrapräzisionsoptik. Nanotechnologisch optimierte Laser können vielseitig verwendet werden, bspw. als Werkzeug zum Strukturieren oder Schneiden, für optische Messverfahren oder als Informationsträger in der Informations- und Kommunikationstechnologie.

Organische Leuchtdioden ermöglichen neuartige energiesparende und mechanisch flexible Displays, die bereits in Digitalkameras zum Einsatz kommen. Neuartige optische Speichermedien nutzen blaue Laser und bieten große Datenmengen. Sie werden wahrscheinlich die DVD-Technik ablösen.

#### **(h) Automobilindustrie**

Für den Einsatz von Nanotechnologie in der Automobilindustrie werden effektivere Katalysatoren, Rußpartikelfilter, innovative Nano-Kunststoffe mit hochfesten und gleichzeitig leichten Eigenschaften, Sensoren/Aktoren (Reifendrucksensoren, Beschleunigungssensoren, usw.) und kratzunempfindlichere Lackierungen erforscht und entwickelt.

### **4.2.4. Nationale Aktivitäten, Initiativen, Programme und Netzwerke**

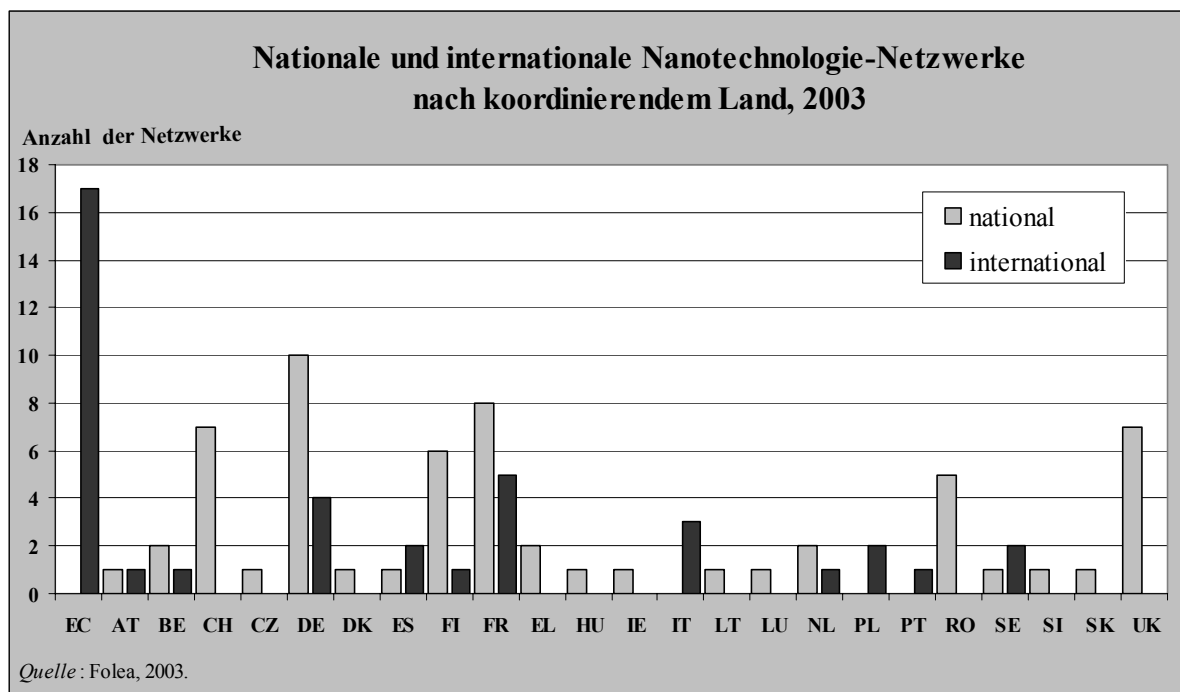
Nach der Betrachtung einzelner Forschungsschwerpunkte und Einsatzfelder der Nanotechnologie werden nachfolgend verschiedene Aktivitäten, Initiativen, Programme und Netzwerke mit Bezug zur Nanotechnologie auf internationaler und nationaler Ebene beleuchtet. Dabei wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben.

#### 4.2.4.1. Nanotechnologie in Europa

- (a) im Sechsten Europäischen Forschungsrahmenprogramm der EU gibt es ein eigenes spezifisches Programm für Nanotechnologien, Werkstoffe und Produktionsverfahren, mit einem Fördervolumen von insgesamt EUR 1 429 Mrd.
- (b) „Nanoforum“ ist ein europäisches Netzwerk der Nanotechnologie. Die EU gründete es mit dem Ziel, die Aktivitäten in der Nanotechnologie zu fördern.
- (c) Es wurde eine europäische Initiative zur Stärkung der Nanoelektronik ins Leben gerufen: ENIAC (*European Nanoelectronic Initiative Advisory Council*).
- (d) Im Jahre 2002 wurde die ENA (*European NanoBusiness Association*) gegründet:
  - (i) Sie hat Mitglieder aus dem Bereich *Venture Capital*,
  - (ii) repräsentiert das gesamte Spektrum der Nanowirtschaft und
  - (iii) bearbeitet globale und lokale Themen, angefangen von Standards zu Bildung und Recht.

Gerade in forschungsintensiven Technologiebereichen wie der Nanotechnologie ermöglichen Netzwerke von Forschungseinrichtungen, Unternehmen und weiteren Institutionen eine erfolgreiche Synergien, da hier das Know-how unterschiedlicher Gruppierungen gemeinsam genutzt werden kann. In Europa wurden bereits verschiedene Netzwerke auf nationaler und internationaler Ebene geknüpft (Schaubild 7).

Schaubild 7: Nanotechnologie-Netzwerke in Europa



Die staatliche Förderung der Nanotechnologie in Europa ist in Deutschland, im Vereinigten Königreich und in Frankreich am höchsten. Aber auch vergleichsweise kleine Staaten wie Dänemark oder Belgien investieren relativ viel in die neue Technologie (siehe Tabelle 6).

Tabelle 5: Geschätzte staatliche Unterstützung für Nanowissenschaften und Nanotechnologie

In Millionen EUR

Land	1997	1998	1999	2000
Belgien	0,9	1	1,1	1,2
Dänemark	3	1,9	2	2
Deutschland	47	49	58	63
Griechenland	0,2	0,2	0,3	0,4
Spanien	0,3	0,3	0,4	0,4
Frankreich	10	12	18	19
Irland	0,4	0,4	0,5	3,5
Italien	1,7	2,6	4,4	6,3
Niederlande	4,3	4,7	6,2	6,9
Österreich	1,9	2	2,2	2,5
Portugal	0,2	0,2	0,3	0,4
Finnland	2,5	4,1	3,7	4,6
Schweden	2,2	3,4	5,6	5,8
Vereinigtes Königreich	32	32	35	39

Quelle: Ilfrich und Kunert, 2005.

### Deutschland

- Neun vom BMBF geförderte Kompetenzzentren (CC) mit verschiedenen nanotechnologischen Schwerpunktthemen, CC Nanochem, CC NanOP, CC NanoBioNet, CC NanoMat usw;
- deutschlandweite BMBF-Kampagne *nanoTruck* mit eigenem Ausstellungsfahrzeug;
- ca. 450 Unternehmen mit Bezug zur Nanotechnologie in Deutschland (Luther et al., 2004);
- Fraunhofer-Center für Nanoelektronische Technologien (CNT) in Dresden;
- Zentrum für Nanotechnologie (CeNTech) in Münster.

### Vereinigtes Königreich

- *National Micro- and Nanotechnology Initiative* (MNT) der Regierung;
- das *Institute of Nanotechnology* beschäftigt sich ausschließlich mit nanotechnologischen Themen.

## Frankreich

- Die französische Regierung erhöht die Forschungsausgaben ab 2005 für die nächsten drei Jahre auf EUR 70 Mio., die Nanotechnologie nimmt dabei einen Schwerpunkt ein;
- das *Laboratoire d'Électronique et des Technologies de l'Information* (LETI) in Grenoble beschäftigt sich u. a. mit der Nanoelektronik.

## Österreich

- *Austrian nano initiative* gefördert vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT);
- das *Österreichische Nanoforum* ist Teil der Initiative und versteht sich als nationale Plattform, die alle Akteure der Nanotechnologie anspricht.

## Schweiz

Es wurde die Initiative *Top Nano 21* aufgelegt, ein technologie-orientiertes Programm, das sich an Vertreter aus Wissenschaft und Industrie richtet.

### 4.2.4.2. Nanotechnologie weltweit

Das transnationale Netzwerk, das so genannte *Global Nanotechnology Network* (GNN), organisiert internationale Workshops und Konferenzen.

Die weltweit führenden Länder im Bereich der Nanotechnologie sind die USA, Japan, China und Deutschland <sup>(7)</sup>.

## USA

- *National Nanotechnology Initiative* (NNI), ein interdisziplinäres Programm zur Unterstützung aller Aspekte der nanoskaligen Forschung und Entwicklung;
- *Nanoscale Science, Engineering and Technology* (NSET): nanoskalige Wissenschaft, Entwicklung and Technologie;
- *National Centre for Learning and Teaching* (NCLT): Nationales Lehr-Lern-Zentrum für nanotechnologische Forschung und Entwicklung;
- Nano Bildungsprogramme:
  - Forschungserfahrung für Studenten,
  - Materialforschung für studentische Minderheitengruppen,
  - Forschungserfahrung für Lehrer und Hochschullehrer,

---

<sup>(7)</sup> Helmut Kaiser Consultancy 2003, [www.hkc22.cil/nanochina.html](http://www.hkc22.cil/nanochina.html)

- Materialwelt (modulares Programm),
- Nanowissenschaft und Technologie in diversen Programmen bzw. Lehrgängen an Schulen und Universitäten,
- Ausbildung für nanoskalige Forschung und Entwicklung;
- *Sematech*: ein Konsortium zur Technologieentwicklung, bestehend aus folgenden Firmen: Advanced Micro Devices (AMD), Freescale, Hewlett-Packard, International Business Machines (IBM), Infineon, Intel, Panasonic, Philips, Samsung, Spansion, Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), Texas Instruments;
- das *Dakota County Technical College* (DCTC) nimmt an einem Nanowissenschaftlichen Technikerprogramm teil. Im letzten Jahr wurde das Programm in Partnerschaft mit der Universität Minnesota begonnen. Das Programm wird finanziell unterstützt von der *National Science Foundation* (NSF);
- das *Chippewa Valley Technical College* führt in Zusammenarbeit mit den Fakultäten Eau Claire und Stout der Universität Wisconsin und verschiedenen anderen Schulen den ersten nanowissenschaftlichen Technologielehrgang inklusive entsprechender Abschlüsse ein.

#### 4.2.4.3. Asien

Das *Asia Nano Forum* (ANF) umfasst 13 Staaten: Australien, China, Hong Kong, Indien, Indonesien, Japan, Republik Korea, Malaysia, Neuseeland, Singapur, Taiwan, Thailand und Vietnam.

#### **Japan**

1996 wurde die Initiative für (Nano)Elektronik *Selete* (*Semiconductor Leading Edge Technologies, Inc.*) mit 250 Mitarbeitern und folgenden Aktionären gegründet: Fujitsu Ltd., Matsushita Electric Industrial Co. Ltd., NEC Electronics Corporation, Oki Electric Industry Co. Ltd., Renesas Technology Corporation, Rohm Co. Ltd., Sanyo Electric Co. Ltd., Seiko Epson Corporation, Sharp Corporation, Sony Corporation, Toshiba Corporation

#### **China**

- Mehr als 600 Unternehmen arbeiten im Bereich der Nanotechnologie <sup>(8)</sup>
- Themen:
  - Nanomaterialien und Präparate,
  - Technologie der Selbstorganisation,
  - nanoelektronische und nanophotonische Geräte,

---

<sup>(8)</sup> Helmut Kaiser Consultancy, 2003; [www.hkc22.com/nanochina.html](http://www.hkc22.com/nanochina.html).

- mikroelektronisch-mechanische Systeme (MEMS) und nanoelektronisch-mechanische Systeme (NEMS),
- Nanobiotechnologie,
- Nanomedizin,
- Charakterisierung und Messung von Nanostrukturen,
- Computeranimation und Modellierung im Bereich der Nanoskale,
- Nanotechnologien und Anwendungen für den Konsumenten;
- 60 Universitäten mit Lehrgängen im Bereich Nanowissenschaft und -technologie;
- Ausbildungsprogramme für Studenten;
- Fortgeschrittenen-Programm für Akademiker und Doktoranden (80-stündiger Lehrgang).

### **Taiwan**

Die Regierung Taiwans startete im Jahre 2003 ein nationales Sechs-Jahres-Programm für Nanowissenschaft und -technologie. Das Programm wird von sieben verschiedenen Ministerien koordiniert, um Forschung und Entwicklung im Bereich der Nanotechnologie zu fördern. Die bereitgestellten Mittel betragen mehr als USD 600 Mio.

### **4.3. Arbeitsmarktentwicklungen und zukünftiger Fachkräftebedarf**

Allein durch die zunehmende Ausrichtung der Forschungsschwerpunkte auf Bereiche der Nanotechnologie steigt der Fachkräftebedarf im Arbeitsbereich der Forschung und Entwicklung. Im Zuge der Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen wird auch der Bedarf an gut ausgebildetem Personal in industriellen Arbeitsbereichen wie Produktion, Qualitätssicherung, Marketing und Vertrieb steigen.

Quantitative Aussagen zu Personalbedarfsentwicklungen liegen bereits vor. So führte das europäische Netzwerk zur Nanotechnologie Nanoforum im Jahre 2004 zusammen mit der Europäischen Kommission eine Online-Befragung zu Entwicklungen in der Nanowissenschaft und -technologie (N&N) durch (Malsh und Oud, 2004). Es wurden insgesamt 720 Personen befragt. 93% dieser Befragten stammten aus 32 europäischen Ländern. Damit ist diese Umfrage einer der umfassendsten ihrer Art in Europa. Neben Vertretern aus dem Forschungs- und Entwicklungsbereich wurden auch Journalisten, Dozenten und Wirtschaftsvertreter zu ihrer Meinung befragt. Die Umfrage erbrachte u. a. folgende Erkenntnisse:

- (a) Die Nanotechnologie wird in den nächsten zehn Jahren einen starken Einfluss auf die europäische Industrie (90 % Zustimmung) und das Leben der Menschen (80 %) haben;
- (b) Europas Position wird sowohl in der Nanowissenschaft (76 %) als auch im Transfer von Nanotechnologie in die Industrie (77 %) als hinter den USA liegend eingestuft;

- (c) ein bedeutender Einfluss der Nanotechnologie wird insbesondere auf die Bereiche Chemie und Materialien, Informations- und Kommunikationstechnologien und Gesundheit erwartet;
- (d) die Forschungsförderung über das Europäische Rahmenprogramm sollte signifikant erhöht werden (79 %);
- (e) 64 % unterstützen die Bildung von neuen Einrichtungen auf europäischer Ebene, z. B. in der Nanomedizin, bei Nanomaterialien und in den Informationstechnologien, um das Fehlen einer geeigneten europäischen Infrastruktur zu beheben;
- (f) Die Entwicklung der Humanressourcen wurde als Priorität identifiziert, weil ca. 50 % der Befragten einen Mangel an ausreichend qualifizierten Fachkräften in den nächsten zehn Jahren erwarten. Weitere 25 % rechnen mit einem Fachkräftemangel in der Nanotechnologie bereits in fünf Jahren;
- (g) Ein dringender Bedarf an Aus- und Weiterbildung für die Nanotechnologie wurde von 90 % der Befragten angezeigt. Dieser Bedarf entsteht nach Einschätzung der Befragten in erster Linie durch die Interdisziplinarität der Technologie;
- (h) Aspekte der Gesundheit und Sicherheit sowie Umweltrisiken sollten früh in die Forschung einbezogen werden (75 %), wobei vordringlich Wissenslücken zum Verhalten von freien Nanopartikeln geschlossen werden sollen (72 %);
- (i) Europa sollte gesellschaftliche Auswirkungen der Nanotechnologie frühzeitig betrachten (75 %) und den Dialog hierüber verstärken;
- (j) die Kooperation mit entwickelten (96 %) und weniger entwickelten (76 %) Ländern wird als wichtig angesehen; auch ein internationaler Verhaltenskodex wird begrüßt (87 %).

In diesem Zusammenhang ist besonders bemerkenswert, dass ca. 75 % der Befragten bereits in fünf bis zehn Jahren einen Mangel an qualifiziertem und interdisziplinär ausgebildetem Personal erwarten. Dies zeigt deutlich, wie wichtig es ist, sich bereits frühzeitig auf die neuen Qualifikationsanforderungen im Bereich der Nanotechnologie vorzubereiten. Diese Einschätzungen werden durch die kürzlich veröffentlichte Studie „Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt“ des VDI Technologiezentrums (Luther et al., 2004) bestätigt, nach der ein deutschlandweiter Beschäftigungszuwachs bis 2006 von 10 000 bis 15 000 Arbeitsplätzen in der Nanotechnologie erwartet wird.

Die amerikanische *Business Communication Company* (Edwards, 2003) schätzt die Zahl der weltweit beschäftigten Arbeitskräfte im Bereich der Nanobiotechnologie im Jahr 2015 auf 160 000. Diese Schätzung lässt vermuten, dass weltweit in allen Anwendungsbereichen der Nanotechnologie eine wachsende Zahl an Arbeitskräften benötigt wird.

Das Projekt *Nanotec* (Henn, 2004) untersuchte die Clusterentwicklung der Nanotechnologie in Deutschland. Unter anderem wurde der Frage nachgegangen, wie sich der Personalbedarf nach Qualifikationsebenen in Einrichtungen der Nanobiotechnologie verteilt (siehe Tabelle 6). Zu dieser Fragestellung wurden 42 Unternehmensmeinungen ausgewertet.

Tabelle 6: Personalbedarf von Unternehmen der Nanobiotechnologie bis 2007

Mitarbeiter	Mittelwert	Wissenschaftler	Ingenieur	Qualifizierter Mitarbeiter	Unqualifizierter Mitarbeiter
<10	7,04	2,24	1,86	1,64	0,50
10-50	18,82	1,60	1,50	1,60	0,50
50-250	11,60	1,80	1,60	1,00	0,50
>250	11,27	0,70	0,70	0,70	0
<b>Gesamt</b>	<b>11,44</b>	<b>1,60</b>	<b>1,60</b>	<b>1,50</b>	<b>0,60</b>

Quelle: Arbeitskräftebedarf von Nanotechnologie-Unternehmen in 2007, nach Qualifikation und Unternehmensgröße (n = 42), Henn 2004

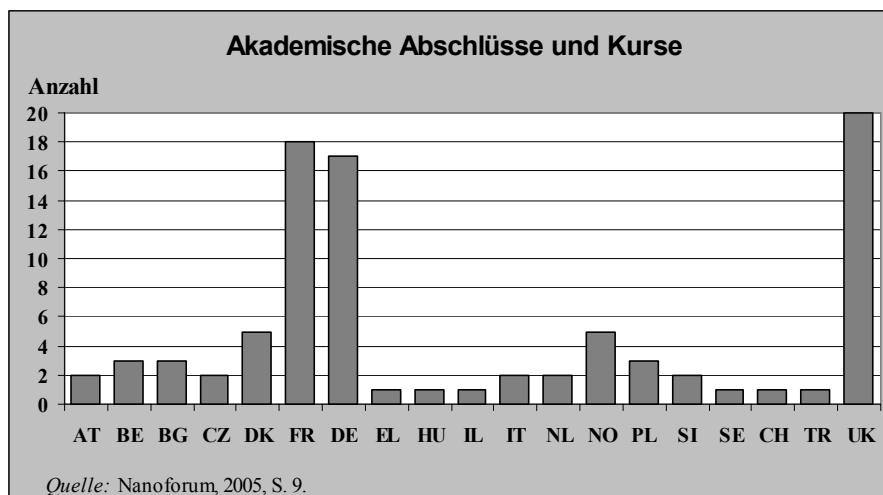
Es zeigt sich, dass Unternehmen der Nanobiotechnologie, unabhängig von ihrer Größe, einen ähnlich gelagerten Bedarf an Naturwissenschaftlern, Ingenieuren und Mitarbeitern mit mittlerer Qualifikation bis 2007 artikulieren. Dies verdeutlicht, dass die Nachfrage nach solchen Fachkräften für den nanobiotechnologischen Bereich kurz- bis mittelfristig vergleichbar mit derjenigen nach Akademikern ist. Dahingegen wird die Nachfrage nach an- und ungelerten Mitarbeitern sehr gering sein. Unternehmen setzen also in erster Linie auf gut qualifizierte Mitarbeiter der hohen und mittleren Qualifikationsebene.

## 4.4. Qualifikationsanforderungen im Bereich der Nanotechnologie

### 4.4.1. Bedarf an qualifiziertem Personal

In verschiedenen europäischen Ländern wurden bereits Aus- und Weiterbildungsangebote im Bereich der Nanotechnologie eingerichtet. Die Schaubilder 8, 10 und 11 geben Auskunft über Hochschul- und Weiterbildungskurse, aufgeschlüsselt nach Ländern.

Schaubild 8: Zahl der Studiengänge und Hochschulkurse für die Nanotechnologie

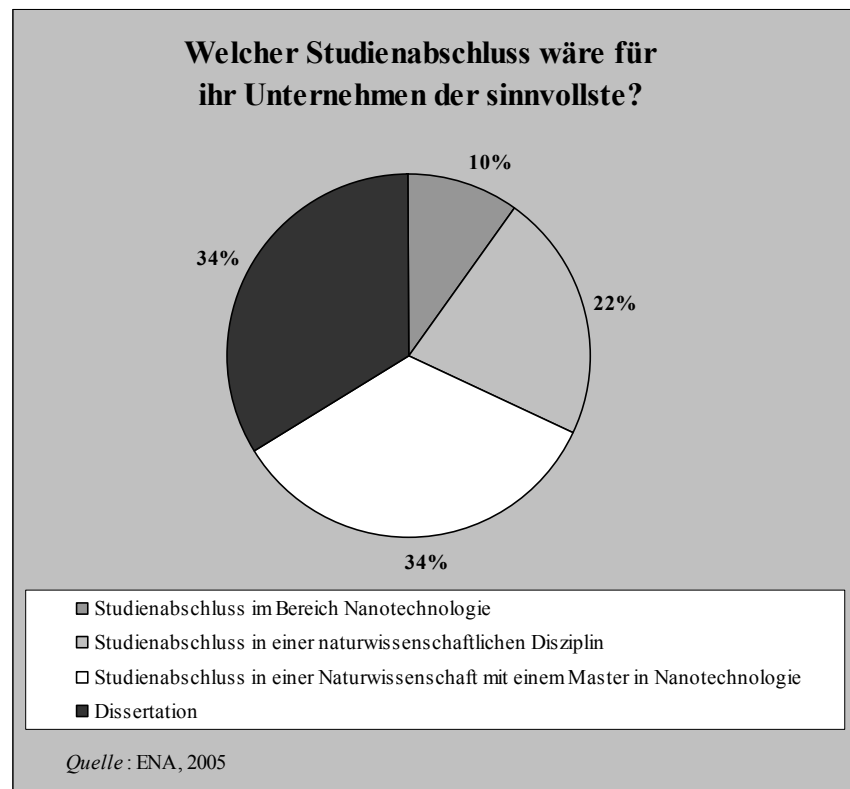




Die meisten Studiengänge für die Nanotechnologie werden im Vereinigten Königreich angeboten, gefolgt von Frankreich und Deutschland. Interessant ist, dass auch kleine Länder wie Dänemark bereits gut vorbereitet sind und einige Hochschulkurse anbieten.

Außerdem zeigt sich, dass hoch qualifizierte Fachkräfte wie Doktoren und Akademiker mit Doppelabschluss in einer wissenschaftlichen Disziplin und der Nanotechnologie von jeweils ca. 1/3 der befragten Unternehmen bevorzugt werden (siehe Schaubild 9). Bemerkenswert ist zudem, dass ein erster Abschluss im Bereich Nanotechnologie nur von 10 % der Befragten als sinnvoll erachtet werden, im Gegensatz zu einem ersten Abschluss in einer wissenschaftlichen Disziplin, den 22 % befürworten. Dies deutet darauf hin, dass den traditionellen Abschlüssen seitens der Arbeitgeber (zur Zeit noch) größeres Vertrauen entgegen gebracht wird.

*Schaubild 9: Welche Form des Studienabschlusses wird benötigt?*



Im Bereich der Hochschulausbildung wird der Nanotechnologie bzw. der Nanowissenschaft bereits eine hohe Bedeutung beigemessen, dies zeigt sich auch an der Zahl der Hochschulangebote auf diesem Gebiet (siehe Schaubild 9). Aber auch weltweit gesehen werden in einigen Ländern wie den USA, Australien, China oder Indien bereits spezielle Studiengänge zum Thema Nanotechnologie angeboten. Allein in Deutschland wurde in den letzten fünf Jahren eine Vielzahl dieser Studiengänge eingerichtet (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Neue Studiengänge zum Thema Nanotechnologie in Deutschland

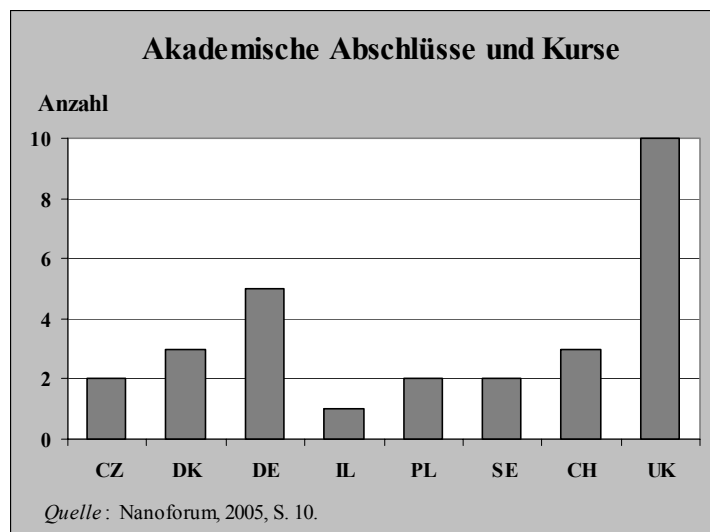
Name des Studiengangs	Bildungseinrichtung	Bemerkungen
Biosystemtechnik/ Bioinformatik	Technische Fachhochschule Wildau	Dualer Studiengang mit Bachelorabschluss, ab WS 2001/02
Nanobiotechnologie	CC-NanoBioTech, ZFUW und TU Kaiserslautern	Berufsbegleitendes Online- Fernstudium, ab WS 2004/05
Bio- und Nanotechnologien	Fachhochschule Südwestfalen	Diplom- Ingenieurstudium, ab WS 2002/03
Mikro- und Nanotechnik	Fachhochschule München	Master-Studiengang, ab WS 2001/02
Bio-, Ingenieur- und Umweltinformatik	Technische Universität München	Bachelor- Studiengang, ab WS 2002/03
Nanostrukturtechnik	Universität Würzburg	Diplom- Ingenieurstudium, ab WS 2000/01
Biophysik	Universität Kaiserslautern	Diplom-Studiengang, ab WS 2002/03
Nanostruktur- und Molekularwissenschaft	Universität Kassel	Diplom-Studiengang, ab WS 2003/04
Mikro-und Nanostrukturen	Universität des Saarlandes	Diplomstudiengang, ab WS 2000/01
Nanomolekularwissenschaft	Internationale Universität Bremen	Master-Studiengang, ab 2003
Biophysik, Nanowissenschaften, Molekulare Biotechnologie	Universität Bielefeld	Experimenteller Bachelor- Studiengang, ab WS 2004/05
Dipl.-Ing. Nanotechnologie	Bundesanstalt für Arbeit Nürnberg	Diplom-Ingenieur (Uni)
Molekularwissenschaft	Universität Erlangen- Nürnberg	Bachelor/Master- Studiengang
Festkörperphysik und Nanotechnologie	LMU München	Diplom-Studiengang, Schwerpunktstudium

Quelle: isw Grafik.

Im Bereich der mittleren Qualifikation werden dagegen noch vergleichsweise wenige Weiterbildungs- und kaum Erstausbildungsmaßnahmen angeboten. Aussagen zu Struktur und Inhalt solcher Qualifikationsmaßnahmen wurden bisher kaum veröffentlicht.

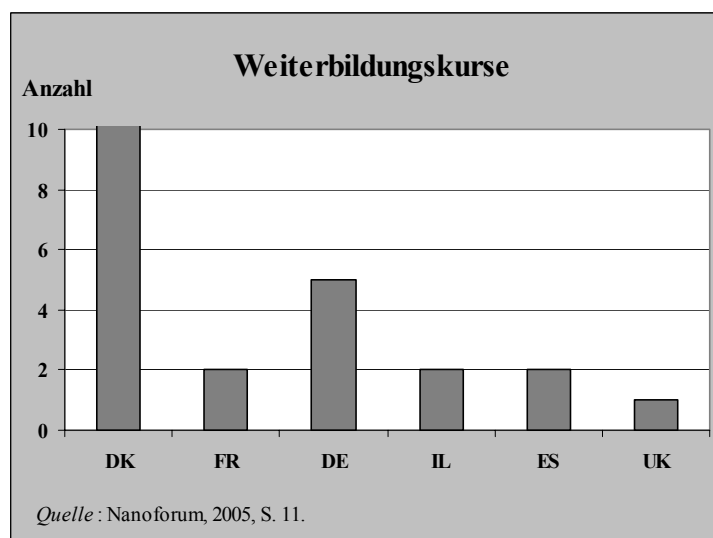
Einige Universitäten bieten relativ kurze Untergraduerten-Lehrgänge mit entsprechenden Abschlüssen an (siehe Schaubild 10). Zahlenmäßig liegt wieder das Vereinigte Königreich mit zehn derartigen Lehrgängen vorn, gefolgt von Deutschland und Dänemark. Bemerkenswert ist, dass in Frankreich auf dieser Ebene keine Lehrangebote vorhanden sind.

Schaubild 10: Untergraduierten-Abschlüsse und -Kurse im Bereich der Nanotechnologie



Betrachtet man die Anzahl an Kurzzeitkursen in Nanotechnologie in Schaubild 11, so ist Dänemark mit zehn Kursen führend. Danach folgen Deutschland mit fünf Kursen und das Vereinigte Königreich mit lediglich einem Kurs.

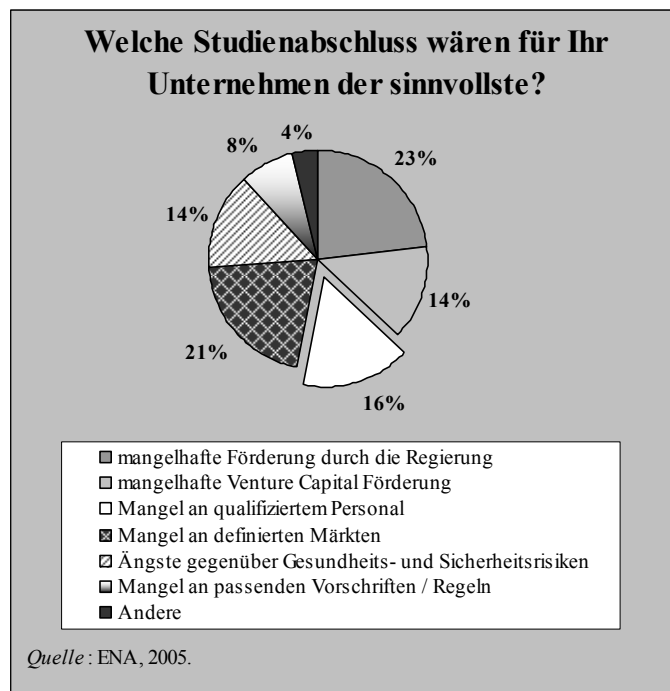
Schaubild 11: Zahl der Kurz-Kurse für die Nanotechnologie



Es wird deutlich, dass in den verschiedenen Ländern je nach Qualifikationsebene unterschiedliche Prioritäten gesetzt werden. Lediglich in Deutschland verteilen sich Kursangebot und -nachfrage relativ gleichmäßig auf alle Bildungsbereiche.

Im Rahmen der Umfrage *2005 European NanoBusiness Survey* wurde eine Online-Befragung von 142 Teilnehmern durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass der Mangel an Fachkräften als die drittgrößte Hürde für die Entwicklung der Nanotechnologie erachtet wird, nach ineffizienter öffentlicher Förderung und dem Fehlen klar umgrenzter Märkte (siehe Schaubild 12).

Schaubild 12: Haupthürden für die Entwicklung der Nanotechnologie

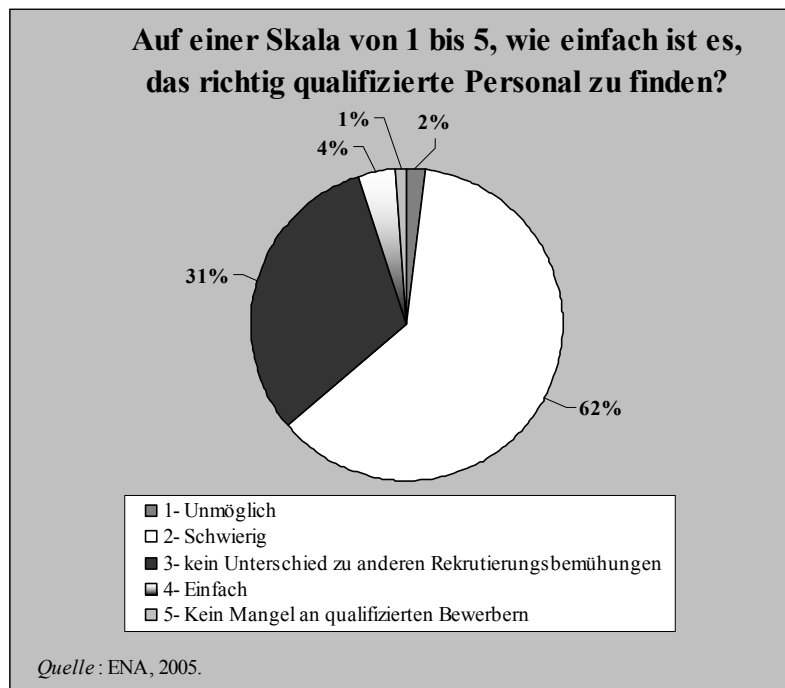


Tim Harper, Direktor der Europäischen NanoBusiness-Vereinigung, bemerkte zu diesen Daten, dass Arbeitgeber nicht in erster Linie Studienabschlüsse in Nanotechnologie/ Nanowissenschaft suchten. Sie zögen in aller Regel eine solide Grundausbildung in Naturwissenschaften mit einem zusätzlichen Kurs zum Thema Nanotechnologie vor. Ein Master oder eine Dissertation könne später ergänzt werden <sup>(9)</sup>.

Eine weitere Frage thematisierte ganz allgemein, wie schwer es ist, geeignetes Personal im Bereich der Nanotechnologie zu finden. Fast 2/3 der Befragten wiesen dies als schwierig aus, während ca. 1/3 keine Unterschiede zu anderen Personalgewinnungsaktivitäten sahen (siehe dazu Schaubild 13).

<sup>(9)</sup> Assessing education and training needs for nanoscience and nanotechnology  
<http://nanotechwire.com/news.asp?nid=1833&ntid=&pg=40>.

Schaubild 13: Das richtig ausgebildete Personal in der Nanotechnologie finden



An dieser Stelle sei nochmals T. Harper zitiert, der die Frage der Personalauswahl nicht allein auf das Vorhandensein besserer Abschlüsse zurückführt. Er fordert vielmehr eine engere Verknüpfung von Wissenschaft und Industrie. Denn vielen Wissenschaftlern fiele es schwer, wirtschaftliche Anforderungen zu meistern, da sie in diesem Bereich oft nicht heimisch seien. Das Problem dränge und werde sich verschärfen, wenn es nicht schnell angegangen werde.

#### 4.4.2. Tätigkeitsbereiche in der Nanotechnologie

In Deutschland wurden speziell für den Bereich der mittleren Qualifikation im Rahmen des isw-Projekts *Ermittlung von Trendqualifikationen im Bereich der Nanotechnologie* bereits Vorschläge für innovative Aus- und Weiterbildungsformen mit Hilfe von so genannten Qualifikationsprofilen gemacht (siehe Abschnitt 4.4.4). In diesem Projekt wurden bestimmte Tätigkeitsbereiche und damit verbundene Qualifizierungsinhalte ermittelt, die durch die Nanotechnologie stark beeinflusst werden. Diese werden in diesem und im nächsten Abschnitt exemplarisch vorgestellt, da sie auch über Deutschland hinaus von Bedeutung sind und außerdem kaum vergleichbare Informationen zu neuen Tätigkeits- und Qualifikationsanforderungen in diesem Bereich existieren.

In den folgenden Tätigkeits- bzw. Arbeitsbereichen, die insbesondere nanotechnologische Unternehmen aber auch Forschungseinrichtungen betreffen, zeichnen sich neue Anforderungen im Zusammenhang mit der Nanotechnologie ab. Es handelt sich dabei um die Bereiche

Forschung und Entwicklung, Fertigung und Produktion, Qualitätssicherung, Dokumentation sowie Marketing und Vertrieb, die nachfolgend kurz beschrieben werden.

#### *4.4.2.1. Forschung und Entwicklung*

Der Tätigkeitsbereich Forschung und Entwicklung ist der z. Zt. dominierende Arbeitsbereich in der Nanotechnologie bzw. den Nanowissenschaften. Dieser Umstand ist sicherlich auch darauf zurückzuführen, dass es sich hierbei generell um ein relativ junges Forschungsfeld handelt. Die neuen nanoanalytischen Verfahren, wie das Rastertunnelmikroskop, mit dem man auch Manipulationen einzelner Atome vornehmen kann, gibt es noch nicht sehr lange. Für diese Erfindung erhielten Gerd Binnig und Heinrich Rohrer im Jahre 1986 den Nobelpreis. So können nun mit der Nanoanalytik chemische Prozesse, physikalische Effekte, biologische Prinzipien und Materialien aller Art bis in die Größenordnung einzelner Atome untersucht werden. Dies erlaubt gezielte Forschung und Entwicklung im Bereich der Nanotechnologie.

#### *4.4.2.2. Fertigung und Produktion*

Nanotechnologische Zwischenprodukte und Endprodukte werden bereits in verschiedenen Bereichen hergestellt, wie z. B. Nanopartikel oder Nanooberflächenbeschichtungen. Weitere Produkte werden mit steigender Tendenz erwartet. Auch hier sind die zunehmende Automatisierung und die komplexer werdende Prozesssteuerung von Bedeutung.

#### *4.4.2.3. Qualitätssicherung*

Aufgrund der Tatsache, dass die Nanotechnologie noch ein junges Entwicklungsfeld ist, existieren bisher nur wenige Qualitätsstandards. Dennoch verlangt die Arbeit mit Objekten in Nanodimension besondere Arbeitsbedingungen, z. B. in Reinräumen, die höchste Anforderungen an die Einhaltung von Qualitätsansprüchen stellen. Dazu gehört auch der Umgang mit spezieller Schutzkleidung und Betriebsstoffen.

#### *4.4.2.4. Dokumentation*

Der Umgang mit speziellen nanotechnologischen Daten bedingt teilweise eine entsprechende, spezifische EDV-Nutzung, z. B. Informationsmanagementsysteme im Labor oder die Nutzung von Datenbanken mit nanotechnologischen Parametern. Daneben gehören Internetrecherchen zur Auffindung der einschlägigen Literatur zum Aufgabenbereich der Dokumentation.

#### *4.4.2.5. Marketing und Vertrieb*

Nanotechnologische Produkte und Leistungen sind sehr erklärungsintensiv. Die Kombination von nanotechnologischem Fachwissen mit kundenbezogenen und kaufmännischen Kompetenzen wird immer gefragter.

### 4.4.3. Auszubildende Kompetenzen

Qualifikationsanforderungen in der Nanotechnologie können in allgemeine und spezifische Anforderungen unterteilt werden. Zu den allgemeinen Anforderungen bzw. Grundlagen gehören fachübergreifendes Querschnittswissen in bestimmten naturwissenschaftlichen Bereichen und Ingenieurwissenschaften sowie grundlegende betriebswirtschaftliche Kenntnisse und die damit verbundene Fähigkeit zu unternehmerischem Denken und Handeln. Spezifische Qualifikationsanforderungen sind beispielsweise die Beherrschung bestimmter nanotechnologischer Verfahren.

Tätigkeits- und Qualifikationsanforderungen können aber auch in Wissen und Kenntnisse, Fertigkeiten und Fähigkeiten sowie Persönlichkeitseigenschaften differenziert bzw. in Form von Kompetenzen beschrieben werden. Im Bereich der Bildungsforschung umfasst die (berufliche) Handlungskompetenz Fähigkeiten, Fertigkeiten und Persönlichkeitseigenschaften eines Individuums, die es ihm ermöglichen, selbständig, verantwortlich und sach- bzw. fachgerecht Probleme und Aufgaben zu lösen bzw. zu bearbeiten. Handlungskompetenz kann nach Fach-, Methoden-, Sozial- und Persönlichkeitskompetenz differenziert werden.

Die ermittelten Qualifikationen werden folgenden Teilbereichen und Kompetenzen zugeordnet:

(a) Wissen und Kenntnisse – Fachkompetenz

Hierzu gehören Kenntnisse in unterschiedlichen technischen Bereichen und naturwissenschaftlichen Fachgebieten wie Physik und Chemie, sowie in deren speziellen Teilbereichen, beispielsweise Photonik, Feinoptik, Lasertechnik oder Galvanik. Zudem werden Arbeitsschutz-, Vorschriften-, EDV- und Fremdsprachenkenntnisse an dieser Stelle erfasst.

(b) Fertigkeiten und Fähigkeiten – Methodenkompetenz

Die Fertigkeiten und Fähigkeiten zeichnen sich insbesondere durch den effektiven Umgang mit technologischen Verfahren aus. An dieser Stelle werden die angewendeten Analyse-, Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren und die dafür notwendigen Kompetenzen im Umgang mit technischen Systemen berücksichtigt.

(c) Persönlichkeitseigenschaften – Sozialkompetenz und Persönlichkeitskompetenz

Dieser Teilbereich beinhaltet Merkmale wie Verhaltensweisen, Kreativität, Lernfähigkeit und Analysevermögen, aber auch kommunikative Befähigungen und Motivation. Schließlich zählen zu diesem Bereich Sozialkompetenz, also die Fähigkeit, mit anderen Menschen zusammen zu arbeiten, und Persönlichkeitskompetenz, in der sich die individuelle Haltung zur Arbeit widerspiegelt. In letzter Zeit wird auch zunehmend der Begriff *Softskills* für Persönlichkeitseigenschaften genutzt.

#### 4.4.3.1. Fachkompetenz

Die interdisziplinäre Ausrichtung der Nanotechnologie verlangt fachübergreifende Kenntnisse, vor allem in den Naturwissenschaften (Physik, Chemie und Biologie), aber auch in den Ingenieurwissenschaften, wie dies am Beispiel der Nanobiotechnologie in Tabelle 8 zu sehen ist.

Tabelle 8: Interdisziplinäre Fachgebiete der Nanobiotechnologie

<b>Biologische Fachrichtungen</b>	<b>Physikalische Fachrichtungen</b>	<b>fachübergreifend</b>
Molekularbiologie	Festkörperphysik	Biophysik
Genetik	Oberflächenphysik	Bioinformatik
Immunologie	Quantenphysik	Biosystemtechnik
Mikrobiologie	Elektronik	Mikrosystemtechnik
Enzymologie	Feinmechanik	Mechatronik
Zytologie	Optik	Biochemie
Histologie	Atom- und Kernphysik	Physikalische Chemie
Systembiologie	Mechanik	Pharmazie/Pharmakologie
Humanbiologie	Thermodynamik	Biomechanik

Quelle: Abicht et al., 2004a.

Vertieftes Wissen zu Material- und Oberflächeneigenschaften im Nanomaßstab ist ebenso gefragt wie spezielle Fachkenntnis in Quantenmechanik, Molekularbiologie oder Polymerchemie.

Außerdem gehören zur Fachkompetenz auch EDV-Kenntnisse und das Wissen um Arbeitsschutzvorschriften, Qualitätsstandards und Patentrichtlinien. Die Vertiefung der verschiedenen Wissensbereiche hängt stark vom jeweiligen Tätigkeitsbereich ab. Beispielhaft werden in Tabelle 9 einige Fachkompetenzen im Bereich der Nanochemie benannt.

Tabelle 9: Beispiele für ermittelte Fachkompetenzen im Bereich der Nanochemie

<b>Fachrichtungen</b>	<b>Vorschriften</b>	<b>EDV-Kenntnisse</b>
Kolloidchemie	Gute Laborpraxis (GLP)	Gerätesoftware
Polymerchemie	Reinraumvorschriften	Laborjournalverwaltung
Synthesen	Atenschutzvorschriften	Textverarbeitung
Funktionale Gruppen	<i>Standard operating procedures (SOP)</i>	Tabellenkalkulation
Organische Chemie	Gefahrstoffverordnungen	Bildverarbeitung
Physikochemie	Laserschutzverordnungen	Statistikprogramme

Quelle: Abicht et al., 2003b.

#### 4.4.3.2. Methodenkompetenz

Gerade in technisch geprägten Bereichen und Branchen wie der Nanotechnologie sind technologische Verfahren eng mit Tätigkeitsanforderungen verbunden. Neue Technologien bedingen oftmals auch neue Ansprüche an die Qualifikation der Technologieanwender und sind deshalb für die Früherkennung von Qualifikationsanforderungen von zentraler



Bedeutung. Für den Bereich der Nanobiotechnologie werden in Tabelle 10 exemplarisch einige Verfahren vorgestellt und deren Anwendungen und Produkte aufgezeigt.

*Tabelle 10: Verfahren der Nanobiotechnologie*

<b>Verfahrensgruppen</b>	<b>Produkte/Anwendung</b>
Bioproduktion/Fermentation (meist in Mikroorganismen)	Herstellung komplexer organischer Stoffe, Proteine, Enzyme, therapeutischer Proteine, auch künstlicher Verbindungen, durch genetische Programmierung und Proteindesign
Biomimetische Verfahren	Künstliche Nachahmung biologischer Komponenten, z. B. für Knochen- oder Zahnmaterial in der Prothetik
Synthese von Nanopartikeln mit verschiedenen Techniken	natürliche bzw. naturnahe Nanopartikel (Micellen, Liposome) als Wirkstoffträger
Tissue Engineering	auf molekulare Ebene programmierte Zucht von Zellkulturen zur Wiederherstellung von Gewebe bis hin zur Regeneration ganzer Organe
Gentherapie	Reparatur genetischer Defekte auf subzellularer Ebene durch Einschleusung von gesundem Erbmateriale über Vektoren wie Nanopartikel oder Viren
Krebstherapie durch Nanobiotechnologie	z. B. Magnetflüssigkeitshyperthermie (MFH), hierbei werden Eisen-Nanopartikel in Krebszellen eingeschleust, um diese dann durch Anlegen eines Magnetfeldes zu erhitzen und abzutöten

*Quelle: Abicht et al., 2004a.*

#### 4.4.3.3. Sozialkompetenz

Neben den fachlichen und methodischen Fähigkeiten dürfen die Persönlichkeitseigenschaften nicht unterschätzt werden. Fähigkeiten wie Selbstmotivation, Verantwortungsbewusstsein, hohe Flexibilität und gewissenhaftes Arbeiten sind häufig genannte Anforderungen. Weitere gefragte Softskills in nanooptischen Unternehmen (aber nicht nur dort) sind, differenziert nach Sozial- und Persönlichkeitskompetenz, in Tabelle 11 zu finden.

*Tabelle 11: Softskills*

<b>Sozialkompetenz</b>	<b>Persönlichkeitskompetenz</b>
Flexibilität	Komplexes Denken
Teamfähigkeit	Verantwortungsbewusstsein
Kommunikation	Fehlersuche, Fähigkeit zur Problembehandlung
Einfühlungsvermögen	Gewissenhaftigkeit
Mitverantwortung	Fähigkeit zur Stressbewältigung
Kommunikationsfähigkeit	Eigeninitiative

*Quelle: Abicht et al., 2004b.*

#### 4.4.4. Vorschläge für innovative Qualifikationsprofile (mittlere Qualifikation)

Die Aus- und Weiterbildung in der Nanotechnologie im Bereich der mittleren Qualifikation findet noch zu wenig Beachtung. Auch in diesem Bildungsbereich gibt es neue Tätigkeitsanforderungen. In Deutschland wurden in dem isw-Projekt *Ermittlung von Trendqualifikationen im Bereich der Nanotechnologie* die neuen Tätigkeits- und Qualifikationsanforderungen der Nanotechnologie untersucht. Im Ergebnis wurden so genannte Qualifikationsprofile erstellt (Tabelle 12). Diese dienen der Information und Sensibilisierung und können den Sozialpartnern und den für die Ordnungsarbeit zuständigen Stellen als Vorschläge dienen, bestehende Aus- und Weiterbildungen zu überprüfen, zu verändern und ggf. neu zu fassen. Diese Qualifikationsprofile sind keine neuen Berufe.

Tabelle 12: Die Qualifikationsprofile im Überblick

	<b>Clusterspezifische Qualifikationsprofile</b>	<b>Clusterübergreifende Qualifikationsprofile</b>
<b>Nanochemie/ Material/ Nanoanalytik</b>	(1) Nanochemielaborant (2) „Nanokant“ (3) MATA (mathematisch-technischer Assistent)	(15) Nanoanalytiker/in
<b>Nanobiotechnologie/ Nanoanalytik</b>	(4) Fachkraft (FK) in der nanobiotechnologischen Forschung (5) Spezialist für biohybride Technologien (6) FK für Qualitätssicherung (7) Dokumentationsspezialist für Nanobiotechnologie (8) Produktberater für nanobiotech. Applikationen	(16) Spezialist für Nanooberflächenbeschichtungen  (17) Dokumentationsspezialist Nanotechnologie
<b>NanoOptik/ Nanoanalytik</b>	(9) FK für Ultrapräzisionsoptik (10) FK für Photonik/Lasertechnik (11) Produktberater für nanooptische Applikationen	(18) Produktberater/in für nanotechnologische Applikationen  .....
<b>Nanoelektronik/ Nanoanalytik</b>	(12) FK Nanoelektronik (13) FK Maskenfertigung (14) Optoelektroniker	

Quelle: isw Grafik

Beispielhaft soll nachfolgend das übergreifende Qualifikationsprofil „Spezialist für Nanooberflächenbearbeitung“ vorgestellt werden.

Tabelle 13: Übergreifendes Qualifikationsprofil (16): Spezialist für Nanooberflächenbearbeitung

<p>a) Tätigkeits- und Einsatzfeld</p>	<p>Spezialisten für Nanooberflächenbearbeitung sind in Unternehmen sowie in Forschung und Entwicklung in wissenschaftlichen Einrichtungen mit dem Arbeitsschwerpunkt Nanobeschichtungen tätig.</p> <p>Schwerpunkte dieser vielseitigen Tätigkeit sind die Herstellung bzw. Bearbeitung von ultradünnen Oberflächen in verschiedenen Anwendungsbereichen.</p> <p>Sie sind am gesamten Beschichtungsprozess, angefangen mit der Vorbereitung von Oberflächen und Ausgangsmaterialien über die Durchführung der Beschichtung bis zur Nachbearbeitung und Qualitätskontrolle, beteiligt.</p> <p>Neben Arbeiten in der Großserienfertigung befindet sich das Tätigkeitsfeld auch im Bereich der Kleinserienbeschichtung und Einzelfertigung.</p>
<p>b) Berührungspunkte mit bestehenden Qualifikationen</p>	<p>Physikalisch-technische/r Assistent/in, Physiklaborant/in, Chemielaborant/in Mikrotechnologe/in und vergleichbare Qualifikationen.</p>
<p>c) Wissen und Kenntnisse – Fachkompetenz</p>	<p>Gute Kenntnisse im Bereich der Oberflächenphysik und Oberflächentechnik sowie in der Oberflächencharakterisierung und Oberflächenmesstechnik (z. B. Mikroskopie, Spektroskopie, Lasermesstechnik).</p> <p>Grundlagen der Mathematik, Chemie und Physik mit vertieften Kenntnissen im Bereich von nanodimensionalen Oberflächen und Dünnschichttechnik.</p> <p>Gute anwendungsorientierte Kenntnisse und Fertigkeiten im Bereich Beschichtung und Beschichtungsverfahren.</p> <p>Vertiefte Material- und Eigenschaftskenntnisse vor allem im Bereich Glas, Metalle, Polymere und Keramik.</p> <p>Kenntnisse von Klassifizierungs- und Qualitätsstandards, z. B. ISO-Normung, sowie von Arbeitsanweisungen, Sicherheitsdatenblättern, Arbeitsschutz- und Umweltschutzmaßnahmen.</p> <p>Gute Englischkenntnisse, Fachenglisch.</p>
<p>d) Fähigkeiten und Fertigkeiten – Methodenkompetenz</p>	<p>Durchführung von Oberflächenbeschichtungen mit modernen Maschinen und Anlagen.</p> <p>Spezialisten für Nanooberflächenbearbeitung beherrschen verschiedene chemische und physikalische Verfahren zur Beschichtung ultradünner Oberflächen, insbesondere im Bereich der chemischen Gasphasenabscheidung (CVD, PECVD, MOCVD) und physikalischen Gasphasenabscheidung (PVD, Sputtern, Lichtbogenverdampfung).</p> <p>Weiterhin werden Verfahren wie Epitaxietechniken, Vakuumbeschichtung, Dünnschichttechnik, Sol-Gel-Verfahren, galvanische Abscheidung, Coatings und chemische Tauchverfahren genutzt.</p> <p>Beschichtungen auf Metallen und Metallverbindungen, Polymeren, Glas und Keramik werden vorgenommen.</p> <p>Sie bedienen die Antragsysteme, Geräte bzw. Maschinen zur Beschichtung (z. B. Gießer, Plasma- oder Sputteranlagen) und steuern den Verfahrensprozess mit Hilfe von Prozesstechnik.</p> <p>Qualitätskontrolle der Zwischen- und Endprodukte mittels analytischer Verfahren von ultradünnen Schichten bzw. Nanooberflächen.</p>
<p>e) Persönlichkeitseigenschaften – Sozialkompetenz</p>	<p>Flexibilität; Disziplin; Störungs- und Fehlererkennung; Verantwortungsbewusstsein.</p>
<p>f) Sonstige</p>	<p>Reproduzierbares Arbeiten.</p>

Quelle: isw Grafik

Weitere Informationen zum Projekt *Ermittlung von Trendqualifikationen im Bereich der Nanotechnologie* sind im Internet unter [www.isw-institut.de/nano](http://www.isw-institut.de/nano) zu finden.

## **4.5. Wege zur Implementierung und Verifizierung innovativer Qualifikationsmaßnahmen in Europa**

Ein sinnvoller Weg zur Verbesserung der Aus- und Weiterbildung im Bereich der Nanotechnologie soll mit Hilfe der nachfolgenden sechs Entwicklungsschritte bzw. Ebenen aufgezeigt werden. Einige dieser Punkte wurden in dieser Studie bereits diskutiert.

### **Ebene I: Analyse der Nanotechnologie und deren Akteure in Europa und weltweit**

In einem ersten Schritt soll aufgezeigt werden, was unter Nanotechnologie zu verstehen ist und wo sie in Europa zum Einsatz kommt. Zur Bewertung des gegenwärtigen Standes der Nanotechnologie werden Prognosen und Einschätzungen zur Wirtschaftlichkeit in verschiedenen Schwerpunktbereichen der Nanotechnologie berücksichtigt. Auf diese Weise können europäische Nanotech-Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen sowie Kooperationsverbände und Netzwerke, kurz, die Akteure der Nanotechnologie aufgezeigt werden.

Die Europäische Kommission hat die wirtschaftliche Bedeutung der Nanotechnologie rechtzeitig erkannt und setzt mit dem Diskussionspapier *Auf dem Weg zu einer europäischen Strategie für Nanotechnologie* neue Maßstäbe für die Entwicklungen in Europa. Nanotechnologische Anwendungen ergeben sich in zahlreichen unterschiedlichen Bereichen wie Werkstoffwissenschaften, Informationstechnologien, Gesundheitsvorsorge, Diagnosegeräte, Energie, Sicherheit und Raumfahrt. Im Rahmen des Sechsten Rahmenforschungsprogramms der EU werden explizit Vorhaben zur weiteren Entwicklung der Nanotechnologie unterstützt <sup>(10)</sup>.

Das Strategiepapier der EU vom 12.05.2004 zeigt Entwicklungstendenzen auf und setzt wichtige Schwerpunkte in allen die Nanotechnologie tangierenden Bereichen. Einen besonderen Schwerpunkt nimmt dabei der Bereich der Investitionen in Humanressourcen ein. Im Rahmen der Strategieentwicklung der Nanotechnologie hat die Europäische Kommission alle Unternehmen, Einrichtungen und Bürger aufgerufen, sich aktiv an der weiteren strategischen Entwicklung der Nanotechnologie zu beteiligen.

---

<sup>(10)</sup> Beispiel für die Projektförderung der Europäischen Gemeinschaft sind nachfolgende Nanotechnologieprojekte:

- *Microchem* gilt der Überwachung der Wassereinheit mittels chemischer Analysen;
- DNA-Arrays und Biochips kommen in der Genomforschung, der Erforschung von Krankheiten und der Arzneimittelentwicklung zum Einsatz;
- *PolymerMicroSensorFab* dient der Entwicklung eines Wegwerf-Biochips für preiswerte DNA-Analyse;
- *Nanomag* dient der Entwicklung korrosionsbeständiger Beschichtungen für Kraftfahrzeuge auf Magnesiumlegierungsbasis.

## **Ebene II: Untersuchung der wissenschaftlich-technologischen Entwicklung**

Nachdem die Akteure der Nanotechnologie bekannt sind, werden die wissenschaftlich-technologischen Entwicklungen bzw. Trends analysiert. Dafür wird ein Instrumentarium zur europaweiten Erfassung, Bewertung und Einordnung von nanotechnologischen Erscheinungsformen, also technologischen Verfahren, Produkten, naturwissenschaftlichen Prinzipien, usw. benötigt. Aus der Sicht der Autoren kann die „Allgemeine Technologie“ (siehe Kap. 3.2) dieses Instrumentarium bereitstellen. Mit seiner Hilfe kann ein systematischer Überblick über die Nanotechnologie geschaffen werden, anhand dessen wiederum Qualifikationsanforderungen abgeleitet werden können. Es dient auch dem Wissenstransfer zwischen Wissenschaft/Wissenschaft und Wirtschaft/Wirtschaft sowie Wissenschaft/Wirtschaft und damit dem Ausbau von Kooperationsverbänden und Netzwerken.

## **Ebene III: Ermittlung innovativer Qualifikationsanforderungen (Kompetenzen)**

Auf dieser Ebene bildet die Ermittlung von aktuellen Qualifikationserfordernissen und innovativen Qualifikationsanforderungen den Schwerpunkt. Dabei werden die gewonnenen Erkenntnisse aus den Ebenen I und II mit einfließen. Zur Untersuchung der Qualifikationsebene kann die oben vorgestellte Methode der Systematisierung genutzt werden.

Ausgehend von den Trendentwicklungen der Nanotechnologie über relevante Anwendungsfelder bis hin zu Tätigkeits- und Arbeitssystemen in den Unternehmen und Einrichtungen der Nanotechnologie können innovative Tätigkeitsanforderungen aufgezeigt werden, welche die Grundlage für die Ableitung neuer Qualifikationsanforderungen bilden. Diese werden nach Fachkompetenz in Wissen und Kenntnisse, Methodenkompetenz (also in Fähigkeiten und Fertigkeiten) und in Sozial- und Persönlichkeitskompetenz (zu denen die Softskills gehören) differenziert.

## **Ebene IV: Entwicklung von Qualifikationsprofilen**

Qualifikationsprofile enthalten Aussagen zu Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten, welche die Voraussetzungen für bestimmte Tätigkeiten in der Nanotechnologie bilden. Sie umfassen Angebote für die Weiterbildung, die Ausprägung mittlerer Qualifikationen und eventuell auch Hochschulabschlüsse.

Die Qualifikationsprofile sollten modular gestaltet werden. Die Anerkennung der Abschlüsse, auch auf internationaler Ebene, kann durch die Nutzung anerkannter Punktesysteme – wie des Europäischen Leistungspunktesystems für die Hochschulausbildung (ECTS: *European credit transfer system*) oder künftig auch für die Berufsbildung (ECVET) - gewährleistet werden. Auf diese Weise wird die Transparenz und Übertragbarkeit der Bildungsmaßnahmen gefördert. Neben der Verpunktung von Bildungsmaßnahmen nach Unterrichtsstunden sollte auch eine qualitative Bewertung erfolgen, um die didaktische Gestaltung stärker zu betonen.

## **Ebene V: Entwicklung und Erprobung neuer Qualifikationsmaßnahmen europaweit**

Die ermittelten neuen Qualifikationsanforderungen sind der Ausgangspunkt für die Entwicklung innovativer Qualifikationsmaßnahmen, die nach entsprechender Erprobung in europaweit anerkannte Aus- und Weiterbildungsformen implementiert werden können. Auf dieser Arbeitsebene werden Strukturen für Qualifizierungsangebote entwickelt, die durch Modifizierung bestehender Qualifikationen oder Schaffung neuer Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen – beispielsweise durch ein modulares System – umgesetzt werden. Damit ergeben sich folgende europaweite Auswirkungen auf die Aus- und Weiterbildung:

- (a) Erstausbildung (Modifizierung, Neuordnung, neue Berufe und neue Bachelor-Studiengänge);
- (b) Weiterbildung (neue Weiterbildungsmodule, Weiterbildungsberufe, modulares Qualifikationssystem).

Eine kurzfristig umsetzbare Möglichkeit wäre die Entwicklung von modularen Weiterbildungslehrgängen zu verschiedenen Nanobereichen unter Berücksichtigung der relevanten Arbeitsbereiche von der Forschung und Entwicklung bis hin zur Qualitätssicherung. Diese Module könnten dann einzeln in den Bereichen Nanochemie/Material, Nanobiotechnologie, Nanoelektronik oder NanoOptik angeboten werden. Darüber hinaus könnten und sollten die Weiterbildungsmodule auch miteinander kombiniert werden bzw. aufeinander aufbauen.

Ein Beispiel zur inhaltlichen Ausrichtung solcher Module ist in Tabelle 14 zu finden. Die einzelnen Module können in waagerechter und/oder senkrechter Leserichtung je nach Bedarf kombiniert werden.

*Tabelle 14: Modell zu Weiterbildungsmodulen im Bereich der Nanotechnologie*

	<b>Einführung/ Grundlagen</b>	<b>Forschung und Entwicklung</b>	<b>Produktion/ Prozess</b>	<b>Qualitäts- sicherung</b>	<b>Dokumentation</b>
Nanochemie/ Material	Nano Modul	Nano Modul	Nano Modul	Nano Modul	Nano Modul
Nanobio- technologie	Nano Modul	Nano Modul	Nano Modul	Nano Modul	Nano Modul
Nanoelektronik	Nano Modul	Nano Modul	Nano Modul	Nano Modul	Nano Modul
NanoOptik	Nano Modul	Nano Modul	Nano Modul	Nano Modul	Nano Modul

*Quelle:* isw Grafik.

## **Ebene VI: Verallgemeinerung und breite Implementierung der neuen Qualifikationsmaßnahmen**

Zur Verifizierung und Verbreitung der neu gestalteten Qualifikationsmaßnahmen werden Umsetzungsmodelle benötigt, die entsprechend entwickelt und erprobt werden müssen. Außerdem sollten europaweit vergleichbare Standards angestrebt werden, die Inhalt und Qualität der Qualifikationen sicherstellen.

## 5. Resümee

1. Nanotechnologie ist nicht einfach eine Verkleinerung bestehender Technologien, sondern geht von anderen Wirkprinzipien und Denkmodellen aus als traditionelle Technologien einschließlich der Mikrotechnologien. Charakteristisch für diese Denkmodelle ist insbesondere die Anwendung von Quanteneffekten und von Selbstorganisationsprozessen. Nanotechnologische Qualifikationen müssen tendenziell diesen Paradigmenwechsel aufgreifen und in produktionsrelevante Anwendungsformen überführen. Zu berücksichtigen sind dabei auch potenzielle ethische, medizinische und ökologische Folgen dieser neuen Technologie.
2. Um die Verbreitung der Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts zu fördern und Voraussetzungen für die Bereitstellung qualifizierten Personals zu schaffen, sollten Maßnahmen zur Stärkung der Öffentlichkeitswahrnehmung und Akzeptanz der neuen Technologie für Schüler und Studienanfänger unterstützt werden.
3. Spezifische Kenntnisse und Qualifikationen werden insbesondere für die Herstellung nanotechnologischer Erzeugnisse und die Beherrschung nanotechnologischer Produktionsverfahren benötigt. Demgegenüber ist gegenwärtig nicht erkennbar, dass die Anwender nanotechnologischer Erzeugnisse spezielle Qualifikationen brauchen. An dieser Stelle unterscheidet sich die Nanotechnologie grundlegend von den Informationstechnologien, die breite Qualifikationsveränderungen bei den Anwendern hervorgerufen haben.
4. Nanotechnologie als Produktionstechnologie befindet sich gegenwärtig in einer Übergangsphase von der Grundlagenforschung und angewandten Forschung zur Produktion. In diesem Stadium sind nur erste Ansätze zum mittelfristigen Bedarf an Fachkräften mit mittlerer Qualifikation formulierbar.
5. Der hohe Forschungsanteil der Nanotechnologie führt dazu, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt vor allem Personal mit Hochschulausbildung gesucht wird. Der Bedarf an Personal mit mittlerer Qualifikation ist demgegenüber wahrscheinlich heute noch vergleichsweise gering. Ungeachtet dessen besteht jetzt schon ein punktueller Mangel an Fachkräften mit mittlerer Qualifikation.
6. Mit der Ausdehnung der nanotechnologischen Produktion ist mit Strukturänderungen in den Unternehmen zu rechnen. Trotz und zum Teil auch wegen eines hohen Automatisierungsgrades werden Bedienfunktionen, Qualitätssicherung und Dokumentation in zunehmendem Maße Fachkräften mit mittlerer Qualifikation übertragen werden. Im Bereich Marketing/Vertrieb bilden sich neue Tätigkeitsfelder heraus. Finanzielle Gesichtspunkte (Lohnkosten) spielen bei der Übertragung von Funktionen an Erwerbstätige mit mittlerer Qualifikation eine wichtige Rolle.
7. Die bereits gegenwärtig benötigten Fachkräfte mit mittlerer Qualifikation brauchen insbesondere interdisziplinäre Kenntnisse und ein hohes Maß an Sozialkompetenz für die in den Unternehmen ablaufenden Kooperations- und Innovationsprozesse.
8. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt werden die benötigten Wissens- und Könnensbestandteile in Form von zusätzlichen Qualifikationen erworben, die hauptsächlich auf Grundqualifi-

kationen (Berufen) im physikalischen, chemischen oder biologischen Bereich aufbauen. Kurzfristig wird diese Form des Qualifikationserwerbs schon wegen der vergleichsweise geringen Anzahl involvierter Personen weiter dominieren. Für den Übergangszeitraum sind insbesondere abgestimmte modulare Weiterbildungsangebote notwendig.

9. Angesichts des tendenziell steigenden Bedarfs an Mitarbeitern mit mittlerer Qualifikation und der Integration immer neuer Wissensbestandteile ist damit zu rechnen, dass die Ergänzung bestehender Berufe durch Zusatzqualifikationen für die Tätigkeiten in den Unternehmen qualitativ nicht mehr ausreicht. Für diesen Zeitpunkt sollten Grundlagen für neue Berufe vorhanden sein – und müssen jetzt bereits geschaffen werden! Im Zentrum dieser Berufe stehen typische Merkmale der Nanotechnologie wie das Wirken von Quanteneffekten und Prozesse der Selbstorganisation.
10. Die Nanotechnologie ist gegenwärtig ein recht heterogenes Forschungs- und Arbeitsfeld mit unterschiedlichsten Einflüssen aus den Bereichen Nanoelektronik, Nanochemie, Nanobiotechnologie, NanoOptik und Nanoanalytik. Für die Entwicklung neuer langfristig benötigter Qualifikations- und Berufsbilder sowie für abgestimmte modulare Qualifikationsangebote werden systemische Grundlagen benötigt, die einen Überblick über die Vielzahl nanotechnologischer Erscheinungen ermöglichen. Ein solcher systemischer Ansatz kann unter Nutzung von Denkmodellen der „Allgemeinen Technologie“ verwirklicht werden.
11. Der internationale Vergleich zeigt, dass der umfangreichen öffentlichen Förderung der naturwissenschaftlichen und technologischen Forschung nur geringe Aktivitäten zur Erforschung und Entwicklung der benötigten Humanressourcen gegenüber stehen. Soweit diese Aktivitäten gefördert werden, sind sie meist Bestandteil der naturwissenschaftlichen oder technologischen Forschung und führen zu Einzellösungen ohne Beachtung der Nachbargebiete. Damit laufen wir aber Gefahr, mittelfristig einen Fachkräftemangel zu erzeugen. Fehlendes qualifiziertes Fachpersonal könnte zum limitierenden Faktor für die erfolgreiche Überführung der nanotechnologischen Forschung in nanotechnologische Produktion werden.
12. Um zu verhindern, dass fehlende Humanressourcen die wirtschaftliche Verwertung der Forschungsergebnisse behindern, sollte ein spürbarer Teil der Fördergelder (z. B. 5 %) für die Erforschung von Qualifikationserfordernissen und die Entwicklung und Erprobung von Qualifizierungsangeboten eingesetzt werden. Der Gefahr der Entstehung von Einzellösungen ist durch einen systemischen Ansatz, sowohl bei der Erstausbildung als auch bei der Weiterbildung, zu begegnen. Ein Monitoring-Programm zur Untersuchung der qualitativen Qualifikationsanforderungen und des quantitativen Fachkräftebedarfs ist dringend zu empfehlen. Die dabei gewonnenen Ergebnisse sollten in einen Aktionsplan für Aus- und Weiterbildung einfließen. Außerdem könnten Mittel des ESF gezielt für praktische Maßnahmen der Qualifikationentwicklung eingesetzt werden.
13. Berufsbildende Einrichtungen, Exzellenzzentren und der Austausch bewährter Verfahrensweisen im Bereich der Nanotechnologie sollten in Europa stärker gefördert werden.



# Liste der Abkürzungen

AFM	Rasterkraftmikroskopie	IBM	<i>International Business Machines</i>
AMD	<i>Advanced micro devices</i>	LED	Leuchtdioden ( <i>light emitting diode</i> )
ANF	<i>Asia Nano Forum</i>	LETI	<i>Laboratoire d'électronique et des technologies de l'information</i>
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung	MEMS	Mikroelektronisch-mechanische Systeme
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie	MOCVD	<i>Metal organic chemical vapour deposition</i>
CC	Kompetenzzentren ( <i>Competence centres</i> )	MRAM	<i>Magneto resistive random access memory</i>
CCN	<i>Competence centres on nanotechnology</i>	MWNT	<i>Multiwalled nanotube</i>
CNT	Center für nanoelektronische Technologien des Fraunhofer Instituts	NCLT	<i>National Centre for Learning and Teaching (USA)</i>
CVD	<i>Chemical vapour deposition</i> (chemisch-physikalischen Beschichtungsverfahren)	NEMS	Nanoelektronisch-mechanische Systeme
DGB	Deutscher Gewerkschaftsbund	NNI	<i>National Nanotechnology Initiative</i>
DNA	<i>Deoxyribonucleic acid</i> (=DNS: Desoxyribonucleinsäure)	NSET	<i>Nanoscale science, engineering and technology</i>
EBL	Elektronenstrahl-Lithografie	NSF	<i>National Science Foundation</i>
EK	Europäische Kommission	OLED	Organische Leuchtdioden ( <i>organic light emitting diode</i> )
ECTS	<i>European credit transfer system</i> (Europäisches Leistungspunktesystem für den Hochschulbereich)	PECVD	<i>Plasma enhanced chemical vapour deposition</i>
ENA	<i>European NanoBusiness Association</i>	PLED	<i>Polymer light emitting diode</i>
ENIAC	<i>European Nanoelectronic Initiative Advisory Council</i>	PRAM	<i>Permanent random access memory</i>
ESF	Europäischer Sozialfonds	PVD	<i>Physical vapour deposition</i>
EU	Europäischen Union	RFID	Radiofrequenz-Identifikation
EUV	Extrem ultraviolettes Licht.	SOP	<i>Standard operating procedures</i>
EUVL	Extrem ultraviolette Lithographie	STX	Rastersondenmikroskopie ( <i>Saxitoxin</i> )
FRAM	<i>Ferroelectric random access memory</i>	SWNT	<i>Single walled nanotube</i>
GNN	<i>Global Nanotechnology Network</i>	TSMC	<i>Taiwan Semiconductor Manufacturing Company</i>

## Empfohlene Links

[www.nanotech-now.com](http://www.nanotech-now.com)

International ausgerichtete Internetplattform mit allgemeinen wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Informationen zum Thema Nanotechnologie.

[www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)

Europäisches Internetportal mit vielen Informationen zu verschiedenen Aspekten der Nanotechnologie.

[www.techportal.de](http://www.techportal.de)

Deutsches Internetportal zu unterschiedlichen Technologiefeldern, insbesondere zur Nanotechnologie. Hier werden die neuen deutschen Kompetenzzentren vorgestellt.

[www.isw-institut.de/nano](http://www.isw-institut.de/nano)

Homepage zum deutschlandweiten Projekt *Ermittlung von Trendqualifikationen im Bereich der Nanotechnologie*

# Literatur

Abicht, L. et al. *Ermittlung von Trendqualifikationen als Basis zur Früherkennung von Qualifikationsentwicklungen Ziele – theoretische Grundlagen – Vorgehensweise*. Halle: isw, 1998.

Abicht, L.; Schlicht, E.; Schumann, U. *Entwicklung einer Systematisierungsmatrix für die Nanotechnologie zur Identifikation von Trendqualifikationen*. Halle: isw, 2003a.

Abicht, L.; Schlicht, E.; Schumann, U. *Untersuchungscluster: Nanochemie/Materialien und Nanoanalytik*. Halle: isw, 2003b.

Abicht, L.; Schlicht, E.; Schumann, U. *Untersuchungscluster: Nanobiotechnologie und Nanoanalytik*. Halle: isw, 2004a.

Abicht, L.; Schlicht, E.; Schumann, U. *Untersuchungscluster: NanoOptik und Nanoanalytik*. Halle: isw, 2004b.

Abicht, L.; Schlicht, E.; Schumann, U. *Abschlussbericht Trendqualifikationen im Bereich der Nanotechnologie*. Halle: isw, 2005.

Bachmann, G. *Innovationsschub aus dem Nanokosmos: Technologieanalyse*. Düsseldorf: VDI-Technologiezentrum, Abt. Zukünftige Technologien, 1998.

Bachmann, G. Überblick: Forschungsbereiche und Anwendungsfelder. *VentureCapital Magazin „Nanotechnologie“*, 2002, S. 18-22.

Bundesministerium für Bildung und Forschung. *Nanotechnologie erobert Märkte. Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie*. Berlin: BMBF, 2004. Im Internet verfügbar: [www.bmbf.de/pub/zukunftsoffensive\\_nanotechnologie.pdf](http://www.bmbf.de/pub/zukunftsoffensive_nanotechnologie.pdf) [Stand vom 07.10.2005].

Drexler, K.E. Das molekulare Fließband. *Spektrum der Wissenschaft Spezial* 2001, 2/01, S. 64-65.

Edwards, S. *Biomedical applications of nanoscale devices*. Report. Norwalk, Connecticut: Business Communication Company, 2003.

Europäische Kommission. *Auf dem Weg zu einer europäischen Strategie für Nanotechnologie*. Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 2004a. Im Internet verfügbar: [http://europa.eu.int/comm/research/industrial\\_technologies/pdf/nanotechnology\\_communication\\_de.pdf](http://europa.eu.int/comm/research/industrial_technologies/pdf/nanotechnology_communication_de.pdf) [Stand vom 7.10.2005].

Europäische Kommission. *Vision 2020 Nanoelectronics at the centre of change*. Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 2004b. Im Internet verfügbar: [http://europa.eu.int/comm/research/industrial\\_technologies/pdf/nanoelectronics\\_june2004\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/research/industrial_technologies/pdf/nanoelectronics_june2004_en.pdf) [Stand vom 7.10.2005].

Europäische Kommission. *Nanosciences and nanotechnologies: an action plan for Europe 2005-2009*. Brüssels: Europäische Kommission., 2005 (COM(2005) 243).

European NanoBusiness Association. *The 2005 European NanoBusiness*. Brüssels: ENA, 2005. Im Internet verfügbar: [www.nanoeurope.org/files/The%202005%20European%20NanoBusiness%20Survey.pdf](http://www.nanoeurope.org/files/The%202005%20European%20NanoBusiness%20Survey.pdf) [Stand vom 7.10.2005].

Folea, A. *Survey of networks in nanotechnology*. Brüssels: Europäische Kommission, DG Research, 2003.

Grupp, H. *Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts*. Heidelberg: Physica-Verl., 1995.

Hartmann, U. *Nanobiotechnologie: eine Basistechnologie des 21. Jahrhunderts*. Saarbrücken: Zentrale für Produktivität und Technologie Saar, 2001.

Heimer, T.; Malanowski, N. Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt. *VentureCapital Magazin „Nano-/Mikrotechnologie“*, Oktober 2003, S. 32-33.

Henn, S. *Gründungen in der Nanotechnologie. Clusterentwicklung und Förderung*. isw-workshop „Nanobiotechnologie Entwicklungstendenzen und Qualifikationsanforderungen“. Berlin, 15 April 2004.

Hinze, S.; Gaisser, S. *Nanotechnologie und life sciences*. Studie im Rahmen des TAB Projektes „Nanotechnologie“. Karlsruhe: Fraunhofer ISI, 2003.

Horx, M. Aufbruch in die Nano-Welt Nanotechnologie macht schnellere Fortschritte als erwartet. *Der Zukunftsletter*, 2001, Nr. 9, S. 6-7.

Ilfrich, T.; Kunert, G. *Nano + Mikrotech II. Entwicklung der Nano- und Mikrotechnologie*. Berlin: BoD GmbH, Norderstedt, 2005.

Jopp, K. *Nanotechnologie – Aufbruch ins Reich der Zwerge*. Wiesbaden: Gabler, 2003.

Lauterwasser, Ch. (Hrsg.) *Small sizes that matter: opportunities and risks of nanotechnologies*. Report in Kooperation mit dem OECD international future programme. Munich/Paris: Allianz AG/OECD, 2005.

Luther, W. Marktpotentiale in der Nanotechnologie. *VentureCapital Magazin „Nano-/Mikrotechnologie“*, 2003, S. 27-29.

Luther, W. et al. *Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt. Innovations- und Technikanalyse*. Düsseldorf: Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum, 2004.

Malanowski, N.; Zweck, A. Nanotechnologie aus der Perspektive der Innovations- und Technikanalyse. *TA-Datenbank-Nachrichten*, 2001, Nr. 3/10, S. 82-85.

Malsch, J.; Oud, M. *Outcome of the open consultation of the European strategy for Nanotechnology*. Düsseldorf: Nanoforum, 2004.

Mazolla, L. Commercializing nanotechnology. *Nature Biotechnology*, 2003, Nr. 10/03, S. 1137-1143.

Meridian Institute. *International dialogue on responsible research and development of nanotechnology*. Final Report. Washington DC: Meridian Institute, 2004.

Müller, G.; Righi, M.L. Nanochemie und Nanomaterialien. *VentureCapital Magazin „Nanotechnologie“*, 2002, S. 28-29.

Nanoforum. *European nanotechnology education catalogue*. Düsseldorf: Nanoforum, 2005.

Presidents Council of Advisors on science and technology. *The national nanotechnology initiative at five years*. Washington DC: Office of Science and Technology Policy, 2005. Im Internet verfügbar: [www.ostp.gov/PCAST/PCASTreportFINALlores.pdf](http://www.ostp.gov/PCAST/PCASTreportFINALlores.pdf) [Stand vom 7.10.2005].

Schlicht, E.; Schumann, U. Ermittlung von Trendqualifikationen im Bereich der Nanotechnologie. In: Windelband, L.; Dworschak, B.; Schmidt, L. (Hrsg.) *Qualifikationen für die Arbeit von morgen erkennen*. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag, 2004.

Wolffgramm, H. *Allgemeine Technologie*. Band 1. Hildesheim: Verlag Franzbecker, 1994.

WTEC. *Russian research and development activities on nanoparticles and nanostructured materials*. Unterlagen des am 21. August 1997 in St. Petersburg veranstalteten WTEC-Workshops. Baltimore, Maryland: International Technology Research Institute, World Technology (WTEC) Division, 1997. Im Internet verfügbar: [www.wtec.org/loyola/nano/Russia/nanorussia.pdf](http://www.wtec.org/loyola/nano/Russia/nanorussia.pdf) [Stand vom 7.10.2005].

# Glossar

<b>Atom</b>	Kleinste Einheit eines chemischen Elements, mit einer Größe von ca. einem Drittel eines → Nanometers. Aus Atomen bestehen Moleküle und feste Stoffe.
<b>Atomic force microscopy (AFM)</b>	AFM oder Rasterkraftmikroskopie ist eine Technik zur Analyse von Oberflächen mit Hilfe eines sehr feinen mechanischen Sensors. Dabei können Auflösungen bis auf der Ebene einzelner Atome erreicht werden.
<b>Bottom-up</b>	Mit kleinen Bausteinen größere Strukturen aufbauen (Legoprinzip). Allgemeiner Begriff für den Aufbau komplexerer Strukturen aus kleineren Bausteinen. Aus der Sicht der Lithographie ist ein <i>Bottom-up</i> -Prozess das Gegenteil eines → <i>Top-down</i> -Verfahrens. Die Bausteine können dabei z. B. Moleküle sein, die sich durch Selbstorganisation zu komplexeren Strukturen zusammenfügen lassen. Ein typisches Beispiel eines <i>Bottom-up</i> -Prozesses findet man in der Natur in biologischen Strukturen: Aus vielen nanoskopischen Bausteinen entstehen durch Selbstorganisationsprozesse mikroskopische Zellen.
<b>Chemical vapour deposition (CVD)</b>	Mit CVD wird eine Gruppe von chemisch-physikalischen Beschichtungsverfahren beschrieben. Durch eine thermisch oder plasmatechnisch angeregte chemische Reaktion aus der Dampfphase schlagen sich Atome oder Moleküle an einer Oberfläche nieder und bilden eine wachsende Schicht. Anwendungen finden sich u. a. im Verschleißschutz und vor allem auch in der Halbleitertechnologie (Mikroelektronik, Solarzellen). Bei Werkzeugen ist aufgrund der hohen Beschichtungstemperaturen eine nachfolgende Wärmebehandlung notwendig.
<b>Chromatographie</b>	Trennmethode zur Aufteilung von Gemischen in ihre Komponenten. Mit Chromatographie bezeichnet man die räumliche Trennung von Substanzgemischen zwischen zwei Phasen. Dabei wird zwischen Flüssig- und Gaschromatographie unterschieden, je nachdem, in welchem Aggregatzustand sich das zum Transport des Gemisches benutzte Medium befindet. Neben der beweglichen Phase gibt es eine stationäre Phase (Trennphase), die i.d.R. aus einem Feststoff besteht. Bei der Flüssigchromatographie wird zwischen der Dünnschicht-, der Säulen- und der Papierchromatographie unterschieden. Die Trennung beruht auf der unterschiedlichen Wechselwirkung der Moleküle des Gemisches und der Trennphase. Darüber hinaus gibt es spezielle Chromatographiearten, wie z. B. die Gelchromatographie, die auf einem reinen Filter- bzw. Siebeffekt beruht.
<b>Computer Nanotechnologie</b>	Computerbasierte Simulation von komplexen Strukturen mit Nanometerdimensionen.
<b>Dendrimer</b>	Verzweigtes Molekül, von griechisch <i>dendron</i> = Baum. Künstlich hergestellte Klasse von Molekülen, die durch die verzweigte und wiederholte Anordnung von Monomeren ein baumähnliches Aussehen erhalten. Dendrimere sind Polymere mit einer symmetrisch fraktalen, räumlichen Struktur. Ihr Name ist aus „dendritische Polymere“ (dendritic polymer) abgeleitet worden, was soviel bedeutet wie baumähnliche Polymere. Vom mathematischen Standpunkt sind Dendrite Fraktale, die eine räumliche Symmetrie aufweisen, wie beispielsweise eine Schneeflocke. Sie werden schrittweise synthetisiert, wobei ein schalenweiser Aufbau erfolgt. Die innerste Schale wird 0. Generation genannt, die zweite entsprechend 1. Generation, usw. Durch diese aufwändige Synthese werden monodisperse, supramolekulare Strukturen hergestellt.

<b>DNA</b>	<i>Deoxyribonucleic acid</i> , internationales Kürzel: DNA (Desoxyribonukleinsäure [DNS] oder die Erbsubstanz). Makromolekül, das als Träger der Erbinformation dient. Die Erbinformation ist als genetischer Code in Form von Basenpaarsequenzen abgelegt und dient als Vorlage zur Proteinproduktion. Die Form des DNA-Moleküls kann mit einer in sich gedrehten Strickleiter verglichen werden (Doppelhelixstruktur), wobei die Sprossen aus Basenpaaren bestehen, die durch schwache Wasserstoffbrückenbindungen zusammengehalten werden. Es gibt insgesamt vier verschiedene organische Basen, Adenin (A), Cytosin (C), Guanin (G) und Thymin (T), wobei nur Bindungen zwischen A und C sowie G und T möglich sind. Diese bilden die komplementären Basenpaare. In der Abfolge der Basenpaare liegt die genetische Information, wobei die Gene durch Basenpaarsequenzen unterschiedlicher Länge gebildet werden. Die Molekülstruktur wurde 1953 von James Watson und Francis Crick aufgeklärt (Nobelpreis 1962).
<b>Elektronenstrahl-Lithografie (EBL)</b>	Strukturierungsmethode, bei der mit einem Rasterelektronenmikroskop nanoskalige Strukturen geschrieben werden. Die Elektronenstrahl-Lithographie nutzt die Empfindlichkeit organischer Schichten gegenüber Elektronenbeschuss aus. Mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) wird in einem sensitiven Resist die Struktur wie folgt geschrieben: Der Elektronenstrahl rastert nur die zu schreibenden Bereiche mit höherer Intensität bzw. einer längeren Zeitdauer ab. Die organische Schicht (typisch: PMMA, ca. 100 nm Schichtdicke) wird durch den Beschuss selektiv gestört. Der Resist kann nun entwickelt werden, wobei z. B. die belichteten oder gestörten Bereiche entfernt werden (positiver Resist). Ein negativer Resist bleibt nach dem Belichten stehen, die nicht beschossenen Bereiche werden entfernt. Anschließend wird eine Maske aufgebracht, z. B. eine dünne Metallschicht. Dann kann der Resist vollständig entfernt werden (organisches Lösungsmittel), wobei der Metallfilm nur an den Stellen erhalten bleibt, die zuvor belichtet wurden. Die Metallbeschichtung wird im letzten Schritt als Resist gegen einen Ätzprozess (z. B. Nasschemisch) verwendet. Mit dieser Methode lassen sich Strukturen im Bereich von wenigen Nanometern erzeugen. Der Nachteil besteht darin, dass viel Zeit benötigt wird, um große Flächen zu strukturieren.
<b>Enzyme</b>	Molekulare Strukturen, die aus Proteinen bestehen. Sie sind in der Lage, chemische Reaktionen zu beschleunigen (Katalysator).
<b>Epitaxie</b>	Die Epitaxie umfasst eine physikalische Verfahrensgruppe, bei der geometrisch angeordnete Schichten oder Kristalle nahezu mit molekularer Genauigkeit erzeugt werden. Die Molekularstrahlepitaxie MBE ist eine der bekanntesten Epitaxieformen.
<b>EUV/EUVL</b>	Extrem ultraviolettes Licht. Extrem ultraviolette Lithographie (EUVL) ermöglicht die Produktion kleinerer Transistoren für die Halbleiterindustrie.
<b>Fluidik/ Nanofluidik</b>	Fluidik beschreibt einen Fachbereich, zu dem das Entwerfen, Entwickeln, Herstellen und Formulieren von Geräten und Prozessen gehört, die mit Flüssigkeitsvolumen im Mikro- oder Nanoliterbereich arbeiten.
<b>Fullerene</b>	Klasse von käfigartigen Kohlenstoffmolekülen. Allgemeiner Name von Kohlenstoffmolekülen wie <i>Bucky Balls</i> und → Kohlenstoffnanoröhrchen ( <i>Carbon Nanotubes</i> ). Der Name <i>Bucky Balls</i> basiert auf dem Aussehen der fußballähnlichen <i>Bucky Balls</i> . Diese häufig aus 60 Kohlenstoffatomen aufgebauten Moleküle mit ihrer fünf- und sechszähligen Symmetrie ähneln einer geodätischen Kuppel ( <i>geodesic dome</i> ). Diese spezielle Architektur wurde von dem Architekten Buckminster Fuller (1895-1983) erschaffen und gab den Fullerenen ihren Namen. Daher heißen sie auch manchmal Buckminsterfullerene. Eine weitere Klasse der Fullerene bilden die Nanotubes.
<b>Halbleiter</b>	Halbleiter sind meist feste Substanzen, die bei bestimmten Bedingungen als elektronischer Leiter oder Isolator auftreten. Sie werden deshalb als Schaltelemente in der Elektronik verwendet. Der bekannteste Halbleiter ist Silizium.

<b>Interface</b>	In der Physik oder Chemie: Die Grenze zwischen zwei Phasen, bspw. flüssig – gasförmig, fest – flüssig, fest – gasförmig oder flüssig – flüssig.																																																						
<b>Katalysator</b>	Unter einem Katalysator im chemischen Sinne wird eine Substanz verstanden, die chemische Reaktionen beschleunigt, ohne selbst dabei verändert zu werden. Biologische Katalysatoren werden Enzyme genannt.																																																						
<b>Kohlenstoffnanoröhrchen (Carbon Nanotubes)</b>	Kohlenstoffnanoröhrchen weisen eine ähnliche sechseckige, molekulare Struktur wie → Fullerene auf, mit der Besonderheit, dass sie nicht kugel- sondern röhrenförmig sind. Kohlenstoffnanoröhrchen besitzen eine Vielzahl besonderer Eigenschaften, wie hohe Zugfestigkeit oder einstellbare Leitfähigkeit, und sind Gegenstand vieler nanotechnologischer F&E-Vorhaben.																																																						
<b>Ländercodes (ISO-Codes)</b>	<table border="1"> <tr> <td>Belgien</td> <td>BE</td> <td>Italien</td> <td>IT</td> <td>Österreich</td> <td>AT</td> </tr> <tr> <td>Tschechische Republik</td> <td>CZ</td> <td>Zypern</td> <td>CY</td> <td>Schweden</td> <td>SE</td> </tr> <tr> <td>Dänemark</td> <td>DK</td> <td>Lettland</td> <td>LV</td> <td>Polen</td> <td>PL</td> </tr> <tr> <td>Deutschland</td> <td>DE</td> <td>Litauen</td> <td>LT</td> <td>Portugal</td> <td>PT</td> </tr> <tr> <td>Estland</td> <td>EE</td> <td>Luxemburg</td> <td>LU</td> <td>Slowenien</td> <td>SI</td> </tr> <tr> <td>Griechenland</td> <td>EL</td> <td>Ungarn</td> <td>HU</td> <td>Slowakei</td> <td>SK</td> </tr> <tr> <td>Spanien</td> <td>ES</td> <td>Malta</td> <td>MT</td> <td>Finnland</td> <td>FI</td> </tr> <tr> <td>Frankreich</td> <td>FR</td> <td>Niederlande</td> <td>NL</td> <td>Vereinigtes Königreich</td> <td>UK</td> </tr> <tr> <td>Irland</td> <td>IE</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Belgien	BE	Italien	IT	Österreich	AT	Tschechische Republik	CZ	Zypern	CY	Schweden	SE	Dänemark	DK	Lettland	LV	Polen	PL	Deutschland	DE	Litauen	LT	Portugal	PT	Estland	EE	Luxemburg	LU	Slowenien	SI	Griechenland	EL	Ungarn	HU	Slowakei	SK	Spanien	ES	Malta	MT	Finnland	FI	Frankreich	FR	Niederlande	NL	Vereinigtes Königreich	UK	Irland	IE				
Belgien	BE	Italien	IT	Österreich	AT																																																		
Tschechische Republik	CZ	Zypern	CY	Schweden	SE																																																		
Dänemark	DK	Lettland	LV	Polen	PL																																																		
Deutschland	DE	Litauen	LT	Portugal	PT																																																		
Estland	EE	Luxemburg	LU	Slowenien	SI																																																		
Griechenland	EL	Ungarn	HU	Slowakei	SK																																																		
Spanien	ES	Malta	MT	Finnland	FI																																																		
Frankreich	FR	Niederlande	NL	Vereinigtes Königreich	UK																																																		
Irland	IE																																																						
<b>LCD, Liquid crystal display</b>	<i>Liquid crystals</i> (LC) sind flüssige Kristalle, die in Displays eingesetzt werden.																																																						
<b>Leuchtdioden (LED, Light emitting diode)</b>	Leuchtdioden bestehen aus verschiedenen Halbleiterschichten, welche bei Anregung durch elektrischen Strom Licht erzeugen. LED zeichnen sich durch hohe Leuchtkraft gepaart mit geringem Stromverbrauch aus.																																																						
<b>Lithografie</b>	Eine <i>Top-down</i> Methode zum Schreiben von Strukturen auf die Oberfläche eines bestimmten Materials. Dies erfolgt durch die Verwendung von Licht bei der gebräuchlichen Fotolithografie oder von Elektronen bei der Verwendung von → Elektronenstrahl-Lithografie (EBL).																																																						
<b>MEMS/NEMS</b>	Mikroelektronisch-mechanische Systeme (MEMS) umfassen eine Gruppe von mikrometergroßen Geräten bzw. Bauteilen, bei denen elektrische Signale mechanische Vorgänge einleiten und umgekehrt. Ein bekanntes Beispiel dafür sind Airbags, bei denen ein Beschleunigungssensor starke Verlangsamungen des Autos in elektronische Signale umwandelt, die dann wiederum die Luftkissen auslösen. Eine Weiterentwicklung der MEMS stellen die nanoelektronisch-mechanischen Systeme (NEMS) dar, die nur noch nanometergroß sind und somit deutlich platz- und materialsparender sind.																																																						
<b>Nano/Nanoskala</b>	Die Vorsilbe <i>Nano</i> gibt einen Größenbereich zwischen 100 nm (= 0,1 Mikrometer) und 0,1 nm an. Nano steht dabei zwischen <i>Mikro</i> und <i>Piko</i> als Präfix für Maßangaben.																																																						
<b>Nanoanalytik</b>	Nanoanalytik als Querschnittswissenschaft liefert die analytischen Methoden und Werkzeuge zur Erfassung der Basisphänomene und zur Produktcharakterisierung und sorgt für eine analytische Qualitätssicherung durch Beiträge zu nationalen und internationalen Normungen.																																																						



<b>Nanobio-technologie</b>	Die Nanobiotechnologie verbindet technologische Verfahren mit dem Wissen über Biosysteme auf der Nanoebene. Dabei können zwei prinzipielle Strategien verfolgt werden. Zum einen die Strategie Bio→Nano, wobei Erkenntnisse biologischer Systeme als „Vorlage“ für die Entwicklung technologischer Systemen genutzt werden, im Sinne einer Nanobionik. Zum anderen die Strategie Nano→Bio, bei der nanotechnologische Verfahren den Umgang mit Biosystemen nachhaltig beeinflussen. Nanobiotechnologie ist ein Querschnittsbereich mit Berührungspunkten vor allem in den drei Zukunftstechnologien Nanotechnologie, Biotechnologie und Informationstechnologie. Zwischen diesen Technologiefeldern ergeben sich vielfältige Verbindungen zu weiteren Anwendungsbereichen und Branchen, wie beispielsweise der molekularen Simulation, der Nanomedizin oder der Bioinformatik.
<b>Nanochemie</b>	Nanochemie befasst sich mit der Erzeugung und Veränderung von chemischen Systemen, die ihre Funktionalität aus der Nanoskaligkeit beziehen. Supramolekulare funktionale Systeme bilden die stoffliche Grundlage für neue Materialien. Nanochemie – international nicht immer einheitlich definiert – bezeichnet chemische Veränderungen der Systeme, die auf der Nanoskala ablaufen und ihre Funktionalität aus dieser Dimension beziehen. Nanochemie umfasst insbesondere funktionale supramolekulare Systeme, z. B. zum gezielten Wirkstofftransport, schalt- bzw. steuerbare Systeme und Systeme mit einstellbaren Eigenschaften, funktionellen Schichten, sowie Bildungsprozesse von Nanopartikeln (Partikel, Kolloide, Fluide, Nanoröhren).
<b>Nanoelektronik</b>	Der Begriff der Nanoelektronik unterliegt keiner strengen Definition, da der Übergang zwischen Mikroelektronik und Nanoelektronik fließend verläuft. Als Nanoelektronik werden integrierte Schaltkreise bezeichnet, deren Strukturbreiten unter 100 nm liegen. Für das nächste Jahrzehnt wird mit einer weiteren Miniaturisierung bis auf 23 nm gerechnet. Die optische Lithographie stößt dann jedoch aus physikalischen Gründen an ihre Grenze, sodass in der nahen Zukunft ein radikaler Technologiewechsel unumgänglich werden wird. Wichtigster Anwendungsbereich ist die Informations- und Kommunikationstechnik.
<b>Nanokomposite</b>	Nanokomposite sind Nanopartikel, die aus mehreren verschiedenen Materialien bzw. Substanzen bestehen. Durch die Zusammenstellung werden neue Eigenschaften erreicht, die sonst nicht möglich sind, wie z. B. hartelastische Schichten, die auf Nanopartikeln aus Metall mit einer Hülle aus Kunststoff zwei völlig verschiedene Eigenschaften vereinen und so kratzfeste Oberflächen bieten, ohne spröde zu werden.
<b>Nanolithografie</b>	Nanolithografie umfasst die Techniken und Entwicklungen des Erzeugens von Nanostrukturen durch Stempeln, Schreiben, Drucken, Belichten und ähnlichen Vorgehensweisen. So kann insbesondere durch die → Rasterkraftmikroskopie (AFM) bei Bedarf nicht nur untersucht, sondern auch atomgenau geschrieben werden.
<b>Nanometer (nm)</b>	Ein Nanometer ist der milliardste Teil eines Meters ( $1 \cdot 10^{-9} \text{m}$ ). Abkürzung: nm. <i>Nanos</i> bedeutet auf griechisch „Zwerg“ und ist die typische Größenskala von Molekülen.
<b>NanoOptik</b>	Die NanoOptik umfasst die Erforschung, Entwicklung und Herstellung nanometergenauer optischer Komponenten, Strukturen und Systeme. Dabei steht die Nutzung bzw. Manipulation von elektromagnetischen Wellen, insbesondere von Licht und dessen Eigenschaften, im Mittelpunkt. Die Photonik nimmt hierbei eine zentrale Position ein. Diese basiert auf den elementaren Lichtteilchen – den Photonen. Die Anwendungsbereiche der Photonik sind vielfältig und umfassen Bereiche wie Energieerzeugung, Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung sowie Analyseverfahren und Detektoren. Der NanoOptik können weitere Bereiche zugeordnet werden, wie beispielsweise die Ultrapräzisionsoptik, bei der nanometergenau gefertigte Linsen und Linsensysteme für die Geräteoptik oder für die Medizintechnik angefertigt werden. Ein weiterer wichtiger Teilbereich ist die Lasertechnik, die z. B. bei opto-elektronischen Bauelementen in der Informations- und Kommunikationstechnik zum Einsatz kommen.

<b>Nanotechnologie</b>	Allgemeine Bezeichnung für die Produktfertigung, bei der laterale Abmessungen und Toleranzen von weniger als 100 nm von Bedeutung sind. Der Bereich zwischen 100 nm und einem Mikrometer (= 1 000 nm) wird häufig als Submikrometerbereich angesehen.
<b>Nanotubes</b>	Nanotubes oder → Kohlenstoff-Nanoröhrchen bestehen aus einer oder mehreren Graphitschichten, die nahtlos zu einem Zylinder gerollt sind und offene oder geschlossene Enden besitzen können. Kohlenstoff-Nanotubes gehören zu den → Fullerenen und weisen einen Durchmesser von nur wenigen Nanometern auf. Im Falle einer einzigen Graphitschicht spricht man von <i>single walled nanotubes</i> (SWNT), bei mehreren konzentrisch angeordneten Zylindern von <i>multiwalled nanotubes</i> (MWNT). Nanotubes können makroskopische Längen von bis zu einem Millimeter erreichen und weisen damit ein extrem großes Aspektverhältnis auf (Länge zu Breite).
<b>OLED, Organische Leuchtdioden</b>	Organische Leuchtdioden sind im Prinzip wie Leuchtdioden aufgebaut, die Licht emittierende Schicht besteht hier aber aus organischem Material bzw. Polymeren. Die Vorteile der OLEDs sind höhere Auflösungen, schnellere und hellere Displayeigenschaften und zudem sogar mechanische Flexibilität, so dass ein <i>OLED-Display</i> auch gebogen oder eingerollt werden kann.
<b>Fotolithografie</b>	Die am häufigsten verwendete Lithografieform ist die Fotolithografie. Sie kommt bei der Herstellung elektronischer Schaltkreise zum Einsatz und beruht auf der gesteuerten Belichtung von fotosensitiven Substanzen, die durch nachfolgende Ätzprozesse strukturiert werden.
<b>Physical Vapor Deposition (PVD)</b>	Mittels physikalischer Prozesse (Verdampfen, Beschuss mit hochenergetischen Teilchen, etc.) wird ein Ausgangsmaterial (Target) im Vakuum abgetragen. Das Material scheidet sich aus der Dampfphase auf einem in einiger Entfernung vom Target befindlichen Substrat ab. PVD-Verfahren eignen sich zur Beschichtung bei relativ niedrigen Temperaturen.
<b>Plasma</b>	Ein Plasma entsteht, wenn einem Gas soviel Energie zugeführt wird, dass ein Teil der Atome ionisiert wird. Plasmen bestehen somit aus neutralen Atomen, Ionen sowie Elektronen, wobei sie nach außen hin elektrisch neutral sind, da die Anzahl der positiv und negativ geladenen Teilchen im Volumen annähernd gleich groß ist. Die technische Besonderheit von Plasmen besteht darin, dass sie andere Eigenschaften als gewöhnliche Gase aufweisen. Mit Hilfe verschiedener Anregungsarten lassen sich Plasmen in unterschiedlichen Druckbereichen mit differierenden Gastemperaturen, Teilchenenergien und -dichten erzeugen. Die Palette der Plasmaquellen reicht dabei von DC- oder HF-angeregten Glimmentladungen über Mikrowellenquellen, Barriereentladungen bis hin zu Plasmastrahlquellen. Mittlerweile lassen sich die Plasmen auch gepulst erzeugen, wodurch der Einsatzbereich nochmals deutlich vergrößert wird.
<b>Rastertunnel- mikroskopie</b>	Eine der nanoskopischen Techniken, bei der nur leitfähige Materialien durch einen sehr feinen Tunnelstrom abgetastet und analysiert werden können.
<b>RFID</b>	Radiofrequenz-Identifikation. Unter RFID versteht man kleine, einfach herzustellende Schaltkreise, die, durch kurze Radiofrequenzen von außen angeregt, fest gespeicherte Informationen freigeben. RFIDs werden als Nachfolger der bisherigen Strichcodes gehandelt, da sie deutlich mehr Informationen enthalten und über eine größere Distanz gelesen werden können.
<b>Selbstorganisation</b>	Selbstorganisation ist nach der Systemtheorie eine Form der Systementwicklung, bei der die formgebenden beschränkenden Einflüsse von den Elementen des sich organisierenden Systems selbst ausgehen.

<b><i>Tissue engineering</i></b> <b>(Gewebetechnik)</b>	Das <i>Tissue engineering</i> umfasst biotechnologische Verfahren zur Kultivierung und Züchtung von biologischem Gewebe und Zellen. Es wird bereits heute in der regenerativen Medizin bei der Wiederherstellung von Knorpel-, Knochen- oder Hautzellen eingesetzt. Ein wichtiges aktuelles Forschungsziel ist die Züchtung kompletter Organe aus einzelnen Zellen.
<b><i>Top-down</i></b>	Allgemeiner Begriff für die Erzeugung kleiner Strukturen mit der Hilfe von makroskopischen Instrumenten, wie z. B. den Händen oder hochentwickelten Maschinen. Ein <i>Top-down</i> -Prozess ist das Gegenteil eines → <i>Bottom-up</i> -Verfahrens. Typisches Beispiel ist die Photolithographie, aber auch andere lithografische Verfahren, wie beispielsweise die → Elektronenstrahl-Lithographie (EBL).
<b>Zeolithe</b>	Zeolith bezeichnet eine Gruppe chemisch sehr komplexer Aluminium-Silikat-Minerale, die in einem Kristallsystem kristallisieren. Zeolithe haben vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, z. B. als Ionenaustauscher, etwa zur Wasserenthärtung, als Molekularsieb oder Trockenmittel, und werden großtechnisch zur Verwendung in Waschmitteln hergestellt.

# Anhang 1: Forschungsschwerpunkte in der Nanotechnologie

## Nanoanalytik

- Die instrumentelle Analytik gewinnt im Vergleich zu nasschemischen Untersuchungsmethoden immer mehr an Bedeutung.
- Der Automatisierungsgrad der Analysegeräte nimmt trotz steigender Komplexität immer mehr zu.
- Der Trend geht in Richtung Großanalysegeräte und effektivere Massenuntersuchungen – beispielsweise in der Wirkstoffforschung zu Hochdurchsatzverfahren (*high throughput screening*) – und in Richtung hoch spezialisierte Analysegeräte mit einem eher kleinerem Nutzungsbereich.
- Die Kombinationen unterschiedlicher Nachweismethoden in einem Analysesystem gewinnt immer mehr an Bedeutung, da diese mehrere qualitative und/oder quantitative Parameter einer Probe parallel und nahezu zeitgleich messen können.
- Bei der Rastersondentechnik bzw. -mikroskopie zeichnen sich zwei generelle Trendrichtungen ab. Einerseits der parallele Einsatz mehrerer Sonden gleichzeitig und andererseits die Suche nach physikalischen Effekten, mit denen man die Bildqualität der Rastersondenmikroskope verbessern kann.

Unterschiedliche Messprinzipien und zugehörige Verfahrensbeispiele soll folgende Übersicht wiedergeben:

- auf optischer Basis: Mikroskopie, Spektroskopie, Photometrie;
- auf opto-elektronischer Basis: Elektronenmikroskope, Rasterkraftmikroskopie (AFM), Rastersondenmikroskopie (STX);
- auf mechanischer Basis: analytische Ultrazentrifugation;
- auf Basis (bio)chemisch- physikalischer Wechselwirkungen: Chromatographie, Elektrophorese, Volumetrie, Viskosimetrie;
- auf Basis biologischer Wechselwirkungen: Detektion bzw. Sequenzierung von Nukleinsäuren (DNS) und Aminosäuren (Proteine) aufgrund spezifischer Bindungseigenschaften;
- auf biohybriden Prinzipien beruhend: Microarrays/Biochips (Protein-Chip, DNS-Chip, Zell-Chip, *Lab-on-a-Chip*) sowie Biosensorik.

## *Life Science*, Nanomedizin/Nanobiotechnologie/Kosmetika

- Innovative Analyse- und Diagnoseverfahren, *Lab-on-a-chip*-Technologien, Biochips und Proteinchips erlauben u. a. schnellere, preiswertere Testmethoden mit geringerem Probemengen.
- *Tissue Engineering*, Prothesen.

- Personalisierte Medizin, z. B. spezifische Medikation nach Bedürfnissen des Einzelnen.
- Innovative Medikamente und Therapieformen, *drug-delivery*, *drug-targeting*, *drug release*.
- Sonnenschutzmittel mit sehr hohem Lichtschutzzfaktor durch Zusatz von Nanopartikeln aus Titan- oder Zinkoxid.
- Hautcreme mit speziellen Liposomen, Zahnpasta, Lippenstifte.
- Antimikrobielle Beschichtungen bzw. Sprays.
- Erforschung und Entwicklungen nach dem Prinzip der Selbstorganisation (*bottom-up*) basierend auf dem Vorbild biologischer Systeme, z. B. zur Schaffung neuer, effektiverer Produktionsverfahren.
- Genereller Paradigmenwechsel in den *Life Sciences* von der Genomik (Genforschung) zur Proteomik (Proteinforschung).
- Entwicklung funktionaler biologischer Nanobeschichtungen, z. B. beruhend auf dem „Lotoseffekt“, oder neuartiger Biopolymere, welche beispielsweise Implantaten eine immunologisch kompatiblere Oberfläche verleihen, oder Entwicklung antibakterieller Nanobeschichtungen für chirurgische Instrumente oder Katheder.
- Verbesserte Katalysatoren, z. B. durch Nanozeolithe, ausgestattet mit molekularbiologischen Substanzen wie bestimmten Enzymen.
- Weiterentwicklung von der Mikrofluidik zum gesteuerten *Handling* noch kleinerer Flüssigkeitsmengen in Form der Nanofluidik.
- Die Individualmedizin, bei der Therapien bzw. Medikamentenverabreichungen den genetischen „Hintergrund“ des einzelnen Patienten berücksichtigen und so z. B. die Heilwirkung deutlich verbessern und gleichzeitig Nebenwirkungen von vornherein reduzieren oder sogar ausschließen können. Kritische Stimmen befürchten hier Datenschutzprobleme, also den „Gläsernen Patienten“ und sogar die Diskriminierung genetischer Randgruppen.
- *Tissue engineering*: Zellkulturtechniken zur Therapie von Gewebeschäden. Biomimetische und biokompatible Materialien erlauben die passgenaue Therapie von Zahn-, Knochen- oder Knorpelgewebe im Sinne der regenerativen Medizin.
- Biomembranen mit nanoskaligen Poren, die als Filtersysteme, z. B. in der pharmazeutischen Stofftrennung oder bei der Wasseraufbereitung in der Umwelttechnik, zum Einsatz kommen.
- Entwicklung von funktionalen Nanopartikeln (Liposomen, Dendrimeren), die als Träger für Medikamente oder andere Substanzen dienen und deren Adressierung, Transport, Dosierung und Wirkung im Körper deutlich verbessern können. Des Weiteren können Nanopartikel als effektive Kontrastmittel in der Diagnostik und als Füllstoff in Zähnen oder Knochen zum Einsatz kommen.
- Entwicklung von Biosensoren, beruhend auf biomolekularen Interaktionen, die immer empfindlicher, genauer, schneller und preisgünstiger konstruiert werden. Bei einer

innovativen Form eines Biosensors werden auf einem Kantilever (Messfühler) Bioindikatoren immobilisiert. Durch Kontakt mit Zielmolekülen „verbiegt“ sich der Kantilever, dann wird der Ablenkungswinkel durch Laser gemessen. Ein exemplarisches Einsatzfeld ist die medizinische Atemwegsanalyse.

- Miniaturisierung und Parallelisierung sowie Entwicklung von biometrischen bzw. diagnostischen Mess- und Analyseverfahren, z. B. durch Biochips bzw. Microarrays, und von Laborverfahren in Form von *Lab-on-a-Chip*-Systemen.

### **Chemische Industrie, Nanomaterialien/Nanochemie**

- Herstellung von Nanopartikeln, z. B. mit Sol-Gel-Verfahren, aus verschiedenen Materialien für unterschiedliche Aufgaben und Einsatzfelder.
- Kombination von unterschiedlichen Materialien und Strukturen in Form von Nanokompositen, (z. B. ermöglichen Nanopartikel aus Keramik mit spezieller Kunststoffhülle neue Eigenschaften).
- Funktionelle ultradünne Oberflächenbeschichtungen.
- Katalysatoren, Enzyme, Waschmittelzusätze (Zeolithe).
- Reinigungsmittel.
- Kohlenstoffnanoröhrchen, Carbon nanotubes (CNT).
- Molekülformen wie Fullerene, Dendrimere.
- schmutzabweisende Oberflächen durch Nanostrukturierung, Lotuseffekt.

### **Nanotechnologie in der Textilindustrie**

- Nanooberflächenbeschichtungen der Textilien z. B. mit geruchsneutralisierenden Substanzen.
- Smart Clothes – intelligente Textilien, ausgestattet mit Sensoren (z. B. zur Pulsmessung) oder Geräten der Kommunikationstechnik.
- Integration von Wirkstoffkapseln in Textilien (z. B. mit Vitamin C).

### **Nanotechnologie in der Nahrungsmittelindustrie**

- Funktionelle Nahrungsmittelverpackungen.
- Nahrungsmittelzusätze.
- Sensoren zum Nachweis von Frische, Einhaltung der Tiefkühlkette, usw.

### **Elektronikindustrie, Nanoelektronik, Informations- und Kommunikationstechnik**

- Innovative Lithografieverfahren zur Herstellung von leistungsfähiger Elektronik, z. B. EUV- oder Immersionslithografie.
- Neue, nicht-flüchtige Speicherbausteine, die das zeitaufwändige Ein- und Abschalten von Computern überflüssig machen, da die Informationen auch ohne Strom beibehalten

werden. Mögliche Speicher mit unterschiedlichen Funktionsprinzipien sind FRAM, MRAM und PRAM.

- MEMS/NEMS: innovative mikro- bzw. nanoelektronisch-mechanische Systeme ermöglichen bspw. neue Sensoren sowie Aktoren im Automobilbau.
- RFID-Funktechnik erlaubt den verstärkten Datenaustausch durch Verwendung spezieller Labels bzw. Etiketten auf Produkten aller Art und verbessert damit den Bereich der Logistik.

### **Optische Industrie, NanoOptik**

- Viele nanoanalytische Verfahren wie moderne Mikroskopie- oder Spektroskopietechniken beruhen auf optischen Systemen.
- Ultrapräzisionsoptik: die Fertigung hochpräziser optischer Elemente wie Linsen, Spiegel oder Kristalle ermöglicht erst die moderne Hochleistungsoptik.
- Lasertechnik: Laser können vielseitig angewendet werden – als Werkzeug zum Strukturieren oder Schneiden, für optische Messverfahren oder als Informationsträger in der Informations- und Kommunikationstechnik.
- LEDs: Leuchtdioden werden immer leuchtstärker und energieeffizienter. Damit verbreitert sich ihr Einsatzfeld, z. B. für die Fahrzeugbeleuchtung.
- PLEDs, OLEDs: organische Leuchtdioden ermöglichen neuartige energiesparende und mechanisch flexible Displays, die bereits in Digitalkameras zum Einsatz kommen.
- Photonische Kristalle, noch in der Entwicklungsphase, erlauben die gesteuerte Schaltung von sehr kleinen Lichtmengen und eröffnen so sehr schnelle optische Kommunikationstechniken.
- In der Forschungsphase befindliche Quantenpunktlaser sollen in Zukunft ebenfalls für die schnelle, optische Datenübertragung zum Einsatz kommen.
- Neuartige optische Speichermedien nutzen blaue Laser und bieten große Datenmengen und werden wahrscheinlich die DVD-Technik ablösen.

### **Automobilindustrie**

- Effektivere Katalysatoren.
- Rußpartikelfilter.
- Neue Mischungen für Fahrzeugreifen.
- Innovative Nano-Kunststoffe mit hochfesten und gleichzeitig leichten Eigenschaften.
- Nano-Klebstoffe ermöglichen hochfeste Komponentenverbindungen.
- Sensoren/Aktoren (Reifendrucksensoren, Beschleunigungssensoren, usw.).
- Kratzunempfindlichere Lackierungen.
- Oberflächenbeschichtungen.

### **Nanotechnologie in der Energie- und Umwelttechnik**

- Allein der generelle Trend der fortschreitenden Miniaturisierung technischer Systeme bis in den Nanobereich hilft, Material und Energie zu sparen.
- Im Bereich der Photovoltaik können durch organische Solarzellen (Wirkungsgrad ca. 5 %) preiswerte Alternativen zur Siliziumtechnik (bis 16 %) angeboten werden.
- Reversible Wasserstoffspeicher durch metallorganische Systeme.
- Tragbare Energiespeicher, Batterien, Akkus.
- Nanoporöse Membrane. ermöglichen selektivere bzw. effektivere Filtersysteme, z. B. für Kläranlagen.

### **Sonstiges, Haushalts- und Sportwaren**

- Verstärkte Tennisschläger durch Zugabe von Kohlenstoffnanoröhrchen in den Kunststoff.
- Tennisbälle.
- Skiwachs.
- Reinigungs- und Pflegemittel.
- Geruchsneutralisierende Mittel.



## **Anhang 2: Einrichtungen zur Früherkennung von Qualifikationsanforderungen und ihre Aktivitäten auf dem Gebiet der Nanotechnologie**

### **Einrichtungen und Aktivitäten zur Früherkennung**

Die Früherkennung von Qualifikationserfordernissen erfolgt in den meisten der europäischen Partnerländer in der Verantwortung eines einzelnen Instituts oder durch ein Netzwerk von Einrichtungen. Am Beispiel von Deutschland soll die Breite und Vernetzung nationaler Früherkennungsinitiativen dargestellt werden.

In Deutschland ist dies die Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) „Früherkennung von Qualifikationserfordernissen im Netz“ (FreQueNz). Dabei werden neben traditionellen Forschungsfeldern, wie Handel oder Tourismus, auch Hochtechnologiebereiche untersucht, beispielsweise Biotechnologie, erneuerbare Energien und Mikrosystemtechnik. Neben den Tätigkeiten von FreQueNz fördert das BMBF weitere Aktivitäten zur Früherkennung des Qualifikationsbedarfs im Bereich der Nanotechnologie sowie Qualifizierungsbedarfsanalysen, bspw. im Bereich der Optischen Technologien. Neben den beteiligten Instituten des FreQueNz-Netzwerkes beschäftigen sich in Deutschland noch weitere Institute mit dem Thema der Früherkennung von Qualifikationserfordernissen bzw. der Bildungsforschung (vgl. nachfolgende Aufzählung).

*Das deutsche Netzwerk FreQueNz und seine Partner unter [www.frequenz.net](http://www.frequenz.net)*

- Berufsbildungswerk Hamburg (bfw), [www.bfw-hh.de](http://www.bfw-hh.de)
- Bundesinstitut für Berufsbildung (BiBB), [www.bibb.de](http://www.bibb.de)
- Deutscher Gewerkschaftsbund (DGB), [www.dgb.de](http://www.dgb.de)
- Forschungsinstitut betriebliche Bildung GmbH (f-bb), [www.f-bb.de](http://www.f-bb.de)
- Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (FhIAO), [www.pm.iao.fhg.de](http://www.pm.iao.fhg.de)
- Infoman AG, [www.infoman.de](http://www.infoman.de)
- TNS Infratest Sozialforschung, [www.infratest-sofo.de](http://www.infratest-sofo.de)
- Helmut Kuwan Sozialwissenschaftliche Forschung und Beratung (HK-Forschung), [www.hk-forschung.de](http://www.hk-forschung.de)
- Institut für Strukturpolitik und Wirtschaftsförderung GmbH (isw), [www.isw-institut.de](http://www.isw-institut.de)
- Kuratorium der Deutschen Wirtschaft für Berufsbildung (KWB), [www.kwb-berufsbildung.de](http://www.kwb-berufsbildung.de)
- Forschungsinstitut für Berufsbildung im Handwerk an der Universität zu Köln (FBH), [www.uni-koeln.de/wiso-fak/fbh](http://www.uni-koeln.de/wiso-fak/fbh)

- Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB), [www.wz-berlin.de/amb/ab](http://www.wz-berlin.de/amb/ab)

*Weitere deutsche Früherkennungsaktivitäten und Projekte*

- Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik der Universität Flensburg (biat), [www.biat.uni-flensburg.de/biat.www](http://www.biat.uni-flensburg.de/biat.www)
- Institut Arbeit und Wirtschaft (iaw), [www.iaw.uni-bremen.de](http://www.iaw.uni-bremen.de)
- Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB), [www.iab.de](http://www.iab.de)

*Nationale Adressen der Bildungsforschung in Deutschland*

- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), [www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)
- Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA), [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)
- Institut für angewandte Sozialwissenschaft (Infas), [www.infas.de](http://www.infas.de)
- Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung (ISF München), [www.isf-muenchen.de](http://www.isf-muenchen.de)
- Michel Medienforschung und Beratung (MMB), [www.mmb-michel.de](http://www.mmb-michel.de)
- Sozialforschungsstelle Dortmund (sfs), [www.sfs-dortmund.de](http://www.sfs-dortmund.de)
- Soziologisches Forschungsinstitut an der Georg-August-Universität Göttingen (SOFI), [www.gwdg.de/sofi](http://www.gwdg.de/sofi)
- VDI-Technologiezentrum, [www.vdi.de/vdi/vditz/wueu.html](http://www.vdi.de/vdi/vditz/wueu.html) und [www.surface-net.de](http://www.surface-net.de)

*Regionales Arbeitsmarktmonitoring in Deutschland*

- Arbeitsmarkt- und Organisationsberatung Gettmann, [www.arbeitsmarktmonitoring.de](http://www.arbeitsmarktmonitoring.de)
- Dialoge Beratungsgesellschaft, [www.dialoge.net/arbeitsmarktmonitoring.html](http://www.dialoge.net/arbeitsmarktmonitoring.html)
- Entwicklungsplanung Qualifikation im Land Bremen (EQUIB), [www.iaw.uni-bremen.de/equib](http://www.iaw.uni-bremen.de/equib)
- Gesellschaft für innovative Beschäftigungsförderung (G.I.B. NRW), [www.gib-nrw.de](http://www.gib-nrw.de)
- Der Paritätische Wohlfahrtsverband, Landesverband Nordrhein-Westfalen, [www.paritaet.net](http://www.paritaet.net)

Auf internationaler Ebene konnten 29 Institute identifiziert werden, die sich mit den Themen Bildungsforschung und Früherkennung von Qualifikationsentwicklungen beschäftigen (vgl. nachfolgende Aufzählung).

*Internationale Adressen der Bildungsforschung und Früherkennung*

- *Australian Council for Educational Research (ACER)*, [www.acer.edu.au](http://www.acer.edu.au)
- *Arbeitsmarktservice Österreich (AMS)*, [www.ams.or.at](http://www.ams.or.at)
- *Bureau of Labour Statistics (BLS), US Department of Labour*, [www.bls.gov](http://www.bls.gov)
- *Europäisches Zentrum für die Förderung der Berufsbildung (Cedefop)*, [www.cedefop.eu.int](http://www.cedefop.eu.int)
- *Centre d'études et de recherches sur les qualifications (Céreq)*, [www.cereq.fr](http://www.cereq.fr)

- *Centre for Labour Market and Social Research (CLS)*, Dänemark, [www.cls.dk](http://www.cls.dk)
- *Department of Labour*, Neuseeland, [www.dol.govt.nz](http://www.dol.govt.nz)
- *Expert group on future skill needs (EGFSN)*, Irland, [www.skillsireland.ie](http://www.skillsireland.ie)
- *Employment Observatory Research Informatics (PAEP)*, Griechenland, [www.paep.org.gr](http://www.paep.org.gr)
- *Economic and Social Research Institute (ESRI)*, Irland, [www.esri.ie](http://www.esri.ie)
- *Europäische Stiftung für Berufsbildung (ETF)*, Italien, [www.etf.eu.int](http://www.etf.eu.int)
- *Training and Employment Authority (FAS)*, Irland, [www.fas.ie](http://www.fas.ie)
- *National Policy and Advisory Board for Enterprise, Trade, Science, Technology and Innovation (FORFAS)*, Irland, [www.forfas.ie](http://www.forfas.ie)
- *Finland Futures Research Centre (FUTU)*, Finnland, [www.tukkk.fi/tutu/english.htm](http://www.tukkk.fi/tutu/english.htm)
- *Human Resources Development Canada (HRDC)*, [www.hrdc-drhc.gc.ca](http://www.hrdc-drhc.gc.ca)
- *Institut für Bildungsforschung der Wirtschaft (ibw)*, Österreich, [www.ibw.at](http://www.ibw.at)
- *Institute of Economic Research (IER)*, Vereinigtes Königreich, [www.warwick.ac.uk/ier](http://www.warwick.ac.uk/ier)
- *Instituto para a qualidade na Formação (IQF)*, Portugal, [www.inofor.pt](http://www.inofor.pt)
- *Istituto per lo sviluppo della formazione professionale dei lavoratori (ISFOL)*, Italien, [www.isfol.it](http://www.isfol.it)
- *Leonardo da Vinci Gemeinschaftliches Aktionsprogramm in der Berufsbildung*, [europa.eu.int/comm/education/leonardo.html](http://europa.eu.int/comm/education/leonardo.html)
- *Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD)*, [www.oecd.org](http://www.oecd.org)
- *National Centre on Education and the Economy (NCEE)*, USA, [www.ncee.org](http://www.ncee.org)
- *National Observatory of Employment and Training*, Tschechische Republik, [www.nvf.cz/observatory/index\\_gb.htm](http://www.nvf.cz/observatory/index_gb.htm)
- *ProLearn – Network of Excellence in professional training*, [www.prolearn-online.com](http://www.prolearn-online.com)
- *Qualifications and Curriculum Authority (QCA)*, UK, [www.qca.org.uk](http://www.qca.org.uk)
- *Research Centre for Education and the Labour Market (ROA)*, Niederlande, [www.fdewb.unimaas.nl/roa](http://www.fdewb.unimaas.nl/roa)
- *Skills and labour market research unit of FAS (SLMRU)*  
[www.fas.ie/information\\_and\\_publications/slmru](http://www.fas.ie/information_and_publications/slmru)
- *Europäisches Berufsbildungsdorf (ETV)*, [www.trainingvillage.gr](http://www.trainingvillage.gr)
- *Unesco-Unevoc – International Centre for Technical and Vocational Education and Training*, [www.unevoc.de](http://www.unevoc.de)

## **Früherkennung von Qualifikationserfordernissen in der Nanotechnologie im Rahmen der Bildungsforschung**

Wie oben dargestellt, wurde in Deutschland vom isw im Auftrag des BMBF eine Studie zu Trendqualifikationen in der Nanotechnologie durchgeführt.

Auf Anfrage per E-Mail antworteten 13 der oben genannten 29 internationalen Einrichtungen, dass sie keine Früherkennung von Qualifikationserfordernissen im Bereich der Nanotechnologie durchgeführt hätten oder planten.

Skillsnet, das vom Cedefop initiierte europäische Netzwerk für die Früherkennung von Qualifikationserfordernissen, will die Transparenz und die Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Ländern verbessern und gleichzeitig eine multidisziplinäre länderübergreifende Perspektive einbringen. Im Bereich der Nanotechnologie geschieht dies durch die Veröffentlichung eines Überblicks über die Nanotechnologie, ihre Entwicklungsrichtungen, Anwendungsfelder und die damit zusammenhängenden Qualifikationserfordernisse und die Vernetzung verschiedener Akteure in dem Bereich, bspw. im Rahmen eines internationalen Workshops am 11./12. Juli 2005 in Stuttgart.

## **Früherkennung von Qualifikationserfordernissen in der Nanotechnologie als Bestandteil integrativer Ansätze**

Neben den Einrichtungen der Früherkennung von Qualifikationserfordernissen, von denen derzeit nur die deutsche FreQueNz-Initiative mit der Früherkennung von nanotechnologie-spezifischen Qualifikationserfordernissen beschäftigt ist, gibt es Akteure, die im Rahmen ihrer Arbeiten zur Nanotechnologie auch das Thema Qualifizierung aufgreifen bzw. aufgreifen können. Zu ihnen zählen in Deutschland die Kompetenznetze der Nanotechnologie, die durch das BMBF gefördert werden:

- Ultradünne funktionale Schichten (Dresden),
- Nanomaterialien: Funktionalität durch Chemie (Saarbrücken),
- Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung (Braunschweig),
- Nanobioanalytik (Münster),
- HanseNanoTec (Hamburg),
- Nanoanalytik (München),
- NanOp (Berlin),
- NanoBioTech (Kaiserslautern) und
- NanoMat (Karlsruhe).

Diese vom BMBF geförderten Kompetenznetze der Nanotechnologie sehen ihre originären Arbeits-, Forschungs- und Unterstützungsschwerpunkte in der technologischen Förderung der

Unternehmen. Die Qualifizierungsbedarfsermittlung und die Früherkennung von zukünftigen Qualifikationserfordernissen spielten bei ihnen bisher keine Rolle.

Das VDI Technologiezentrum in Düsseldorf hat für Deutschland auf der Grundlage von Unternehmensbefragungen eine Innovations- und Technikanalyse im Bereich der Nanotechnologie erstellt – unter Berücksichtigung von Beschäftigungseffekten und Qualifizierungsfragen. Neben der Aufzählung von in Deutschland angebotenen Studiengängen werden Ergebnisse der Unternehmensbefragung dargelegt. Mit dem Hinweis auf den begrenzten Datenumfang und den subjektiven Bewertungsmaßstab wird zusammenfassend festgestellt, dass das Angebot an Studien- und Ausbildungsgängen derzeit weitgehend den Erfordernissen der Industrie entspricht. Dem steigenden Bedarf an Interdisziplinarität der Ausbildung werde durch die Bildungsträger bzw. das Angebot von integrierten Spezialisierungsrichtungen Rechnung getragen.

Das Europäische Netzwerk Nanotechnologie ([www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)) betreibt einen eigenen Bereich *education and training*, in welchem sich Interessierte zum Thema Aus- und Weiterbildung kundig machen können. Bereitgestellt wird ein 175-seitiger Katalog mit Bildungsangeboten, die für die Nanotechnologie relevant sind. Allgemeine – nicht spezifisch auf Nanotechnologie ausgerichtete – Informationen über Laufbahnmöglichkeiten für Wissenschaftler finden sich auf der vom ESF betriebenen Website <http://www.nextwave.org/europe>.

Auf einem Workshop zum Thema *Research training in nanosciences and nanotechnologies: current status and future needs*, organisiert von der Generaldirektion Forschung der Europäischen Kommission am 14. und 15. April 2005 in Brüssel, wurden zukünftige Bildungserfordernisse für das Forschungspersonal im Bereich Nanotechnologie diskutiert. In einer Plenarveranstaltung und vier parallelen Workshops wurden verschiedene Ansätze bei der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften mit Universitätsabschluss vorgestellt. Die Entwicklung der entsprechenden Studiengänge erfolgte auf der Analyse aktueller Bildungserfordernisse im Bereich Nanotechnologie, speziell der Forschung. Eine Liste der teilnehmenden Institute, Universitäten, etc., sowie die Unterlagen zu den Beiträgen finden sich unter [www.cordis.lu/nanotechnology/src/educationworkshop.htm](http://www.cordis.lu/nanotechnology/src/educationworkshop.htm).



Cedefop (Europäisches Zentrum für die Förderung der Berufsbildung)

## **Ermittlung von Qualifikationserfordernissen in der Nanotechnologie**

*Lothar Abicht*  
*Henriette Freikamp*  
*Uwe Schumann*

Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften

2006 – VI, 71 S. – 21 x 29,7 cm

(Cedefop Panorama series; 129 – ISSN 1562-6180)

ISBN 92-896-0428-X

Kat.-Nr.: TI-73-06-631-DE-C

Kostenlos –5170 DE –

Die Entwicklung der Nanotechnologie wird oft als eine grundlegende technische Neuerung erachtet, die nur mit der Erfindung von Antibiotika, dem Fernsehen und der Computertechnik vergleichbar ist. Man geht davon aus, dass die Nanotechnologie nicht nur Wissenschaft und Forschung, sondern auch die industrielle Fertigung und möglicherweise unser tägliches Leben nachhaltig verändern wird. Welcher Qualifikationsbedarf wird sich hieraus ergeben?

Die vorliegende Veröffentlichung vermittelt einen Überblick über die jüngsten Entwicklungen und Trends auf unterschiedlichen Gebieten der Nanotechnologie und die sich aus ihnen ergebenden Qualifikationserfordernisse. Die Studie stand im Mittelpunkt eines internationalen Workshops zu neuartigen Technologien und Qualifikationserfordernissen im Bereich der Nanotechnologie, der im Juli 2005 in Stuttgart stattfand. Auf der Grundlage von Forschungsergebnissen aus Europa und anderen industrialisierten Ländern wie Japan und den USA werden Schätzungen und Prognosen der wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen der Nanotechnologie vorgelegt und die entsprechenden künftigen Qualifikationserfordernisse am Arbeitsmarkt bewertet. Insbesondere wird kritisch geprüft, wie sich die Nachfrage nach grundlegenden und neuen Qualifikationen sowie neuartigen Berufsprofilen in der Nanotechnologie gestaltet. Und schließlich werden Maßnahmen zur europaweiten Einführung innovativer Qualifikationen und Ausbildungsgänge in dieser Technologie vorgeschlagen. Die Veröffentlichung schließt mit einer Auflistung der wichtigsten Einrichtungen, die sich mit der Auswertung des künftigen Qualifikationsbedarfs in der Nanotechnologie befassen.

Weitere Informationen finden sich im Europäischen Berufsbildungsdorf in der Rubrik „Projekte und Netzwerke“ unter dem Projekt „Skillsnet“ ([www.trainingvillage.gr](http://www.trainingvillage.gr)).

## Ermittlung von Qualifikationserfordernissen in der Nanotechnologie



Europäisches Zentrum  
für die Förderung der Berufsbildung

Europe 123, GR-570 01 Thessaloniki (Pylea)  
Postanschrift: PO Box 22427, GR-551 02 Thessaloniki  
Tel. (30) 23 10 49 01 11, Fax (30) 23 10 49 00 20  
E-mail: [info@cedefop.eu.int](mailto:info@cedefop.eu.int)  
Homepage: [www.cedefop.eu.int](http://www.cedefop.eu.int)  
Interaktive Website: [www.trainingvillage.gr](http://www.trainingvillage.gr)

Kostenlos – Auf Anforderung beim Cedefop erhältlich

5170 DE



Amt für Veröffentlichungen  
*Publications.eu.int*

ISBN 92-896-0428-X



9 789289 604284