

# Hoffnungsträger Nanotechnologie

## Ein Dialog über gesellschaftliche und ethische Fragen einer neuen Technologie

SÖREN STÖBER UND VOLKER TÜRK\*

### *High Hopes for Nanotechnology – A Dialogue on Societal and Ethical Questions Surrounding a New Technology*

*The field of nanotechnology has attracted widespread attention and funding in recent years. Moreover, the unique properties of nanotechnological applications suggest potential to solve some of the worlds most pressing challenges, but they come with uncertainties and risks as all new technologies. The purpose of this paper is to outline the field of ethical and societal questions surrounding this new technology and to describe the Nanologue-project: A practically orientated approach which brings together researchers, businesses and civil society representatives from across Europe to facilitate a dialogue on these ethical and societal questions.*

*Keywords: Nanotechnology, New Technologies, Dialogue, Ethical, Social Aspects*

#### 1. Einleitung

In den letzten Jahren hat sich die Nanotechnologie<sup>1</sup> rasant entwickelt. Ihr wird heute der Rang einer Schlüsseltechnologie zugesprochen. Eine Fülle von nanotechnologischen Anwendungen sind bereits realisiert worden und haben den alltäglichen Gebrauch erreicht: Beim Autokauf wird man auf neue, kratzresistente Lacke hingewiesen, die Sonnencreme enthält Nanopartikel zur besseren Absorption des UV-Lichtes und Textilhersteller werben mit schmutzabweisenden Nanotextilien.

Mit der Nanotechnologie verbindet sich die Hoffnung auf bedeutende Umsatzpotenziale in vielen Branchen und Bereichen der Wirtschaft. Aber nicht nur aus ökonomischer Perspektive kündigen sich positive Entwicklungen an. Die Technologie verspricht Entlastungseffekte für die Umwelt, Fortschritte im Gesundheitswesen, eine Erhöhung des allgemeinen Lebensstandards sowie eine Vielzahl an Verbesserungen und Erleichterungen für das alltägliche Leben.

---

\* Sören Stöber (B.A.), von Januar bis Juni 2005 Diplomand am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, E-Mail: soeren.stoeber@gmx.de, Forschungsschwerpunkte: Nachhaltigkeit und Neue Technologien, Corporate Social Responsibility, Wirtschafts- und Unternehmensethik in Aus- und Weiterbildung; Volker Türk (Dipl.-Ing., M.Sc.), Projektleiter Nanologue Projekt, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Forschungsgruppe Nachhaltiges Produzieren und Konsumieren, Döppersberg 19, D-42103 Wuppertal, Tel.: +49(0)-202-249-21-52, E-Mail: volker.tuerk@wupperinst.org, Forschungsschwerpunkte: Nachhaltigkeit und Neue Technologien, Nachhaltigkeit in Globalen Wertschöpfungsketten, Corporate Social Responsibility.

<sup>1</sup> Zum genaueren Verständnis von Nanotechnologie siehe Kapitel 2.

Neben diesen positiven Erwartungen werden aber auch Bedenken angemeldet. Wem wird die Nanotechnologie nutzen oder schaden? In welchem Umfang sind negative Auswirkungen auf die Umwelt oder die menschliche Gesundheit zu erwarten? Wie kann die Nanotechnologie verantwortungsvoll gestaltet werden? Sollte die Anwendung nanotechnologischer Applikationen kontrolliert werden und wenn ja, von wem und wie?

Dieser Artikel beschreibt zunächst kurz, was unter Nanotechnologie zu verstehen ist. Es wird dann das Problemfeld ethischer Fragestellungen im Hinblick auf diese Technologie skizziert. Im Anschluss wird dargestellt, wie der von der Gesellschaft und Politik geforderten Prämisse einer gesellschaftlich und ethisch verantwortungsvollen Entwicklung der Technologie im Rahmen eines konkreten Projektes begegnet wird.

## 2. Was ist Nanotechnologie?

Schon die Vorsilbe Nano (griechisch Nanos = Zwerg) weist auf die Größenordnung der Nanotechnologie hin. Ein Nanometer (nm) entspricht einem Milliardstel Meter ( $10^{-9}$  m). Zum Vergleich: Ein menschliches Haar hat eine Dicke von 80.000 nm, ein rotes Blutkörperchen schätzungsweise 7.000 nm.

Die Auffassungen darüber, was Nanotechnologie ist, wo sie beginnt und aufhört und welchen Bereich sie beschreibt, divergieren (vgl. Decker et al. 2004). The Royal Society & The Royal Academy of Engineering definieren Nanotechnologie als „(...) the design, characterisation, production and application of structures, devices and systems by controlling shape and size at nanometre scale“ (2004: 5) und beziehen sich dabei schwerpunktmäßig auf die namensgebende Größenordnung. Eine ähnlich lautende Beschreibung findet sich im Nanotechnologie-Endbericht des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag.<sup>2</sup> Es ist hervorzuheben, dass oftmals eine Unterscheidung in Nanotechnologien und Nanowissenschaft getroffen wird.<sup>3</sup> In ihrer Strategie für Nanotechnologie beschreibt die Europäische Kommission diese als Sammelbegriff, die die zahlreichen Verständnisse von Nanowissenschaft und Nanotechnologien umfasst; ein Verständnis das im weiter hinten beschriebenen Praxisprojekt übernommen wurde (vgl. European Commission 2004b: 4; Nanologie 2005b: 10f.).

Nanotechnologie kann somit als Sammelbegriff für ein höchst heterogenes Technologiefeld von traditionell eher getrennten technischen und wissenschaftlichen Disziplinen angesehen werden. Die Gemeinsamkeit der Technologien besteht in der Beschäf-

---

<sup>2</sup> „1. Nanotechnologie befasst sich mit Strukturen, die in mindestens einer Dimension kleiner als 100nm sind. 2. Nanotechnologie macht sich charakteristische Effekte und Phänomene zunutze, die im Übergangsbereich zwischen atomarer und mesoskopischer Ebene auftreten. 3. Nanotechnologie bezeichnet die gezielte Herstellung und/oder Manipulation einzelner Nanostrukturen“ (Paschen et al. 2004: 39).

<sup>3</sup> Der Begriff *Nanotechnologien* trägt dem Umstand Rechnung, dass man, auf Grund der Anwendungen in verschiedenen Technologiefeldern nicht nur von einer Technologie, sondern von mehreren spricht. Der Begriff *Nanotechnologien* hebt den Bezug zu praktischen Anwendungen hervor, während der Begriff *Nanowissenschaft* die wissenschaftliche Erforschung der Phänomene und Materialien auf nanoskaliger Ebene beschreibt.

tigung mit Strukturen und Prozessen auf der Nanometerskala (Paschen et al. 2004: 39).

Ähnlich wie die Informationstechnologie wird Nanotechnologie als *enabling technology* oder Querschnittstechnologie bezeichnet (Fleischer 2002: 115f.). Sie verspricht nicht nur eine Vielzahl neuer Anwendungen, sondern auch Leistungssteigerungen technischer, ökonomischer oder ökologischer Parameter bei bereits bekannten Produkten oder Systemen. „Nanotechnology enhanced“ Produkte werden mit Attributen wie kleiner, stabiler, schneller, leistungsstärker und „intelligenter“ beschrieben. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt lassen sich u. a. folgende Bereiche aktueller und zukünftiger Anwendungen identifizieren:<sup>4</sup>

- *Chemische Industrie/Neue Materialien:* z. B. chemische Sensoren, anorganische Nanopartikel, Membranen und Filter, funktionale Bekleidung, programmierbare Materialien, magnetische Fluide, organische Halbleiter, intelligente (Lebensmittel-) Verpackungen.
- *Automobilindustrie:* z. B. Reifenfüllstoffe, Antireflexionsschichten, kratzfeste Lacke und Beschichtungen, katalytische Nanopartikel, optimierte Brennstoffzellentechnologie für Automobilantriebe, leichte Trag- und Strukturbauteile, verringerte Schadstoffemissionen durch optimierte Katalysatoren und Filter, „intelligente“, kommunizierende Automobile.
- *Informations- und Kommunikationstechnologie:* z. B. neue Festplattenspeicher, verbesserte Speicherchips, leichte und energiesparende Displays, Multifunktionsgeräte, verbesserte Datenübertragung, mobile Elektronik im Kreditkartenformat, leichte, biegsame Displays in Alltagsgegenständen, elektronisches Papier, Quantencomputing.
- *Medizin/Life Sciences:* z. B. verbesserte, gezielte und „intelligente“ Wirkstofffreisetzung innerhalb des menschlichen Körpers (drug delivery), künstliche Gewebe und Organfunktionen, Lab-on-a-chip-Systeme, sichere Hautbräunung, neuartige Krebsbekämpfungsmethoden, Früherkennung durch erhöhte Sensitivität von Bio-Chips und Multifunktionssensoren, biokompatible Implantate, „Verbesserung“ des Menschen (human enhancement) durch fortgeschrittene Mensch-Maschine-Schnittstellen, neuartige Wasserfilter und Wasseraufbereitungsanlagen.

### 3. Wirtschaftliche Bedeutung der Nanotechnologie

Nanotechnologieprodukten und -anwendungen wird ein enormes wirtschaftliches Potenzial attestiert. Es wird erwartet, dass Branchen wie die Chemische Industrie, die Automobilindustrie, die Informations- und Kommunikationstechnologie-Industrie, die Pharmaindustrie, das Bauwesen, die Textilindustrie, sowie die Energiewirtschaft und die Luft- und Raumfahrtindustrie vorrangig von nanotechnologischen Entwick-

---

<sup>4</sup> Als Grundlage dieses Überblicks über Anwendungen und Anwendungsgebiete dienen v. a. Paschen et al. 2004; BMBF 2004: 46f.; Luther/Malanowski 2004: 199; Luther 2005: 20. Es ist zu berücksichtigen, dass die hier aufgeführten Anwendungen in der Marktreife divergieren. Befinden sich manche Produkte bereits in der Anwendung, so sind andere erst in der Entwicklungsphase.

lungen profitieren (vgl. Paschen et al. 2004; Luther/Malanowski 2004). Erste Applikationen haben sich bereits erfolgreich auf dem Markt etabliert: „2005 will be the year that nanotechnology becomes mainstream, with nanotech companies generating substantial revenue for the very first time“ (Deloitte 2005: 5).

Bis 2010 wird für die Nanotechnologie mit einem Marktvolumen von 100 Milliarden US-Dollar gerechnet (vgl. European Commission 2005a). Bereits für das Jahr 2015 prognostizieren unterschiedliche Schätzungen ein Weltmarktvolumen zwischen 450 und 2.000 Milliarden US-Dollar (vgl. ebd.; Fleischer 2002: 119f.; BMBF 2004: 27). Die tief greifende Wirkung der Technologie ist trotz divergierender Zahlen allen Schätzungen gemeinsam.

Neben Schätzungen über das Marktvolumen können die öffentlichen und privaten Fördermittel als Indikation für die sich abzeichnende wirtschaftliche Bedeutung angesehen werden. So betragen die öffentlichen Investitionen im Jahr 2004 weltweit über 5 Milliarden US-Dollar, was einer Verzehnfachung des Betrages im Vergleich zum Zeitraum 1997-2004 entspricht (vgl. European Commission 2005a).<sup>5</sup>

In vielen Ländern existieren explizite Förderstrategien zur Nanotechnologie, die gezielte und koordinierte Investitionen ermöglichen.<sup>6</sup> Auf europäischer Ebene bspw. wurde der Nanotechnologie schon im vierten (1994-1998) und fünften (1998-2002) Forschungsrahmenprogramm<sup>7</sup> eine große Bedeutung beigemessen. Im aktuellen sechsten Rahmenprogramm (2002-2006) wurde die Nanotechnologie zu einem vorrangigen Bereich erklärt (vgl. European Commission 2004a) und mit über 1,3 Milliarden Euro gefördert. Auch im 7. Rahmenprogramm (2007-2013) wird die Förderung von Nanotechnologie-Forschung und Entwicklung (FuE) eine zentrale Rolle spielen (European Commission 2005b: 3).

Die privatwirtschaftlichen Investitionen in Nanotechnologie-FuE entsprechen mittlerweile in der Summe den öffentlichen Investitionen (vgl. European Commission 2005a) bzw. übersteigen sie bereits (vgl. Thayer 2005: 17). Über 1.200 Unternehmen sind weltweit in Nanotechnologie-FuE und der Herstellung nanotechnologischer Produkte involviert. Die Mehrzahl der international in Nanotechnologiemärkten tätigen Unternehmen hat die strategische Bedeutung frühzeitiger Investitionen erkannt und dementsprechend reagiert.

---

<sup>5</sup> Vgl. für den Zeitraum 2001-2004 auch BMBF 2004: 21.

<sup>6</sup> Auf Grund des Umfangs dieses Artikels kann auf die einzelnen zum Teil divergierenden Förderstrategien nicht detailliert eingegangen werden. Neben der EU können v.a. die USA, Japan und innerhalb der EU gesondert Deutschland als entscheidende Akteure in der Förderung der Nanotechnologie-Forschung und Entwicklung (FuE) identifiziert werden. Für die USA sei auf die seit dem Jahr 2000 bestehende „National Nanotechnology Initiative“ (NNI) (<http://www.nano.gov>; weiterführend auch NSTC et al. 2004; Roco 2004) verwiesen; für Deutschland auf die „Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie“ des BMBF (BMBF 2004), das BMWA und die institutionelle Förderung (BMBF 2004: 20) und für einen Überblick der Forschungsaktivitäten Japans auf das Nanotechnology Researchers Network Center of Japan (nanonet 2006) des Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology.

<sup>7</sup> Die Forschungsrahmenprogramme sind das Hauptforschungsförderungsinstrument der europäischen Kommission.

#### 4. Chancen und Risiken der Nanotechnologie – der Blickwinkel der Ethik

Die Nanotechnologie verspricht eine Fülle positiver Auswirkungen auf die Gesellschaft. Gleichzeitig werden diverse potentielle Risiken diskutiert. Im Zuge zunehmender Realisierung erster Produkte und Anwendungen ergibt sich eine Vielzahl an ethischen Fragestellungen. Im Folgenden soll versucht werden einige dieser zentralen Fragen darzustellen. Es soll dabei nicht um Forderungen an die Ethik und die Entwicklung möglicher Lösungsentwürfe gehen, sondern vielmehr die Bandbreite der sich aus der Nanotechnologie ergebenden Auswirkungen illustriert und skizziert werden.

Eine genaue und trennscharfe Unterteilung einzelner ethischer Aspekte ist aufgrund von Überschneidungen schwierig. Trotz alledem lassen sich die ethischen Fragestellungen und Aspekte hauptsächlich den vier folgenden Bereichen zuordnen:<sup>8</sup>

- (1) Technikethische Aspekte,
- (2) sozialetische Aspekte und Verteilungsgerechtigkeit,
- (3) bio- und medizinethische Aspekte und schließlich
- (4) wirtschafts- und unternehmensethische Aspekte.

(1) *Technikethische Aspekte*: Was im Rahmen einer neuen Technologie gesellschaftlich als wünschbar, zumutbar oder akzeptabel gilt, ist in der Regel umstritten. Offene Fragen und Konflikte um Wissenschaft und Technik – wie bspw. Zukunftsvorstellungen, Menschenbilder, Gesellschaftsentwürfe – bilden den Ansatzpunkt und Kern der Technikethik (Grunwald 2004: 71).

Die Unsicherheit über mögliche (negative) Folgen steht im Vordergrund technikethischer Überlegungen zur Nanotechnologie. Im Zuge erster Nanotechnologieentwicklungen wurde der Umgang mit Nichtwissen bereits rege diskutiert. Dabei konnten verschiedene und zum Teil stark divergierende Lösungsentwürfe identifiziert werden. Als Beispiel mag die kanadische Nichtregierungsorganisation ETC Group dienen, die ein Moratorium, das jegliches In-Verkehr-Bringen von Nanopartikeln verhindern soll, fordert.<sup>9</sup> Der „Vorrang der schlechten Prognose“, wie er von Hans Jonas in „Das Prinzip Verantwortung“ vorgestellt wurde, spiegelt sich in diesen Überlegungen wieder (Jonas 1979). Der von der ETC Group geforderte strikte Umgang mit Nanotechnologie wird von der überwiegenden Mehrzahl der in den Diskurs involvierten Akteure nicht geteilt. Er scheint nicht realistisch und wird kritisiert (vgl. bspw. Court et al. 2004; Käuflein 2004). Die European Nanotechnology Trade Alliance (ENTA) bspw. hat eine der ETC Group widersprechende Vorstellung. Sie hebt die Potentiale der Nanotechnologie insbesondere im Hinblick auf die Erreichung der Millennium Development Goals der Vereinten Nationen hervor. „Nanotechnology has a role to play in

---

<sup>8</sup> Vergleichbare Ansätze finden sich bspw. bei Mnyuswalla et al. 2003: 11; Grunwald 2004; Baumgartner 2004. Ähnliche Schwerpunkte setzen auch The Royal Society/The Royal Academy of Engineering 2004: 51ff; Lewenstein 2004; Paschen et al. 2003: 350ff.; Käuflein 2004. Diese Auflistung und Unterteilung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

<sup>9</sup> „Given the concerns raised over nanoparticle contamination in living organisms, ETC Group proposes that governments declare an immediate moratorium on commercial production of new nanomaterials (...)“ (ETC Group 2003: 72).

this from the production of clean drinking water to sustainability of new manufacturing processes” (ENTA 2006).

In der Diskussion taucht in diesem Zusammenhang auch der Verweis auf andere Technologiefelder auf. Es gilt im Zuge der Nanotechnologie-Entwicklung Kriterien herauszuarbeiten, nach denen Chancen und Risiken der Nanotechnologie abgewogen werden können (*technology assessment*). Gerade auf positive oder negative Erfahrungen im Kontext anderer Technologien (Biotechnologie, Gentechnik) sollte dabei rekuriert werden (Grunwald 2004: 73).

(2) *Sozialethische Aspekte und Verteilungsgerechtigkeit*: Die Themen Privatsphäre, Informationsbeschaffung und Datenschutz sowie die Frage nachhaltiger Verteilungsgerechtigkeit von Chancen und Risiken werden im Zuge der Nanotechnologie behandelt.

Im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK) wird eine Vielzahl an technischen Fortschritten durch nanotechnologische Entwicklungen erwartet. Die kleineren, schnelleren und kostengünstigeren Geräte und Produkte implizieren dabei aber zugleich eine Erleichterung des Sammelns, Abhörens und Überwachsens individueller und kollektiver Daten. In diesem Zusammenhang wird die Tendenz hin zu einem „social sorting“<sup>10</sup> thematisiert.

Die Frage der Verteilungsgerechtigkeit von Chancen und Risiken betrifft inter- und intragenerationelle Aspekte. Nanotechnologienanwendungen und -produkten wird das Potenzial attestiert, grundlegende Probleme einer weltweiten nachhaltigen Entwicklung (bspw. der Zugang zu sauberem Wasser durch neuartige Filtersysteme, kostengünstigere Energie- und Kommunikationsversorgung) positiv zu beeinflussen (vgl. Mnyusiwalla et al. 2003: 11; Court et al. 2004).<sup>11</sup> Es ist jedoch zu erwarten, dass nanotechnologische Entwicklungen zumindest zu Beginn aufgrund ihrer Kostenintensität nur privilegierten Personen- und Gesellschaftsgruppen zur Verfügung stehen werden (vgl. Baumgartner 2004: 44f.). Das Meridian Institute befürchtet, dass:

„the technology will be controlled by developed countries and multinational corporations, primarily benefit consumers in the North, and lead to a deepened divide between developed and developing countries“ (Meridian Institute 2005: 11).

In diesem Zusammenhang ist, in Anlehnung an den im Rahmen der Fortschritte bei der IuK geprägten Begriff „digital divide“, von einem „nano-divide“ die Rede (vgl. Baumgartner 2004: 44; The Royal Society/The Royal Academy of Engineering 2004: 52f; Mnyusiwalla et al. 2003: 11; Court et al. 2004).

Es stellt sich darüber hinaus die Frage, welche Rolle die Nanotechnologie in Bezug auf den Verbrauch von weltweit begrenzten Ressourcen spielen wird. Kann sie im Sinne

---

<sup>10</sup> „Sorting“ wird als „a highly potent set of techniques with political and social-control implications“ (The Royal Society/The Royal Academy of Engineering 2004: 53f.) beschrieben.

<sup>11</sup> Das Meridian Institute hat zum Thema Nanotechnologie und Entwicklungsländer eine eigene Studie vorgelegt. Sie will die Implikationen der Nanotechnologie für die Entwicklungsländer aufzeigen, die Rolle der Entwicklungsländer innerhalb der Diskussion stärken und einen globalen Dialog anstoßen. Ein besonderer Fokus liegt in der Verknüpfung der Nanotechnologie mit den Millennium Development Goals der Vereinten Nationen (Vgl. Meridian Institute 2003).

des Faktor 4 / Faktor 10 Konzeptes (Schmidt-Bleek 1994; Schmidt-Bleek/Liedtke 1995; von Weizsäcker 1996) oder der Kommissionsstrategie für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen (European Commission 2005c) zu einer erhöhten Ressourceneffizienz/Ressourceneinsparung beitragen? Kann sie die ihr beispielsweise im Aktionsplan für Umwelttechnologie in der Europäischen Union zugesprochene Rolle erfüllen (European Commission 2004c)? Eine im Jahr 2004 erschienene Studie weist Energie- und Ressourcententlastungspotentiale für einzelne Anwendungen nach, stellt aber zugleich fest, dass eine allgemeine Steigerung der Ressourceneffizienz durch nanotechnologische Anwendungen nicht nachzuweisen ist (Steinfeldt et al. 2004). Der Herstellungsaufwand nanotechnologischer Anwendungen ist im Vergleich zu „traditionellen Verfahren“ in der Mehrzahl ressourcenintensiver, so dass eine ressourceneinsparende Wirkung nur dann zu erwarten ist, wenn diese zusätzlichen Aufwendungen durch Effizienzsteigerungen in der Nutzenphase kompensiert werden. Ferner stellt sich die Frage, ob und unter welchen technischen und ökonomischen Bedingungen Nanomaterialien recycelt werden können. Insbesondere der Einsatz seltener und unter großen (Ressourcen-)Aufwendungen gewonnener Metalle, der viele nanotechnologische Anwendungen auszeichnet, könnte sich hier als problematisch erweisen. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Ausmaß und Rolle der Nanotechnologie im Bezug auf den Ressourcenverbrauch noch weitgehend ungeklärt sind (vgl. Türk/Kuhndt 2004).

(3) *Bio- und medizinethische Aspekte*: Das Gesundheitswesen gilt als eines der vielversprechendsten Anwendungsgebiete der Nanotechnologie (vgl. Wood et al. 2003; AKM et al. 2004), wirft dabei aber zugleich in besonderem Maße ethische Fragen auf.

So wird beispielsweise durch die erweiterten, vereinfachten und verbesserten Diagnosemöglichkeiten die schon im Kontext der Gen- und Biotechnik aufgeworfene Frage nach dem Umgang mit persönlichen Daten zum Gesundheitszustand und Krankheitsdispositionen neu akzentuiert und verschärft (vgl. Baumgartner 2004: 43; Nanologie 2005b: 27ff.).

„Die Tendenz zum ‚gläsernen‘ Bürger wird zunehmen. Wissen über individuelle Krankheitsdispositionen, physiologische Besonderheiten usw. dürften von gesetzlichen Beschränkungen abgesehen, frei verfügbar werden. Das Recht auf Nichtwissen wird zur Debatte stehen. Missbrauchsrisiken werden zunehmen“ (TA-Swiss 2003: 86).

Die zunehmende Übernahme menschlicher Funktionen durch Artefakte der Nanotechnologie (IuK-Implantate, künstliche Organe u.ä.) und eine daraus unter Umständen resultierende Verbindung von Menschlichem und Technischem (human-machine-interface) wird kritisch diskutiert.<sup>12</sup> Es „könnten (...) durch eine direkte Ankopplung von maschinellen EDV-Systemen an das menschliche Gehirn völlig neue Schnittstel-

---

<sup>12</sup> „Noch hat die Frage danach, was wir als Menschen sind und was wir als Menschen sein wollen, einen eher philosophischen Zug. Mit den Fortschritten der Nanotechnologie und ihrer Anwendung auf den Menschen werden diese Fragen aber eine immer ‚praktischere‘ Bedeutung erlangen. Man wird sich nicht vor der Beantwortung dieser Fragen dispensieren können. Denn sie werden schließlich entscheidend dafür sein, ob man eine bestimmte Forschung, eine bestimmte Anwendung erlauben will oder nicht“ (TA-Swiss 2003: 87).

len zwischen Mensch und Maschine entstehen (...)“ (Grunwald 2004: 75). Es geht um die grundlegende Diskussion, wo die Grenzen zwischen Mensch und Maschine liegen und was dem Menschen seine eigene Identität verleiht.

Der Nanotechnologie wird das Potenzial attestiert, physische, mentale und sensorische Fähigkeiten des Menschen zu verbessern oder sogar umzugestalten (human enhancement). Dazu zählt u. a. die Erweiterung der menschlichen Wahrnehmungs- und Erkenntnisfähigkeit, die Erhöhung des Erinnerungs- und Konzentrationsvermögens, sowie die Steigerung der Arbeits- und Leistungsfähigkeit (vgl. Baumgartner 2004: 44; Roco/Bainbridge 2004). „Verbesserungen“ oder „Umgestaltungen“ des menschlichen Körpers werfen die Frage nach den Auswirkungen auf die Vorstellungen von Krankheit, Normalität und Behinderung auf.

(4) *Wirtschafts- und unternehmensethische Aspekte*: Das wirtschaftliche Potenzial der Nanotechnologie wurde schon im Kapitel 2 verdeutlicht. Eine wichtige Frage ist, wie das beschriebene wirtschaftliche und Innovationspotenzial der Nanotechnologie bei gleichzeitiger Berücksichtigung ethischer, legaler und sozialer Aspekte umgesetzt werden kann.

Auf der politischen Ebene sind erste konkrete Maßnahmen zur Berücksichtigung gesellschaftlich diskutierter Aspekte der Nanotechnologie bereits ergriffen worden. Seitens der öffentlichen Forschungsförderung wurde dieses Thema adressiert und in unterschiedlichen Ansätzen in Förderstrategien aufgenommen (vgl. European Commission 2004b: 19; NSTC et al. 2004: 13; BMBF 2004: 42f.). Über die explizite Berücksichtigung ethischer Aspekte auf Unternehmensebene hingegen liegen nur wenige detaillierte Informationen vor. Allerdings findet man vereinzelt eine ausführlichere Auseinandersetzung mit den Chancen und Risiken der Nanotechnologie, wie z.B. die Entwicklung eines *Verhaltenskodex Nanotechnologie* (vgl. BASF AG 2004) oder ein 2005 gestarteter Index börsennotierter Nanotech Firmen, zu deren Aufnahmekriterien u. a. Umwelt- und soziale Kriterien, Transparenz und Produkthaftung zählen (vgl. Innovest 2005).

Um das Engagement der Unternehmen zu forcieren, fordert die Europäische Kommission die Unternehmen zum Handeln auf (vgl. European Commission 2005b: 9). Explizit ethische, legale und soziale Aspekte der Nanotechnologie sollen in bereits bestehende Konzepte und Initiativen wie bspw. die Global Reporting Initiative, Corporate Social Responsibility oder die *triple bottom line* integriert werden (vgl. ebd.).

Die Akzeptanz der Nanotechnologie ist für den gesellschaftlichen Erfolg zentral. Vertrauen in die Nanotechnologie bzw. eine möglichst geringe Risikowahrnehmung, sowie ausreichende Informationen der Konsumenten werden gefordert: „For nanotechnology to achieve its full potential, all companies must act together to educate and inform the public“ (Deloitte 2005: 5).

## 5. Das Nanologue Projekt

Es wurde in den vorangegangenen Kapiteln am Beispiel der Nanotechnologie gezeigt, welche Bandbreite an Chancen und Risiken mit der Einführung neuer Technologien verbunden ist. Im Folgenden soll nun beispielhaft dargestellt werden, wie im Rahmen eines Praxisprojektes versucht wird diese zu adressieren. Im Nanologue-Projekt wer-



den unter Einbeziehung von Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft aus ganz Europa gesellschaftliche Chancen und Risiken nanotechnologischer Anwendungen diskutiert und erarbeitet. Nanologue ist ein von der Europäischen Kommission gefördertes Projekt und wird neben dem projektführenden Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie von der Eidgenössischen Material- und Prüfungsanstalt EMPA (Schweiz), dem Forum for the Future (UK) und triple innova (Deutschland) bearbeitet.

Den Fokus legt das Projekt auf die ethischen, sozialen und legalen Aspekte spezifischer Nanotechnologie-Anwendungen. Es zielt darauf ab, Meinungen und Einstellungen der gesellschaftlichen Akteure einzuholen, zu analysieren und Positionen herauszuarbeiten. Gleichzeitig sollen über die Thematik informiert und die beteiligten Akteure sensibilisiert werden. Das Projekt stößt somit – wie von der Europäischen Kommission in ihrem Aktionsplan „Nanoscience and Nanotechnologies: an Action Plan for Europe 2005-2009“ gefordert – einen internationalen und sachlichen Stakeholder-Dialog an, unterstützt die frühzeitige Berücksichtigung ethischer Grundsätze und die Beachtung gesellschaftlicher Sichtweisen bei der Forschung und Entwicklung (vgl. European Commission 2005b: 8f.).

Das im Frühjahr 2005 gestartete Projekt umfasst im Wesentlichen drei Schritte:

- (1) Eine Literaturstudie zu ausgewählten nanotechnologischen Anwendungen und den damit verbundenen ethischen, legalen und sozialen Aspekten;
- (2) Stakeholder Dialoge und Experteninterviews, um Meinungen und Informationen der beteiligten Akteure einzuholen und vorhandene Erkenntnisse zu vertiefen;
- (3) Erarbeitung von Szenarien, die helfen sollen, die im Projekt gewonnen Erkenntnisse in mögliche Zukunftsszenarien weiterzuentwickeln. Sie sollen zugleich als öffentlichkeitswirksame „Geschichten“ dienen.

Die Verbreitung der Projektergebnisse wird durch Medien-Workshops, Konferenz-Teilnahmen, Veröffentlichungen, die Internetpräsenz [www.nanologue.net](http://www.nanologue.net) sowie eine Projektbroschüre ermöglicht. Darüber hinaus entwickelt Nanologue ein sich besonders an Wirtschaft und Entwickler nanotechnologischer Applikationen richtendes internetbasiertes Bewertungsinstrument. Es versetzt auch „Nicht-Experten“ in die Lage, in kurzer Zeit einen ersten Überblick über mögliche Chancen und Risiken nanotechnologischer Anwendungen zu bekommen. Gezielte Fragen zu gesellschaftlichen Bedenken und Chancen sollen Hinweise auf mögliche zukünftige Risiken, Ablehnung oder Akzeptanz geben. Darüber hinaus soll das Instrument dazu beitragen, die in der Diskussion oftmals sehr abstrakt bleibenden Begrifflichkeiten wie Nachhaltigkeit, Ethik, soziale Verantwortung u. ä. in für den Nutzer stärker anwendungsbezogene und greifbare Sachverhalte im Kontext der Nanotechnologie „zu übersetzen“.

## 5.1 Der Nanologue-Ansatz

Auf die Herausforderung einen Dialogprozess zu einem solch breiten Themenfeld zu initiieren, musste das Projektkonsortium praktikable Antworten finden. Dabei stellten sich zu Beginn vor allem zwei Herausforderungen.

Zum einen ging es darum, das breite Spektrum möglicher ethischer, legaler und sozialer Aspekte im Kontext des Projektes zu interpretieren und zu fokussieren. Die Auffassungen darüber, was im Zusammenhang mit Nanotechnologie unter die Begriffe *ethisch* und *sozial* fällt, divergieren stark. Die seitens der Europäischen Kommission gewünschte explizite Berücksichtigung sozialer und legaler Aspekte über die ethischen Aspekte hinaus, liegt im *Actionplan* der Kommission begründet (European Commission 2005b: 8ff.).

Zum anderen galt es auch, den Begriff *Nanotechnologie* im Projekt zu fokussieren, denn wie bereits dargelegt, eröffnet dieser eine Vielzahl an unterschiedlichen Verständnissen und Zugängen. Hier war es nötig, die große Bandbreite der in Frage kommenden Technologiefelder zu reduzieren und genauer zu beleuchten. Durch mehrere aufeinander folgende Projektschritte wurden beide zentralen Herausforderungen bewältigt.

Die im Zuge der Nanotechnologie diskutierten gesellschaftsrelevanten Aspekte wurden innerhalb des Projektes zunächst unter *ethisch-legal-sozial* subsumiert. Die Begriffe *ethisch*, *legal*, *sozial* werden in der öffentlichen Diskussion und dem Verständnis im Rahmen vieler Dialogprozesse als Synonym für gesellschaftlich diskutierte Fragestellungen angesehen. Zu dieser Erkenntnis gelang das Nanologue-Projekt zu Beginn durch eine ausführliche Literaturanalyse. Ein Screening von Berichten, Studien, Projekt-Beschreibungen, Artikeln und Webseiten lieferte einen ersten Überblick über die aktuelle Debatte (vgl. Nanologue 2005a). Auf Grund der Vielschichtigkeit und Breite in der Diskussion um gesellschaftlich diskutierte Aspekte wurden *ethische, legale und soziale Aspekte* als Platzhalter verstanden. Es wurde im Anschluss nicht versucht eine genaue Unterteilung/Unterscheidung in *ethisch-legal-sozial* vorzunehmen, sondern herauszufiltern welche Fragestellungen innerhalb von *ethisch-legal-sozial* als zentral gelten. In einem sich anschließenden iterativen Prozess, Experten-Interviews, internen Evaluationen und dem Rückgriff auf die ausführliche Literaturstudie gelang es sieben für das Projekt zentrale Aspekte zu identifizieren: die *Umweltauswirkungen*, den Einfluss auf die *menschliche Gesundheit*, die *Privatsphäre*, den *Zugang zur Technologie*, die *Akzeptanz der Technologie*, Fragen der *Haftung* und schließlich *Regulierung* und *Kontrollierbarkeit*.

Wie auch bei den zentralen ethischen, legalen und sozialen Aspekten wurde zur Identifizierung der Anwendungen der Nanotechnologie ein Prozess durchlaufen. In einem ersten Schritt wurde bestimmt, welche Anwendungen generell im Kontext der Nanotechnologie von besonderer Bedeutung sind. Vor dem Hintergrund einen Dialog anzustoßen, wurden Nanotechnologie-Anwendungen ausgewählt, die auf der einen Seite unterschiedliche ethische, legale und soziale Fragen aufwerfen; auf der anderen Seite eine hohe Marktrelevanz versprechen. Folgende Anwendungsfelder wurden identifiziert: *Materialwissenschaften*; *Medizin und Life Sciences*; *Elektronik und IuK*; *Energie*.

Um zu konkreten Anwendungen zu gelangen, wurden im Anschluss 15 aktuelle Studien zu Nanotechnologie ausgewählt und detailliert analysiert. Dabei wurde eine weite Bandbreite der Studien berücksichtigt, um möglichst viele Sichtweisen und divergierende Auffassungen in den Entscheidungsprozess mit einfließen zu lassen. Neben der Analyse wurden außerdem Experteninterviews geführt. Es gelang so, den Blickwinkel von einer eher allgemeinen Diskussion um die Chancen und Risiken der Nanotechnologie auf konkrete Fragestellungen in Bezug auf die folgenden Anwendungsfelder zu

reduzieren: (1) Energieumwandlung und -speicherung, (2) Lebensmittelverpackungen und (3) medizinische Diagnoseverfahren.

## 5.2 Erste Ergebnisse

Für die drei genannten Anwendungsfelder wurde nun untersucht, mit welchen ethischen, legalen und sozialen Aspekten diese in Verbindung gebracht werden. Erste Erkenntnisse aus der Literatur aber auch aus projektinterner Analyse sollen für den Bereich medizinische Diagnostik beispielhaft vorgestellt werden.

Die folgende Abbildung zeigt einige der für ein medizinisches Diagnoseverfahren (hier: *Lab-on-a-chip*<sup>13</sup>) im ersten Projektabschnitt identifizierten Chancen und Risiken, eingeteilt nach den bereits beschriebenen Kategorien. Es wird im Bezug auf die Abbildung betont, dass dies eine Aufstellung der in der Literatur und den Medien gefundenen Positionen darstellt, weshalb sich manche der Chancen und Risiken scheinbar widersprechen.

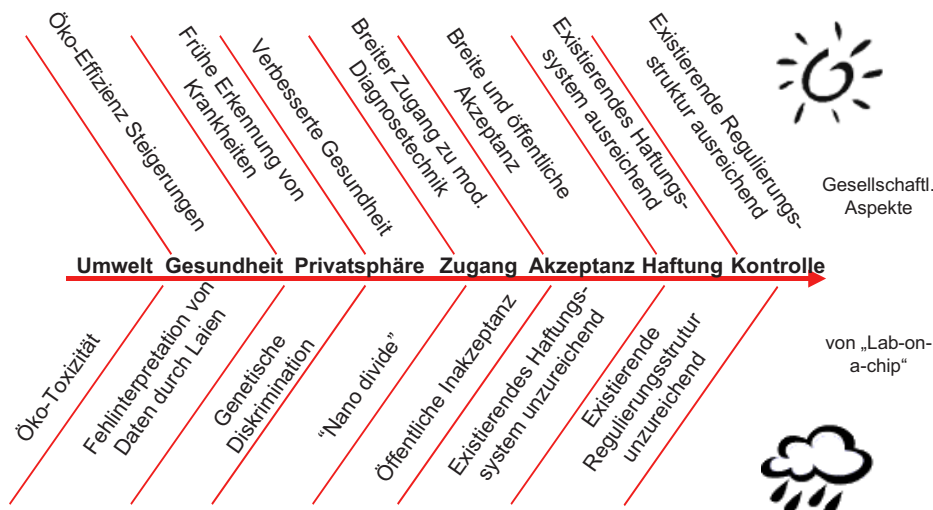


Abbildung 1: Gesellschaftliche Aspekte für die Nanotechnologie-Anwendung „Lab-on-a-chip“ (LOC) (eigene Quelle).

In sich anschließenden Experteninterviews wurden bei medizinischen Diagnoseverfahren zwei Aspekte als besonders relevant angesehen. Der Aspekt der *menschlichen Gesundheit* wurde von allen Experten als der wichtigste identifiziert. Die Chancen der Anwendung für die Verbesserung der menschlichen Gesundheit wurden betont. Risi-

<sup>13</sup> Innerhalb des Bereiches der medizinischen Diagnostik existieren zahlreiche Methoden für die Analyse molekularer Substanzen auf Krankheiten oder Krankheitsdispositionen. Eine dieser Methoden, bei denen die Nanotechnologie eine entscheidende Rolle spielt, ist die *Lab-on-a-chip*-Methode. Für detaillierte Informationen vgl. Nanologue 2005b: 25ff.

ken sehen die Experten u. a. im Hinblick auf die Wahrnehmung von Krankheiten und der Definition von Gesundheit. Der Aspekt der *Privatsphäre* wurde im Kontext medizinischer Diagnoseverfahren ebenfalls als wichtig betrachtet (vgl. Nanologie 2006).

## 6. Ausblick

Der Nanotechnologie wird immer größere Bedeutung zugesprochen. Das wirtschaftliche Potenzial der Technologie wurde im Rahmen dieses Artikels skizziert. Auch für die Gesellschaft erwartet man viele positive Impulse und Auswirkungen. Es ergibt sich jedoch gleichzeitig eine Vielzahl an gesellschaftlichen Fragestellungen, seien sie technikethischer, bio- und medizinethischer, verteilungsethischer oder wirtschaftsethischer Natur.

Die Politik und eine Vielzahl an gesellschaftlichen Akteuren und zunehmend auch Wirtschaftsvertreter haben diese Fragestellungen erkannt und treten für eine gesellschaftlich verantwortungsvolle Entwicklung der Technologie an. Die Vorstellungen einer solchen Entwicklung und Gestaltung divergieren jedoch und es werden unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt. Ein gesellschaftlicher Konsens über den gesellschaftlich verantwortungsvollen Umgang mit der Nanotechnologie ist noch nicht erreicht und es fehlt an einem verstärkten Dialog der unterschiedlichen von der Technologie betroffenen Akteure. Wie sich im Rahmen des Praxisprojektes gezeigt hat, ist es wichtig, gesellschaftliche Fragestellungen der Nanotechnologie an konkrete Anwendungen zu binden. Es kann so gelingen, sie im Anwendungsbezug zu konkretisieren und Lösungen zu generieren. Ein Konsens wird leichter erreicht, wenn konkrete Anwendungen und mit ihnen explizit verbundene ethische Fragestellungen zu Grunde liegen. Eine oftmals abstrakte Diskussion kann dadurch wesentlich fruchtbarer gestaltet werden.

Einige zentrale Erfolgskriterien für eine gesellschaftlich verantwortungsvolle Gestaltung und Entwicklung der Nanotechnologie sind im Folgenden dargestellt (vgl. Nanologie 2006: 73ff.). Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf dem Dialog über die Nanotechnologie.

Ein zu den technologischen Fortschritten und Entwicklungen parallel verlaufender Dialog über gesellschaftliche Aspekte muss angestoßen bzw. weitergeführt und verstärkt werden. Dieser Dialog sollte so angelegt werden, dass möglichst unterschiedliche gesellschaftliche Gruppen an ihm partizipieren können.

Es gilt, diesen Dialog im Kontext zu führen. Wie zu Beginn des Artikels und auch beim Vorgehen des Nanologie-Projektes angemerkt wurde, ist der Begriff *Nanotechnologie* wenig konkret. Darin liegt für einen sachlichen Dialog eine Gefahr. Spricht man bei den Risiken einzelner Anwendungen von „Risiken der Nanotechnologie“ werden diese gleich auf die gesamte Technologie projiziert und Nanotechnologie generell als negativ aufgefasst. Eine Differenzierung und Kontextualisierung im Anwendungsbezug hingegen ermöglicht ein besseres und sachlicheres Verständnis. Dazu ist es auch erforderlich, eine systematische Erforschung der Risiken verstärkt fortzuführen. Ergebnisse können als Grundlage eines sachlichen Dialoges dienen.

Die Transparenz und der Zugang zu Informationen innerhalb des Dialogprozesses sind entscheidend. Die Gefahr einer möglichen Inakzeptanz bei unzureichenden In-

formationen ist zu groß. Außerdem sollte die Offenheit des Dialoges auch eine Ergebnisoffenheit implizieren.

Noch befindet sich die Technologie in ihren Anfängen. Diese Möglichkeit der Einflussnahme auf die Entwicklung sollte verstärkt realisiert und genutzt werden.

## Literaturverzeichnis

- Aacbener Kompetenzzentrum Medizintechnik (AKM)/ Aacbener Gesellschaft für Innovation und Technologietransfer mbH (AGIT)/ Fraunhofer Institut für Lasertechnik (ILT)/ Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (IME)/ Institut für Gesundheits- und Sozialforschung GmbH (IGES) (2004): Nanotechnologie pro Gesundheit: Chancen und Risiken. Innovations- und Technikanalyse. Bericht im Auftrag des BMBF. Aachen.*
- ETC Group – Action Group on Erosion, Technology, and Concentration (2003): The Big Down. From Genomes to Atoms, Winnipeg.*
- BASF AG (2004): Verhaltenskodex Nanotechnologie, [http://www.basf.de/verhaltenskodex\\_nanotechnologie\\_de](http://www.basf.de/verhaltenskodex_nanotechnologie_de) (20.07.2005), Ludwigshafen.*
- Baumgartner, C. (2004): Ethische Aspekte nanotechnologischer Forschung und Entwicklung in der Medizin, in: Aus Politik und Zeitgeschichte (Beilage zur Wochenzeitschrift Das Parlament, B 23-24/2004, 1. Juni 2004, 39-46.*
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2004): Nanotechnologie erobert Märkte. Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie, Berlin.*
- Court, E./ Daar, A. S./ Martin, E./ Acharya, T./ Singer, P. A. (2004): Will Prince Charles et al. Diminish the Opportunities of Developing Countries in Nanotechnology?, in: nanotechweb.org, <http://www.nanotechweb.org/articles/society/3/1/1/1> (19.04.2005).*
- Decker, M./ Fiedeler, U./ Fleischer, T. (2004): Ich sehe was, was Du nicht siehst...zur Definition von Nanotechnologie, in: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis, Nr. 2, 13. Jg., Juni 2004, 10-16.*
- Deloitte (2005): Technology, Media & Telecommunications (TMT) Trends: Predictions, 2005. A focus on the technology sector, London.*
- ENTA – The European Nanotechnology Trade Alliance (2006): <http://www.euronanotrade.com/index.php?option=content&task=view&id=53&Itemid=37> (07.04.2006).*
- European Commission (2004a): Nanotechnology in the Sixth Framework Programme. Contributing to the creation of the European Research Area and to innovation (2002 to 2006), [http://www.cordis.lu/nanotechnology/src/pe\\_leaflets\\_brochures.htm](http://www.cordis.lu/nanotechnology/src/pe_leaflets_brochures.htm) (29.04.2005).*
- European Commission (2004b): Towards a European strategy for nanotechnology. Communication from the Commission, COM (2004) 338 final, Brüssel.*
- European Commission (2004c): Stimulating Technologies for Sustainable Development: An Environmental Technologies Action Plan for the European Union. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, COM (2004) 38, Brüssel.*
- European Commission (2005a): Overview of European-Level Initiatives in Nanosciences and Nanotechnologies, Vortrag, Renzo Tomellini (Head of Unit “Nanosciences and Nanotechnologies”, DG Research, European Commission), Workshop: “Research Training in Nanosciences and Nanotechnologies: Current Status and Future Needs”, 14.-15.04.2005, Brüssel.*
- European Commission (2005b): Nanoscience and nanotechnologies: An action plan for Europe 2005-2009. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament and the Economic and Social Committee, COM (2005) 243 final, Brüssel.*

- European Commission* (2005c): Thematic Strategy on the Sustainable Use of Natural Resources. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM (2005) 670 final, Brüssel.
- Fleischer, T.* (2002): Technikfolgenabschätzungen zur Nanotechnologie – Inhaltliche und konzeptionelle Überlegungen, in: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis, Nr. 3/4, 11 Jg., November 2002, 112-124.
- Grunwald, A.* (2004): Ethische Aspekte der Nanotechnologie. Eine Felderkundung, in: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis, Nr. 2, 13. Jg., Juni 2004, 71-78.
- Innovest* (2005): Nanotech benefits and potential risks: Innovest Launches Nanotech Index for the Value Investor, press release, 12.09.2005, New York.
- Jonas, H.* (1979): Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation, Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Käuflein, A.* (2004): Nanotechnik und Ethik, in: Die neue Ordnung, Jg. 58, Nr. 3/2004, <http://www.die-neue-ordnung.de/Nr32004/AK.html> (20.05.2005).
- Lewenstein, B. V.* (2004): Introduction to Social and Ethical Issues in Nanotechnology, <http://www.people.cornell.edu/pages/bvl1/NanoSEL.htm> (23.03.2005).
- Luther, W.,/ Malanowski, N.* (2004): Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt. Innovations und Technikanalyse, hrsg. von der Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH, Zukünftige Technologien, Nr. 53, Düsseldorf.
- Luther, W.* (2005): Potentiale der Nanotechnologie für Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft, in: GAIA, Ökologische Perspektiven für Wissenschaft und Gesellschaft, 14/1 (2005), 18-20.
- Meridian Institute* (2005): Nanotechnology and the Poor: Opportunities and Risks. Closing the Gaps Within and Between Sectors of Society, Washington D.C.
- Mnyusivalla, A./ Daar, A. S./ Singer, P. A.* (2003): “Mind the Gap”: Science and Ethics in Nanotechnology, in: Nanotechnology, 14 (2003), 9-13.
- Nanologue* (2005a): Nanologue Mapping Study – Summary of Key Findings from a Literature Study on Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnologies, by Türk, V./ Liedtke, C./ Stöber, S./ Kastenholz, H./ Köhler, A./ Knowles, H./ Aldrich, T./ Kuhndt, M./ Schaller, S., published under the Nanologue project; available at: [www.nanologue.net](http://www.nanologue.net).
- Nanologue* (2005b) Nanologue Background Paper on Selected Nanotechnology Applications and Their Ethical, Legal and Social Implications, by Trk, V./ Liedtke, C./ Kaiser, C./ Vedder, D./ Kastenholz, H./ Köhler, A./ Knowles, H./ Murray V., published under the Nanologue project; available at: [www.nanologue.net](http://www.nanologue.net).
- Nanologue* (2006): Nanologue Opinions on Ethical, Legal and Social Aspects for Nanotechnologies – Results from a Consultation with Representatives from Research, Business and Civil Society, by Türk, V./ Kaiser, C./ Liedtke, C./ Knowles, H./ Murray V./ Schaller, S./ Wallbaum, H./ Kastenholz, H./ Köhler, A., published under the Nanologue project, available at: [www.nanologue.net](http://www.nanologue.net).
- Nanotechnology Researchers Network Center of Japan (nanonet)* (2006): <http://www.nanonet.go.jp/english/> (07.04.2006).
- National Science and Technology Council (NSTC)/ Nanoscale Science, Engineering, and Technology Subcommittee/ Committee on Technology* (2004): The National Nanotechnology Initiative – Strategic Plan, Washington.

- Paschen, H./ Coenen, C./ Fleischer, T./ Grünwald, R./ Oertel, D.* (2003): TA-Projekt Nanotechnologie – Endbericht. Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Arbeitsbericht Nr. 92, Berlin.
- Roco, M. C./ Bainbridge, W. S.* (2003): Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. A Report for the National Science Foundation (NSF), Arlington.
- Roco, M. C.* (2004): Nanotechnology in U.S. – Research and Education and Risk Governance, Vortrag, 24.10.2004, Buxton, England, <http://www.nano.gov/html/res/NSETPresentations.htm> (09.05.2005).
- Schmidt-Bleek, F.* (1994): Wieviel Umwelt braucht der Mensch? Faktor 10 – das Maß für ökologisches Wirtschaften, Basel u.a.: Birkenhäuser.
- Schmidt-Bleek, F./ Liedtke, C.* (1995): Umweltpolitische Stichworte, Wuppertal Papers Nr. 30, Wuppertal.
- Steinfeldt, M./ Gleich, A. von/ Patschow, U./ Haum, R./ Chudoba, T./ Haubold, S.* (2004): Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte, Schriftenreihe des IÖW 177/04, Berlin.
- TA-Swiss – Zentrum für Technologiefolgenabschätzung* (2003): Nanotechnologie in der Medizin, Studie, TA 47/2003, Bern.
- Thayer, A. M.* (2005): Nanotech Investing, in: Chemical & Engineering News, Volume 83, Nr. 18, 17-24.
- The Royal Society/ The Royal Academy of Engineering* (2004): Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties, London.
- Türk, V./ Kubndt, M.* (2004): Will Nanotechnology Contribute to Sustainable Development? Article for nanoforum.org.
- Weizsäcker, E. U. v.* (1996): Faktor Vier: doppelter Wohlstand – halbiertes Naturverbrauch. Der neue Bericht an den Club of Rome, von Weizsäcker, E. U./ Lovins, A. B./ Lovins, L. H., 7. korrigierte Aufl., München: Droemer Knaur.
- Wood, S. J./ Geldart, A./ Jones, R. A.* (2003): The Social and Economic Challenges of Nanotechnology, Sheffield.