

Synthetische Nanopartikel – Entwicklungschancen im Dialog

1. Einleitung

Gegenwärtig kann es passieren, dass man ein Kärtchen ans Auto gesteckt bekommt oder einen Flyer neben der Kasse des örtlichen Einkaufsladens liegen findet, auf dem Nanotechnologie für den Heimgebrauch angepriesen wird, um beispielsweise Oberflächen wasserabweisend auszurüsten (1). Auch das Internet ist voll mit derartigen Angeboten (2).

Nanotechnologie steht für Fortschritt und für Innovation. Sehr Vieles auf diesem Feld eines jungen Wissenschafts- und Anwendungszweig sieht vielversprechend aus. Gerade die Ökologie scheint von dieser neuen Technologie profitieren zu können. Nur haben bekanntlich die Dinge häufig die sprichwörtlichen zwei Seiten; was auch in diesem Fall zutreffend ist. Denn es sind auch Probleme und Risiken zu beachten.

2. Was ist Nanotechnologie?

Sie gilt als eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts: Nanotechnologie (griechisch nano = Zwerg). Wir stoßen mit der Nanotechnologie in die Welt kleiner Teilchen vor, produzieren auf der Basis weniger Moleküle und erhalten Produkte mit ultradünnen Schichten oder ultrafeinen Partikeln, den Nanopartikeln. Nanopartikel sind Teilchen unterhalb von 100 Nanometer (1 nm = ein Millionstel Millimeter) Durchmesser. Sie sind ein Verbund von einigen bis zu mehreren hundert Atomen oder Molekülen.

Die wichtigsten im Einsatz befindlichen Nanopartikel sind:

- Carbon Black,
- Metalloxide wie Siliziumdioxid SiO₂, Titandioxid TiO₂, Aluminiumdioxid Al₂O₃, Zinkoxid ZnO und Eisenoxid (Fe₂O₃, Fe₃O₄),
- Halbleiter wie Cadmium-Tellurit CdTe und Gallium-Arsenid GaAs und
- Metalle wie Gold und Silber.

Carbon Black, auch Industrieruß genannt, wird z.B. in Reifen als verstärkender Füllstoff eingesetzt. Nanoskaliges TiO₂ wird in Sonnenschutzcremes eingesetzt, um die UV-Durchlässigkeit zu verringern. TiO₂ und ZnO wird u.a. in Kosmetika verwandt.

Kohlenstoff-Nanoröhren (Carbon Nano Tubes CNT) sind Röhren mit einem Durchmesser von einem bis zu 50 Nanometern. Sie sind in der Regel nur einige Mikrometer lang, vereinzelt auch länger. Sie zeichnen sich durch eine besonders hohe Zugfestigkeit aus und sind je nach Struktur leitend oder halbleitend. Einige Strukturen haben bei tiefen Temperaturen auch die Eigenschaften eines Supraleiters. Wegen ihrer Eigenschaft als Halbleiter werden sie unter

anderem für die Transistorherstellung bei Computerchips verwendet. Außerdem werden sie in der Display-Herstellung eingesetzt.

Neben den Kohlenstoff-Nanoröhren gibt es noch Nanoröhren aus anderen Materialien wie Metallnitriden, -sulfiden oder -halogeniden.

Fullerene sind ausschließlich aus Kohlenstoffatomen bestehende Makromoleküle. Besonders gut erforscht sind Fullerene in der Form C₆₀, C₇₀, C₇₆, C₈₀ etc. C₆₀ wird auch Buckminster Fullerene oder Buckyball genannt. Auf Fullerene setzt man besonders bei medizinischen Anwendungen.

Quantenpunkte sind 5 nm hohe und 100 nm große, pyramidenförmige Gebilde. Sie bestehen aus einigen tausend Atomen und auf einen Quadratzentimeter lassen sich etwa 100 Milliarden Quantenpunkte unterbringen. Unter geeigneten Rahmenbedingungen ordnen sich diese Quantenpunkte selbstständig und regelmäßig an. Sie stellen u.a. die Grundlage für neue Lasersysteme. (3)

3. Produkte und Entwicklungschancen

Die Zahl der heute auf dem Markt befindlichen Konsumprodukte auf Basis synthetischer Nanopartikel liegt schätzungsweise bei ca. 500. Dazu zählen Sonnenschutzcremes mit hohem UV-Schutz, nanoskalige Tonerpartikel für Kopierer und Drucker, kratzfeste Autolacke, wasser- und schmutzabweisende Textilien, Optimierte Elektronik-Bauteile (Chips, Festplatten, Diodenlaser etc.), Golf- und Tennisschläger mit Carbonbeimischungen mit erhöhter Stabilität, Beimischungen nanopartikulärer Materialien bei Babywindeln zur besseren Absorption der Feuchtigkeit, bei Frischhaltefolien zur höheren Reißfestigkeit und Gaspermeabilität und einiges mehr (3).

Für die Zukunft deuten sich zahlreiche weitere Anwendungen an: Automobilindustrie, Maschinen- und Anlagenbau, Energietechnik, Optik und Medizin sind Branchen, in denen mit Hochdruck an neuen Produkten gearbeitet wird.

Das geht einher mit der Schaffung von Arbeitsplätzen. Schon heute sind in Deutschland ca. 25.000 Personen durch die Nanotechnologie entstanden.

4. Arbeit und Umwelt – Nanotechnologie als Umwelttechnologie

Für den Standort Deutschland ist die Nanotechnologie von herausragender Bedeutung. Gerade in der Chemischen Industrie sind hier Innovationen in einer Branche möglich, deren Standardproduktion ansonsten von Verlagerung in Billiglohnländer bedroht ist.

Für die Umwelttechnologie ist ein Ausbau der deutschen Vorreiterposition gut vorstellbar. Dazu einige Beispiele für den Einsatz von Nanotechnologie in der Umwelttechnik:

- Katalysatoren (z.B. beim Abgaskatalysator in Automobilen und in Produktionsprozessen; 80% aller chemischen Produktionen durchlaufen mindestens eine katalytische Stufe)
- Wasserstoffspeicher für die Brennstoffzelle
- Entspiegelung von Solarzellen mit gesteigerter Energieausbeute
- Membranen für große Li-Ionen-Batterien (Bleiersatz, Gewichtsreduzierung)

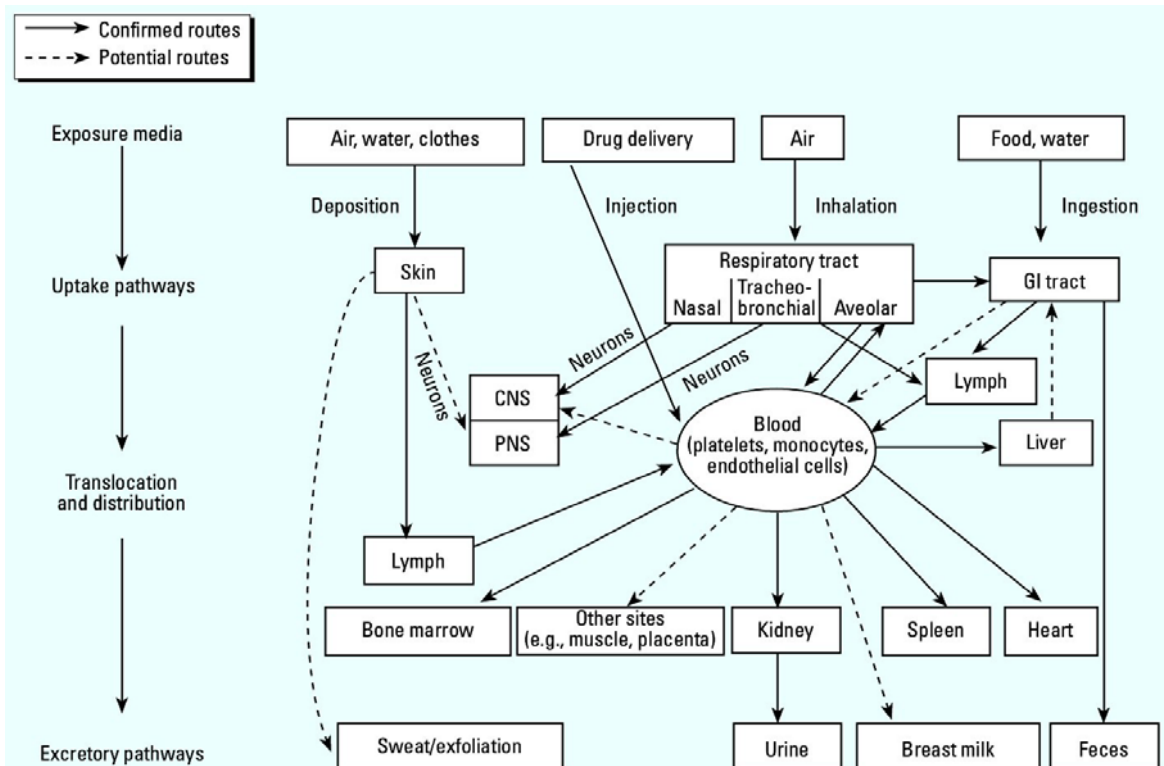
Diese Chancen für Produktion und Verwendung bringen neue Arbeitsplätze mit sich: Analysten rechnen mit 10.000 neuen Arbeitsplätzen im Bereich der Nanotechnologie bis Ende 2007 in Deutschland. Zurzeit setzen etwa 450 Unternehmen in Deutschland Nanotechnologie ein, 80 % davon rechnen laut einer Befragung mit einem wachsenden Bedarf an Mitarbeitern.

5. Risiken und offene Fragen

Die Versicherungswirtschaft (Swiss Re, Allianz (4)), die kanadische Umweltorganisation ETC-Group (5) und die Royal Society and Royal Academy of Engineering in Großbritannien (6) haben wichtige Vorarbeiten geleistet. Sie fragten nach Risiken der Nanotechnologie – genauer: Risiken von Nanopartikeln. Die Swiss Re verglich das Risikopotenzial mit dem von Asbest, die ETC-Group forderte ein Moratorium und verwies auf die mangelnde „global governance“ und die Royal Society untermauerte die Vielzahl und Bedeutung offener Wirkungsfragen.

Wir leben und handeln in Unwissenheit und Unsicherheit. Das gilt insbesondere für Nanopartikel. Während immer mehr Produkte, auch Konsumprodukte, auf Basis von Nanopartikeln auf den Markt kommen, ist eine Risikoabschätzung und –bewertung bis heute nicht möglich. Es ist unklar, welche synthetischen Nanopartikel in welcher Größe die Gesundheit schädigen können und wie Dosis-Wirkungsbeziehungen aussehen. Unklar ist zurzeit auch, welche Partikel sich ähnlich verhalten (z.B. kategorisiert nach Oberfläche, Größe, stoffliche Zusammensetzung, Coating etc.) und ob eine Einteilung der Nanopartikel in Risikoklassen möglich ist.

Es ist ebenfalls unklar, an welchen Stellen des Lebenswegs synthetischer Nanopartikel relevante Expositionen entstehen können. Und es fehlt an Messstrategien für die Teilchen.



Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Bonn: 25. Oktober 2005

Die nachgewiesenen und vermuteten Pfade von Nanopartikeln fassen Oberdörster et. al. (7) in obenstehender Grafik mit dem Titel „Biokinetik von synthetischen Nanopartikeln“ zusammen.

Wenn man mögliche Expositionen betrachtet, dann liegt es nahe, zunächst auf die Luft an Arbeitsplätzen zu schauen, an denen Nanopartikel hergestellt und verwendet werden. Experten nehmen an, dass die Expositionswahrscheinlichkeit bei der Verwendung von Nanopartikeln eher gegeben ist als bei der Produktion, weil dort höhere Sicherheitsstandards existieren. Hier fehle es auch noch an einer Messstrategie (was sind die wesentlichen Parameter? Wie können sie erhoben werden?), an geeigneten Screeningverfahren und an epidemiologischer Forschung. In der Zwischenzeit komme es auf die Information der anwendenden Betriebe und Beschäftigten an, auch über die Kennzeichnung von (Zwischen-)Produkten.

Für die Umwelt sind noch weitere Fragestellungen zu klären:

- Wie gelangen synthetische Nanopartikel in die Umwelt?
- Wie verhalten sich die Nanopartikel in der Umwelt?
- Welche Wirkungen haben Nanopartikel in der Umwelt?
- Welche synthetischen Nanopartikel können als Transportmittel für andere schädliche Stoffe dienen? Oder durch welche anderen Stoffe werden synthetische Nanopartikel verbreitet?

6. Ein Querbezug zur Feinstaubdiskussion

Relativ viel ist bekannt zum Komplex der Feinstaubbelastungen der Außenluft und ihrer Wirkung auf den Menschen.

Epidemiologische Untersuchungen zeigen, dass erhöhte Morbidität und Mortalität in der Bevölkerung einhergeht mit hohen Feinstaubkonzentrationen in der Außenluft. Diese Erkenntnisse werden gestützt durch Ergebnisse aus Tierversuchen und der medizinischen Forschung (8). Die WHO nennt als aggregierte Auswirkung für Deutschland durch die aktuelle Feinstaubbelastung eine mittlere verkürzte Lebensdauer von gut 10 Monaten.

Die besonders feinen Partikel der Feinstäube liegen im Korngrößenbereich unter 500 nm oder sogar darunter. Die Tatsache, dass die Partikelgröße der Feinstäube der Außenluft den Bereich der synthetischen Nanopartikel umfasst, kann nicht gleichgesetzt werden mit deren Toxizität. Hier spielen zusätzlich auch Kriterien wie deren chemische Zusammensetzung eine Rolle. Die Querbetrachtung zwischen Feinstäuben aus der Umgebungsluft auf synthetische Nanopartikel kann daher nicht pauschal erfolgen. Aber die Erkenntnisse über gravierende Gesundheitsauswirkungen von Feinstäuben aus der Außenluft auf die Allgemeinbevölkerung berechtigt schon zu der Schlussfolgerung, dass eine genauere Analyse der Risiken von synthetischen Nanopartikeln erforderlich ist.

7 Was leistet das existierende Recht und die zukünftige EU-Chemikalienpolitik (REACH)?

In der bisherigen Diskussion über Nutzen und Risiken der Nanotechnologie wird von einer Teilmenge der Stakeholder die Position eingenommen, dass keine rechtlichen Regelungen erforderlich sind, weil die vorhandenen Regelungen alle Risiken und erforderlichen Schutzmaßnahmen abdecken. Da wir gegenwärtig gar nicht wissen, ob es Risiken gibt und wenn ja, welcher Art diese sind, ist diese Einschätzung über die existierende Rechtslage gewagt.

Daher sollte die Frage eines ggf. gegebenen Regulierungsbedarfs unideologisch betrachtet werden und in dem Moment auf die Tagesordnung gesetzt werden, wenn wir mehr Fakten und mehr Wissen zur Verfügung haben. Natürlich hat die existierende Rechtslage das Thema Nanotechnologie noch nicht abgedeckt, weil vor 10 oder 20 Jahren, wo das heutige Stoffrecht erdacht wurde, die Nanotechnologie noch nicht erfunden war.

Und auch die zukünftigen Regelungen zum neuen europäischen Stoffrecht, unter dem Kürzel können. REACH geht es um die Bewertung von Altstoffen, die bis heute nicht ausreichenden durchgecheckt sind. Diese Sicherheitsprüfung soll aber nach konventionellen toxikologischen und ökotoxikologischen Tests und Kriterien erfolgen. Dies deckt die Fragestellungen der Nanotechnologie überhaupt nicht ab; kann es auch gar nicht, weil und gegenwärtig die für die Bewertung von Nanopartikeln erforderlichen Testmethoden und Kriterien noch gar nicht zugänglich sind bzw. noch entwickelt werden. [A2]So wird – wie im derzeitigen Chemikalienrecht - ein Stoff nicht als neuer Stoff betrachtet, wenn er in sehr geringer Partikelgröße hergestellt und verwendet wird, auch wenn er beispielsweise mit der abnehmenden Partikelgröße sein toxikologisches Profil stark verändern würde.

8. Warum hat der BMU einen Stakeholder-Dialog begonnen ?

Bei Technologien wie der Biotechnologie sind in Deutschland in der Vergangenheit Fehler gemacht worden, die bis heute zu erheblichen Akzeptanzdefiziten gegenüber den Technologien führen. Dazu gehört der mangelnde Informationsaustausch zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Behörden und gesellschaftlichen Gruppen. Und dazu gehört, dass es erst spät erkannt wurde, dass Strategien für Untersuchung und Regulierung eine gemeinsame Aufgabe sind, wenn die Gesellschaft sich zu Chancen und Risiken bekennen soll.

Bei der Nanotechnologie suchen alle beteiligten Kreise heute bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt das Gespräch und den Informationsaustausch. Sie wollen die Entwicklung der Technik diskursiv begleiten und gestaltende Verbraucherschutz- und Umweltpolitik betreiben.

Eine wichtige Voraussetzung dazu ist ein intensiver Informations- und Meinungs-austausch zwischen allen betroffenen Kreisen (Stakeholdern). Er ist mit der Tagung in Bonn im Oktober 2005 begonnen worden. Für die in dieser Situation erforderlich Risikokommunikation halten es die Tagungsteilnehmer für wichtig, einen gemeinsamen Weg zu beschreiten, der auf Grundlage einer verbindlichen Struktur zu Glaubwürdigkeit, Vertrauen und Akzeptanz führt.

Die Auftaktveranstaltung im Oktober 2005 hatte folgende Ergebnisse:

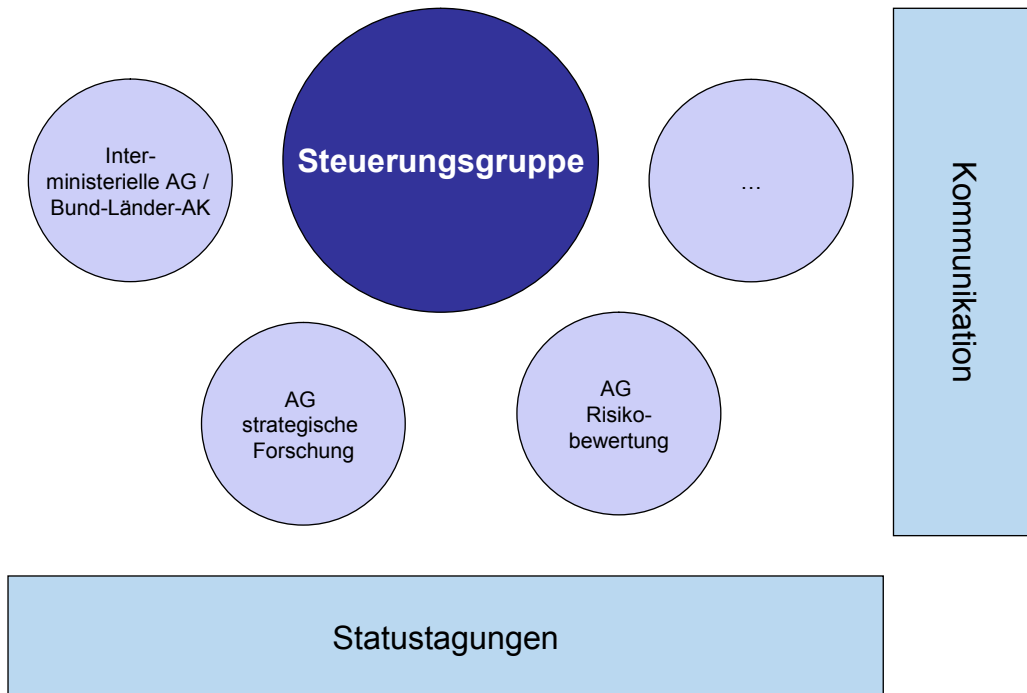
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Bonn: 25. Oktober 2005

- Nanopartikel und nanotechnische Produktionsverfahren besitzen enorme Chancen für neuartige Produkte inkl. umwelttechnischer Einsatzzwecke.
- Nanotechnische Produktionsverfahren bieten Möglichkeiten zur Ressourcenschonung und besseren Energieeffizienz.
- Die Zahl nanotechnisch beeinflusster Produkte steigt steil an. Gleichzeitig liegen öffentlich keine Daten über Exposition gegenüber synthetischen Nanopartikeln vor.
- Messtechniken für Nanopartikel liegen vor, sie werden bislang wenig eingesetzt. Daten über synthetische Nanopartikel in der Umwelt sind so gut wie nicht vorhanden.
- Es ist unbekannt, an welchen Stellen des Lebensweges von Nanopartikeln und daraus erzeugten Produkten eine Exposition auftreten kann und wer davon betroffen ist. Der Schwerpunkt liegt zurzeit bei Fragen des Arbeitsschutzes.
- Da die Kenntnisse derzeit zu gering sind, bleibt unklar, ob die bestehenden Regulierungsmechanismen (inkl. REACH als kommendem System) für die Begrenzung von Umwelt- und Gesundheitsrisiken ausreichen. Weitgehende Einigkeit besteht darüber, dass in der aktuellen Situation von Unwissenheit und Unsicherheit gerade die Expositionswahrscheinlichkeit ein Maßstab für vertiefende Untersuchungen sein sollte.
- Die Biokinetik von Nanopartikeln wird zurzeit untersucht, Untersuchungsergebnisse legen nahe, dass es neuartige Wege gibt, auf denen Nanopartikel in den menschlichen Organismus gelangen können, z.B. über die Nase ins Gehirn.
- Die Wirkungsendpunkte von Nanopartikeln sind ungeklärt. Toxikologische Daten zu Nanopartikeln liegen nur sehr vereinzelt öffentlich vor. Prof. Krug (Forschungszentrum Karlsruhe) weist auf die Bedeutung der Schwermetallaufnahme und –wirkung durch schwermetallhaltige Nanopartikel hin. Prof. Oberdörster (University of Rochester, USA) hat Hinweise auf Entzündungen durch Nanopartikel gefunden.
- Für eine Risikoeinschätzung und –bewertung sind die Daten unzureichend. Von der Risikokommission wird die Trennung von Einschätzung und Bewertung gefordert, die in verschiedenen besetzten Gremien erfolgen sollte.
- In der Öffentlichkeit sind mögliche Risiken von Nanopartikeln kaum bekannt. Dr. Wiedemann (Forschungszentrum Jülich) hat in einem Experiment gezeigt, dass Laien eher unbekannte Risiken vermuten. Mögliche Risiken müssen unabhängig von dem mit der Technik oder Anwendung verbundenen Nutzen eingeschätzt werden.

Konkret will die Bundesregierung eine Steuerungsgruppe einrichten, an der neben mehreren Ministerien die Wirtschaft, Wissenschaft und gesellschaftliche Gruppen mitwirken sollen. Ihre Dialogthemen sollen in weiteren Kreisen bearbeitet werden. Außerdem ist eine verstärkte Kommunikation mit der Öffentlichkeit sowie die etwa jährliche Bilanzierung des Wissensstands in einer Konferenz vorgesehen.

Mögliche Struktur Nano-Dialog



9. Ausblick

Nanotechnologie ist gerade unter ökologischen Gesichtspunkten eine interessante Entwicklung (ressourcen- und energieeffizient, neue Anwendungsfelder). Nanotechnologie kann damit zu einer Erfolgsgeschichte unter der großen Überschrift „Arbeit und Umwelt“ werden. Allerdings müssen hierfür parallel die Risikofragen intensiv bearbeitet werden und ein offener und transparenter Dialog über Nutzen und Risiken geführt werden. Hierzu sind die Anfänge gemacht. Die Aufgabe der nahen Zukunft wird es sein, für diesen Prozess die wichtigen Meilensteine zu vereinbaren und die erforderlichen Arbeits- und Kommunikationsstrukturen zu schaffen.

10. Referenzen und Links

¹ <http://www.devoda.com>

² <http://www.nanotol.de/> oder <http://www.iir.de/1x1nanotech>

³ Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF [Hrsg.] (2004) Nanotechnologie erobert Märkte. Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie. Berlin: Eigenverlag.

⁴ Swiss Re (2004) Nanotechnologie: Kleine Teilchen – große Zukunft? Reihe Risk Perception Zürich: Eigenverlag

⁵ ETC Group [Hrsg.] (2003) The big down

⁶ The Royal Society, The Royal Academy of Engineering [Hrsg.] (2004) Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties.

⁷ Oberdörster, Günther; Oberdörster, Eva; Oberdörster, Jan (2005) Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles. In: Environmental Health Perspectives. Vol. 113 Nr. 7 S. 823-839

⁸ Lahl, U. Steven, W.: Feinstaub eine gesundheitspolitische Herausforderung, Pneumologie, Heft 10, 2005

Weitere Informationen zu den Bemühungen des BMU: www.dialog-nanopartikel.de

Weitere Referenzen: TAB Büro für Technikfolgenabschätzung [Hrsg.]; Paschen, Herbert; Coenen, Christopher; Fleischer, Torsten; Grünwald, Reinhard; Oertel, Dagmar; Revermann, Christoph (2003) Nanotechnologie. TAB-Arbeitsberichte Nr. 92. Berlin: Eigenverlag. (Auch als Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages unter Drucksache 15/2713 veröffentlicht.)

Und: VDI-TZ ZTC Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH [Hrsg.] (2004): Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt. Innovations- und Technikanalyse.