Eine kleine Dosis Nanotoxikologie
oder
Eine Einführung in die Toxikologie der Nanoteilchen

Ein Buchkapitel aus
Eine kleine Dosis Toxikologie – Nanotoxikologie
von

Steven G. Gilbert, PhD, DABT
Institute of Neurotoxicology & Neurological Disorders (INND)
Seattle, WA 98115

E-mail: sgilbert@innd.org

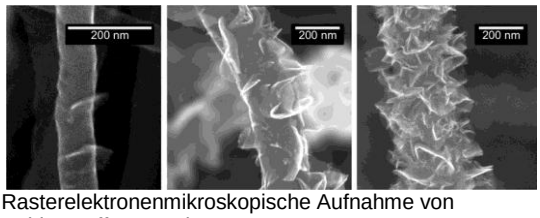
Supporting web sites
web: www.asmalldoseof.org - "A Small Dose of Toxicology"
web: www.toxipedia.org - Connecting Science and People

Dossier

Name: Nanotoxikologie
Definition von Nanomaterialien: Materialgröße von 1 bis 100 nm (1nm entspricht einem Milliardstel Meter)
Verwendung:
In einer Reihe von Chemikalien, wie Pestizide, Kunststoffe, Flammschutzmittel, Medizin, Farben, Kosmetika, Sonnenschutzmittel, Kleidung, Babyspielzeug und vieles mehr
Quelle: Synthesechemie, Fabriken
Empfohlene Tagesdosis: keine (nicht essentiell)
Aufnahme: Darm, Atemwege (Lunge), Haut
Empfindliche Personen: Föten und Kinder, Arbeiter
Toxizität/Symptome: endokrinen Systems, ähnelt den Östrogen, anti-östrogen Wirkung, Auswirkungen auf die Hormonspiegel, Geschlechtsmerkmale, Reproduktion, Entwicklungsstörungen
Grenzwerte: FDA und EPA überprüfen die Nutzung und möglichen Gefahren von Nanomaterialien
Generelles: tonnenweiser Einsatz in sämtlichen Produkten
Umwelt: weit verbreitet in der Umwelt verteilt und kann wildes Leben beeinflussen
Empfehlungen: Gebrauch minimieren, die Exposition gegenüber Kindern vermeiden und nach Alternativen suchen

Fallstudien

Kohlenstoffnanoröhren – Eine Gefahrfür die Gesundheit?



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Kohlenstoff-Nanoröhren

Kohlenstoffnanoröhrchen (KNR) werden üblicherweise aus einer einatomigen Kohlenstoffschicht gebildet, die zusammen gerollt und im Inneren hohl ist. Diese Nanoröhrchen können entweder einwandig oder mehrwandig sein. Dabei hat ein einwandiges Nanoröhrchen einem Durchmesser von 1 nm. KNR sind für die Industrie attraktiv, weil sie mehrere außergewöhnliche Eigenschaft haben, wie hohe Härte und Festigkeit, thermische und elektrische Leitfähigkeit, sowie

andere Eigenschaften, die Herstellung bedingt sind und auch von den zugesetzten Chemikalien abhängen. KNRs spielen eine Rolle in Industrieprozesse, sowie Konsumprodukten, wie Ski, Baseballschläger, Golfschläger, Autoteile, Lacke und andere. Es gibt Bedenken, dass KNRs für die menschliche Gesundheit und die Umwelt schädlich sein können. Die physikalische Struktur der Nanoröhrchen erscheint in der Vergrößerung ähnlich der von Asbestfasern, die lang und spitz sind. Das Einatmen von Asbest kann nach einer Latenzzeit von 20-40 Jahren zu einem malignen Mesotheliom, einem Lungenkrebs, führen. In der Zeit zwischen 1999 und 2005 starben an diesem Krebs rund 18.000 Menschen. Studien mit Nagetieren offenbarten Lungenschäden von KNRs, die denen von Asbest verursachten glichen. Dies hat wichtige Auswirkungen für Menschen, die KNRs anwenden. Große Vielfalt in der Größe, Form, Oberflächen und chemischen Beschichtungen erschweren toxikologische Studien und deren Reproduzierbarkeit erheblich. Einige Studien zeigen, dass KNRs die Zellwände durchstoßen und zu Zelltod führen können.

Nanosilber

Silber hat viele interessanten Eigenschaften, aber besonders wegen seiner antibakteriellen Eigenschaften wurde es in Konsumgüter hinzugefügt. Vor mehr als 2000 Jahren erkannte Hippokrates (460-370 v. Chr.) die antimikrobiellen und heilenden Eigenschaften von Silber. Seit dem 19. Jahrhundert sind die antimikrobiellen Eigenschaften von Silber gut bekannt und werden in einer Reihe von medizinischen Behandlungen eingesetzt. So wurden Silbermünzen in Milch getaucht, um ihre Frische zu bewahren. Silbersulfadiazin wurde erfolgreich eingesetzt, um Infektionen zu behandeln und als Antiseptikum in der Behandlung von Verbrennungen. Der medizinische Silberverbrauch sank mit der Einführung von Antibiotika. In jüngerer Zeit hat sich der Silberverbrauch durch Silber-imprägnierte Wundauflagen besonders für Patienten mit Verbrennungen erhöht. Die leichtere Herstellung von Nanosilber hat eine Reihe von Konsumgütern hervorgebracht, die die Vorteile der antibakteriellen Eigenschaften nutzen. Die Produktpalette reicht von Nanosilber imprägnierte Spielzeugsocken, Küchengeräte, Farben, Sonnenschutzmittel und Kosmetika, um nur einige zu nennen. Trotz zunehmender Verwendung von Nanosilber in Industrie-und Konsumgüter, wurde es keiner systematischen Bewertung über Umwelt-oder Gesundheitsgefahren unterzogen. Es wurde deutlich, dass Nanosilber auf eine Vielzahl Körperzellen giftig sein kann, wie Lunge, Leber, Niere und Gehirn. Es gibt auch Hinweise, dass Nanosilber leicht durch Einatmen und Hautkontakt aufgenommen werden kann.

Bär-Spielzeug mit Nanosilber

Darüber hinaus gibt es Bedenken hinsichtlich der Freisetzung von Nanosilber aus Konsumgüter in die Umwelt. Die toxischen Eigenschaften von Silber sind die der anderen Schwermetallen ähnlich, aber der Vorteil schien darin zu liegen, dass Silber im Gegensatz zu anderen Metallen wie Quecksilber, Blei oder Arsen nur minimal toxisch für den Menschen ist. Silberlösungen oder auch kolloidales Silber werden als Alternativmedikamente mit einer Vielzahl von unbewiesenen Indikationen vermarktet.

Nanomaterialien in Sonnenschutzcreme

Die ultraviolette Strahlung der Sonne ist ein hervorragendes Beispiel zur Dosis-Wirkungsbeziehung, wobei eine geringe Dosis von Vorteil ist und höhere Dosen (Expositionen) schädlich sein können. Eine geringe Dosis oder Exposition von Sonnenlicht (UVB mit einer Wellenlänge von 290-315 nm) ist für die Vitamin D-Synthese notwendig. Eine zu hohe Belastung an ultraviolette Strahlung auf die ungeschützte Haut kann zu Sonnenbrand, Hautkrebs und vorzeitige Alterung führen. Auch kann UV-Strahlung Grauer Star der Augen auslösen. Eine zu hohe Strahlenexposition ist Gen verändernd, was zu zellulären DNA-Schäden führt, die Krebs bewirken können. Um sich gegen diese unerwünschten Auswirkungen des Sonnenlichtes zu schützen, kann man die Exposition durch Schutzkleidung oder durch Auftragung von Sonnenschutzmittel auf die geschützte Haut begrenzen. Sonnenschutzmittel sind Chemikalien, die UV-Strahlung absorbieren oder reflektierenden, wie Zinkoxid oder Titandioxid. Die typischen Sonnenschutzmittel blockieren UV-B-Strahlung, die Sonnenbrand bewirkt, lassen aber UV-A durch. Daher sollte ein Sonnenschutzmittel verwendet werden, welches sowohl UV-B als auch UV-A- Strahlung blockiert. Viele Sonnenschutzmittel verwenden Zink- oder Titanteilchen, da dieses Material im Nanobereich transparent wird. Daher erscheint weißes Titan transparent. Die Wirkstoffe können aber auch als Nanopartikel verwendet werden, um ihre Wirksamkeit zu erhöhen. Das Problem hierbei ist, dass die Nanopartikel möglicherweise durch die Haut absorbiert werden und mit bekannten Folgen in die Umwelt gelangen.

Einführung und Geschichte

Nanometer ist ein Milliardstel eines Meters (10^{-9})
Es kommt aus dem Griechischen “nanos” ‘Zwerg’
Nanopartikel 1 – 100 Nanometer

"Die Nanotechnologie ist das Verständnis und die Kontrolle der Materie, in dem Bereich zwischen 1 und 100 Nanometer in dem einzigartige Phänomene möglichen sind und neuartige Anwendungen."
(siehe www.nano.gov)

Nanomaterialien oder Nanopartikel liegen in dem Bereich zwischen 1 und 100 Nanometern. In diesem Bereich können sich die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Materials ändern. So ist zum Beispiel Titan in der Regel weiß, wird aber im Nanobereich transparent. Die geringe Größe der Nanopartikel bedeutet eine viel größere Oberfläche im Verhältnis zum Volumen und diese macht das Material potentiell reaktiver. Nanopartikel können auch mit Substanzen beschichtet werden, die mit der Umgebung reagieren können.

Ein Nanometer im Überblick

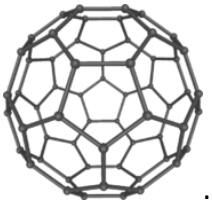
- Ein Blatt Papier ist etwa 100,000 nm dick.
- Ein menschlicher DNA-Strang hat einen Durchmesser von 2.5 nm
- Ein menschliches Haar hat einen Durchmesser von 80,000-100,000 nm
- Ein einzelnes Goldatom hat einen Durchmesser von 1/3 Nanometer
- Ein Nanometer ist ein Millionstel eines (10^{-9}) Millimeters

Die Verwendung von Nanomaterialien reicht viele Jahrhunderte zurück, als die Menschen sie unbewusst für eine Vielzahl von Objekten einsetzten (vgl. Tabelle unten). So wurde kolloidales Gold und Silber als Glasfarbe im römischen Lycurgus-Becher verwendet, der eine opake Grünfärbung aufweist, aber rot erscheint, wenn das Licht von innen kommt. Der berühmte Stahl der Damaskus-Schwerter wurde durch Kohlenstoff Nanoröhren gehärtet, die bei der Formgebung des Stahlblattes auftraten.

Römischer Lycurgus-Gefäß

Das Verständnis dieser interessanten Phänomene und das Entstehen eines neuen Gebietes der Nanotechnologie war nur durch stetige Fortschritte in dieser Technologie möglich. 1936 wurde das Feldemissionsmikroskop durch Erwin Müller (1911-1977) erfunden, welches experimentelle Beobachtung von Atomen ermöglicht. Der nächste große Fortschritt gelang 1981 durch Gerd Binnig und Heinrich Rohrer am IBM-Labor Zürich durch die Erfindung des Rastertunnelmikroskops, welches Abbildungen auf atomarer Ebene ermöglicht und so gestattete, einzelne Atome zu „sehen“. Zwischenzeitlich wurde 1959 durch den Physiker

Richard Feynman in einem Vortrag mit dem Titel „There's plenty of Room at the Bottom“ Einsatzmöglichkeiten der Nanotechnologien vorausgesagt. Er prophezeite, dass es eines Tages mit einer Technologie gelänge, einzelne Atome und Moleküle zu manipulieren. 1985 wurde der so genannte „Buckyball“ entdeckt. Dies ist eine Struktur bestehend aus Kohlenstoff-Atomen, die etwa die Form eines Fußballs haben, allerdings nur viel kleiner (vgl. Abbildung). Kurz darauf wurde 1991 Kohlenstoffnanoröhren entdeckt. Sie sind röhrenförmig, sehr stabil und besitzen eine Reihe interessanter Eigenschaften. In den 1990er Jahren erscheinen Nanomaterialien in Konsumgüter. Die US-Regierung bemerkte dies und gründete die National Nanotechnology (NNI), um die Forschungen und Entwicklungen zu koordinieren und diese Technologie zu fördern (http://nano.gov/). Es erschienen Umweltberichten, die die Notwendigkeit von möglichen gesundheitlichen, sozialen, ethischen und rechtlichen Fragen der Nanotechnologie erörterten. Die Herausforderung besteht heutzutage darin, die Folgen einer menschlichen und ökologischen Exposition dieser Nanomaterialien zu bewerten und abzuwägen.



Meilensteine in der Nanotechnologie

Jahr	Ereignis
~300 v. Chr.	Lycurgus Becher (Rom), dichromatisches Glass, erscheint opak Grün, und beim Durchscheinen von Innen Rot, als Ergebnis von kolloidal verteiltem Gold und Silber im Glass. http://www.nano.gov/timeline
~600-1500	Gefärbtes Fensterglas in europäischen Kirchen enthalten Nanopartikel von Goldchlorid und Metalloxide
~1200-1800	Die Säbelklinge von “Damaskus” enthält Kohlenstoffnanoröhren und Eisenkarbid
1857	Nanogoldlösungen erscheinen je nach Lichtverhältnisse in unterschiedlicher Farbe, wie von Michael Faraday (1791-1867) gezeigt werden konnte
1936	Feldelektronenmikroskope entdeckt von Erwin Müller (1911-1977) lassen experimentelle Beobachtungen von Atome zu
1959	"There's Plenty of Room at the Bottom" – Erste Vorlesung über Technologie und Ingenieurskunst auf atomarer Ebene von Richard Feynman (1918-1988) am California Institute of Technology
1981	Raster-Tunnelmikroskop erfunden von Gerd Binnig und Heinrich Rohrer am IBM Labor in Zürich lab –erlaubt die Darstellung von Oberflächen auf atomarer Ebene und setzt Wissenschaftler in die Lage Atome „zu sehen“

1985	Buckminsterfullerene (C60) oder “buckyball” wurde von Forschern an der Rice University entdeckt, sie sind fußballförmig und bestehen komplett aus Kohlenstoffatome
1986	Rasterkraftmikroskop erfunden – ermöglicht Material auf Bruchteile eines Nanometers zu sehen und zu bearbeiten
1991	Kohlenstoffnanoröhrchen – sehr stabil, mit guter elektrischer und thermaler Leitfähigkeit, gänzliche aus Kohlenstoff zusammengesetzte Röhrchen
1999-to?	Konsumgüter mit Hilfe auf Grundlage der Nanotechnologie: von Autos bis zu Golfbälle und von Farbe zu Kleider
2000	Die National Nanotechnology Initiative (NNI) wird von Präsident Clinton ins Leben gerufen, um die Nanotechnologien zu fördern und zu koordinieren (http://nano.gov/)
2004	Nanowissenschaft und Nanotechnologien: Chancen und Risiken veröffentlicht von der britischen Royal Society und der Royal Academy of Engineering, verteidigen die Notwendigkeit und das Potential der Nanotechnologie auf die Gesundheit, Umgebung, soziale, ethische und gesetzliche Anforderungen
2008 aktualisiert 2011	Nanotechnologie bezogene Forschung auf Umwelt, Gesundheit und Sicherheit veröffentlicht von der US NNI (http://nano.gov/node/681)`
	*ausführliche Liste unter: http://www.nano.gov/timeline

Nanomaterial in der Anwendung

Gemäß einer Liste, die von dem Project on Emerging Nanotechnologies (siehe http://www.nanotechproject.org/) zusammengestellt wurde, gibt es mehr als 1300 identifizierte Konsumgüter. Zu diesen Produkten zählen Babyspielzeug, wie Babybären und –decken, die mit Nano-silber imprägniert sind, sowie Sonnenschirme und Kosmetika, Küchenutensilien, Socken und Hemden, Farbe, Computerprodukte, Golfschläger und vieles mehr. Silbernanopartikel werden in einer Vielzahl von Produkten eingesetzt, um Bakterien abzutöten. Nanosilber wird als natürlich und „als klinisch sicher gegen schädliche Bakterien, Schimmel und Milben“ gepriesen. Nanopartikel in Farbe werden zur Verbesserung der Haftfähigkeit und Antischimmeleigenschaften beworben.

Nanomaterialien sind ebenfalls weit verbreitet in Forschungslaboren in Hochschulen und Industrie, um die Eigenschaften der Nanopartikel zu erforschen und neue Anwendungen zu finden.

Ein Hauptanliegen ist es, zu bestimmen, welche Produkte oder Eigenschaften mit Nanopartikel versehen werden können, sowie der Typ und die Menge der Nanopartikel. Die amerikanische Umweltbehörde EPA bemerkt hierzu: „das Verfolgen der Produkte, die Nanosilber enthalten, wird immer schwieriger, da diese Produkte fast immer unter zahlreichen Markennamen auftauchen und die aktuellen Kennzeichnungsvorschriften nicht verlangen, dass die Nanomaterialien gesondert aufgeführt werden.“ Karten, die detailliert die Verwendung und Verbraucherproduktinformationen von Nanomaterialien auflisten, sind bereits verfügbar (siehe http://www.nanotechproject.org/inventories/map/). Einige Organisationen arbeiten an einer Wiege-bis-zur-Bahre Kosten-/Risikobewertung für Nanopartikel, mit den potenziellen Gefahren für Herstellung, Verwendung und Entsorgung (http://www.epa.gov/nanoscience/files/NanoPaper1.pdf , August 2010). Die europäische Union erließ hierfür CLP Vorschriften, (Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung, Classification, Labeling and Packaging). Diese Vorschrift legt fest, dass bei einer Änderung der Substanz (Form oder Aggregatzustand) eine neue Bewertung durchgeführt werden muss, um festzustellen, ob die Gefahrenstufe geändert werden muss.

Auswirkungen auf die Gesundheit von Nanomaterialien

Einführung

Ein Grundprinzip der Toxikologie besagt, das die Gefahr eines Schadens mit der Gefährdung, der Exposition und der individuellen Sensitivität zusammenhängt. Die Bewertung einer dieser Parameter wird durch die Vielzahl von Nanopartikel und Nanomaterialien erschwert, ebenso wie andere Eigenschaften, die mit der geringen Größe und großen Oberflächen, welche die physikalischen Eigenschaften ändern, zusammenhängen. Zusätzlich müssen Verfahren zur analytischen Bestimmungen von Nanoteilchen entwickelt und für eine Reihe von Medien wie Luft, Böden, Gewebe, Blut und Urin validiert werden. Zusätzliche Eigenschaften der Nanopartikel – hinzutretend zur Konzentration – wie Größe, Form, Oberflächenladung, Kristallstruktur, Oberflächen, Oberflächenänderungen und die chemische Umgebung müssen dabei berücksichtigt werden. Die geringe Größe und das große Oberflächen-Volumenverhältnis, sorgen für einzigartige physikochemische Eigenschaften im Vergleich zu Materialien der gleichen Art. Eine Herausforderung besteht darin, zu bestimmen, wie Nanomaterialien biologischen Systemen interagieren. Dabei muss auch die klassische Frage nach der Beständigkeit und der Bioakkumulation in Tieren, Menschen und der Umwelt angesprochen werden. Die Entwicklung einer Reihe von Standardverfahren zur Bewertung möglicher Gefahr von Nanopartikel ist dringend erforderlich (vgl. die Arbeiten von Maynard et al. 2006 bis 2011). Im Folgenden werden Beispiele für die

Herausforderungen im Zusammenhang Toxikologie und die Bewältigung von spezifischen Nanopartikel gegeben.

Verteilung, Exposition und Aufnahme

Angesichts einer breiten Palette an Produkten, die unter Verwendung von Nanomaterialien hergestellt werden, stiegen der Verteilungsgrad und die Möglichkeit einer Exposition gegenüber diesen Materialien. In manchen Produkten sind diese Materialien fest gebunden oder ein Teil der Struktur und damit nicht bioverfügbar. In anderen Produkten, wie Sonnenschutzmittel, werden Titandioxid oder Zinkoxid als Nanoteilchen auf die Haut aufgetragen, wo die Möglichkeit einer Aufnahme durch die Haut oder durch den Mund besteht. Eine Vielzahl der Kosmetika beinhalten Nanomaterialien, die die Möglichkeit einer Aufnahme über die Haut erhöht. Hautbrüche, Sonnenbrand, Ekzeme, Hautausschläge, der Zustand der Haut, Schneiden oder Kratzen, sowie die Hautalterung können die Absorption der Nanopartikel in den Blutstrom beschleunigen. Auch besteht Anlass zur Sorge, dass diese Materialien von der Haut in die Umwelt ausgewaschen werden können. Ähnliche Bedenken gibt es bei Nanosilber, welches als Bakterizid Verwendung findet, da dieses Nanomaterial bioverfügbar sein muss, um effektiv zu sein. Nanosilberteilchen können in das Abwasser gelangen und die Abwasserbehandlung beeinflussen.

Die Herstellung und der Gebrauch der Nanomaterial bei der Produktherstellung stellen große Herausforderung für den Schutz der Arbeiter an Arbeitsplätzen. So kann das Einatmen von Kohlenstoff Nanoröhrchen zu Schäden am Lungengewebe und möglicherweise Lungenkrebs führen, wie es beim Einatmen von Asbestfasern der Fall ist. Daher gab Forderungen nach mehr Überwachung und Kontrolle bei einer möglichen Exposition gegenüber Materialien, die aus Nanoröhren bestehen. Die unbeabsichtigte Entstehung von Nanomaterialien, Dieselabgasen oder Ruß (aus der Verbrennung stammenden Nanopartikeln) können eine ernsthafte Gefahr für die Arbeitnehmer oder die Umgebung werden, wie Lastkraftwagen, Zuge oder Schiffe. Die geringe Größe dieser Nanomaterial bedeutet, dass sie tief in die Lunge eindringen können mit der Folge von akuten Effekten, wie Asthma oder Langzeitschäden. Diese Nanopartikel können auch andere chemische Verbindungen an ihrer Oberfläche binden, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs), die zusammen mit diesem Partikeln tief in die Lunge gelangen.

Letztlich sind mehr Informationen über die Herstellung, Verwendung, den Verbleib und Transport von Nanomaterialien nötigt, um die Exposition des Menschen und die ökologischen Verteilung von Nanomaterialien besser bewerten zu können.

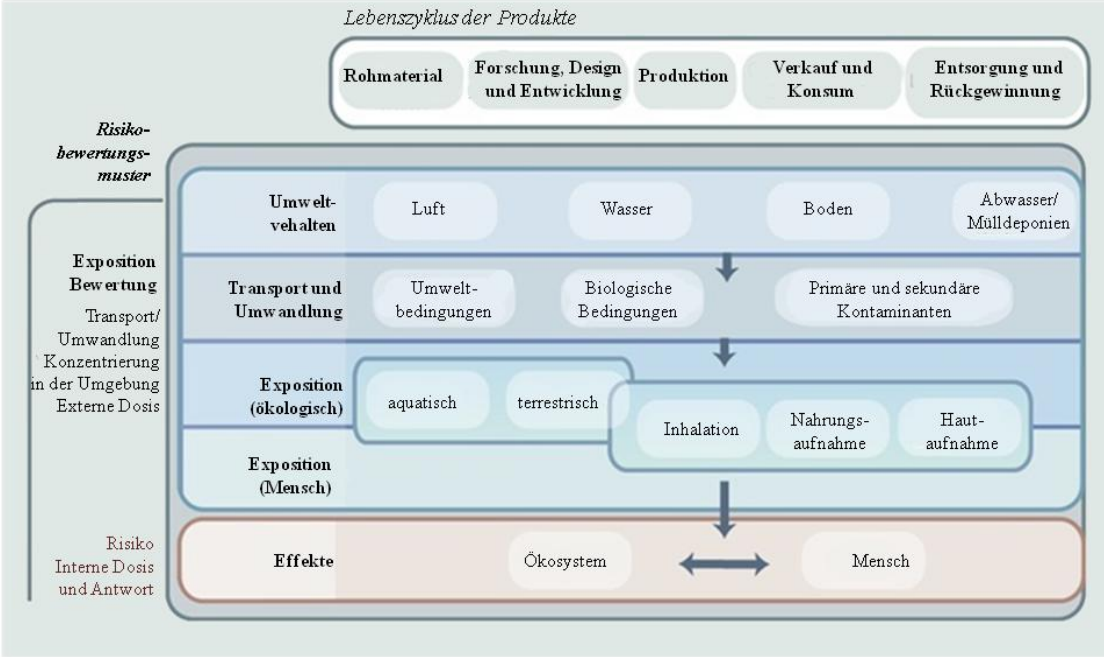
Auswirkungen auf die Gesundheit

Mögliche gesundheitliche Auswirkungen von Nanopartikelexposition auf Menschen oder anderen Organismen stehen erst am Anfang. Untersuchungen über die Toxizität von Nanopartikel wird durch eine Vielzahl Faktoren, wie beispielsweise die Auswahl von Stoffen, unterschiedliche Größe und Oberfläche, chemische Ladung und Beschichtung und anderen Faktoren erschwert. Eine weitere Herausforderung stellt die Entwicklung der analytischen Methodik zur Messung der Nanomaterialien im Gewebe oder biologischen Flüssigkeit dar, um die Gewebeverteilung oder die zelluläre Exposition zu bestimmen. Ähnliche Schwierigkeiten ergeben sich bei der Auswertung zur Verteilung der Nanopartikel in der Umwelt (Luft, Wasser oder Böden). Es ist bekannt, dass in den Körper gelangten Nanopartikel sich im gesamten Organismus verteilen und sämtliche Grenzen überschreiten. Einmal in der Zelle können Nanopartikel mit der zellulären DNA oder Zellproteinen wechselwirken, was die normale Zellfunktion beeinflusst und zu Entzündungen führen kann. Ein anderes Studiengebiet befasst sich der Fähigkeit von Nanopartikel die Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) zu steigern, die zu oxidativem Stress, Entzündung und Zellschäden führen können. Es sei daran erinnert, dass Nanosilber nützlich ist, weil es Bakterienzellen abtötet. Wenig ist über die immunologischen Effekten von Nanoteilchen bekannt im Vergleich zu allergischen Reaktionen dieser Teilchen. In Studien mit Fischexpositionen zeigten, dass Nanopartikel im Wasser leicht absorbiert werden, Hirnschäden verursachen und die Leber beeinträchtigen können. Die Folgen dieser ökologischen Belastungen auf kleine Organismen sind wenig untersucht. Sie könnten von Bedeutung sein, da für kleine Organismen eine geringere Exposition eine größere Dosis darstellt und somit schwerwiegendere Folgen haben könnte.

Die Persistenz und Bioakkumulation in ihren unterschiedlichen Ausprägungen sind noch nicht gut verstanden. Es gibt sehr wenige Studien über die Auswirkungen von Nanomaterialien auf die Entwicklung. Zusammenfassend gibt es noch viele Tätigkeitsfelder für die Bewertung der Risiken von Nanomaterialien auf die menschliche Gesundheit oder auf die Umgebung und es wären dafür wesentlich mehr Forschungen nötig. Die Geschichte der Toxikologie ist voll von Beispielen, bei denen die technischen Anwendungen dem Verständnis/der Regulierung vorausgingen. Die Folgen einiger dieser Fälle waren verheerend.

Zusammenfassende Bewertung

Die folgende Grafik aus nano.gov gibt einen guten Überblick über die Herausforderungen und Problembereiche.



aus: http://nano.gov/you/environmental-health-safety. Das Risikobewertungsmuster (links)zusammen mit dem Lebenszyklus der Nanomaterialen (oben). (Nach: N.R. Fuller of Sayo-Art.)

Expositionsreduzieung

Um die Exposition zu verringern, ist es nötig zu wissen, ob es überhaupt eine Exposition gibt. Es ist derzeit sehr schwierig zu bestimmen, ob Nanomaterialien in einem bestimmten Produkt vorhanden sind. Falls sie vorhanden sind, kann die Bioverfügbarkeit unbekannt sein. Dies hat die Konsequenz, dass über die Exposition nichts ausgesagt werden kann.

Gesetzliche Regelungen für die Nanotechnologie

Derzeit gibt es keine umfassende Regelung, die sich mit industriellen Verfahren oder Konsumgütern bezüglich des Gebrauchs von Nanomaterialien oder Nanotechnologie befasst. Trotz dem raschen Anstieg in der Nanopartikelverwendung in Verbraucherprodukten von Socken über Sonnenschutzmittel und der Möglichkeit einer menschlichen und ökologischen Exposition, gibt es keinen einheitlichen Ansatz zur Bewertung potenziell gefährlicher Auswirkungen. Die amerikanische Umweltbehörde (EPA) kämpft um die Anpassung des Gesetzes von 1976 (Toxic Substances Control Act)

zur Abwehr möglicher Gefahr von Nanopartikel. Die amerikanische Lebensmittelbehörde (FDA) muss sich den Herausforderungen zur Regelung der Verwendung von Nanomaterialien in Produkten wie Lebensmittel, Kosmetika, Medikamente, Geräte Tierarzneimitteln stellen. Die FDA erstellte Leitlinien zur Nanotechnologie-Anwendung in Kosmetika und Lebensmittelchemikalien (siehe Referenz unten).

Die Gesetze erlauben den Verbraucherzentralen (Consumer Product Safety Commission) nicht, eine Produktzulassung vor der Handelszulassung anzuordnen, sie können nur dem potenziellen Risiko nach dem öffentlichen Produktvertrieb nachgehen. Die folgende Aussage macht das Problem deutlich, dem Aufsichtsbehörden konfrontiert sind, wenn sie versuchen, die Verwendung von Nanomaterialien zu beschreiben. Der Arbeitsplatz ist ein Bereich potenziell hoher Exposition gegenüber Nanomaterialien durch Einatmen, Verschlucken oder Hautkontakt. Mehrere amerikanische Behörden (Occupational Safety & Health Administration (OSHA) und National Institute Occupational Safety and Health (NIOSH)), welche für die Regulierung und Forschung in Sachen Arbeitsschutz zuständig sind, versuchen die Belastungen am Arbeitsplatz zu minimieren. Für die Behörden und Verbraucher erschwert das Fehlen einer ausreichenden Beschriftung und Angaben zur Verwendung von Nanomaterialien die gesundheitliche Einschätzung von Nanomaterialien.

Verbraucherverbände (Consumer Product Safety Commission)

Bewertung von Konsumgüter
Die potenziellen Sicherheits- und Gesundheitsrisiken von Nanomaterialien, ebenso wie andere Verbindungen, die dem Verbraucherschutzgesetz unterworfen sind, werden im Rahmen der bestehenden CPSC Statuten, Vorschriften und Richtlinien bewertet. Weder das Verbraucherschutzgesetz (CPSA) noch das Bundeschemikaliengesetz erfordert die Pre-Market-Registrierung oder Zulassung von Produkten. Somit muss in der Regel erst, ein Produkt im Handel sein, bis das Verbraucherschutzgesetz die Bewertung eines potentiellen Risikos eines Produkts ermöglicht.

CPSC Nanomaterial Erklärung -
http://www.cpsc.gov/LIBRARY/CPSCNanoStatement.pdf

Das Hauptproblem für die Bewertung besteht darin, zu ermitteln, welche Produkte oder Gegenstände Nanopartikeln beinhalten, sowie welcher Menge und welche Typen dabei auftreten. Wie die amerikanische Umweltbehörde feststellt „ist es schwierig, alle Produkte zu verfolgen, die Nanosilber enthalten, da diese fast immer unterschiedliche

Markennamen und unterschiedliche Verpackungen haben, wobei Nanosilber nicht als Inhaltsstoff aufgeführt werden muss.“ Karten, die detailliert den Gebrauch von Nanomaterialien auflisten, sind bereits verfügbar (siehe http://www.nanotechproject.org/inventories/map/). Einige Organisationen sind dabei das Risiko der Nanopartikel enthaltenden Produkt zu bewerten, die die potentiellen Gefahren bei der Herstellung, Verwendung und Entsorgung berücksichtigten (vgl www.epa.gov/nanoscience/files/NanoPaper1.pdf, Stand August 2010). Die europäische Union entwickelte eine neue Verordnung zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung (CLP). Dies legt fest, dass bei einer Änderung der Form oder des Aggregatszustandes eines Stoffes, dieser hinsichtlich der Gefahrenstufe neu bewertet werden muss.

Empfehlungen und Konsequenzen

Nanomaterialien haben interessante Eigenschaften und besitzen ein enormes Potenzial in vielen Bereichen. Ihr Einsatz wächst daher in Industrieprozessen und Konsumgüter rasant. Das Verständnis für die potenziellen Risiken, sowie deren Abschätzung, stellt eine große Herausforderung dar. Mehr Forschungen über die potenziellen Einwirkungen auf den Menschen und die ökologische Effekte von Nanomaterialien sind daher nötig. Entscheidend ist dabei, dass unser Verständnis und die Schadensbegrenzung der möglichen nachteiligen Auswirkungen nicht wesentlich hinter die Verwendung dieser Materialien zurückfallen.

Weitere Informationen und Nachweise

Bilderpräsentation

- A Small Dose of Nanotoxicology presentation material and references online: http://www.toxipedia.org or http://www.toxipedia.org/display/dose/nanotoxicology
  Web site contains presentation material related to the health effects of nanomaterials.

Europäische, asiatische und Internationale Behörden

- Nanowerk - http://www.nanowerk.com/ (accessed 20 May 2012) – Food Safety - http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=25256.php
  Committed to educate, inform and inspire about nanosciences and nanotechnologies..

- World Health Organization - WHO Food Safety – Nanotechnology - http://www.who.int/foodsafety/biotech/nano/en/ (accessed 20 May 2012)

- The International Council on Nanotechnology (ICON) http://icon.rice.edu/ (accessed 20 May 2012)
  ICON activities promote effective nanotechnology stewardship through risk assessment, research and communication.

Nordamerikanische Behörden

- The National Nanotechnology Initiative (NNI) Online at http://nano.gov/ (accessed: May 14, 2012)
  U.S. Government Initiative on Nanotechnology is a federal R&D program established to coordinate the multiagency efforts in nanoscale science, engineering, and technology.

- The National Nanotechnology Initiative (NNI) Timeline Online at http://www.nano.gov/timeline (accessed: May 14, 2012)
  U.S. Government Initiative on Nanotechnology time line of milestones in the development of nanotechnology.

- NASA Ames Center for Nanotechnology. Online at http://www.ipt.arc.nasa.gov/index.html (accessed: May 14, 2012)
  Started in early 1996 the research work focuses on experimental research and development in nano and bio technologies (also great images).

- Nanotechnology at PNNL. The Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), operated by Battelle for the U.S. Department of Energy. Online at http://www.pnl.gov/nano/ (accessed: June 29, 2012).
  Overview of nanoscience, nanoengineering and nanotechnology.

- Understanding Nanotechnology - http://www.understandingnano.com/ (accessed: 14 May 2012) also Regulation of Nanotechnology Materials and Productshttp://www.understandingnano.com/nanotechnology-regulation.html
  Web site dedicated to making nanotechnology concepts and applications understandable by anyone. Website is owned and published by Hawk's Perch Technical Writing, LLC.

- US EPA State of the Science Literature Review: Everything Nanosilver and More – August 2010 - http://www.epa.gov/nanoscience/files/NanoPaper1.pdf

- US FDA Nanotechnology: Science and Research. Online at http://www.fda.gov/ScienceResearch/SpecialTopics/Nanotechnology/default.htm (accessed: June 29, 2012).
  Web site includes: Nanotechnology Fact Sheet, draft guidance related to nanotechnology applications in cosmetics and food substances, Draft Guidance for Industry: *Considering Whether an FDA-Regulated Product Involves the Application of Nanotechnology*

- US OSHA Nanotechnology - Department of Labor - Occupational Safety & Health Administration (OSHA) - Online at http://www.osha.gov/dsg/nanotechnology/nanotechnology.html (accessed: June 29, 2012).
  Address worker safety and health issues related to the use or production of nanomaterials.

- US NIOSH Nanotechnology - Centers for Disease Control and Prevention - The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) - Online at http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/ (accessed: June 29, 2012).
  Does research on worker safety and issues related to the use or production of nanomaterials.

- The Center for Integrated Nanotechnologies (CINT) at Sandia National Laboratories is a Department of Energy/Office of Science Nanoscale Science Research Center (NSRC). Online at http://cint.lanl.gov (accessed: 2 September 2012).
  "Our vision is to become a world leader in nanoscale science by developing the scientific principles that govern the design, performance, and integration of nanoscale materials."

Gewerbliche und auf profitausgerichtete Organisationen

- Nanotechnology Now (NN) http://www.nanotech-now.com/ (accessed: 14 May 2012) Nanotechnology Glossary http://www.nanotech-now.com/nanotechnology-glossary-N.htm
  NN was created to serve the information needs of business, government, academic, and public communities. And with the intention of becoming the most informative and current free collection of "nano" reference material.

Regierungsunabhängige Organisationen

- The Project on Emerging Nanotechnologies - Online at http://www.nanotechproject.org/ (accessed: June 29, 2012).

Established in April 2005 as a partnership between the Woodrow Wilson International Center for Scholars and the Pew Charitable Trusts, "The Project is dedicated to helping ensure that as nanotechnologies advance, possible risks are minimized, public and consumer engagement remains strong, and the potential benefits of these new technologies are realized."

- Nano-silver policy failure puts public health at risk by Friends of the Earth. Sept. 2011. Online at http://www.foe.org/news/archives/2011-09-nano-silver-and-bacterial-resistance (accessed: 16 May 2012).

A critical look at the use of nanosilver materials in a consumer products.

- NanoEthicsBank: A Resource on the Societal and Ethical Implications of Nanotechnology. Online at http://ethics.iit.edu/NanoEthicsBank/ (accessed: 2 September 2012).
  The NanoEthicsBank was developed by the Center for the Study of Ethics in the Professions at the Illinois Institute of Technology. "The NanoEthicsBank is a database conceived as a resource for researchers, scholars, students, and the general public who are interested in the social and ethical implications of nanotechnology."

Referenzen

- Nanotoxicology – journal from Informa Healthcare
  http://informahealthcare.com/loi/nan
  "Addresses research relating to the potential for human & environmental exposure, hazard & risk associated with the use & development of nano-structured materials."

- Approaches to Safe Nanotechnology: Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials. DHHS (NIOSH) Publication Number 2009-125. March 2009. http://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-125/pdfs/2009-125.pdf

- A Research Strategy for Environmental, Health, and Safety Aspects of Engineered Nanomaterials - National Academy of Sciences ISBN-10: 0-309-25328-4 free as pdf Online: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13347

- Ahamed, M., Alsalhi, M. S., & Siddiqui, M. K. (2010). Silver nanoparticle applications and human health. Clin Chim Acta, 411(23-24), 1841-1848.

- Bell, Trudy. (2007). Understanding risk assessment of nanotechnology. Article commissioned by the National Nanotechnology Coordination Office. Available at

NanoEthicsBank: A Resource on the Societal and Ethical Implications of Nanotechnology http://ethics.iit.edu/NanoEthicsBank/node/1352

- Donaldson, K., Murphy, F., Schinwald, A., Duffin, R., & Poland, C. A. (2011). Identifying the pulmonary hazard of high aspect ratio nanoparticles to enable their safety-by-design. Nanomedicine (Lond), 6(1), 143-156.

- Feynman, Richard (1959) *There's Plenty of Room at the Bottom* delivered as a lecture on December 29th 1959 at the annual meeting of the American Physical Society at the California Institute of Technology (Caltech). First published in the February 1960 issue of Caltech's Engineering and Science, available on their web at http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html with their permission.

- Luoma, Samuel. (2008). Silver Nanotechnologies and the Environment. Project on Emerging Nanotechnologies by PEW Charitable Trust. Online at http://www.nanotechproject.org/publications/archive/silver/ (accessed: 2 September 2012).

- Maynard, A. D., Aitken, R. J., Butz, T., Colvin, V., Donaldson, K., Oberdorster, G., et al. (2006). Safe handling of nanotechnology. Nature, 444(7117), 267-269.

- Maynard, A. D., Warheit, D. B., & Philbert, M. A. (2011). The new toxicology of sophisticated materials: nanotoxicology and beyond. Toxicol Sci, 120 Suppl 1, S109-129.

- Walker, N. J., & Bucher, J. R. (2009). A 21st century paradigm for evaluating the health hazards of nanoscale materials? Toxicol Sci, 110(2), 251-254.