



„Nanotechnologie in der Beschaffung Wiens – Erste Abschätzung von Chancen und Risiken“

Bericht

Mag. Sabine Greßler

Im Auftrag der Stadt Wien

Programm für umweltgerechte Leistungen "ÖkoKauf Wien"

November 2010



Impressum

Auftraggeber:

Stadt Wien, Programm für umweltgerechte Leistungen "ÖkoKauf Wien",
1082 Wien, Rathaus

Projektleitung:

Dipl.-Ing. Marion Jaros, Wiener Umweltschutzgesellschaft
Muthgasse 62, 1190 Wien

Autorin:

Mag. Sabine Greßler

Wien, November 2010

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung und Fazit	5
2	Summary	6
3	Motivation und Zielsetzung.....	8
4	Was ist Nanotechnologie?.....	9
5	Herstellung von Nanomaterialien.....	11
6	Anwendungsbereiche und Produkte im Allgemeinen	12
7	Kennzeichnung, freiwillige Selbstverpflichtung der Industrie, Qualitätslabel	14
7.1	Das forumnano-Gütesiegel	15
7.2	Hohensteiner Qualitätslabel „Nanotechnologie“	16
7.3	Qualitätslabel „Selfcleaning inspired by nature“, ITV Denkendorf	17
7.4	„Negativ-Kennzeichnung“	18
7.5	CENARIOS® – Zertifiziertes Risikomanagement- und Monitoringsystem	19
7.6	TÜV Qualitätslabel	19
8	Potenzielle Risiken für Gesundheit und Umwelt	20
9	Umweltentlastungspotenziale	24
10	Anwendungsbereiche und Produkte im Speziellen.....	27
10.1	Beleuchtung	28
10.1.1	Leuchtdioden (LED; „light emitting diodes“):	28
10.1.2	Organische Leuchtdioden (OLED; „Organic light emitting diodes“).....	30
10.2	Desinfektionsmittel	31
10.2.1	Nanosilber	32
10.2.2	Antimikrobielle Beschichtungen auf Basis chemischer Nanotechnologie.....	33
10.3	Druck und Papier	34
10.3.1	Toner und Druckertinte	35
10.3.2	Papier.....	35
10.4	Elektrische Büro- und Haushaltsgeräte	36
10.4.1	Nanokeramische Beschichtung von Metalloberflächen (Bsp. Weißware)	37
10.4.2	Antibakterielle Beschichtung mittels Nanosilber.....	37
10.5	Automobil	39
10.5.1	Nano-Lacke.....	40
10.5.2	Kratzfeste Polymerscheiben.....	41
10.5.3	Schmutz und Wasser abweisende Beschichtungen.....	41
10.5.4	Nanostahl.....	42
10.5.5	Verkleben und Lösen von Bauteilen.....	42
10.5.6	Innenraum-Luftfilter	43
10.5.7	Autoreifen.....	43
10.5.8	Superkondensatoren als Energiespeicher	44
10.5.9	Lithium-Ionen-Batterien.....	44
10.5.10	Brennstoffzellen für das Automobil der Zukunft.....	45
10.5.11	Solarenergie im Automobil	45
10.5.12	Nanokristalline Beschichtungen von mechanischen Bauteilen.....	46
10.5.13	Abgaskatalysatoren.....	46
10.5.14	Zusatz zu Dieseltreibstoff	47
10.6	Klimageräte, Luftbefeuchter und Innenraum-Luftreinigung	47
10.6.1	Klimageräte und Luftbefeuchter mit Nanosilber	48
10.6.2	Geräte zur Luftreinigung mit photokatalytisch aktivem Titandioxid.....	49
10.7	Textilien.....	50

10.8	Farben und Lacke	52
10.9	Baumaterialien	55
10.9.1	Selbstreinigende Oberflächen, Luftreinigung durch Photokatalyse	55
10.9.2	„Easy to Clean“ Oberflächen	56
10.9.3	Wärmedämmung, Temperaturregulierung	57
10.9.4	Glasabdunkelung ohne Jalousien	58
10.9.5	Brandschutz	58
10.9.6	„Anti-Graffiti“-Beschichtungen	59
10.9.7	„Antireflex“-Beschichtungen	59
10.9.8	„Anti-Fingerprint“-Beschichtungen.....	60
10.9.9	Zementgebundene Baustoffe	60
10.10	Innenausstattung.....	61
10.10.1	Möbel	61
10.10.2	Sanitärkeramiken	62
10.10.3	Keramikfolien als Fliesentapete	63
10.11	Sonnenschutzmittel.....	64
10.12	Lebensmittel.....	66
10.12.1	Verkapselungs- oder Trägersysteme	67
10.12.2	Nanopartikuläre Zusatzstoffe	68
10.12.3	Verpackungsmaterialien.....	69
10.13	Produkte für Babys und Kleinkinder	70
10.14	Reinigungsmittel.....	71
10.15	Außenraumbegrünung	72
10.15.1	Bodenverbesserung	72
10.15.2	Pflanzenschutz.....	73
10.15.3	Wachstumsregler für Rasen.....	74
10.16	Wasserreinigung und –aufbereitung	75
11	Anhang.....	77

1 Zusammenfassung und Fazit

Weltweit ist bereits eine Vielzahl der unterschiedlichsten Produkte sowohl für die Industrie als auch für die EndabnehmerInnen erhältlich, die laut Herstellerangaben Nanomaterialien beinhalten bzw. auf Nanotechnologie beruhen. Nachdem aber bislang eine einheitliche, rechtlich verbindliche Definition von „Nanotechnologie“ oder „Nanomaterial“ fehlt bzw. eine Deklarationspflicht nicht besteht, ist es mit großen Schwierigkeiten behaftet, „echte“ Nanoprodukte von solchen zu unterscheiden, die nur aufgrund von Marketinginteressen so bezeichnet werden. Ebenso gibt es möglicherweise Produkte mit Nanomaterialien auf dem Markt, ohne dass dies ersichtlich ist. Bezüglich der nanospezifischen Inhaltsstoffe sowie der neuen Eigenschaften sind VerbraucherInnen auf die freiwilligen Informationen von Herstellern oder Händlern angewiesen, die oftmals spärlich oder überhaupt nicht verfügbar sind. Initiativen von Seiten der Industrie, Qualitätslabel für Nanoprodukte einzuführen, sind bislang auf geringes Interesse gestoßen, könnten aber zu einer gewissen Marktregulierung beitragen und mehr Sicherheiten für EndabnehmerInnen bieten.

Im Bereich der **Risikoabschätzung von Nanomaterialien** wurden in den letzten Jahren weltweit eine Vielzahl von Untersuchungen durchgeführt. Die Methodologie von Toxizitätstests für Nanomaterialien ist jedoch erst Entwicklung, da bisherige Standards nicht in jedem Fall geeignet erscheinen. Eine umfassende und abschließende Risikobewertung liegt derzeit für kein Nanomaterial vor. Hinweise auf ein mögliches Gefährdungspotenzial zeigen sich jedoch vorläufig insbesondere für drei Nanomaterialien: Kohlenstoff-Nanofasern (Carbon Nanotubes; CNT), nanopartikuläres Titandioxid und Nanosilber. Bestimmte **Kohlenstoff-Nanofasern** sind nach derzeitigem Kenntnisstand nicht, oder nur schlecht, biologisch abbaubar und weisen eine gewisse Ähnlichkeit mit Asbestfasern auf. In Tierversuchen verursachte dieses Material bei Inhalation Entzündungen im Bereich der Atmungsorgane und bei Einspritzung in den Bauchraum krankhafte Gewebsveränderungen, die als Vorstufe von Tumorerkrankungen gedeutet werden können. Derzeit ist es auszuschließen, dass KonsumentInnen durch das Einatmen von Kohlenstoff-Nanofasern gefährdet werden, aber im ArbeitnehmerInnenschutz sind hier spezielle Vorkehrungen zu treffen. **Nano-Titandioxid** erscheint insbesondere aufgrund seiner möglichen ökotoxischen Wirkungen auf aquatische Organismen bedenklich. Nachdem dieses Nanomaterial bereits in größeren Mengen als UV-Filter in Sonnenschutzmitteln eingesetzt wird, ist ein Eintrag in die Umwelt, v.a. in Gewässer, wahrscheinlich. Die Eintragungsmengen sind jedoch bislang noch unbekannt. Ein Nachweis von synthetischen TiO₂-Nanopartikeln in der Umwelt gestaltet sich derzeit noch als sehr schwierig. Hier wird sich erst langfristig herausstellen, ob dieses Nanomaterial negative Umweltauswirkungen hat. **Nanosilber** ist ebenfalls aufgrund seiner möglichen Umweltwirkungen als bedenklich einzustufen, da Silberionen sehr toxisch für Mikroorganismen ist. Gelangt Nanosilber über das Abwasser in Kläranlagen sind möglicherweise negative Auswirkungen auf die Bakterien in diesen Anlagen zu erwarten. Ebenso könnte dieses Material Bodenmikroorganismen schädigen, wenn Nanosilber mit dem Klärschlamm auf Felder ausgebracht wird. Nanosilber und andere Silberformen werden in der Medizin nutzbringend eingesetzt. Ein breiter Einsatz in Konsumprodukten – mit fragwürdigem Nutzen – könnte weiters dazu führen, dass Krankheitserreger Resistenzen gegen Silber entwickeln und dieses Material somit auch in der Medizin nicht mehr eingesetzt werden könnte.

Bezüglich der **Umweltentlastungspotenziale** von Produkten mit Nanomaterialien gibt es erst wenige umfassende Lebenszyklus-Analysen, die eine quantitative Bewertung zulassen würden. Viele Behauptungen von Seiten der Industrie lassen sich derzeit also nicht validieren. Möglicherweise sind Versprechen bezüglich Energie- und Ressourceneinsparungen sowie Effizienzsteigerung oder Ersatz von schädlichen Chemikalien durch Nanomaterialien vielfach überzogen. Hier werden wohl erst die Erfahrungen der nächsten Jahre und Jahrzehnte zeigen, ob Nanotechnologie tatsächlich einen messbaren Beitrag zu Umwelt- und Klimaschutz leisten kann. Nachdem die derzeit am Markt erhältlichen Produkte nach Meinung mancher Fachleute erst die unterste Entwicklungsstufe darstellen und in Zukunft mit wesentlich innovativeren und bahnbrechenderen Anwendungen zu rechnen ist, wäre dann evtl. auch im Bereich der Umweltentlastungspotenziale mit weitreichenderen Auswirkungen zu rechnen. Derzeit jedenfalls erscheint der Beitrag von Nanoprodukten auf den Umwelt- und Klimaschutz noch als sehr gering. In einzelnen Bereichen können diese aber auch schon bereits jetzt - zumindest einen kleinen - Beitrag leisten.

In der Übersichtstabelle im Anhang sind die in diesem Bericht vorgestellten Anwendungsbereiche mit ihren mögliche Nachteilen und Vorteilen nochmals kurz dargestellt.

Schlüsselwörter: Nanotechnologie, Nanomaterialien, Nano-Produkte, Umweltentlastungspotenziale, Chancen, Risiken, Lebenszyklus-Analyse, Ökobilanz, Qualitätslabel, Risikoabschätzung

2 Summary

Many products for industry and consumers claiming to contain nanomaterials or to be manufactured on the basis of nanotechnology are already available on the market. It is difficult to verify such claims or to distinguish "real" nanoproducts from the ones proclaimed "nano". Often, the prefix "nano" is being used because of marketing interests.

This lack of clarity is due to the absence of standardized and binding definitions of the terms "nanotechnology" or "nanomaterial". In addition, there is also no legal obligation for the declaration of nano-components and for the labelling of products containing the aforementioned (with only one exception: cosmetic products containing insoluble nanomaterials have to be labelled starting on 2013). There are probably many products on the market containing nanomaterials, but this fact is not obvious to consumers.

It is at the manufacturer's discretion to inform the consumers about nanosized ingredients or components of products on the market. Therefore, information is sparse if available at all. There have been some initiatives to establish quality labels for nanoproducts. Neither consumers nor the industry have shown much interest in these labels up to now, but they could contribute to market regulation and provide more reliability for consumers in the future.

Many studies have been undertaken on **risk assessment** of nanomaterials in recent years. A methodology of toxicity testing for nanomaterials is still being developed, and existing standards need to be adapted. Presently, there is no completed risk assessment available for any nanomaterial. For three nanomaterials: carbon

nanotubes (CNT), nano-titanium dioxide and nanosilver, results from experiments and clinical studies indicate potential risks.

Based on today's knowledge, some **CNTs** are not or barely biodegradable and resemble in their structure asbestos fibres. In animal experiments, inhaled CNTs have caused inflammation of the respiratory system, and injection into the abdomen led to pathological changes in the tissue. Presently it is not likely that consumers are at risk from CNTs, but the safety of workers handling these materials deserves special attention.

Titanium dioxide is a material that is widely used as an UV-filter in sunscreens. It is likely to enter the aquatic environment, where it may have toxic effects on aquatic organisms. The actual amount can not be assessed at present, as it is very difficult to detect synthetic nanoparticles of titanium dioxide in the environment.

Nanosilver and other silver compounds are being used for the treatment of wounds and as bactericidal products in medicine. However, a broad application in household and consumer products bears the risk that bacteria might become resistant to these agents. In this case nanosilver might lose its efficiency in medical applications. Because of potential negative environmental effects, the use of nanosilver is also considered risky. Silver ions are toxic to microorganisms. In addition, the bacteria in sewage treatment plants might be affected. If sewage sludge containing nanosilver is used as fertiliser in agriculture, it might have negative effects on bacteria in the soil.

There exist only few life cycle assessments of nanoproducts. The potential **environmental benefits** cannot be judged due to the lack of quantitative data, and therefore, many claims of the industry can not be validated. The advertised benefits - such as the reduction of pollution or reduced energy consumption - are not supported by data. Future experience will show whether nanotechnology will be really able to contribute to environmental protection and to the fight against climate change.

According to some experts, the nanoproducts available on the market today represent only the first generation of innovations stemming from nanotechnology. In the future, many more innovative products may enter the market with the promise of even more extensive environmental benefits. At the moment, the contribution of nanoproducts on environmental and climate protection seems to be very moderate. But some applications (i.e. LED, nano-varnish for cars, "Easy to Clean" coatings, filters, insulation materials, and so on) may have already positive effects.

The table in the annex shows an overview of the applications described in this report together with their possible benefits and risks.

Keywords: nanotechnology, nanomaterials, nanoproducts, environmental benefits, chances, risks, life cycle analysis, quality labels, risk assessment

3 Motivation und Zielsetzung

Nanotechnologie wird seit einigen Jahren als Schlüsseltechnologie des 21. Jhdts. propagiert und beachtliche Anstrengungen werden weltweit unternommen, um Forschung und Entwicklung in diesem Bereich voranzutreiben. Mithilfe von Verfahren und Anwendungen, die der Nanotechnologie zugerechnet werden, sollen Innovationen und Verbesserungen in fast allen unseren Lebensbereichen möglich werden. Durch Einsparung von Ressourcen und Materialien sollen insbesondere im Bereich des Klima- und Umweltschutzes Erfolge erzielt werden können und neue, verbesserte Produkte versprechen den KonsumentInnen verschiedenste Vorteile. Demgegenüber stehen aber eine Reihe von potentiellen Risiken von Nanomaterialien, sowohl für die Gesundheit als auch für die Umwelt, die zumeist noch nicht umfassend abgeschätzt werden können. Die derzeit am internationalen Markt erhältlichen Produkte umfassen bereits eine breite Palette von Anwendungsbereichen, dennoch stellen sie zumeist erst die unterste Stufe möglicher Innovationen dar. In Zukunft werden wesentlich weitreichendere Entwicklungen erwartet bzw. versprochen.

Für VerbraucherInnen wie auch für das Beschaffungswesen von Institutionen wie der Gemeinde Wien ist es jedoch gleichermaßen schwierig, sich im zunehmenden „Dschungel“ von Produkten zurecht zu finden, die mit dem Schlagwort Nanotechnologie oder der Vorsilbe „nano“ verkauft werden. Weder gibt es eine einheitliche, international verbindliche Definition (siehe Kapitel 4), noch sind diese Begriffe rechtlich geschützt. Mit Ausnahme von kosmetischen Mitteln gibt es keine Deklarationspflicht von Nanomaterialien, sodass in den meisten Fällen nicht ersichtlich ist, ob ein Produkt Nanomaterialien enthält, welches das wäre und in welcher Konzentration es vorliegt. Ebenso wird von keiner Stelle überprüft, ob ein „Nano-Produkt“ tatsächlich irgend etwas mit Nanotechnologie zu tun hat bzw. Nanomaterialien enthält. In manchen Bereichen werden Produkte mit „nano“ vor allem aus verkaufsfördernden Zwecken ausgelobt, wenngleich der ganz große „Hype“ der vergangenen Jahre mittlerweile vorüber zu sein scheint und Unternehmen auch wieder einen Schritt zurück gehen, nachdem Medienberichte über potenzielle Risiken von Nanomaterialien ein zögerliches Verbraucherverhalten und einige Kritik hervorgerufen hatten. Hinsichtlich der Vorteile von Nano-Produkten, kann davon ausgegangen werden, dass oftmals mehr versprochen als gehalten wird. Kennzeichnend für den gesamten Markt an Nano-Produkten erscheint insbesondere fehlende Transparenz und Information oder überhaupt Fehlinformation. Bei kritischer Überprüfung der derzeitigen Marktsituation drängt sich auch der Eindruck auf, dass das vorrangige Ziel mancher Unternehmen darin liegt, vom Milliardenmarkt „Nanotechnologie“ auch ein Stückchen abzubekommen ohne den entsprechenden Erwartungen der VerbraucherInnen zu entsprechen. Dies ist nicht nur ein Ärgernis für die KonsumentInnen, sondern auch für jene Unternehmen, deren Produkte tatsächlich Innovationen aus dem Bereich der Nanotechnologie darstellen. Aus diesem Grund wurden bereits einigen Initiativen von Seiten der Industrie ins Leben gerufen etwa spezielle Qualitätslabel und freiwillige Überprüfungen (siehe Kapitel 7). Das Kaufverhalten der VerbraucherInnen wird in den nächsten Jahren sicher zu einer gewissen Marktregulierung beitragen. Großabnehmer von verschiedenen Produkten, wie z.B. die Gemeinde Wien, spielen dabei eine entscheidende Rolle, indem Lieferanten zu mehr Transparenz hinsichtlich der nanospezifischen Inhaltsstoffe und Eigenschaften angehalten werden können.

Die vorliegende Arbeit soll Entscheidungsträgern innerhalb des Beschaffungswesens der Gemeinde Wien einen kurzen Überblick über Produkte und Anwendungen, die der Nanotechnologie zugerechnet werden, geben, vor allem in Bezug auf deren propagierte Umweltvorteile sowie ihre potenziellen Risiken für Gesundheit und Umwelt. Vorrangig werden dabei solche Produktgruppen dargestellt, die auf dem österreichischen bzw. europäischen Markt erhältlich sind und die im Beschaffungswesen der Gemeinde Wien von Bedeutung sind. In Anbetracht der oben ausgeführten Problematik hinsichtlich Auslobung, Deklaration und Information erhebt die vorliegende Arbeit keinen Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit. Verfügbare Informationen zu Produkten basieren zumeist auf ungeprüften Herstellerangaben.

4 Was ist Nanotechnologie?

Nanotechnologie umfasst eine Vielzahl verschiedenster Anwendungen und Verfahren der unterschiedlichsten Fachbereiche (z.B. Chemie, Physik, Materialwissenschaften, Biologie, Medizin, Pharmazie, etc.), sodass Nanotechnologie oft auch als Querschnittstechnologie bezeichnet wird. Nachdem es die eine Nanotechnologie nicht gibt, sprechen manche auch lieber von den Nanotechnologien im Plural. Allen gemein ist jedenfalls die Befassung mit aller kleinsten Strukturen oder Systemen, üblicherweise zwischen 1 und 100 Nanometer in zumindest einer Dimension ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ Meter} = 1 \text{ Milliardstel Meter}$). Dabei umfasst Nanotechnologie sowohl die Herstellung als auch die Verwendung von Substanzen in Nanogröße (z.B. Nanopartikel verschiedener Ausgangsmaterialien) in unterschiedlichen Formen (z.B. als Pulver oder in flüssigen Suspensionen), ebenso wie Nanometer-dünne Beschichtungen und Fasern (z.B. Textilien) oder nanoporöse Systeme (Schäume, Filtermaterialien) und Nano-Kapseln (z.B. Lebensmittel). Das Feld der Nanotechnologie ist also ausgesprochen heterogen, weshalb es bislang auch noch nicht möglich war, eine allgemein gültige und verbindliche Definition festzulegen. Die derzeit am häufigsten gebrauchte Definition ist jene, die von der Internationalen Standardisierungsorganisation (ISO) vorgeschlagen wurde:

Nanotechnologie ist das Verständnis und die Kontrolle von Substanzen oder Prozessen, die typischer Weise, aber nicht ausschließlich, in einer oder mehreren Dimensionen kleiner als 100 Nanometer sind und durch ihre größenabhängigen Effekte in der Regel neue Anwendungen hervorbringen.

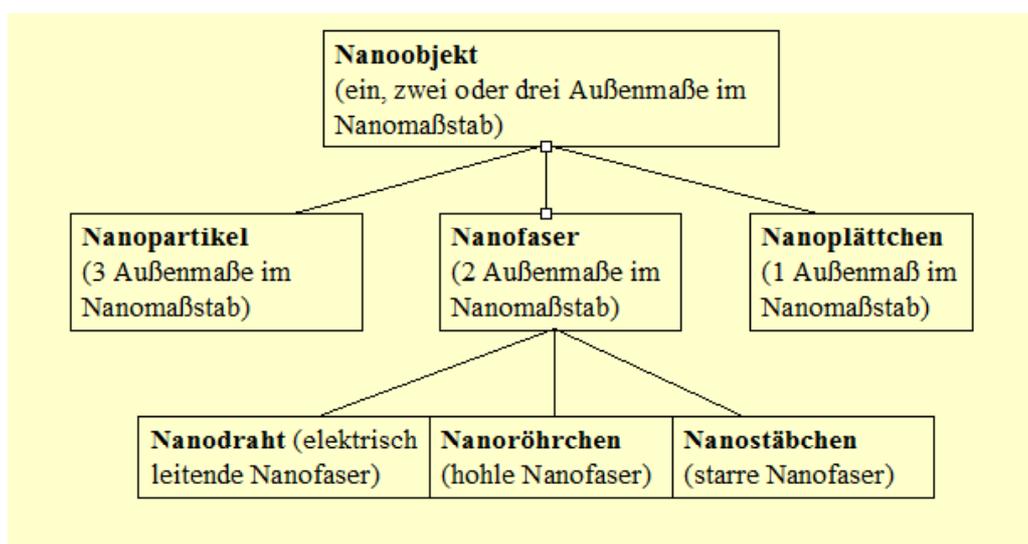
Das Besondere und Entscheidende bei Materialien in Nanogröße sind also neue Eigenschaften, die ein betreffendes Material in seiner größeren Form nicht aufweist und die man sich in neuen Produkten oder Verfahren zunutze macht. In diesem Bereich konnten in den letzten Jahren tatsächlich besondere Entdeckungen und Entwicklungen gemacht werden. Eigenschaften, die sich in der Nanogröße verändern können sind z.B. die Farbe, die Löslichkeit, die Bruchfestigkeit, die Leitfähigkeit oder katalytische Eigenschaften. Ein beliebtes Beispiel dafür ist etwa Gold. In seiner Makroform, wie wir es z.B. als Schmuckmetall kennen, ist Gold chemisch inert, d.h. es reagiert nicht mit anderen Materialien und seine Farbe ist eben gold-gelb. In seiner Nanoform ist Gold aber rot und chemisch sehr reaktiv, d.h. es weist hohe katalytische Eigenschaften auf. Ein anderes Beispiel wären die Beta-Carotine, die roten Farbstoffe z.B. von Karotten. Beta-Carotine werden in der Lebensmittelindustrie gerne als Farbstoffe eingesetzt, jedoch sind sie in ihrer größeren Form sehr schwer wasserlöslich. In der Nanoform lassen sich diese Substanzen sehr gut in Wasser lösen und

etwa zum Färben von Fruchtsaftlimonaden einsetzen. Diese neuen Eigenschaften treten zumeist unterhalb einer Größe von 100 nm auf, aber nicht in jedem Fall. Oftmals treten neue Effekte schon unterhalb von 300 nm auf, sodass die Größenfestlegung von unter 100 nm für eine Definition der Nanotechnologie relativ willkürlich ist. Vielmehr als die Größe sollten die neuen Eigenschaften das entscheidende Kriterium sein, da diese auch hinsichtlich einer möglichen Toxizität relevant sind.

Die Ursache für die veränderten Eigenschaften liegt zum einen darin, dass kleinere Teilchen eine größere Oberfläche im Verhältnis zu ihrem Volumen aufweisen, als größere Teilchen. Das heißt, an der Oberfläche von Nanoteilchen befinden sich mehr Atome, die Bindungen eingehen können, wodurch sich die höhere Reaktivität ergibt. Vereinfacht lässt sich sagen – je kleiner ein Teilchen, desto reaktiver. Zum anderen gelten in der Nanowelt andere physikalische Gesetze als in der makroskopischen Welt. Im Nanobereich wirken bereits quantenphysikalische Effekte, die ebenfalls für die Eigenschaftsveränderungen verantwortlich sind.

Ob allerdings ein Produkt der Nanotechnologie zugerechnet wird, hängt nicht nur von den verwendeten Materialien oder den neuen Eigenschaften ab, sondern auch davon, ob sich der Hersteller oder Händler Verkaufswirksamkeit von der Verwendung dieser Bezeichnung erwartet. So werden etwa Verfahren seit einigen Jahren der Nanotechnologie zugerechnet, die schon seit Jahrzehnten etabliert sind, etwa das sogenannte „Sol-Gel-Verfahren“, ein klassisches chemischen Verfahren, das bereits in den 1930er-Jahren entwickelt wurde und mithilfe dessen Nanopartikel oder nanoskalige Beschichtungen hergestellt werden können. Andere chemische Verfahren, wie etwa die Pyrolyse, die ebenfalls zur Herstellung von Nanopartikeln eingesetzt wird (z.B. pyrogene Kieselsäure), werden allerdings nicht zur Nanotechnologie gerechnet und deren Produkte gelten somit auch nicht als Produkte der Nanotechnologie.

Doch nicht nur bei der Begrifflichkeit der Nanotechnologie herrscht noch Uneinigkeit und Verwirrung, sondern auch bei der **Definition von Nanomaterialien**. Hier hat ebenfalls die ISO unter anderem versucht, Ordnung ins Chaos zu bringen, indem sie folgende Definitionen vorschlägt (ISO TS 27687:2008):



Der Begriff „Nanoobjekte“ hat sich aber bislang noch nicht durchgesetzt. In der vorliegenden Arbeit wird synonym für Nanoobjekte der Begriff Nanomaterialien verwendet, wobei darunter auch Agglomerate und Aggregate von Nanopartikeln verstanden werden.

5 Herstellung von Nanomaterialien

Der berühmte Physiker und Nobelpreisträger Richard Feynman (USA; 1918-1988) gilt als Vater der Nanotechnologie, wenngleich er selbst diesen Begriff noch nicht verwendete. 1959 hielt er seinen viel beachteten Vortrag mit dem Titel „There is plenty of room at the bottom“ anlässlich der Jahrestagung der American Physical Society. Darin sprach er davon, dass es möglich sein müsste und nicht den Gesetzen der Physik widersprechen würde, wenn wir eines Tages Materie Atom für Atom zusammensetzen könnten. Feynman inspirierte eine Reihe von Wissenschaftlern auf diesem Gebiet zu forschen. So etwa Eric Drexler (USA), der 1986 sein Buch „Engines of Creation – the Coming Era of Nanotechnology“ veröffentlichte. Drexler beschreibt darin winzige Maschinen, die sogenannten molekularen Assembler, mithilfe derer Materie aus Atomen – ähnlich Legosteinen – zusammengesetzt werden könnte.

Die Vorstellung, Materie nach unseren Wünschen einfach aus Atomen zusammenbauen zu können, ist also die Grundidee der Nanotechnologie. Allerdings ist es fraglich, ob dies jemals möglich sein wird. Was in der Nanotechnologie derzeit tatsächlich gemacht werden kann, ist die Herstellung von Materialien in Nanometergröße mithilfe herkömmlicher physikalischer und chemischer Methoden. Größere Ausgangsstoffe können mittels spezieller Malwerke verkleinert werden („Top-Down-Methode“), oder Nanomaterialien werden mittels klassischer chemischer, z.B. Hydrolyse, Pyrolyse, Fällung, Sol-Gel oder physikalischer Verfahren, z.B. Gasphasenabscheidung, hergestellt („Bottom-Up-Verfahren“). Untenstehend eine kleine Auswahl von Nanomaterialien, die bereits hergestellt und häufig eingesetzt werden:

- Kohlenstoff: Fullerene, Nanoröhren, „Carbon black“ (Industrieruß)
- Metalloxide: SiO₂, TiO₂, Aluminiumoxid, Eisenoxid, Zinkoxid
- Halbleiter: Cadmium-Tellurit, Silizium, Indiumphosphid
- Metalle: Gold, Silber, Eisen, Cobalt.

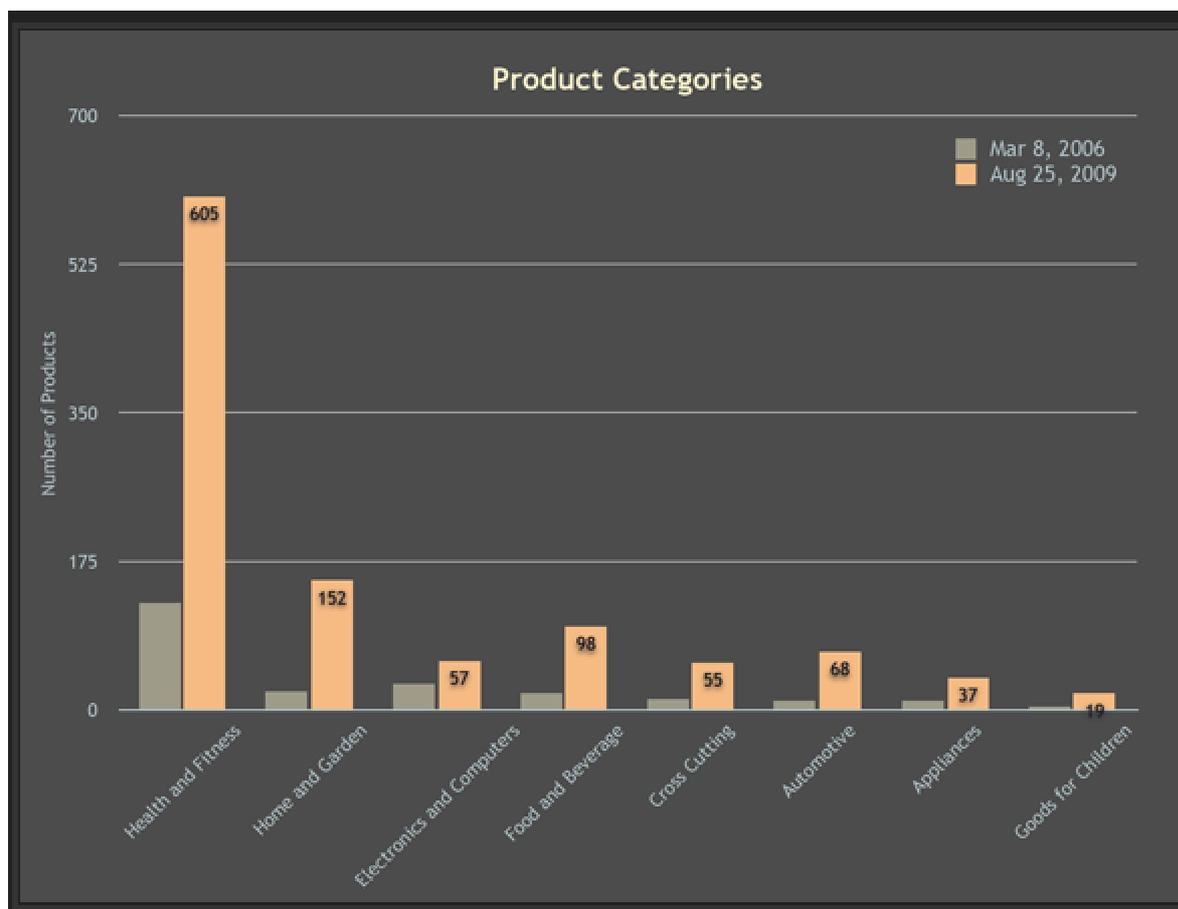
Nanoroboter, wie sie manchmal in den Medien auftauchen, gehören jedenfalls noch in der Bereich der „Science Fiction“.

Literaturhinweise und Weblinks

Raab C. et al. (2008): Herstellungsverfahren von Nanopartikeln und Nanomaterialien, NanoTrust Dossier Nr. 6, November 2008.
<http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotruster-dossiers/dossier006.pdf>

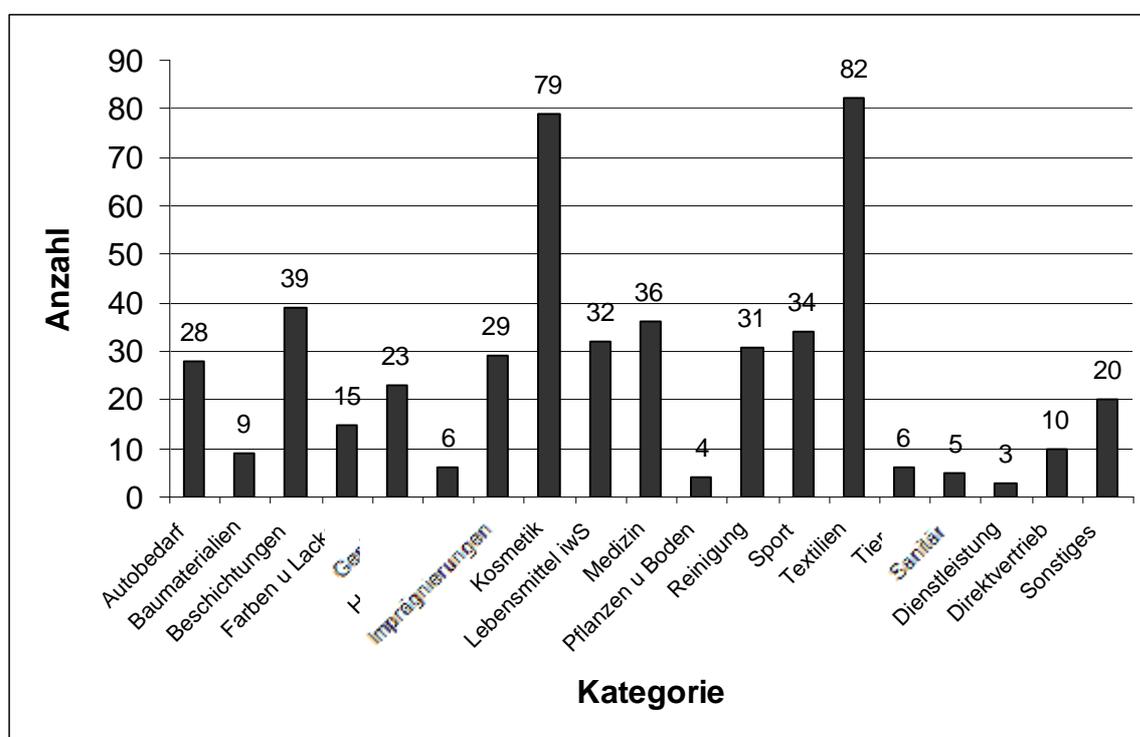
6 Anwendungsbereiche und Produkte im Allgemeinen

Nachdem derzeit in keinem Land der Welt eine Registrierungspflicht für Nano-Produkte besteht, ist es schwierig abzuschätzen, wie viele Produkte weltweit erhältlich sind. Informationen zu den verwendeten Nanomaterialien und deren Konzentrationen sind ebenfalls spärlich. Die umfassendste und öffentlich zugängliche Datenbank zu Nano-Produkten vorrangig am US-amerikanischen Markt führt seit März 2006 das „**Woodrow Wilson Center**“. Derzeit sind in dieser Datenbank mehr als 1000 verschiedene Produkte verzeichnet, die laut Herstellerangaben Nanomaterialien beinhalten oder auf Nanotechnologie basieren. Diese Angaben sind jedoch ungeprüft und die Datenbank wird auch nicht gewartet, sodass sich darin auch Produkte befinden, die nicht mehr am Markt erhältlich sind. Auch wenn diese also keinen Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit erhebt, so gibt sie doch einen guten Überblick über die Marktentwicklung. Seit Beginn der Eintragungen im März 2006 ist die Anzahl der Produkte um mehr als 300% gestiegen. Die meisten Eintragungen finden sich in der Kategorie „Health and Fitness“ (605; Stand 8/2009) gefolgt von „Home and Garden“ (152; Stand 8/2009).



Produktkategorien und Anzahl der eingetragenen Produkte in die Datenbank des Woodrow Wilson Centers. <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>

Im Rahmen des Projekts **NanoTrust** des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung (ÖAW Wien) hat die Autorin des vorliegenden Berichts seit Dezember 2007 Recherchen zu den am europäischen, insbesondere am österreichischen Markt erhältlichen Produkten durchgeführt und eine Datenbank erstellt. Mit Stand Mai 2010 enthält diese 495 Einträge. Für diese Datenbank gelten die gleichen Einschränkungen wie für jene des Woodrow Wilson Centers. Die Angaben beruhen zum größten Teil auf ungeprüften Herstellerangaben und sind nicht validiert. Recherchiert wurde zumeist im Internet, aber auch in österreichischen Handelsgeschäften und in einschlägiger Literatur. Die Produkte wurden in 19 Kategorien eingeteilt. Die meisten Einträge umfasst mit Stand Mai 2010 die Kategorie Textilien/Bekleidung (82) gefolgt von Kosmetika (79). 41 der eingetragenen Produkte sind solche für industrielle Anwendungen, die wiederum in Konsumprodukten Eingang finden. 247 der Produkte sind direkt in österreichischen Handelsgeschäften erhältlich. Der Rest ist überwiegend über deutschsprachige Online-Shops erhältlich. Produkte aus dem Bereich Elektronik (z.B. Computerchips, MP3-Player, etc.) wurden nicht aufgenommen.



Anzahl der in der „Nano-Produkte“-Datenbank des Projekts NanoTrust (ITA/ÖAW) eingetragenen Produkte nach Kategorie (Stand Mai 2010).

Wenngleich oben angeführten Datenbanken nur einen groben qualitativen Überblick über die derzeitige Marktsituation ermöglichen, so wird doch deutlich, dass Produkte, die laut Herstellerangaben Nanomaterialien beinhalten oder auf Nanotechnologie basieren bereits ein sehr breites Spektrum umfassen und in vielen Bereichen Einzug in die Haushalte gehalten haben – vom Kühlschrank über Bekleidung und Kosmetika bis hin zu Reinigungsmitteln. Da es – mit Ausnahme von Kosmetika (gültig ab 2013) – derzeit keine Deklarationspflicht von Nanomaterialien gibt, sind es allein die freiwilligen Informationen der Hersteller oder Händler, die zur Verfügung stehen. Diese sind aber in vielen Fällen sehr spärlich, fehlen überhaupt oder sind fragwürdig. Wie oben erwähnt, wird „nano“ auch gerne als verkaufsfördernde Maßnahme verwendet, so dass davon ausgegangen werden kann, dass viele vermeintliche „Nano-Produkte“

nichts mit Nanotechnologie zu tun haben. Auf der anderen Seite gibt es am Markt vermutlich bereits eine Reihe von Produkten, die auf nanotechnologische Entwicklungen zurückgreifen, ohne dass dies ersichtlich wäre. Dies gilt vor allem für Branchen, die eher eine Abschreckung der KonsumentInnen durch das Schlagwort „nano“ befürchten, wie z.B. die Lebensmittelindustrie. Nachdem in den Medien immer häufiger über mögliche Gesundheitsrisiken von Nanomaterialien berichtet wird, distanzieren sich auch immer mehr Unternehmen ganz dezidiert von der Nanotechnologie – auch wenn sie in ihren Produkten Nanomaterialien verwenden. Bei manchen ursprünglich mit „nano“ beworbenen Produkten verschwindet diese Form der Auslobung plötzlich auch wieder von den Verpackungen oder wird durch eine andere ersetzt, ohne dass für die VerbraucherInnen ersichtlich wäre, ob und in welcher Form sich die Zusammensetzung des Produktes verändert hätte.

Literaturhinweise und Weblinks

Greßler et al. (2009): Nano-Konsumprodukte in Österreich. NanoTrust Dossier Nr. 9, April 2009.
<http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotruster-dossiers/dossier009.pdf>

7 Kennzeichnung, freiwillige Selbstverpflichtung der Industrie, Qualitätslabel

Wenngleich der generelle Kenntnisstand zu Nanotechnologien in der Bevölkerung noch relativ gering ist, äußern VerbraucherInnen in Umfragen immer wieder den Wunsch nach Kennzeichnung von Produkten, die Nanopartikel oder Nanomaterialien beinhalten und fordern umfassende Information, um eine bewusste Kaufentscheidung treffen zu können. Diese Forderungen wurden von verschiedenen nationalen und internationalen zivilgesellschaftlichen (Umwelt- und Verbraucherorganisationen) und politischen Akteuren aufgegriffen und in Form von Positionspapieren oder Forderungskatalogen manifestiert. Die Motivation der Konsumenten ist einsichtig: Medienberichte über mögliche gesundheitliche Risiken von Nanopartikeln und Nanomaterialien haben die VerbraucherInnen verunsichert. Die fehlende Bereitschaft der Industrie (insbesondere Kosmetik und Lebensmittel) zur Offenlegung, ob und in welcher Form Nanomaterialien eingesetzt werden sowie zum öffentlichen Diskurs über Vorteile und mögliche Nachteile dieser Anwendungen, hat bei vielen VerbraucherInnen Misstrauen erweckt. Eine verpflichtende Kennzeichnung von Produkten mit Nanopartikeln oder Nanomaterialien erscheint somit als Möglichkeit, selbst entscheiden zu können, ob man für einen bestimmten Vorteil ein unbestimmtes, noch nicht kalkulierbares gesundheitliches Risiko auf sich nehmen möchte. Auch der Umweltschutzgedanke spielt dabei in bestimmten Bevölkerungsschichten eine Rolle, da zum Umweltverhalten von Nanopartikeln noch viel weniger Informationen zur Verfügung stehen, als zu gesundheitlichen Fragen.

Die Hersteller lehnen eine verpflichtende Kennzeichnung jedoch ab. Die Anwendungsmöglichkeiten seien zu heterogen und komplex, eine einheitliche Definition fehle, außerdem könne es den Konsumenten egal sein, welche Technologie hinter einem Produkt steht. Hersteller fürchten zudem, dass durch eine verpflichtende Kennzeichnung unbegründete Ängste vor möglichen Risiken geschürt und damit das Kaufverhalten der KonsumentInnen negativ beeinflusst werden könnte.

Wie weiter oben bereits ausgeführt, wird „nano“ aber auch gerne als verkaufswirksames Schlagwort verwendet und zwar sehr wahrscheinlich auch für konventionelle

Produkte, die nichts mit moderner Nanotechnologie zu tun haben. Dies ist nicht nur für VerbraucherInnen ärgerlich, sondern auch für Hersteller nanotechnologischer Produkte, die oftmals viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit in ihrer Produkte investiert haben und die sich gerne von solchen „Trittbrettfahrern“ abgrenzen möchten. Aus diesem Grund gibt es bereits vereinzelt Initiativen für eine freiwillige Kennzeichnung von „Nano-Produkten“ in Form von sogenannten „Gütesiegeln“.

Bislang hat sich noch keines der unten angeführten Qualitätslabel durchgesetzt. Nur wenige Unternehmen haben sich den Initiativen angeschlossen und sich um eines der Label beworben. Endabnehmer – KonsumentInnen wie EinkäuferInnen von Unternehmen gleichermaßen – könnten durch eine bewusste Kaufentscheidung allerdings zu einer weiteren Verbreitung der Gütesiegel beitragen.

7.1 Das forumnano-Gütesiegel

Forumnano ist eine im Jänner 2008 lancierte Initiative mittelständischer deutscher Unternehmen mit Sitz in Frankfurt/Main. Als Ziele werden definiert:

- Die Förderung nachhaltiger Nanotechnologie.
- Gemeinsame, international anerkannte Prinzipien und Qualitätsstandards in der Branche.
- Dialog mit der Öffentlichkeit über die Möglichkeiten der Nanotechnologie.

Die Initiative entwickelte laut eigenen Angaben das weltweit erste, wissenschaftlich anerkannte Gütesiegel, um Nano-Produkte zu kennzeichnen. Seit 2008 wird das Zertifikat an geprüfte Produkte vergeben.

Das Siegel wurde bislang an zwei Produkte vergeben: Holmenkol SealNGlide (Imprägnierungsmittel für Segel), TCnano Glass von TCnano ApS, Dänemark (Beschichtung für Glas, z.B. Autoscheiben). Das letztere ist jedoch bereits wieder ausgelaufen.

Damit ein Produkt das Gütesiegel erhält, muss es drei Kriterien erfüllen:

1. Kriterium: Produkt enthält „Nano“.

Grundlage dafür sind die Definitionen von ISO und CEN. Durch ein analytisches Verfahren wird nachgewiesen, dass Nanotechnologie enthalten ist. Diese Analyse wird vom wissenschaftlichen Beirat von forumnano erstellt. Der wissenschaftliche Beirat stellt nach positivem Ergebnis das Zertifikat aus. Das Produkt wird in die öffentliche Produktdatenbank www.nanodaten.de aufgenommen.

2. Kriterium: Selbstverpflichtung auf Responsible Nano-Code.

Das Unternehmen verpflichtet sich, während der Entwicklung, Herstellung und Vermarktung des Produktes den forumnano-Verhaltenskodex einzuhalten.



3. Kriterium: Funktionalität.

Das Produkt verfügt über eine besondere Eigenschaft, die durch Nanotechnologie gemäß Definition 1 ermöglicht wurde. Dies umfasst die Definition nanotechnologischer Güte.

- Das Unternehmen verfasst eine Beschreibung der Eigenschaften des Produktes und legt externe Prüfungsergebnisse und Zertifizierungen vor.
- Die Eigenerklärung wird von einem gewählten Ausschuss von **forumnano** und vom wissenschaftlichen Beirat geprüft.
- Das Zertifikat wird auf der Website www.forumnano.org kommuniziert.

Werden die Kriterien von den Herstellern ernsthaft und glaubwürdig erfüllt, dann stellt dieses Gütesiegel sicher eine gute Informationsquelle und Entscheidungsgrundlage für KonsumentInnen dar. Erstens können die VerbraucherInnen sicher sein, dass sie tatsächlich ein nanotechnologisches Produkt kaufen und nicht in die Irre geführt werden, wobei nicht nur das Vorhandensein eines Nanomaterials entscheidend ist, sondern auch eine darauf begründete neue Funktionalität. Zweitens umfasst die Einhaltung des „Responsible NanoCode“ mit seinen sieben Prinzipien u.a. auch die Durchführung umfassender Risikoanalysen. Damit sollen Unternehmen potenzielle Risiken für Gesundheit, Sicherheit und Umwelt minimieren. Sozialen und ethischen Auswirkungen bei der Entwicklung und dem Verkauf des Nano-Produkts sollen ebenfalls umfassend Rechnung getragen werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass sich die Initiative in Zukunft das nötige Vertrauen der KonsumentInnen aufbauen kann. Keine über die gesetzlichen Vorschriften hinausgehende Informationen bietet das Gütesiegel allerdings zu Inhaltsstoffen bzw. Bestandteile der Produkte. Gerade dies wird von Verbrauchern und NGOs, die für eine verpflichtende Kennzeichnung eintreten aber gefordert. Das Gütesiegel wurde vor zwei Jahren eingeführt. Seither wurden nur zwei Produkte damit versehen, wovon ein Produkt bereits wieder ausgelaufen ist. Ausgehend davon, dass sich Hunderte von Produkten am Markt befinden, die mit „nano“ beworben werden, kann das Interesse an diesem Gütesiegel von Seiten der Industrie vorläufig nur als sehr gering betrachtet werden. Ändern könnte sich dies, wenn von VerbraucherInnenseite verstärkt Produkte mit diesem Siegel nachgefragt würden.

7.2 Hohensteiner Qualitätslabel „Nanotechnologie“

Die „Hohenstein Institute“ mit Sitz in Bönningheim/Deutschland (www.hohenstein.de) bieten Materialprüfungen und vergleichende Warentests zur Bestimmung und Optimierung textiler oder textilnaher Produkte. Unter Nanotechnologie versteht dieses Institut systematisch angeordnete funktionelle Strukturen, die aus Teilchen mit größenabhängigen Eigenschaften bestehen.

„Damit ein textiles Produkt künftig das Hohensteiner Qualitätslabel führen darf, reicht es deshalb nicht aus, wenn Nanopartikel im Innern der Fasern angelagert sind oder diese von einer nanoskaligen Beschichtung (Nanofilm) umschlossen werden. Vielmehr müssen die Nanopartikel oder -schichten in oder auf dem Textil systematisch angeordnet sein und so nachweislich zu einer neuen Funktion führen.“

Des weiteren darf sich die Nanotechnologie beim Träger nur durch eine nachweislich verbesserte Funktion bemerkbar machen und die textilen Eigenschaften nicht nennenswert beeinflussen.

Textiltechnologische Parameter, die zusätzlich zur Nanoausrüstung überprüft werden müssen, sind die Beständigkeit bei der Pflege, die gesundheitliche Unbedenklichkeit und der Tragekomfort. Diese Parameter können von den Hohensteiner Spezialisten auf Wunsch ebenfalls getestet werden. Auf dem Qualitätslabel werden sie dann separat ausgewiesen“.



Die Hohenstein Institute führen im Gegensatz zu forum**nano** kein öffentlich zugängliches Register über die mit ihrem Qualitätssiegel bislang versehenen Produkte. Bei Marktrecherchen konnte nur ein (Industrie)Produkt eruiert werden, welches das Hohenstein Qualitätslabel „Nanotechnologie“ trägt und zwar „Schöller Garne mit Nanoausrüstung“ der österreichischen Firma Schöller (Bregenz).

Positiv an dem Qualitätslabel „Nanotechnologie“ der Hohenstein Institute ist zu bemerken, dass es ebenfalls wie das Gütesiegel von forum**nano** nicht nur an das Vorhandensein eines Nanomaterials, sondern auch an neue – daraus resultierende – Funktionalitäten und Eigenschaften geknüpft ist. Für KonsumentInnen hilfreich sind auch die zusätzlichen Prüfungsparameter, wie Pflegebeständigkeit und Hautverträglichkeit. Das Label ermöglicht den Verbrauchern somit hochwertige Textilien mit beständiger nanotechnologischer Ausrüstung - die auch halten, was sie versprechen – von jenen zu unterscheiden, die nur mit „nano“ beworben werden. Das Interesse der Hersteller an diesem Label scheint aber ebenfalls gering zu sein. So konnten bei Marktrecherchen zwar mehr als 80 verschiedene Bekleidungsstücke, speziell aus dem Outdoor-Bereich (Jacken, Hosen, etc.), aber auch Hemden und Krawatten, ebenso wie einige Schlafsäcke und Zelte mit nanotechnologischer Ausrüstung in Handelsgeschäften ausfindig gemacht werden, ohne dass dieses Label der Verfasserin augenfällig geworden wäre.

7.3 Qualitätslabel „Selfcleaning inspired by nature“, ITV Denkendorf

BASF entwickelte selbstreinigenden technischen Textilien auf Basis von Kompositmaterialien mit Nanopartikeln in einer Trägermatrix, welche die für den „Lotus-Effect[®]“ notwendigen Oberflächenstruktur aufbauen (zum „Lotus-Effect[®]“ siehe auch Kapitel 10.8). Interessant sind derart ausgestattete Polyestergewebe insbesondere für Markisen, Sonnenschirme, Segel und Zelte. Das Institut für Textil- und Verfahrenstechnik, Denkendorf (D), hat diese Gewebe aufgrund ihrer Fähigkeit zur Selbstreinigung mit dem Qualitätslabel „Selfcleaning inspired by nature“ ausgestattet (www.itv-denkendorf.de). Nähere Informationen zu den Kriterien für dieses Label sind jedoch nicht verfügbar.

7.4 „Negativ-Kennzeichnung“

„The Soil Association“ (www.soilassociation.org) ist die größte Organisation in GB zur Zertifizierung von Lebensmitteln und anderen Produkten aus organischer Landwirtschaft. Seit dem 1.1.2008 dürfen zertifizierte Produkte, insbesondere aus dem Bereich Gesundheit und Kosmetik sowie Lebensmittel und Textilien, keine synthetischen Nanomaterialien beinhalten. Die „Soil Association“ ist die erste Organisation weltweit, die Nanomaterialien mit einem Bann belegt.

Das Label dieser Organisation repräsentiert somit das erste Beispiel eines „Negativ-Labels“ für Nanotechnologie.



Obwohl die Soil Association durchaus auch die Vorteile der Nanotechnologie in manchen Bereichen anerkennt, kritisiert sie insbesondere die Anwendung im Kosmetikbereich und die fehlende Kennzeichnung. Der Regierung seien die möglichen negativen Effekte bewusst, entsprechende Maßnahmen wurden aber bislang nicht gesetzt. Aufgrund des Vorsorgeprinzips und im Einklang mit den Prinzipien einer organischen Landwirtschaft hat sich die Soil Association deshalb zu diesem Schritt entschlossen.

Die Vereinigung sieht viele Parallelen zwischen GVOs und der Entwicklung der Nanotechnologie:

- *„Wissenschaftliches Verständnis und regulatorische Maßnahmen hinken den wirtschaftlichen Anwendungen hinterher. Die Risiken der Nanotechnologie seien immer noch größtenteils unbekannt, ungetestet und unvorhersehbar.“*
- *Die Industrie versucht gegenüber der Regierung die Oberhand zu gewinnen, in dem sie mit verführerischen Behauptungen zu Vorteilen der Technologie argumentiert. Ebenso werden Konsumenten durch die Einführungen von Produkten übergangen, ohne dabei die grundlegenden Sicherheitsaspekte zu beachten.*
- *Erste Studien zeigen einige negative Effekte und es gibt noch viel Forschungsbedarf betreffend potenzieller Gesundheitseffekte.*
- *Die Regulatoren haben bislang nicht auf wissenschaftliche Hinweise zu möglichen negativer Gesundheitseffekten von Produkten, die sich bereits auf dem Markt befinden (Titandioxid-Nanopartikel) reagiert. Stattdessen werden die Beteuerungen der Industrie und unveröffentlichte Industriedaten akzeptiert.*
- *Der „standard of proof“ für Bedenken ist sehr hoch angesetzt, aber sehr niedrig, wenn es darum geht, diese Bedenken vom Tisch zu wischen. Außerdem fehlt eine Beurteilung der widersprüchlichen Argumente auf Basis fundierter wissenschaftlicher Grundlagen.*
- *Da es keinen Konsens über mögliche gesundheitliche Effekte gibt, werden Bedenken runtergespielt. Ebenso wird damit argumentiert, dass einige Nanopar-*

tikel ebenfalls in der Natur vorkommen oder bereits seit einiger Zeit industriell hergestellt werden (das stimmt, allerdings nicht in der Größe und chemischen Bandbreite wie jetzt. Außerdem gibt es Gesundheitsbedenken für einige von diesen, wie etwa im Bereich Luftverschmutzung).“

Auch in Kanada und Australien haben sich bereits Bioverbände gegen eine Verwendung von Produkten auf Basis Nanotechnologie ausgesprochen, insbesondere von Düngemitteln oder Pestiziden mit nanostrukturierten Bestandteilen.

7.5 CENARIOS® – Zertifiziertes Risikomanagement- und Monitoringsystem

„die Innovationsgesellschaft“ (Schweiz) und die TÜV SÜD Industrie Service GmbH (München) haben mit Cenarios (www.tuev-sued.de/technische_anlagen/risikomanagement/nanotechnologie) ein zertifiziertes Risikomanagement- und Monitoringsystem speziell für Unternehmen im Bereich Nanotechnologie entwickelt. Das System besteht aus drei Modulen: „Risk Assessment“, „Risiko-Monitoring“ und „Issue Management und Kommunikation“. Unternehmen, die sich dem Verfahren unterziehen, erhalten ein Zertifikat. Als Ziele werden u.a. definiert:

- Gewährleistung eines umfassenden Risikomanagement- und Monitoringsystems,
- Erhöhung der Sicherheit von Produkten und Prozessen,
- Einhaltung eines anerkannten Standards für die Sicherheit von Produkten und Prozessen,
- Dokumentation gegenüber Kunden, Lieferanten und Behörden,
- Minimierung eines potenziellen Haftungsrisikos.



Bislang hat sich erst ein Unternehmen dem Zertifizierungsprozess unterzogen (Bühler Partec GmbH, Saarbrücken, Deutschland).

Produkte selbst werden nicht mit dem TÜV-Prüfzeichen „Cenarios“ gekennzeichnet. Es kann aber in anderer Weise, z.B. auf dem Briefpapier, der teilnehmenden Unternehmen verwendet werden.

7.6 TÜV Qualitätslabel

Die TÜV-Gruppe umfasst eine Reihe eigenständiger Prüf- und Zertifizierungsunternehmen, die unter anderem auch die Wirksamkeit, die Qualität und die Sicherheit von Produkten überprüfen und zertifizieren. Auch eine Reihe von Nano-Produkten trägt ein TÜV-Prüfzeichen, allerdings ist es für KonsumentInnen kaum durchschaubar, was in welcher Form geprüft wurde. Es gibt so viele TÜV-Zeichen von den verschiedensten TÜV-Firmen, dass dies teilweise bereits inflationär erscheint. Die TÜV-Zeichen genießen trotzdem hohes Vertrauen der KonsumentInnen, sind aber oft nicht aussagekräftig. Gelegentlich kommt es auch zu Mißbrauch, indem Prüfzeichen gefälscht werden oder für ein anderes Produkt vergeben wurden, als für jenes, auf dem das Zeichen aufgedruckt wurde. Ein TÜV-Zeichen steht nicht automatisch für

Sicherheit und Qualität. Die KonsumentInnen müssten sich im Einzelfall genau darüber informieren, welches Produkt und welche Eigenschaften überprüft worden sind und gegebenenfalls das Prüfzertifikat anfordern.

Literaturhinweise und Weblinks:

Fiedeler U., Nentwich M., Greßler S., Gázsó A., Simkó M. (2010): Industrielle Selbstverpflichtungen und freiwillige Maßnahmen im Umgang mit Nanomaterialien. NanoTrust Dossier Nr. 16, März 2010. . <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier016.pdf>

8 Potenzielle Risiken für Gesundheit und Umwelt

Zu den potenziellen Risiken wurden in den letzten Jahren eine Vielzahl von Studien durchgeführt, dennoch verbleiben große Wissenslücken. Im folgenden Abschnitt soll ohne Anspruch auf Vollständigkeit ein kurzer Überblick über den derzeitigen Wissensstand gegeben werden. Für weiterführende Informationen stehen die am Ende des Kapitels angeführten Literaturhinweise zur Verfügung.

Nanomaterialien finden bereits breite Anwendung in den verschiedensten Produkten. Eine Exposition von Mensch und Umwelt ist also gegeben, wenngleich deren Ausmaß derzeit nicht abgeschätzt werden kann, da es keine verpflichtende Registrierung von Nanomaterialien gibt. Problematisch erscheinen nach heutigem Wissensstand vor allem freie, unlösliche bzw. biologisch nicht abbaubare Nanomaterialien. Sind Nanopartikel fest in ein anderes Material eingebunden (z.B. in Kunststoffe oder Beschichtungsmaterialien), so ist eine Freisetzung unwahrscheinlich. Allerdings fehlen hier noch weitere Untersuchungen, z.B. zur Freisetzung aufgrund von mechanischer Belastung (Abrieb) oder Alterung eines Materials. Für lösliche, biologisch abbaubare Nanomaterialien, wie sie etwa in der Kosmetik oder Lebensmittelindustrie verwendet werden, liegen nach heutiger Datenlage keine Hinweise auf mögliche Risiken vor.

Die Aufnahme von Nanomaterialien in den menschlichen Körper ist über mehrere Expositionspfade möglich: über die Lunge (inhalativ), über die Haut bzw. Schleimhäute (dermal) bzw. über den Verdauungstrakt (oral).

Besonders die Aufnahme über die **Lunge** gilt derzeit als besonders bedenklich, da Teilchen kleiner als einen Mikrometer ($1 \mu\text{m} = 1000 \text{ nm}$) tief in die Lunge – unter Umständen bis zu den Lungenbläschen (Alveolen) - gelangen und dort entzündliche Prozesse verursachen können. Hier können Analogieschlüsse zu Ergebnissen aus Forschungen mit Ultrafeinstaubpartikeln ($< 100\text{nm}$) gemacht werden, allerdings reichen diese nicht aus, um das Risiko von Nanopartikeln umfassend abschätzen zu können. Jedenfalls zeigten Untersuchungen, dass eine Exposition mit Ultrafeinstaub negative Effekte auf das Herz-Kreislaufsystem haben kann. Besonders problematisch erscheinen derzeit bzgl. einer inhalativen Exposition Kohlenstoff-Nanofasern (Carbon-Nanotubes), die in mancher Hinsicht Asbestfasern ähneln. Tierversuche mit bestimmten Kohlenstoff-Nanofasern zeigten, dass diese (nach Injektion in den Bauchraum der Versuchstiere) krankhafte Veränderungen (Vorstufen von bestimmten Tumortypen) hervorriefen, die jenen ähneln, die man auch von Asbestfasern kennt.

Ob Nanopartikeln die **Haut** durchdringen können, wurde in einigen Studien untersucht, da bestimmte Nanopartikel etwa in der Kosmetik eingesetzt werden. Die Ergebnisse zeigten, dass etwa Nanopartikel von Titandioxid, das als UV-Filter in Sonnenschutzmittel eingesetzt wird, die gesunde Haut nicht durchdringen können. Kranke (z.B. Neurodermitis, Ekzeme) oder verletzte Haut hat jedoch eine verringerte Barrierewirkung. Hier ist es möglich, dass Nanopartikel die Hornhaut durchdringen und zum lebenden Zellgewebe vordringen können. Auch ein Übertritt in den Blutkreislauf wäre dann möglich. Bislang nicht untersucht wurde, wie sich Nanopartikel von Titandioxid auf der Haut von Kindern verhält. Fullerene (kugelförmige Nanopartikel, die aus Kohlenstoffatomen aufgebaut sind, mit einem Durchmesser von nur 1 nm) überwinden leicht die abgestorbenen Zellen der Hornhaut und dringen bis zum lebenden Gewebe vor. Fullerene werden aufgrund ihrer antioxidativen Wirkung in einigen wenigen Kosmetika („Anti-Aging-Cremes“) auf dem internationalen Markt eingesetzt. Nanosilber wird in einigen Kosmetika am internationalen Markt angeboten. Da Silber unspezifisch gegen eine breite Palette der verschiedensten Mikroorganismen wirkt, sind Auswirkungen auf die gesunde menschliche Hautflora mit möglicherweise negativen Effekten nicht auszuschließen. Bislang fehlen jedoch Untersuchungen dazu.

Untersuchungen zum Verhalten von Nanomaterialien bei oraler Aufnahme liegen erst wenige vor. Diese zeigen, dass eine Aufnahme durch den **Magen-Darm-Trakt** offenbar nur in einem geringen Ausmaß erfolgt. Neben der Nahrung ist auch das versehentliche Verschlucken z.B. von Sonnenschutzmitteln ein Expositionsweg, der beachtet werden sollte. Insbesondere bei Kindern stellt dies einen möglichen Eintrittspfad von Nanopartikeln dar. Eine neue Studie untersuchte deshalb die Auswirkungen von Zinkoxid-Nanopartikeln auf Darm-Zellkulturen. Zinkoxid wird ebenso wie Titandioxid in seiner Nanoform als UV-Filter verwendet, ist allerdings in der EU nicht zugelassen. Die Studie zeigte, dass Zinkoxid-Nanopartikel etwa zweimal so toxisch für Darm-Zellkulturen sind als Zinkoxid in seiner größeren Form. Die für Darmzellen toxische Menge entspricht etwa 2 g verschluckter Sonnencreme. Nachdem die Untersuchungen aber mit Zellkulturen durchgeführt wurden, konnten allfällige Veränderungen der Nanopartikel durch die Darmpassage im menschlichen Körper nicht berücksichtigt werden. Eine orale Aufnahme von Nanosilber, etwa in Form von Nahrungsergänzungsmitteln („Kolloidales Silber“), die zur Vorbeugung und sogar Heilung der verschiedensten Krankheiten angeboten werden, ist nicht anzuraten. Einerseits gibt es keine Belege für eine tatsächliche Wirksamkeit und andererseits wirkt Silber in höheren Dosierungen toxisch für den Menschen. Eine der häufigsten Nebenwirkungen ist „Argyria“ – die permanente blau-graue Verfärbung der Haut – aber es wurden auch toxische Wirkungen auf das Nervensystem sowie Leberschädigungen beobachtet. Nanopartikel, etwa Nanosilber, Titandioxid oder Siliziumdioxid werden auch Kunststoffverpackungen von Lebensmitteln zugefügt, um deren Eigenschaften zu verbessern. Ein Übertritt dieser Partikel in die Lebensmittel ist unter bestimmten Umständen nicht auszuschließen, aussagekräftige Studien dazu fehlen jedoch noch weitgehend. Das Deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung hat Nanosilber einer neuerlichen Bewertung unterzogen und empfiehlt Herstellern generell auf Nanosilber in Konsumprodukten zu verzichten, bis die Datenlage eine abschließende gesundheitliche Risikobewertung zulässt und die Unbedenklichkeit von Produkten sichergestellt ist.

Wenn Nanopartikel in den Körper gelangen, dann können sie zu den verschiedenen Organen transportiert werden, etwa zur Leber, Niere, Milz oder ins Herz. Ob und in welcher Form dies mögliche gesundheitliche Folgen zeitigt, ist bislang für viele nanopartikelartige Materialien nicht bekannt. Aufgrund ihrer geringen Größe können Nanopartikel auch Zellmembranen durchdringen, in die Zellen gelangen und DNA-Schädigungen oder entzündliche Prozesse verursachen. Selbst so effektive Filter im menschlichen Körper, wie die Blut-Hirn-Schranke oder die Plazenta, können Nanopartikel nicht aufhalten. Sogar entlang von Nervenzellen (Riechnerv) können Nanopartikel in das Gehirn gelangen.

Die Verteilung im menschlichen Körper ist jedenfalls abhängig von verschiedenen Faktoren, wie etwa die Größe der Partikel, die Form und ihre Stoffeigenschaften. Besonders problematisch erscheinen unlösliche bzw. nicht abbaubare Nanopartikel. Über deren Verbleib und Verhalten ist wenig bekannt. Möglich ist jedoch eine Anreicherung insbesondere in den Enggiftorganen (Leber, Niere). Innerhalb des Körpers können Nanopartikel auch Interaktionen mit biologischen Materialien eingehen, z.B. mit Eiweißstoffen, Blutgerinnungsfaktoren, roten Blutplättchen oder Blutzellen. Diese Interaktionen können entscheidenden Einfluss auf die Verteilung oder Ausscheidung von Nanopartikeln haben.

Zur **Ökotoxikologie von Nanomaterialien** gibt es zwar bereits eine große Anzahl von Studien, jedoch ist die Datenlage immer noch nicht ausreichend, um eine umfassende Risikoabschätzung vornehmen zu können. Es zeigte sich jedoch, dass einige Nanomaterialien besonders problematisch sind. Dazu gehört etwa Titandioxid. Titandioxid wird unter Beisein von Wasser und UV-Licht photokatalytisch aktiv, d.h. es bilden sich giftige Sauerstoffradikale, die toxisch für Mikroorganismen sind. Besonders photoreaktiv ist Titandioxid in seiner Nanoform. Durch die Verwendung als UV-Filter in Sonnenschutzmitteln ist ein Eintrag dieser Substanz in größeren Menge u.a. in Badegewässer zu erwarten. Eine Studie zeigte auch, dass Titandioxid-Nanopartikel aus Fassadenfarben ausgewaschen und mit dem Regenwasser in den Boden gelangen können. Zur Untersuchung möglicher Auswirkungen sind jedoch noch weitere Studien notwendig. Eine weitere für die Umwelt problematische Substanz ist Nanosilber. Aufgrund seiner breiten Wirksamkeit gegen eine Vielzahl verschiedener Krankheitserreger, Algen und Pilze wird Nanosilber zunehmend nicht nur in der Medizin, sondern auch in Konsumprodukten eingesetzt (Kosmetika, Beschichtung von Geräten, Reinigungsmittel, Lebensmittelverpackungen, Textilien, etc.). Bislang ist der Eintrag in die Umwelt noch gering, sollte der Trend zu Produkten mit Nanosilber aber anhalten und vermehrt Nanosilber in die Umwelt gelangen, dann sind mögliche negative Effekte auf Bodenmikroorganismen, Bakterien in den Kläranlagen und aquatische Organismen nicht auszuschließen. Für den Menschen ist Silber zwar nur in sehr hohen Dosierungen giftig, durch die breite Anwendung von Nanosilber im Haushaltsbereich besteht aber die Gefahr der Resistenzbildung, sodass diese Substanz u.U. in Zukunft im medizinischen Bereich, wo es derzeit nutzbringend v.a. zur Behandlung von Brandverletzungen oder in Form von Beschichtungen von Implantaten, eingesetzt wird, nicht mehr zur Verfügung steht. Außerdem besteht die Möglichkeit der Entstehung von multi-resistenten Krankheitserregern, d.h. von Bakterien, die eine Resistenz gegen ein Antibiotikum oder Biozid entwickelt haben, können dann auch gegen andere Substanzen resistent sein.

Eine Reihe von ökotoxikologischen Untersuchungen zeigen die Toxizität von Nanopartikeln für Organismen, etwa für Fische. Allerdings ist hierbei zu bedenken, dass für diese Untersuchungen zumeist unrealistisch hohe Dosierungen verwendet werden und diese wenig aussagekräftig hinsichtlich des Verhaltens und der Toxizität von Nanopartikeln in der natürlichen Umwelt sind. Generell besteht in der Toxikologie noch das Problem der geeigneten Methoden. Weniger die Menge eines untersuchten Materials (also die Dosis), als vielmehr die nanospezifischen Eigenschaften (Anzahl der Partikel, Form, Größe, spezifische Oberfläche, Löslichkeit, Agglomerationsverhalten, katalytische Aktivität, chemische Reaktivität, etc.) sind bei der Untersuchung von Nanomaterialien entscheidend. Weiters fehlen für toxikologische Untersuchungen oftmals noch standardisierte Referenzmaterialien. Weltweit werden deshalb Überlegungen angestellt, die Standards in der Toxikologie für Nanomaterialien entsprechend anzupassen.

Auch **Nachweisverfahren** für Nanomaterialien sind erst in Entwicklung. Vielfach ist es noch sehr schwierig und aufwändig, synthetische Nanopartikel in komplexen Medien (wie z.B. einer Hautcreme) oder in der Umwelt nachzuweisen. Bislang faktisch kaum untersucht sind mögliche Umweltauswirkungen von Nanomaterialien aus Produkten am Ende deren Lebenszeit (Abfallproblematik). Kühlschränke mit Nanosilber-Beschichtungen, Tennisschläger mit Kohlenstoff-Nanofasern oder nano-beschichtete Bratpfannen landen schlussendlich auf der Mülldeponie bzw. in der Verbrennungsanlage. Bislang ist nicht bekannt, ob Nanomaterialien etwa Recyclingverfahren beeinträchtigen oder bei Verbrennung bzw. Deponierung mögliche negative Effekte auf die Umwelt zu erwarten sind.

Zusammenfassend sei festgehalten, dass es wohl einige Hinweise auf mögliche Umwelt- und Gesundheitsrisiken von Nanomaterialien gibt, bislang aber eine tatsächliche Gefährdung nicht belegt ist. Für eine umfassende Risikoabschätzung fehlen in allen Bereichen noch ausreichendes Datenmaterial. Nur abgeschätzt werden können die Mengen an Nanomaterialien, mit denen KonsumentInnen tatsächlich in Berührung kommen, wobei man dafür vorrangig auf die Informationen von Herstellern oder Händlern angewiesen ist. Da sich die verschiedenen Nanomaterialien grundsätzlich von einander unterscheiden und auch die Anwendungsformen vielfältig sind, ist jedenfalls eine Einzelbewertung notwendig. Pauschale Aussagen über Nanomaterialien lassen sich nicht treffen. Jede Substanz muss separat einer Risikobewertung unterzogen werden, wobei nicht nur die Materialeigenschaften, sondern auch der Anwendungskontext (in einem Spray oder einer Creme, eingebunden in Kunststoff, als Beschichtung, in einer Lösung, etc.) relevant ist.

Literaturhinweise und Weblinks

Risk Assessment of Products of Nanotechnologies. Opinion. Scientific Committee on Emerging and newly identified health risks (SCENIHR). 19. Jänner 2009.

http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/09_scenihr/scenihr_opinions_en.htm#nano

Zijverden van M. & Sips A.J.A.M. (2009): Nanotechnology in perspective. Risks to man and the environment. National Institute for Health and the Environment (RIVM), Niederlande.

Nanotechnik für Mensch und Umwelt. Chancen fördern und Risiken minimieren. Umweltbundesamt Deutschland. Oktober 2009. http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3765

Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2008.
http://www.bmu.de/gesundheit_und_umwelt/nanotechnologie/nanodialog/doc/42655.php

Simkó M., Gázsó A., Nentwich M., Fiedeler U. (2008): Wie kommen Nanopartikel in den menschlichen Körper und was verursachen sie dort? NanoTrust Dossier Nr. 3, Mai 2008.
<http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier003.pdf>

Simkó M., Fiedeler U., Gázsó A., Nentwich M. (2008): Einfluss von Nanopartikeln auf zelluläre Funktionen. NanoTrust Dossier Nr. 7, November 2008. <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier007.pdf>

Simkó M., Gázsó A., Fiedeler U., Nentwich M. (2009): Nanopartikel, Freie Radikale und Oxidativer Stress. NanoTrust Dossier Nr. 12, Mai 2009. <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier012.pdf>

Simkó M., Fiedeler U., Gázsó A., Nentwich M. (2009): Können Nanopartikel in das Gehirn gelangen? NanoTrust Dossier Nr. 14, September 2009. . <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier014.pdf>

Fries R., Greßler S., Simkó M., Gázsó A., Fiedeler U., Nentwich M. (2009): Nanosilber. NanoTrust Dossier Nr 10, April 2009. <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier010.pdf>

Greßler S. & Fries R. (2010): Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit.
<http://www.bmg.gv.at/cms/site/standard.html?channel=CH0983&doc=CMS1266311358101>

BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab. Stellungnahme Nr. 025/2010 des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR), 28.12.2009.
<http://www.bfr.bund.de/cd/50963>

9 Umweltentlastungspotenziale

In die Nanotechnologien werden große Hoffnungen für den Umweltschutz gesetzt. Produkte auf Basis von Nanotechnologie sollen es ermöglichen, Rohstoffe und Energie einzusparen bzw. effizienter zu nutzen und den Schadstoffausstoß zu verringern. Insbesondere in folgenden Bereichen werden Umweltentlastungspotenziale erwartet:

- **Einsparung von Rohstoffen durch Miniaturisierung –**
z.B. durch die Verringerung der Schichtdicke bei Beschichtungen, bei Lebensmittelzusatzstoffen oder kosmetischen Inhaltsstoffen. Allerdings ist Miniaturisierung nicht immer gleichzusetzen mit verringertem Materialverbrauch wie ein Beispiel aus der Mikrotechnologie zeigt. Für die Herstellung eines Speicher-Mikrochips für Computer (DRAM) mit einem Gewicht von nur 2 g werden 1,7 kg Rohmaterialien benötigt, inklusive Chemikalien, Wasser und fossilen Brennstoffen.
- **Einsparung von Energie durch Gewichtsreduktion oder durch Funktionsoptimierung –**
z.B. wird erhofft, dass neue, nanotechnologische optimierte Materialien Flugzeuge und Fahrzeuge leichter machen und somit Treibstoffe eingespart werden können. Auch neue Beleuchtungsmittel (OLED) sind in Entwicklung, deren Umwandlungsrate von Energie in Licht bis zu 50% betragen soll (im Vergleich dazu herkömmliche Glühlampen = 5%). Modernen Autoreifen wird schon seit längerer Zeit Industrieroß („Carbon Black“) zur Materialverstärkung zugefügt, welcher der Nanotechnologie zugerechnet wird. Bedingt durch einen ge-

ringeren Rollwiderstand sind Treibstoffeinsparungen bis zu 10% möglich. Selbstreinigende oder „Easy-to-Clean“-Beschichtungen z.B. auf Glas können etwa bei der Gebäudereinigung zu Energie- und Wassereinsparungen führen, da solche Flächen leichter oder weniger oft zu reinigen sind. Nano-tribologische Verschleißschutzprodukte sollen als Treibstoff- oder Motoröl-Zusatz einerseits den Treibstoffverbrauch von Fahrzeugen reduzieren und andererseits auch die Lebensdauer von Motoren verlängern. Nanoporöse Dämmmaterialien können im Bauwesen dazu beitragen, den Energieeinsatz zu Heiz- oder Kühlzwecken von Gebäuden zu reduzieren.

- **Energie- und Umwelttechnik –**

z.B. können verschiedene Nanomaterialien dazu beitragen, die Energieeffizienz von Photovoltaik-Anlagen zu verbessern. Nanotechnologisch optimierte Batterien (Lithium-Titanat-Akkumulatoren) haben eine verbesserte Speicherkapazität und verlängerte Lebensdauer und kommen etwa in Elektroautos zum Einsatz. Brennstoffzellen mit nanoskaligen Keramikmaterialien sind in Entwicklung, die energie- und ressourcenschonend hergestellt werden können. Nanoporöse Membranen (Nanofilter) werden zur Wasseraufbereitung und –reinigung eingesetzt und nanopartikuläre Eisenverbindungen finden Anwendung in der Grundwassersanierung. Der Wirkungsgrad von Katalysatoren in Kraftfahrzeugen wird durch die Nanoskaligkeit der eingesetzten katalytisch aktiven Edelmetalle erhöht und nanoporöse Partikelfilter für die Abgasreinigung sind in Entwicklung.

- **Ersatz von gefährlichen Stoffen –**

z.B. kann Nanosilber sinnvoll dazu eingesetzt werden, gefährliche Biozide etwa in Holzschutzmitteln oder Farben zu ersetzen. In der Autoindustrie ersetzen Nanobeschichtungen zum Korrosionsschutz von Metallen umwelt- und gesundheitsgefährdende Chrom-VI-Lacke. Nanopartikuläres Titandioxid als mineralischer UV-Filter in Sonnenschutzmitteln wird als Alternative zu den gesundheitlich bedenklichen organischen Filtern betrachtet, die u.U. Hautreizungen verursachen können und sogar im Verdacht stehen, krebsauslösend zu wirken.

- **Ressourceneffizienz –**

z.B. kann mittels Nanokatalysatoren die Ausbeute chemischer Reaktionen erhöht und der Anfall umweltbelastender Nebenprodukte verringert werden.

Nanotechnologische Produkte sind aber nicht von vornherein gleichzusetzen mit „Umweltfreundlichkeit“, auch wenn dies in der generellen Euphorie bzgl. der erwarteten Umweltentlastungspotenziale oftmals zu wenig Beachtung findet. Vielfach beziehen sich die Behauptungen auch nur auf die Anwendungsphase und der Material- bzw. Energieeinsatz bei der Herstellung des Produktes bzw. der nanopartikulären Materialien wird nicht angegeben. Ebenso wenig wird auch das Problem der Entsorgung am Ende der Lebensdauer in die Betrachtungen mit einbezogen. Echte Lebenszyklus-Analysen (LCA) gibt es erst für wenige Anwendungen. Für eine umfassende Abschätzung der Umweltentlastungspotenziale sind diese aber unerlässlich.

Das IPEN (International POPs Elimination Network; ein Zusammenschluss von mehr als 700 Umwelt-NGOs aus mehr als 80 Ländern) und das Europäische Umweltbüro (EEB) bezeichnen die Behauptungen zu Umweltvorteilen von Nanotechnologie als übertrieben, ungeprüft und in vielen Fällen Jahre entfernt von einer Realisierung. Die Organisationen befürchten sogar, dass in vielen Fällen die Umweltkosten, die durch die Produktion von Nanomaterialien entstehen, höher sind als die Umweltentlastungspotenziale bei der Anwendung. Außerdem sei auch in Betracht zu ziehen, dass manche Nanomaterialien – auch wenn sie in kleineren Mengen eingesetzt werden als die größeren Ausgangsstoffe – eine höhere Toxizität aufweisen. Ohne umfassende Risikoüberprüfung und Lebenszyklus-Analysen lassen sich keine fundierten Aussagen zu möglichen gesundheitlichen Vorteilen oder Umweltentlastungspotenzialen der Nanotechnologie machen.

„Cientifica“, ein in London ansässiges Technologie-Beratungsunternehmen, das mit seinen Berichten insbesondere den steigenden Bedarf an Informationen zu neuen Technologien abdeckt, widmet sich seit einiger Zeit neben den ökonomischen Vorteilen der Nanotechnologie auch den möglichen Umweltentlastungspotenzialen. In einer Studie wurde versucht, das Potenzial zur Reduktion des Treibhausgases CO₂ durch die Nanotechnologie zu quantifizieren. Das Unternehmen rechnete 2007 mit einer Einsparung von ca. 200.000 t bis zum Jahr 2010, vor allem durch Gewichtsreduktion, verringertem Schadstoffausstoß bei Kraftfahrzeugen und durch die Wärmedämmung von Gebäuden. Diese Menge entspräche nach Berechnungen von Cientifica ca. 0,00027% des weltweiten CO₂-Ausstoßes. Die Autoren schränken in ihrem Bericht aus 2007 allerdings ein, dass viele Anwendungen erst in Entwicklung seien und möglicherweise mit wesentlich höheren Einsparung gerechnet werden kann. Etwa durch einen Wandel in industriellen Herstellungsprozessen oder fundamentalen technischen Durchbrüchen, wie die technische Nutzbarmachung von Photosynthese zur Energiegewinnung und –speicherung. Hier dürfte das Unternehmen allerdings von einer sehr optimistischen Einschätzung ausgegangen sein, denn große neue Errungenschaften zur Reduktion von Treibhausgasen durch die Nanotechnologie konnten in den letzten Jahren nicht verzeichnet werden.

*„Will emerging technologies save the world
or create more problems than they solve?“*

(Cientifica Ltd., London; <http://cientifica.eu/blog/>, 20.5.2010)

Die Umweltorganisation “Friends of the Earth” (FoE) kommt in einem kürzlich erschienenen Bericht zu dem Schluss, dass viele Behauptungen bzgl. der Umweltvorteile von Nanotechnologie nicht der Realität entsprechen. Im Gegenteil, Energie- und Umweltkosten sind viel höher als erwartet – zumeist höher als für konventionelle Produkte. Die Herstellung von Nanomaterialien benötigt große Mengen von Wasser, Lösungsmitteln oder gefährliche Substanzen, die auch als Nebenprodukte anfallen.

Literaturhinweise und Weblinks

Nanotechnik für Mensch und Umwelt. Chancen fördern und Risiken minimieren. Umweltbundesamt Deutschland. Oktober 2009. http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3765

Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2008.

http://www.bmu.de/gesundheit_und_umwelt/nanotechnologie/nanodialog/doc/42655.php

Schmidt K.F. (2007): Green Nanotechnology. It's easier than you think. Woodrow Wilson International Center for Scholars. PEN 8.

http://www.nanotechproject.org/publications/archive/green_nanotechnology_its_easier_than/

Nanotechnology and the environment: A mismatch between claims and reality. IPEN (International POPs Elimination Network), Nanotechnology Working Group. Ohne Datum.

<http://www.ipen.org/ipenweb/work/nano.html>

Nanotech: Cleantech. Quantifying The Effect of Nanotechnologies On CO₂ Emissions. Cientifica Ltd, London. Mai 2007.

<http://cientifica.eu/blog/white-papers/quantifying-the-effect-of-nanotechnologies-on-co2-emissions/>

Nanotechnology, Climate and Energie: Overheated promises and hot air? Friends of the Earth, 2010.

www.foe.co.uk/news/nanotechnology_26009.html

10 Anwendungsbereiche und Produkte im Speziellen

Im folgenden Abschnitt werden Anwendungsbereiche bzw. Produktgruppen aus dem Bereich der Nanotechnologie, die für das Beschaffungswesen der Gemeinde Wien Relevanz haben, hinsichtlich ihrer Chancen (Umweltentlastungspotenzial, Vorteile für die Gesundheit) und Risiken (für die Umwelt und die Gesundheit) kurz dargestellt. Bezüglich der Einschränkungen bei den Umweltentlastungspotenzialen aufgrund großteils fehlender Lebenszyklus-Analysen sei auf die Erläuterungen in Abschnitt 9 verwiesen. Bei den möglichen gesundheitlichen Risiken liegt der Fokus auf den EndverbraucherInnen, die in Kontakt mit den Produkten kommen. Nicht berücksichtigt werden allfällige gesundheitliche Risiken für ArbeitnehmerInnen in den Betrieben, welche Nanopartikel und Nanomaterialien herstellen bzw. verarbeiten. Ökonomische Aspekte nanotechnologischer Produkte werden in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt. Oftmals sind Produkte, die der Nanotechnologie zugerechnet werden, teurer als vergleichbare „konventionelle“ Produkte. Ob sich die höheren Anschaffungskosten etwa durch Ressourceneinsparungen kompensieren lassen, müsste noch überprüft werden.

Die Auswahl der relevanten Anwendungsbereiche und Produktgruppen erfolgte in Anlehnung an die Einteilung der ÖkoKauf-Arbeitsgruppen (www.wien.gv.at/umweltschutz/oekokauf/ergebnisse.html).

10.1 Beleuchtung

In Österreich werden etwa 8,6% des Stromverbrauchs für Beleuchtung aufgewendet (Statistik Austria), weltweit sind es durchschnittlich rund 19%. Gerade in diesem Bereich besteht noch ein großes Potenzial für Einsparungen und Effizienzsteigerungen, wodurch einerseits Kosten eingespart und andererseits ein wesentlicher Beitrag zum Umwelt- und -klimaschutz geleistet werden könnte. Moderne Energiesparlampen bieten hierzu erste Möglichkeiten, sind jedoch mit einigen Nachteilen behaftet. Zum einen wird die Lichtqualität vieler dieser Lampen als unangenehm empfunden, sie sind oft größer als herkömmliche Glühbirnen und sie können aufgrund ihres Quecksilbergehaltes nicht über den Restmüll entsorgt werden.

Doch die nächsten Generationen von Leuchtmitteln, bei deren Herstellung nanotechnologische Verfahren und Materialien zum Einsatz kommen, sind bereits in Entwicklung und in einigen Bereichen auch in Anwendung.

10.1.1 Leuchtdioden (LED; „light emitting diodes“):

LEDs enthalten einen Halbleiterchip, der nur in einer Richtung Strom hindurchlässt und sichtbares Licht (oder je nach Material auch UV- oder Infrarotstrahlung) – abgibt, wenn ein Stromfluss in dieser Richtung erfolgt. Der Chip besteht aus Halbleiterverbindungen, die mittels eines nanotechnologischen Verfahrens („Epitaxie“) in extrem dünnen Schichten aufgetragen werden. Auf der Unterseite des Chips befindet sich ein leitender Reflektor, auf der Oberseite sorgt ein Golddraht für den nötigen Kontakt. Der gesamte Aufbau ist in eine Kunststofflinse eingefasst. LEDs sind nur 5 mm hoch, leuchten in sehr kurzer Zeit auf und besitzen eine hohe Leuchtkraft. Sie erzeugen weniger Wärme als herkömmliche Glühbirnen und sind unempfindlich gegen Erschütterungen. Die Farbe des abgestrahlten Lichts wird in der Regel durch die Wahl geeigneter Halbleitermaterialien oder durch Dotierung mit bestimmten chemischen Elementen beeinflusst. Für weiße LEDs wird ein Farbstoff auf den Halbleiterchip aufgetragen.



Leuchtdioden (LEDs)

Quelle: Fraunhofer Institut für Angewandte Festkörperphysik

Anwendungsbereiche von LEDs (aus Steinfeldt et al. 2004):

Eigenschaften	Einsatz
UV – und IR – freie Strahlung	Museums- und Vitrinenbeleuchtung Bilderleuchten Kühlthekenbeleuchtung medizinische Beleuchtung Beleuchtung empfindlicher Materialien
Kleinspannung	Feuchtraum- und Unterwasserleuchten mobile Leuchten
geringe Größe	Möbelleuchten Orientierungsleuchten Displays Aufputzmontage Flächen- und Kabinenleuchten
geringe Wärmezeugung	Möbelleuchten Kühlthekenbeleuchtung explosionsgefährdete Umgebungen
Energieeinsparung und Langlebigkeit fest oder mobil	Haltestellenbeleuchtung Not- und Hinweisleuchten Gartenleuchten
Robustheit	mobile Leuchten mobile Geräte mit Beleuchtung öffentlicher Raum Signal- und Notbeleuchtung Arbeitsleuchten (Reparatur)

Vorteile/Chancen:

Die Lebensdauer einer LED wird mit 20.000 bis 100.000 Stunden (herkömmliche Glühbirne rund 1.000 Stunden) angegeben. Weiße LEDs als Lichtquelle sollen in Zukunft einen Wirkungsgrad von über 50% erreichen können (bei konventionellen Glühbirnen wird dagegen nur etwa 5% des Stroms in Licht umgewandelt). Darüber hinaus enthalten LED kein giftiges Quecksilber.

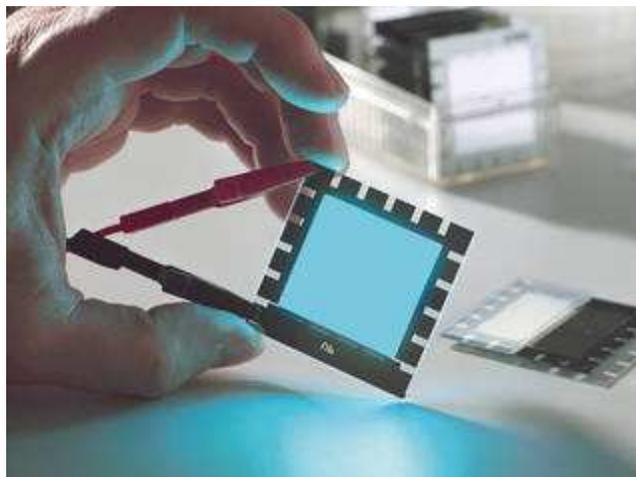
Nachteile/Risiken:

Um die Lichtstärke konventioneller Leuchtmittel zu erreichen, müssen mehrere LEDs gemeinsam eingesetzt werden und die Kosten sind noch relativ hoch. Der angestrebte Wirkungsgrad von 50% wird noch nicht erreicht. Lebensdauer, Effizienz und Lichtfarbe sind bei LEDs stark temperaturabhängig, sodass beim Einsatz auf den Wärmehaushalt geachtet werden muss. Zur Energiebilanz fehlen jedenfalls noch eingehende Untersuchungen, d.h. es können derzeit noch keine endgültigen Aussagen darüber gemacht werden, ob die propagierten Energieeinsparungspotenziale während der Gebrauchsphase nicht durch hohen Energieeinsatz zur Herstellung der LED konterkariert werden. Eine Untersuchung zeigt jedoch, dass zur ökologischen Beurteilung von Lichtquellen vor allem der Energieverbrauch während der Gebrauchsphase entscheidend ist und demgegenüber der Verbrauch während der Herstellungsphase kaum ins Gewicht fällt. Die LED schneiden in dieser Studie bzgl. der Energiebilanzierung zwar derzeit besser ab als die klassische Glühbirne, jedoch schlechter als Energiesparlampen, da der angestrebte Wirkungsgrad noch nicht erreicht wird. Nachdem die Nanomaterialien in den LEDs nicht in freier Form vorliegen, sind nanospezifische gesundheitliche Risiken für die AnwenderInnen während der normalen Gebrauchsphase nicht zu erwarten. Allerdings gehören LEDs aufgrund

ihrer möglichen Inhaltsstoffe Arsen, Gallium, Phosphor und deren Verbindungen zum besonders zu behandelnden oder überwachungsbedürftigen Abfall. Insbesondere das Halbleitermaterial Galliumarsenid ist problematisch, da sich unter Anwesenheit von Luftsauerstoff und Wasser an der Oberfläche des Materials eine hauchdünne Schicht bilden kann, die stark toxisch ist und auf einer normalen Mülldeponie Umweltschäden anrichten könnte. Gemäß den Europäischen Richtlinien zu Elektronik und Elektronikaltgeräten müssen LEDs von den Herstellern kostenlos zurückgenommen und fachgerecht entsorgt werden. Ein Recyclingverfahren besteht bislang jedoch noch nicht.

10.1.2 Organische Leuchtdioden (OLED; „Organic light emitting diodes“)

Wenngleich LEDs derzeit technisch noch nicht ausgereift sind und demnach auch noch keine breite Anwendung finden, wird bereits an der Entwicklung der nächsten Generation von Leuchtdioden – den OLED - gearbeitet und geforscht. Auf einem dünnen Träger aus Glas oder einem flexiblen Kunststoff wird bei der Herstellung zunächst die Strom leitende und transparente Halbleiterverbindung Indiumzinnoxid als Anode aufgebracht. Darauf folgen mehrere dünne Schichten (bis zu 100 nm) aus leitendem Kunststoff und organischem Farbstoff. Zum Schluss wird eine Kathodenschicht aufgedampft. Bei Anlegen eines elektrischen Stroms werden Elektronen auf den Farbstoff übertragen und er beginnt hell zu leuchten. Der gesamte Stapel kann sogar durchsichtig sein, wodurch man den Eindruck erhält, eine Glasscheibe sende Licht aus. OLEDs eignen sich besonders für ultraflache Displays oder Flachbildschirme. Anders als LCD-Bildschirme benötigen diese keine Hintergrundbeleuchtung, da die Fläche aus sich heraus leuchtet. Angewendet werden OLEDs bereits bei Displays von Handys, Kameras oder MP3-Playern. In Zukunft sollen auch so utopisch anmutende Anwendungen wie leuchtende Tapeten oder Kacheln möglich werden, ebenso Displays für Kleidungsstücke oder ultradünne Laptopmonitore, die sich einrollen lassen.



Organische Leuchtdiode (OLED)
Quelle: Philips

Vorteile/Chancen:

Nachdem sich OLEDs erst in einem relativ frühen Entwicklungsstadium befinden, lassen sich Aussagen über mögliche Umweltvorteile nur schwer treffen bzw. sind propagierten Angaben kaum zu validieren. Jedenfalls werden auch den OLEDs – wie auch den LEDs – ein wesentlich geringerer Stromverbrauch zugeschrieben (50% Wirkungsrate in Zukunft) und ihre Quecksilberfreiheit wird positiv hervorgehoben. Ein Aspekt, der sowohl für LEDs und OLEDs wie auch für andere halbleiterbasierte Anwendungen zu bedenken ist, ist jener der begrenzten Verfügbarkeit der notwendigen Materialien. Viele der in der Halbleitertechnik eingesetzten chemischen Elemente

sind nur in geringen Mengen weltweit verfügbar und stellen eine erschöpfliche natürliche Ressource dar, die nicht auf unbegrenzte Zeit zur Verfügung steht. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung sind jedoch technische Entwicklungen langfristig, wenngleich sie auch kurzfristig Umweltvorteile versprechen, die auf raren, nicht-erneuerbaren natürlichen Ressourcen beruhen, eher kritisch zu betrachten.

Nachteile/Risiken:

Auch hierzu lassen sich derzeit noch kaum fundierte Aussagen treffen. Als Nachteil gilt derzeit jedoch noch die gegenüber den LEDs wesentlich geringere Lebensdauer von OLEDs. Mittels nanooptischer Verfahren soll die Lebensdauer aber noch weiter gesteigert werden können. Zu möglichen negativen Effekten für Umwelt oder Gesundheit liegen derzeit noch keine Angaben vor. Bezüglich der Energiebilanz gelten jedoch die gleichen Einschränkungen wie für LEDs und gesundheitliche Risiken sind aufgrund der Beschaffenheit des Nanomaterials (keine freien Partikel) nicht zu erwarten.

Literaturhinweise und Weblinks

Steinfeldt M., Gleich v. A., Petschow U., Haum R., Chudoba T., Haubold St. (2004): Nachhaltigkeits-effekt durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte. Schriftenreihe des IÖW, 177/04.
http://www.ioew.de/no_cache/projekt/Nachhaltigkeitseffekte_durch_Herstellung_und_Anwendung_nanotechnologischer_Produkte/

Nanotechnik für Mensch und Umwelt. Chancen fördern und Risiken minimieren. Umweltbundesamt Deutschland. Oktober 2009. http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3765.

NanoTruck – Hightech aus dem Nanokosmos. Bundesministerium für Bildung und Forschung. www.nanoTruck.de.

10.2 Desinfektionsmittel

Desinfektionsmittel spielen im klinischen Bereich, aber auch in öffentlichen Einrichtungen, wie etwa Kindergärten, Schulen, Großküchen oder Altenheime bei der Bekämpfung von Krankheitserregern eine entscheidende Rolle. Aber auch im Haushalt werden verstärkt biozide Wirkstoffe, etwa zur Desinfektion von Wäsche, im Sanitärbereich oder in der Küche eingesetzt. Ebenso ist bei Produkten zur Körperpflege und Hygiene eine Zunahme von solchen mit antimikrobiellen Eigenschaften festzustellen. Besonders ausgeprägt ist das hohe Hygienebedürfnis in den USA, wo bereits 75% der flüssigen Seifen mit antibakteriellen Wirkstoffen versehen sind, jedoch geht auch in Europa der Trend immer mehr in diese Richtung. Die Ursachen dafür sind vielfältig, liegen aber v.a. in der Angst vor neuen Krankheiten, wie SARS oder „Neue Grippe“ begründet. Auch die Globalisierung und das veränderte Reiseverhalten spielt dabei eine entscheidende Rolle. Bei vielen Krankheiten ist die Inkubationszeit länger als ein internationaler Langstreckenflug, wodurch auch die Furcht vor „eingeschleppten“ Krankheiten steigt.

Viele Desinfektionsmittel und antibakterielle Produkte beinhalten jedoch Substanzen, die sowohl gesundheitsschädlich sind als auch für die Umwelt bedenklich. Dazu gehört etwa Triclosan, das breite Anwendung – auch im Haushaltsbereich – findet (Kosmetika, Textilien, Lebensmittelkontaktmaterialien, etc.). Triclosan ist eine Chlor-

Phenoxy-Phenol-Verbindung, das mit Chlor aus dem Trinkwasser zu giftigem Chloroform reagieren kann. In hohen Dosierungen wirkt die Substanz leberschädigend und unspezifisch dämpfend auf das Zentralnervensystem, außerdem ist Triclosan sehr toxisch für aquatische Organismen. Durch die breite Anwendung von Triclosan, das durchaus nutzbringend in Krankenhäusern eingesetzt wird, werden immer mehr Krankheitserreger gegen diese Substanz resistent, sodass solche Desinfektionsmittel zunehmend ihre Wirkung verlieren.

10.2.1 Nanosilber

Als geeignete Alternative für viele bedenkliche Desinfektionsmittel erscheinen Produkte mit Nanosilber, da die bei Kontakt mit Wasser entstehenden Silberionen gegen ein breites Spektrum der verschiedensten Mikroorganismen wirken. Silber ist nur in sehr hohen Dosierungen toxisch für Säugetiere und die Resistenzbildung ist zwar möglich, aber schwieriger. Am internationalen Markt sind bereits eine Reihe von Produkten mit Nanosilber erhältlich, darunter auch Desinfektionsmittel. In Österreich konnten keine Produkte zu Desinfektionszwecken im Handel eruiert werden. Über Online-Shops sind jedoch etwa Produkte zur Wäschedesinfektion (Weichspüler) mit Nanosilber erhältlich.



Nano Silver Desinfektionsspray (Nanogist Co., Korea)

Vorteile/Chancen:

Nanosilber wirkt gegen eine Vielzahl verschiedenster Krankheitserreger, auch gegen solche, die bereits gegen andere Biozide resistent sind. Der Vorteil von Nanosilber liegt in seiner Depotwirkung, d.h. die Partikel geben über einen längeren Zeitraum kontinuierlich wirksame Silberionen ab. Darüber hinaus ist Nanosilber nur bei oraler Aufnahme in sehr hohen Dosierungen toxisch für den Menschen. Nanosilber kann in bestimmten Einsatzbereichen umwelt- und gesundheitsgefährdende Biozide, wie etwa Triclosan, ersetzen.

Nachteile/Risiken:

Insbesondere über das Abwasser kann Nanosilber in die Umwelt gelangen. Silber, bzw. die durch Oxidation entstehenden Silber-Ionen, sind jedoch sehr toxisch für aquatische Organismen sowie für bodenlebende Bakterien. Die möglichen Auswirkungen etwa auf die Bakterien in Kläranlagen sind derzeit noch nicht geklärt und werden kontroversiell diskutiert. Über die Ausbringung von Klärschlamm auf Felder kann Nanosilber auch in den Boden gelangen und Bodenmikroorganismen schädigen. Umfassende Studien zu den möglichen Umweltauswirkungen von Nanosilber fehlen jedoch noch. Es wird aber befürchtet, dass durch die steigende Anzahl von Konsumprodukten mit Nanosilber und anderen Silberformen der Eintrag an Silber in die Umwelt ansteigt. In der Stadt Wien wird der Klärschlamm verbrannt und die Asche deponiert. In der Deponieverordnung wird für Silber für die Massenabfalldeponie ein Grenzwert von 50 mg/kg TS im Deponiegut festgelegt. Eine

Studie aus dem Jahr 2000 zeigte, dass die Silberkonzentration in der Klärschlamm-Asche bereits fast diesen Wert erreicht. Sollte der Silbereintrag in die Abwässer also noch weiter ansteigen und der Grenzwert überschritten werden, könnte die Asche nicht mehr auf eine Massenabfalldeponie verbracht werden.

Die Auswirkungen von Nanosilber auf die natürliche menschliche Hautflora sind derzeit nicht geklärt. Resistenzen gegen Silber sind möglich, wenngleich die Mechanismen der Resistenzbildung komplexer sind als bei anderen antibakteriellen Substanzen oder Antibiotika. Dennoch sollte diese Möglichkeit nicht außer acht gelassen werden, da Silber und Nanosilber im medizinischen Bereich, etwa zur Behandlung von Brandverletzungen, immer noch von großer Bedeutung sind. Eine breitflächige, niedrig dosierte Anwendung von Nanosilber könnte die Resistenzbildung fördern, sodass diese Substanz dann auch im medizinischen Bereich nicht mehr eingesetzt werden kann. Untersuchungen zur Wirksamkeit von Nanosilber in Desinfektionsmitteln, etwa zum Einsatz in Haushalten, Kindergärten der Schulen, konnten nicht eruiert werden. Die Problematik der Resistenzbildung sowie der laufende Anstieg bei Allergien in den Zivilisationsländern, der ebenfalls von einigen Fachleuten auf übertriebene Hygienepraktiken zurückgeführt wird, lassen die großzügige Anwendung von Desinfektionsmitteln generell in einem eher kritischen Licht erscheinen. Sinnvollerweise sollten diese Mittel nur dort eingesetzt werden, wo sie absolut notwendig erscheinen – etwa in Krankenhäusern – und zwar in höheren, für Bakterien lethalen Dosierungen und unter kontrollierten Bedingungen, um Resistenzbildungen zu vermeiden. Ansonsten sollten Biozide so umsichtig wie möglich verwendet werden und auf Bereiche beschränkt bleiben, wo ein Auftreten oder die Vermehrung von pathogenen Keimen wahrscheinlich erscheint (z.B. Sanitäreinrichtungen, Küchen). Im Haushaltsbereich sollte generell darauf verzichtet werden, außer wenn ein akuter Krankheitsfall eines Haushaltsmitglieds dies unbedingt notwendig erscheinen lässt. Das Deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) empfiehlt auf Nanosilber in verbrauchsnahe Produkten generell zu verzichten, solange mögliche gesundheitliche Risiken nicht sicher ausgeschlossen werden können.

Ein weiterer Punkt, der ebenfalls nicht unbeachtet bleiben sollte, ist die Tatsache, dass Silber ein seltenes Edelmetall darstellt. Wenngleich es in der Nanoform nur in geringsten Mengen eingesetzt wird, so sollte doch die Verwendung dieser nicht-erneuerbaren Ressource mit Bedacht erfolgen. Was in Anbetracht der ständig steigenden Konsumprodukte mit Nanosilber mit teilweise fragwürdigem Nutzen nicht gegeben erscheint. Bislang fehlen noch Rückgewinnungsmöglichkeiten etwa aus Abwässern der Haushalte oder aus dem Klärschlamm.

Im Bereich der Gemeinde Wien, insbesondere im Bereich des Wiener Krankenanstaltenverbands, ist es gängige Praxis, nur solche Desinfektionsmittel einzusetzen, deren Wirksamkeit von unabhängigen Institutionen (z.B. Österr. Institut f. Hygiene, Mikrobiologie und Präventivmedizin; Verbund f. Angewandte Hygiene, Deutschland) bestätigt wurde. Für Nanosilber fehlt bislang eine solche Wirksamkeitsüberprüfung.

10.2.2 Antimikrobielle Beschichtungen auf Basis chemischer Nanotechnologie

Ein deutsches Unternehmen bietet Desinfektionsmittel auf Basis der Sol-Gel-Chemie (chemische Nanotechnologie) an, bei denen Biozide in eine Matrix eingebettet sind und aus dieser über einen Zeitraum von 10 Tagen an die Oberfläche diffundieren, wo

sie gegen Krankheitserreger wirken. Die Desinfektionsmittel werden also in einer Form von Beschichtung aufgebracht, die zusätzlich noch „Easy to Clean“-Eigenschaften aufweist und somit schmutz- und wasserabweisend wirkt. Das Produkt wird der Nanotechnologie zugerechnet, allerdings enthält es keine Nanopartikel. Der Bezug wird durch die nanometerdünne Beschichtung hergestellt. Das Produkt ist auch in Österreich erhältlich.

Vorteile/Chancen:

Die meisten Desinfektionsmittel wirken nur kurz nach dem Auftragen. Laut Herstellerangaben schließt das Produkt die „Hygienelücke“ zwischen den einzelnen Desinfektionen, da es eine Langzeitwirkung gegen Krankheitserreger über einen Zeitraum von 10 Tagen aufweist. Dadurch könnten auch Desinfektionsmittel eingespart werden, da weniger oft desinfiziert werden muss. Laut Angaben des Herstellers kann das Produkt auch auf Objekten eingesetzt werden, mit denen Kinder in Berührung kommen. Zur Effizienz und Wirkung wurden einige Studien im Auftrag des Unternehmens durchgeführt. Unabhängige Untersuchungen sind der Autorin des vorliegenden Berichts nicht bekannt. Das Produkt wird auch in Österreich vertrieben und wird nach Angaben der Vertriebsfirma bereits in einigen Krankenhäusern, Altenheimen und Schwimmbädern in Salzburg und der Steiermark eingesetzt.

Nachteile/Risiken:

Keine nanospezifischen Risiken im Sinne des vorliegenden Berichts bekannt.

Literaturhinweise und Weblinks

BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab. Stellungnahme Nr. 025/2010 des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR), 28.12.2009.
<http://www.bfr.bund.de/cd/50963>

Fries, R., Greßler S., Simkó M., Gzásó A., Fiedeler U. & Nentwich M. (2009): Nanosilber. NanoTrust Dossiers, Nr. 10, April 2009. <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier010.pdf>

Greßler, S. & Fries R. (2010): Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit, Wien.
<http://www.bmq.gv.at/cms/site/standard.html?channel=CH0983&doc=CMS1266311358101>

H. Daxbeck et al. (2000): Abwasserrelevante Silberstoffströme in Wien. Konkretisierung der Ursachen bzw. Verursacher von Silberemissionen in die Kanalisation und Maßnahmenvorschläge zur Vermeidung (Projekt AgWin). Endbericht. Ressourcen Management Agentur (RMA) im Auftrag der Magistratsabteilung 22 – Umweltschutz der Stadt Wien.
http://www.rma.at/pdfs/referenz/AgWin_End.pdf

Antimikrobielle Beschichtungen auf Basis chemischer Nanotechnologie.
<http://bacoban.de/dev/default.aspx?PID=12>

10.3 Druck und Papier

Beim Drucken oder Kopieren laufen komplexe physikalische Prozesse ab, bei denen chemische Verbindungen und Papierbestandteile unter Einwirkung von Licht und höheren Temperaturen reagieren. Dabei werden eine Reihe von leicht-, mittel- und

schwerflüchtigen Verbindungen sowie Staubpartikel und Ozon freigesetzt, die in Verdacht stehen, bei empfindlichen Personen (ca. 1-10% der Allgemeinbevölkerung) zu unspezifischen Krankheitssymptomen, etwa Beschwerden den oberen Atemwege, Kopfschmerzen oder Müdigkeit, führen. Ein direkter Zusammenhang konnte in mehreren Studien allerdings nicht hergestellt werden. Schwerwiegende Gesundheitsschäden wurden bislang nicht beobachtet.

10.3.1 Toner und Druckertinte

Tonerpulver ist ein feinkörniges Gemisch verschiedener Komponenten: Harzpartikel, Farbpigmente, Metalloxide und Trennmittel. Als schwarzes Farbpigment wird ein besonders feinteiliger Industrieruß verwendet, das sogenannte „Carbon Black“. Die Primärpartikel von „Carbon black“ liegen in Nanogröße vor, weshalb dieses Material oft der Nanotechnologie zugerechnet wird. Verwendet wird es auch als Farbpigment in Druckertinten. Als Trennmittel fungiert in Tonerpulvern amorphes Siliziumdioxid, das ebenfalls den Nanomaterialien zugerechnet wird.

Die Emissionen aus Druckern und Kopiergeräten können aus verschiedenen Quellen stammen, etwa Beschichtungen in den Geräten oder auch das verwendete Papier. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (Deutschland) führte eine umfassende Studie zur „Toner“-Problematik durch und stellte fest, dass die freigesetzten Fein- und Ultrafeinstaubpartikel (<100 nm) offenbar nicht vom Tonermaterial stammen. Die Herkunft ist allerdings ungeklärt, sodass das BfR weitere Studien zur Identifizierung der physikalischen und chemischen Identität der gemessenen Partikeln für vordringlich hält.

Vorteile/Chancen:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts.

Nachteile/Risiken:

Tonerpulver und Druckertinte enthalten Nanomaterialien („Carbon Black“ bzw. SiO_2), die aber nicht (oder nicht alleine) für unspezifische Krankheitssymptome exponierter Personen verantwortlich gemacht werden. Das sogenannte „Sick Building Syndrom“ ist kein nanospezifisches Problem. Eine Wahlmöglichkeit zwischen Tonern und Druckertinten mit oder ohne Nanomaterialien besteht für die VerbraucherInnen nicht. Eine Reihe von Herstellern bieten emissionsarme Drucker oder Kopiergeräte an, die mit dem „Blauen Engel“ ausgezeichnet sind und auf die im Idealfall zurückgegriffen werden sollte. Reste von Tonerpulvern oder Druckertinten sind aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung aus Umweltsicht problematisch und dürfen nicht mit dem Restmüll entsorgt werden.

10.3.2 Papier

Zur Verbesserung der Papierqualität, insbesondere zur Verwendung in Laserdruckern, wurde von einem internationalen Papierhersteller eine Papiersorte auf Basis der sogenannten „Nano-Hybrid-Technologie“ auf den Markt gebracht, das in Österreich hergestellt wird. Dabei werden laut Werbetext des Herstellers auf jeder Seite eines A4-Blattes 25 Trillionen Polymer-Nanopartikel mittels einer speziellen Beschichtungstechnik aufgebracht. Dabei entsteht eine gleich- und ebene nano-

strukturierte Papieroberfläche. Diese spezielle Papiersorte kombiniert die Vorteile eines Hochglanzpapiers mit hohem Weißheitsgrad und Steifigkeit.

Vorteile/Chancen:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts.

Nachteile/Risiken:

Nach Untersuchungen und Angaben des Unternehmens werden bei Verwendung des speziellen nanostrukturierten Papiers keine Nanopartikel emittiert, welche ein gesundheitliches Risiko mit sich bringen könnten. Unabhängige Untersuchungen liegen jedoch nicht vor bzw. sind der Autorin des vorliegenden Berichts nicht bekannt. Das Unternehmen gibt an, dass das Papier trotz spezieller Nanobeschichtung problemlos recycelt werden kann.

Literaturhinweise und Weblinks

BfR schließt Arbeiten zur „Toner“-Problematik mit einer gesundheitlichen Bewertung möglicher Risiken durch Druckeremissionen ab. Gesundheitliche Bewertung Nr. 014/2008, 31.3.2008.
<http://www.bfr.bund.de/cd/11029>

<http://www.mondigroup.com/products/desktopdefault.aspx/tabid-233/>.

10.4 Elektrische Büro- und Haushaltsgeräte

Im Sinne einer nachhaltigen Beschaffung sind insbesondere solche Geräte von Interesse, die eine hohe Energieeffizienz in der Gebrauchsphase aufweisen. Gerade aber in diesem Bereich sind bislang noch keine Entwicklungen aus dem Bereich der Nanotechnologie zu verzeichnen. Lediglich ein Produkt (Waschmaschine; siehe weiter unten) konnte eruiert werden, bei dem durch ein neues nanotechnologisches Beschichtungsverfahren zumindest während der Herstellung Energie und umweltschädliche Chemikalien eingespart werden können.

Besondere Bedeutung hat die Nanotechnologie jedenfalls im Bereich der Elektronik. Nanostrukturierte Halbleiterschichten ermöglichen die Herstellung immer kleinerer und leistungsstärkerer Speicherchips oder Prozessoren für Computer, Handys oder MP3-Player. Nanotechnologie hat in diesem Bereich vielfach die Mikrotechnologie abgelöst. Nachdem hier aber weder spezielle Umweltvorteile noch nanospezifische Risiken eruiert werden können und die EndabnehmerInnen auch keine Wahlmöglichkeiten haben, wird im Folgenden auf den Bereich Elektronik nicht näher eingegangen.

Ein gänzlicher anderer Bereich, in dem bereits Nanomaterialien bei Geräten Verwendung findet, ist jener der antibakteriellen bzw. antimikrobiellen Beschichtungen mittels Nanosilber, der im Folgenden kurz dargestellt wird.

10.4.1 Nanokeramische Beschichtung von Metalloberflächen (Bsp. Weißware)

Ein großes deutsches Chemieunternehmen hat ein Beschichtungsprodukt auf Basis von Zirkonfluorid entwickelt, welches Metalloberflächen mit einer nanokeramischen Schicht überzieht. Das Produkt wurde speziell für Stahl-, Zink- und Aluminium-Oberflächen formuliert und ermöglicht laut Herstellerangaben einen wesentlich besseren Korrosionsschutz lackierter Oberflächen. Ein slowenischer Haushaltsgerätehersteller (z.B. Waschmaschinen, Kühlschränke) verwendet seit 2008 diese Beschichtungsform anstelle der konventionellen Eisenphosphatierung. Auch ein Hersteller von Kühlgeräten verwendet bereits diese spezielle Lackierung.

Vorteile/Chancen:

Laut Herstellerangaben hat die nanokeramische Beschichtung eine Reihe von Vorteilen gegenüber dem konventionellen Korrosionsschutz mittels Eisenphosphatierung. Da die Beschichtung bei Raumtemperatur erfolgen kann, können bis zu 30% Energie eingespart werden. Da das Produkt phosphatfrei ist, reduziert sich für den Anwender auch der Entsorgungsaufwand (keine phosphathaltigen Abwässer oder Schlamm) und auch der Wasserbedarf kann um ein Drittel reduziert werden. Zudem enthält die Nano-Beschichtung keine toxischen Schwermetalle. Eine Ökobilanz liegt für dieses Produkt jedoch nicht vor.

Nachteile/Risiken:

Nachdem es sich bei dem Produkt um eine Beschichtung handelt und die Nanomaterialien fest gebunden vorliegen, ist eine gesundheitliche Gefährdung der AnwenderInnen derart beschichteter Haushaltsgeräte unwahrscheinlich. Jedoch fehlt eine LCA, sodass keine definitiven Aussagen über Umweltentlastungspotenziale, Energiebilanz oder mögliche nachteilige Effekte auf die Umwelt etwa in der Entsorgungsphase gemacht werden können.

10.4.2 Antibakterielle Beschichtung mittels Nanosilber

Silber wird seit der Antike aufgrund seiner antimikrobiellen Eigenschaften eingesetzt. Wirksam gegen ein breites Spektrum der verschiedensten Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Algen, Viren) sind die Silberionen, die entstehen, wenn Silber in Kontakt mit Wasser kommt. Besonders wirksam sind Nanosilberpartikel, aufgrund ihrer großen spezifischen Oberfläche an der viele Silberatome zur Reaktion mit dem Sauerstoff aus Wasser zur Verfügung stehen (Oxidation). Aufgrund der Entwicklungen der letzten Jahre ist es möglich, solche Nanosilberpartikel einer Vielzahl der verschiedensten Materialien zuzusetzen, etwa Kunststoffen, Textilfasern, Kosmetika oder Beschichtungsmaterialien. Am internationalen Markt finden sich demnach bereits eine Reihe von Konsumprodukten mit Nanosilber zum Zweck der Reduktion krankheitserregender oder geruchsbilden-



Quelle: www.samsung.com

der Bakterien oder auch um den Aufwuchs von Algen (z.B. Swimmingpools, Fassaden) zu verhindern.

Im Jahr 2005 wurde von einem koreanischen Hausgerätehersteller eine Waschmaschine auf den Markt gebracht, die laut Herstellerangaben die Wäsche während des Waschvorganges mittels Nanosilber desinfiziert und vor allem auch die Entstehung sogenannter „Biofilme“ (Bakterienablagerungen) in der Waschmaschine verhindern soll. Wenngleich diese Waschmaschine keine Nanosilberpartikel in die Umwelt freisetzt, da diese fest in eine Beschichtung eingebunden sind, so gelangen doch die wirksamen Silberionen in das Abwasser. Silberionen sind toxisch für aquatische Organismen und ihre Auswirkungen etwa auf die Bakterien in den Kläranlagen sind derzeit noch nicht vollständig geklärt. Aus diesen Gründen kritisierten Umweltorganisationen und auch der amerikanische Abwasserverband TriTac dieses Produkt, das demzufolge temporär vom schwedischen Markt genommen wurde. Diese Waschmaschine wurde auch zum Anlassfall für die erste nanospezifische Regulierung, da die amerikanische Umweltbehörde EPA untersagte, Produkte mit Nanosilber aufgrund dessen bioziden Eigenschaften zu bewerben. In diesem Fall müssten Produkte mit Nanosilber als Pestizide registriert werden. Die betroffenen Unternehmen – so auch der koreanische Waschmaschinenhersteller – umgingen diese Regulierung jedoch damit, in ihrer Werbung oder Auslobung auf die Verwendung des Begriffes „Nanosilber“ (engl. „Nanosilver“) oder auf das Schlagwort „nano“ generell zu verzichten. Die betreffende Waschmaschine ist jedenfalls nach wie vor am Markt (auch in Österreich) erhältlich.

Nanosilber wird weiters in antibakteriellen Beschichtungen von Kühlschränken einiger namhafter Hersteller eingesetzt. Auch hier wird allerdings seit der EPA-Entscheidung zumeist auf „nano“ in der Bezeichnung verzichtet. Die Nanosilber-Beschichtung in den Innenräumen der Kühlgeräte soll die Schimmelbildung verhindern, eine regelmäßige Reinigung ersetzen sie jedoch nicht. Die Notwendigkeit bzw. Sinnhaftigkeit dieser Nanosilberanwendung erscheint mehr als fragwürdig.

Auch Tastaturen von Notebooks, PC-Mäuse oder Mobiltelefone verschiedener Anbieter werden bereits mit antibakteriellen Nanosilber-Beschichtungen ausgestattet. Diese Produkte weisen oft eine hohe Keimzahl auf, da über Hände oder den Mund eine Vielzahl von Mikroorganismen übertragen werden. Vor allem wenn mehrere Personen dasselbe Gerät benutzen, erscheint eine antibakterielle Ausstattung durchaus sinnvoll. Ob Nanosilberbeschichtungen allerdings tatsächlich die Übertragung von Krankheiten über solche Geräte verhindern können, müsste in Studien noch überprüft werden.

Vorteile/Chancen:

Waschmaschinen mit Nanosilber-Beschichtungen zur Desinfektion von Wäsche könnten u.U. den Einsatz von zusätzlichen Wäschedesinfektionsmitteln ersetzen bzw. Energieeinsparungen durch Senkung der Waschtemperatur ermöglichen. Allerdings werden höhere Waschtemperaturen zumeist auch deshalb gewählt, um Verschmutzungen effektiver entfernen zu können, und hier hat Nanosilber keinerlei Effekt. Die Nanosilber-Waschmaschine erscheint also nur dann sinnvoll, wenn empfindliche Wäsche bei niedrigen Temperaturen desinfiziert werden soll. Der Einsatzbereich ist demnach eher sehr klein und wohl primär im Haushaltsbereich zu sehen. Bezüglich der Effektivität des Gerätes zur Entkeimung liegen nach Kenntnis der Au-

torin dieses Berichts außer den Herstellerangaben keine weiteren Angaben oder Studien vor.

Kühlgeräte mit Nanosilberbeschichtungen scheinen keine Vorteile im Sinne des vorliegenden Berichtes aufzuweisen. Derartige Beschichtungen ersetzen nicht die regelmäßige Innenraumreinigung der Geräte und führen deshalb zu keiner Energie-, Chemikalien- oder Wasserersparnis. Bezüglich anderer nanosilberbeschichteter Geräte, wie etwa Computer-Tastaturen, PC-Mäuse oder Mobiltelefone kann möglicherweise ein gewisser gesundheitlicher Vorteil gesehen werden, der allerdings bislang nicht wissenschaftlich untersucht oder belegt wurde.

Nachteile/Risiken:

Silberionen aus Waschmaschinen mit Nanosilberbeschichtung gelangen in das Abwasser und in die Kläranlagen. Diese sind toxisch für aquatische Organismen und auch negative Auswirkungen auf die Bakterien in Kläranlagen bzw. auf Bodenmikroorganismen, wenn Klärschlamm auf Felder ausgebracht wird, ist nicht auszuschließen (siehe dazu auch Kapitel 8 und 10.2). Unklar sind mögliche negative Umweltauswirkungen nach Ende der Lebensdauer von mit Nanosilber beschichteten Geräten, wenn diese z.B. auf Mülldeponien enden. Das Deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung empfiehlt Herstellern auf Nanosilber in Konsumprodukten zu verzichten, um eine mögliche Gesundheitsgefährdung auszuschließen.

Literaturhinweise und Weblinks

Waschmaschine mit Nanosilberbeschichtung:

<http://www.samsung.com/at/microsite/waschmaschinenenguide/hygienisch.html>

Fries, R., Greßler S., Simkó M., Gzásó A., Fiedeler U. & Nentwich M. (2009): Nanosilber. NanoTrust Dossiers, Nr. 10, April 2009. <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier010.pdf>

Greßler, S. & Fries R. (2010): Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit, Wien.

<http://www.bmg.gv.at/cms/site/standard.html?channel=CH0983&doc=CMS1266311358101>

Nanosilber – Der Glanz täuscht (2009). Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.

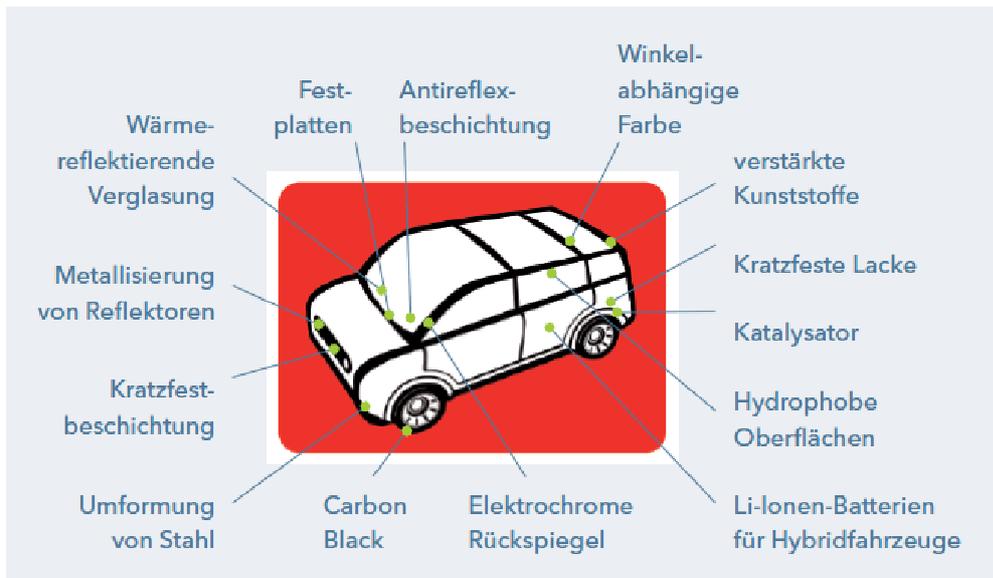
<http://www.bund.net/index.php?id=4433>.

BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab. Stellungnahme Nr. 025/2010 des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR), 28.12.2009.

<http://www.bfr.bund.de/cd/50963>

10.5 Automobil

Der Verkehrssektor hat maßgeblichen Anteil an einer Reihe von Umweltproblemen, u.A. bedingt durch hohen Ressourcen- und Energieaufwand und der Verwendung von umweltschädlichen Stoffen bei der Herstellung von Fahrzeugen, der Abhängigkeit von fossilen Treibstoffen, der Emission von Kohlendioxid, Stickoxiden und Kohlenmonoxid, der Freisetzung von Feinstaub und Dieselruß sowie aufgrund des großen Aufwandes bei der Entsorgung von Fahrzeugen am Ende ihrer Lebensdauer. Für den Automobilsektor bietet Nanotechnologie nicht nur die Möglichkeit zur Entwicklung neuer Funktionalitäten hinsichtlich der Optimierung von Sicherheit und Komfort von Fahrzeugen, sondern auch für eine umweltfreundlichere Gestaltung ihrer Produkte.



Beispiele für Anwendungen der Nanotechnologie im Automobil (Quelle: Hessen Nanotech)

10.5.1 Nano-Lacke

Mithilfe spezieller Nano-Klarlacke lässt sich eine höhere Kratzbeständigkeit des Autolacks sowie eine besser Lackbrillanz erzielen. Grundlage dafür sind Kieselsäure-Nanopartikel (Silica), die im Lack dispergiert sind und die sich nach dem Aushärten mit dem organischen Bindemittel zu einem dichten, regelmäßigen Netz verketteten. Die Herstellung des Lacks erfolgt mittels Sol-Gel-Technologie, welche seit einigen Jahren der chemischen Nanotechnologie zugerechnet wird. SiO_2 -Nanopartikel werden auch zum Korrosionsschutz von Fahrzeugteilen, wie Fahrwerk, Bremsen und Türen eingesetzt.

Vorteile/Chancen:

Eine Untersuchung des Instituts für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) hinsichtlich des ökologischen Potenzials zeigte, dass ein Nano-Lack aufgrund der geringeren notwendigen Schichtdicke eine hohe Ressourceneffizienz aufweist. Auch der Aufwand an Primärenergie (energetischer Aufwand bei der Applikation) war 35% geringer als bei den konventionellen Vergleichslacken. Weiters wird aufgrund der eingesparten Masse in der Gebrauchsphase auch Treibstoff eingespart. Der Nano-Lack hat weiters den großen Vorteil, dass auch ohne Chromatierung als Vorbehandlung ein sehr guter Korrosionsschutz von Metallen erzielt werden kann. (Anm.: Chromatierung ist seit 2007 aufgrund seiner umwelt- und gesundheitsgefährdenden Eigenschaften in der EU nicht mehr erlaubt).

Nachteile/Risiken:

Da die Nanopartikel nach dem Aushärten des Lacks fest in eine Matrix eingebunden sind, sind gesundheitliche Risiken für die AnwenderInnen nicht zu erwarten. Auch eine Freisetzung von Nanopartikeln in die Umwelt ist demnach unwahrscheinlich. Bei der durchaus positiven Bewertung des Nano-Lacks durch das IÖW hinsichtlich des Einsparungspotenzials bei Ressourcen und Energie wurde allerdings die Herstel-

lungsphase der Nanopartikel (pyrogene Kieselsäure) nicht berücksichtigt. Für eine umfassende Energiebilanz wäre dies jedoch noch hinzuzuziehen.

10.5.2 Kratzfeste Polymerscheiben

Für ein Automobil werden ca. 6 m² Glas verarbeitet – alleine etwa 1,2 m² für die Frontscheibe – die nicht unerheblich zum Gewicht und damit zum Treibstoffverbrauch beitragen. Gläser aus Kunststoff (Polymer) wären hier eine Alternative für die Leichtbauweise, allerdings sind diese vor Verkratzungen, Abrieb und Witterungseinflüssen zu schützen. Bei Scheinwerferabdeckscheiben werden solche Polymergläser bereits eingesetzt und mit speziellen Lacken, in denen Nanopartikel aus Aluminiumoxid eingebettet sind, geschützt.

Vorteile/Chancen:

Geringerer Treibstoffverbrauch aufgrund des geringeren Gewichts.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts bekannt.

10.5.3 Schmutz und Wasser abweisende Beschichtungen

Fluororganische Beschichtungen, die nur 5-10 nm dünn sind, werden bereits eingesetzt, um etwa Außenspiegel mit Wasser und Schmutz abweisenden Eigenschaften auszustatten („Easy to Clean“). Entweder werden diese Beschichtungen gleich bei der Herstellung, oder nachträglich durch Pflege- und Versiegelungssysteme aufgebracht. Für die nachträgliche Anwendung findet sich im Handel bereits eine Vielzahl von Produkten, nicht für die Behandlung von Außenspiegeln, sondern auch für den Autolack, die Felgen oder die Innenausstattung. Auch in Waschstraßen von Tankstellen werden zur Lackpflege Produkte eingesetzt, die laut Herstellerangaben Nanopartikel beinhalten. Allerdings sind die Inhaltsstoffe dieser Produkte zumeist nicht bekannt und es ist anzunehmen, dass nicht alle Produkte halten, was sie versprechen. „Nano“ wird in diesem Bereich auch gerne als verkaufsförderndes Schlagwort verwendet, ohne dass die Produkte etwas mit Nanotechnologie zu tun hätten. Während Beschichtungen, die gleich bei der Herstellung einbrannt werden, zumeist dauerhaft sind, müssen nachträglich aufgebraachte Beschichtungen immer wieder erneuert werden. Neben den fluororganischen hydro- und oleophoben Beschichtungen gibt es bereits auch Beschichtungen für Außenspiegel mittels photokatalytisch aktivem Titandioxid. Diese Substanz ist stark wasseranziehend, sodass sich auf den Flächen ein geschlossener, dünner Wasserfilm bildet. Titandioxid fungiert auch als Katalysator, d.h. unter UV-Licht entstehen Hydroxyl- und Sauerstoffradikale, die organischen Schmutz zersetzen. Besonders aktiv ist Titandioxid in seiner Nanoform. Bei Regen wird der zersetzte Schmutz über den Wasserfilm abtransportiert, sodass man bei solchen Flächen auch von einem „Selbstreinigungseffekt“ spricht.

Vorteile/Chancen:

Schmutz und Wasser abweisende bzw. selbstreinigende Oberflächen versprechen einen geringeren Reinigungsaufwand und einen damit verbundenen geringeren Einsatz von Wasser, Energie und Reinigungsmitteln. Eine umfassende Ökobilanz solcher Produkte liegt jedoch nicht vor.

Nachteile/Risiken:

Gesundheitliche Risiken oder solche für die Umwelt sind von dauerhaft aufgetragenen Beschichtungssystemen nicht zu erwarten. Anders ist dies jedoch bei den vielen im Handel erhältlichen Produkten, die zur nachträglichen Behandlung von Oberflächen in flüssiger Form, als Schaum oder als Spray angeboten werden. Oftmals sind die Inhaltsstoffe dieser Produkte nicht bekannt. Durch die Anwendung dieser Produkte kommen die KonsumentInnen in direkten Körperkontakt mit diesen Substanzen bzw. gelangen diese etwa über das Abwasser oder die Luft in die Umwelt. Wenngleich es unwahrscheinlich erscheint, dass diese Produkte freie Nanopartikel beinhalten wären nähere Untersuchungen zu möglichen Umwelt- oder Gesundheitsrisiken angebracht.

10.5.4 Nanostahl

Um den Anforderungen an Leichtbau und Crash-Sicherheit genügen zu können wurde der Stahlanteil am Gesamtgewichts eines Automobils in den letzten Jahrzehnten von über 75% auf unter 50% reduziert, wobei es sich bei den verwendeten Stahlsorten v.a. um sogenannte hochfeste Stahlgüter handelt. Diese können mittels eingelagerter Nanopartikel aus Carbonsnitriden noch weiter optimiert werden, um die Belastungsfähigkeit zu erhöhen. Dies ist insbesondere für den Nutzfahrzeugbereich interessant.

Vorteile/Chancen:

Weniger Treibstoffverbrauch durch Leichtbauweise bei gleichzeitig erhöhter Stabilität, Belastbarkeit und Kostenreduktion bei der Herstellung.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts bekannt.

10.5.5 Verkleben und Lösen von Bauteilen

Kleben spielt im Automobilbau eine immer größere Rolle. Allerdings härten Industriekleber nur unter hohen Temperaturen mit damit verbundendem hohen Energiebedarf aus. Nanoferrite (nanopartikuläre, dotierte Eisenoxide) könnten hier einen Lösungsansatz bieten. Diese können mittels Mikrowellen erwärmt werden und erwärmen wiederum selbst gleichmäßig und gezielt die Klebstoffschicht. Dieser neu entwickelte Prozess kommt mit deutlich weniger Energie aus. Auch für den umgekehrten Vorgang – das Lösen von Klebeverbindungen – kann diese Methode eingesetzt werden.

Zusammengefügte Teile könnten so zerstörungsfrei getrennt und somit der Austausch einzelner Bauteile oder das sortenreine Recycling ermöglicht werden.

Vorteile/Chancen:

Weniger Energieeinsatz, da der Klebstoff nicht bei hohen Temperaturen ausgetrocknet werden muss. Erleichterung der Reparatur von Bauteile oder des Recyclings durch den umgekehrten Prozess.

Nachteile/Risiken:

Da es sich um eine sehr neue Anwendung handelt, können Aussagen im Sinne des vorliegenden Berichts noch nicht gemacht werden.

10.5.6 Innenraum-Luftfilter

Neuartige Innenraum-Luftfilter auf Basis von Nanofasern zur Reinigung von Pollen, Sporen und Industriestaub zeigen laut Herstellerangaben bessere Filtereigenschaften im Vergleich zu konventionellen Lösungen.

Vorteile/Chancen:

Durch die bessere Filterleistung ergeben sich u.U. gesundheitliche Vorteile.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts bekannt.

10.5.7 Autoreifen

Den Kautschukmischungen kommt bei den Reifeneigenschaften eine große Bedeutung zu. Normalerweise enthält ein Reifen etwa 30% Verstärkerfüllstoff, mit dem die gewünschten Eigenschaften (Haftung, Abriebbeständigkeit, Reißfestigkeit) überhaupt erst erreicht werden können. Drei Spezialprodukte können die Eigenschaften eines Autoreifens wesentlich verbessern: Ruß („Carbon Black“), Kieselsäure (SiO₂) und Organosilane. Die Primärpartikel von „Carbon Black“ und Kieselsäure liegen in Nanogröße vor.

Vorteile/Chancen:

Durch die Verwendung von „Carbon Black“ als Füllstoff in Reifen kann laut Angaben der Industrie eine verlängerte Lebensdauer und ein geringerer Benzinverbrauch erreicht werden. Kieselsäure-Nanopartikel werden ebenfalls zur Verstärkung eingesetzt. Eine Ökobilanz liegt nicht vor.

Nachteile/Risiken:

Der Abrieb von Autoreifen hat nicht zuletzt auch wegen seines Kohlenstoffgehaltes Anteil an der Feinstaubproblematik und auch die Entsorgung bzw. das Recycling von Altreifen ist aus Umweltsicht problematisch. Allerdings gibt es derzeit keine Alternati-

ven zu den o.a. Kautschukmischungen, d.h. AnwenderInnen können nicht auf andere, evtl. umweltfreundlichere Ersatzprodukte zurückgreifen.

10.5.8 Superkondensatoren als Energiespeicher

Mithilfe der Nanotechnologie werden derzeit sogenannte Superkondensatoren (auch Supercaps, Ultracaps oder Scaps genannt) mit hoher Energiekapazität zur Speicherung von elektrischem Strom entwickelt. Supercaps bestehen aus metallischen Kontaktfolien auf hochporösen Schichtelektroden mit Nanostruktur, Elektrolyten und einer Separatorfolie. Mit dem Einsatz größerer Stückzahlen von Superkondensatoren wird zukünftig in Hybridfahrzeugen gerechnet. Derzeit werden sie versuchsweise in Mobiltelefonen und Elektroautos eingesetzt.

Vorteile/Chancen:

Verbesserte Speicherung von elektrischer Energie für den Einsatz in Elektro- oder Hybridfahrzeugen.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts bekannt.

10.5.9 Lithium-Ionen-Batterien

Nanotechnologien kommen auch bei leistungsstarken Lithium-Ionen-Batterien, etwa zur Energieversorgung von Elektro- oder Hybridfahrzeugen, zum Einsatz. Lithium-Ionen-Batterien sind leichter, kleiner und leistungsstärker als herkömmliche Blei- oder Nickel-Metallhydrid-Varianten. Zur Herstellung werden nanoskalige Pulver verschiedener Metalloxide verwendet.

Vorteile/Chancen:

Verbesserte Energiekapazität zur Speicherung von elektrischer Energie für den Einsatz in Elektro- oder Hybridfahrzeugen. Für den öffentlichen Personenverkehr gibt es bereits Hybridbusse am Markt, die in einigen Städten Europas schon im Einsatz sind. In diesen Bussen werden ein Verbrennungsmotor mit einem Elektroantrieb kombiniert, um den Treibstoffverbrauch und den Abgasausstoß zu reduzieren. Der Leistungsüberschuss des Motors lädt während der Fahrt die Batterien auf. Treibstoffeinsparungen sind laut Herstellerangaben bis zu 30% möglich. Moderne Varianten von Hybridbussen, die auch die Bremsenergie in elektrische Energie umwandeln, die dann zum Anfahren, im Stand und beim Beschleunigung als alleinige Energiequelle genutzt wird, können gegenüber einem konventionellen Dieselbus laut einer Ökobilanz ca. 65 t CO₂-Äquivalent pro Jahr einsparen.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts bekannt.

Zu erwähnen sind die erheblichen Mehrkosten bei der Anschaffung von modernen Hybridbussen, die derzeit noch zu sehr hohen spezifischen CO₂-Vermeidungskosten führen.

10.5.10 Brennstoffzellen für das Automobil der Zukunft

Da immer mehr Elektronik in den Autos zum Einsatz kommt, ist auch der Stromverbrauch drastisch angestiegen. Bis zu einem Drittel der Motorleistung muss heute schon alleine für die Stromversorgung eingesetzt werden. Die negativen Umweltauswirkungen der Verbrennung fossiler Treibstoffe und die steigenden Treibstoffpreise lassen alternative Energiesysteme zunehmend ins Zentrum des Interesses rücken. Entweder zur Unterstützung der Motorleistung oder als alleiniges alternatives Antriebssystem. Brennstoffzellen könnten hier einen wichtigen Beitrag leisten, da die Stromerzeugung durch die elektrochemische Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff erfolgt und keine schädlichen Abgase produziert werden. Entscheidend für die Leistung einer Brennstoffzelle ist eine möglichst große Oberfläche des Katalysators. Nanoskalige Platinmoleküle weisen diese Eigenschaft auf und werden deshalb in Brennstoffzellen eingesetzt. Auch die effektive Speicherung von Wasserstoff stellt derzeit noch eine große Herausforderung dar. Hier werden ebenfalls Problemlösungen auf Basis von nanoskaligen Materialien erhofft. Die Anwendung von Brennstoffzellen wird derzeit in Prototypen und Testfahrzeugen erprobt.

Vorteile/Chancen:

Die Entwicklung von effizienten Brennstoffzellen steht noch vor einigen technischen Problemen, sodass mit einer breiten Anwendung vorerst noch nicht gerechnet werden kann. Zu erwarten wäre eine umweltfreundliche Alternative zur Energiegewinnung.

Nachteile/Risiken:

Nachdem die Brennstoffzellen-Technologie erst in Entwicklung ist, können an dieser Stelle noch keine Angaben zu potenziellen Risiken oder Nachteilen gemacht werden.

10.5.11 Solarenergie im Automobil

Als Ergänzung zur Stromversorgung im Auto wären Solarzellen möglich, allerdings steht einer breitflächigen Anwendung dieser umweltfreundlichen Energiegewinnung derzeit noch die kostspielige und aufwändige Herstellung im Wege. In der Regel werden Halbleiter auf Siliziumbasis derzeit für Solarzellen verwendet. Der Schweizer Chemiker Michael Grätzel hat allerdings schon Anfang der 1990er Jahre eine Solarzelle entwickelt, die auf biologischen Prinzipien beruht und die kostengünstiger und einfacher herzustellen wäre. Die als „Grätzel-Zelle“ bezeichnete Solarzelle orientiert sich an der Photosynthese der Pflanzen zur Energiegewinnung. Bei herkömmlichen Solarzellen liefert das Silizium bei Sonneneinstrahlung die benötigten Elektronen. Diese fließen aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit des Halbleiters zu den Elektroden. In der „Grätzel-Zelle“ übernimmt ein organischer Farbstoff (ähnlich dem grünen Pflanzenfarbstoff Chlorophyll) die Elektronenbereitstellung. Für die Weiterleitung zu den Elektroden wird eine nanoporöse Schicht aus Titandioxid (ebenfalls ein Halbleiter) mit großer Oberfläche genutzt.

Vorteile/Chancen:

Aufgrund der einfachen Bauweise, der Möglichkeit große Flächen zu realisieren und der geringen Umweltbelastung bei der Herstellung wird der „Grätzel-Zelle“ erhebliches Zukunftspotenzial bescheinigt. Auch die Herstellungskosten sollen erheblich unter jenen für siliziumbasierte Solarzellen liegen. „Grätzel-Zellen“ können auch bei schwachem Licht produzieren.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts bekannt.

10.5.12 Nanokristalline Beschichtungen von mechanischen Bauteilen

Etwa 10-15% der Motorleistung geht durch Reibungsverluste an mechanischen Bauteilen, wie Kolben, Zylinder, Kurbelwelle oder Ventile, verloren. Beschichtungswerkstoffe mit eingelagerten Nanokristalliten auf Basis von Eisencarbid und Eisenborid können hier Abhilfe schaffen, in dem sie die Reibung vermindern.

Vorteile/Chancen:

Durch Verminderung der Reibung verringern sich Verschleiß und Kraftstoffaufwand.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts bekannt.

10.5.13 Abgaskatalysatoren

Zur Abgasreinigung werden Systeme eingesetzt, die auf Dreiwegkatalysatoren basieren. Diese können Kohlenmonoxid, Stickoxide und Kohlenwasserstoffe weitgehend umsetzen und aus dem Abgas entfernen. Als Katalysatoren werden bereits nanoskalige Materialien in der Beschichtung eingesetzt, die aufgrund ihrer großen Oberfläche eine bessere katalytische Funktion erfüllen.

Vorteile/Chancen:

Verbesserte Abgasreinigung durch die höhere katalytische Aktivität der eingesetzten nanoskaligen Beschichtungsmaterialien.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts bekannt.

10.5.14 Zusatz zu Dieseltreibstoff

Zusätze für Dieseltreibstoff mit nanoskaligen Katalysatoren, wie etwa Ceriumoxid, sollen laut Herstellerangaben Treibstoffeinsparungen bis zu 10% ermöglichen, in dem sie eine effizientere Verbrennung fördern und Rußemissionen um bis zu 15% reduzieren. Derartige Zusätze werden derzeit etwa in der Türkei, in London, Lyon und Dresden in größerem Maßstab getestet, sind aber auch für EndverbraucherInnen im Handel oder über das Internet zu beziehen.

Vorteile/Chancen:

Verringerter Treibstoffverbrauch sowie geringere Treibhausgas- und Rußemissionen.

Nachteile/Risiken:

Erste toxikologische in-vitro-Studien mit Ceriumoxid als Treibstoffzusatz ergaben, dass die emittierten Mengen dieser Substanz extrem niedrig sind und Entzündungsreaktionen der Lunge aufgrund von oxidativem Stress unwahrscheinlich sind. Allerdings gibt es keine Untersuchungen zu einer Langzeitexposition mit Ceriumoxid aus Treibstoffzusätzen. Auch Umweltauswirkungen wurden bislang nicht untersucht.

Literaturhinweise und Weblinks

Nanotech Cleantech. Cientifica Ltd. März 2007. www.cientifica.com

Nanotechnologien im Automobil. Innovationspotenziale in Hessen für die Automobil- und Zuliefer-Industrie. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. Band 3 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech. Dezember 2006. <http://www.hessen-nanotech.de/dynasite.cfm?dsmid=13995>

Steinfeldt M., Gleich v. A., Petschow U., Haum R., Chudoba T., Haubold St. (2004): Nachhaltigkeits-effekt durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte. Schriftenreihe des IÖW, 177/04.
http://www.ioew.de/no_cache/projekt/Nachhaltigkeitseffekte_durch_Herstellung_und_Anwendung_nanotechnologischer_Produkte/

Steinfeldt M. & Gleich v. A. (2008): Entlastungseffekte für die Umwelt durch nanotechnologische Verfahren und Produkte. Im Auftrag des Umweltbundesamtes Deutschland. Unveröffentlicht.

10.6 Klimageräte, Luftbefeuchter und Innenraum-Luftreinigung

Klimageräte und Luftbefeuchter bringen oft das Problem mit sich, dass sich an den Filtermatten oder im Wasser krankheitserregende Bakterien ansiedeln und vermehren, die dann an die Innenraumluft abgegeben werden und mögliche negative Folgen mit sich bringen. Aus diesem Grund werden die Filter dieser Geräte oft antibakteriell ausgestattet bzw. kommen Biozide zur Wasserentkeimung zum Einsatz. Als Alternative zu chemischen Bioziden findet in einigen Geräten Nanosilber Verwendung. Ein weiterer Bereich, in dem Nanomaterialien nunmehr eingesetzt werden, ist jener der Luftreinigung. In Innenräumen ist die Luft oft durch eine Reihe von vor allem leichtflüchtigen chemischen Substanzen belastet, die von Möbeln, Bodenbelägen, Farben, Lacken oder Kunststoffen emittiert werden und die negative gesundheitliche Effekte

auslösen können. Auch Zigarettenrauch hat großen Anteil an der Luftbelastung in Innenräumen. Neuartige Geräte am internationalen Markt mit Nanomaterialien versprechen hier Abhilfe.

10.6.1 Klimageräte und Luftbefeuchter mit Nanosilber

Aufgrund der breiten Wirksamkeit von Silberionen gegen eine breite Palette der verschiedensten Krankheitserreger und anderer Mikroorganismen (z.B. Pilze, Algen) wird Nanosilber auch in einigen Klimageräten und Luftbefeuchtern zur Desinfektion der Filter bzw. des Wassers eingesetzt.

Vorteile/Chancen:

Nanosilber hat den Vorteil, dass es auch in kleinsten Mengen hoch wirksam ist und über einen langen Zeitraum kontinuierlich die effektiven Silberionen abgibt. Nanosilber kann in Filtern von Klimageräten oder Luftbefeuchtern andere – evtl. problematische – chemische Biozide ersetzen und negative gesundheitliche Effekte durch Krankheitserreger oder Pilze verhindern, die sich an den Filtermatten oder im Wasser ansammeln.

Nachteile/Risiken:

Nachdem Nanosilber in die Beschichtung bzw. in das Material der Filter oder Geräte fest eingebunden ist, ist eine Freisetzung von Nanosilberpartikeln nicht zu erwarten, jedoch gelangen bei Luftbefeuchtern die effektiven Silberionen in das Wasser, welches beim Wasserwechsel schlussendlich mit dem Abwasser entsorgt wird. Die Auswirkungen der Silberionen auf die Bakterien der Kläranlagen ist noch nicht völlig geklärt und mögliche negative Wirkungen sind nicht auszuschließen. Nanosilber wird nutzbringend in der Medizin eingesetzt, etwa zur Behandlung von schweren Brandverletzungen oder bei der Beschichtung von Implantaten, da es auch gegen antibiotikaresistente Keime wirkt. Eine breite Anwendung von Nanosilber im Haushaltsbereich, wie etwa auch in Klimageräten und Luftbefeuchtern bringt die Gefahr der Resistenzbildung von Bakterien gegen diesen Wirkstoff mit sich, sodass dieser in der Medizin dann nicht mehr eingesetzt werden könnte (siehe dazu auch Kapitel 8). Silber ist zudem ein seltenes Edelmetall, das nicht in unbegrenzten Mengen zur Verfügung steht. Das Deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) empfiehlt jedenfalls auf Nanosilber in Konsumprodukten zu verzichten, solange mögliche gesundheitliche Risiken nicht sicher ausgeschlossen werden können.

Literaturhinweise und Weblinks

BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab. Stellungnahme Nr. 025/2010 des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR), 28.12.2009.
<http://www.bfr.bund.de/cd/50963>

Fries, R., Greßler S., Simkó M., Gázsó A., Fiedeler U. & Nentwich M. (2009): Nanosilber. NanoTrust Dossiers, Nr. 10, April 2009. <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier010.pdf>

Greßler, S. & Fries R. (2010): Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit, Wien.
<http://www.bmg.gv.at/cms/site/standard.html?channel=CH0983&doc=CMS1266311358101>

10.6.2 Geräte zur Luftreinigung mit photokatalytisch aktivem Titandioxid

Titandioxid ist ein photokatalytisch aktiver Halbleiter, d.h. unter Anwesenheit von Wasser (es reicht auch die Luftfeuchtigkeit) und UV-Strahlung entstehen hoch reaktive Hydroxyl- und Sauerstoffradikale, welche organisches Material zersetzen und Mikroorganismen abtöten können. Titandioxid wirkt nur als Katalysator dieser Reaktionen, d.h. es wird dabei selbst nicht verbraucht. Besonders wirksam ist diese Substanz in seiner Nanoform, aufgrund der höheren reaktiven Oberfläche. Diese Eigenschaft des Titandioxids wird auch für Geräte zur Luftreinigung in Innenräumen eingesetzt, um einerseits leicht flüchtige organische Verbindungen abzubauen und andererseits zur Desinfektion. Bei einigen Geräten am internationalen Markt kommt zusätzlich zu TiO_2 als Katalysator noch Nickel in seiner Nanoform zum Einsatz.

Vorteile/Chancen:

Die Qualität der Innenraumluft lässt sich entscheidend durch regelmäßige Frischluftzufuhr von Außen verbessern, allerdings wirkt sich dies bei klimatisierten Räumen stark auf den Energieverbrauch aus. Effiziente Luftreiniger können dazu beitragen, Staub, flüchtige organische Komponenten und Mikroorganismen aus der Innenraumluft zu entfernen, ohne dass Frischluftzufuhr über geöffnete Fenster notwendig wäre und somit Energieeinsparungen bei Heizung oder Kühlung ermöglichen. Während schlecht gewartete Klimaanlage und Luftreinigungssysteme oftmals wahre „Brutstätten“ für verschiedenste Krankheitserreger sind, die dann über das Lüftungssystem verbreitet werden, versprechen Geräte auf Basis von Photokatalyse eine effektive und dauerhafte Reinigung und Entkeimung der Luft.

Nachteile/Risiken:

Eine Freisetzung von Titandioxid-Nanopartikeln aus den Filtern der Geräte ist nicht zu erwarten, demnach ist eine Umwelt- oder Gesundheitsgefährdung durch das Nanomaterial selbst unwahrscheinlich. Ein Problem bei der Luftreinigung mittels Photokatalyse ist jedoch das Entstehen von unerwünschten Neben- bzw. Zwischenprodukten beim Abbau von flüchtigen organischen Substanzen. Experimentelle Untersuchungen zeigen, dass etwa der Formaldehyd-Gehalt der Raumluft bei Verwendung solcher Geräte um das Dreifache ansteigen kann. Beim Abbau des Lösungsmittels Toluol wurden als Nebenprodukte u.A. die problematischen Substanzen Benzaldehyd und Acetaldehyd festgestellt. Bislang liegen jedoch zu wenige Studien vor, um definitive Aussagen über mögliche negative gesundheitliche Effekte solcher Nebenprodukte machen zu können, v.a. da in experimentellen Untersuchungen auch unterschiedliche Konzentrationen festgestellt wurden. Vor einer breiten Verwendung solcher Geräte, etwa in öffentlichen Gebäuden oder Büros, wären unbedingt Untersuchungen unter realistischen Bedingungen notwendig, auch um Werte aus dem Langzeitbetrieb zu erhalten.



Quelle:
www.peakpureair.com

Literaturhinweise und Weblinks

Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2008.

http://www.bmu.de/gesundheit_und_umwelt/nanotechnologie/nanodialog/doc/42655.php

Hodgson A.T., Sullivan D.P. und Fisk W.J. (2005): Evaluation of Ultra-Violet Photocatalytic Oxidation (UVPCO) for Indoor Air Applications: Conversion of Volatile Organic Compounds at Low Part-per-Billion Concentrations. Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL-58936.

<http://escholarship.org/uc/item/49n5x4px>

Mo Jinhan et al. (2008): Determination and risk assessment of by-products resulting from photocatalytic oxidation of toluene. Applied Catalysis B: Environment, Vol. 89, Issues 3-4, 570-576.

10.7 Textilien

Der Einsatz von Nanotechnologie im Bereich von Bekleidungstextilien soll zu verbesserten Funktionalitäten oder sogar zu völlig neuen Eigenschaften eines Textilmaterials führen. „Nano-Textilien“ können mittels verschiedener Methoden hergestellt werden. Dabei ist zu unterscheiden, ob synthetische Nanopartikel in die Fasern integriert werden oder in einer Beschichtung bzw. lose an der Faser-Oberfläche aufgebracht werden bzw. ob es sich um nanoskalige Fasern oder Beschichtungen ohne Zusatz von Nanopartikeln handelt. Leider geben die Hersteller solcher Textilien oft keine oder nur wenige Informationen, um welche Art von „Nano-Textil“ es sich bei ihrem Produkt handelt. Derzeit finden sich vor allem Textilien auf dem Markt, die laut Herstellerangaben Schmutz und Wasser abweisende sowie antibakterielle Eigenschaften aufweisen. Neuartige Materialien, etwa für sogenannter „Smart Clothes“ oder Fasern aus Kohlenstoffnanoröhren, sind derzeit Gegenstand der Forschung. Viele Herstellungsverfahren sind noch sehr kostenintensiv und die Integration von Nanopartikeln wirkt sich häufig noch negativ auf andere Textileigenschaften aus, dennoch finden sich bereits viele Produkte auf dem Markt. Dies lässt vermuten, dass in dieser Branche „nano“ gerne auch zur Verkaufsförderung ansonsten konventioneller Produkte eingesetzt wird. Für Hersteller von Nano-Textilien gibt es deshalb die Möglichkeit, ein Qualitätslabel zu erwerben (siehe Abschnitt 7.2). Für Berufsbekleidung interessant sind insbesondere Textilien mit „Fleckschutzausrüstung“, die Schmutz und Wasser abweisend sind. Das Gewebe wird dafür zumeist im Tauchverfahren mit einer Beschichtung im Nanometerbereich aus hydro- und oleophoben Substanzen versehen.

Für die antibakterielle Ausstattung von Unterwäsche oder Socken werden die Textilfasern mit Nanosilber beschichtet, das Gewebe im Tauchverfahren mit einer Nanosilber-Dispersion behandelt und Nanosilberpartikel direkt in die Fasern integriert. Heimtextilien, wie Pölster, Decken, Matratzen- und Möbelbezüge mit der antimikrobiellen Wirkung von Nanosilber werden ebenfalls am Markt angeboten.

Vorteile/Chancen:

Schmutzabweisende Bekleidung könnte evtl. dazu beitragen Energiekosten bzw. den Aufwand an Wasser und Reinigungsmitteln zu senken, da diese weniger oft gewaschen werden müssen bzw. die Waschtemperatur gesenkt werden kann. Zu „Nano-Textilien“ liegen allerdings noch keine Ökobilanzen vor, sodass bzgl. möglicher Umweltentlastungspotenziale keine definitiven Aussagen gemacht werden können.

Nachteile/Risiken:

Ob Nanopartikel aus Textilien freigesetzt werden können, hängt von der Herstellungsmethode ab bzw. davon, wie fest die Partikel in das Material integriert sind. Erfahrungsgemäß verlieren Textilien zwischen 5 und 20 % ihres Gewichts während der Gebrauchsphase durch Abrieb, mechanische Belastung, Sonneneinstrahlung, Wasser, Schweiß, Waschmittel oder Temperaturschwankungen. Es ist demnach nicht auszuschließen, dass aus Nano-Textilien einzelne Nanopartikel, Agglomerate von Nanopartikeln oder Textilmaterialteilchen mit oder ohne synthetische Nanopartikel freigesetzt werden können. Bislang gibt es dazu allerdings erst wenige experimentelle Untersuchungen. Einige wenige Studien mit nanosilberhaltigen Textilien zeigen, dass manche Produkte bereits nach einem Waschvorgang bis zu 35 % des Silbers in das Waschwasser freisetzen. Durch das Abwasser kann Nanosilber somit in die Umwelt gelangen (siehe dazu auch Kapitel 8 und 10.2.1) . Die Auswirkungen von Nanosilber auf die gesunde menschliche Hautflora durch das Tragen von nanosilberhaltigen Textilien wurde bislang nicht untersucht. Das deutsche Bundesinstitut für Risikoforschung (BfR) sieht jedenfalls in derartigen antibakteriellen Textilien keinen Vorteil für die KonsumentInnen und empfiehlt Herstellern in einer aktuellen Bewertung von Nanosilber generell auf dessen Verwendung in Konsumprodukten zu verzichten bis die Datenlage eine abschließende Risikobewertung zulässt und die Unbedenklichkeit der Produkte gewährleistet ist.

Gesundheitliche Gefährdungen sind allerdings durch Mittel zur Oberflächenbehandlung in Sprayform möglich (Imprägnierungsmittel), die im Handel angeboten werden, um etwa Schuhe oder Textilien mit schmutz- und wasserabweisenden Eigenschaften auszustatten. Viele dieser Produkte werden mit dem Schlagwort „nano“ beworben. Sie enthalten jedoch keine Nanopartikel, sondern bilden nur eine nanoskalige Schutzschicht aus chemischen Substanzen. Sind die Tröpfchen, die von einem solchen Treibgasspray produziert werden, kleiner als 10 Mikrometer, so besteht die Möglichkeit, dass diese Substanzen tief in die Lunge geraten. Unter Umständen sogar bis zu den Lungenbläschen, die unter Einwirkung dieser oberflächenaktiven Imprägnierungsmittel kollabieren können, was zu Atemnot und Lungenödem führen kann. Dies ist allerdings kein „Nanoproblem“, sondern gilt für alle Imprägnierungssprays auf Treibgasbasis, auch für Haarsprays. Die Anwendungsvorschriften sind jedenfalls genau einzuhalten. Empfehlenswerter sind Produkte in flüssiger Form oder als Schaum.

Literaturhinweise und Weblinks

Greßler S., Simkó M., Gzásó A., Fiedeler U., Nentwich M. (2010): Nano-Textilien. NanoTrust Dossiers, Nr. 15, Jänner 2010. <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier015.pdf>

BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab. Stellungnahme Nr. 025/2010 des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR), 28.12.2009. <http://www.bfr.bund.de/cd/50963>

10.8 Farben und Lacke

Die Möglichkeiten, Farben und Lacke mittels Nanomaterialien zu optimieren sind vielfältig. Insbesondere lassen sich durch den Einsatz von Nanopartikeln neue Oberflächeneigenschaften erzielen und zahlreiche Produkte befinden sich bereits auf dem Markt. Am häufigsten werden Titandioxid, Siliziumdioxid, „Carbon black“, Zinkoxid und Silber in ihrer Nanoform eingesetzt.

Nano-TiO₂

Aufgrund der photokatalytischen Eigenschaft von Titandioxid (siehe Kapitel 10.6.2) wird dieses Material in Wandfarben eingesetzt, um Luftschadstoffe (flüchtige organische Verbindungen, wie z.B. Lösungsmittel) abzubauen. Für Einsatzbereiche in Innenräumen wird TiO₂ mit Metallatomen oder Kohlenstoff modifiziert, damit Photokatalyse auch bei sichtbarem Licht möglich wird. TiO₂ wird weiters auch in Holzlasuren als UV-Filter eingesetzt, um eine Witterungsbeständigkeit bei gleichzeitiger Transparenz zu erzielen.

Nano-SiO₂

Dieses Material wird zur Verbesserung der Fließigenschaften sowie zur Stabilisierung von Pigmenten und Füllstoffen in Farben und Lacken verwendet. Weiters kommen Schicht- oder Blattsilikate zur Verhinderung von Rissbildungen bei Dispersionsfarben zum Einsatz. In neuartigen Kunstharzdispersionen werden Kieselsole in die Kunstharzteilchen einpolymerisiert. Die nanoskaligen Silikatteilchen sind dabei fest mit den Kunstharzteilchen verbunden und nach dem Austrocknen der Farbe dauerhaft in die Oberfläche eingebettet. Solche Kunstharzdispersionen werden für schmutz- und wasserabweisende bzw. selbstreinigende Fassadenfarben verwendet. Am Markt erhältlich sind etwa selbstreinigende Fassadenfarben unter dem Markennamen „Lotus-Effekt®“. Entdeckt wurde dieser Effekt, wie der Name schon sagt, bei der Lotusblume, deren Blätter immer makellos sauber sind. Zurückzuführen ist dies auf nanometergroße wasserabweisende Wachskristalle, die auf der Blattoberfläche dreidimensionale Strukturen – ähnlich kleinen Noppen – bilden. Schmutz, wie auch Wasser, kommen aufgrund der geringen Anziehungskräfte nur auf den Spitzen dieser Noppen zu liegen. Bei geringster Neigung des Blattes rollt das Wasser als kugelförmiger Tropfen ab und nimmt den Schmutz mit. Technisch nachgebildet wird dieser natürliche Selbstreinigungsmechanismus durch Siliziumdioxid-Nanopartikel, die in Kunstharzdispersionen die für eine Selbstreinigung notwendigen Strukturen aufbauen. Regen perlt von solchen Fassaden leicht ab und entfernt dabei im Idealfall den Schmutz. Allerdings ist die technische Nachbildung keinesfalls so perfekt wie der Selbstreinigungsmechanismus bei Pflanzen (oder auch Insektenflügeln).



Selbstreinigende Fassade mit „Lotus-Effekt®“
Quelle: www.lotus-effekt.de

„Carbon black“

Synthetisch hergestellte Ruße dienen vor allem als Farbpigmente und zur Erzielung von optischen Effekten. So etwa können die Effekte von Metallpigmenten und der Blaustich der Farbe Schwarz verstärkt werden.

Nano-ZnO

Dieses Material hat eine gewisse Wirkung gegen Algen und Schimmelpilze und wird daher in Schimmelschutzfarben und Fassadenfarben verwendet. Außerdem wirkt ZnO als UV-Absorber und wird zur Verbesserung der Lichtechtheit von Farben eingesetzt.

Nano-Silber

Nanosilber hat eine breite Wirksamkeit gegen Bakterien, Pilze und Algen (siehe Kapitel 10.2.1) und wird sowohl für Wandfarben als auch für Holzschutzlacke eingesetzt.

Vorteile/Chancen:

Zu den Umweltentlastungspotenzialen von Farben und Lacken mit Nanomaterialien fehlen bislang noch großteils Ökobilanzen (Ausnahme: Nano-Lack für die Automobilindustrie; siehe Kapitel 10.5.1), deshalb können derzeit noch keine definitiven Aussagen dazu gemacht werden. Möglich ist evtl. eine Einsparung von Energie, Wasser und Reinigungsmitteln durch schmutz- und wasserabweisende Eigenschaften. Auch die Lebensdauer der behandelten Materialien kann sich möglicherweise verlängern und bedenkliche chemische Biozide können u.U. ersetzt werden. Photokatalytisch aktive Innenraumfarben zum Abbau von Luftschadstoffen können u.U. zu Energieeinsparungen beitragen, da bei klimatisierten Räumen das Öffnen der Fenster zum Lüften aus energetischer Sicht ungünstig ist.

Nachteile/Risiken:

Eine Umwelt- oder Gesundheitsgefährdung durch Nanopartikel, die fest in eine Beschichtung eingebunden sind, ist nach derzeitigem Wissenstand unwahrscheinlich. Allerdings gibt es erst wenige Untersuchungen die sich mit der Frage beschäftigen, ob durch Alterung, Witterung und mechanische Beanspruchung Nanopartikel aus Beschichtungsmaterialien freigesetzt werden können. Eine Labor-Untersuchung mit ZnO-Nanopartikeln in einer Trägermatrix zeigte, dass keine Nanopartikel durch Abrieb freigesetzt werden.

In einer anderen Studie konnte gezeigt werden, dass TiO₂-Nanopartikel aus einer Fassadenfarbe in geringen Mengen freigesetzt und durch den Regenablauf in den Boden und somit in die Umwelt gelangen können. Unter UV-Licht entstehen durch die photokatalytische Aktivität von TiO₂ Sauerstoffradikale, die toxisch für aquatische Lebewesen sind. Zum Umweltverhalten und zu den tatsächlichen Eintragsmengen dieses Materials fehlen allerdings noch weitere Untersuchungen und Studien, sodass eine Risikoabschätzung derzeit noch nicht möglich ist. Auch die durch photokatalytischen Abbau von Luftschadstoffen durch Innenraumfarben mit TiO₂ entstehenden Zwischenprodukte bedürfen noch Untersuchungen unter realistischen Bedingungen (siehe Kapitel 10.6.2) bevor ein breiter Einsatz in Innenräumen ratsam erscheint.

Wenn möglich, sollten generell schadstoffarme Lacke, Farben und Möbel sowie emissionsarme Bürogeräte eingesetzt werden und Innenräume regelmäßig gelüftet werden.

Sofern Nanosilber, etwa in Holzschutzmitteln, andere toxische Biozide ersetzt, erscheint ein Einsatz durchaus sinnvoll. Allerdings ist dabei einzuschränken, dass bzgl. der Human- und Ökotoxikologie von Nanosilber derzeit nur wenige Studien verfügbar sind. Üblicherweise wird auf Kenntnisse aus Untersuchungen mit Silberverbindungen bei der Bewertung der Toxikologie zurückgegriffen. Aufgrund der anderen Eigenschaften von Nanosilber sind solche Analogieschlüsse aber nur bedingt sinnvoll. Silber ist nur in sehr hohen Dosierungen toxisch für Säugetiere, in geringsten Mengen allerdings sehr giftig für aquatische und Bodenmikroorganismen (siehe dazu auch Kapitel 10.2.1), sollten Nanosilberpartikel in die Umwelt (z.B. über das Abwasser) gelangen. Weiters besteht die Gefahr der Resistenzbildung von Bakterien, sodass Nanosilber in der Medizin seine Wirkung verlieren könnte, wenn dieses Material breitflächig in den verschiedensten Konsumprodukten eingesetzt wird. Die Effektivität von Nanosilber in antibakteriellen Innenraumfarben, wie sie etwa für Schulklassenräume beworben werden, ist sehr fraglich. Der Autorin des vorliegenden Berichtes ist keine Untersuchung bekannt, wonach die Infektionsraten tatsächlich durch solche Farben gesenkt werden könnten. Solche Farben können nur gegen Krankheitserreger wirken, die direkt Kontakt mit der behandelten Oberfläche haben. Sie sind also wirkungslos gegen Keime, die in der Luft schweben, oder die über Körperkontakt (z.B. Händeschütteln) übertragen werden. Antibakterielle Innenraumfarben können also nur vor Keimen schützen, die eventuell durch das Abschlecken oder Berühren der Wände übertragen werden. Studien über ein Krankheitsrisiko durch diese Übertragungswege sind der Autorin nicht bekannt. In Anbetracht anderer, wesentlich wichtiger Wege, erscheint dieser aber als relativ gering. Möglicherweise sinnvoll und effektiv sind Nanosilber-Beschichtungen von Türgriffen in öffentlichen Gebäuden, Lichtschaltern, Aufzugknöpfen oder Haltegriffen in öffentlichen Verkehrsmitteln, da mit diesen Gegenständen direkter Körperkontakt und eine Übertragung von Krankheitserregern möglich ist. Durchaus sinnvoll erscheint eine Anwendung von Farben mit Nanosilber auch in Feuchträumen (z.B. Badezimmer) zur Vermeidung von Schimmelbildung. Vor allem dann, wenn Nanosilber andere, u.U. bedenkliche Biozide ersetzen kann. Nanosilber-Beschichtungen sind allerdings dort kein Ersatz, wo - z.B. laut HACCP-Verordnung (Hazard Analysis and Critical Control Points) - desinfiziert werden muss. Auf vorgeschriebene Desinfektionsmaßnahmen kann also trotz einer solchen antimikrobiellen Beschichtung nicht verzichtet werden, solange die einer klassischen Desinfektionsmethode ebenbürtige Wirkung von Nanosilberbeschichtungen nicht wissenschaftlich bestätigt ist. Derzeit sind die entsprechend standardisierten Prüfmethode für Nanosilberbeschichtungen erst in Entwicklung. Ob eine vergleichbare Wirkung erzielt werden kann, ist ungewiss.

Literaturhinweise und Weblinks

Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche – Ein Betriebsleitfaden. Band 11 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, September 2009. www.hessen-nanotech.de

Fries, R., Greßler S., Simkó M., Gzásó A., Fiedeler U. & Nentwich M. (2009): Nanosilber. NanoTrust Dossiers, Nr. 10, April 2009. <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier010.pdf>

Greßler, S. & Fries R. (2010): Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit, Wien.
<http://www.bmg.gv.at/cms/site/standard.html?channel=CH0983&doc=CMS1266311358101>

Greßler, S., Fiedler U., Simkó M., Gzásó A., Nentwich M. (2010): Selbsteinigende, schmutz- und wasserabweisende Oberflächen auf Basis von Nanotechnologie. In Druck.

10.9 Baumaterialien

Nanotechnologie bietet auch in Architektur und Bauwesen interessante Möglichkeiten zur Optimierung von Verfahren und Materialien hinsichtlich deren Funktionalität. Allerdings ist die Baubranche eher ein konventioneller Wirtschaftszweig. Lange Produktzyklen, hohe Sicherheitsanforderungen und ein starker Kostendruck lassen Neuerungen oftmals nur sehr langsam zu. Bei der Errichtung von Gebäuden etwa wird in Jahrzehnten gedacht und geplant – eine moderne Beschichtung, die vielleicht nur 3 bis 5 Jahre hält und noch dazu teurer ist als eine konventionelle - wird deshalb vielfach noch als problematisch erachtet. Dennoch gibt es weltweit bereits zahlreiche Projekte, bei denen Produkte auf Basis von Nanotechnologie eingesetzt wurden und es ist zu erwarten, dass diese noch weiter zunehmen werden. Insbesondere da viele dieser Anwendungen darauf abzielen, den Energieaufwand zu reduzieren (z.B. bei der Reinigung oder in der Wärmedämmung) und somit zu Kosteneinsparungen und Klimaschutz beitragen können.

10.9.1 Selbstreinigende Oberflächen, Luftreinigung durch Photokatalyse

Selbstreinigende Fassadenfarben etwa auf Basis des „Lotus-Effects[®]“ oder von Photokatalyse werden bereits vielfach eingesetzt (siehe dazu Kapitel 10.8). Auch selbstreinigende Architekturgläser, Tondächer oder Fliesen mit photokatalytisch aktivem nano-TiO₂ sind bereits seit einiger Zeit im Handel. Entwickelt wurden diese Beschichtungen in Japan, wo sie auch am meisten verbreitet sind. Die Beschichtung der Materialien wird gleich bei der Herstellung mittels technischer Verfahren (Vakuumbeschichtung) aufgebracht und ist dauerhaft. Da sie transparent ist, kann sie (im Gegensatz zu „Lotus-Effect[®]“-Beschichtungen) auch auf Glas angewendet werden. Bei der Photokatalyse fungiert TiO₂ als Katalysator, wird also selbst nicht verbraucht. Aufgrund der größeren Oberfläche sind Nanopartikel von TiO₂ noch reaktiver als größere Teilchen. TiO₂ ist stark wasseranziehend (hydrophil), weshalb sich auf derart beschichteten Oberflächen ein dünner, unsichtbarer Wasserfilm bildet. Unter UV-Licht (oder auch unter sichtbarem Licht bei speziell modifizierten TiO₂-Formen) bilden sich durch die katalytische Wirkung des Titandioxids Sauerstoffradikale, die organisches Material (Schmutz, Algen, Moose, Bakterien, etc.) zersetzen können. Bei Regen oder unter fließendem Wasser werden die Zersetzungsprodukte über den dünnen Wasserfilm abtransportiert und die Oberfläche gereinigt. Da das Wasser abfließen können muss, ist eine Selbstreinigung nur bei geneigten Flächen möglich.

Der photokatalytische Effekt von TiO₂ kann auch zur Luftreinigung eingesetzt werden (siehe auch Kapitel 10.8), da auch Schadstoffe in der Luft auf diese Weise zu CO₂ und Wasser abgebaut werden können. Einsatzbereiche im Außenbereich sind z.B. beschichtete Betonpflastersteine, Straßenbeläge oder Schallschutzmauern zum Abbau von Auto- und Industrieabgasen.

Vorteile/Chancen:

Selbstreinigende Oberflächen können dazu beitragen, den Reinigungsaufwand von Oberflächen zu reduzieren. Im Idealfall sind Energieeinsparungen und eine Verminderung des Einsatzes von aggressiven Reinigungsmitteln möglich. Ökobilanzen fehlen jedoch.

Nachteile/Risiken:

Eine Umwelt- oder Gesundheitsgefährdung durch fest in eine Beschichtungsmatrix eingearbeitete Nanopartikel oder nanoskalige Beschichtungen gilt derzeit als unwahrscheinlich. Bzgl. möglicher Umwelteffekte von nanoskaligem Titandioxid und noch offener Fragen zu den bei der Photokatalyse entstehenden Zwischenprodukten siehe Kapitel 10.8.

10.9.2 „Easy to Clean“ Oberflächen

Viele Materialien im Bauwesen – z.B. Glas, Metall, Holz – lassen sich mit speziellen chemischen Beschichtungen schmutz- und wasserabweisend gestalten. Selbstreinigend sind solche Oberflächen allerdings nicht, Schmutz haftet aber schlechter und Wasser perlt besser ab. Derartige Beschichtungen können gleich bei der Herstellung der Materialien dauerhaft durch „Einbrennen“ bei höheren Temperaturen aufgebracht werden (mittels Sol-Gel-Verfahren). Da die Beschichtungen auch bei niedrigeren Temperaturen (Raumtemperatur) austrocknen, ist auch eine nachträgliche Behandlung möglich, die allerdings nicht dauerhaft ist und immer wieder erneuert werden muss. „Easy to Clean“-Beschichtungen sind aufgrund ihrer Nanoskaligkeit transparent und können auch auf Glas ohne optische Beeinträchtigungen angewendet werden. Diese Nanoskaligkeit der Beschichtung ist zumeist auch der einzige Bezug zur Nanotechnologie. Nanopartikel finden sich darin nicht. Um die Kratzfestigkeit und damit die Beständigkeit zu erhöhen, werden bei einigen Produkten (etwa bei Sanitärkeramiken) aber auch zusätzlich zu den chemischen schmutz- und wasserabweisenden Substanzen keramische Nanopartikel (Silica) eingearbeitet.

Vorteile/Chancen:

Wie auch im Falle von selbstreinigenden Oberflächen können „Easy to Clean“-Oberflächen dazu beitragen, den Reinigungsaufwand zu reduzieren und damit Energie und Reinigungsmittel einsparen helfen. Allerdings fehlen auch für solche Beschichtungen noch Ökobilanzen.

Nachteile/Risiken:

Eine Umwelt- oder Gesundheitsgefährdung durch fest in eine Beschichtungsmatrix eingearbeitete Nanopartikel oder nanoskalige Beschichtungen gilt derzeit als unwahrscheinlich. Bei einer Anwendung von Produkten zur nachträglichen Behandlung von Oberflächen, insbesondere in Sprayform, sind die Anwendungsvorschriften genau einzuhalten, um evtl. gesundheitliche Beeinträchtigungen durch das Einatmen der Substanzen zu verhindern (siehe dazu auch Kapitel 10.7).

10.9.3 Wärmedämmung, Temperaturregulierung

Vakuum-Isolations-Paneele (Vacuum Insulation Panels, VIPs) erreichen bei wesentlich geringerer Schichtdicke sehr gute Dämmwerte. Die Wärmeleitfähigkeit ist gegenüber konventionellen Dämmmaterialien (z.B. Polystyrol) um das 10-fache geringer. Das Füllmaterial der Paneele verfügt über eine nanoskalige Feinporigkeit im Bereich von 100 nm. Aus diesem Grund ist nur ein vergleichsweise geringer Druck zur Evakuierung notwendig, wodurch erst eine Anwendung im Bauwesen möglich wird. Die Hülle der Paneele besteht aus einer Kunststoffolie, die zumeist mit Aluminium beschichtet ist, oder aus Edelstahl und schließt in einem Vakuum die Füllung ein. Diese besteht entweder aus Schaum, Pulver oder Glasfasern. Die Paneele sind am Markt in Standardgrößen erhältlich, was bei bereits bei der Bauplanung berücksichtigt werden sollte, da die Anfertigung von Sondergrößen mit erhöhten Kosten verbunden ist. Die Paneele lassen sich nicht zuschneiden oder bearbeiten, weil sonst das Vakuum zerstört wird. VIPs sind besonders dünn (2-40mm) und aufgrund ihrer hohen Kosten derzeit noch nicht für den breiten Einsatz gedacht. Sie eignen sich besonders dann, wenn nur eingeschränkter Platz für eine Wärmedämmung zur Verfügung steht und deshalb herkömmliche Materialien nicht eingesetzt werden können.



Vakuum-Isolations-Paneel (VIP)
Quelle: www.observatorynano.eu

Aerogele („Nanogele“) sind innovative Materialien zur Wärme- und Schalldämmung. Sie bestehen zwischen 95 und 99,9% aus Luft, der Rest ist ein glasartiges Material (z.B. Siliziumdioxid). Die Porengröße des Schaums liegt im Durchschnitt nur bei 20 nm, weshalb sich die eingeschlossenen Luftmoleküle nicht bewegen können, wodurch dieses Material sehr gute Wärmedämmeigenschaften aufweist, aber auch zur Kühlung eingesetzt werden kann. Aerogele können als Dämmmaterial für verschiedene Hohlräume eingesetzt werden, etwa für Fensterglaszwischenräume. Die Wärmedämmeigenschaften werden als 2- bis 8-fach besser als konventionelle Dämmmaterialien angegeben. Aerogele sind durchscheinend und streuen das Licht gleichmäßig. Sonnenstrahlen werden in blendfreies weiches Licht umgewandelt, sodass ggf. auf Jalousien verzichtet werden kann. Aerogele werden durch UV-Licht nicht verfärbt und sind wasserabweisend, sodass keine Schäden durch Feuchtigkeit auftreten können. Sie eignen sich auch zur Schalldämmung in Innenräumen, etwa für Verglasungen von Konferenzräumen.



Aerogel
Quelle: www.yes-we-daemm.de/

Latentwärmespeicher (Phase Change Material, PCM)

PCMs werden auf Basis von Paraffinen und Salzhydraten hergestellt. Paraffinkugeln mit einem Durchmesser zwischen 2 und 20 nm werden dabei von einer dichten Kunststoffhülle umschlossen und lassen sich so in gängige Baumaterialien (z.B. Innenputze oder Betonplatten) einarbeiten. PCMs sind in der Lage Energie (Wärme)

aufzunehmen, ohne dass sie sich dabei selbst erwärmen, indem das Paraffin in den Kugeln schmilzt (Phasenwechsel von fest auf flüssig). Auch umgekehrt funktioniert dieser Prozess, sodass sich PCMs zur Temperaturreglung in Innenräumen eignen.

Vorteile/Chancen:

Die thermische Isolierung ist ein wesentlicher Faktor in der Bauwirtschaft, sowohl in Hinblick auf die Investitionskosten bei Neubauten und Gebäudesanierungen als auch in Hinblick auf die Betriebskosten. Ebenso spielt sie eine wichtige Rolle bei der Erreichung von Klimaschutzzielen. Innovationen wie die oben dargestellten können dazu beitragen, den Energiebedarf zur Heizung und Kühlung von Gebäuden zu reduzieren und haben deshalb ein gewisses Umweltentlastungspotenzial. Ökobilanzen oder fehlen jedoch.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichtes bekannt.

10.9.4 Glasabdunkelung ohne Jalousien

Elektrochrome (schaltbare) Gläser zur Abdunkelung gab es bereits früher auf dem Markt. Sie sind aber weitgehend wieder verschwunden, da sie entscheidende Nachteile hatten – für die abdunkelnde Wirkung war ständiger Stromzufluss notwendig und bei großen Glasflächen zeigten sich optische Unregelmäßigkeiten. Mittlerweile gibt es elektrochrome Gläser mit einer dünnen Nanobeschichtung auf dem Markt, bei denen eine dauernde Stromzufuhr nicht mehr notwendig ist. Allerdings ist die Größe der Gläser derzeit noch beschränkt und der Schaltprozess dauert einige Minuten, was als Nachteil empfunden werden kann.

Vorteile/Chancen:

Gegenüber herkömmlichen elektrochromen Gläsern verbrauchen solche mit Nanobeschichtung beim Gebrauch weniger Energie.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts bekannt.

10.9.5 Brandschutz

Spezielles Brandschutzglas auf Basis von Nanotechnologie enthält eine dünne Funktionsfüllung aus Siliziumdioxid-Nanopartikeln (pyrogene Kieselsäure), die im Brandfall aufschäumt. Diese Gläser widerstehen Temperaturen bis zu 1000°C und bieten 120 Minuten Feuerwiderstand. Trotzdem sind sie sehr leicht und schlank in der Konstruktion.

Leichtbau-Sandwichplatten aus Stroh und Hanf werden mit einer feuerhemmenden Beschichtung mit Siliziumdioxid-Nanopartikeln umgeben. Diese Platten brennen nicht, sondern kokeln beim Kontakt mit Feuer nur an. Trotz des glasartigen Überzugs ist das Material diffusionsfähig und lässt sich am Ende der Lebenszeit schreddern.

Interessant sind diese Platten insbesondere für den Messebau, aber auch für Flure, Foyers oder Versammlungsstätten.

Nanostrukturierte Silikatpartikel (auch „Nano-Ton“ genannt) als Füllstoffe in Kunststoffen können auch zur Optimierung der Flamm- und Hitzebeständigkeit von Kabelummantelungen, Verschalungen oder im Innenausbau (Sicherungskästen, Steckdosen, Lampengehäuse, etc.) eingesetzt werden.

Vorteile/Chancen:

Laut Herstellerangaben sind neuartige Brandschutzsysteme auf Basis von Nanotechnologie sehr gut umweltverträglich, da sie halogenfrei sind. Somit kommen sie als Ersatz für andere umweltbelastende Materialien in Frage und weisen ein gewisses Umweltentlastungspotenzial auf. Allerdings fehlen Ökobilanzen.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichtes bekannt.

10.9.6 „Anti-Graffiti“-Beschichtungen

Neuartige Produkte auf Basis der chemischen Nanotechnologie werden auch zum Oberflächenschutz von Baustoffen eingesetzt, etwa um Schäden durch eindringendes Wasser zu verhindern oder um Fassaden vor Schimmel, Moosen, Algen und Verschmutzungen zu schützen. Zusätzlich ermöglichen „Anti-Graffiti“-Schutzbeschichtungen das leichte Entfernen unerwünschter „Kunst“, da Sprayfarben auf solchen Oberflächen nicht anhaften. Auch Kaugummi lässt sich dank solcher Beschichtungen leichter entfernen. Im Gegensatz zu den früher dafür verwendeten Anstrichen versiegeln neue Produkte auf Basis von Silanen laut Herstellerangaben nicht mehr die Oberfläche, so dass die Atmungsaktivität von Mauerwerk erhalten bleibt und Feuchtigkeit entweichen kann.

Vorteile/Chancen:

„Anti-Graffiti“-Beschichtungen können im Idealfall den Reinigungsaufwand reduzieren und somit beitragen, Energie einzusparen. Auch auf aggressive Reinigungsmittel kann laut Herstellerangaben verzichtet werden. Ökobilanzen fehlen jedoch.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichtes bekannt.

10.9.7 „Antireflex“-Beschichtungen

Höchstens 90 % des eintreffenden Sonnenlichts kann Glas passieren, der Rest wird reflektiert. Hervorgerufen wird dies durch die Veränderung des Brechungsindex beim Durchgang von Licht durch zwei Medien (Luft/Glas). Antireflex-Glas ist in der Innenarchitektur prinzipiell nichts Neues, sondern fand auch schon früher (z.B. für Vitrinverglasungen) Anwendung. Allerdings sind solche Beschichtungen sehr teuer und die Herstellung ist aufwändig. Außerdem können sie nicht auf Sonnenkollektoren

angewendet werden. Mittlerweile gibt es neuartige Beschichtungsformen, bei denen 30 bis 50 nm große Siliziumdioxid-Kugeln eingearbeitet werden. Nur eine einzige Interferenzschicht wird mittels Tauchverfahren auf Glas oder Kunststoff aufgebracht und die Methode ist kostengünstiger als die bisher übliche. Die Reflexion der auf das Glas aufgetragenen Beschichtung reduziert sich auf weniger als 1%. Durch diese „Antireflex“-Beschichtungen lässt sich die Effizienz von Photovoltaiksystemen steigern und die Energieausbeute erhöhen. Die Nanobeschichtung ist dauerhaft und kann auch mit schmutz- und wasserabweisenden Eigenschaften kombiniert werden.

Vorteile/Chancen:

Umweltvorteile bringen „Antireflex“-Beschichtungen auf Basis von Nanotechnologie dadurch, dass sie eine höhere Energieausbeute bei Sonnenkollektoren ermöglichen.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts bekannt.

10.9.8 „Anti-Fingerprint“-Beschichtungen

Stahl und Glas sind im Bauwesen beliebte Materialien. Aufgrund ihrer fettanziehenden Eigenschaften kann es aber etwa durch Fingerabdrücke zu optischen Beeinträchtigungen kommen. Neuartige transparente „Anti-Fingerprint“-Beschichtungen auf Basis der chemischen Nanotechnologie mit funktionalisierten SiO₂-Nanopartikeln wirken dem entgegen, da sie fettabweisend sind und die Lichtbrechung so modifizieren, dass die Abdrücke unsichtbar werden. Angewendet werden können solche Beschichtungen etwa in den Bereichen rund um die Türknäufe bei Glas- oder Metalltüren.

Vorteile/Chancen:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichtes bekannt.

Nachteile/Risiken:

Nachdem die Nanopartikel fest in die Beschichtung eingebunden sind, ist eine Freisetzung und eine damit einhergehende Gefährdung für Umwelt oder Gesundheit derzeit als unwahrscheinlich anzusehen.

10.9.9 Zementgebundene Baustoffe

Im Bereich der Baustoffe kann laut Aussage der Industrie durch die Verwendung von Nanopulvern als Zuschlagsstoffe eine Verbesserung der Materialeigenschaften erreicht werden, wie z.B. die Festigkeit, Beständigkeit und Verarbeitbarkeit von Beton und Mörteln. Als nanoskaliger Zuschlagsstoff wird z.B. Siliziumdioxid eingesetzt, um die Festigkeit des Betons und die Beständigkeit gegenüber Säurekorrosion zu verbessern. Diese Betone erreichen eine stahlähnliche Druckfestigkeit. Polymerzusätze führen zu einer Verflüssigung und Stabilisierung von Zementsuspensionen, was für die Entwicklung von selbstverdichtenden Betonen genutzt wird. Diese Betone

haben laut Herstellerangaben eine verbesserte Fließfähigkeit, passen sich optimal an Verschalungen an und machen eine nachträgliche Verdichtung des Betons überflüssig. Weiters bietet die Nanotechnologie Möglichkeiten zur Optimierung von faserverstärkten Betonen mittels nanostrukturierter Polymere. Betonbauteile zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung können so mit geringeren Abmessungen und geringerem Gewicht hergestellt werden. Bei gleicher oder sogar besserer Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit. Innovation in diesem Bereich lassen sich auch im Infrastrukturbau (Straßen, Brücken, Energieanlagen) nutzen.

Vorteile/Chancen:

Laut Angaben der Industrie kann durch Zusatz von Siliziumdioxid-Nanopartikeln zu Spritzbetonen auf die Verwendung von umweltbelastenden, alkalischen Beschleunigungsmitteln verzichtet werden. Durch die geringeren Abmessungen und dem geringeren Gewicht von Betonbauteilen mit nanostrukturierten Zusätzen erscheint eine Einsparung von Treibstoffen und eine damit einhergehende Reduktion des CO₂-Ausstoßes möglich. Ökobilanzen fehlen jedoch.

Nachteile/Risiken:

Nachdem die Nanopartikel fest in die Baumaterialien eingearbeitet sind bzw. sich mit anderen Bestandteilen verbinden, ist eine Freisetzung und eine damit einhergehende Gefährdung für Umwelt oder Gesundheit derzeit als unwahrscheinlich anzusehen.

Literaturhinweise und Weblinks

Leydecker S. (2008): Nanomaterialien in Architektur, Innenarchitektur und Design. Verlag Birkhäuser.

Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen. Band 7 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech. 2. Auflage Januar 2008. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. www.hessen-nanotech.de

Nanotech Cleantech. Cientifica Ltd. März 2007. www.cientifica.com

Greßler, S., Fiedler U., Simkó M., Gzásó A., Nentwich M. (2010): Selbsteinigende, schmutz- und wasserabweisende Oberflächen auf Basis von Nanotechnologie. In Druck.

10.10 Innenausstattung

Im Bereich der Innenausstattung finden sich zumeist funktionale Oberflächen auf Basis von Nanotechnologie, entweder mit schmutz- und wasserabweisenden oder antimikrobiellen Eigenschaften oder auch zum Schutz vor mechanischen Belastungen. Eine Reihe von Oberflächen könnten mit solchen Beschichtungen ausgestattet werden, etwa Holz, Edelstahl, Glas oder Keramiken.

10.10.1 Möbel

Holzoberflächen von Möbeln können mittels Hartschichten, in die Nanopartikel (Siliziumdioxid) eingearbeitet sind, kratzfester und damit widerstandsfähiger gegenüber mechanischen Belastungen gemacht werden. Mittels solcher Beschichtungen können auch Parkettböden gegenüber Abrieb widerstandsfähiger gemacht werden. Ebenfalls am Markt erhältlich sind Holzlacke (siehe dazu auch Kapitel 10.8) mit

Nanosilber-Partikeln zur antimikrobiellen Ausstattung, etwa für Möbel in Arztpraxen, Warteräumen, Schulklassen, Kindergärten oder Altenheime (zur Wirkung und Anwendung von Nanosilber siehe auch Kapitel 10.2.1 und 10.4.2).

Vorteile/Chancen:

Hartschichten auf Möbeln oder Parkettböden können u.U. deren Lebensdauer verlängern und somit zur Umweltentlastung beitragen. Sofern Nanosilber-haltige Beschichtungen den Einsatz anderer, umweltbelastender Desinfektionsmittel reduzieren, können auch für diese Anwendung Umweltvorteile erwartet werden. Ökobilanzen liegen nicht vor.

Nachteile/Risiken:

Nach derzeitigem Kenntnisstand sind keine umwelt- oder gesundheitsgefährdenden Effekte von nanoskaligen Beschichtungen oder von Nanopartikeln, die fest in eine Matrix eingebunden sind, zu erwarten. Bezüglich der Problematik von Nanosilber siehe Kapitel 10.2.1 und 10.4.2). Generell ist zu hinterfragen, ob mit Nanosilber ausgestattete Möbel ein Infektionsrisiko reduzieren können und ob diese sinnvoll sind. Entsprechende Studien zum Nachweis der Effektivität sind der Autorin des vorliegenden Berichts nicht bekannt.

10.10.2 Sanitärkeramiken

Sanitärkeramiken (Urinale, Toilettenbecken, Waschbecken, Badewannen, Duschtassen) sind im Handel auch mit „Easy to Clean“-Beschichtungen erhältlich (siehe dazu auch Kapitel 10.9.2), die sowohl schmutz- als auch wasserabweisende Eigenschaften haben und leichter zu reinigen sind. Diese Beschichtungen sollen verhindern, dass sich Seifenreste, Kalk, Urinstein und anderer Schmutz an den Keramiken festsetzen kann und dann nur mehr schwer zu entfernen ist. Da nicht auszuschließen ist, dass diese Oberflächen trotzdem mit Scheuerschwamm und -mittel behandelt werden – was einer „Easy to Clean“-Oberfläche abträglich wäre – werden die Oberflächen zumeist auch noch mit nanokeramischen Partikeln vor mechanischer Beanspruchung geschützt. Neben den Sanitärkeramiken werden auch zum Beispiel Duschtrennwände mit „Easy to Clean“-Beschichtungen angeboten. Ebenfalls erhältlich sind Sanitärkeramiken mit antibakterieller Nanosilber-Ausstattung, oftmals in Kombination mit „Easy to Clean“- bzw. kratzfester Beschichtung.



Quelle: www.villeroy-boch.com

Vorteile/Chancen:

„Easy to Clean“-Oberflächen können im Idealfall den Reinigungsaufwand verringern und somit Energie und aggressive Reinigungsmittel einsparen helfen. Ökobilanzen fehlen jedoch.

Nachteile/Risiken:

Nach derzeitigem Kenntnisstand sind keine umwelt- oder gesundheitsgefährdenden Effekte von nanoskaligen Beschichtungen oder von Nanopartikeln, die fest in eine Matrix eingebunden sind, zu erwarten. Das gilt auch für Nanosilberpartikel. Diese wirken allerdings durch die an der Oberfläche gebildeten Silberionen, die toxisch für Mikroorganismen sind. Während die Notwendigkeit von Desinfektionsmitteln und Bi-ziden in normalen Haushalten fragwürdig ist und keine wissenschaftliche Fundie-rung einer Reduktion von Infektionskrankheiten vorliegt, besteht jedoch die Gefahr der Resistenzbildung und der Entstehung von multi-resistenten Krankheitserregern. Neben diesem möglichen Risiko einer Resistenzbildung besteht auch möglicher-weise eine Gefährdung der Umwelt, da zwar keine Nanosilberpartikel, aber die wirk-samen Silberionen durch das Abwasser in die Umwelt gelangen. Diese können u.U. die Bakterien in Kläranlagen beeinträchtigen oder Bodenmikroorganismen, wenn Klärschlämme etwa auf Felder ausgebracht werden (siehe dazu auch Kapitel 8 und 10.2.1). Für eine umfassende Risikoabschätzung von Nanosilber fehlt jedoch derzeit noch eine ausreichende Datenlage. Das Deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung empfiehlt jedenfalls den Herstellern derzeit auf eine Verwendung von Nanosilber zu verzichten, um eine mögliche Umwelt- oder Gesundheitsge-fährdung auszuschließen.

10.10.3 Keramikfolien als Fliesentapete

Eine Innovation, die erst vor kurzem auf den Markt eingeführt wurde, sind flexible Keramikfolien, die als Fliesentapete z.B. im Sanitär- oder Küchenbereich eingesetzt werden können. Zur Herstellung werden auf einer Trägersubstanz keramische Nano-partikel zusammen mit einem Bindemittel abgeschieden. Dieses flexible keramische Komposit kann durch weitere Beschichtungsschritte gefärbt und durch ein transpa-rentes Top-Coating versiegelt und mit zusätzlichen Eigenschaften, wie UV-Schutz und Hydrophobie versehen werden. Diese Wandbelege sind laut Herstellerangaben schmutzresistent, feuerfest und beständig gegenüber Chemikalien.

Vorteile/Chancen:

Durch die schmutzabweisenden Eigenschaften lässt sich der Reinigungsaufwand dieser neuen Wandbeläge gegenüber herkömmlichen u.U. reduzieren, wodurch sich Energie und Reinigungsmittel einsparen lassen. Ökobilanzen fehlen jedoch.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts bekannt.

Literaturhinweise und Weblinks

Leydecker S. (2008): Nanomaterialien in Architektur, Innenarchitektur und Design. Verlag Birkhäuser.

Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen. Band 7 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech. 2. Auflage Januar 2008. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. www.hessen-nanotech.de

Greßler, S., Fiedler U., Simkó M., Gzásó A., Nentwich M. (2010): Selbsteinigende, schmutz- und waserabweisende Oberflächen auf Basis von Nanotechnologie. In Druck.

Fries R., Greßler S., Simkó M., Gzásó A., Fiedler U., Nentwich M. (2009): Nanosilber. NanoTrust Dossier Nr 10, April 2009. <http://epub.oew.ac.at/ita/nanotruster-dossiers/dossier010.pdf>

Greßler S. & Fries R. (2010): Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit. <http://www.bmg.gv.at/cms/site/standard.html?channel=CH0983&doc=CMS1266311358101>

BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab. Stellungnahme Nr. 025/2010 des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR), 28.12.2009. <http://www.bfr.bund.de/cd/50963>

10.11 Sonnenschutzmittel

Sonnenschutzmittel enthalten neben Pflegewirkstoffen chemische und/oder organische UV-Filter, welche die Haut vor Schäden durch UV-Strahlung schützen sollen. In den letzten Jahren ging der Trend verstärkt in Richtung höherer Schutzfaktoren sowohl für UVA- als auch für UVB-Strahlung. Nachdem chemische UV-Filter sich als wenig stabil unter UV-Strahlung erwiesen und bei sensiblen Personen zu Hautirritation führen können, wurden von Seiten der Industrie vermehrt Filtersubstanzen auf mineralischer Basis eingesetzt. Dazu gehören die Metalloxide Titandioxid und Zinkoxid. Diese klassischen Weißpigmente werden in ihrer größeren Form einer Vielzahl der verschiedensten Produkte verwendet, wie etwa in Wandfarben oder in der Lebensmittelindustrie. Um einen möglichst hohen Sonnenschutzfaktor zu erreichen, mussten den Sonnenschutzmitteln größere Mengen dieser Weißpigmente zugesetzt werden, was dazu führte, dass sich diese Produkte wie dickflüssige weiße Pasten verhielten, die sich schlecht auf die Haut auftragen ließen und weiße Spuren hinterließen. Abhilfe schuf die Verwendung von TiO_2 und ZnO in Form von Nanopartikeln. In dieser Form sind die Pigmente transparent und aufgrund der größeren spezifischen Oberfläche der Partikel noch besser in der UV-Schutzwirkung. Sie erlauben die Herstellung leichter Emulsionen, die keine weißen Spuren auf der Haut hinterlassen. Innerhalb der Europäischen Union ist derzeit nur Titandioxid als mineralischer UV-Filter zugelassen. Titandioxid wird seit einiger Zeit ausschließlich in seiner Nanoform für Sonnenschutzmittel verwendet. Gemäß der neuen EU-Verordnung für Kosmetika ist ab 2013 Titandioxid als Nanomaterial auf den entsprechenden Produkten zu kennzeichnen.



Quelle:
www.healthmonthly.co.uk/nivea_sun_light_felling_sun_lotion

Vorteile/Chancen:

Chemische UV-Filter können bei empfindlichen Personen Hautreizungen verursachen und stehen im Verdacht krebsauslösend zu wirken. Die Verwendung von Produkten mit Titandioxid als mineralischem UV-Filter, der eine gute Verträglichkeit aufweist, erscheint sinnvoll, insbesondere in Produkten für Kinder. Die US-amerikanische Organisation „Environmental Working Group“ (EWG) hat rund 400 Studien ausgewertet, die sich mit möglichen negativen gesundheitlichen Effekten von nanopartikulären UV-Filtern befassen und kommt zu dem Ergebnis, dass Sonnenschutzmittel mit Titandioxid und Zinkoxid zu den effektivsten und sichersten am Markt gehören. Im Gegensatz zu Produkten mit chemischen UV-Filtern würden sie einen höheren UV-Schutz gewährleisten und enthielten weniger bedenkliche Inhaltsstoffe

Nachteile/Risiken:

Titandioxid ist ein Photokatalysator, d.h. unter Anwesenheit von Wasser und UV-Strahlung entstehen freie Sauerstoffradikale, die oxidativen Stress in Zellen auslösen können. Wie stark diese oxidative Wirkung ist, hängt von der kristallinen Form des TiO_2 ab. Gesundheitlich bedenklich wäre diese Aktivität, wenn TiO_2 -Nanopartikel in lebende Hautzellen eindringen, da in diesem Fall Zellschädigungen möglich wären. Laboruntersuchungen mit tierischem und menschlichem Hautgewebe zeigten, dass TiO_2 -Nanopartikel die oberste Hautschicht aus abgestorbenen Zellen (die Hornhaut, *Stratum corneum*) nicht durchdringen können und somit das tiefer liegende lebende Gewebe nicht erreichen. Die gesunde menschliche Haut ist also sehr gut gegen das Eindringen von Fremdstoffen geschützt, allerdings ist diese Schutzwirkung nicht immer so perfekt. Bei kranker (z.B. Neurodermitis, Ekzeme, Akne) oder verletzter Haut ist diese Barrierewirkung reduziert. Es ist deshalb nicht auszuschließen, dass in diesen Fällen TiO_2 -Nanopartikel in tiefere, lebende Hautschichten vordringen und evtl. sogar in den Blutkreislauf übertreten können. Auch durch Haarfollikel oder bei Spannung der Haut (etwa beim Abbiegen eines Gelenkes) können diese Teilchen in tiefer liegende Gewebeschichten vordringen. Hier fehlen noch weitere Studien zur Abklärung des Risikos. Nicht untersucht wurde bislang, wie sich TiO_2 -Nanopartikel auf der Haut von Kindern verhalten, die wesentlich dünner und empfindlicher ist, als jene von Erwachsenen. Weiters könnten Kinder auch TiO_2 -Nanopartikel durch versehentliches Verschlucken oder über die Schleimhäute (etwa der Augen) aufnehmen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass nach derzeitigem Wissensstand Sonnenschutzmittel mit TiO_2 -Nanopartikel als UV-Filter als gesundheitlich unbedenklich gelten und gegenüber Produkten mit chemischen Filtern gesundheitliche Vorteile haben, allerdings sind für eine umfassende Risikoabschätzung noch einige Fragen in weiteren Studien zu beantworten. Generell kann empfohlen werden, den Verbrauch an Sonnenschutzmitteln so gering wie möglich zu halten und andere Methoden zum Sonnenschutz (Vermeidung von langen Sonnenbädern und der Mittagssonne, Bekleidung, Kopfbedeckung, Aufenthalt im Schatten) vorrangig einzusetzen.

Aufgrund seiner photokatalytischen Aktivität und der dabei entstehenden freien Radikale ist Titandioxid auch toxisch für Bakterien und Wasser-Kleinstlebewesen (siehe dazu auch Kapitel 10.8). Da ein Eintrag von TiO₂-Nanopartikel aus Sonnenschutzmitteln in Badegewässer wahrscheinlich ist, sind möglicherweise umwelttoxikologische Effekte zu erwarten. Da bislang aber die tatsächlichen Eintragsmengen unbekannt sind und auch die Verfahren zum Nachweis von synthetischen Nanopartikeln erst in Entwicklung sind, können mögliche Umweltrisiken derzeit noch nicht abgeschätzt werden.

Literaturhinweise und Weblinks

Environmental Working Group (EWG). Skin Deep, Cosmetic Safety Database. Nanotechnology Summary. <http://www.cosmeticsdatabase.com/special/sunscreens/nanotech.php>

Greßler S., Gzásó A., Simkó M., Fiedeler U. & Nentwich M. (2009): Nanotechnologie in Kosmetika. NanoTrust Dossier Nr. 8, Jänner 2009. <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier008.pdf>

Simkó M., Gzásó A., Fiedeler U. & Nentwich M. (2009): Nanopartikel, Freie Radikale und Oxidativer Stress. NanoTrust Dossier Nr. 12, Jänner 2009. <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier012.pdf>

Nanomaterials, sunscreens and cosmetics: Small ingredients – Big risks. Friends of the Earth. Report, Mai 2006. <http://www.foeeurope.org/activities/nanotechnology/nanocosmetics.pdf>

10.12 Lebensmittel

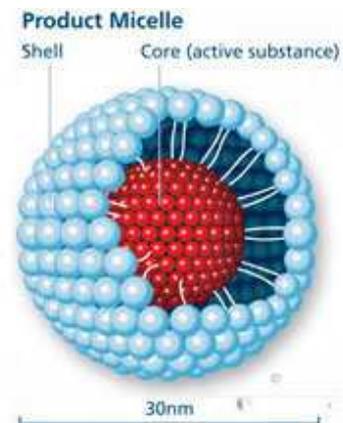
Nanotechnologie eröffnet für die Lebensmittelindustrie interessante Möglichkeiten zur Optimierung von Herstellungsverfahren und im Bereich verbesserte Funktionalitäten von Produkten. Allerdings lehnen KonsumentInnen mehrheitlich Nanomaterialien in Lebensmitteln ab, sodass die Industrie nur äußert wenig zu tatsächlichen Entwicklungen und Anwendungen kommuniziert. Dementsprechend gering ist der derzeitige Wissensstand. Viel ist jedoch über Forschungsaktivitäten bekannt und auch die Tatsache, dass bereits einige Unternehmen florieren, die nanostrukturierte Zusatzstoffe für die Lebensmittelindustrie herstellen, lässt die Vermutung zu, dass die Nanotechnologie insbesondere im Bereich der funktionalen Lebensmittel (das sind Lebensmittel, die noch einen „Zusatznutzen“ versprechen; also etwa mit Vitaminen oder Mineralstoffen angereichert sind) bereits Einzug in die Lebensmittelproduktion gefunden hat. Offen kommuniziert und beworben werden Nahrungsergänzungsmittel mit Nanopartikeln und Nanomaterialien (z.B. Mineralien oder Co-Enzym Q10). Bekannt ist auch die Verwendung von nanotechnologisch optimierten Verpackungsmaterialien für Lebensmittel.

10.12.1 Verkapselungs- oder Trägersysteme

Wirkstoffe und Substanzen können in nanostrukturierte Materialien eingeschlossen werden. Damit sollen

- die Löslichkeit verbessert werden (z.B. von Farbstoffen),
- eine kontrollierte Abgabe erst in bestimmten Teilen des Verdauungstraktes ermöglicht werden (z.B. um den schlechten Geschmack eines Inhaltsstoffes zu verhindern),
- die Bioverfügbarkeit, d.h. die vom Körper tatsächlich aufgenommene Menge eines Nahrungsbestandteils (z.B. Vitamine, Mineralien) erhöht werden,
- Mikronährstoffe und bioaktive Komponenten während der Herstellung, Lagerung und im Handel geschützt werden.

Die derzeit wichtigsten nanostrukturierten Materialien in der Lebensmittelindustrie für Verkapselungen sind die sogenannten **Mizellen**. Das sind kugelförmige Strukturen in Nanometergröße, die sich spontan bilden, wenn ein Lebensmittelemulgator (z.B. Polysorbate) in Wasser gelöst wird. Die Kugelform ergibt sich dadurch, dass die Moleküle dieser Substanzen aus wasserliebenden Komponenten bestehen, die der Wasserphase zugewendet werden und aus fettliebenden Anteilen, die sich gegeneinander (und somit nach Innen) ausrichten. Durch entsprechende Verfahren können im fettliebenden Inneren dieser kleinen Kugeln fettlösliche Lebensmittelzusatzstoffe, wie etwa Vitamine, Öle, aber auch Enzyme oder Konservierungsmittel eingeschlossen werden. In dieser verkapselten Form lassen sich nun z.B. an sich nicht oder schlecht wasserlösliche Komponenten in Wasser auflösen und somit auch wässrigen Lebensmitteln (wie z.B. Getränken) zusetzen. Solche Mizellen mit aktiven Inhaltsstoffen können auch Lebensmitteln zugesetzt werden, um etwa den schlechten Geschmack einer Substanz zu vermeiden. Ein australisches Unternehmen führte vor einigen Jahren etwa eine Brotsorte auf dem Markt ein, die mit Fischöl (Omega 3 Fettsäuren) angereichert war. Verpackt in Mizellen, die sich erst im Magen öffneten, nahmen die KonsumentInnen den Fischgeschmack nicht wahr. Allerdings war das Interesse an diesem Produkt eher verhalten, sodass dieses wieder vom Markt genommen wurde.



Quelle: <http://aquanova.de>

Beta-Carotin (Vitamin A) wird gerne Lebensmitteln und Getränken als Vitaminzusatz oder Farbstoff (orange) zugesetzt, es ist allerdings sehr schlecht wasserlöslich. Ein großes Chemieunternehmen hat deshalb einen Weg gefunden, diese Substanz in seiner Nanoform mit einer äußeren Hülle aus modifizierter Stärke zu umgeben und so eine gute Wasserlöslichkeit zu erreichen.

Vorteile/Chancen:

Als gesundheitlicher Vorteil von verkapselten aktiven Substanzen wird von den Herstellern die bessere Bioverfügbarkeit angegeben, d.h. in der Nanoform werden etwa Vitamine besser vom Körper aufgenommen. Vorteilhaft für die Umwelt sei laut Hersteller, dass durch die Verkapselung und die damit verbundenen Vorteile (z.B. bessere Löslichkeit und Haltbarkeit, höhere Bioverfügbarkeit) weniger der aktiven Substanzen eingesetzt und somit Ressourceneinsparungen möglich werden. Ökobilanzen fehlen jedoch, ebenso Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit.

Nachteile/Risiken:

Nachdem es sich bei den in der Lebensmittelindustrie verwendeten Verkapselungssystemen um lösliche und biologisch abbaubare Materialien (zugelassene Lebensmittelemulgatoren oder Stärke) handelt, sind keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch diese zu erwarten. Allerdings kann evtl. die erhöhte Bioverfügbarkeit von nano-verkapselten Vitaminen zu einer Überversorgung (Hypervitaminosen) führen, was negative gesundheitliche Auswirkungen haben kann. Diesem Aspekt ist insbesondere Beachtung zu schenken, da immer mehr Lebensmittel mit künstlichen Vitaminen angereichert werden. Bezüglich dieser Fragestellung besteht noch Forschungsbedarf. Umweltrisiken sind von nanostrukturierten Verkapselungssystemen nicht zu erwarten bzw. sind nicht bekannt.

10.12.2 Nanopartikuläre Zusatzstoffe

Als Rieselhilfe oder als Trennmittel (Salz, Soßen, Käse in Scheiben, Instantprodukte, etc.) wird pyrogene **Kieselsäure (SiO₂)** als zugelassener Lebensmittelzusatzstoff verwendet. Hergestellt wird diese seit Jahrzehnten mittels herkömmlicher chemischer Verfahren. Die Primärteilchen liegen in Nanometergröße vor, sie bilden allerdings im fertigen Produkt größere Agglomerate und Aggregate, sodass laut Aussagen der Lebensmittelindustrie die Kieselsäure bestenfalls ein nanostrukturiertes Material darstellt und jedenfalls kein Produkt moderner Nanotechnologie ist.

Vorteile/Chancen:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichtes bekannt.

Nachteile/Risiken:

Kieselsäure wird seit Jahrzehnten in der Lebensmittelindustrie eingesetzt und wurde eingehend toxikologisch untersucht. Bislang liegen keine Hinweise darauf vor, dass der Genuss von Lebensmitteln mit pyrogener Kieselsäure negative gesundheitliche Auswirkungen hätte.

10.12.3 Verpackungsmaterialien

Nanokomposite (Verbundmaterialien) mit Nanopartikeln (z.B. Silber, TiO₂, SiO₂, Nano-Ton) in Verpackungsmaterialien können laut Lebensmittelindustrie einen besseren Schutz der Lebensmittel gewährleisten, etwa indem sie die Durchlässigkeit von Folien verringern, desodorierend wirken, UV-Licht abblocken, die Hitzebeständigkeit und die Beständigkeit gegenüber mechanischer Belastung erhöhen, gegen Bakterien oder Pilze wirken. In Anwendung sind bereits speziell beschichtete Kunststoffflaschen (PET) für Getränke oder auch Verpackungsfolien. Für den Haushaltsbereich gibt es im Handel auch Plastikdosen mit Nanosilber zum Frischhalten von Lebensmitteln. In Entwicklung sind Sensoren auf Basis von Nanotechnologie, die in Zukunft auf Lebensmittelverpackungen aufgebracht werden können und etwa den Verderb eines Lebensmittels anzeigen.

Vorteile/Chancen:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichts bekannt.

Nachteile/Risiken:

Eine Gefährdung von Umwelt und Gesundheit durch Nanopartikel, die fest in eine Matrix (also z.B. in ein Nanokomposit aus einem Verpackungsmaterial) eingebunden sind, wird derzeit als unwahrscheinlich eingestuft. Allerdings gibt es Hinweise darauf, dass durch mechanische Beanspruchung, Alterung oder säurehaltige Lebensmittel Nanopartikel aus den Verpackungsmaterialien gelöst werden und in die Lebensmittel übergehen können. Ob dies theoretisch möglich ist, hängt stark von der Art des Verpackungsmaterials ab. Bei beschichteten Kunststoffflaschen kann dieses Risiko minimiert werden, indem die Nanokomposit-Beschichtung z.B. an der Außenseite der Flasche angebracht wird, oder indem diese „sandwichartig“ zwischen zwei Beschichtungen ohne Nanopartikel eingeschlossen wird. Hinsichtlich des ungeklärten toxikologischen Potenzials und des fragwürdigen Nutzens von Nanosilberpartikeln in Lebensmittelverpackungen ist eine Anwendung sehr kritisch zu sehen. Das Deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) empfiehlt jedenfalls auf Nanosilber in verbrauchsnahen Produkten zu verzichten, solange mögliche gesundheitliche Risiken nicht sicher ausgeschlossen werden können. Zum Migrationsverhalten von Nanopartikeln aus Verpackungen besteht noch Forschungsbedarf.

Literaturhinweise und Weblinks

Greßler S., Gzásó A., Simkó M., Nentwich M. & Fiedeler U. (2008): Nanopartikel und nanostrukturierter Materialien in der Lebensmittelindustrie. NanoTrust Dossier Nr. 4, Mai 2008.
<http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier004.pdf>

Aus dem Labor auf den Teller. Die Nutzung der Nanotechnologie im Lebensmittelsektor. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland.
http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/nanotechnologie/20080311_nanotechnologie_lebensmittel_studie.pdf

BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab. Stellungnahme Nr. 025/2010 des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR), 28.12.2009.
<http://www.bfr.bund.de/cd/50963>

10.13 Produkte für Babys und Kleinkinder

Am internationalen Markt erhältlich sind einige Produkte für Babys und Kleinkinder (Fläschchen, Schnuller, Kauringe, Spielzeug), die mit antibakteriellem Nanosilber ausgestattet sind. Da einige dieser Produkte evtl. auch für die Beschaffung der Gemeinde Wien von Interesse sind, seien diese, obwohl sie am heimischen Markt derzeit noch nicht erhältlich sind, erwähnt. Wie in anderen Kapiteln weiter oben ausgeführt (siehe dazu Kapitel 10.2.1, 10.4.2, 10.6.1, 10.7, 10.10.1, 10.10.2) wirkt Silber aufgrund der an der Oberfläche der Partikel bei Anwesenheit von Wasser entstehenden Silberionen (Oxidation) gegen ein breites Spektrum der verschiedensten Krankheitserreger (Bakterien, Pilze, Viren). Zur Vermeidung von Infektionskrankheiten (z.B. Darminfektionen) werden Gegenstände, mit denen Babys und Kleinkinder in Körperkontakt kommen, desinfiziert bzw. sterilisiert. Entweder erfolgt dies durch Hitze („Auskochen“ etwa von Schnullern, Fläschchen oder Kauringen) oder durch Desinfektionsmittel, von denen einige aber als bedenklich für Umwelt und Gesundheit gelten und viele Bakterienarten sind auch bereits schon resistent gegen diese Substanzen. Nanosilber, eingearbeitet in Kunststoffe oder aufgebracht als Beschichtung (z.B. für Spielzeug, wie etwa Bauklötze) soll eine dauerhafte Desinfektion ermöglichen und wird von den Herstellern als ungefährlich für Mensch und Umwelt beworben.



Quelle: www.nanosilver.it

Vorteile/Chancen:

Durch die Verwendung von Nanosilber könnten evtl. andere, umwelt- oder gesundheitsgefährdende Biozide ersetzt werden.

Nachteile/Risiken:

Wie in anderen Kapiteln weiter oben bereits ausgeführt, ist die Datenlage für eine Risikoabschätzung von Nanosilber derzeit noch nicht ausreichend. Bei einer breitflächigen, niedrig dosierten Anwendung in Verbrauchsgütern besteht die Gefahr der Entstehung von resistenten Krankheitserregern. Sollten Nanosilber oder Silberionen in die Umwelt gelangen, ist eine mögliche Gefährdung von Bakterien in Kläranlagen oder Bodenmikroorganismen nicht auszuschließen. Auch das humantoxikologische Profil von Nanosilber ist noch nicht ausreichend untersucht. Ungeklärt sind die Auswirkungen des Materials bzw. der daraus entstehenden Ionen, wenn Kinder ein nanosilberhaltiges Produkt z.B. in den Mund nehmen. Das Deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung empfiehlt Herstellern auf die Verwendung von Nanosilber in verbrauchernahen Produkten zu verzichten, bis die Datenlage eine abschließende Risikobewertung zulässt und die gesundheitliche Unbedenklichkeit von Produkten sichergestellt ist. Gerade bei Produkten für Babys und Kleinkinder ist besondere Vorsicht geboten.

Literaturhinweise und Weblinks

Fries, R., Greßler S., Simkó M., Gzásó A., Fiedeler U. & Nentwich M. (2009): Nanosilber. NanoTrust Dossiers, Nr. 10, April 2009. <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier010.pdf>

Greßler, S. & Fries R. (2010): Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit, Wien. <http://www.bmg.gv.at/cms/site/standard.html?channel=CH0983&doc=CMS1266311358101>

Nanosilber – Der Glanz täuscht (2009). Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. <http://www.bund.net/index.php?id=4433>.

BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab. Stellungnahme Nr. 025/2010 des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR), 28.12.2009. <http://www.bfr.bund.de/cd/50963>

10.14 Reinigungsmittel

Erhältlich sind eine Reihe von Produkten, die laut Herstellerangaben auf Nanotechnologie beruhen oder die mit dem Schlagwort „nano“ beworben werden. Im Vordergrund steht bei den meisten Produkten eine schmutz- und wasserabweisende Wirkung für verschiedenste Oberflächen (Glas, Holz, Fliesen, Stein, etc.). Zumeist fehlen aber genauere Angaben über die Inhaltsstoffe, daher können hier nur Annahmen getroffen werden. Sehr wahrscheinlich enthalten die meisten Produkte sogenannte Fluorsilane, also chemische Substanzen die eine Hydrophobisierung (Wasserabweisung) von Oberflächen bewirken und keine Nanopartikel. Der Begriff Nanotechnologie oder „nano“ bezieht sich dabei vermutlich auf eine nanometerdünne Schicht, die beim Auftragen dieser Mittel entsteht. Eine solche Schicht kann etwa Holzböden vor Nässe schützen oder das Festsetzen von Kalk oder Seifenresten auf Duschwänden vermindern. Erhältlich am internationalen Markt bzw. über Online-Shops im Internet sind auch Reinigungsmittel für Fußböden sowie Weichspüler für Wäsche mit antibakteriellem Nanosilber.

Vorteile/Chancen:

Möglicherweise vermindern Reinigungsmittel mit schmutz- und wasserabweisenden chemischen Substanzen den Reinigungsaufwand und können zu Einsparungen im Bereich Energie und Reinigungsmittel führen. Allerdings fehlen Ökobilanzen, um mögliche Umweltentlastungseffekte zu quantifizieren.

Nachteile/Risiken:

Reinigungsmittel mit schmutz- und wasserabweisenden Eigenschaften enthalten chemische Substanzen und zumeist keine Nanopartikel. Nanospezifische Umwelt- oder Gesundheitsgefährdungen sind also nicht zu erwarten. Produkte mit Nanosilber gelten jedoch derzeit als bedenklich für Umwelt und Gesundheit (siehe dazu auch Kapitel 10.2.1, 10.4.2, 10.6.1, 10.7, 10.10.1, 10.10.2, 10.13). Das Deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung rät von Produkten des täglichen Bedarfs mit Nanosilber ab.

Literaturhinweise und Weblinks

Greßler, S., Fiedler U., Simkó M., Gzásó A., Nentwich M. (2010): Selbsteinigende, schmutz- und waserabweisende Oberflächen auf Basis von Nanotechnologie. In Druck.

Fries, R., Greßler S., Simkó M., Gzásó A., Fiedeler U. & Nentwich M. (2009): Nanosilber. NanoTrust Dossiers, Nr. 10, April 2009. <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier010.pdf>

Greßler, S. & Fries R. (2010): Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit, Wien. <http://www.bmg.gv.at/cms/site/standard.html?channel=CH0983&doc=CMS1266311358101>

Nanosilber – Der Glanz täuscht (2009). Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. <http://www.bund.net/index.php?id=4433>.

BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab. Stellungnahme Nr. 025/2010 des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR), 28.12.2009. <http://www.bfr.bund.de/cd/50963>

10.15 Außenraumbegrünung

10.15.1 Bodenverbesserung

Ein Bodenhilfsstoff auf Basis eines hybriden Polymers aus Lavagesteinsmehl und kolloidalem (nanopartikulärem) Silikat wird seit einigen Jahren von einem deutschen Unternehmen hergestellt und vertrieben. Das Produkt steigert die Wasserhaltefähigkeit des Bodens laut Herstellerangaben um das 30-fache des Eigengewichtes und gibt das Wasser bei Bedarf wieder an die Umgebung bzw. direkt an die Pflanze ab. Der Prozess des Speicherns und Abgebens ist beliebig oft wiederholbar. Der Bodenhilfsstoff ist laut Herstellerangaben umweltverträglich, vollständig biologisch abbaubar und wirkt für einen Zeitraum von 3 bis 5 Jahren. Versuche in Nordafrika und dem Mittleren Osten haben laut Herstellerangaben gezeigt, dass dieses Produkt einen Beitrag zur Bekämpfung der Wüstenbildung leisten kann. 2007 errang dieser Bodenhilfsstoff den 3. Platz beim Umweltpreis der Stiftung Arbeit und Umwelt des Umweltministeriums Nordrhein-Westfalen.

Vorteile/Chancen:

Der Bodenhilfsstoff erhöht laut Herstellerangaben die Fähigkeit des Bodens zur Wasserspeicherung, daher könne Wasser effizienter eingesetzt und eingespart werden. Auf der Webseite des Unternehmens finden sich einige Praxisbeispiele und Erfahrungsberichte, etwa von Renn- oder Golfplatzbetreibern.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichtes bekannt.

Literaturhinweise und Weblinks

Nanotechnologie für den Katastrophenschutz und für die Entwicklungszusammenarbeit. Band 17 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landentwicklung. www.hessen-nanotech.de

Bodenhilfsstoff: www.geohumus.com

10.15.2 Pflanzenschutz

Ein österreichisches Chemieunternehmen vertreibt ein Produkt zum **Grünnadel-schutz** auf Basis eines Polyacrylats mit nanopartikulärem Titandioxid. Laut Herstellerangaben verhindert dieses Blatt- und Nadelschädigung durch Salze aus der Salzstreuung (Autobahn, Bundesstraßen ect.), ebenso wie die Schädigung von Pflanzen durch Verschmutzung, z.B. in der Nähe von Betonwerken oder Industrieanlagen. Das Produkt wird mit Wasser verdünnt und aufgesprüht; die Wirkung hält laut Hersteller ca. 6 Monate an.

Vorteile/Chancen:

Untersuchungen oder Erfahrungsberichte zur Effektivität dieses Produkt sind der Autorin des vorliegenden Berichtes nicht bekannt. Die angegebene Schutzwirkung vorausgesetzt, könnte das Produkt Ressourceneinsparungen ermöglichen, da weniger geschädigte Pflanzen im öffentlichen Bereich (z.B. Sträucher oder Alleebäume) durch Salzstreuung beeinträchtigt und deshalb ausgetauscht werden müssen.

Nachteile/Risiken:

Eine unabhängige Studie zur Risikobewertung dieses Produkts ist der Autorin des Berichts nicht bekannt. Auch die genaue Zusammensetzung wird vom Hersteller nicht angegeben. Vorausgesetzt, dass es sich dabei um eine offene Anwendung handelt, d.h. Nanopartikel von Titandioxid können in die Umwelt gelangen, wären unbedingt Untersuchungen zu möglichen Umweltrisiken notwendig. Titandioxid ist photokatalytisch aktiv, d.h. unter Anwesenheit von Wasser und UV-Strahlung entstehen Sauerstoffradikale, die nicht nur organische Substanzen (z.B. Schmutz) zersetzen können, sondern auch für Mikroorganismen toxisch sind (siehe dazu auch Kapitel 8, 10.8, 10.11). Insbesondere aquatische Organismen können dadurch geschädigt werden, sollte TiO_2 in Gewässer gelangen. Nachdem der Hersteller eine Wirkungsdauer von 6 Monaten für sein Produkt angibt, TiO_2 als Katalysator aber selbst nicht verbraucht wird und deshalb seine Wirkung nicht einbüßt, ist eine Auswaschung des Materials in den Boden wahrscheinlich. Im Sinne einer umfassenden Risikoabschätzung wären vor einer breiten Anwendung dieses Produkts unbedingt noch weitere Untersuchungen zu möglichen Umweltrisiken notwendig.

Zur Vorbeugung und Behandlung von Pflanzenkrankheiten im Innen- und Außenbereich vertreibt z.B. ein Schweizer Unternehmen ein sogenanntes **Pflanzenstärkungs- bzw. -pflegemittel** auf Basis von Nanosilber (kolloidales Silber) und bezieht sich dabei auf die bakterizide, algizide und fungizide Wirkung der Substanz. Neben der positiven Wirkung auf Pflanzen werden auch Anwendungen gegen Algen im Schwimmbad, gegen Fußpilz, Ekzeme, Schuppenflechte oder Nagelpilz angeführt. Eine direkte Wirkung des Produktes gegen Schadorganismen kann also vermutet werden, demnach wäre dieses Produkt allerdings als Pflanzenschutzmittel zuzulassen.

Vorteile/Chancen:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichtes.

Nachteile/Risiken:

Zu den potenziellen Umwelt- und Gesundheitsrisiken von Nanosilber siehe vorangegangene Kapitel (10.2.1, 10.4.2, 10.6.1, 10.7, 10.10.1, 10.10.2, 10.13). Aufgrund der derzeit unzureichenden Datenlage konnte auch die Nanokommission der Deutschen Bundesregierung keine Risikoabschätzung für ein Pflanzenstärkungsmittel mit Nanosilber vornehmen und das Deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung empfiehlt Herstellern generell auf die Verwendung von Nanosilber in Produkten des täglichen Bedarfs zu verzichten, bis die Datenlage eine abschließende Risikobewertung zulässt.

Literaturhinweise und Weblinks

Grünnadelschutz: www.fabachem.at/produkte-pflege.php?show=126&name=GR%DCNNADELSCHUTZ&verwendung=Blattschutz

Pflanzenstärkungsmittel mit Nanosilber:
www.nanosys.ch/medienberichte/wissenswertesnanoargentum10211105.pdf

Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2008.
http://www.bmu.de/gesundheits_und_umwelt/nanotechnologie/nanodialog/doc/42655.php

10.15.3 Wachstumsregler für Rasen

Verkapselungssysteme, wie sie etwa auch im Bereich der Lebensmittel, Kosmetika oder in der Medizin entwickelt und teilweise schon eingesetzt werden, eröffnen auch Möglichkeiten im Bereich der Landwirtschaft. Vermutlich beschäftigen sich einige größere Pharmaunternehmen mit Entwicklungen zur Verkapselung von Düngemitteln oder Herbiziden, allerdings sind kaum konkrete Anwendungen bekannt. Nach Angaben auf der Webseite www.nanoproducts.de, auf der Hersteller und Händler ihre Produkte auf Basis von Nanotechnologie selbst vorstellen, vertreibt ein großes Unternehmen ein Produkt zur Wachstumsregelung für Rasen mittels mikroverkapseltem Wirkstoff. Die Kapselgröße beträgt dabei rund 100 nm. In diesen Kapseln werden Herbizide eingeschlossen, welche den Rasen langsamer und dadurch kräftiger wachsen lassen. Der Vorteil der Mikroverkapselung liegt insbesondere an der ver-

besserten Wasserlöslichkeit der Inhaltsstoffe, wodurch die Emulsionen länger stabil bleiben und sich die Bestandteile in den Behältern nicht separieren und absetzen.

Vorteile/Chancen:

Laut Herstellerangaben führt die Verwendung des Produkts zu einer Verminderung des Wasserverbrauchs bei der Bewässerung des Rasens um 25%. Weiters führt die Verlängerung der Mähintervalle zu einer weniger starken Abnutzung der Geräte, so dass diese länger halten.

Nachteile/Risiken:

Es sind keine Risiken, die speziell auf die Darreichungsform (Mikroverkapselung) zurückzuführen sind, bekannt. Umweltorganisationen wie die amerikanische ETC-Group sehen jedoch eine Reihe von offenen Fragen, die noch beantwortet werden müssen. Sie befürchten etwa eine höhere biologische Aktivität der verkapselten Wirkstoffe und dadurch möglicherweise Schädigungen an Bodenorganismen oder Insekten oder eine höhere Toxizität durch die Anwendung im Nanomaßstab.

Literaturhinweise und Weblinks

www.nanoproducts.de/index.php?mp=products&file=info&products_id=261&OOSID=0464c854983b441bdc1708c80f33068d

www2.syngenta.com/de/products_brands/turf_page.html

Down on the Farm. The Impact of Nano-scale Technologies on Food and Agriculture. etc group. November 2004. www.etcgroup.org/en/node/80

10.16 Wasserreinigung und –aufbereitung

Um unerwünschte Stoffe aus Wasser (oder auch Luft) entfernen zu können, gibt es bereits **Filter** mit genau einstellbarer Porengröße, die durch den Einbau von Metalloxiden auch katalytisch wirken können. Dabei kommen nanoporige Zeolithe (Silikatminerale) ebenso zum Einsatz wie Polymermembrane mit Nanopartikeln oder Nanoporen. Mithilfe solcher Filter können Abwässer, Labor- und Trinkwasser von Viren, Bakterien, Pigmenten oder Kleinstpartikeln gereinigt werden.

Nanopartikel und nanostrukturierte Oberflächen können auch zur Rückhaltung von Schadstoffen durch **Adsorption, Absorption und Immobilisierung** in der Wasserreinigung genutzt werden. Grundlage dafür bilden Trägermaterialien z.B. aus Kohlenstoff oder Zeolithen. Besonders Kohlenstoff-Nanoröhren (CNTs) haben eine hohe Sorptionsenergie (3x höher als Aktivkohle). Allerdings sind derartige Anwendung im großen Maßstab derzeit noch aufgrund der geringen Verfügbarkeit und der hohen Kosten beschränkt.

Auch die **katalytischen Eigenschaften von Nanopartikeln** können zur Abwasserreinigung eingesetzt werden. So etwa können chlorierte organische Verbindungen (z.B. Trichlorethylen) im Grundwasser durch direkte Injektion von nanoskaligen Eisenpartikeln in den Untergrund abgebaut werden. In Köln wurde diese Methode etwa schon erfolgreich zur Grundwasserreinigung eingesetzt. Die Eisen-Nanopartikeln

bleiben nach der Behandlung im Boden und verwandeln sich im Laufe der Zeit zu mineralischen Eisensedimenten, die auch natürlich im Untergrund vorkommen.

Vorteile/Chancen:

Nanotechnologie eröffnet nach Herstellerangaben die Möglichkeit für die Filtration maßgeschneiderte und wesentlich effizientere Membranen herzustellen. Insbesondere im Bereich der Trinkwasseraufbereitung erscheinen diese neuen Filtertechnologien als geeignete Alternative zu chemischer Wasserreinigung bzw. –desinfektion. Im Bereich der Umwelttechnologie bieten neue Entwicklungen die Möglichkeit zur effizienten Reinigung von Abwasser und von mit organischen Chemikalien belastetem Grundwasser.

Nachteile/Risiken:

Keine im Sinne des vorliegenden Berichtes bekannt.

Literaturhinweise und Weblinks

Einsatz von Nanotechnologie in der hessischen Umwelttechnologie. Band 1 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Umwelttech und Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landentwicklung. www.hessen-nanotech.de

Nanotechnologie für den Katastrophenschutz und für die Entwicklungszusammenarbeit. Band 17 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landentwicklung. www.hessen-nanotech.de

Nanofilter: www.hollingsworth-vose.com/products/nanoweb/index.html

11 Anhang

ÜBERSICHTSTABELLE ANWENDUNGSBEREICHE – VORTEILE/CHANCEN UND NACHTEILE/RISIKEN

Anwendungsbereich	Teilbereich	Nanomaterial	LCA ¹	Vorteile/Chancen ²	Nachteile/Risiken ³	Verfügbarkeit
Beleuchtung	LED	nanoskalige Beschichtung	✓	Energieeinsparung	keine nanospezifischen, aber toxische Inhaltsstoffe	Ö
	OLED	nanoskalige Beschichtung		Energieeinsparung	k.A. da noch in Entwicklung	E
Desinfektionsmittel	Nanosilber	Nanosilber		Ersatz anderer gefährlicher Biozide	toxisch f. aquatische Organismen; Gefahr der Resistenzbildung	I
	Beschichtung auf Basis chem. Nanotechnologie	nanoskalige Sol-Gel-Beschichtung		Einsparung von Bioziden, da Depotwirkung	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
Druck und Papier	Toner und Druckertinte	Carbon-Black, SiO ₂		keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	problematischer Abfall, aber keine nanospezifische Problematik	Ö
	Papier	Polymer-Nanopartikel		keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
Büro- und Haushaltsgeräte	Beschichtung von Metalloberflächen als Korrosionsschutz (Bsp. Waschmaschinen)	nanokeramische Beschichtung		Energieeinsparung; Reduktion Wasserbedarf; weniger problematische Abwässer; keine toxischen Schwermetalle	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
	Waschmaschinen, Kühlschränke, PC-Tastaturen, PC-Mäuse, Handys	Nanosilber-Beschichtung		im Haushaltsbereich Energieeinsparung durch Senkung der Waschtemperatur	toxische Silberionen werden freigesetzt; evtl. Risiko f. Bakterien in Kläranlagen u. Bodenmikroorganismen; Resistenzbildung	Ö

Anwendungsbereich	Teilbereich	Nanomaterial	LCA ¹	Vorteile/Chancen ²	Nachteile/Risiken ³	Verfügbarkeit
Automobil	Nano-Lack	SiO ₂	✓	Energieeinsparung; Ersatz anderer problematischer Chemikalien	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
	Kratzfeste Kunststoff-scheiben	Aluminiumoxid		Treibstoffeinsparung durch Gewichtsreduktion	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	E
	Schmutz und Wasser abweisende Beschichtungen	nanoskalige Beschichtung; TiO ₂		Einsparungen bei Energie, Wasser und Reinigungsmitteln durch vermindertem Reinigungsaufwand	bei dauerhaften Beschichtungen nicht zu erwarten; mögliche Risiken von Produkten in flüssiger Form o. als Spray zur nachträglichen Behandlung sind nicht bekannt;	Ö
	Nanostahl	Carbonnitride		Treibstoffreduktion durch Leichtbauweise	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	E
	Verkleben und Lösen von Bauteilen	Eisenoxide		Energieeinsparung durch Temperaturverringerung; Erleichterung der Reparatur u. des Recyclings	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
	Innenraum-Luftfilter	Nanofasern		evtl. gesundheitliche Vorteile durch verbesserte Filterleistung	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
	Autoreifen	Carbon-Black, SiO ₂		verlängerte Lebensdauer der Reifen; verringerter Treibstoffverbrauch durch weniger Reibungswiderstand	Abrieb hat Anteil an der Feinstaubproblematik, aber keine Wahlmöglichkeit für EndverbraucherInnen	Ö
	Superkondensatoren	hochporöse Schichtelektroden mit Nanostruktur		verbesserte Speicherkapazität von elektr. Energie	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	E
	Lithium-Ionen-Batterien	nanoskalige Pulver verschiedener Metalloxide	✓	verbesserte Speicherkapazität; Einsatz in Elektro- und Hybridfahrzeugen, dadurch weniger Treibstoffverbrauch u. Abgasausstoß;	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
Brennstoffzellen	Platin		umweltfreundliche Alternative zur Energiegewinnung	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	E	

Anwendungsbereich	Teilbereich	Nanomaterial	LCA ¹	Vorteile/Chancen ²	Nachteile/Risiken ³	Verfügbarkeit
Automobil (Fortsetzung)	Solarenergie - „Grätzel-Zelle“	TiO ₂		umweltfreundliche Alternative zur Energiegewinnung	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	E
	Beschichtung v. mechanischen Bauteilen	Eisencarbid, Eisenborid		Verringerung von Verschleiß und Treibstoffverbrauch durch Verminderung der Reibung	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
	Abgaskatalysatoren	nanoskalige Oxide		Abgasreinigung	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
	Zusatz zu Dieseltreibstoff	Ceriumoxid		Verringerter Treibstoffverbrauch; geringere Treibhausgas- und Rußemissionen	Datenlage für eine Risikoabschätzung dzt. zu gering, aber möglicherweise negative gesundheitliche Effekte (Entzündungsreaktionen der Lunge) bei Langzeitexposition; Umweltauswirkungen nicht untersucht	Ö
Klimageräte, Luftbefeuchter, Innenraum-Luftreinigung	Klimageräte und Luftbefeuchter mit Nanosilber	Nanosilber		Ersatz anderer problematischer Biozide möglich	toxisches Nanosilber bzw. Silberionen werden über das Abwasser möglicherweise in die Umwelt eingebracht; Gefahr der Resistenzbildung	Ö
	Luftreiniger	TiO ₂		Energieeinsparung beim Heizen oder Kühlen durch weniger Lüften von geschlossenen Innenräumen	möglicherweise Risiko durch toxische Nebenprodukte beim Abbau von Luftschadstoffen; Langzeituntersuchungen unter realistischen Bedingungen fehlen	I
Textilien		Gewebe und Fasern mit oder ohne integrierte Nanopartikel; nanoskalige Beschichtungen; Nanosilber		Einsparungen bei Energie, Wasser und Reinigungsmittel durch schmutzabweisende Bekleidung möglich;	Nanosilber kann beim Waschen aus Textilien freigesetzt werden und in das Abwasser gelangen; Risiko f. Bakterien in Kläranlagen und Bodenmikroorganismen	Ö

Anwendungsbereich	Teilbereich	Nanomaterial	LCA ¹	Vorteile/Chancen ²	Nachteile/Risiken ³	Verfügbarkeit
Farben und Lacke		TiO ₂ , SiO ₂ , Carbon-Black, ZnO, Nanosilber		Einsparungen bei Energie, Wasser und Reinigungsmitteln durch schmutzabweisende Oberflächen möglich; Ersatz von problematischen Bioziden durch Nanosilber; Einsparung von Energie durch photokatalytisch aktive Innenraumfarben zum Abbau von Luftschadstoffen möglich	TiO ₂ -Nanopartikel können aus Fassadenfarben ausgewaschen und in den Boden gelangen – möglicherweise Risiko für Mikroorganismen; Nanosilber ist toxisch f. aquatische und Bodenmikroorganismen, sollte es in die Umwelt gelangen, außerdem Gefahr der Resistenzbildung	Ö
Baumaterialien	Selbstreinigende Oberflächen; Luftreinigung durch Photokatalyse	TiO ₂		Einsparung von Energie, Wasser und Reinigungsmitteln möglich	zu möglicherweise schädlichen Neben- und Zwischenprodukten bei der Photokatalyse besteht noch Forschungsbedarf	Ö
	„Easy-to-Clean“-Oberflächen	nanoskalige Beschichtung		Einsparung von Energie, Wasser und Reinigungsmitteln möglich	gesundheitliches Risiko bei Produkten zur nachträglichen Behandlung von Oberflächen in Sprayform	Ö
	Wärmedämmung, Temperaturregelung	nanoporöse Materialien; Paraffin		Energieeinsparungen	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
	Brandschutz	SiO ₂ , Nano-Ton		halogenfrei; Ersatz für andere umweltproblematische Materialien	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
	Anti-Graffiti	nanoskalige Beschichtung		Einsparung von Energie, Wasser und Reinigungsmitteln möglich	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
	Antireflex-Beschichtung von Solarglas	SiO ₂		höhere Energieausbeute von Solarkollektoren	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
	Anti-Fingerprint-Beschichtung	SiO ₂		keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
	Zementgebundene Baustoffe	SiO ₂		Ersatz von problematischen Chemikalien; verringertes Gewicht, daher Energieeinsparungen möglich	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö

Anwendungsbereich	Teilbereich	Nanomaterial	LCA ¹	Vorteile/Chancen ²	Nachteile/Risiken ³	Verfügbarkeit
Innenausstattung	Beschichtungen für Möbel	SiO ₂ , Nanosilber		Erhöhung der Lebensdauer durch Hartschichten; Reduktion anderer problematischer Desinfektionsmittel	Umweltrisiko von Nanosilber, falls freigesetzt und Möglichkeit der Resistenzbildung	Ö
	Sanitärkeramiken – Schmutz abweisend; antibakteriell	nanoskalige „Easy-to-Clean“ Beschichtungen; Nanosilber		Einsparungen bei Energie, Wasser und Reinigungsmitteln durch schmutzabweisende Eigenschaften	Umweltrisiko von Nanosilber, falls freigesetzt und Möglichkeit der Resistenzbildung	Ö
	Keramikfolien als Fliesentapete	keramische Nanopartikel		Einsparungen bei Energie, Wasser und Reinigungsmitteln durch schmutzabweisende Eigenschaften	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	E
Sonnenschutzmittel		TiO ₂		Ersatz von gesundheitlich bedenklichen organischen UV-Filtern	Studien, ob TiO ₂ -Nanopartikel kranke oder verletzte Haut durchdringen können, fehlen noch; Sauerstoffradikale, die durch die photokatalytische Aktivität von TiO ₂ entstehen sind toxisch für aquatische Organismen	Ö
Lebensmittel	Verkapselungssysteme	„Nano-Kapseln“ aus Emulgatoren oder Stärke		die höhere Bioverfügbarkeit von verkapselten Vitaminen ist möglicherweise ein gesundheitlicher Vorteil; Ressourceneinsparungen durch Nanoform; bessere Haltbarkeit von Produkten	höhere Bioverfügbarkeit kann zu einer Überversorgung mit Vitaminen führen	Ö
	Zusatzstoffe	SiO ₂		keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
	Verpackungsmaterialien	Nanosilber, TiO ₂ , SiO ₂ , Nano-Ton		keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Risiko einer Migration von Nanopartikeln aus der Verpackung in die Lebensmittel muss noch genauer untersucht werden	Ö

Anwendungsbereich	Teilbereich	Nanomaterial	LCA ¹	Vorteile/Chancen ²	Nachteile/Risiken ³	Verfügbarkeit
Produkte f. Babys und Kleinkinder	Fläschchen, Schnuller, Kauringe, Spielzeug	Nanosilber		evtl. Ersatz anderer problematischer Biozide	Durch eine Freisetzung von Nanosilber bzw. von Silberionen werden möglicherweise Bakterien in Kläranlagen sowie Bodenmikroorganismen geschädigt; mögliche gesundheitliche Auswirkungen von körpernahen Anwendungen sind noch nicht ausreichend geklärt; für eine Abschätzung des Risikopotenzials, auch für den Menschen, ist die Datenlage noch unzureichend	I
Reinigungsmittel		nanoskalige Beschichtungen; Nanosilber		Einsparungen bei Energie, Wasser und Reinigungsmittel durch schmutzabweisende Eigenschaften möglich	zu den möglichen Risiken von Nanosilber siehe weiter oben	Ö
Außenraumbegrünung	Bodenverbesserung	Silikat		Wassereinsparungen	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö
	Pflanzenschutz	TiO ₂		evtl. Ressourceneinsparungen	Die bei der Photokatalyse von TiO ₂ entstehenden freien Sauerstoffradikale sind toxisch für Mikroorganismen; möglicherweise besteht ein Umweltrisiko, wenn TiO ₂ in die Umwelt freigesetzt wird	Ö

Anwendungsbereich	Teilbereich	Nanomaterial	LCA ¹	Vorteile/Chancen ²	Nachteile/Risiken ³	Verfügbarkeit ⁴
Außenraumbegrünung (Fortsetzung)	Pflanzenstärkungsmittel	Nanosilber		keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	zu den möglichen Risiken von Nanosilber siehe weiter oben	Ö
	Wachstumsregler für Rasen	nanoverkapselte Herbizide		Wassereinsparungen; Verringerung der Mähintervalle – Verminderung der Abnutzung von Geräten	möglicherweise erhöhte biologische Aktivität der verkapselten Wirkstoffe und dadurch Schädigungen an Bodenorganismen oder Insekten; allerdings liegen derzeit keine Studien dazu vor	Ö
Wasserreinigung und -aufbereitung	Filter, Katalyse	nanoporöse Materialien; CNTs; Eisenoxid		mögliche Alternative zu chemischer Wasserreinigung und Desinfektion; Grundwassersanierung	keine i.S. des vorliegenden Berichts bekannt	Ö

¹ LCA= Lebenszyklus-Analyse oder Ökobilanz; ein Häkchen in dieser Spalte bedeutet, dass für die betreffende Anwendung eine LCA vorliegt.

² im Sinne des vorliegenden Berichts mögliche Vorteile für Umwelt und/oder Gesundheit; sofern keine LCA für diese Anwendung vorliegt, beruhen die hier gemachten Angaben auf nicht validierten Herstellerangaben.

³ im Sinne des vorliegenden Berichts mögliche Nachteile/Risiken für Umwelt und/oder Gesundheit.

⁴ Ö = in Österreich erhältlich (im Groß- oder Einzelhandel bzw. über Online-Shops), I = am internationalen Markt erhältlich, bislang jedoch noch nicht in Österreich, E = in Entwicklung