

# **Nano-Silber – der Glanz täuscht**

**Immer mehr Konsumprodukte  
trotz Risiken für Umwelt und Gesundheit**



Bund für  
Umwelt und  
Naturschutz  
Deutschland



FREUNDE DER ERDE

# Inhalt

|           |                                              |           |
|-----------|----------------------------------------------|-----------|
|           | <b>Vorwort</b>                               | <b>3</b>  |
|           | <b>Zusammenfassung</b>                       | <b>4</b>  |
| <b>1.</b> | <b>Was ist Nanosilber?</b>                   | <b>5</b>  |
| 1.1       | Nano: unsichtbar klein                       | 5         |
| 1.2       | Silber ist nicht gleich Silber               | 5         |
| 1.2.1     | Metallisches Silber, Ionen und Salze         | 5         |
| 1.2.2     | Lösung und Dispersion                        | 6         |
| 1.3       | Die keimtötende Wirkung des Silbers          | 7         |
| <b>2.</b> | <b>Anwendungen</b>                           | <b>8</b>  |
| 2.1       | Nanosilber: (fast) unbegrenzte Möglichkeiten | 8         |
| 2.2       | Nanosilber überall: Fallbeispiele            | 10        |
| 2.3       | Die Perspektiven der Hersteller              | 14        |
| <b>3.</b> | <b>Auswirkungen auf die Umwelt</b>           | <b>15</b> |
| 3.1       | Freisetzung von Silber                       | 15        |
| 3.2       | Verteilung des Silbers in der Umwelt         | 15        |
| 3.3       | Umwelttoxizität                              | 16        |
| <b>4.</b> | <b>Auswirkungen auf die Gesundheit</b>       | <b>18</b> |
| 4.1       | Aufnahme und Verteilung im Körper            | 18        |
| 4.2       | Hinweise auf schädliche Wirkungen            | 18        |
| 4.3       | Bildung von Resistenzen                      | 19        |
| <b>5.</b> | <b>Kleine Teilchen außer Kontrolle</b>       | <b>20</b> |
| 5.1       | Gesetzgebung in der Europäischen Union       | 20        |
| 5.2       | Gesetzgebung in anderen Teilen der Welt      | 22        |
| <b>6.</b> | <b>Schlussfolgerungen</b>                    | <b>24</b> |
| 6.1       | Bewertung                                    | 24        |
| 6.2       | Angst vor Bakterien                          | 24        |
| 6.3       | Konsequenzen                                 | 25        |
| 6.3.1     | Forschungsbedarf                             | 25        |
| 6.3.2     | Forderungen an die Bundesregierung           | 26        |
| 6.3.3     | Erwartungen an Hersteller und Handel         | 27        |
| 6.4       | Empfehlungen für VerbraucherInnen            | 27        |
| <b>7.</b> | <b>Literatur und Fundstellen</b>             | <b>28</b> |

# Vorwort

Nanosilber wird heute mit oder ohne Wissen der VerbraucherInnen in vielen Produkten eingesetzt. Die Zahl der Anwendungen ist höher als die irgendeines anderen Nanomaterials und nimmt mit wachsender Geschwindigkeit zu. Deutlich über 300 Produkte sind international auf dem Markt, die meisten davon auch in Deutschland erhältlich. Während die BefürworterInnen der Nanotechnologie argumentieren, dass es sich um eine Schlüsseltechnologie für die Zukunftsfähigkeit unserer Wirtschaft handelt, wächst gleichzeitig die Sorge der Menschen, dass mit der Einführung dieser Technologie ungeklärte und ernst zu nehmende Risiken für die Umwelt und die Gesundheit verbunden sind.

Wie für alle Nanopartikel gilt auch für Nanosilber: Die Abmessungen der Teilchen sind extrem klein, mehr als 1000-fach kleiner als der Durchmesser eines menschlichen Haares. Neben einer enormen Oberflächenvergrößerung sind damit völlig neue Eigenschaften verbunden. Die Partikel sind chemisch und biologisch wesentlich reaktiver und deutlich mobiler, auch innerhalb des menschlichen Organismus. Nanosilber nimmt zudem unter den Nanopartikeln eine besondere Rolle ein, da es neben den typischen Eigenschaften eines Nanomaterials zusätzlich die keimtötende (biozide) Wirkung des Silbers besitzt, diese allerdings in gesteigertem Maß. Fast alle Anwendungen von Nanosilber verfolgen das Ziel, Produkten oder Oberflächen keimtötende Wirkungen zu verleihen. Eine den Körpergeruch hemmende Ausrüstung von Socken und Unterwäsche oder „antibakterielle“ Computertastaturen sind Beispiele dafür, dass hier eine neue Technologie mit einer weitverbreitet geschürten Angst vor Bakterien zusammenkommt. Nano-Euphorie und Sauberkeitswahn sollen gemeinsam den Markterfolg sichern.

Zum Teil werden Produkte explizit mit dem angeblich fortschrittlich klingenden Begriff „Nanosilber“ beworben, gleichzeitig gibt es zahlreiche Produkte, die die VerbraucherInnen in Unkenntnis lassen, ob etwa die antibakterielle Oberfläche durch Nanopartikel erzeugt wird. Denn Hersteller befürchten durchaus auch negative Reaktionen von VerbraucherInnen, die der Nanotechnologie immer skeptischer gegenüberstehen. Diese Situation lässt den KonsumentInnen keine Chance, sich tatsächlich selber für oder gegen die Auswahl eines Nanosilber enthaltenden Konsumartikels entscheiden zu können.

Die vorliegende Studie des BUND macht – neben der Auflistung der umfangreichen heute bereits erhältlichen Produktpalette – deutlich, dass eine große Zahl von Risiken bei der Anwendung von Nanosilber anzunehmen ist. Die Risiken sind einerseits durch die erhöhte Bioverfügbarkeit und die weite Verteilung der Nanopartikel im Organismus gegeben, andererseits durch die steigenden Einträge des Breitband-Antibiotikums Silber in die Umwelt begründet. Die in der wissenschaftlichen Literatur vorliegenden Ergebnisse sind zahlreich und aussagekräftig genug, um ernstzunehmende Hinweise auf gesundheitliche und ökologische Gefahren zu geben. Solange diese Hinweise nicht widerlegt sind, darf es nicht zulässig sein, Nanosilber in fast allen Lebensbereichen in ständig wachsendem Umfang einzusetzen. Der BUND möchte mit dieser Studie eine kritische Diskussion in der Öffentlichkeit anstoßen und die politischen EntscheidungsträgerInnen dazu bewegen, eine Vermarktung dieser Produkte solange zu unterbinden, wie Risiken aus deren Verwendung nicht weitestgehend ausgeschlossen werden können.



**Prof. Dr. Wilfried Kühling**

*Vorsitzender des Wissenschaftlichen  
Beirats des BUND*

# Zusammenfassung

Vom Aknemittel bis zur Zahnbürste, vom künstlichen Hüftgelenk bis zur Wandfarbe: Die **wichtigsten Einsatzbereiche** von Nanosilber im Verbraucherbereich hängen mit der keimtötenden Wirkung des Silbers zusammen. Nanosilber-Produkte sind mit zunehmender Tendenz bereits heute in zahlreichen Anwendungen anzutreffen. Dazu gehören:

- Lebensmittelverpackungen (-boxen, Frischhaltebeutel),
- Medizinprodukte und Medizingerätetechnik, Wundbehandlung und Pflege (Desinfektion und Schutz vor Keimen),
- Haushalts- und Bürogeräte (Waschmaschinen, Luft- und Wasserfilter, Computertastaturen),
- Anstriche, Lacke und Wandfarben (Verhinderung von Algen- und Pilzbefall),
- Ausstattungen in öffentlich genutzten Bereichen (Rolltreppen, Einkaufswagen, öffentlicher Nahverkehr),
- Textilien mit antibakteriellen und geruchshemmenden Eigenschaften für Sport- und Freizeitaktivitäten und
- Kosmetika.

Die **biozide Wirkung** des Silbers ist seit langem bekannt. Sie beruht darauf, dass an der Oberfläche von metallischem Silber Ionen gebildet werden, die keimtötende Eigenschaften besitzen. Die neue Qualität des Nanosilbers liegt nicht in einer prinzipiell anderen Wirkweise. Sie ist durch zwei Eigenschaften gegeben, die in der Nanoform begründet sind:

1. Das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen von Nanosilber ist im Vergleich zu Silber in Form größerer Partikel sehr viel höher. Durch die große Oberfläche wird die Bildung von biozid wirkenden Silberionen stark begünstigt.
2. Die Mobilität des Nanosilbers ist wesentlich höher als die anderer Silberformen. Nanosilber kann Zellmembranen durchdringen und – im Gegensatz zu grobpartikulärem Silber und zu Silberionen – nach Aufnahme in den Körper in praktisch alle Organe transportiert werden. Die Bioverfügbarkeit von Nanosilber ist somit deutlich höher. Die damit verbundenen Gefährdungen können eine völlig neue Dimension erreichen. Sie sind aber bisher kaum untersucht und bewertet worden.

Die wenigen vorliegenden Untersuchungen zu den **umweltschädigenden Eigenschaften** des Nanosilbers sind alarmierend: Vor allem für die Jungstadien (Eier, Embryonen, Larven) von Tieren scheint Nanosilber sehr toxisch zu sein. Silber kann sich in

der Nahrungskette stark anreichern und Silberionen haben stark wassergefährdende Eigenschaften: Ob Silbereinträge in das Abwasser zu einer Schädigung der Klärbiologie führen, ist offen. Wahrscheinlicher ist eine Belastung des Klärschlammes, der dadurch nicht mehr als Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt werden könnte. Eine neue Bewertung der Umweltauswirkungen ist dringend notwendig, da durch die Vielzahl neuer Anwendungen auch die insgesamt in die Umwelt eingebrachte Menge von Silber größer wird.

Der weitgehend unreglementierte und massenhafte Einsatz von Nanosilber ohne hinreichende Risikobewertungen ist auch im Hinblick auf **gesundheitliche Auswirkungen** nicht verantwortbar. Nanosilber verhält sich im Körper des Menschen völlig anders als grobpartikuläres Silber. Es gibt zahlreiche Hinweise darauf, dass ernsthafte gesundheitliche Konsequenzen, wie zum Beispiel Lungen- und Leberschäden, mit der Aufnahme von Nanosilber verbunden sein können. Es zeigt in Zellkulturen mit Lungen-, Leber- und Nervenzellen toxische Wirkungen. Insbesondere kann der wenig sinnvolle Einsatz von Nanosilber in verbrauchernahen Produkten zu Resistenzen führen, welche die sinnvollen Einsatzmöglichkeiten im medizinischen Bereich langfristig beeinträchtigen können.

Obwohl die gesundheitlichen und ökologischen Wirkungen weitgehend ungeklärt sind, drängen die Hersteller massenhaft auf den Markt. Das ist möglich, weil es für den Einsatz von Nanosilber in der Mehrzahl der Anwendungsbereiche **keine für die Nanoform spezifischen rechtlichen Regelungen** gibt.

Die vorliegende Studie gibt einen Überblick über vorhandene Anwendungen, vorliegende Ergebnisse zur Umwelt- und Gesundheitsrelevanz und zeigt die Lücken im Rechtsrahmen, die dringenden Handlungsbedarf begründen.

Der BUND fordert von der Bundesregierung, dafür Sorge zu tragen, dass bestehende Gesetze, wie etwa die europäische Chemikalienverordnung REACH und die EU-Biozidrichtlinie, so überarbeitet werden, dass Nanosilber als eigener Stoff bewertet und reguliert wird. Solange keine ausreichenden Daten zu gesundheitlichen und ökologischen Risiken vorliegen, muss ein Vermarktungsstopp für verbrauchernahe Anwendungen gelten.

# 1. Was ist Nanosilber?

## 1.1 Nano: unsichtbar klein

Die Eigenschaften von Silber hängen stark von seiner chemischen Form und von der Größe der einzelnen Partikel ab. Die Bezeichnung „Nano“ (griech. „Zwerg“) beschreibt allein die Größe der vorliegenden Partikel: Unabhängig von deren chemischer Beschaffenheit werden zumeist Teilchen mit der Größe von 1 bis 100 Nanometer (nm), häufig auch im Größenbereich bis zu 300 nm, als Nanopartikel bezeichnet. Ein Nanometer ist ein Millionstel Millimeter. Zum Vergleich: Ein DNS-Strang ist 2,5 nm breit, ein Proteinmolekül 5 nm, ein rotes Blutkörperchen 7.000 nm und ein menschliches Haar 80.000 nm breit. Ein Silbernanopartikel mit einer Größe von 9 nm enthält etwa 24.000 Silberatome.<sup>1</sup> Mit einem optischen Mikroskop sind diese Partikel nicht mehr wahrnehmbar, sichtbar werden sie erst im Elektronenmikroskop.

Bei dieser geringen Größe weisen Teilchen eine enorm große Oberfläche in Relation zu ihrem Volumen auf. Die geringe Größe und relativ hohe Oberfläche führt bei Silber, wie bei anderen chemischen Stoffen auch, zu völlig neuen Eigenschaften: Silber wird deutlich reaktionsfreudiger. In Organismen und in der Umwelt wird es mobiler und besser bioverfügbar. Selbst die Farbe kann sich auf Grund der geringen Partikelgröße ändern, zum Beispiel erscheinen Goldpartikel im Größenbereich von wenigen Nanometern in Wasser rot.

Eine Definition für Nanomaterialien, die als obere Grenze für die Partikelgröße 100 nm ansetzt, ist aus Sicht des BUND zu eng gefasst: Auch bei Partikeln bis zu einigen hundert Nanometern können schon größenspezifische Effekte, wie erhöhte Reaktivität, beobachtet werden. Auch eine veränderte Bioaktivität und Bioverfügbarkeit sowie einen erhöhten Einfluss von Oberflächeneffekten und -adhäsionen (Fähigkeit zum Anhaften) wurden nachgewiesen.<sup>2</sup> Daher sollten Partikel mindestens bis zu einer Größe von 300 nm im Rahmen der Bewertung der Gesundheits- und Umweltrisiken als Nanopartikel behandelt werden. Wenn in dieser Studie von Nanopartikeln gesprochen wird, so bezieht sich dies auf Teilchen mit einer maximalen Ausdehnung von 300 nm in mindestens einer Dimension.

## 1.2. Silber ist nicht gleich Silber

### 1.2.1 Metallisches Silber, Ionen und Salze

Die Gefährdung der Umwelt und der menschlichen Gesundheit durch Silber hängt davon ab, in welcher Form und in welcher Umgebung sich Silber befindet. Um die biologische Reaktionsfähigkeit von Silber beurteilen zu können, muss also bekannt sein, in welcher Form es vorliegt. Es gibt:

- metallisches oder elementares Silber ( $\text{Ag}^0$ ),
- Silbersalze (zum Beispiel Chlorid, Nitrat), die in unterschiedlichem Maß wasserlöslich sind. Gelöstes Silber liegt in der Regel als positiv geladenes Ion ( $\text{Ag}^+$ ) vor.
- organische Silberverbindungen, insbesondere an Proteine gebundenes Silber.

Sowohl metallisches Silber als auch Silbersalze (soweit sie nicht gelöst sind) und organische Silberverbindungen können eine Partikelgröße im Nanobereich annehmen.

**Die chemisch und biologisch wirksamste Form ist in der Regel das gelöste Ion.** Silberionen, die sich in Lösung befinden, sind keimtötend (bioizid) und können auch Zellen höherer Organismen schädigen. Je höher der Anteil verfügbarer, das heißt in Lösung befindlicher Silberionen ist, desto höher sind die Reaktivität und die chemische sowie biologische Wirkung des Silbers.

**Nanosilber ist eine Quelle für die Entstehung von Silberionen.** In wässriger Umgebung können an der Oberfläche metallischen Silbers fortwährend Ionen gebildet werden. Bei metallischem Nanosilber erfolgt dies aufgrund der stark vergrößerten Oberfläche in besonderem Maße.

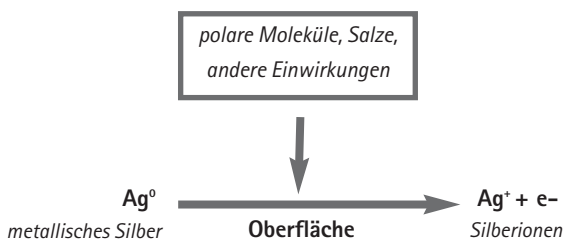
Metallisches Silber in der Ionenform können ineinander übergehen. Wenn Silberionen negative Ladung aufnehmen, werden sie damit zu elementarem Silber. Umgekehrt können Partikel aus elementarem, metallischem Silber negative Ladungen abgeben und bilden damit Silberionen. Dieser Prozess läuft an der Oberfläche der Partikel ab. Da es in der Regel Silberionen sind, die für eine biologische Wirkung verantwortlich sind,

kommt der Nanoform mit ihrer vergleichsweise großen Oberfläche eine besondere Bedeutung als effektive Quelle von Silberionen zu.<sup>3</sup>

Auch schwerlösliche Salze, wie zum Beispiel Schwefel-Silber-Verbindungen, können geringe Konzentrationen von Silberionen in Lösung bringen. Allerdings überwiegt dabei der fest gebundene, nicht lösliche Anteil bei weitem, sodass die freien Silberionen nur einen kleinen Anteil ausmachen. Liegt das Silber in Form gering löslicher Verbindungen vor oder entstehen diese, kann das in der Regel als eine „Entgiftung“ verstanden werden: Die gelöste Silbermenge und damit die biologische Verfügbarkeit ist relativ gering.

Schließlich kann sich Silber auch an organische Moleküle, insbesondere Proteine, binden. Die biologische Funktion eines Proteins ist damit möglicherweise gestört oder unterbunden.

Abbildung 1:  
Nanosilber als  
ständige Quelle  
von Silberionen  
(Ag<sup>+</sup>). Die große  
Oberfläche  
begünstigt die  
Bildung von  
Ag<sup>+</sup>-Ionen.  
e<sup>-</sup>: negative  
Ladung (Elektron)



### 1.2.2 Lösung und Dispersion

Von **Lösungen** spricht man, wenn einzelne Atome, Moleküle oder Ionen in einem Lösemittel gleichmäßig verteilt sind. Sie sind auch mit dem Mikroskop nicht mehr sichtbar und haben eine Größenordnung von deutlich weniger als 1 nm. Beispiel: Zuckerlösung in Wasser.

Bei einer **Dispersion** sind Partikel, die aus zahlreichen zusammenhängenden Molekülen oder Atomen bestehen, gleichmäßig in einer Flüssigkeit verteilt. Bei **Nanosilber** handelt es sich der Regel um metallisches oder elementares Silber, oft mit Anteilen von Salzen. Häufig werden hierzu jedoch keine Angaben gemacht. Auch ein **Kolloid** ist eine Dispersion, üblicherweise im Größenbereich von 1 bis 1.000 nm. Typisch für Kolloide ist, dass sie, im Gegensatz zu einer Lösung, eingestrahktes Licht streuen; der Weg des Lichtstrahls wird erkennbar. Auch beim kolloidalen Silber wird häufig keine Angabe gemacht, ob Silber in Form von Salzen oder metallischer Partikel vorliegt. Sind die Partikel noch größer als 1.000 nm, sind sie mit dem Mikroskop oder mit bloßem Auge sichtbar, die Dispersion erscheint trübe (Beispiel: Kalkmilch).

Bei zahlreichen Produkten ist davon auszugehen, dass sie aus undefinierten Mischungen gelöster Ionen, metallischem Silber und Salzen in unterschiedlichen Partikelgrößen bestehen.

Tabelle 1: Silberionen und -partikel in Wasser

| Bezeichnung |                    | Partikel                                                                                      | Partikelgröße       | Eigenschaften                                                                        |
|-------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Lösung      |                    | Silberionen                                                                                   | kleiner als 1nm     | transparent, Ag-Ionen sind (in der Regel) positiv geladen                            |
| Dispersion  | Nanosilber         | zumeist metallische Partikel, auch gering lösliche anorganische Silberverbindungen            | 1-300 nm<br>*       | transparent, homogene Verteilung                                                     |
|             | kolloidales Silber | zumeist gering lösliche anorganische Silberverbindungen, auch metallische Partikel, Aggregate | bis 1.000 nm        | transparent, homogene Verteilung, streuen jedoch eingestrahktes Licht („Opaleszenz“) |
|             | Suspension         | metallische Partikel oder gering lösliche Silberverbindungen                                  | größer als 1.000 nm | einzelne Partikel sind optisch (Mikroskop) wahrnehmbar                               |

\* Es gibt unterschiedliche Definitionen, häufig wird auch 100 nm als Obergrenze gesetzt.

### 1.3 Die keimtötende Wirkung

Als häufigster Grund für den Einsatz von Nanosilber und anderen Formen des Silbers oder seiner Verbindungen in Haushaltsprodukten, Textilien und anderen Massenprodukten wird die keimtötende (biozide) Wirkung angegeben. Silber ist ein Breitband-Antibiotikum. Diese Eigenschaft des Silbers ist bereits sehr lange bekannt und wird etwa in der Medizin genutzt. Als wirksame Form wird das Silberion  $\text{Ag}^+$  angesehen. Es kann an der Oberfläche von Silberpartikeln gebildet werden, besonders effektiv bei Nanopartikeln. Silber ist auch gegen einige antibiotikaresistente Bakterien, zum Beispiel *Staphylokokkus aureus*, wirksam.

Ein wesentlicher Wirkmechanismus von Silberionen ist die Reaktion mit Schwefelverbindungen, insbesondere mit schwefelhaltigen Aminosäuren und Proteinen. Es bildet mit einer schwefelhaltigen Gruppe ein sogenanntes Mercaptid, eine sehr schwer lösliche und sehr beständige Silber-Schwefelverbindung. Dadurch wird die Funktion zahlreicher Proteine blockiert, lebenswichtige Prozesse der Zelle können unterbrochen werden. Werden zum Beispiel die Proteine, die für den Energiehaushalt der Zelle von Bedeutung sind, beeinträchtigt oder wird die Durchlässigkeit von zellulären Membranen für Ionen erhöht, kann dies zum Absterben der Zelle führen.<sup>4</sup> Auch andere Mechanismen für die biozide Wirkung sind bekannt.<sup>5,6</sup> Die Feststellung, dass Silber – anders als zahlreiche andere Antibiotika – gleichzeitig an mehreren wichtigen Stellen des Zellstoffwechsels und der Zellvermehrung angreifen kann, erklärt seine effektive Wirkung auf sehr viele und sehr unterschiedliche Mikroorganismen und macht damit seine Bedeutung als Breitbandbiozid zum Beispiel bei Wundverbänden und anderen medizinischen Anwendungen verständlich.

Dennoch gibt es auch Schutzmechanismen, mit denen Mikroorganismen sich gegen Silber zur Wehr setzen können. Kleine schwefelhaltige Moleküle kommen als alternative Reaktionspartner für Silberionen in Frage. Das verringert die Wahrscheinlichkeit der Reaktion des Silbers mit lebenswichtigen Molekülen der Zelle, zum Beispiel Proteinen. Sie sind in den Zellen höherer Organismen vorhanden, können jedoch auch von Mikroorganismen gebildet werden und verringern dann die biozide Wirkung von Silber erheblich.<sup>7</sup>

#### Beispiele für Silberverbindungen

**Silbernitrat** ist ein lösliches Silbersalz und wurde zum Beispiel in der Medizin als ätzendes Mittel etwa zur Entfernung von Warzen eingesetzt („Höllenstein“).

**Silberchlorid** ist nur in sehr geringem Umfang in Wasser löslich. Belichtung löst die Spaltung in Silber und Chlor aus, dies ist die Grundlage des Einsatzes von Silberchlorid bei fotografischen Papieren. Silberchlorid wird auch als Zusatz bei Bandagen und anderen Verbandsmaterialien zur Wundheilung eingesetzt (antiseptisch).

Weitere Silbersalze sind Bromid, Sulfat und Cyanid.

Die gegenüber Mikroorganismen besonders starke Wachstums- hemmung durch metallisches Silber in der Nanoform wurde mehrfach nachgewiesen.<sup>8,9</sup> Die Fähigkeit von Nanosilber, Zellmembranen zu passieren, lässt Reaktionen mit innerhalb der Zelle befindlichen Bestandteilen zu, so wurden zum Beispiel Reaktionen von Nanosilber mit der zelleigenen Erbsubstanz (DNS) beschrieben.<sup>10</sup> Die Wirksamkeit von Nanosilber gegen Bakterien scheint auch von der Form der Nanopartikel abhängig zu sein. Im Vergleich zeigten bestimmte geometrische Formen (kugelförmige Partikel und solche mit dreieckigem Querschnitt) eine höhere Wirksamkeit als stabförmige Partikel.<sup>11</sup> Auch gegen Viren ist Nanosilber, im Gegensatz zu Makrosilber, wirksam, wie sich bei Untersuchungen an HI-Viren zeigen ließ. Die Wirkung ist stark von der Größe der Partikel abhängig: Ausschließlich Nanosilber im Bereich von 1 bis 10 nm wurde effektiv an die Virusoberfläche gebunden und verhinderte damit die Bindung des Virus an Wirtszellen.<sup>12</sup>

## 2. Anwendungen

### 2.1 Nanosilber: (fast) unbegrenzte Möglichkeiten

Vom Aknemittel bis zur Zahnbürste, vom künstlichen Hüftgelenk bis zur Wandfarbe: Die keimtötende Wirkung des Silbers steht im Vordergrund. Gegenstände und Oberflächen erhalten durch Nanosilber biozide Eigenschaften oder es wird weniger Material und Aufwand benötigt, um ein bestimmtes Maß an Sauberkeit und Keimfreiheit zu gewährleisten.

Nanosilber kann häufig ohne größeren technischen Aufwand in bestehenden Produktionsabläufen eingesetzt werden: So können Kunststoffprodukte, Oberflächenbeschichtungen oder synthetische Textilien, wie sie auf dem Markt bekannt und überall im Gebrauch sind, einfach mit Nanosilber ausgerüstet werden. Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder werden Nanosilberpartikel wie bei Kunststoffen oder Textilien in das Material eingearbeitet oder es werden nanosilberhaltige Oberflächenbeschichtungen aufgetragen, etwa Lacke und Farben.

Die Einsatzbereiche von Nanosilber gehören – auch im Vergleich zu anderen Materialien im Bereich der Nanotechnologien – zu den am schnellsten wachsenden Produktkategorien.<sup>13</sup> Von den derzeit etwa 800 verbrauchernahen Produkten mit Nanomaterialien werden etwa 30 Prozent damit beworben, dass sie Nanosilber enthalten.<sup>14</sup> Die weltweite jährliche Gesamtproduktion von Silber beträgt 28.000 Tonnen (t), wobei der Anteil des Nanosilbers im Jahr 2008 auf etwa 500 Tonnen geschätzt<sup>15</sup> wird. Für Deutschland wird der Gesamtmarkt für Silber, welches für biozide Zwecke eingesetzt wird, im Jahr 2007 mit 8.000 kg angegeben. Davon werden 6.600 kg im Bereich der Wasserbehandlung eingesetzt. Die meisten Anwendungen werden als abwasserrelevant eingestuft. Etwa 1.100 kg Silber werden heute als Nanosilber eingesetzt oder können durch Nanosilber ersetzt werden. Für diesen Einsatzbereich sind die höchsten Steigerungsraten zu erwarten, für das Jahr 2015 wird insgesamt mit einem Anstieg des Silberverbrauchs auf 8.800 kg gerechnet.<sup>16</sup>

Die Produktdatenbank des „Woodrow Wilson International Center for Scholars“ in Washington D.C./USA bietet den bislang umfassendsten Überblick über Produkte mit Nanomaterialien im verbrauchernahen Bereich und macht die Vielfalt der auf

dem Markt befindlichen Anwendungen deutlich.<sup>17</sup> Die Datenbank ist keineswegs vollständig und orientiert sich an den Aussagen der Hersteller. Die Zusammenstellung der nanosilberhaltigen Produkte des Woodrow Wilson Centers<sup>18</sup> hat der BUND durch eigene Recherchen insbesondere zu Produkten auf dem deutschen Markt ergänzt. Dabei zeigt sich für die USA eine größere Zahl von Produktalternativen in den jeweiligen Segmenten als in Deutschland, allerdings sind die meisten dieser Produkte auch in Deutschland, zumindest über Onlineshops, erhältlich. Weltweit sind deutlich über 300 Produkte erhältlich, die Nanosilber enthalten.

Tabelle 2: Produkte auf dem deutschen Markt

|                                                                                     |                                                            |                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>Lebensmittelverarbeitung, -verpackung und -lagerung</b> | Verpackungsfolien, Kunststoffbehälter, Schneidbretter                                                                                                                                  |
|    | <b>Haushaltsgeräte und -utensilien</b>                     | Kühlschränke, Waschmaschinen, Luft- und Klimaanlage, Staubsauger                                                                                                                       |
|    | <b>Medizinische Anwendungen</b>                            | Implantate, Wundpflege und Wundbehandlungsauflagen, medizinisches Besteck, Anti-Juck- und Ekzembehandlung, Fußpflege für Sportler, medizinische Behälter, Innenraumfarben für Kliniken |
|    | <b>Farben und Oberflächenbeschichtungen</b>                | Wandfarben, Antischimmelanstriche, Beschichtungen und Lacke im öffentlichen Bereich wie Griffe im öffentlichen Nahverkehr, Rolltreppenlaufbänder, Einkaufswagen                        |
|   | <b>Computer und Elektronik</b>                             | Tastaturen, Mäuse, Handys                                                                                                                                                              |
|  | <b>Textilien und Textilpflege</b>                          | Sportwäsche, Unterwäsche, Socken, Freizeit- und Arbeitsschutztextilien, Einlagen, Trikots, Hosen                                                                                       |
|  | <b>Kosmetika/Körperpflegeartikel</b>                       | Zahnpasta, Zahnbürsten, Seifen, Shampoo, Deodorants, Pflegeprodukte für trockene Haut, Pickel, Hautjucken und Mundhygiene                                                              |
|  | <b>Nahrungsergänzungsmittel</b>                            | kolloidales Silber                                                                                                                                                                     |
|  | <b>Haus und Garten, Haustiere</b>                          | Betten und Decken, Kopfkissen, antibakterielle Tapeten, Tierpflegebürsten, Pflanzen-Pflegespray                                                                                        |
|  | <b>Landwirtschaft</b>                                      | Saatgutbeize                                                                                                                                                                           |
|  | <b>Artikel für Kinder</b>                                  | Farbe für Holzspielzeuge                                                                                                                                                               |

## 2.2 Nanosilber überall: Fallbeispiele

### ► Lebensmittelverarbeitung, -verpackung und -lagerung

In den USA schon weit verbreitet, drängen mit Nanosilber beschichtete Folien und Verpackungen nun auch in Deutschland auf den Markt. Beworben werden sie mit einer erhöhten Haltbarkeit der Lebensmittel. Ein Vorteil, der vor allem für den Handel interessant ist und auch bei länger gelagertem Obst, Gemüse, Fleisch und Käse Frische vortäuscht. Mit Nanosilber beschichtete Küchengeräte und Unterlagen erzeugen den Eindruck, dass sie ein Beitrag zu einer verbesserten Hygiene seien. Das Gegenteil könnte der Fall sein, wenn sie andere Maßnahmen zur Sauberhaltung ersetzen. Mögliche Risiken nennt die Werbung jedoch in keinem Fall, die Informationen für VerbraucherInnen sind völlig unzureichend und zum Teil falsch.

**NANO TEC Dosen Set** (Westfalia GmbH und Co KG)<sup>19</sup>: „Garantiert gesunder Genuss. 100 Prozent antibakteriell und 100 Prozent luftdicht durch Nanosilberpartikel. Extrem lange Haltbarkeit Ihrer Lebensmittel. Dank neu entwickelter Nanosilbertechnologie effektiver Schutz vor Bakterien und Viren. Im Vergleich zu herkömmlichen Aufbewahrungsdosen verhindern die Nanosilberpartikel über 98 Prozent Bildung von Mikroorganismen.“

**Fresh+Bag Frischhaltebeutel** (Mediashop)<sup>20</sup>: „In einer Welt, in der Millionen von Menschen an Hunger leiden, ist das Wegwerfen verdorbener Lebensmittel wie ein Schlag ins Gesicht und sehr kostspielig! Die wissenschaftlich geprüften Fresh+Bags mit Nanosilber veredelter Kunststoffolie erhalten die natürliche Frische von Obst, Gemüse, Fleisch und sogar Blumen länger! Das von den Lebensmitteln freigesetzte Ethylengas wird von den im Spezialkunststoff enthaltenen Nanosilberpartikeln neutralisiert und die Lebensmittel bleiben schmackhaft wie am ersten Tag! [...] Sie können die Fresh+Bags beliebig oft verwenden. Nach 4-5maligem Gebrauch reichen 30-60 Sekunden in der Mikrowelle aus um die Nanosilberstruktur wieder zu regenerieren und aktivieren!“

Bei den **Kunstdarm-Wursthüllen mit AgPURE**, deren Nanosilbergehalt einen Schutz gegen Schimmelbildung darstellen soll (WIBERG GmbH)<sup>21</sup>, handelt es sich um eine Anwendung, die intensiven Kontakt mit dem Lebensmittel hat. Für die Herstel-

lung von antimikrobiellen Eigenschaften auf der Basis von Nanosilber liegt eine europäische Patentanmeldung vor.

Weitere Anwendungen sind mit Nanosilber beschichtete Schneidbretter<sup>22</sup>, antibakterielle Matten<sup>23</sup> und Unterlagen für die Gastronomie und andere Frischhaltedosen<sup>24</sup>.

### ► Haushaltsgeräte und -utensilien

Antibakteriell beschichtete **Kühlschränke** werden von zahlreichen Herstellern, unter anderem Siemens, Bosch, Bauknecht, Samsung, LG und Daewoo, angeboten. Die fantasie reichste Bewerbung liefert Daewoo: „Wir setzen Nano-Silber in unseren Kühlschränken ein, um das Wachstum und die Vermehrung von Keimen sowie Gerüche zu verhindern. Dies ist die neueste Technologie, die sicherstellt, dass Lebensmittel frisch und Sie gesund bleiben. Nano-Silber desinfiziert nicht nur, sondern bewahrt auch den ausgeglichenen Hormonhaushalt im Körper und fängt elektromagnetische Strahlung ab.“<sup>25</sup> Weitere Produkte sind Wasserfilter<sup>26</sup>, Wasserionisierer<sup>27</sup>, Airconditioner<sup>28</sup>, Staubsauger<sup>29</sup>, Luftfilter<sup>30</sup> sowie Duschköpfe mit eingebautem Wasserfilter<sup>31</sup> zur Wasserentkeimung.

#### Die Samsung Waschmaschine

Bereits im Oktober 2006 hat der BUND bei der Einführung von **Waschmaschinen** mit der Bezeichnung **Silver Nano Health System®** der Firma Samsung auf die nicht geklärten Risiken hingewiesen. Es handelt sich hier zwar – im Widerspruch zur Bezeichnung Silver Nano Health System – nicht um Nanotechnologie, aber dennoch werden toxische Silberionen in großer Menge in das Waschwasser gegeben. Die Waschmaschine enthält immerhin zehn Gramm Silber, das über einen Zeitraum von 15 Jahren in das Wasser abgegeben wird. Nach Angaben von Samsung entspricht dies einer Silberfreisetzung von 2,75 Milligramm pro Waschgang.<sup>32</sup> Da mit dem Gebrauch der Waschmaschine kontinuierlich Silber in die Umwelt und in das gewaschene Gewebe abgegeben wird, sind ökologische und gesundheitliche Folgen nicht auszuschließen. Der Hersteller wurde aufgefordert, das Produkt umgehend vom Markt zu nehmen. In Schweden hatte das Unternehmen die Waschmaschine aufgrund des Drucks von Verbraucherorganisationen und Wasserwirtschaftsverbänden temporär vom Markt nehmen müssen.

### ► Medizinische Anwendungen

Auch im medizinischen Bereich werden Materialien und Geräte mittels Nanosilber antibakteriell ausgerüstet, zum Beispiel Salben, Verbandsmaterialien, Wundauflagen und Katheter. Es handelt sich um Produkte, die zurzeit bereits große Umsätze aufweisen oder sie zumindest in den kommenden Jahren erwarten lassen. Als Beispiel sei **Acticoat** genannt, eine mit Nanosilber versehene Wundauflage. Sie hat 2004 bereits einen Umsatz von 25 Millionen US-Dollar erzielt.<sup>33</sup>

Die Firma Biogate bietet mit dem Produkt **HighProtect Coating Technology** eine spezielle Beschichtung für medizinische Implantate auf der Basis von 5 bis 50 nm großen Silberpartikeln an.<sup>34</sup> Die Anwendungsbereiche sind Knie-Implantate, Katheter, Fixateure und Nägel als Verbindungselemente bei Knochenbrüchen oder beim Einbau von Implantaten, sowie Textilien zur Wundbehandlung.<sup>35</sup> Mit **NANOLac(R)** vertreibt Heba Otoplastik eine Beschichtung für Hörgeräte.<sup>36</sup>

Auf einem Symposium mit dem Titel „Antimikrobielle Oberflächen zur Prävention von Infektionen“ hat die Firma Biogate, eine Ausgründung der Fraunhofergesellschaft und inzwischen Aktiengesellschaft, Produktentwicklungen und Einsatzbereiche für Mikrosilber (Silberpartikel im Mikrometerbereich) und Nanosilber beschrieben.<sup>39</sup> Im Fokus stehen der **Medizintechnikmarkt, Lacksysteme, Kosmetik, Textilien und Transportmittel** (biozide Wirkung im öffentlichen Bereich). **HighProtect Coating Technology** bezeichnet Beschichtungen auf der Basis von 5 bis 50 nm großen Partikeln. Dabei werden die Nanosilberpartikel in Polymeren („Plasmapolymeren“) eingebettet und auf Oberflächen aufgebracht. Als Anwendungsbereiche nennt Biogate Implantate, Katheter, Fixateure (etwa Nägel) und Auflagen zur Wundbehandlung und -pflege. Produktanwendungen des Mikrosilbers sind Zahnbehandlung und Zahnfüllungsmaterialien, Dispersionsfarben und Körperpflegeprodukte.

Auch hochbelastbare Implantate für die Herzchirurgie befinden sich in der Entwicklung. Das Forschungszentrum Karlsruhe hat in einem durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt eine Technologie vorgestellt, die eine Integration von hochdisperser metallischen

Nanosilber verwendet und darüber eine mikrobielle Besiedelung der Implantate verhindert<sup>37</sup>. Dies stellt eine Alternative zu Antibiotika freisetzenden Beschichtungen dar. Ein Anwendungsbeispiel sind Stützstrukturen (Stents) zur Offenhaltung von Koronargefäßen.

Auch für Wandfarben im Klinikbereich werden antimikrobielle Produkte angeboten.<sup>38</sup>

### ► Farben und Oberflächenbeschichtungen

**CLOU Antibak** ist eine Produktlinie der Firma Alfred Clouth Lackfabrik GmbH & Co. KG.<sup>40</sup>, die Lacke auf der Basis von Nanosilber zum Schutz von Holzoberflächen herstellt. Diese Lacke verhindern nach Herstelleraussage langfristig das Ansiedeln von Bakterien und Pilzen auf Holzoberflächen: „*Frei von klassischen Bioziden, wirkt durch Nanoteilchen.*“ Sie seien nicht toxisch für den Menschen.

**Bioni Perform**<sup>41</sup> ist eine Fassadenfarbe, die Silbernanopartikel enthält und als Fassadenschutzmittel eingesetzt wird. Sie soll dauerhaft Algen- und Moosbewuchs sowie Pilzbefall erschweren.

Vor allem in öffentlich zugänglichen Bereichen sollen keimtötende Oberflächen oder auch Matten eingesetzt werden. Für Sportstätten, Umkleidekabinen und auch private Badezimmer werden antibakterielle Bodenmatten<sup>42</sup> angeboten. Auch keimtötende **Beschichtungen für Rolltreppenbänder und Griffe in Bussen**, Zügen und ähnlichen Orten gibt es im Angebot. **Wasserhähne und Türgriffe** mit Nanosilberbeschichtung sollen vor allem im Krankenhausbereich eingesetzt werden<sup>43</sup>. Allerdings ist nicht bekannt, ob diese Produkte in Deutschland im öffentlichen Bereich bereits zum Einsatz kommen.

### ► Computer und Elektronik

Mit Nanosilber beschichtete **Notebook-Tastaturen** sind seit kurzer Zeit in Deutschland auf dem Markt. „*Dank neuester medizinischer Technologien ist die antibakterielle Samsung-Tastatur mit einem speziellen Lack beschichtet, der das Überleben und die Vermehrung von Bakterien nahezu unmöglich macht. Somit werden fast alle Bakterien erfolgreich beseitigt und das Notebook bleibt sauber, wodurch eine hygienischere Rechnerumgebung geschaffen wird.*“<sup>44</sup> **Computermäuse** und **Keyboards** mit Nanosilberbeschichtung<sup>45</sup> sowie standardmäßig

antibakteriell ausgerüstete Handys<sup>46</sup> sind ebenfalls bereits erhältlich und dürften mit anderen Produkten der Computer- und Elektronikbranche von den Herstellern als ein wichtiges Marktsegment für die Zukunft gesehen werden.

#### ► Textilien und Textilpflege

Der Einsatzbereich mit den zahlreichsten und wahrscheinlich mengenmäßig auch bedeutendsten Produkten ist das Segment Sport und Gesundheit einschließlich Textilien und Schuhen. Bekannte Marken wie Erima führen Produktlinien, die mittels Nanosilber antibakteriell und geruchshemmend ausgestattet sind. **Nano Line** von Erima<sup>47</sup> beinhaltet Shorts, Tennis-Shirts, Langarmshirts, Tops, Kinder-Poloshirts, Kinderhosen, Handball-trikots, Polyesteranzüge und mehr.

Der Unterwäscheproduzent Medima bietet die Produktlinien **Silver Line** und **Antisept** an<sup>48</sup>. Mit „*Funktionswäsche ... aus reiner Baumwolle mit Nanosilber – die ideale Wäsche für Aktive*“ wirbt Medima für Silver Line. Antisept enthält nach Herstellerangaben zwei Prozent Silber, wobei unklar bleibt, in welcher Form das Edelmetall vorliegt: „*Dank reinem Silber kann sie geruchshemmend und antibakteriell wirken*“. Antisept wird an anderer Stelle ausdrücklich damit beworben, dass sie den Stoffwechsel der Hautbakterien verhindert und dadurch einen Heileffekt für gereizte Haut erreicht: „*Unterstützen Sie also Ihre Hautbehandlung mit antiseptischer Wäsche, um den Heilungsprozess zu beschleunigen*“<sup>49</sup>. Medima und andere Hersteller bieten außerdem antibakterielle Socken an.<sup>50</sup>

**Fresh socks** von Lindner<sup>51</sup> („*nie wieder Stinkefüße*“) enthalten an der Innenseite „silberhaltige Softbaumwolle“. Mit „Softbaumwolle“ könnte **ALCERU®silver** gemeint sein. Dies ist eine Cellulosefaser, die nach Angaben des Entwicklers durch das Einbinden fein gemahlener Ionenaustauscher „*erstmalig große Mengen des bekannten Breitbandbakterizids Silber an eine cellulosische Faser [binden kann]. [...] Durch eine Ausrüstung mit ALCERU®silver werden sowohl VerbraucherInnen als auch Material vor schädlichen Mikroorganismen geschützt*“<sup>52</sup>. Diese Informationen legen nahe, dass es sich hier nicht um Nanosilber, sondern um gebundene Silberionen handelt.

Interessant ist, dass die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) ein Projekt zur Entwicklung von Nanosilber in Socken

gefördert hat. Auf der Website der DBU findet sich der Hinweis: „*Begleitende medizinische Untersuchungen haben die Aufnahme von ALCERU®silver in die Liste der von Öko-Tex akzeptierten biologisch aktiven Produkte ermöglicht*.“ Eine durchaus fragwürdige Bewertung, da es sich hier um den nicht notwendigen Einsatz eines keimtötenden Wirkstoffes handelt, der unter ökologischen Gesichtspunkten in Frage zu stellen ist.

In England werden mit Nanosilber ausgerüstete **Bade- und Sporthandtücher** angeboten.<sup>53</sup> Als Beispiel für den Einsatz von Nanosilber im Bereich Arbeitskleidung seien **Einweg-Overalls** für den Arbeitsschutz genannt, fabriziert von der Uvex Arbeitsschutz GmbH: **Uvex sil-Wear**<sup>54</sup>.

Neben bereits ausgerüsteten Textilien sind auch Weichspüler auf dem Markt, die Nanosilber enthalten und dem textilen Gewebe antibakterielle Eigenschaften verleihen sollen. Die Schweizer Firma Firma Nanosys GmbH bietet zum Beispiel unter der Bezeichnung **Nano-Kuschel** einen „*mega Weichspüler mit Nano-Silber*“ an.<sup>55</sup> Besonders problematisch ist hier die Tatsache, dass die Silberpartikel nicht fest an das Gewebe gebunden sind und beim Gebrauch eingeatmet werden können. Von manchen Herstellern werden diese Produkte speziell für Babywäsche, Unterwäsche und für empfindliche Haut empfohlen.

#### ► Kosmetika und Körperpflegeartikel

„*Die Nanosilber-Zahnbürste bleibt immer steril und verfärbt sich kaum. Das ist ein enormer hygienischer Vorteil gegenüber normalen (Elektro-)Zahnbürsten. [...] Die Borsten der Nanosilber-Zahnbürste bestehen aus 0,2 mm dünnen Fäden, die mit einer neuartigen Nano-Technologie mit 99,99-prozentigem Silber imprägniert werden. Während sich normal beschichtete Borsten nach wenigen Anwendungen abnutzen, beträgt die Haltbarkeit der mit Nanosilber imprägnierten Borsten bis zu einem Jahr*“<sup>56</sup>. Von einem chinesischen Hersteller wird Zahnpasta mit Nanosilberanteilen angeboten.<sup>57</sup>

In den Bereich Körperpflege fallen auch der **Remington Haarschneider**, der einen „*Scherkopf mit Nanosilber für verbesserte Hautverträglichkeit und weniger Hautirritation*“<sup>58</sup> enthält sowie die auch in Deutschland erhältlichen Lockenwicklerstäbe, Haarglätter und weitere Geräte zur Haarpflege.<sup>59</sup>

Seifen mit Nanosilber werden als **Geruchskiller Seife**<sup>60</sup>, etwas einfühlsamer als **Nanosilber Perlen-Pflegeseife**<sup>61</sup>, als konventionelle Seife oder Flüssigseife angeboten. Häufig erscheint hier der Begriff „kolloidales Silber“, ohne jedoch zu sagen, in welcher Form (elementar oder ional) dies vorliegt (Flüssigseife, Hand- und Nagelcreme, Schaumbad, Akneseife, Akneserum, Cremes und Lotions der Produktlinie **Silbermed** enthalten alle „kolloidales Silber“)<sup>62</sup>.

Die Firma NanoSys bietet neben zahlreichen technischen Produkten und Anwendungen für den Haushalt auch kosmetische Produkte an: **Nano-Venus**, das „*after shave fluid für die moderne Frau*“ und **Nano-Exipixi**, der „*Geheimtipp gegen Pickel und unreine Haut*“<sup>63</sup>.

Nach Herstellerangaben sind auch Shampoos, Kondome und Intimsprays mit Nanosilber auf dem Markt.<sup>64</sup> Ein chinesischer Hersteller bietet für Frauen ein „Schaumkondom“ an: **Nanometer-Silver Foam Condom**, welches aufgrund des silberhaltigen Schaumes gleichzeitig zur Empfängnisverhütung, zur Keimabtötung und als Gleitmittel wirken soll.<sup>65</sup>

#### ► Nahrungsergänzungsmittel

Dispersionen von Silberpartikeln werden mit der Bezeichnung **kolloidales Silber** häufig als Nahrungsergänzungsmittel vertrieben. Diesen Produkten werden neben der keimtötenden Wirkung zahlreiche gesundheitsfördernde Eigenschaften nachgesagt, die in der Regel nicht belegt werden. Eine allgemeine Aussage zu diesen Produkten ist extrem schwierig. Meistens ist nicht bekannt, ob es sich um elementares Silber handelt oder um eine Dispersion gering löslicher Silbersalze. Während Erstes hinsichtlich seiner biologischen Wirkungen und Risiken mit Nanosilber verglichen werden kann, dürfte eine Dispersion gering löslicher Salze eine geringere Bioverfügbarkeit besitzen als Nanosilber. Der Nutzen dieser Präparate ist fraglich, Nebenwirkungen sind nicht auszuschließen.

Inzwischen sind allerdings auch neue Produkte auf dem Markt, die ausdrücklich als kolloidales Silber auf Nanosilberbasis beworben werden. Als wasserklare Flüssigkeiten unterscheiden sie sich von den konventionellen Produkten, die häufig eine gelbliche oder bräunlich-trübe Färbung aufweisen. Für das in den USA vertriebene **Nano Silver Fluid** wird ausdrücklich

behauptet, dass die regelmäßige Einnahme kleiner Mengen (zwei Esslöffel) gegen Schnupfen, Grippe und hunderte anderer Krankheiten wirksam sei.<sup>66</sup>

#### ► Haus und Garten, Haustiere

Hier finden sich zahlreiche, sehr unterschiedliche Produkte, von denen nur einige exemplarisch benannt werden sollen:

Möbel mit Nanosilbertextilien wie etwa das **Mikrofaser Nanosilber Bettenset** werben mit „eingearbeiteten Silberionen“<sup>67</sup>. Zahlreiche **Putz- und Reinigungstücher**<sup>68</sup>, **Tierpflegebürsten**<sup>69</sup>, einige **Pflanzensprays**<sup>70</sup> und für andere Zwecke einsetzbare antibakterielle Sprays<sup>71</sup> enthalten Nanosilber. Ein in Japan produziertes Spray **HGT Nano Silver Photocatalyst Aerosol Spray** wird mit „photokatalytischen“ Eigenschaften beworben. Das Besprühen von verschiedensten Oberflächen wie etwa Vorhängen, Tapeten, Beton, Kunststoffen und anderen Materialien soll zu einem „Schutzfilm“ führen. Vor allem in den USA werden zahlreiche Produkte für Haustiere angeboten: Bürsten, Wasserentkeimer, Fressnapfe und andere.<sup>72</sup>

Auch Geschirrspülmittel für manuelles Spülen, für den Haushaltsgeschirrspüler und für die Gastronomie arbeiten mit Nanosilber.<sup>73</sup>

#### ► Landwirtschaft

Eine Publikation der Universität Hohenheim beschreibt den Einsatz von Nanosilber zur Saatgutbeize.<sup>74</sup> Dabei ist das Nanosilber auf dem Saatgut nicht fest gebunden. Dies dürfte bei üblichen Aussaatverfahren zu nanosilberhaltigen Stäuben führen, die über die Atmung in den Organismus des Landwirts oder anderer Personen gelangen können. Der damit verbundene Silbereintrag unmittelbar in landwirtschaftlich genutzten Boden dürfte in seinen Auswirkungen derzeit kaum zu bewerten sein.

#### ► Artikel für Kinder

Die Landshuter Lackfabrik Eduard Leiss GmbH hat mit **AgPURE Nanosilber** einen keimabtötenden Lack für Kinderspielzeug<sup>75</sup> entwickelt.

Auch andere Hersteller schecken nicht davor zurück, Nanosilber in Kinderspielzeugen einzusetzen und begründen dies mit den keimabtötenden Eigenschaften. Der koreanische Hersteller

BabyDream Co. bietet sogar **Trinkflaschen für Kinder**<sup>76</sup>, **Kau-  
ringe** für zahnende Säuglinge und eine **Kinderzahnbürste**<sup>77</sup> an, die mittels Nanosilber sicherstellen, dass „99 Prozent der Keime vermieden werden und eine antibakterielle und Geruch hemmende Funktion aufrechterhalten wird“. Ein taiwanesischer Hersteller hat mit dem **Nano Pacifier** einen Schnuller auf den Markt gebracht, der ebenfalls auf die antibakterielle Wirkung von Nanosilber setzt.<sup>78</sup> Auch **Kuscheltiere** werden mit antibakteriell wirkendem Nanosilber ausgerüstet. Die Website von **Pure Plushy** wirbt damit, dass ihr Kuschelbär nicht, wie andere Kuscheltiere, aufgrund von Schimmel, Bakterien oder Milbenbefall nach kurzer Zeit weggeworfen werden müsse, sondern durch seine Ausrüstung davor geschützt sei.<sup>79</sup> Außerdem sei ein Schutz vor bakterienbedingten unangenehmen Gerüchen gewährleistet. Zumindest bis Februar 2008 wurde Nanosilber als wirksame Substanz benannt.

Insgesamt weist die Produktübersicht des Woodrow Wilson International Center 20 Produkte für Kinder aus, die Nanosilber enthalten. Es liegen zurzeit keine Informationen darüber vor, ob vergleichbare Produkte auch in Deutschland auf dem Markt sind. Allerdings wurden diese Anwendungen bereits 2004 unter dem Slogan „Sagrotan durch Silber ersetzen“ angekündigt: Die Deggendorfer Fachhochschule für die Herstellung von Kunststoffprodukten erforschte gemeinsam mit der Firma „rent a scientist“ Einsatzmöglichkeiten von Nanosilber. Genannt werden neben **Bechern** und **Plastikspritzen** ausdrücklich **Babyfläschchen**<sup>80</sup>. Durch die antimikrobiellen Eigenschaften sei auch das Material besser geschützt und halte länger.

### 2.3 Die Perspektiven der Hersteller

Die Hersteller von Nanosilber haben Konzepte für den umfassenden Einsatz in praktisch allen Bereichen des täglichen Lebens erstellt (Tabelle 3). Sie bieten zum Beispiel Dispersionen in Wasser, Lösemitteln oder „Polymerwachsen“ an (**AgPURE**<sup>81</sup>), die in der Produktion einfach eingesetzt werden können. Diese Additive enthalten bis zu 40 Prozent metallisches Nanosilber mit einer Partikelgröße unterhalb von 20 nm. Die genaue Konzentration und die Partikelgröße können vorgegeben werden. Über einen sogenannten Masterbatch (granulatartiges Vorprodukt) kann Nanosilber zum Beispiel in verschiedene Kunststoffe eingearbeitet werden. Diese Kunststoffe werden dann wie

üblich weiterverarbeitet, etwa zu Fasern versponnen und zu Geweben verarbeitet.

**Tabelle 3: Vorgesehene Anwendungsbereiche von Nanosilber, aus einem Produkt- und Marktkonzept von AgPURE<sup>82</sup>.**

| Vorprodukte                              | Anwendungsmöglichkeiten/Produkte                                                             |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lacke auf Wasserbasis                    | Holzspielzeug                                                                                |
| Lacke, andere Kunststoffe:               | Klinikmöbel, Fußböden, Arbeitsflächen, Klimaanlage                                           |
| Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) u.a. | medizinische Materialien, Filter, Fasern, Vliesstoffe, Folien, Schwämme, Rohre               |
| Polyurethan PU                           | medizinische Geräte, Beschichtungen, Otoplastiken                                            |
| Polyamid PA (Nylon)                      | Textilien, orthopädische Materialien, Bürstenfilamente, Büromaterialien, Gehäuse, Spielzeuge |
| Polyacrylate (PMMA)                      | Küchenspülen, Arbeitsflächen, Beschichtungen                                                 |
| Baumwolle                                | Zahnmassagen, Garne, Vliese                                                                  |
| Viskose                                  | Schwämme, Textilien                                                                          |
| Silikon                                  | Babysauger, medizinische Geräte, Erotikartikel                                               |
| Kosmetika                                | Cremes, Pasten, Emulsionen                                                                   |
| Pflegemittel                             | Cremes, Wachse, Schuhspray, Textilspray                                                      |

Die Firma NANOCO mit ihrer deutschen Außenstelle nano4future<sup>83</sup> bietet mit **NANO SILVER** ein Konzentrat auf Wasserbasis an. Die damit behandelten Oberflächen erhalten antistatische Eigenschaften und weisen angeblich eine Wirksamkeit von 99,9 Prozent gegen Bakterien und Pilze auf. Außerdem sollen sie aktiv Gerüche mindern. Die vom Hersteller benannten Anwendungsbereiche sind vielfältig: Farben, Klebstoffe, Textilien (Kleidung und Haushaltstextilien), Leder- und Kunstleder, Medizin- und Sanitärartikel (Wäsche und Verbandstoffe), Tierzucht und -transport (Beschichtung von Wänden und Liegeplätzen), Tapeten und Baumaterialien, Kinderspielzeug, Kosmetika und Hygieneprodukte, Geräte für die Luft- und Wasseraufbereitung (Heizungs-, Lüftungs- und Kühlanlagen, Schwimmbäder und Springbrunnen) und eine Vielzahl von Artikeln für den täglichen Gebrauch.

Die Hersteller von Nanosilber für industrielle Anwendungen sind im Einzelfall nicht immer identifizierbar, China gehört allerdings mit zu den bedeutenderen Produzenten der Nanosilber-Vorprodukte (Nanosilber in Pulverform, Nanodispersionen und Masterbatches für die Einarbeitung von Nanosilber in verschiedene Kunststoffe).<sup>84</sup>

### 3. Auswirkungen auf die Umwelt

Insgesamt reichen die bisher vorliegenden Untersuchungen nicht aus, um die Umweltauswirkungen von Silber und insbesondere von Nanosilber ausreichend bewerten zu können. Es gibt praktisch keine Daten darüber, in welcher Form das Silber in der Umwelt verbleibt. Eine aussagekräftige Analyse des Eintrags müsste aufgrund der starken Neigung des Silbers, sich an Partikel, zum Beispiel im Boden, zu binden, die Verteilung des Silbers in den Umweltkompartimenten Wasser und Boden untersuchen. Für die Untersuchung der Frage, wie die einzelnen Formen des Silbers in der Umwelt verteilt sind, gibt es jedoch kaum geeignete Verfahren.

#### 3.1 Freisetzung von Silber

Eine verlässliche Voraussage, in welchem Umfang die zunehmende Zahl der sehr unterschiedlichen Nutzungen mit Silber einträgen in Gewässer, Sedimente und in den Boden verbunden ist, lässt sich kaum machen. Es wird geschätzt, dass etwa ein Drittel der Silbermenge, die als Nanosilber zur Anwendung kommt, letztlich in die Umwelt gelangt.<sup>85</sup> Dabei ist zu erwarten, dass ein Großteil des Silbers über das Abwasser im Klärschlamm landet und zumindest ein Teil davon auch auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht wird. Die zahlreichen Anwendungen Silber freisetzender Geräte können zu einer Silbermenge führen, die im Abwasser und im Klärschlamm zum Problem werden.<sup>86</sup> Bei umfangreichem Einsatz von zum Beispiel Nanosilber enthaltendem Geschirrspülmittel ist die Freisetzung großer Silbermengen in das Abwasser und damit verbundene ökologische Risiken zu erwarten. Auch Nanosilber im Duschkopf kann nur dann überhaupt eine Wirkung zeigen, wenn kontinuierlich Silberionen in das Wasser abgegeben werden. Die Befürchtung, dass der steigende Einsatz von Nanosilber in Gegenständen des täglichen Bedarfs zu einer Belastung des Abwassers führt, hat auch die US-amerikanische Umweltbehörde EPA geäußert.

Als Beispiel für relevante Anwendungen wurden mit Nanosilber ausgerüstete Textilien auf die Freisetzung von Silberresten in das Waschwasser untersucht.<sup>87</sup> Von sechs Paar Socken, die als antibakteriell oder geruchshemmend beworben wurden, enthielten fünf Nanosilber in nachweisbaren Gehalten und mit Partikelgrößen zwischen weniger als 100 und mehr als 500 Nanometern (nm). Drei davon gaben Silber in das Waschwasser

ab, innerhalb von vier Waschgängen gelangte fast 100 Prozent des Silbers in das Abwasser. Dennoch halten es die Autoren der Studie für unwahrscheinlich, dass bei erhöhter Verwendung von Textilien, die mit Silber ausgerüstet sind, eine Schädigung von Kläranlagenorganismen oder eine relevante Erhöhung der Menge im Kläranlagenablauf zu befürchten ist. Allerdings würde der Klärschlamm möglicherweise Silbergehalte enthalten, die Probleme für Bodenbakterien mit sich bringen könnten bzw. den Einsatz des Klärschlammes als Dünger in der Landwirtschaft begrenzen würden.

In einer aktuellen Studie wird die Auswirkung von Nanosilber aus Textilien und beschichteten Kunststoffen auf Süßwasser-ökosysteme untersucht.<sup>88</sup> Die Studie schätzt die Einträge über den Abwasserpfad, über die Anwendung von Klärschlamm, die Müllverbrennung und das Durchsickern aus Deponien (und dadurch möglicherweise auch in das Grundwasser) ab und kommt zu dem Ergebnis, dass in Zukunft 15 Prozent des Silbers, das in die Süßwasserökosysteme der Europäischen Union gelangt, aus dieser Nutzung herrühren. Auswirkungen auf Ökosysteme im Wasser und insbesondere auf die Sedimente werden dabei nicht ausgeschlossen, Auswirkungen auf die Kläranlagenbiologie jedoch auch in diesem Fall nicht als wahrscheinlich betrachtet.

#### 3.2 Verteilung des Silbers in der Umwelt

Silber ist persistent und kann sich in der Nahrungskette stark anreichern. Insbesondere in marinem Phytoplankton ist dies der Fall: Untersuchungen des Planktons ergaben 10.000- bis 70.0000-fach höhere Konzentrationen als im umgebenden Wasser. Im Verlauf der Nahrungskette ist von einer weiteren Aufkonzentrierung auszugehen. Dies erklärt einen Befund, der eine verringerte Reproduktionsfähigkeit bei Daphnien (Wasserflöhen) beschreibt. Die Daphnien hatten als Futter einzellige Algen erhalten, die vorher einer sehr niedrigen Konzentration von 20 bis 100 Nanogramm pro Liter (ng/l) Silber ausgesetzt wurden.<sup>89</sup>

Eine Anreicherung findet auch in Schwebstoffpartikeln, insbesondere in organischem Material statt. Dies hat zur Folge, dass auch bei sehr geringen Wasserkonzentrationen durch die höher belasteten Schwebstoffe Schadwirkungen für Wasserorganismen

men auftreten können. Auch hier wären Untersuchungen spezifisch für Nanosilber unter realistischen Umweltbedingungen dringend erforderlich.

Bei der Ablagerung einer schwer abbaubaren Substanz im Sediment ist immer mit deren Anreicherung zu rechnen. Durch Änderungen in den Umweltbedingungen, zum Beispiel des pH-Wertes, des Sauerstoffgehaltes und anderer Wasserverhältnisse, kann sich die Bindung des Silbers an Schwebstoffe oder an organisches Sedimentmaterial ändern. Dies wiederum kann zur Folge haben, dass eine plötzliche Freisetzung (Remobilisierung) des bisher gebundenen Silbers erfolgt und zu einer hohen Konzentration bioverfügbaren Silbers im Wasser führt.

Die Bewertung der Umweltwirkungen von Nanosilber wird dadurch erschwert, dass bisher kaum Verfahren vorliegen, um die Verteilung unterschiedlicher Silberformen einschließlich des Nanosilbers in Wasser, Boden und Luft realistisch zu erfassen. In einem vom Umweltbundesamt (UBA) in Auftrag gegebenen Gutachten wird dies so zusammengefasst: „Über das Verhalten von metallischen Silbernanopartikeln ist kaum etwas bekannt. Spezifische Untersuchungen zur Mobilität, bzw. zur Bildung von Agglomeraten oder Komplexen unter Umweltbedingungen konnten nicht ermittelt werden.<sup>90</sup> Es handelt sich um äußerst komplexe chemisch-physikalische Zusammenhänge.

### 3.3 Umwelttoxizität

Silber ist, nach Quecksilber, das giftigste Schwermetall für tierische und pflanzliche Wasserlebewesen. Silber wirkt in sehr niedrigen Konzentrationen giftig auf Fische und Krebse sowie auf Algen und weitere Wasserpflanzen.<sup>91</sup> Auch Bakterien, wie die Stickstoff fixierenden Bodenbakterien, reagieren sehr empfindlich.<sup>92</sup> Dabei erfolgt die biozide Wirkung bereits bei Konzentrationen, die deutlich unterhalb der Wirkgrenzen anderer Schwermetalle liegen. Die Mehrzahl dieser Untersuchungen wurde mit gelöstem Silber durchgeführt (Silber liegt als Ion vor).

Die Untersuchungsergebnisse zu klassischen Silberverbindungen sind nur bedingt aussagekräftig, da Nanopartikel andere Eigenschaften aufweisen. Die nicht sehr zahlreichen Untersuchungen lassen jedoch annehmen, dass Nanosilber eine im Vergleich zu anderen Formen des Silbers gesteigerte Schädigung entfalten

kann. Dies konnte unter anderem mit einer Studie an Daphnien gezeigt werden: Bezogen auf die eingesetzte Menge war die Giftigkeit von Nanosilber deutlich höher als die Giftigkeit von metallischem Silber in der Mikroform.<sup>93</sup>

Um die Auswirkungen von Nanosilber auf pflanzliche und tierische Wasserorganismen abzuschätzen, wurden vergleichende Untersuchungen an Algen, Daphnien und Fischen durchgeführt.<sup>94</sup> Silber wurde, neben Kupfer, Aluminium, Nickel und Kobalt, sowohl als metallische Nanopartikel als auch in der Form eines löslichen Salzes eingesetzt. Nach 48 Stunden zeigte Nanosilber im Vergleich zu den anderen Metallen die höchste Toxizität, bei Daphnien bereits in einem Konzentrationsbereich von 40 Mikrogramm pro Liter ( $\mu\text{g/l}$ ). Zum Vergleich eingesetztes Titandioxid in der Nanoform zeigte in keinem Fall toxische Wirkungen. Daphnien, die ihre Nahrung aus dem Wasser filtrieren, erwiesen sich im Vergleich zu höheren Organismen, wie etwa dem Zebrafisch, als besonders empfindlich. Für Forellen wurden in chronischen Tests Effekte bei Konzentrationen von 90–170  $\text{ng/l}$  festgestellt.<sup>95</sup>

Die Aufnahme, Verteilung und Entwicklung von Nanosilberpartikeln wurde an Embryonen von Zebrafarben untersucht.<sup>96</sup> Dabei konnte die Aufnahme der Nanopartikel über passive Diffusion in allen Entwicklungsstadien nachgewiesen werden. Die Aufnahme von Silbernanopartikeln führte zur Zunahme von Missbildungsraten bis hin zum Tod. In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass die Aufnahme von Nanosilber in die Zellen mit konzentrationsabhängigen Entwicklungsstörungen und Fehlbildungen des Herzens und anderer Organe, besonders in den frühen Embryonenstadien, verbunden sein kann.<sup>97</sup> Eine durch die höhere Bioverfügbarkeit gesteigerte Toxizität von Nanosilber im Vergleich zu Silberionen wird in einer weiteren Arbeit an Zebrafarben beschrieben.<sup>98</sup> Silber reichte sich stärker in den Kiemen der Fische an, wenn es in der Nanoform zugesetzt wurde. Die zum Vergleich eingesetzten Silberionen wiesen die gleiche Konzentration auf wie die vom Nanosilber freigesetzten Ionen. Untersuchungen der Aktivierung bestimmter Gene als Reaktion auf Silber in der Nanoform und Silber in der Ionenform lieferten Hinweise darauf, dass die Wirkungsmechanismen der beiden Silberformen unterschiedlich sind.

Aus der Gruppe untersuchter Wasserorganismen zeigen sich außerdem die Eier, Embryonen und Larvenstadien von Muscheln, Schnecken und Seeigeln als besonders empfindlich. Aufgrund unterschiedlicher Untersuchungsverfahren sind die Ergebnisse, die für die verschiedenen Organismen gewonnen wurden, zwar nicht unmittelbar vergleichbar, die Tests zeigen aber, dass auch bei extrem geringen Konzentrationen, schon 10 ng/l, toxische Wirkungen festgestellt werden können.<sup>99</sup> Eine Bewertung des Risikos für die untersuchten Organismen auf der Basis von Daten zur akuten Toxizität führt mit Sicherheit zu einer Unterschätzung des Risikos. Daten für chronische Belastungen liegen nur in geringem Umfang vor.

Von besonderer Bedeutung könnte auch die Wirkung von Silber auf bestimmte Bakterien sein, die eine wichtige Rolle bei der Bodenbildung spielen. Dennoch fehlen Untersuchungsergebnisse an Sediment- und Bodenorganismen in deren natürlicher Umgebung bisher weitgehend. Es wurde aber darauf hingewiesen, dass der toxische Effekt von Silber Bodenmikroorganismen beeinträchtigen und somit die Bodenbiologie und die Funktion dieser Organismen im Nährstoffkreislauf stören könnte. Silber hemmt das Wachstum von Mikroorganismen im Boden bei im Vergleich zu anderen Schwermetallen sehr niedrigen Gehalten.<sup>100</sup> Insbesondere könnte Silber schädigend auf Stickstoff umsetzende Bakterien im Boden und Grundwasser wirken.<sup>101,102</sup> Diese sind für die Denitrifikation, das heißt für die Umwandlung von im Nitrat gebundenen Stickstoff in gasförmigen Stickstoff – etwa nach zu hohem Düngereintrag – von Bedeutung. Durch Nanosilber könnte der natürliche Stickstoffhaushalt beeinträchtigt werden, was vor allem im Grund- und Oberflächenwasser zu einem zu hohen Nährstoffangebot (Eutrophierung) führen würde.<sup>103</sup>

Die Auswirkungen von Nanosilber auf das Wachstum und die Anreicherungsvorgänge in Nutzpflanzen sowie die Folgen für die Nahrungskette sind nicht bekannt.<sup>104</sup>

## 4. Auswirkungen auf die Gesundheit

Das Wissen über Schadwirkungen von Nanosilber auf die menschliche Gesundheit ist sehr begrenzt. Weder gibt es aussagekräftige klinische oder epidemiologische Studien noch eine hinreichende Zahl von tierexperimentellen Daten, die auf den Menschen übertragbar wären. Die (wenigen) vorliegenden Daten machen jedoch deutlich, dass es Grund zur Besorgnis gibt.

### 4.1 Aufnahme und Verteilung im Körper

Nanosilber verhält sich anders als Silberionen. Letztere gelangen bei oraler Aufnahme in der Regel nicht in den Blutkreislauf, da sie entweder als Silberchlorid im Verdauungstrakt ausfallen oder mit Schwefelverbindungen reagieren. Auch die Reduktion von Silberionen durch Gewebestandteile und die Bildung metallischen Silbers, das sich in den Zellen in Form metallischer Silberkörner abgelagert, wurde beschrieben und kann als Schutzmechanismus verstanden werden.

Im Gegensatz dazu ist metallisches Silber in der Nanoform wesentlich besser bioverfügbar. Es kann über den Mund und die Lunge aufgenommen werden, auch die Aufnahme über die Haut ist zumindest unter bestimmten Bedingungen anzunehmen. So wurde nachgewiesen, dass Nanosilber aus Kosmetika oder anderen Produkten bei Verletzungen in die Zellen eindringen kann.<sup>105,106</sup> Modellversuche an isolierter menschlicher Haut zeigten eine Aufnahme von Nanopartikeln,<sup>107</sup> wobei unklar ist, in welchem Umfang sich dieser Befund auf die gesunde menschliche Haut übertragen lässt. Die Silberpartikel, die in den Zellen abgelagert werden, können sich außerdem im Verlaufe des Alterungsprozesses anreichern.<sup>108</sup> Bei Kleinkindern kommt der Aufnahme über den Mund noch besondere Bedeutung zu, da sie die Angewohnheit haben, an Spielzeugen zu lutschen und darüber das Material der Farben und Oberflächenbeschichtungen aufzunehmen. Mögliche gesundheitliche Auswirkungen sind besonders problematisch, da Kinder in der Regel sehr viel empfindlicher auf Fremdstoffe reagieren als Erwachsene.

Sprays beinhalten insofern Risiken, weil die Sprühnebel eingeatmet werden und das lungengängige Nanosilber über die Lunge in den Blutkreislauf und darüber in den gesamten Organismus gelangen kann. Die möglichen gesundheitlichen Schäden sind zurzeit nicht vorhersehbar. In Versuchen mit Ratten wurde Nanosilber über die Atmung aufgenommen und verteil-

te sich nach einer einmaligen, sechsstündigen Inhalationsphase im gesamten Körper. Innerhalb von Tagen nahmen die Konzentrationen allerdings deutlich ab.<sup>109</sup>

Das wichtigste Problem ist jedoch, dass Nanosilber einer bestimmten Größenordnung biologische Membranen und somit auch Zell- und Organgrenzen passieren kann. Es gelangt so in den Blutkreislauf und kann damit prinzipiell sämtliche Organe des Organismus, einschließlich Gehirn, Herz, Leber, Nieren, Milz, Knochenmark und Nervengewebe, erreichen.<sup>110</sup> In einer aktuellen Studie an Mäusen wurde gezeigt, dass Titan-dioxid-Nanopartikel über die Plazenta von der Mutter auf den Embryo übertragen werden und dort Störungen des Genital- und des Nervensystems hervorrufen können.<sup>111</sup> Es gibt keinen Grund zur Annahme, dass dies bei Nanosilber nicht genauso der Fall sein könnte. Auch für die Passage von Nanopartikeln über die Blut-Gehirn-Schranke bei Ratten liegen Hinweise vor.<sup>112</sup> Weiter wurde beschrieben, dass „ultrafeine Partikel“ über die Nasenschleimhaut und von dort abführenden Nervenstrukturen in das Gehirn gelangen können.<sup>113</sup>

### 4.2 Hinweise auf schädliche Wirkungen

Es liegen einige Untersuchungen an Zellkulturen vor, deren Bedeutung hinsichtlich der gesundheitsschädigenden Wirkungen von Nanosilber jedoch schwer einzuschätzen ist. Menschlichen Hautzellen in Kultur wurde Nanosilber (7 bis 20 nm) zugesetzt. Bei höheren Konzentrationen zeigten sich Änderungen der Zellstruktur und der Zellgröße.<sup>114</sup> Nanosilber zeigte außerdem toxische Wirkungen auf bestimmte Rattenleberzellen.<sup>115</sup> Die Funktion der Mitochondrien (Energiekraftwerke der Zellen) war beeinträchtigt und ein Anstieg des Enzyms Laktatdehydrogenase (LDH) war nach Exposition in höheren Konzentrationen festzustellen, was als Anzeichen für Zelltod gilt. Auch bei Nervenzellen<sup>116</sup> und Stammzellen von Mäusen<sup>117</sup> zeigte Nanosilber toxische Wirkungen. Bei faserartigen Bindegewebszellen (Fibroblasten) bewirkte die Behandlung mit Nanosilber biochemische Folgereaktionen, an denen auch Prozesse des sogenannten „programmierten Zelltods“ (Apoptose) beteiligt waren.<sup>118</sup> In Gegenwart von Makrophagen (Fresszellen, gehören zu den weißen Blutkörperchen) wurde für Nanosilber bestimmter Partikelgrößen (15 und 30 nm) die Entstehung oxidativen Stresses nachgewiesen.<sup>119</sup>

Einige Untersuchungen haben nachgewiesen, dass Nanosilber die biologische Aktivität bakterieller Erbsubstanz (DNS) schädigen kann.<sup>120,121</sup> Die toxische Wirkung von Nanosilber auf das Erbgut wurde außerdem an Chromosomen von Pflanzenzellen aus Zwiebelwurzelgewebe untersucht. Es zeigte sich eine statistisch signifikante Häufung verschiedener Chromosomenveränderungen und eine verringerte Zellteilungsrate, in Abhängigkeit von der Konzentration des Nanosilbers. Auch wenn die Ergebnisse an pflanzlichen Zellen nicht ohne Weiteres auf Tierzellen übertragbar sind, folgern die Autoren, dass Nanosilber eine potenzielle Gefährdung des genetischen Materials darstellt und der Einsatz von Nanosilber in konsumentennahen Produkten weitergehende toxikologische Untersuchungen erfordert, um die Sicherheit zu bewerten<sup>122</sup>.

In den Zellen höherer Organismen sind möglicherweise die Reaktionen des Silbers mit schwefelhaltigen Molekülen der Zelle von vorrangiger Bedeutung. So enthalten viele Proteine, wie zum Beispiel Enzyme, für ihre Funktion wichtige Schwefelgruppen (SH-Gruppen). Eine Reaktion dieser Schwefelgruppen mit Silber führt zu Silbermercaptiden, oft verbunden mit dem Verlust der biologischen Funktion des Proteins. Die Entstehung der Mercaptide ist praktisch irreversibel.

In einer Studie an Ratten wurde über 28 Tage Nanosilber in verschiedenen Dosen über die Nahrung verabreicht. Bei höheren Dosen von Nanosilber wurden erhöhte Werte bestimmter Enzyme und des Cholesterins gemessen. Außerdem wurden Wucherungen im Gallengang beschrieben. In allen untersuchten Organen war die Silberkonzentration dosisabhängig erhöht.<sup>123</sup> Auch die inhalative Exposition von Ratten mit Nanosilber (über die Umgebungsluft) zeigte in einer 28-Tage-Studie dosierungsabhängig einen Anstieg der Calciumwerte und eine erhöhte Silberkonzentration in verschiedenen Organen. In der Lunge war auch bei einer mittleren Dosierung der Silbergehalt erhöht. In einer weiteren Studie wurden mit Entzündungsprozessen einhergehende Lungenschäden festgestellt, die bei Anwendung von Nanosilber bei deutlich geringeren Konzentrationen im Vergleich zu größeren Silberpartikeln auftraten.

Als direkte Auswirkung auf den Menschen wird häufig die sogenannte Agryria beschrieben, eine graue bis blaugraue Verfärbung der Haut nach Aufnahme größerer Silbermengen in

Form kolloidalen Silbers. Dies wurde außerdem mit neurologischen Problemen, Nierenschäden und Hautirritationen in Verbindung gebracht. In welchem Umfang es sich hier um elementares Silber in der Nanoform handelt, ist nicht bekannt.

In einer klinischen Studie wurde die Wirkung von Wundauflagen und Bandagen, die Nanosilber enthalten, beschrieben. Bei einer größeren Brandverletzung wurden neben dem Nachweis einer Aufnahme durch die Haut Leberschäden und eine Graufärbung des Gesichts festgestellt, ähnlich den Symptomen einer Agryria<sup>124</sup>, die Plasma- und Urinkonzentrationen des Patienten waren deutlich erhöht. Nach Entfernung des Verbandes gingen die klinischen Symptome innerhalb von zehn Monaten zurück.

#### 4.3 Bildung von Resistenzen

Die überwiegende Mehrzahl der Anwendungen von Nanosilber stellt die bioziden und insbesondere antibakteriellen Wirkungen des Silbers in den Vordergrund. Die häufig propagierte Behauptung, (Nano-)Silber sei eine Alternative zu konventionellen Antibiotika und ein Mittel, um die fortschreitende Entstehung resistenter Bakterienstämme zu verhindern, ist jedoch kaum belegt. Im Gegenteil zeigen zahlreiche Studien, dass Bakterien gegen Silber resistent werden können.<sup>125,126</sup> Darüber hinaus gibt es sogar Hinweise, dass Silber selektive Anpassungsprozesse von Mikroorganismen provoziert und somit zu Resistenzbildungen beiträgt.<sup>127</sup> Dabei ist es nicht nur die Resistenzbildung gegen Silber selbst, die als mögliche Folge des massenhaften Einsatzes von (Nano-)Silber verstärkt zu befürchten ist. Vielmehr ist anzunehmen, dass gleichzeitig mit einer Resistenz gegen Silber auch die Wirksamkeit zahlreicher klinisch wichtiger Antibiotika verloren geht, die über ähnliche Mechanismen auf Mikroorganismen wirken wie Silber. Damit würden nicht nur die medizinisch wichtigen Anwendungen des Silbers selbst, sondern auch die anderer Antibiotika entwertet. Die Resistenz kann auch unter Laborbedingungen hervorgerufen werden und lässt sich leicht in Bakterien entwickeln, die bereits resistent gegen Antibiotika sind. Literaturauswertungen weisen auf die lückenhaften Kenntnisse der Mechanismen hin und sehen im großflächigen Einsatz von Silber eine wachsende Gefahr unvorhersehbarer und möglicherweise problematischer Resistenzen.<sup>128, 129,</sup>

## 5. Kleine Teilchen außer Kontrolle?

Bislang gibt es keine Gesetze, die den Umgang mit den besonderen Eigenschaften von Nanomaterialien klar regeln. Auch fehlt die Verpflichtung, Produkte, die Nanomaterialien beinhalten, als solche zu kennzeichnen. Damit wird den VerbraucherInnen die Möglichkeit genommen, selbst zu entscheiden, ob sie Produkte mit Nanomaterialien kaufen möchten oder nicht. Da es keine Kennzeichnungs- oder Meldepflicht gibt, haben selbst die für die Risikobewertung zuständigen Behörden in der Regel keinen Überblick darüber, welche Produkte mit Nanomaterialien bereits auf dem Markt sind. Allerdings ist in den letzten Monaten einige Bewegung in die Diskussion um eine Regulierung der Nanotechnologie gekommen. Das Europäische Parlament hat sich in mehreren Abstimmungen im Frühjahr 2009 für eine Überarbeitung bestehender Gesetze ausgesprochen, um den Umgang mit Nanomaterialien besser zu kontrollieren.

### 5.1 Gesetzgebung in der Europäischen Union

In der EU werden die meisten Stoffe durch die neue Chemikalienverordnung **REACH** ((EG)1907/2006) abgedeckt. REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) steht für Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien. Auch Silber fällt prinzipiell unter diese Verordnung, sofern seine konkrete Verwendung nicht durch andere Gesetzgebungen abgedeckt wird. Letzteres dürfte jedoch bei vielen Anwendungsbereichen von Nanosilber der Fall sein und betrifft insbesondere den Einsatz in den unten beschriebenen Anwendungsbereichen. Für dort nicht genannte Fälle dürften jedoch die Bestimmungen in REACH entscheidend sein.

Unter **REACH** müssen alle Stoffe, die in einer Menge von mehr als einer Tonne pro Jahr und Hersteller produziert werden, registriert werden. Abhängig von der Produktionsmenge muss der Hersteller einen Mindestdatensatz vorlegen. Die Beweislast für die Sicherheit des Stoffes liegt damit beim Hersteller. Das gilt prinzipiell auch für Nanomaterialien, wenn sie zusammen mit ihrer Makroform die Mindestmenge von einer Tonne überschreiten. REACH unterscheidet nicht zwischen Nano- und Makroform eines Stoffes, allerdings muss die Sicherheit für die spezielle Verwendung eines Stoffes unter REACH nachgewiesen werden. Hierüber könnten Nanomaterialien theoretisch eigenen Tests unterzogen werden. Allerdings ist nicht klar, wie dies

praktisch geschehen soll, denn es gibt in REACH keine klaren Regeln, wann dies geschehen muss und es werden keine nanospezifische Testverfahren benannt und vorgeschrieben. Im Rahmen eines REACH-Umsetzungsprojekts sollen diese Fragen nun geklärt werden. Das EU-Parlament hat sich außerdem im April 2009 mit überwältigender Mehrheit für eine Überarbeitung von REACH und anderer Gesetze ausgesprochen, um die spezifischen Risiken von Nanomaterialien angemessen berücksichtigen zu können. Noch ist unklar, wie die Kommission darauf reagieren wird.

Aufgrund seiner antimikrobiellen Wirkung dürfte ein Großteil der Anwendungsbereiche von Nanosilber unter die **Biozidrichtlinie** (Richtlinie 98/8/EWG) fallen. Als Biozide gelten danach Wirkstoffe, die außerhalb des Pflanzenschutzes (Landwirtschaft, Gärten, Forstwirtschaft) zur Bekämpfung von Schadorganismen aller Art eingesetzt werden. Die Biozidrichtlinie sieht vor, dass nur solche Wirkstoffe in einem Biozid-Produkt verwendet werden dürfen, die zuvor von der EU geprüft und zugelassen worden sind. Zusätzlich müssen die Unternehmen für jedes Produkt eine Zulassung in dem EU-Mitgliedstaat beantragen, in dem sie das Produkt vermarkten möchten. Zulassungen erfolgen dabei maximal für zehn Jahre, dann muss neu geprüft werden. Auf der Verpackung muss die Registrierungsnummer deutlich sichtbar sein und es müssen klare Angaben zur sicheren Anwendung des Produkts gemacht werden. Da Silber im Sinne der Biozidrichtlinie als Altstoff gilt, dürften diese Bestimmungen für Silber jedoch erst in einigen Jahren in vollem Umfang greifen. Altstoffe werden zunächst durch die EU nachgeprüft, und dürfen, bis eine Entscheidung gefallen ist, weiter vermarktet werden, sofern ihre Verwendung den zuständigen Behörden gemeldet wurde. Ursprünglich sollte diese Übergangsphase 2010 auslaufen. Da das Prüfprogramm der EU für die Altstoffe bisher jedoch langsamer läuft als geplant, wurde diese Frist bis 2014 verlängert. Aber auch danach ist nicht klar, ob die Gefahren, die von Produkten mit Nanosilber ausgehen können, abgedeckt werden. Denn auch die Biozidrichtlinie macht bisher keine Unterscheidung, ob ein Stoff in Nanoform eingesetzt wird oder in einer grobpartikulären Form. Eine eigenständige Prüfung und Bewertung von Nanosilber gäbe es also nicht. Aktuell befasst sich die EU-Kommission mit einer Überarbeitung der Biozidrichtlinie. Der erste Entwurf der Kommission sieht noch keine spezifischen Bestimmungen für den

Umgang mit nanoskaligen Wirkstoffen vor. Allerdings gehört die Biozidgesetzgebung zu den Bereichen, für die das Parlament im April 2009 eine Anpassung unter Berücksichtigung der Risiken von Nanomaterialien gefordert hatte. Es ist also möglich, dass im Zuge der kommenden Verhandlungen um ein neues Biozidgesetz noch spezifische Vorgaben für Nanomaterialien eingearbeitet werden.

Soll ein Wirkstoff in **Pestiziden** verwendet werden, also in chemischen Produktbereitstellungen, die zur Bekämpfung von Schadorganismen in der Landwirtschaft dienen, so muss er in der EU im Rahmen der Pestizidgesetzgebung zugelassen werden. Eine Unterscheidung zwischen Nano- und Makroformen eines Stoffes wird dabei nicht gemacht. Silber ist bislang in der EU nicht als Pestizid-Wirkstoff zugelassen, somit wäre auch Nanosilber nicht als Pestizid-Wirkstoff erlaubt. Ein gesetzliches Schlupfloch ist aber die Vermarktung als **Pflanzenstärkungsmittel**. Zwar müssen auch diese einer nationalen Behörde gemeldet werden, in Deutschland dem Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL). Dabei findet jedoch keine Prüfung statt: weder der Wirksamkeit noch der Folgen für Mensch und Umwelt. Tatsächlich befinden sich „Pflanzenstärkungsmittel“ mit Nanosilber auf dem EU-Markt. Auch in Deutschland wird ein solches Produkt angeboten, das beim BVL als Pflanzenstärkungsmittel geführt wird. Der Hersteller bewirbt dessen Einsatz für Blumen und Gemüsepflanzen und verweist dabei auf die „bakterizide, algizide und fungizide“ Wirkung. Ferner verweist er auf positive Erfahrungen, die Kunden angeblich in zweckfremden Anwendungsbereichen gemacht haben, wie etwa der Bekämpfung von Fußpilz oder Algen in Schwimmbecken.<sup>130</sup> Die NanoKommission der Bundesregierung hat sich sehr kritisch zu diesem Produkt geäußert und in Frage gestellt, ob das Mittel nicht eigentlich im Rahmen der Pestizidgesetzgebung hätte zugelassen werden müssen.<sup>131</sup> Dennoch listet das BVL das Produkt weiter als Pflanzenstärkungsmittel.

Die Verwendung von Stoffen in Kosmetikprodukten wird in Europa bisher durch die **Kosmetikrichtlinie** (76/768/EWG) reguliert. Danach dürfen Färbemittel, Konservierungsstoffe und UV-Filter nur nach EU-Zulassung eingesetzt werden. Eine eigenständige Bewertung von Nanomaterialien gibt es dabei bisher nicht. Inhaltsstoffe mit anderen Verwendungszwecken

dürfen verwendet werden, wenn sie nicht auf der sogenannten Negativliste geführt werden, die bestimmte Stoffe von vornherein für die Verwendung in Kosmetikprodukten ausschließt. Nanosilber könnte somit prinzipiell in Kosmetikprodukten zum Einsatz kommen, wenn es nicht der Konservierung oder – was nicht besonders sinnvoll erscheint – der Färbung des Produktes oder dem UV-Schutz dient, da Silber nicht für diese Anwendungen zugelassen ist. Zurzeit wird die Kosmetikrichtlinie in eine Verordnung überführt. In der in erster Lesung vom Parlament verabschiedeten Fassung wird auch eine gesonderte Berücksichtigung von Nanomaterialien angestrebt. Danach muss die Verwendung von Nanomaterialien zukünftig der EU-Kommission gemeldet werden. Wenn die Kommission Zweifel an der Sicherheit hat, kann sie Daten von den Herstellern einfordern, die dann vom Wissenschaftlichen Ausschuss für Verbrauchersicherheit (SCCS) ausgewertet werden. Vorgesehen ist außerdem eine Kennzeichnung über den Zusatz „Nano“ im Verzeichnis der Inhaltsstoffe. Der Parlamentsbeschluss stellt damit insgesamt einen großen Fortschritt in der Regulierung von Nanomaterialien im Kosmetikbereich dar. Auch der Einsatz von Nanosilber in Kosmetika könnte damit zukünftig besser kontrolliert werden, wenn die Kommission von ihrem Recht Gebrauch machen sollte, Daten von der Industrie einzufordern. Allerdings sollen die neuen Regelungen zu Nanomaterialien erst 2012 greifen. Um Gültigkeit zu erlangen, bedarf der Parlamentsbeschluss zunächst noch einer Zustimmung durch den EU-Rat, die aber in dieser Frage als Formsache gilt, da es sich bei der vom Parlament verabschiedeten Fassung bereits um einen vorher ausgehandelten Kompromiss zwischen Rat, Kommission und Parlament handelt.

Die **EU-Verordnung zu Lebensmittelkontaktmaterialien** ((EG) 1935/2004) deckt alle Materialien ab, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Kontakt zu kommen. Hierbei wird der spezielle Fall von Verpackungen, die gezielt Stoffe an das Lebensmittel abgeben (sogenannte aktive Verpackungen), berücksichtigt. Die Verordnung verlangt, dass aktive Verpackungen der Richtlinie über Lebensmittelzusatzstoffe (89/107/EWG) entsprechen müssen. Silber ist im Rahmen der Zusatzstofferrichtlinie nicht als Konservierungsmittel zugelassen. Dies gilt auch für Nanosilber, da Nanomaterialien entsprechend der Richtlinie nicht gesondert bewertet werden müssen. Wenn Lebensmittelkontaktmaterialien damit beworben werden, dass sie durch die

Verwendung von Nanosilber die Haltbarkeit der Lebensmittel verlängern, ist somit fraglich, ob sie der EU-Verordnung zu Lebensmittelkontaktmaterialien entsprechen. Es ist den zuständigen Behörden für Lebensmittelüberwachung jedoch nur möglich, solche Produkte aus dem Verkehr zu ziehen, bei denen tatsächlich eine antimikrobielle Wirkung nachgewiesen werden kann. Ist dies nicht der Fall, liegt andererseits der Verdacht der Verbrauchertäuschung vor – auch dies wäre ein Rechtsverstoß. Eigentlich sollte beides Anlass genug für die zuständigen Behörden sein, die auf dem Markt befindlichen Lebensmittelkontaktmaterialien, die mit einer konservierenden Wirkung von Nanosilber auf die darin aufbewahrten Lebensmittel werben, genauer unter die Lupe zu nehmen. Zusätzlich zu der Verordnung ((EG) 1935/2004) gibt es die europäische Richtlinie 2002/72/EG über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen.<sup>132</sup> Im Rahmen dieser Richtlinie wird aktuell an einer Positivliste gearbeitet, die im Januar 2010 Gültigkeit erlangen soll. Danach sind nur noch solche Zusätze in Kunststoffen für den Lebensmittelkontakt erlaubt, die auf der Positivliste stehen. Eine Zulassung von elementarem Silber ist nach der vorläufigen Liste nicht vorgesehen.<sup>133</sup> Damit müssten Kunststoffverpackungen mit Nanosilber-Beschichtung eigentlich ab 2010 vom EU-Markt verschwinden.

**Nahrungsergänzungsmittel** sind durch die EU-Richtlinie 2002/46/EG und die deutsche Verordnung über Nahrungsergänzungsmittel geregelt. Das Inverkehrbringen von Nahrungsergänzungsmitteln ist anzeigepflichtig, Behörden prüfen stichprobenartig, ob die gemeldeten Produkte den gesetzlichen Vorgaben entsprechen. Da sie rechtlich gesehen als Lebensmittel gelten, finden zudem die Bestimmungen des Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuchs Anwendung. Nur bestimmte Vitamine und Mineralien sind als Nährstoffe in Nahrungsergänzungsmitteln erlaubt. Andere Stoffe, die nicht als Nährstoffe im Sinne des Gesetzes gelten, können verwendet werden, sofern es sich nicht um Arzneistoffe, verbotene beziehungsweise nicht zugelassene Zutaten oder neuartige Lebensmittel im Sinne der Novel-Food-Verordnung handelt. Die Novel-Food-Verordnung befindet sich derzeit in Überarbeitung. Zukünftig sollen Nanomaterialien eindeutig unter die Verordnung fallen, um die Details wird jedoch noch zwischen Rat, Parlament und Kommission gerungen. Bei Nahrungsergän-

zungsmitteln wäre außerdem fraglich, ob kolloidales Silber nicht als Arzneistoff betrachtet werden müsste. Nahrungsergänzungsmittel dürfen keinen therapeutischen Zweck erfüllen, Silber scheint hier aber gerade wegen seiner antimikrobiellen Breitbandwirkung eingesetzt zu werden.

Die Verwendung von Nanosilber in **Medizinprodukten** (also zum Beispiel in Wundpflastern oder Blutbeuteln) fällt unter die EU-Richtlinie über Medizinprodukte (93/42/EWG). Um in den Verkehr gebracht werden zu dürfen, müssen Medizinprodukte den allgemeinen Bestimmungen in Anhang 1 der Richtlinie entsprechen. Danach muss bei ihrer Herstellung darauf geachtet werden, dass toxische Materialien soweit möglich vermieden werden, wobei der medizinische Nutzen im Zweifelsfall das Risiko übersteigen muss. Ein Zulassungsverfahren für antimikrobielle Wirkstoffe in Medizinprodukten gibt es jedoch nicht. Bei Produkten, bei denen allgemein von einem geringen Risiko für den Patienten ausgegangen wird (Klasse I, hierzu zählen zum Beispiel Verbandmaterialien), erfolgt die Bewertung des Risikos durch den Hersteller. Bei Produkten der Klassen II und III, bei denen ein höheres Risiko möglich erscheint, erfolgt zusätzlich eine Bewertung durch eine von staatlicher Seite benannte Stelle. Im April 2006 hat die schwedische Regierung die Initiative ergriffen, auf den Verkauf von Wundpflastern, die Silber enthalten, zu verzichten.<sup>134</sup> Damit soll erreicht werden, dass der keimtötende Einsatz von Silber nur dort erfolgt, wo er aus medizinischen Gründen notwendig ist und wo andere Antibiotika keine Wirkung zeigen.

## 5.2 Gesetzgebung in anderen Teilen der Welt

Nicht nur in Europa, auch in anderen Teilen der Welt gibt es noch große Lücken in der Regulierung von Silber und insbesondere von Nanosilber. Im Zusammenhang mit Nanosilber ist insbesondere der Vergleich mit den USA interessant.

Die US-amerikanische Umweltbehörde EPA hat Silber in Oberflächengewässern als „priority pollutant“, also als vorrangig zu betrachtenden Schadstoff eingestuft, dessen Einleitung in Gewässer gesetzlich geregelt sein muss.<sup>135</sup> Diese Regelung ist nicht spezifisch für Nanosilber, schließt dieses jedoch ein. Sofern Produkte als antimikrobiell beworben werden, gelten sie in den USA als Pestizid und dürfen nur nach Genehmigung der

EPA auf den Markt gebracht werden. Dies schließt prinzipiell auch Produkte mit Nanosilber ein. So stellte die EPA im Herbst 2007 klar, dass sie Waschmaschinen, die gezielt Silberionen zur Desinfektion der Wäsche abgeben, vor der Vermarktung erst zulassen müsse. Eine Firma, die eine mit Nanosilber beschichtete Tastatur mit der Aussage vermarktete, dass diese antibakterielle Eigenschaften besäße, belegte die EPA mit einer Geldstrafe von 200.000 US-Dollar.<sup>136</sup> Die Firma sei verpflichtet, diese Tastatur im Rahmen der gesetzlichen Regelungen zum Pestizideinsatz (Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act – FIFRA) zu registrieren, was nicht geschehen war.<sup>137</sup> Allerdings gelten diese nicht für Produkte, bei denen die Hersteller auf den Verweis auf die antibakterielle Wirkung verzichten. Diese können ohne Registrierung vertrieben werden.

Eine breite Koalition von Umwelt- und Verbraucherverbänden unter Federführung des International Center for Technology Assessment (ICTA), an der auch der amerikanische Partnerverband des BUND, Friends of the Earth USA, beteiligt war, legte der EPA 2008 eine umfangreiche Petition für eine strenge Regulierung von Nanosilber vor.<sup>138</sup> Danach müssten Nanosilber-Anwendungen grundsätzlich als Pestizide unter Vorlage einer nanospezifischen Risikobewertung bei der EPA registriert werden. Die EPA würde dann das Risiko für die Umwelt abwägen, bevor gegebenenfalls eine Zulassung erteilt werden würde. Die Petition verlangt außerdem, alle bisher auf dem Markt befindlichen Nanosilberprodukte zurückzurufen, solange keine Genehmigung als Pestizidanwendung vorliegt. Im Herbst 2008 startete die EPA eine öffentliche Anhörung zur Petition, in deren Rahmen über 15.000 unterstützende Kommentare eingereicht wurden. Noch wurde nicht über die Petition entschieden, es gibt jedoch Anzeichen dafür, dass die EPA ihr zumindest teilweise nachkommen dürfte. Dies wäre der erste Schritt zur gesetzlichen Regulierung von Nanomaterialien in den USA!

## 6. Schlussfolgerungen

### 6.1 Bewertung

Nanosilber dürfte die bekannten Schadwirkungen von Silber in der Umwelt und im menschlichen Organismus deutlich übertreffen. Nanopartikel sind wesentlich leichter bioverfügbar als andere Silberformen. Sie können Zellmembranen passieren und sich beim Menschen über das Blut- und Lymphsystem im gesamten Organismus ausbreiten. Es ist davon auszugehen, dass Nanosilber auch die Fähigkeit besitzt, sowohl die Blut-Hirn-Schranke als auch die Plazenta zu passieren. Nanopartikel können in den Zellen von Organismen wie ein Silberdepot wirken, das kontinuierlich toxische Silberionen freisetzt. Insgesamt sind Gefährdungen von Umwelt und Gesundheit aufgrund der unzureichenden Untersuchungsdaten unkalkulierbar.

Drei Bereiche lassen in besonderem Maße gesundheitliche Risiken erwarten:

1. Besondere Vorsicht ist für alle Anwendungen geboten, die mit einer offenen Freisetzung von Nanosilber in die Luft verbunden sind. Es ist anzunehmen, dass Nanopartikel beim Einatmen zu einem großen Teil vom Körper aufgenommen werden.
2. Bei Kontakt mit Lebensmitteln ist aufgrund der möglichen Aufnahme von Nanopartikeln zusammen mit dem Lebensmittel ein besonderes Risiko gegeben. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) rät aus diesem Grund ausdrücklich von der Verwendung von Nanomaterialien in Materialien und Gegenständen für den Lebensmittelkontakt ab, solange noch keine Risikobewertung erfolgen kann – was bei der derzeitigen Datenlage nicht möglich ist.<sup>139</sup>
3. Grundsätzlich sind Kinder den Risiken durch chemische Stoffe stärker ausgesetzt, da sie in der Regel sehr viel empfindlicher als Erwachsene reagieren. Im äußerst sensiblen Bereich Kinderspielzeug und insbesondere bei Produkten, die von Kindern in den Mund genommen werden, sollte die Anwendung von Silber verboten werden.

Risikobewertungen konnten aufgrund der zahlreichen ungeklärten Fragen bisher weder für die Aufnahme über Nahrung und Trinkwasser (oral) noch für die Aufnahme über die Haut (dermal) oder für die Aufnahme über die Atmung (inhalativ) erstellt werden. Hinsichtlich der oralen Aufnahme sah sich zum Beispiel die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) auf der Basis der zur Verfügung stehenden Informatio-

nen außer Stande, die Sicherheit von kolloidalem Silber für Ernährungszwecke (Nahrungsergänzungsmittel) zu beurteilen. Die toxikologischen Daten seien nicht hinreichend, um eine Gefährdungsabschätzung vorzunehmen.<sup>140</sup> Auch das BfR sieht sich, etwa im Fall von Nanosilberfolien und Behältnissen für Lebensmittel, derzeit nicht in der Lage, Aussagen zu möglichen Risiken von Nanosilber zu machen, da zu große Wissenslücken bestehen.<sup>141</sup> Die inhalative Aufnahme von Nanosilber spielt vor allem bei Sprays eine Rolle. Die NanoKommission der Bundesregierung kam zu dem Schluss, dass weder hinsichtlich der gesundheitlichen Bewertung noch der Umweltgefährdung eines Pflanzenstärkungs-Sprays konkrete Aussagen gemacht werden können.<sup>142</sup> Schließlich ist auch für eine dermale Aufnahme eine Risikobewertung aufgrund zahlreicher offener Fragen bisher nicht möglich.

### 6.2 Angst vor Keimen

Die meisten (nano-)silberhaltigen Produkte werden ausdrücklich mit den bioziden, antibakteriellen oder antibiotischen Eigenschaften des Silbers beworben. Überwiegend ist damit eine Irreführung der VerbraucherInnen verbunden, denn die Vorstellung, dass in Alltagsumgebungen benutzte Geräte, Arbeitsflächen und Textilien tatsächlich keimfrei werden und dauerhaft bleiben könnten, ist reine Illusion. Vielmehr ist zu erwarten, dass Silber, wie auch andere keimtötende oder keimhemmende Stoffe, einen Teil der vorhandenen Mikroorganismen abtötet oder deren Wachstum vermindert, was mit einem Wachstumsvorteil für weniger empfindliche oder sogar resistente Mikroorganismen verbunden sein kann.

Auch entspringt die Motivation für den Einsatz dieser Mittel eher einer unbegründeten Angst vor Mikroorganismen als nachvollziehbaren gesundheitlichen Gründen. Weder reduziert eine „keimarme“ Umgebung die Häufigkeit von Infektionskrankheiten, noch lassen sich Hinweise auf positive Effekte etwa auf die Gesundheit von Kindern feststellen. Das Gegenteil ist der Fall: Eine natürliche und im Gleichgewicht befindliche Umgebung enthält in der Regel eine Vielzahl verschiedener Mikroorganismen. Kinder, die damit regelmäßig in Berührung kommen, entwickeln ein stärkeres Immunsystem. Die Häufigkeit von Allergieauslösung scheint in Haushalten größer zu sein, die versuchen, keimarme Wohnräume zu schaffen. Dies dürfte auch bei Silber nicht anders sein.

Die Gefahr einer erhöhten Resistenzbildung gegenüber Silber und anderen antibiotisch wirkenden Stoffen wird durch den unkritischen und unnötigen Einsatz in Massenprodukten erhöht. Während die Anwendung von Silber im medizinischen Bereich sehr wertvoll ist, weil es ein Breitbandantibiotikum mit hoher Wirksamkeit auch gegen viele Bakterien mit Mehrfachresistenzen gegen andere Antibiotika ist, kann die massenhafte Anwendung von Nanosilber zu silberresistenten Keimen führen und entwertet damit den medizinischen Nutzen des Silbers. Alle Anwendungen, bei denen eine antimikrobielle Wirkung nicht notwendig ist oder bei denen durch einfache Alternativen ein hinreichend hygienischer Zustand erreicht werden kann, sind vor dem Hintergrund einer möglichen Resistenzbildung als fragwürdig zu bezeichnen. Auch verschiedene wissenschaftliche Gremien haben sich aus den genannten Gründen deutlich gegen die breitflächige Anwendung von Nanosilber ausgesprochen.<sup>143</sup>

Der BUND lehnt Ausrüstungen von Alltagsprodukten wie Kühlschränken und andere Geräten mit bioziden Stoffen grundsätzlich ab. Dies gilt auch für Silber, unabhängig davon, ob in Nanoform oder als Makrosilber. Lediglich Anwendungen, für die eine medizinische Notwendigkeit gegeben ist, sollten zulässig sein.

### 6.3. Konsequenzen

Solange gravierende Unsicherheiten und Wissenslücken bei der Bewertung des Gefährdungspotenzials von Nanosilber gegenüber Umwelt und Gesundheit bestehen und der massenhafte und zunehmende Einsatz mit zahlreichen, zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht abschätzbaren Risiken verbunden ist, bleibt der Einsatz von Nanosilber in verbrauchernahen Produkten abzulehnen und ein Vermarktungsstopp für Nanosilber in Alltagsprodukten notwendig. Der BUND sieht den Einsatz dieser Produkte als unverantwortlich an, solange die Risiken ungeklärt sind und die Notwendigkeit des Einsatzes nicht gegeben ist.

#### 6.3.1 Forschungsbedarf

Wissenschaftliche Untersuchungen machen deutlich, dass die Schadwirkung des Nanosilbers aufgrund einer gesteigerten Bioverfügbarkeit deutlich größer sein kann als diejenige der klassischen Silberformen. Vor dem Einsatz von Nanosilberprodukten sind deshalb nanospezifische Untersuchungen unabdingbar. Die Übertragung von Daten, die aus der Untersuchung von Silber in klassischer Form (Ionen, Salze) gewonnen wurden, auf Nanosilber ist nicht zulässig.

Für alle in dieser Studie dargestellten Bereiche gilt, dass die Datenlage im Hinblick auf die spezifischen neuen Eigenschaften von Nanosilber äußerst unbefriedigend ist. Dies betrifft insbesondere:

- die Mobilität und Verteilung von Nanosilber in der Umwelt, dessen Mobilisierung und Demobilisierung;
- die Belastungssituation (Exposition);
- die Schadwirkungen auf Organismen und Ökosysteme sowie das Ausmaß und die Auswirkungen der Anreicherung in der Nahrungskette;
- die Bioverfügbarkeit, Verteilung und Ablagerung im Organismus;
- die Toxizität (insbesondere chronische Wirkungen bei Niedrigdosisbelastung) unterschiedlicher Endpunkte, zum Beispiel Organtoxizität, Entwicklungsbeeinträchtigung, Erbgut- und Reproduktionstoxizität, sowie
- die Mechanismen der nanospezifischen Toxizität.

Insgesamt kann bisher das Risiko der Herstellung und Anwendung von Produkten, die Nanosilber enthalten, nicht angegeben werden. Diese Produkte dennoch auf den Markt zu bringen, ist unverantwortlich und birgt die Möglichkeit eines hohen Schadens für Umwelt und Gesundheit. Die Erfahrungen mit Stoffen wie Asbest und Holzschutzmitteln zeigen, dass eine umfassende Risikobewertung unbedingt erforderlich ist, bevor Stoffe vermarktet werden dürfen.

In Deutschland fließen bisher nur knapp vier Prozent der Fördermittel des Bundesforschungsministeriums zur Entwicklung der Nanotechnologie in Untersuchungen zur Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt.<sup>144</sup> Auch in anderen Ländern, wie den USA, werden weniger als fünf Prozent der öffentlichen Fördergelder für die Risikoforschung verwendet.<sup>145</sup> Es erstaunt deshalb nicht, dass die Fortschritte beim Einsatz von Nanosilber in Produkten wesentlich weiter gediehen sind als die Erkenntnisse

in der Risikobewertung. Eine Prioritätensetzung, in der ökonomische Interessen den Vorzug vor einem vorsorgenden Schutz von Umwelt und Gesundheit genießen, degradiert die VerbraucherInnen zu Versuchskaninchen.

### 6.3.2 Forderungen an die Bundesregierung

#### **Der BUND fordert ein Moratorium für den Einsatz von Nanosilber.**

Dieses Moratorium sollte insbesondere für Bereiche gelten, bei denen eine Exposition von Verbrauchern mit Nanosilber zu befürchten ist:

- Lebensmittelverpackungen, Materialien, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen, Sprays;
- Nahrungsergänzungsmittel (kolloidales Silber);
- Einsatzbereiche, in denen größere Mengen in die Umwelt gelangen: Wandfarben, Wasch- und Reinigungsmittel, Seifen, Spülmittel, Desinfektionsmittel im häuslichen Bereich, Agrochemikalien wie Pestizide und Pflanzenstärkungsmittel;
- Kosmetikprodukte;
- Textilien sowie
- Kinderspielzeug und andere Materialien, mit denen Kinder in Berührung kommen.

Medizinische Anwendungen sind von dieser Forderung ausgenommen, da der Nutzen der antimikrobiellen Wirkung von Nanosilber die Risiken in diesem Bereich häufig übersteigen dürfte.

Dieser Vermarktungsstopp muss so lange bestehen, bis

- wirksame nanospezifische Regelungen in Kraft sind, die mögliche Risiken hinreichend sicher ausschließen;
- Daten zur Risikobewertung vorliegen, die die Sicherheit von Nanosilber für die vorgesehenen Anwendungen belegen, und
- Produkte, die Nanosilber beinhalten, eindeutig gekennzeichnet werden, so dass VerbraucherInnen selbst entscheiden können, ob sie solche Produkte kaufen.

#### **Resistenzbildung durch unnötige Anwendungen stoppen**

Grundsätzlich sollte auf Nanosilber-Anwendungen nur dann zurückgegriffen werden, wenn eine antimikrobielle Ausstattung unbedingt erforderlich ist. Die starke antibakterielle Wirkung von Nanosilber sollte auch zukünftig für medizinische Anwendungen zur Verfügung stehen. Die Bildung von Resisten-

zen gegen Nanosilber aufgrund einer überflüssigen Massenanwendung ist daher unbedingt zu vermeiden. Deshalb bedarf es auch im medizinischen Bereich einer sorgfältigen Abwägung durch das Fachpersonal, inwiefern eine antimikrobielle Anwendung im Einzelfall tatsächlich notwendig erscheint.

#### **Keine Daten – kein Markt**

Alle gesetzlichen Regelwerke, die die Anwendung von Nanosilber betreffen, müssen durch verpflichtende nanospezifische Sicherheitstests ergänzt werden. Solange keine ausreichenden Daten vorliegen, die mögliche Gefahren für die menschliche Gesundheit hinreichend sicher ausschließen und eine sichere und dem Prinzip der Vorsorge folgende Verwendung demonstrieren, darf ein Produkt nicht vermarktet werden. Die Bundesregierung sollte sicherstellen, dass die Risikobewertungen dem Vorsorgeprinzip folgen und sowohl den gesamten Lebenszyklus der entsprechenden Produkte als auch mögliche unsachgemäße Anwendungen durch VerbraucherInnen in die Bewertung einbeziehen. Es gilt der Grundsatz: keine Daten – kein Markt.

#### **Vorhandene Regelwerke nutzen**

Bislang gibt es keine Gesetze, nach denen Nanosilber oder andere Nanomaterialien gesondert bewertet werden müssten. Aber es gibt bereits heute eine Reihe von Regelwerken, in deren Rahmen die Anwendung von Silber als antimikrobieller Stoff für bestimmte Anwendungen untersagt werden könnte – dies gilt zum Beispiel für das genannte Pflanzenstärkungsmittel sowie die Vermarktung von Nahrungsergänzungsmitteln und aktiven Lebensmittelverpackungen. Hier sind die Behörden aufgefordert, von ihren Möglichkeiten Gebrauch zu machen und derartige Produkte im Sinne eines vorbeugenden Verbraucherschutzes aus dem Verkehr zu ziehen.

#### **Melde- und Kennzeichnungspflicht schaffen**

VerbraucherInnen und Behörden müssen die Möglichkeit haben, Produkte, die Nanosilber und andere Nanomaterialien enthalten, zu erkennen. Die Verwendung von Nanomaterialien sollte daher grundsätzlich einer Bundesbehörde gemeldet werden müssen. Außerdem müssen ausreichend Informationen zu möglichen Gefahren für Mensch und Umwelt zur Verfügung gestellt werden. Die dabei ermittelten Daten müssen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Bei verbrauchernahen und umweltoffenen Anwendungen muss die Verwendung

von Nanomaterialien außerdem auf Produktverpackungen oder Geräten deutlich zu erkennen sein.

#### **Untersuchungsbedarf und Datentransparenz**

Für alle in dieser Studie dargestellten Bereiche gilt, dass die Datenlage im Hinblick auf die spezifischen neuen Eigenschaften von Nanosilber äußerst unbefriedigend ist. Der Staat muss daher dringend seine Aufwendungen für die Risikoforschung erhöhen; 10 bis 15 Prozent der Forschungsausgaben sollten für eine Risikobewertung zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse müssen der Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht werden, die bei der Risikobewertung einzubeziehen ist. Die Bündelung, Aufbereitung und gezielte Bereitstellung dieser Informationen ist Aufgabe der Behörden.

#### **6.3.3 Erwartungen an Hersteller und Handel**

##### **Verkauf einstellen**

Produzenten und Handel müssen ihrer Verpflichtung nachkommen, nur Produkte auf den Markt zu bringen, die weder für die menschliche Gesundheit noch für die Umwelt gefährlich sein können. Der Verkauf von Produkten, die Nanosilber enthalten, muss außerhalb des medizinischen Bereichs eingestellt werden, solange Risiken für die Gesundheit der VerbraucherInnen und die Umwelt nicht hinreichend sicher ausgeschlossen werden können. Um die Bildung von Resistenzen gegen Nanosilber zu vermeiden, sollte auf die Anwendung von Nanosilber in Alltagsprodukten, die keine antimikrobielle Ausstattung erfordern, zukünftig generell verzichtet werden.

##### **Wahlfreiheit der VerbraucherInnen ermöglichen**

Hersteller und Handel müssen dafür Sorge tragen (notfalls aufgrund rechtlicher Bestimmungen), dass Produkte, die Nanosilber enthalten, durch eine Produktkennzeichnung für die VerbraucherInnen klar und einfach zu erkennen sind.

##### **Transparenz schaffen**

Alle für die Sicherheitsbeurteilung relevanten Daten, einschließlich der angewandten Methoden sowie der Begründungen und Ergebnisse der Risikobewertung, müssen für die Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Der Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland e.V. setzt sich für die Beachtung des Vorsorgeprinzips ein: Auch dort, wo die Risiken für Umwelt und Gesundheit noch nicht abschließend geklärt sind, muss die Bevölkerung vor den Auswirkungen neuer chemischer Stoffe und neuer Technologien hinreichend geschützt werden.

#### **6.4 Empfehlungen für VerbraucherInnen**

##### **Bitten Sie die Politik um konsequenten Schutz**

Schreiben Sie an den Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz oder an die VerbraucherschutzministerInnen in Ihrem Bundesland. Fordern Sie einen Stopp der Verwendung von Nanosilber außerhalb des medizinischen Bereichs, solange keine ausreichenden Daten über die Sicherheit der Produkte vorliegen, keine nanospezifischen Regelungen in Kraft sind und keine Wahlfreiheit für VerbraucherInnen gewährleistet ist. Verlangen Sie eine nanospezifische Sicherheits- und Risikobewertung der Produkte, bevor sie auf den Markt kommen, und fordern Sie eine Kennzeichnung der Produkte. Bestehen Sie außerdem darauf, dass vorhandene Gesetze stärker als bisher genutzt werden, um zweifelhafte Produkte aus dem Verkehr zu ziehen.

##### **Konfrontieren Sie die Industrie mit Ihrer Meinung**

Wenden Sie sich an Hersteller und Händler von Produkten, die Nanosilber enthalten. Machen Sie deutlich, dass Sie unter den derzeitigen Bedingungen Produkte mit Nanosilber ablehnen. Fordern Sie, dass Nanoprodukte eindeutig als solche gekennzeichnet werden.

##### **Setzen Sie Ihre Marktmacht ein**

Verzichten Sie auf den Kauf von Produkten, die mit Nanosilber werben. Überlegen Sie auch bei anderen Produkten, die mit einer antimikrobiellen Wirkung werben, genau, ob sie diese benötigen. Im Haushaltsbereich sind solche Produkte in aller Regel überflüssig. Eine normale, regelmäßige Reinigung bietet fast immer ausreichend Schutz vor Viren, Bakterien und Keimen. Verzichten Sie auch auf kolloidale Silberlösungen als Nahrungsergänzungsmittel – Sie könnten Ihre Gesundheit damit aufs Spiel setzen.

## 8. Literatur und Fundstellen

- 1 Kulinowski KM (2008). Environmental Impacts of Nanosilver. An ICON Back-grounder. [http://cohesion.rice.edu/centersandinst/icon/emplibrary/ICON-Back-grounder\\_NanoSilver-in-the-Environment-v4.pdf](http://cohesion.rice.edu/centersandinst/icon/emplibrary/ICON-Back-grounder_NanoSilver-in-the-Environment-v4.pdf)
- 2 Garnett MC, Kallinteri P (2006). Nanomedicines and nanotoxicology: some physiological principles. *Occupational Medicine* 56(5):307-311
- 3 Lok CN, Ho CM, Chen R, He QY, Yu WY, Sun H, Tam PK, Chiu JF, Che CM. (2007). Silver Nanoparticles: Partial oxidation and antibacterial activities. *J Biol Inorg Chem*. 12(4), 527-34
- 4 Dibrov P, Dzioba J, Gosink KK, Häse CC (2002). Chemiosmotic Mechanism of Antimicrobial Activity of Ag<sup>+</sup>, in: *Vibrio cholerae*. Antimicrob Agents Chemother. 46(8): 2668-2670
- 5 Soni I and Salopek-Bondi B (2004). Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E.coli* as a model for Gram-negative bacteria. *J.Colloid Interface Science* 275(1):1770-82
- 6 Berger M (2007). Stabilizing antimicrobial nanosilver on a natural porous plant material. <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=1276.php>
- 7 Owens RA, Hartman PE (1986). Glutathione: a protective agent in *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli* as measured by mutagenicity and by growth delay assays. *Environ Mutagen*. 8(5):659-73
- 8 Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Holt K, Kouri JB, Rami´rez JT, Yacaman MJ (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology* 16:2346 -2353
- 9 Panacek A, Kvitek L, Prucek R, Kolar M, Vecerova R, Pizurova N, Sharma VK, Nevecna T, Zboril R (2006). Silver colloid nanoparticles: Synthesis, characterization, and their antibacterial activity. *J Phys Chem B* 110:16248-16253
- 10 Babu K, Deepa MA, Gokul Shankar S, Rai S (2008). Effect of Nano-Silver on Cell Division and Mitotic Chromosomes: A Prefatory Siren. *The Internet Journal of Nanotechnology*. 2(2)
- 11 Pal S, Tak YK, Song JM (2007). Does the Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Depend on the Shape of the Nanoparticle? A Study of the Gram-Negative Bacterium *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology*, Mar. 2007, 1712-1720
- 12 Elechiguerra JL, Burt JL, Morones JR, Camacho-Bragado A, Gao X, Lara HH, Yacaman MJ (2005). Interaction of silver nanoparticles with HIV-1. *J Nano-biotechnology* 3: 6
- 13 Bourne Research (2006). Silver nanoparticles one of the fastest growing product categories in the nanotechnology industry, in: *Nanotechnology News*, 19.04.2006
- 14 Wijnhoven SWP, Peijnenburg WJGM, Herberts CA, Hagens WI, Oomen AG, Heugens EHW, Roszek B, Bisschops J, Gosens I, van de Meent D, Dekkers S, De Jong WH, van Zijverden M, Sips AJAM, Geertsma RE (2009). Nano-silver - a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment. *Nanotoxicology* 2009, 1-30
- 15 Mueller, NC and Nowack B (2008). Exposure Modeling of Engineered Nanoparticles in the Environment. *Environmental Science Technology* 42:4447-4453
- 16 Hund-Rinke K, Marscheider-Weidemann F, Kemper M (2008). Beurteilung der Gesamtumweltexposition von Silberionen aus Biozid-Produkten. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. UBA Texte 43-08. <http://www.umweltbundesamt.de>
- 17 Woodrow Wilson International Center for Scholars (2008). The Project on Emerging Nanotechnologies. An inventory of nanotechnology-based consumer products currently on the market. <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>
- 18 Woodrow Wilson International Center for Scholars (2008). The Project on Emerging Nanotechnologies. A database of silver nanotechnology in Commercial Products. [http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7039/silver\\_database\\_fauss\\_sept2\\_final.pdf](http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7039/silver_database_fauss_sept2_final.pdf)
- 19 Westfalia GmbH&Co.KG, Deutschland. [http://www2.westfalia.de/shops/neuheiten\\_und\\_innovationen/europameisterschaft/perfekte\\_gastgeber/lebensmittel\\_richtig\\_aufbewahren/](http://www2.westfalia.de/shops/neuheiten_und_innovationen/europameisterschaft/perfekte_gastgeber/lebensmittel_richtig_aufbewahren/)
- 20 Mediashop, Deutschland. <http://www.mediashop.tv/?view=M1712&PHPSES-SID=04e1f06deaa...>
- 21 WIBERG GmbH, Deutschland. [http://www.cluster-chemie.de/\\_resources/dynamic/hauptbereich/news\\_2/brotsack.pdf](http://www.cluster-chemie.de/_resources/dynamic/hauptbereich/news_2/brotsack.pdf)
- 22 Proldee, Deutschland. [http://www.proidee.de/shop/SID\\_0123456789\\_02\\_D/F=produkt\\_formular/P=02\\_D\\_HPN123109/K=02\\_D\\_120119/HI=produkteuebersicht\\_bild](http://www.proidee.de/shop/SID_0123456789_02_D/F=produkt_formular/P=02_D_HPN123109/K=02_D_120119/HI=produkteuebersicht_bild)
- 23 CeNano GmbH & Co. KG, Deutschland. <http://www.cenano.de/shop/Nano-San-antibakterielle-Matten-mit-Nanosilber-Ionen::32.html>
- 24 Proldee, Deutschland: [http://www.proidee.de/shop/SID\\_0123456789\\_02\\_D/F=produkt\\_formular/P=02\\_D\\_120469/K=02\\_D\\_2535/HI=produkteuebersicht\\_bild](http://www.proidee.de/shop/SID_0123456789_02_D/F=produkt_formular/P=02_D_120469/K=02_D_2535/HI=produkteuebersicht_bild)
- 25 Daewoo Electronics Europe GmbH, Deutschland. [http://www.daewoo-electronics.de/d/products/cool\\_ref\\_glos.asp](http://www.daewoo-electronics.de/d/products/cool_ref_glos.asp)
- 26 Brownlea, England / vitality4life.de. [http://stores.vitality4life.de/Items/water\\_ionizer\\_biontech\\_btm200n?&caSKU=water\\_ionizer\\_biontech\\_btm200n&caTitle=Wasserionisierer%20BionTech%20BTM200N](http://stores.vitality4life.de/Items/water_ionizer_biontech_btm200n?&caSKU=water_ionizer_biontech_btm200n&caTitle=Wasserionisierer%20BionTech%20BTM200N)
- 27 Biontech, Deutschland. BTM200N Wasserionisierer/Filtrierer. [http://stores.vitality4life.de/Items/water\\_ionizer\\_biontech\\_btm200n?sck=10167289&caSKU=water\\_ionizer\\_biontech\\_btm200n&caTitle=Wasserionisierer%20BionTech%20BTM200N](http://stores.vitality4life.de/Items/water_ionizer_biontech_btm200n?sck=10167289&caSKU=water_ionizer_biontech_btm200n&caTitle=Wasserionisierer%20BionTech%20BTM200N)
- 28 Samsung, Korea. Silver Nano Health System. <http://www.samsungair.co.za/SILVERNANOHEALTHSYSTEM/tabid/192/Default.aspx>
- 29 DAEWOO Electronics Europe GmbH, Deutschland. [http://www.daewoo-electronics.de/d/products/living\\_vacuum.asp](http://www.daewoo-electronics.de/d/products/living_vacuum.asp)
- 30 Carrier. Xpower Platinum AirConditioner und Luftfilter. <http://www.carrier.de/dasat/images/4/101474-42nqv-h-xpower-platinum.pdf>
- 31 Hyundai. [http://www.hyundai-waterandair.com/images/SILVEREX%20Duschkopfl\\_Stand2007.pdf?SESS=387cbe1bf59978001fdb2ca3935fde6b](http://www.hyundai-waterandair.com/images/SILVEREX%20Duschkopfl_Stand2007.pdf?SESS=387cbe1bf59978001fdb2ca3935fde6b)
- 32 Senjen R and Illuminato I (2009). Nano & Biocidal Silver: Extreme Germ Killers Present a Growing Threat to Public Health. *Friends of the Earth Australia/Friends of the Earth United States*. <http://www.foe.org.au>
- 33 Biogate AG, Deutschland. [http://www.bio-gate.de/object\\_detail.asp?main=2&subs=4&det=705&pgid=400&lang=e](http://www.bio-gate.de/object_detail.asp?main=2&subs=4&det=705&pgid=400&lang=e)
- 34 Biogate AG, Deutschland. HighProtect Coating Technology. <http://www.bio-gate.de/page.asp?lang=d&tid=539&main=1&sec=2&third=2>
- 35 Nanogate AG, Deutschland. HighProtect. [http://www.cluster-chemie.de/\\_resources/dynamic/hauptbereich/news\\_2/present\\_dr\\_beichert\\_bio\\_gate.pdf](http://www.cluster-chemie.de/_resources/dynamic/hauptbereich/news_2/present_dr_beichert_bio_gate.pdf)
- 36 NANOlac, Heba Otoplastik, Deutschland. [http://www.cluster-chemie.de/\\_resources/dynamic/hauptbereich/news\\_2/brotsack.pdf](http://www.cluster-chemie.de/_resources/dynamic/hauptbereich/news_2/brotsack.pdf)
- 37 Forschungszentrum Karlsruhe (2006). *Karlsruher Arbeitsgespräche Produktionsforschung 8, Karlsruhe, NanoMat-Szene 7*
- 38 Bioni CS GmbH, Deutschland. <http://bioni.de>
- 39 Biogate AG, Deutschland. <http://www.bio-gate.de/page.asp?lang=d&tid=539&main=1&sec=2&third=2>
- 40 Alfred Clouth Lackfabrik GmbH & Co. KG., Deutschland. CLOU Antibak WL nano CB, Cloucryl Nano-Finish Antibak seidenmatt, CLOU Hartwachs Öl antibak. [http://www.clou.de/frontend\\_live/start.cfm](http://www.clou.de/frontend_live/start.cfm)
- 41 Bioni CS GmbH, Deutschland. [http://www.nanodaten.de/uploads/data\\_sheets/d0028c88f53d42796a5ce0def0b564af.pdf](http://www.nanodaten.de/uploads/data_sheets/d0028c88f53d42796a5ce0def0b564af.pdf)
- 42 CeNano GmbH & Co.KG, Deutschland. <http://www.cenano.de/shop/Nano-San-antibakterielle-Matten-mit-Nanosilber-Ionen::32.html>
- 43 Nano Care Technology, Ltd., China. <http://www.nanotechproject.org/inventories/co>
- 44 Samsung Electronics, Deutschland. [http://notebook.samsung.de/produkte/detail4\\_main.aspx?guid=7d30d817-2480-49de-b69e-fbafb2d2e81b&cid=de\\_google\\_adword\\_textlinks\\_n310\\_052509](http://notebook.samsung.de/produkte/detail4_main.aspx?guid=7d30d817-2480-49de-b69e-fbafb2d2e81b&cid=de_google_adword_textlinks_n310_052509)

- 45 Seal Shield, USA. <http://www.sealshield.com/silverseal.htm>
- 46 Samsung Electronics GmbH, Deutschland. <http://www.samsungmobile.de/samsung-handy/samsung-e620?kind=archive>
- 47 Erima GmbH, Deutschland. [http://www.erima.at/index.php?id=8&no\\_cache=1&tx\\_eim2onlinecatalog\\_pi1\[sex\\_nr\]=h&tx\\_eim2onlinecatalog\\_pi1\[funktion\\_nr\]=T-Shirts %26 Poloshirts&tx\\_eim2onlinecatalog\\_pi1\[unte](http://www.erima.at/index.php?id=8&no_cache=1&tx_eim2onlinecatalog_pi1[sex_nr]=h&tx_eim2onlinecatalog_pi1[funktion_nr]=T-Shirts %26 Poloshirts&tx_eim2onlinecatalog_pi1[unte)
- 48 Medima Vertriebs GmbH, Deutschland. <http://www.medima.de/antisept/antisept.htm>
- 49 PRO-MiG Made in Germany, Ralf Sommer. <http://www.twenga.de/angebot/55951/1875665658491647525.html>
- 50 Nanosilver e-shop, Deutschland. <http://de.nanosilver.cz/>
- 51 Strumpfwerk Lindner GmbH, Deutschland. Lindner Socks: <http://www.lindner-socks.com/deutsch/index.htm>
- 52 Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung: [http://www.titk.de/download/flyer\\_antimikrobiell.pdf](http://www.titk.de/download/flyer_antimikrobiell.pdf)
- 53 AgActive, England. <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/5431/>
- 54 Uvex Arbeitsschutz GmbH, Deutschland. [http://www.uvex-axento.com/uvex/central/v2/axento/resource.nsf/imgref/Download\\_silWear-Folder.pdf/\\$FILE/silWearFolder.pdf](http://www.uvex-axento.com/uvex/central/v2/axento/resource.nsf/imgref/Download_silWear-Folder.pdf/$FILE/silWearFolder.pdf)
- 55 NanoSys GmbH, Schweiz. [http://www.nanosys.ch/flyer/nanoargentum10\\_010308.pdf](http://www.nanosys.ch/flyer/nanoargentum10_010308.pdf)
- 56 NU LIFE Enterprise Ltd. & Co. Vertriebs KG, Deutschland. <http://www.nulife.de/shop/showdetail,2004g,d,,xylit,w-0245,3,Tshowrub--xylit,30.htm>
- 57 Sumitec Inc., Korea. [http://jannie.en.ec21.com/product\\_detail.jsp?group\\_id=GC00659689&product\\_id=CA00343116&product\\_nm=Nano-silver\\_Toothpaste%252Ftoothbrush%252FAroma\\_Saop%252FBio\\_Socks](http://jannie.en.ec21.com/product_detail.jsp?group_id=GC00659689&product_id=CA00343116&product_nm=Nano-silver_Toothpaste%252Ftoothbrush%252FAroma_Saop%252FBio_Socks)
- 58 OTTO GmbH & Co. KG, Deutschland. [http://www.otto.de/shop-de\\_home](http://www.otto.de/shop-de_home)
- 59 Tondeo u.a. [http://www.friseurpower.de/product\\_info.php/info/p8834\\_Tondeo-Cerion-Active-Toumaline-Haarglaetter.html](http://www.friseurpower.de/product_info.php/info/p8834_Tondeo-Cerion-Active-Toumaline-Haarglaetter.html)
- 60 Zielonka Wohnen & Leben GmbH, Deutschland. [www.zielonka-shop.com/de/](http://www.zielonka-shop.com/de/)
- 61 Bionlite Wassersysteme, Oliver Röder, Deutschland. <http://www.alkalark24.de/Nanosilber-gold-pflege-seife/bionlite-perlen-Nanosilberseife.shtml>
- 62 Silbermed, Deutschland. [http://www.silbermed.de/epages/61690609.sf/de\\_DE/?ObjectPath=/Shops/61690609/Categories/%22silbermed%20Silber%20BMSM%20Lotion%22](http://www.silbermed.de/epages/61690609.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/61690609/Categories/%22silbermed%20Silber%20BMSM%20Lotion%22)
- 63 NanoSys GmbH, Schweiz. <http://www.nanosys.ch/>
- 64 Fries R, Grebler S, Simkó M, Gazsó A, Fiedeler U, Nentwich M (2009). Nano-silber. Hrsg.: Institut für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. NanoTrust dossiers Nr. 10, April 2009. [epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier010.pdf](http://pub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier010.pdf)
- 65 BlueCROSS Bio-Medical Co., Ltd, China. [http://www.bcbmcn.com/Products/p\\_l\\_02.htm](http://www.bcbmcn.com/Products/p_l_02.htm)
- 66 Nano Health Solutions, USA. [http://www.fulvic.org/html/nano\\_silver.html](http://www.fulvic.org/html/nano_silver.html)
- 67 Channel 21 shop, Deutschland. [http://produkte.rtlshop.de/wohnen\\_und\\_leben/bereiche/5102488\\_mikrofaser\\_Nanosilber\\_bettenset\\_2-teilig\\_135x200\\_.html](http://produkte.rtlshop.de/wohnen_und_leben/bereiche/5102488_mikrofaser_Nanosilber_bettenset_2-teilig_135x200_.html)
- 68 Handelsvertretungen Michael Tanz, Deutschland. Silvana Mikrofaserstuch. <http://www.mikrofaser-shop.com>
- 69 Zielonka Wohnen & Leben GmbH, Deutschland. <http://www.zielonka-shop.com/de/>
- 70 Nanosys GmbH, Schweiz. [http://www.nanosys.ch/flyer/nanoargentum10\\_010308.pdf](http://www.nanosys.ch/flyer/nanoargentum10_010308.pdf)
- 71 Nanosys GmbH, Schweiz. Schuhspray. <http://www.nanosys.ch/flyer/nanovitroflyer100306.pdf>
- 72 Nano Care Technology, Ltd., China. Aus Ref. 17
- 73 TENZI Sp. z o.o., Polen, [www.tenzi.pl](http://www.tenzi.pl)
- 74 Universität Hohenheim. <https://www.uni-hohenheim.de/1597.html?typo3state=publications&tsid=16325>
- 75 Eduard Leiss GmbH, Deutschland. [http://www.cluster-chemie.de/\\_resources/dynamic/hauptbereich/news\\_2/brotsack.pdf](http://www.cluster-chemie.de/_resources/dynamic/hauptbereich/news_2/brotsack.pdf)
- 76 Babydream Co., Korea. <http://babydream.en.ec21.com/>
- 77 Babydream Co., Korea. [http://babydream.en.ec21.com/Other\\_Products--887783\\_887794.html](http://babydream.en.ec21.com/Other_Products--887783_887794.html)
- 78 SongSing Nano Technology Co., Ltd. Zitiert nach: Woodrow Wilson International Center for Scholars (2008). The Project on Emerging Nanotechnologies. An inventory of nanotechnology-based consumer products currently on the market. <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>
- 79 Pure Plushy Inc., USA. <http://www.pureplushy.com/index.php>
- 80 GoldSeiten-Forum David M. Reymann Onlinemarketing, Deutschland. <http://www.goldseiten-forum.de/index.php?page=Thread&threadID=333>
- 81 rent a scientist GmbH, Deutschland. [http://agpure.de/pdf/AgPURE\\_aktuell.pdf](http://agpure.de/pdf/AgPURE_aktuell.pdf)
- 82 ebd.
- 83 Nano4future & WAMO, Dipl.-Ing. Janusz Wac, Deutschland. <http://www.nano4future.de/pdf/Nano-Silver.pdf>
- 84 Shanghai Huzheng Nano Technology Co.Ltd., China. [http://www.himfr.com/d-p114384687115977900-Nano\\_silver\\_powder\\_and\\_solution/](http://www.himfr.com/d-p114384687115977900-Nano_silver_powder_and_solution/)
- 85 Luoma SN (2008). Silver Nanotechnologies and the Environment: Old Problems or New Challenges? Woodrow Wilson International Center for Scholars. Project on Emerging Nanotechnologies. [http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano\\_pen\\_15\\_final.pdf](http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano_pen_15_final.pdf)
- 86 Hund-Rinke K, Marscheider-Weidemann F, Kemper M (2008). Beurteilung der Gesamtumweltexposition von Silberionen aus Biozid-Produkten. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. UBA Texte 43-08. <http://www.umweltbundesamt.de>
- 87 Benn TM, Westerhoff P (2008). Nanoparticle silver released into water from commercially available sock fabrics. Environmental Science & Technology 42(11): 4133-4139
- 88 Blaser SA, Scheringer M (2008). Estimation of cumulative aquatic exposure and risk due to silver: Contribution of nano-functionalized plastics and textiles. Science of the Total Environment 390(2-3): 396-409
- 89 Hook SE, Fisher NS (2001). Sublethal Effects of Silver in Zooplankton: Importance of Exposure Pathways and Implications for Toxicity Testing. Environmental Toxicology and Chemistry 20(3):568-574
- 90 siehe Ref. 16.
- 91 ebd.
- 92 Albright LJ, Wilson EM et al (1974). Sub-lethal effects of several metallic salt-organic compound combinations upon heterotrophic microflora of a natural water. Water Res 8: 101-105
- 93 Gaiser et al (2008). Comparison of nanoparticle toxicity in the invertebrate Daphna magna and a human Cell line, SETAC Europe, 18th Annual Meeting, Abstract book, zitiert aus: Bundesumweltministerium (2008). NanoDialog 2006 – 2008: Ergebnisse der Arbeitsgruppe 2: „Risiken und Sicherheitsforschung“. [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanodialog08\\_ergebnisse\\_ag2.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanodialog08_ergebnisse_ag2.pdf)
- 94 Griffitt RJ, Luo J, Gao J, Bonzongo JC, Barber DS (2008). Effects of Particle Composition and Species on Toxicity of Metallic Nanomaterials in aquatic organisms. Environmental Toxicology and Chemistry 27(9): 1972-1978
- 95 siehe Ref. 85
- 96 Lee KJ, Nallathamby PD, Browning LM, Osgood CJ, Xu XN (2007). In vivo imaging of transport and biocompatibility of single silver nanoparticles in early development of zebrafish embryos. Am Chem Soc 1(2):133-143

- 97 Kimbrell GA (2006). The International Center for Technology Assessment, FDA Public Meeting on Nanotechnology October 10, 2006. [http://www.fda.gov/nanotechnology/meetings/kimbrell\\_files/Kimbrell\\_CTA\\_Presentation\\_FDA\\_Meeting\\_10\\_10\\_06.pps](http://www.fda.gov/nanotechnology/meetings/kimbrell_files/Kimbrell_CTA_Presentation_FDA_Meeting_10_10_06.pps)
- 98 Griffitt RJ, Hyndman K, Denslow ND, Barber DS (2009). Comparison of Molecular and Histological Changes in Zebrafish Gills Exposed to Metallic Nanoparticles. *Toxicological Sciences* 107(2): 404–415
- 99 siehe Ref. 94
- 100 Murata T, Kanao-Koshikawa M, Takamatsu T (2005). Effects of Pb, Cu, Sb, In and Ag contamination on the proliferation of soil bacteria colonies, soil dehydrogenase activity, and phospholipid fatty acid profiles of soil microbial communities. *Water Air Soil Pollut* 164:103–118
- 101 Ratte, H. T. (1999). Bioaccumulation and toxicity of silver compounds: a review. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18: 89–108
- 102 Throbäck IN, Johansson M, Rosenquist M, Pell M, Hansson M, Hallin S (2007). Silver (Ag+) reduces denitrification and induces enrichment of novel nirK genotypes in soil. *FEMS Microbiology Letters* 270(2): 189–194
- 103 Senjen R (2007). Nanosilver – a threat to soil, water and human health? <http://nano.foe.org.au/filestore2/download/189/FoE%20Nanosilver%20report.pdf>
- 104 Kimbrell GA (2006). The International Center for Technology Assessment, FDA Public Meeting on Nanotechnology October 10, 2006. [http://www.fda.gov/nanotechnology/meetings/kimbrell\\_files/Kimbrell\\_CTA\\_Presentation\\_FDA\\_Meeting\\_10\\_10\\_06.pps](http://www.fda.gov/nanotechnology/meetings/kimbrell_files/Kimbrell_CTA_Presentation_FDA_Meeting_10_10_06.pps)
- 105 Snyder WS (1975). Report of the task group on reference Man. Pergamon press, Oxford, England: 407–708
- 106 ATSDR (Agency for toxic substances and Disease Registry) (1990). Toxicological profile for Silver. Prepared by Clement international corporation, under Contract 205–88–0608. U.S. public Health Service. ATSDR/TP-90–24
- 107 Larese FF, D'Agostin F, Crosera M, Adami G, Renzi N, Bovenzi M, Maina G (2009). Human skin penetration of silver nanoparticles through intact and damaged skin. *Toxicology* 255: 33–37
- 108 Hostynek JJ, Hinz RZ, Lorence CR, Price M, Guy RH (1993). Metals and the skin. *Crit. Rev. Toxicol*: 171–235
- 109 Takenaka S, Karg E, Roth C, Schulz H, Ziesenis A, Heinzmann U, Schramel P, Heyder J. (2001). Pulmonary and systemic distribution of inhaled ultrafine silver particles in rats. *Environ Health Perspect* 109(Suppl. 4):547–551
- 110 Oberdörster G, Oberdörster E, Oberdörster J. (2005). Nanotoxicology: an emerging discipline from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives* 113(7): 823–839
- 111 Takeda K, Suzuki K, Ishihara A, Kubo-Irie M, Fujimoto R, Tabata M, Oshio S, Nihei Y, Ihara T, Sugamata M (2009). Nanoparticles Transferred from Pregnant Mice to Their Offspring Can Damage the Genital and Cranial Systems. *J. Health Science* 55(1): 95–102
- 112 Landsdown ABG (2007). Critical observations on the neurotoxicity of silver. *Critical reviews in toxicology* 37(3): 237–250
- 113 Oberdörster G, Sharp Z, Atudorei V, Elder A, Gelein R, Kreyling W, Cox C (2004). Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhalation Toxicology* 16(6–7): 437–445
- 114 Arora S, Jain J, Rajwade JM, Paknikar KM (2008). Cellular responses induced by silver nanoparticles: In vitro studies. *Toxicology Letters* 179(2): 93–100
- 115 Hussain SM, Hess KL, Gearhart JM, Geiss KT, Schlager JJ (2005). In vitro toxicity of nanoparticles in BRL 3A rat liver cells. *Toxicol in vitro* 19: 975 – 983
- 116 Hussain SM, Javorina MK, Schrand AM, Duhart HM, Ali SF, Schlager JJ (2006). The Interaction of Manganese Nanoparticles with PC-12 Cells Induces Dopamine Depletion. *Toxicological Sciences* 92(2): 456–463
- 117 Braydich-Stolle, L, Hussain S, Schlager JJ, Hofmann M (2005). In Vitro Cytotoxicity of Nanoparticles in Mammalian Germline Stem Cells. *Toxicological Sciences* 88(2): 412–419
- 118 Hsin Y-H, Chen CF, Huang C, Shih TS, Lai P-S and Chueh PJ (2008). The apoptotic effect of nanosilver is mediated by a ROS- and JNK-dependent mechanism involving the mitochondrial pathway in NIH3T3 cells. *Toxicology Letters*, 179(3): 130–139
- 119 Carlson C, Hussain SM, Schrand AM, Braydich-Stolle LK, Hess KL, Jones RL, Schlager JJ (2008). Unique Cellular Interaction of Silver Nanoparticles: Size-Dependent Generation of Reactive Oxygen Species. *The Journal of Physical Chemistry B* 112(43): 13608–13619
- 120 Feng QL, Wu J, Chen GQ, Cui FZ, Kim TM, Kim JO (2000). A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of Biomedical Materials Research* 52: 662–668
- 121 Ahamed M, Karns M, Goodson M, Rowe J, Hussain SM, Schlager JJ, Yiling H (2008). DNA damage response to different surface chemistry of silver nanoparticles in mammalian cells. *Toxicology and Applied Pharmacology* 233: 404–410
- 122 Babu K, Deepa MA, Gokul Shankar S, Rai S (2008). Effect of Nano-Silver on Cell Division and Mitotic Chromosomes: A Prefatory Siren. *The Internet Journal of Nanotechnology*. 2(2).
- 123 Ji JH, Jung JH, Kim SS, Yoon JU, Park JD, Choi BS, Chung YH, Kwon IH, Jeong J, Han BS, Shin JH, Sung JH., Song KS, Yu IJ (2007). Twenty-eight-day inhalation toxicity study of silver nanoparticles in Sprague-Dawley rats. *Inhal Toxicol* 19: 857–871.
- 124 Trop MM, Novak M, Rodl S, Hellbom B, Kroell W, Goessler W (2006). Silver coated dressing Acticoat caused raised liver enzymes and argyria-like symptoms in burn patient. *Journal of Trauma-Injury Infection and Critical Care* 60(3): 648–652
- 125 Chopra I (2007). The increasing use of silver-based Products as antimicrobial Agents: A useful development or a Cause for Concern? *Journal of antimicrobial Chemotherapy* 59: 587–590
- 126 Silver S, Phung Ie T, Silver G. (2006). Silver as biocides in burn and wound dressings and bacterial resistance to silver compounds. *J. Ind Microbiol Biotechnol*. 33(7):627–34. <http://www.springerlink.com/content/e6610g6125655482/?p=a5939d6f624545d5a1da96dbd01c3a56&pi=19>
- 127 Melhus, A (2007). Silver threatens the use of antibiotics. [http://www.dnys.se/\\_upload/lfm/2007/Silver%20threatens%20the%20use%20of%20antibiotics%20listversion.pdf](http://www.dnys.se/_upload/lfm/2007/Silver%20threatens%20the%20use%20of%20antibiotics%20listversion.pdf)
- 128 Gupta A, Silver S (1998). Silver as a biocide: will resistance become a problem? *Nature Biotechnology* 16: 888
- 129 siehe Ref. 108
- 130 Nanosys GmbH, Schweiz. <http://www.nanosys.ch/medienberichte/wissenswertesnanoargentum10211105.pdf>
- 131 Bundesumweltministerium (2008). NanoDialog 2006 – 2008: Ergebnisse der Arbeitsgruppe 2: Risiken und Sicherheitsforschung. [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanodialog08\\_ergebnisse\\_ag2.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanodialog08_ergebnisse_ag2.pdf)
- 132 Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2002). Richtlinie 2002/72/EG der Kommission über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2002L0072:20080327:DE:pdf>
- 133 EFSA (2008). Provisional list of additives used in Plastics. [http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/foodcontact/2008%2004%2010\\_provisional\\_list\\_additives\\_used\\_plastics.pdf](http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/foodcontact/2008%2004%2010_provisional_list_additives_used_plastics.pdf)
- 134 Sandquist A, Swedish Environmental Protection Agency (2006). Swedish pharmacies ban silver band-aids. *Miljöaktuellt* Nr 3, April 2006. [http://www.dnys.se/\\_upload/lfm/2006/silver%20bandages%20complete.pdf](http://www.dnys.se/_upload/lfm/2006/silver%20bandages%20complete.pdf)
- 135 siehe Ref. 73
- 136 Project on Emerging Nanotechnologies (2008). Nanoscale Silver: No Silver Lining? [www.nanotechproject.org/news/archive/silver/](http://www.nanotechproject.org/news/archive/silver/)

- 137 U.S. Environmental Protection Agency (2008). Pesticide issues in the works: nanotechnology, the science of small. <http://www.epa.gov/pesticides/about/intheworks/nanotechnology.htm>
- 138 The International Center for Technology Assessment (2008). Petition for rulemaking requesting EPA regulating nano-silver products as pesticides. [http://www.icta.org/nanoaction/doc/CTA\\_nano-silver%20petition\\_\\_final\\_5\\_1\\_08.pdf](http://www.icta.org/nanoaction/doc/CTA_nano-silver%20petition__final_5_1_08.pdf)
- 139 Bundesamt für Risikobewertung (2009). Nanomaterialien in Lebensmittelverpackungen. [http://www.bfr.bund.de/cm/232/nanomaterialien\\_in\\_lebensmittelverpackungen.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/232/nanomaterialien_in_lebensmittelverpackungen.pdf)
- 140 Starling S (2008). EFSA questions nano silver safety in supplements. <http://www.foodproductiondaily.com/Publications/Food-Beverage-Nutrition/NutraIngredients/Regulation/EFSA-questions-nano-silver-safety-in-supplements/?c=2HhACujWgmZyAbP5DoA55g%3D%3D>
- 141 siehe Ref. 125
- 142 siehe Ref. 117
- 143 Scientific Committee on Emerging and Newly identified Risks (2009). Risk assessment of Products and Nanotechnologies. [http://ec.europa.eu/health/ph\\_risk/committees/04\\_scenihp/docs/scenihp\\_o\\_023.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihp/docs/scenihp_o_023.pdf)
- 144 Nanokommission der Deutschen Bundesregierung (2008). Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. [http://www.nanotruck.de/fileadmin/nano-Truck/redaktion/download/Druckschriften/Nanokommission\\_Abschlussbericht\\_2008.pdf](http://www.nanotruck.de/fileadmin/nano-Truck/redaktion/download/Druckschriften/Nanokommission_Abschlussbericht_2008.pdf)
- 145 siehe Ref. 73

## Ganz schön interessant



Studie

Best. Nr. 55.036/K



Broschüre

Best. Nr. 11043



Faltblatt

Best. Nr. 16.090/K



Broschüre

Best. Nr. 55.042K



Broschüre

Best. Nr. 55.038K



Broschüre

Best. Nr. 55.043/K



Faltblatt

Best. Nr. 55.047/K

Das alles – und noch viel mehr – erhältlich auf unserer Internetseite  
[www.bund.net/publikationen](http://www.bund.net/publikationen)

info@bund.net • Bestell-Telefon-Nr.: 030 275 86-469

# Die Erde braucht Freundinnen und Freunde

Der BUND ist ein Angebot: an alle, die unsere Natur schützen und den kommenden Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen erhalten wollen. Zukunft mitgestalten – beim Schutz von Tieren und Pflanzen, Flüssen und Bächen vor Ort oder national und international für mehr Verbraucherschutz, gesunde Lebensmittel und natürlich den Schutz unseres Klimas.

Der BUND ist dafür eine gute Adresse. Wir laden Sie ein, dabei zu sein.

## Ich will mehr Natur- und Umweltschutz

Bitte (kopieren und) senden an:

**Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.,  
Friends of the Earth Germany, Am Kölnischen Park 1, 10179 Berlin**

Ich möchte

☐ ... mehr Informationen über den BUND

☐ ... Ihren E-Mail-Newsletter

## Ich will den BUND unterstützen

Ich werde BUNDmitglied

Jahresbeitrag:

☐ Einzelmitglied (ab 50 €)

☐ Familie (ab 65 €)

☐ SchülerIn, Azubi,  
StudentIn (ab 16 €)

☐ Erwerbslose, Alleinerziehende,  
KleinrentnerIn (ab 16 €)

☐ Lebenszeitmitglied (ab 1.500 €)

Wenn Sie sich für eine Familienmitgliedschaft entschieden haben, tragen Sie bitte die Namen Ihrer Familienmitglieder hier ein. Familienmitglieder unter 25 Jahren sind automatisch auch Mitglieder der BUNDjugend.

Name, Geburtsdatum

Name, Geburtsdatum

Ich unterstütze den BUND  
mit einer Spende

☐ Spendenbetrag  €  
☐ einmalig  
☐ jährlich

Um Papier- und Verwaltungskosten zu sparen, ermächtige ich den BUND, den Mitgliedsbeitrag/die Spende von meinem Konto abzubuchen. Diese Ermächtigung erlischt durch Widerruf bzw. Austritt.

Name

Vorname

Straße, Hausnummer

PLZ, Ort

Kreditinstitut

Bankleitzahl

Kontonummer

E-Mail, Telefon

Datum, Unterschrift

Ihre persönlichen Daten werden aussch. für Vereinszwecke elektronisch erfasst und – ggf. durch Beauftragte des BUND e.V. – auch zu vereinsbezogenen Informations- und Werbezwecken verarbeitet und genutzt.



Förderhinweis: Diese Publikation wurde finanziell vom Bundesumweltministerium und vom Umweltbundesamt gefördert. Die Förderer übernehmen keine Gewähr für Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben und für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen der Förderer übereinstimmen.

V.i.S.d.P.: Dr. Norbert Franck · Titelbild: Jörg Farys, Die Projektoren  
Gestaltung und Produktion: N & U GmbH · Druck: Z.B.I. Kunstdruck  
Bestellnummer: 55.053K

Weitere Infos über Chemiepolitik und REACH finden Sie unter [www.bund.net](http://www.bund.net)

### Impressum

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) · Friends of the Earth Germany  
Am Kölnischen Park 1 · 10179 Berlin · Tel.: 0 30/2 75 86-40 · Fax: 0 30/2 75 86-4 40 ·

Autoren: Heribert Wefers, Patricia Cameron, Jurek Vengels  
Danksagung: Die Autoren danken Dr. Rye Senjen, Friends of the Earth Australia, für Anregungen und Unterstützung.