

**Sabine Greßler, Myrtil Simkó\*,  
André Gzásó, Ulrich Fiedeler,  
Michael Nentwich**

## Nano-Textilien

### Zusammenfassung

Der Einsatz von Nanotechnologie bei Textilien soll zu verbesserten Funktionalitäten bzw. zu neuen Eigenschaften eines Materials führen (Stichwort „Smart Clothes“). Derzeit finden sich vor allem Textilien auf dem Markt, die schmutz- und wasserabweisend sowie antibakteriell sind. Viele Herstellungsverfahren sind noch kostenintensiv, dennoch finden sich bereits „Nano-Textilien“ auf dem Markt, wobei vermutet werden kann, dass „nano“ werbend für ansonsten konventionelle Produkte eingesetzt wird. Die „Hohensteiner Institute“ haben deshalb ein Qualitätslabel für Nano-Textilien eingeführt. Nanopartikel können theoretisch durch mechanische Belastung, Abrieb und andere äußere Einflüsse freigesetzt werden. Hier fehlen experimentelle Untersuchungen. Insbesondere Kohlenstoffnanoröhren gelten derzeit als gesundheitlich bedenklich, sodass vor allem ArbeitnehmerInnen in der Industrie vor einer Exposition entsprechend zu schützen sind. Zu Langzeiteffekten von Nanosilber, das aufgrund seiner antibakteriellen Eigenschaften in Textilien eingesetzt wird, auf die menschliche Hautflora fehlen bislang noch Studien. Untersuchungen mit nanosilberhaltigen Materialien zeigen, dass manche Produkte bereits nach einem Waschvorgang einen erheblichen Teil des Silbers in das Waschwasser – und somit in die Umwelt – freisetzen. Nanosilber ist toxisch für aquatische Organismen sowie für Boden-Mikroorganismen. Zu möglichen Auswirkungen von Nanosilber in natürlichen Ökosystemen fehlen ebenfalls Studien, wie auch zu jenen von Nano-Titandioxid, das aufgrund möglicher Umweltauswirkungen als bedenklich einzustufen ist.

\* Korrespondenzautorin

### Einleitung

„Nano-Textilien“ können mittels verschiedener Methoden hergestellt werden. Dabei ist zu unterscheiden, ob synthetische Nanopartikel in die Fasern oder in das Textil integriert werden oder als Beschichtung an der Oberfläche aufgebracht werden bzw. ob es sich um nanoskalige Fasern oder Beschichtungen ohne Zusatz von Nanopartikeln handelt. Informationen über Herstellungsmethoden, verwendete Nanomaterialien und deren Konzentrationen sowie zur „Lebensdauer“ der angebotenen „Nanoausrüstung“ eines Textils bleiben jedoch den VerbraucherInnen meistens vor enthalten. Im vorliegenden Dossier werden daher Herstellungsverfahren und Anwendungsbereiche von Nano-Textilien sowie ihre möglichen Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen erläutert. Allerdings bestehen noch viele offene Fragen und erheblicher Forschungsbedarf zu den Produkten selbst, aber auch über ihre Zweckdienlichkeit sowie zu den von Nano-Textilien hervorgerufenen Risiken. Die offenen Fragen haben den Schweizer Textilverband bewogen zusammen mit der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) das Projekt „Nanosafetextiles“ und Dialoge zum Thema durchzuführen.

### Herstellungsverfahren von Fasern und textilen Flächengebilden für Nano-Textilien

Prinzipiell ist zu unterscheiden, ob bei der Herstellung Nanopartikel verwendet werden oder ob es sich um Nanostrukturen (Nanometer-dünne Fasern, nanoporöse Fasern) ohne synthetische Nanopartikeln handelt. Nanopartikel können in einen Kunststoff (Polymer) eingebracht werden und aus diesem Nano-Kompositmaterial können dann Fasern gesponnen werden, die einen nanoskaligen Durchmesser oder größer aufweisen. Nanometer-dünne Fasern werden aber auch aus Kunststoff oder Zellulose ohne synthetischen Nanopartikel hergestellt. Die Bezeichnung Nanofaser bezieht sich in diesem Fall auf den extrem geringen Durchmesser der Fasern.

*Abbildung 1:  
Herstellung von Nanofasern  
(NP: Nanopartikel,  
CNT: Kohlenstoffnanoröhrchen; nach<sup>2</sup>).*

#### A. Mit integrierten Nanopartikeln:

- Fasern aus Nanokomposit-Materialien
  - NP umhüllt vom Polymer oder teilweise frei an der Oberfläche
  - Funktionalisierung der NP zur Verhinderung der Agglomeration (z. B. „Coating“)
  - auch Herstellung von nanoskaligen Fasern – Verarbeitung zu Vlies, da Aufspulen als Garn nicht möglich
- Fasern aus CNT in Entwicklung
- „Veredelung“
  - NP haften an der Faseroberfläche
  - NP in der Faserbeschichtung eingebettet

#### B. Ohne synthetische Nanopartikel:

- Nanoskalige Fasern
- Nanoskalige Beschichtungen an Faseroberflächen
- Nanoporöse Fasern oder Beschichtungen

Eine weitere Möglichkeit ist die sogenannte „Veredelung“ von Chemie- und Naturfasern, bei denen Nanopartikel als solche oder eingebettet in einer Beschichtung an den Faseroberflächen angelagert werden. Veredelt werden können Textilien und Fasern aber auch mittels nanoskaliger Metall- oder Polymerbeschichtungen, durch Tauch-, Spray- oder Plasmaverfahren, die keine synthetischen Nanopartikel enthalten. Analog zur Faserherstellung steht „nano“ in diesem Fall für die Nanoskaligkeit der Beschichtung<sup>1</sup>.

## Anwendungsbereiche und Produkte

Nanotechnologie verspricht im Textilsektor beträchtliches Potenzial im Bereich der Entwicklung neuer Materialien. Einerseits kann mittels nanotechnologischer Methoden die bestehende Funktionalität verbessert werden und andererseits könnte auch die Herstellung von Textilien mit völlig neuen Eigenschaften oder die Kombination verschiedener Funktionen in einem Textilmaterial möglich werden<sup>2</sup>. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verbesserten Eigenschaften von Textilmaterialien, die mittels Nanotechnologie erreicht werden können, inklusive der dafür verwendeten Nanomaterialien.

Im Vordergrund der derzeit realisierbaren Anwendungen stehen insbesondere schmutz- bzw. wasserabweisende und antibakterielle Textilien sowie – wenngleich noch in geringem Ausmaß – Textilien, die Schutz vor UV-Strahlung bieten und sogenannte „Kosmeto-Textilien“ (z. B. Damenstrumpfhosen), in welche Nanokapseln eingearbeitet werden, die spezielle pflegende Wirkstoffe enthalten. Ebenfalls bereits verfügbar sind kugelsichere Schutzwesten mit Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT), wärmeisolierende und feuchtigkeit absorbierende Textilien.

Trotz großer Erwartungshaltung sind sogenannte „Smart Clothes“, bei denen die textilen Strukturen selbst elektronische oder elektrische Funktionen übernehmen, noch nicht kommerziell erhältlich. Bei diesem visionären Zukunftsszenario verschmelzen die durch Nanotechnologie verkleinerten elektro-

nischen Komponenten vollständig mit dem textilen Material, sodass die Unterscheidung in textile und nicht-textile Komponenten bedeutungslos wird und „Fremdkörper“ nicht mehr sicht- oder spürbar sind. Erste Ansätze bestehen vorläufig noch darin, elektronische Geräte oder Sensoren, z. B. zur Überwachung von Körperfunktionen, in Textilien mittels bekleidungstechnischer Lösungen (z. B. Taschen) einzuarbeiten<sup>3</sup>.

Gegenstand der Forschung sind auch Textilmaterialien aus Nanofasern als Filter für Krankheitserreger (Bakterien, Viren), toxische Gase, Gift- oder Schadstoffe in der Luft. Medizinisches Personal, Feuerwehrleute, Einsatzkräfte oder das Militär könnten von Schutzkleidung aus solchen Materialien profitieren. Da bestimmte Nanofasern sehr viel Feuchtigkeit aufnehmen können, werden auch textile Materialien für die Landwirtschaft erforscht, die – getränkt mit Pestiziden – zu-

sammen mit dem Saatgut ausgebracht werden könnten, nach Ende der Vegetationsperiode verrotten und dabei auch gleich den Boden düngen. Die Visionen reichen sogar bis zu textilen Sensoren, die Krankheitserreger durch einfaches Abwischen von Oberflächen (z. B. von Nahrungsmitteln oder chirurgischen Instrumenten) nicht nur aufspüren, sondern diese festhalten und die BenutzerInnen etwa über Farbwechsel warnen<sup>4</sup>.

Laut Herstellerangaben befinden sich schon eine ganze Reihe verschiedener Nano-Textilien auf dem internationalen Markt. Das US-„Woodrow Wilson International Center for Scholars“ listet in seiner Nanoprodukt-Datenbank<sup>5</sup> 156 Artikel in der Kategorie „Clothing“. Eigene Recherchen<sup>6</sup> am europäischen und insbesondere österreichischen Markt erbrachten 82 Produkte in der Kategorie „Bekleidung“, sechs in der Kategorie „Heimtextilien“, acht Produkte für den Out-

Eigenschaften von Nano-Textilien	Nanomaterial
elektrisch leitend/antistatisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Carbon black“</li> <li>• Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT)</li> <li>• Cu</li> <li>• Polypyrrole</li> <li>• Polyaniline</li> </ul>
erhöhte Strapazierfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></li> <li>• CNT</li> <li>• Polybutylacrylat</li> <li>• SiO<sub>2</sub></li> <li>• ZnO</li> </ul>
antibakteriell	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ag</li> <li>• Chitosan</li> <li>• SiO<sub>2</sub> (als Matrix)</li> <li>• TiO<sub>2</sub></li> <li>• ZnO</li> </ul>
selbstreinigend/schmutz- und wasserabweisend	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNT</li> <li>• Fluoroacrylat</li> <li>• SiO<sub>2</sub> (als Matrix)</li> <li>• TiO<sub>2</sub></li> </ul>
feuchtigkeitsabsorbierend	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TiO<sub>2</sub></li> </ul>
verbesserte Färbbarkeit/weniger Ausbleichen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Carbon black“</li> <li>• Nanoporöse Hydrocarbon-Nitrogen-Beschichtung</li> <li>• SiO<sub>2</sub> (als Matrix)</li> </ul>
UV-Schutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TiO<sub>2</sub></li> <li>• ZnO</li> </ul>
Feuerfestigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNT</li> <li>• Boroxosiloxan</li> <li>• Montmorillonit (Nano-Ton)</li> <li>• Sb<sub>3</sub>O<sub>2</sub></li> </ul>
kontrollierte Abgabe von aktiven Wirkstoffen, Arzneimitteln oder Duftstoffen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montmorillonit (Nano-Ton)</li> <li>• SiO<sub>2</sub> (als Matrix)</li> </ul>
Lumineszenz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Information</li> </ul>
wärmeleitend/isolierend	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNT</li> </ul>

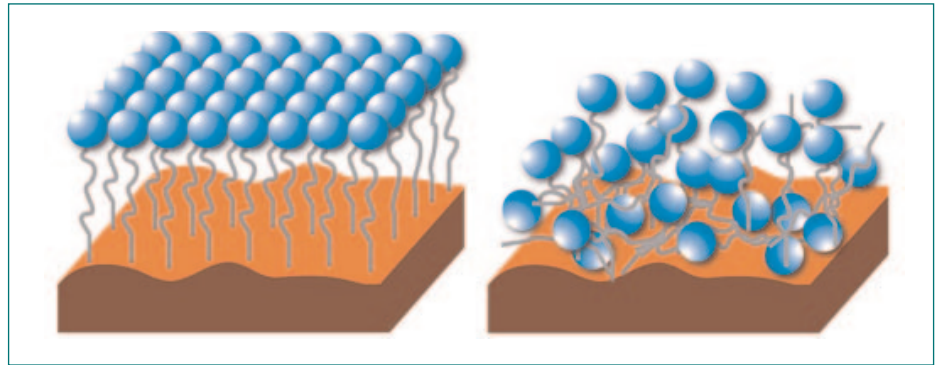
**Tabelle 1:** Übersicht über die in der Forschung für textile Anwendungen verwendeten Nanomaterialien und die möglicherweise damit erreichbaren Funktionen (leicht abgewandelt aus<sup>2</sup>).

door-Bereich (Zelte, Schlafsäcke) mit Nano-Beschichtung und ein Textilprodukt mit Nanosilber zu Reinigungszwecken. Die meisten dieser Produkte werden mit schmutz- und wasserabweisenden Eigenschaften beworben, z. B. Jacken und Hosen für den Outdoor-Bereich oder Hemden, Krawatten bzw. Berufsbekleidung mit „Fleckschutz-Ausrüstung“. Eine große Gruppe ist aber auch jene der antibakteriellen, nanosilberhaltigen Textilien. Hier sind es vor allem geruchshemmende Bekleidung (Unterwäsche, T-Shirts, Socken etc.), aber auch Heimtextilien wie etwa Kissen, Decken oder Matratzenüberzüge, die auf dem Markt – zumindest nach Herstellerangaben – erhältlich sind.

In einer Studie wurden wissenschaftliche Publikationen zu Nano-Textilien untersucht und dabei festgestellt, dass sich viele der darin beschriebenen Herstellungsmethoden noch im Forschungsstadium befinden, zum Teil kostenintensiv sind und die Integration von Nanopartikeln von negativen Auswirkungen auf andere Textileigenschaften begleitet werden kann<sup>2</sup>. Trotzdem finden sich bereits Nano-Textilien mit fast allen der in Tabelle I genannten Eigenschaften auf dem Markt. Hier kann vermutet werden, dass „nano“ oftmals zu Werbezwecken eingesetzt wird und viele Produkte keine Nanomaterialien beinhalten oder keine nanotechnologischen Prozesse bei der Herstellung zur Anwendung kamen. Dies betrifft allerdings nicht nur den Bereich der Textilien, sondern ist ein Phänomen, das auf viele andere „Nano-Produkte“ ebenfalls zutrifft.

### Das „Hohensteiner Qualitätslabel Nanotechnologie“ für Textilien

Die deutschen „Hohensteiner Institute“ sind ein privates Forschungs- und Dienstleistungszentrum auf den Gebieten der Forschung, Entwicklung, Prüfung, Beratung, Zertifizierung sowie Aus- und Weiterbildung in erster Linie für Unternehmen und für die gesamte Textilbranche und artverwandte Bereiche. Sie haben mit NanoMat, einem Netzwerk von Forschungseinrichtungen und Anbietern von Nanomaterialien, eine Definition der Nanotechnologie für den Textilbereich ausgearbeitet, die auch die Basis für das „Hohensteiner Qualitätslabel Nanotechnologie“ darstellt: „Unter Nanotechnologie versteht man systematisch angeordnete funktionelle Strukturen, die aus Teilchen mit größenabhängigen Eigenschaften bestehen.“<sup>7</sup>. Damit ein textiles Produkt das Hohensteiner Qualitätslabel führen darf, reicht es nicht aus, wenn Nanopartikel im Inneren der Fasern eingelagert sind oder diese von einer nano-



**Abbildung 2:** Linkes Bild: Nanopartikel auf einem Textil systematisch angeordnet. Rechtes Bild: Im Gegensatz dazu ungeordnete Ausrichtung<sup>7</sup>.

skaligen Beschichtung umschlossen werden. Vielmehr müssen Nanopartikel oder -schichten in oder auf dem Textil systematisch angeordnet sein (Abbildung 2) und so nachweislich zu einer neuen Funktion führen. Die textilen Eigenschaften dürfen dabei nicht nennenswert negativ beeinflusst werden.

Weitere Parameter, die von den Hohensteiner Instituten geprüft werden können, sind u. a. die Beständigkeit bei der Pflege und der Tragekomfort. Diese werden auf dem Qualitätslabel separat ausgewiesen.

Dieses Qualitätslabel könnte für KonsumentInnen wie Unternehmen Vorteile bringen und die Unterscheidung ermöglichen, ob es sich bei einem Produkt um ein „echtes“ Nano-Textil handelt, oder ob „nano“ als verkaufswirksamer Slogan für ein ansonsten konventionelles Produkt verwendet wird. Das „Hohensteiner Qualitätslabel Nanotechnologie“ für Textilien wurde bislang nur von vier Textilherstellern in Anspruch genommen (Stand 9.10.09).

### Werden aus Nano-Textilien synthetische Nanopartikel freigesetzt?

Wie oben dargestellt, gibt es unterschiedliche Herstellungsverfahren, bei denen Nanopartikel an verschiedenen Orten in den Fasern oder Textilien integriert sein können, außerdem kann auch die Bindung der Nanopartikel an das Textilmaterial (Faser oder Beschichtung) verschieden stark sein. Davon und von der Art der Beanspruchung hängt es ab, ob und in welchem Ausmaß Nanopartikel freigesetzt werden können. Erfahrungsgemäß verlieren Textilien zwischen 5 und 20 % ihres Gewichts während der Gebrauchsphase durch Abrieb, mechanische Belastung, Sonneneinstrahlung, Wasser, Schweiß, Wasch-

mittel oder Temperaturschwankungen. Es ist demnach nicht auszuschließen, dass aus Nano-Textilien einzelne Nanopartikel, Agglomerate von Nanopartikeln oder Textilmaterialteilchen mit oder ohne synthetische Nanopartikel freigesetzt werden können. Bislang gibt es dazu allerdings erst wenige experimentelle Untersuchungen<sup>1</sup>.

Bei Textilien aus Fasern mit integrierten Nanopartikeln erscheint eine dauerhafte Funktionalität jedenfalls eher gegeben, als bei rein oberflächlich beschichteten oder imprägnierten Nano-Textilien. Einige wenige Untersuchungen mit nanosilberhaltigen Textilien zeigen, dass manche Produkte bereits nach einem Waschvorgang bis zu 35 % des Silbers in das Waschwasser freisetzen<sup>8; 9</sup>.

### Gesundheitliche Effekte

Es scheint sich herauszukristallisieren, dass während der Herstellung bestimmter Nanopartikel, die berufliche Exposition mit Nanopartikeln negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben kann. Allerdings ist die Datenlage aus Labor- und Tierversuchen derzeit noch viel zu gering, um eine umfassende Risikoabschätzung durchführen zu können<sup>10</sup>. Insbesondere lange und steife CNT gelten derzeit als bedenklich<sup>11</sup>, wobei vor allem ArbeitnehmerInnen in der industriellen Fertigung betroffen und vor einer Exposition entsprechend zu schützen sind. Inwieweit und ob Nanopartikel, die in Textilien eingearbeitet werden, die Gesundheit von KonsumentInnen beeinträchtigen können, ist zurzeit unbekannt. Wie weiter oben dargestellt, ist eine Freisetzung von Nanopartikeln aus Textilien durch mechanische Beanspruchung, Alterung, Abrieb etc. nicht auszuschließen. Hier fehlen jedoch entsprechende Studien zur Abklärung der Exposition sowie des möglichen Gefahrenpotenzials.

Nanosilber wird aufgrund seiner antimikrobiellen Eigenschaften bereits in einer breiten Palette von Konsumprodukten eingesetzt, so auch in Textilien. Einem fragwürdigen Nutzen stehen mögliche negative gesundheitliche Effekte gegenüber<sup>12</sup>. Materialien mit Nanosilberpartikeln (integriert in Textilfasern oder als Faserbeschichtung) werden einerseits zur Herstellung von geruchsarmen Textilien verwendet, wobei Auswirkungen auf die natürliche Hautflora nicht untersucht sind (siehe unten). Andererseits wird Nanosilber auch für Bekleidung, die Menschen mit Neurodermitis (atopischer Dermatitis) vor einer Infektion mit dem Bakterium *Staphylococcus aureus* schützen soll, eingesetzt. Dieser Keim steht in Verdacht, die Krankheitssymptome von Neurodermitis zu verstärken. Eine tatsächliche positive Wirkung von Textilien mit Nano-Silber bei Neurodermitis wurde bislang in klinischen Studien nicht bestätigt<sup>13</sup>.

Das deutsche Bundesinstitut für Risikoforschung (BfR) sieht in der Minderung von Bakterien auf Textilien keinen Vorteil und warnt vor möglichen negativen Auswirkungen, wie einer schwächeren Ausprägung des Immunsystems und die Möglichkeit der Entwicklung silberresistenter Bakterienstämme. Weiters befürchtet das BfR, dass die VerbraucherInnen ein trügerisches Sicherheitsgefühl entwickeln und die allgemeine Hygiene (Waschen der Kleidungsstücke) vernachlässigen könnten<sup>14</sup>.

### Auswirkungen von Nanosilber in Textilien auf die Hautflora

In den letzten Jahren wurden mit Nanosilber antibakteriell ausgestattete Textilien entwickelt, um durch Verminderung der Keimanzahl die Geruchsentstehung zu minimieren. Frischer Schweiß ist zunächst völlig geruchsfrei. Erst durch Einwirkung bestimmter Bakterien der Hautflora entsteht der charakteristische, z. T. unangenehme Körpergeruch. Silberionen wirken effektiv gegen ein breites Spektrum von Bakterien<sup>15</sup> und dieser Mechanismus soll genutzt werden, um die geruchsbildenden Bakterien abzutöten. In Kontakt mit der Haut ist also eine unspezifische Wirkung auf die Hautflora zu erwarten. An den Hohensteiner Instituten wurden *in-vitro* Untersuchungen mit antibakteriellen Textilien durchgeführt und deren Auswirkungen auf die Hautflora untersucht<sup>16</sup>. Die Ergebnisse können so interpretiert werden, dass Keime offenbar nur in sehr engem und unmittelbarem Kontakt zu antimikrobiell ausgestatteten Fasern abgetötet werden. Für die menschliche Hautflora bedeutet dies, dass sie nur dann beeinflusst werden kann, wenn sie direkt in Kontakt mit der ausgerüsteten Faser

steht. Da jedoch, je nach Konstruktion und Faserart, nur wenige Textilfasern und auch nur vorübergehend direkte Kontaktpunkte zur Haut besitzen, ist eine dramatische Veränderung der Hautflora in Bezug auf die Keimzahl nicht zu erwarten. Untersuchungen mit Desinfektionsmitteln zeigen zudem, dass etwa 20 % der Bakterien der Hautflora für diese Mittel unerreichbar tief in der Haut sitzen<sup>17</sup>. Die Keimpopulation wird also nur kurzfristig reduziert und nach gewisser Zeit füllen Hautkeime aus tieferen Hautdepots (Schweißporen, Haarfollikel) das entstandene Defizit wieder auf<sup>16</sup>. Dieser Effekt ist möglicherweise auch bei Anwendung von Nanosilber zu erwarten. Allerdings sind hier weitere Untersuchungen notwendig, da Silbernanopartikel aufgrund ihrer geringen Größe auch in tiefere Hautschichten vordringen können<sup>18</sup> und ihre antimikrobielle Wirkung gegenüber der residenten Hautflora entfalten. Bislang fehlen aussagekräftige Studien zu den Langzeiteffekten von Nanosilber in Textilien auf die natürliche menschliche Hautflora.

## Umweltauswirkungen

Da Untersuchungen zur Freisetzung von Nanopartikeln aus Textilien fehlen, kann auch ein mögliches Umweltrisiko nicht abgeschätzt werden. Am wahrscheinlichsten ist jedoch eine Freisetzung während des Waschens, wobei Nanopartikel über das Abwasser in die Umwelt gelangen können. Hier ist es vor allem Nanosilber, das aufgrund seiner antimikrobiellen Eigenschaften bedenklich erscheint, da Silberionen toxisch für aquatische Organismen sowie für Boden-Mikroorganismen

sind. Eine Beeinträchtigung der für die biologische Aufbereitung des Abwassers in Kläranlagen eingesetzten Bakterien ist ebenfalls nicht auszuschließen (siehe dazu<sup>12</sup>). Erste Studien belegen, dass Nanosilber in unterschiedlichen Mengen und Formen aus Textilien freigesetzt werden können. In einer Studie wurde untersucht, welche Mengen und welche Form (nano oder größer) von Silber aus neun verschiedenen Geweben während des Waschens in der Waschmaschine in das Wasser abgegeben werden. Es wurde festgestellt, dass der Prozentsatz des abgegebenen Silbers zwischen den einzelnen Produkten stark schwankte (1,3 bis 35 %) und von der Art der Herstellung abhängig ist<sup>9</sup>. Besonders wenig Silber setzten solche Produkte frei, bei denen das Silber in die Faser eingebunden war. Beim Waschen in der Waschmaschine wurde Silber vor allem in Partikelgrößen von >450 nm freigesetzt, was die Autoren als Hinweis auf die Bedeutung der mechanischen Einwirkung interpretieren. Ein Produkt mit konventioneller Silberveredelung (mehrere µm dicke Silberbeschichtung der Fasern) zeigte keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Größenverteilung der freigesetzten Silberpartikel.

Auch Nano-Titandioxid, das ebenfalls zur Herstellung von Nano-Textilien eingesetzt wird, ist aufgrund seiner möglichen Umweltauswirkungen als bedenklich einzustufen. In Gegenwart von Wasser und UV-Strahlung bildet Nano-Titandioxid freie Sauerstoffradikale, die toxisch für aquatische Mikroorganismen sind. Dadurch kann das ökologische Gleichgewicht von Gewässern beeinträchtigt werden. Allerdings fehlen noch weitere Untersuchungen zu den Mechanismen der Toxizität sowie zu den Auswirkungen auf natürliche Ökosysteme<sup>19</sup>.

### Fazit

Wenngleich bereits eine Reihe von Nano-Textilien am Markt erhältlich sind, ist doch zu hinterfragen, ob es sich dabei tatsächlich immer um Materialien handelt, die mittels moderner Nanotechnologie hergestellt werden. Es befinden sich viele Herstellungsverfahren erst im Forschungsstadium und die Nano-Textilien-Herstellung ist zum Teil noch kostenintensiv. Es kann vermutet werden, dass manche konventionelle Textilien verkaufsfördernd mit dem Schlagwort „nano“ beworben werden. Es steht jedoch fest, dass die Freisetzung der verwendeten Nanomaterialien durch mechanische Belastung, Abrieb und andere äußere Einflüsse möglich ist. Am wahrscheinlichsten gelangen Nanopartikel durch das Waschen von Textilmaterialien in die Umwelt. Erste *in-vivo* und *in-vitro* Untersuchungen liefern Hinweise auf ein Gefährdungspotenzial bestimmter Nanopartikel. So sind insbesondere ArbeitnehmerInnen in der Industrie mit entsprechenden Maßnahmen vor einer Exposition mit CNT zu schützen. Nanosilber und Nano-Titandioxid – beides Materialien, die auch in der Textilherstellung verwendet werden – sind u. a. für aquatische Mikroorganismen toxisch. Hier fehlen jedoch Untersuchungen zu Eintragungsmengen und zu den Auswirkungen auf natürliche Ökosysteme. Daher ist die Abschätzung der Gesundheits- oder Umweltrisiken von synthetischen Nanopartikeln aus Textilien derzeit nicht möglich. Eine verstärkte Transparenz und eine verbesserte Informationspolitik von Seiten der Industrie könnte wesentlich dazu beitragen, mögliche Unklarheiten und Unsicherheiten der KonsumentInnen zu beseitigen.

**Anmerkungen und Literaturhinweise**

- 1 Som, C., Halbeisen, M. und Köhler, A., 2009, *Integration von Nanopartikeln in Textilien – Abschätzungen zur Stabilität entlang des textilen Lebenszyklus*, 5.1.2009: EMPA [www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*78398/---/NanoSafeTextiles\\_5.pdf](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*78398/---/NanoSafeTextiles_5.pdf).
- 2 Siegfried, B., 2007, *NanoTextiles: Functions, nanoparticles and commercial applications*, Dezember 2007: EMPA [www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*78337/---/NanoSafeTextiles\\_1.pdf](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*78337/---/NanoSafeTextiles_1.pdf).
- 3 Mecheels, S., Schroth, B. und Breckenfelder, C., 2004, *Smart Clothes – Intelligente textile Produkte auf der Basis innovativer Mikrotechnologie. Expertensicht – Beispiele – Empfehlungen*: Hohensteiner Institute [www.hohenstein.de/ximages/528295\\_smartcloth.pdf](http://www.hohenstein.de/ximages/528295_smartcloth.pdf).
- 4 Ulrich, C., 2006, *Nano-Textiles Are Engineering a Safer World*, *Human Ecology*, 2 [www.human.cornell.edu/che/Outreach/upload/Nano-Textiles %20Are %20Engineering %20a %20Safer %20World.pdf](http://www.human.cornell.edu/che/Outreach/upload/Nano-Textiles%20Are%20Engineering%20a%20Safer%20World.pdf).
- 5 [www.nanotechproject.org](http://www.nanotechproject.org), (Stand 3.11.09).
- 6 Greßler, S., Nentwich, M., Simkó, M., Gzásó, A. und Fiedeler, U., 2009, *Nano-Konsumprodukte in Österreich*. NanoTrust Dossiers, Nr. 009 [pub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier009.pdf](http://pub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier009.pdf).
- 7 [www.hohenstein.de](http://www.hohenstein.de), (Zugriff 4.11.09).
- 8 Benn, T. M. und Westerhoff, P., 2008, *Nanoparticle Silver Released into Water from Commercially Available Sock Fabrics*, *Environmental Science & Technology* 42(11), 4133-4139.
- 9 Geranio, L., Heuberger, M. und Nowack, B., 2009, *The Behavior of Silver Nanotextiles during Washing*, *Environmental Science & Technology* 43(21), 8113-8118.
- 10 Aitken, R. J., Hankin, S. M., Ross, B., Tran, C. L., Stone, V., Fernandes, T. F., Donaldson, K., Duffin, R., Chaudhry, Q., Wilkins, T. A., Wilkins, S. A., Levy, L. S., Rocks, S. A. und Maynard, A., 2009, *EMERGNANO: A review of completed and near completed environment, health and safety research on nanomaterials and nanotechnology*, im Auftrag von: Defra, Nr. TM/09/01: IOM [www.safenano.org/Uploads/EMERGNANO\\_CB0409\\_Full.pdf](http://www.safenano.org/Uploads/EMERGNANO_CB0409_Full.pdf).
- 11 Simkó, M., Gzásó, A., Fiedeler, U. und Nentwich, M., 2009, *Nanopartikel, Freie Radikale und Oxidativer Stress*. NanoTrust Dossiers, Nr. 012 [pub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier012.pdf](http://pub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier012.pdf).
- 12 Fries, R., Greßler, S., Simkó, M., Gzásó, A., Fiedeler, U. und Nentwich, M., 2009, *Nanosilber*. NanoTrust Dossiers, Nr. 010 [pub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier010.pdf](http://pub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier010.pdf).
- 13 Birnie, A. J., Bath-Hextall, F. J., Ravenscroft, J. C. und Williams, H. C., 2009, *Interventions to reduce Staphylococcus aureus in the management of atopic eczema (Review)*, *Cochrane Database Syst. Rev.* 2008 Jul 16; (3): CD003871.
- 14 BfR, 2006, 12. Sitzung des Arbeitskreises „Gesundheitliche Bewertungen von Textilhilfsmitteln und -farbstoffen“ der Arbeitsgruppe „Textilien“ des BfR: Bundesinstitut für Risikobewertung [www.bfr.bund.de/cm/207/bericht\\_ueber\\_die\\_12\\_sitzung\\_des\\_arbeitskreises\\_gesundheitliche\\_bewertung.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/207/bericht_ueber_die_12_sitzung_des_arbeitskreises_gesundheitliche_bewertung.pdf).
- 15 Wijnhoven, S. W. P., Peijnenburg, W. J. G. M., Herberts, C. A., Hagens, W. I., Oomen, A. G., Heugens, E. H. W., Roszek, B., Bisschops, J., Gosens, I., Van De Meent, D., Dekkers, S., De Jong, W. H., Van Zijverden, M., Sips, A. J. A. M. und Geertsma, R. E., 2009, *Nano-silver – a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment*, *Nanotoxicology* 3(2), 109-138.
- 16 Höfer, D. und Mecheels, S., 2004, *Textilien, Hautflora und Geruch*, Nr. 62: Hohensteiner Institute.
- 17 Hausteiner, U.-F., 1989, *Bakterielle Hautflora, Wirtsabwehr und Hautinfektionen*, *Dermatologische Monatsschrift* 175(11), 665-680.
- 18 Larese, F. F., D’Agostin, F., Crosera, M., Adami, G., Renzi, N., Bovenzi, M. und Maina, G., 2009, *Human skin penetration of silver nanoparticles through intact and damaged skin*, *Toxicology* 255, 33-37.
- 19 Battin, T. J., Von der Kammer, F., Weilhartner, A., Ottoufelling, S. und Hofmann, T., 2009, *Nanostructured TiO2: Transport Behavior and Effects on Aquatic Microbial Communities under Environmental Conditions*, *Environmental Science & Technology* 43(21), 8098-8104.

**IMPRESSUM:**

**Medieninhaber:** Österreichische Akademie der Wissenschaften; Juristische Person öffentlichen Rechts (BGBl 569/1921 idF BGBl I 130/2003); Dr. Ignaz Seipel-Platz 2, A-1010 Wien

**Herausgeber:** Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA); Strohgasse 45/5, A-1030 Wien; [www.oew.ac.at/ita](http://www.oew.ac.at/ita)

**Erscheinungsweise:** Die NanoTrust-Dossiers erscheinen unregelmäßig und dienen der Veröffentlichung der Forschungsergebnisse des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung im Rahmen des Projekts NanoTrust. Die Berichte werden ausschließlich über das Internetportal „epub.oew“ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt: [pub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/](http://pub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/)

NanoTrust-Dossier Nr. 015, Jänner 2010: [pub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier015.pdf](http://pub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier015.pdf)

ISSN: 1998-7293



Dieses Dossier steht unter der Creative Commons (Namensnennung-NichtKommerziell-KeineBearbeitung 2.0 Österreich) Lizenz: [creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/at/deed.de](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/at/deed.de)