

Wie Erinnerungen dauerhaft gespeichert werden Seite 60

Technik schützt Grossbauten in Dubai vor dem Verfall Seite 60

Neue Probleme mit neuartigen Stammzellen Seite 61

Warum auf der Sonne lange keine Flecken prangten Seite 61

## Wie «grün» ist die Nanotechnologie?

Ökobilanzen sollen die Beurteilung der Nachhaltigkeit objektiver machen

Für die Nanotechnologie wird oft mit dem Argument geworben, sie schone Umwelt und Ressourcen. Ob das wirklich so ist, versuchen Forscher durch das Erstellen von Ökobilanzen zu beantworten.

Christian Meier, Aitziber Romero, Dino Trescher

Die Positionen von Industrie und Umweltverbänden zur Nanotechnologie trennen Welten. Während die einen das Bild einer nachhaltigen Hightech-Ära zeichnen, in der Nanoprodukte giftige Chemikalien überflüssig machen oder zur Effizienzsteigerung beitragen, argwöhnen die anderen das Grünwaschen einer Risikotechnologie. Die Auseinandersetzung ist von Ressentiments geprägt. Deshalb versuchen Wissenschaftler, mit Hilfe sogenannter Ökobilanzen objektive Antworten auf die Frage zu finden, welche Chancen und Risiken in der Nanotechnologie stecken.

### Kleine Menge, grosse Wirkung

Die grünen Versprechen sind nicht an den Haaren herbeigezogen: Die Nanotechnologie könnte tatsächlich ressourcenschonende Produkte hervorbringen, etwa durch den Einsatz von sogenannten Kohlenstoffnanoröhren. Diese aus eng aufgewickelten Lagun aus Graphit bestehenden Röhren sind fester als Stahl und dabei viel leichter. Schon wenige Gewichtsprozent in einem Kunststoff machen diesen deutlich reissfester. Es gibt Tennisrackets oder Surfbretter, welche die unsichtbar kleinen Fasern enthalten. In Zukunft könnten sich riesige Rotoren, die ihre Stabilität Kohlenstoff-Nanoröhren verdanken, an gigantischen Windkraftanlagen drehen und wesentlich mehr Windenergie ernten als heutige Windräder. Ein anderes Beispiel sind nanoröhrenverstärkte Bauteile, die bei gleicher Festigkeit dünner sein können und somit leichte, treibstoffsparende Fahr- oder Flugzeuge ermöglichen.

Dass sie giftige Chemikalien ersetzen, ist eine weitere grüne Erwartung an die Nanotechnologie. So töten in Textilfasern eingebundene Silbernanopartikel Bakterien, die Schweiß in Gestank umwandeln. Sie könnten bakterienhemmende Chemikalien wie das Umweltgift Triclosan ersetzen, mit dem derzeit viele Textilien versehen sind. Silbernanopartikel vernichten ausserdem Algen und Pilze, weshalb sie bereits in einer Fassadenfarbe und Holzschutzbeschichtung eingesetzt werden. Sie sollen für die Umwelt giftige Biozide ersetzen. Diese sind weit verbreitet. So verwendeten Schweizer Maler 2005 bei über der Hälfte ihrer Fassadenarbeiten biozidhaltige Farben oder Putze.

Die Vorteile für die Umwelt liegen also offenbar auf der Hand. Doch Umweltschützer kritisieren, dass es kaum Ökobilanzen für Nanoprodukte gebe. Solche Bilanzen betrachten möglichst den gesamten Lebensweg eines Produktes: nicht nur die Phase seiner Nutzung, sondern auch seine Herstellung, inklusive vorangehender Rohstoffgewinnung, sowie seine Entsorgung. Die Summe der Schadstoff- oder Treibhausgasemissionen sowie jedes verbrauchte Kilowatt Energie «von der Wiege bis zur Bahre» eines Produktes ergeben dessen ökologischen Fussabdruck.

Erst ein Vergleich der Ökobilanzen zweier Produkte zeigt, welches von beiden umweltfreundlicher ist. Allerdings führen Ökobilanzen in der Nanobranche ein Schattendasein. Nur etwas mehr als 20 Umweltsaldos von Nanoprodukten hat Michael Steinfeldt von der Universität Bremen gezählt. Angesichts der geschätzten 1000 Nanoprodukte auf den internationalen Märkten ist das eine kleine Zahl.



Windkraftanlagen mit Nanoröhren-verstärkten Rotorblättern könnten in Zukunft mehr Energie ernten.

JOACHIM LADEFOGED / VII / CORBIS

Allerdings tut sich etwas. So fertigt die amerikanische Umweltbehörde EPA derzeit eine Ökobilanz für nanosilberhaltige Socken an und plant weitere Fallstudien. Auch das deutsche Umweltbundesamt (UBA) hat Ökobilanzen anfertigen lassen und lässt weitere durchführen. In der Schweiz beschäftigt sich die Professur für ökologisches Systemdesign der ETH Zürich und die Empa mit der Ökobilanzierung von Nanoprodukten.

### Kein eindeutiges Bild

Die wenigen bis jetzt verfügbaren Ökobilanzen zeichnen kein eindeutiges Bild. Beispiel Kohlenstoffnanoröhren: Die Herstellung von damit verstärkten Kunststoffen kostet 1,6- bis 12-mal so viel Energie wie die von Stahlbauteilen gleicher Festigkeit, wie Forscher der Ohio State University kürzlich zeigten. Laut ihrer Studie hängt es von der Konzentration der Nanoröhren im Kunststoff ab, ob der Energie-Mehraufwand für die Herstellung bei der Nutzung wieder eingespielt wird, etwa durch ein spritsparendes Leichtbaufahrzeug. Bei Verpackungsfolien für Elektronikbauteile hingegen, die mit Kohlenstoffnanoröhren elektrisch leitend gemacht werden, ist der Fall klarer: Sie kosten die Umwelt deutlich weniger Energie und Treibhausgas als die bisher verwendeten Folien, die mit Industriematerialien leitend gemacht werden. Das zeigt eine Ökobilanz, die Michael Steinfeldt für das UBA angefertigt hat.

Der wesentliche Malus der Kohlenstoffnanoröhren ist der hohe Energieverbrauch bei ihrer Herstellung, der laut einer amerikanischen Studie 360-mal höher ist als bei der gleichen Menge Stahl. Doch das muss nicht so bleiben: Forscher des Massachusetts Institute of Technology veränderten im Labor einen der wichtigsten Prozesse zur Herstellung von Kohlenstoffnanoröhren so, dass er 50 Prozent weniger Energie verbraucht. Ausserdem steckt die Herstellung der Röhren noch in den Kinderschuhen. Durch die Vergrößerung von Herstellungsanlagen könne der Energieverbrauch pro Kilogramm Nanoröhren noch deutlich gesenkt werden, sagt Steinfeldt.

Welche mit Kohlenstoffnanoröhren versetzten Produkte die Umwelt entlasten, muss sich also im Einzelfall erst noch zeigen. Auch der Einsatz von Nanosilber ist nicht per se umwelt-

freundlich. Tobias Walser von der ETH Zürich hat in einer Ökobilanz antimikrobielle T-Shirts mit Nanosilber und solche mit dem Bakterienhemmer Triclosan verglichen. Der Umweltingenieur berechnete, welchen CO<sub>2</sub>-Ausstoss Herstellung, Nutzung und Entsorgung der beiden Textilien verursachen. Die Studie soll demnächst publiziert werden. Lediglich in der Nutzungsphase unterscheidet sich der CO<sub>2</sub>-Ausstoss wesentlich, sagt Walser. Der Forscher nahm an, dass die T-Shirts mit Nanosilber weniger oft gewaschen würden, da nanosilberhaltige Textilien – anders als triclosanhaltige – meist einen Hinweis auf ihre antibakterielle Wirkung tragen. Der Verzicht auf häufiges Waschen könne die CO<sub>2</sub>-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus der T-Shirts um 80 Prozent senken, so Walser. Ob das Waschverhalten sich jedoch wirklich ändere, sei noch unerforscht, räumt er ein.

Auch die Toxizität von Silber für Wasserlebewesen stellte Walser in Rechnung und hat dafür die Fachliteratur studiert. Bisherige Daten deuteten an, dass die akute Toxizität von Silber geringer sei als die von Triclosan. Allerdings hat Walser bei der Bewertung der Toxizität keinen Unterschied zwischen Silbernanopartikeln und nicht nanoskaligem Silber gemacht, also Silberpartikeln mit einem Durchmesser von über 100 Nanometern. Risikoforscher befürchten jedoch, dass Nanopartikel toxischer seien als grössere Partikel des gleichen Stoffes. Denn sie haben bezogen auf ihr Volumen eine wesentlich grössere Oberfläche. Das steigert zwar ihre Nutzwirkung, könnte aber auch ihre Schädigung in der Umwelt erhöhen.

Im Labor haben Silbernanopartikel schon in äusserst kleinen Konzentrationen empfindlichen Wasserorganismen geschadet. Um die Toxizität von Silber in Form von Nanopartikeln in einer Ökobilanz zu bewerten, gebe es aber noch zu wenig Daten, sagt Walser. «Wenn Nanopartikel beim Waschen von Textilien freigesetzt werden und in die Umwelt gelangen, verbinden sie sich dort wahrscheinlich mit anderen Stoffen, etwa Schwefel, und liegen nicht mehr in Form von freien Nanopartikeln vor», sagt der Wissenschaftler. Dies sei aber noch nicht durch Feldexperimente bestätigt.

Auch die Umwelttoxizität von anderen Nanomaterialien, zum Beispiel

Kohlenstoffnanoröhren, wurde bisher kaum systematisch erforscht. Sie sei aber ein sehr wichtiger Aspekt bei der Ökobilanzierung von Nanoprodukten, sagt Roland Hischier von der Empa, der versucht, Umweltdaten von Nanomaterialien in die Ökobilanzierung zu integrieren.

Darüber hinaus wissen Risikoforscher wenig darüber, in welchem Mass Nanopartikel aus Produkten in die Umwelt gelangen, etwa durch Abrieb, bei der Kehrlichtverbrennung oder nach jahrelanger Deponierung. Daher blenden die meisten bisher erstellten Ökobilanzen die Nutzungsphase und das Lebensende von Nanoprodukten aus. Hischier sieht die Risikoforschung nun in der Pflicht, die nötigen Daten zu liefern. Solange diese fehlten, lasse sich die Umweltfreundlichkeit von Nanoprodukten nur nach üblichen Kriterien wie Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen bewerten. Die für eine umfassende Beurteilung spannende Frage ihrer Umwelttoxizität bleibe hingegen offen.

### Marginale Vorteile

Doch auch die klassischen Kriterien wie Energieverbrauch liefern Hinweise, welche Nanoprodukte sich für die Umwelt lohnen könnten und welche nicht. «Die bisherigen Ökobilanzen zeigen meist nur marginale Vorteile für die Umwelt, so dass sich die Frage stellt, ob diese nicht auch ohne Nanotechnologie zu erzielen wären», sagt Martin Möller vom Öko-Institut in Freiburg im Breisgau, der eine Methodik zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Nanoprodukten entwickelt. Bis jetzt liessen erst wenige Innovationen einen klaren Vorteil für die Umwelt erkennen, der ohne Nanotechnologie nicht möglich wäre. Dazu zählt Möller einen Beton, der dank Nanopartikeln im Winter nicht geheizt werden muss, um schnell auszuhärten. In der Breite eingesetzt, würde das laut Möller richtig viel Energie sparen.

Man kann deshalb das folgende Fazit ziehen: Die Nanotechnologie ist per se nicht grüner als irgendeine andere Technologie; Nanomaterialien machen Produkte nicht automatisch umweltfreundlich. Dafür braucht es auch in der Nanotechnologie vor allem eines: Erfindergeist.

Der Artikel entstand im Rahmen eines Recherche-Stipendiums der Initiative Wissenschaftsjournalismus.

## Schlechte Signale in Krebszellen

Neues Angriffsziel bei Prostatakrebs

Eine gezielte Krebstherapie ist nur möglich, wenn die molekularen Signalwege in den Tumorzellen verstanden werden. Beim Prostatakrebs ist man in dieser Hinsicht einen Schritt weiter.

ni. · Was der Brustkrebs bei der Frau, das ist der Prostatakrebs beim Mann: der häufigste Tumor. Ein Teil der bösartigen Geschwülste in der Vorsteherdrüse sind besonders aggressiv und führen rasch zu Metastasen. Seit Jahren suchen Forscher nach Möglichkeiten, um solche potenziell tödlichen Krebstypen frühzeitig zu erkennen und zu behandeln. In diesem Zusammenhang wird auch von gezielter Krebstherapie gesprochen. Auf dem Weg einen Schritt vorangekommen sind Forscher der University of Michigan in Ann Arbor, USA. Sie haben einen Signalweg entdeckt, mit dem sich aggressive Prostatakrebs erkennen lassen.<sup>1</sup> Zudem haben sie zeigen können, dass die Blockade des molekularen Kommunikationsweges die Krebsentstehung hemmt – zumindest bei Mäusen.

Für ihre Arbeit haben Arul Chinnaiyan und seine Kollegen über 1500 Gewebeprobe von Männern mit Prostatakrebs untersucht. Dabei stellten sie fest, dass sich 10 Prozent der Tumore durch eine genetische Eigenart auszeichnen: In den Krebszellen wird eine bestimmte Erbanlage verstärkt abgelesen. Dies führt in der Prostata zu einer vermehrten Bildung und Ausschüttung eines Eiweisses namens Spink1. In Laborversuchen konnten die Forscher – wie auch schon andere Gruppen – zeigen, dass sich die Krebszellen dadurch besonders rasch teilen und ins umliegende Gewebe einwandern – beides Eigenschaften, die einen aggressiven Krebs ausmachen.

Dass Spink1 Teil eines wichtigen Signalwegs sein könnte, demonstrierten die Forscher an Mäusen, denen sie menschliche Prostatakrebszellen transplantiert hatten. Denn nachdem sie das Eiweiss mit einem experimentellen Antikörper blockiert hatten, schrumpfte der Tumor um 60 Prozent. Etwas weniger stark liess sich der Krebs auch mit einer anderen Substanz zurückdrängen. Der bei Dickdarmkrebs eingesetzte Antikörper Cetuximab ist zwar nicht gegen Spink1 gerichtet, blockiert aber einen Rezeptor in der Wand der Krebszellen (EGFR). Dass sich das Tumorstadium auch so hemmen lässt, hat laut Chinnaiyan damit zu tun, dass Spink1 seine Wirkung teilweise über die Bindung an diesen Rezeptor entfaltet.

Weil Spink1 im Urin nachweisbar ist, könnte sich das Eiweiss als einfacher und nützlicher Test zur molekularen Charakterisierung des Prostatakrebses eignen. Wie die Forscher nämlich zeigen konnten, führten die beiden Prüfsubstanzen nur bei Spink1-positiven Tumoren zu einer Verbesserung. Das könnte erklären, weshalb Cetuximab in früheren Studien nur bei 8 Prozent der – nicht auf Spink1 getesteten – Männer mit metastasierendem Prostatakrebs wirksam war.

Bereits wird das neue Eiweiss mit etablierten Signalmolekülen anderer Krebsarten verglichen, so etwa mit dem Rezeptor HER2, der bei einer von fünf Frauen mit Brustkrebs übermässig gebildet wird. Wie Spink1 verschlechtert auch dieses Molekül die Prognose. Seit einigen Jahren steht jedoch mit Herceptin, dem Inbegriff der gezielten Krebstherapie, ein wirksamer Blocker dieses Signalwegs zur Verfügung. Bei Spink1 ist es noch nicht so weit. Erst müsse gezeigt werden, dass der Ansatz beim Menschen nicht zu schweren Nebenwirkungen führe, meint Chinnaiyan selbstkritisch. Denn das neue Angriffsziel ist nicht nur in der Prostata vorhanden.

<sup>1</sup> Science Translational Medicine, Online-Publikation vom 2. März 2011.