

Ökologischer Nutzen versus Risiko am Beispiel von Nanobeschichtungen

Haben Produkte der Nanotechnologie einen ökologischen Mehrwert?

Bei der Bewertung von Nanotechnologie stehen sich zumeist ökologischer Nutzen und mögliche Risiken gegenüber. Können nanotechnologische Produkte zu einer ökologischen Umgestaltung der Wirtschaft beitragen? Mögliche Antworten liefert die Untersuchung der Lebenszyklen von zwei nanoskaligen Oberflächenbeschichtungen.

Von Andrea Wallner

Für Nano-Produkte wird häufig der Anspruch erhoben, dass sie einen ökologischen Mehrwert schaffen. Diese Erwartungen betreffen etwa einen geringeren Rohstoff- und Energieverbrauch sowie verringerte Emissionen bei Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes. Der ökologische Vorteil stellt einen Teil der Vision der Nanotechnologie als nachhaltige Zukunftstechnologie dar, basiert jedoch zumeist mehr auf Vermutungen als auf ausreichend belegbaren Daten. Möglichen ökologischen Vorteilen steht ein eventuelles Risiko für Mensch und Umwelt in der Herstellungs- und Nutzungsphase gegenüber. Die Konkretisierung dieser Aspekte durch Fallbeispiele erlaubt es, das nachhaltige Potenzial von Nanoprodukten besser einzuschätzen.

Ökologischer Mehrwert versus Risiko

Im Projekt NanoRate wurden in diesem Zusammenhang der Umwelt- und Ressourcennutzen sowie allfällige Risiken zweier Nano-Oberflächenbeschichtungen im Vergleich mit konventionellen Beschichtungen herausgearbeitet (Klade et al. 2009). Der Vergleich folgte dabei dem Lebenszyklusansatz und bezog auch den ökonomischen Nutzen mit ein (1). Als nanoskalig wurden Objekte definiert, die in mindestens einer Dimension zwischen eins und 100 Nanometer groß sind.

Das Projektergebnis ist eine Darstellung und Interpretation des Wissens sowie des Nicht-Wissens zu den Fallbeispielen. Verallgemeinernde Schlussfolgerungen auf andere Nanoanwendungen sind nur bedingt möglich. Methoden, Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Projektes NanoRate werden auf den folgenden Seiten auszugsweise vorgestellt. Der Fokus des Artikels liegt auf dem Thema Ökobilanzierung zur Einschätzung des ökologischen Nutzens.

Der Markt für Nanoprodukte ist bereits heute beträchtlich. Für 2005 wurde ein Weltmarktvolumen zwischen 900 Millionen

US-Dollar und 225 Milliarden US-Dollar vermutet (BCC 2001; Schmid et al. 2006). Mit dem wirtschaftlichen Durchbruch der Nanotechnologie dürften die Umsätze noch enorm steigen. Die Prognosen für das Weltmarktvolumen 2015 liegen zwischen 750 Milliarden US-Dollar und einer Billion US-Dollar (Wintergreen 2004; Schmid et al. 2006). Die Zahlen der verschiedenen Marktanalysen weichen wegen unterschiedlicher Annahmen, beispielsweise hinsichtlich der Definition von Nanotechnologie und der inkludierten Teilbereiche, zwar stark voneinander ab, gemeinsam ist ihnen jedoch eine hohe Wachstumsrate für den Nanoproduktmarkt.

Vor diesem Hintergrund der großen Marktrelevanz von Nanoprodukten ist es umso wichtiger, gesichertes Wissen zu möglichen positiven und negativen Effekten von Nanoprodukten zu generieren.

Stärken und Schwächen in der Ökobilanzierung

Ein gut geeignetes Instrument um Produkte, Prozesse und Anwendungen hinsichtlich ihres ökologischen Nutzens zu bewerten, ist die Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA). Mit einer Ökobilanz werden Stoff- und Energieströme, sowohl Input als auch Output, über den gesamten oder über ausgewählte Abschnitte des Lebenszyklus über eine LCA-Software erfasst und bewertet.

Im Projekt NanoRate wurde SimaPro verwendet, eine weitverbreitete und anerkannte LCA-Software, die den Empfehlungen nach ISO 14040 entspricht. Die inkludierte Ecoinvent-Datenbank bietet für viele Prozesse und Materialien vorgefertigte Datensätze an, die die Vorketten bereits beinhalten.

Zunächst werden in der Sachbilanz die Input- und Outputflüsse wie Materialaufwand, Energieeinsatz und Emissionen des Lebenszyklus erfasst. Darauf aufbauend kann zwischen mehreren Methoden der Wirkungsbilanz gewählt werden, um die Auswirkungen zu bewerten.

Die Fallbeispiele wurden mit einem Mix von vier Methoden zur Wirkungsabschätzung über den Lebenszyklus bewertet: Klimawandel gemäß IPCC 2007 bewertet das Treibhausgaspotenzial, kumulierter Energieaufwand erfasst den Primärenergieeinsatz, Eco-Indicator bewertet die Schäden an den Schutzziele menschlicher Gesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen (2). Die Methode Umweltbelastungspunkte, beziehungsweise die Methode der ökologischen Knappheit, geht analog dazu vor, es werden unter anderem aber die schadstoffbedingten Ergebnisse stärker gewichtet (3). →

Effekte, welche die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit betreffen, werden derzeit über eine Lebenszyklusanalyse allerdings nur teilweise, soziale Effekte gar nicht erfasst. Was die menschliche Gesundheit betrifft, erfasst die Ökobilanzierungsmethode Effekte, die sich über Modelle beschreiben lassen und die durch Daten belegt sind, wie zum Beispiel bodennahes Ozon.

Entsprechende Wirkungsmodelle sind jedoch im Zusammenhang mit Nanomaterialien nicht verfügbar, da sowohl Wirkungsmechanismen als auch die Exposition noch unzureichend erforscht sind.

Die Ergänzung von LCA-Software um Nanodatensätze ist auch deshalb äußerst wünschenswert, da unter anderem die Meinung vertreten wird, dass nanotechnologische Herstellungsverfahren erheblich zu den Auswirkungen des Produktlebenszyklus beitragen können. Dies trifft jedenfalls zu, wenn der Herstellungsprozess hochreine Ausgangsmaterialien, Chemikalien oder Umgebungsbedingungen bedingt (Sengül et al. 2008).

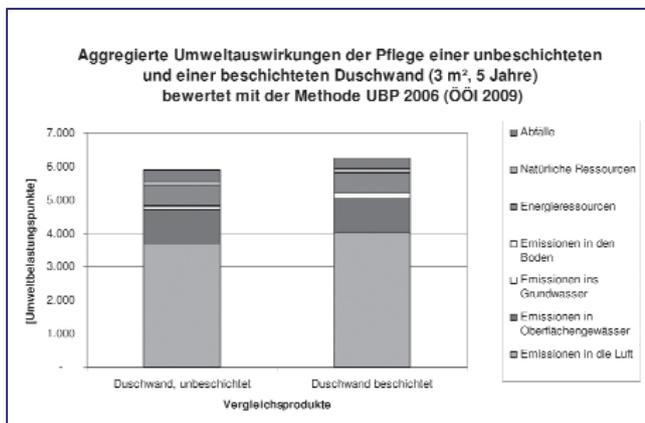
Nano-Risikobewertung

Da die Ökobilanzierung gesundheitliche Risiken von Nanomaterialien erst teilweise bewerten kann, musste eine Risikobewertung insbesondere bezüglich Nanomaterialien komplementär zur Lebenszyklusanalyse erfolgen.

Dazu wurde in die Produktfallstudien eine Risikobewertungsmatrix integriert, die für jeden Prozessschritt eventuelle Risiken und Wissenslücken aufzeigt. Als Vorbild und Modell wurde das Schweizer Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien ausgewählt (Höck et al. 2008).

Im Schweizer Vorsorgeraster und der Risikodiskussion im Allgemeinen geht man davon aus, dass nanospezifische Risiken nur dann entstehen, wenn nano particles and rods, kurz NPR, freigesetzt werden können. NPR sind Objekte, die in zwei oder drei Dimensionen, also Stäbchen oder Partikel, nanoskaliert sind. Bei den Fallstudien wurde deshalb geprüft, ob NPR innerhalb des Lebenszyklus zugegeben werden oder entstehen.

Abbildung 1: Umweltauswirkungen Duschwand



Quelle: Österreichisches Ökologie-Institut, Markus Messner

Fallbeispiele

Für die Erhebung des Umwelt- und Ressourcennutzens mittels Ökobilanzierung sowie allfälliger Risiken mittels Risikomatrizen wurden zwei nanostrukturierte Oberflächenbeschichtungen mit einer maximalen Dicke von 100 Nanometer ausgewählt. Beide Anbieter werben unter anderem mit einem ökologischen Nutzen:

- Nanoprotect ist eine nanoskalige Beschichtung für Glas,
- haptiX ist eine nanoskalige Holzbodenbeschichtung.

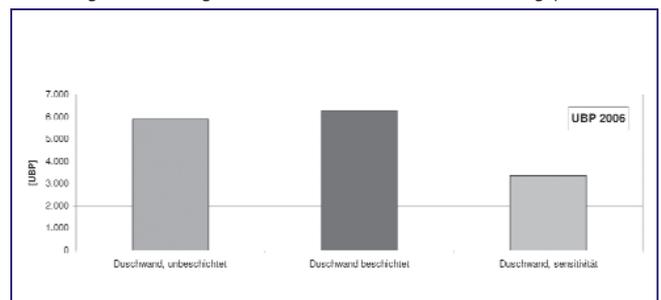
Bei der Datenerhebung war man in beiden Produktfallstudien mit dem Fehlen von Teilen der Herstellerangaben konfrontiert, wofür Ersatzdatensätze gefunden oder eigene Annahmen getroffen werden mussten. Dies erscheint insgesamt vertretbar und plausibel, erhöht aber die Unsicherheit der Ergebnisse.

Ökobilanz Nano-Glasdusche

Nanoprotect ist eine nanoskalige Beschichtung für Glasoberflächen im Innen- und Außenbereich, die in Österreich von Wagenhofer C.S. angeboten wird. Der Vorteil der Beschichtung ist laut Produkthanbieter eine verminderte Anhaftung von Wasser, Öl und Schmutz, was zu einem verringerten mechanischen Reinigungsaufwand und Reinigungsmitelesatz sowie zu einer erhöhten Lebensdauer der beschichteten Oberfläche führen soll.

In der Ökobilanz wurde die Pflege einer unbeschichteten Duschwand von 3 Quadratmeter über einen Zeitraum von fünf Jahren mit der Pflege der nanotechnologisch beschichteten Duschwand inklusive Applikation der Beschichtung verglichen. Einem eventuell geringeren Aufwand an Reinigungsmitteln für die Pflege der beschichteten Duschwand standen der zusätzliche Energie- und Ressourcenbedarf für die Beschichtung gegenüber. Dabei wurden sowohl der Beschichtungsprozess selbst, also Vorreinigung und Applikation, als auch die Herstellung der Komponenten der Beschichtung beziehungsweise der Reinigungsmittel mit berücksichtigt. Außerhalb der Systemgrenzen befand sich die Herstellung und Entsorgung des Glases sowie Transporte des Beschichtungsmaterials. Die Bewertung erfolgte anhand der vorhin beschriebenen Ökobilanzierungs-Methoden.

Abbildung 2: Bewertung der Duschwand nach Umweltbelastungspunkten



Quelle: Österreichisches Ökologie-Institut, Markus Messner

Die Daten für den Material- und Energieaufwand bei der Applikation der Beschichtung sowie für den Reinigungsmittelaufwand während der Nutzungsphase wurden in einem Feldversuch im Hotel Marriott in Wien gewonnen. Dazu wurden im Hotel zehn Glasduschwände vom Produkthanbieter beidseitig beschichtet. Über einen Zeitraum von drei Wochen wurde der Reinigungsmittelaufwand der beschichteten im Vergleich zu unbeschichteten Duschwänden beobachtet und vom Reinigungspersonal protokolliert. Für die Bilanzierung der Reinigungsmittel wurden Standard-Datensätze aus SimaPro verwendet.

Material- und Energieaufwand für die Beschichtung wurden ebenfalls im Feldversuch ermittelt, die Inhaltsstoffe des hauptsächlich aus Ethanol bestehenden Beschichtungsmaterials selbst wurden anhand von Angaben des Vertreibers bilanziert. Über die nanoskalierenden Bestandteile der Beschichtung von etwa 5 Prozent Volumenanteil konnte vonseiten des Produkthanbieters aufgrund einer Vertraulichkeitsklausel keine Auskunft gemacht werden. Hier wurde ein Standarddatensatz für organisches Material herangezogen.

Der Feldversuch zeigte, dass sich Kalkflecken an der beschichteten Glaswand schwerer ansetzen und der mechanische Reinigungsaufwand generell niedriger war. Aufgrund der internen Hygienevorschriften des amerikanischen Hotelmanagements war es allerdings nicht möglich die beschichtete Duschwand wie vom Produkthanbieter vorgeschlagen nach Möglichkeit nur mit Wasser zu reinigen. Analog zu den herkömmlichen Duschwänden wurde also täglich mit Glasreiniger gereinigt. Auf die Grundreinigung alle drei Monate mit Sanitärreiniger kann wegen der geringeren Kalkbildung bei den beschichteten Duschen in Zukunft allerdings verzichtet werden.

Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung am Beispiel der Methode der Umweltbelastungspunkte.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Umweltbelastung aufgrund der Aufbringung der nanoskaligen Beschichtung durch Material- und Energie-Input sowie Emissionen im Vergleich zur Umweltbelastung aus der fortwährenden Reinigung sehr gering ist. Ein ökologischer Vorteil für das Nanoprodukt würde sich also aus einer Reduktion an Reinigungsmitteln ergeben.

Eine Verringerung des Reinigungsmiteleinsatzes war im Feldversuch aus hygienischen Gründen im Hotel Marriott zwar nicht möglich, Aussagen des Hotelpersonals ließen jedoch die Möglichkeit eines verminderten Reinigungsmittelaufwandes plausibel erscheinen. In einer Sensitivitätsanalyse wurde deshalb untersucht, wie stark sich die Umweltbelastung bei der Pflege der beschichteten Wand ändert, wenn sie nur jedes zweite Mal mit Reinigungsmitteln gereinigt wird.

Abbildung 2 zeigt am Beispiel der Methode der Umweltbelastungspunkte, dass unter dieser Annahme die Umweltbelastung erheblich reduziert werden könnte. Ein ökologischer Vorteil der nanoskaligen Beschichtung ist hier also gegeben. Die weiter oben angeführten Datenlücken in der

Zusammensetzung des Beschichtungsmaterials machten einige Annahmen nötig. Diese Annahmen vermindern die Genauigkeit des Ergebnisses aber nur geringfügig.

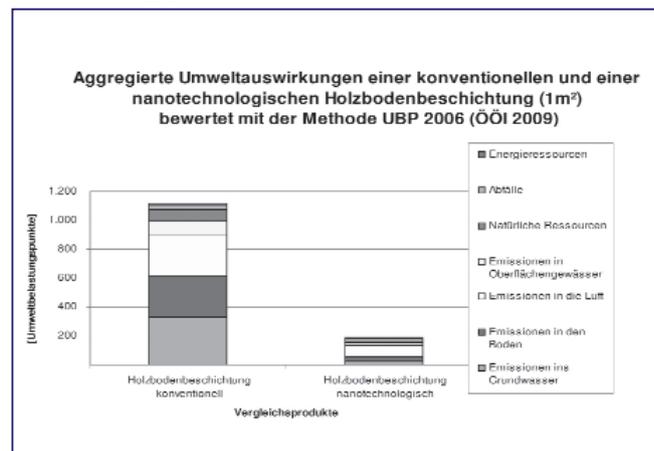
Ökobilanz Nano-Holzboden

HaptiX ist eine funktionelle Oberflächenbeschichtung für Holzböden. HaptiX wurde im Rahmen des EU-Projektes Holiwood vom österreichischen Unternehmen Profactor entwickelt. Ökologische Vorteile umfassen laut Hersteller unter anderem eine geringere Applikationsmenge und Trockenzeit sowie die Erhaltung der natürlichen Haptik des Holzbodens. Die nanoskalige Struktur der Oberfläche entsteht in einem Sol-Gel Prozess.

Die Daten zu Stoff- und Energieflüssen von haptiX über den Lebenszyklus wurden von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt der Schweiz zur Verfügung gestellt, die im Rahmen von Holiwood Untersuchungen zur ökologischen Relevanz von haptiX durchführte. HaptiX besteht zu einem großen Teil aus einer nicht näher definierten organischen Komponente mit etwa 40 Masse-Prozent, Lösemitteln mit etwa 31 Prozent und pflanzlichem Öl mit 19 Prozent. Zum Vergleich wurde als konventionelles Produkt ein Hartöl in der Lebenszyklusanalyse untersucht, das laut Profactor ebenfalls die Haptik erhält. Das Hartöl besteht fast ausschließlich aus pflanzlichen Ölen.

Untersucht wurden die Umweltauswirkungen der Beschichtung eines Quadratmeters Holz mit haptiX im Vergleich zur Beschichtung mit dem Hartöl. Transporte des Produktes und Entsorgung von Rückständen wurden mitberücksichtigt. Pflege, Herstellung und Entsorgung des Holzbodens befinden sich außerhalb der Systemgrenzen. Für die eventuelle Emission von Lösungsmitteln wird eine Lebensdauer von zwei Jahren angenommen. →

Abbildung 3: Umweltauswirkungen von Holzboden nach Umweltbelastungspunkten



Quelle: Österreichisches Ökologie-Institut, Markus Messner

Ergebnisse der Ökobilanz Nano-Holzboden

Lediglich in der Wirkungsabschätzung nach IPCC zeigt das Hartöl bessere Ergebnisse. Grund ist der sehr hohe Anteil an pflanzlichen Ölen, da deren Ausgangspflanzen während des Wachstums Kohlenstoffdioxid binden. In allen anderen Wirkungsabschätzungen schneidet haptiX deutlich besser ab. Grund für das schlechte Abschneiden des Hartöls ist einerseits die große nötige Auftragsmenge von 100 Gramm im Vergleich zu 33 Gramm haptiX, andererseits sein generell hoher Pflanzenölanteil, der zu einem erhöhten Bedarf an Biomasse und erhöhten Umweltauswirkungen aus landwirtschaftlichem Anbau führt. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse nach der Methode der Umweltbelastungspunkte.

Berücksichtigt man, dass die Methoden Eco-Indicator 99 und UBP 2006 bereits das Treibhauspotenzial und somit die Wirkungskategorie der Methode IPCC 2007 inkludieren, so schafft die Fußbodenbeschichtung mit haptiX im Vergleich mit einer herkömmlichen Fußbodenbeschichtung aus Pflanzenöl einen wesentlichen ökologischen Vorteil nach den angewandten Methoden.

Da für manche Inhaltsstoffe nur die generelle chemische Einordnung bekannt war, erhöht sich zwar die Unsicherheit der Ergebnisse, ein genereller ökologischer Nutzen für haptiX bleibt aber auch einschließlich dieser Unsicherheit bestehen.

Risikobewertung

Zur Erfassung möglicher Risiken durch Nanotechnologie wurden die Praxispartner der beiden Fallstudien befragt, ob und in welchen der einzelnen Prozessschritte NPR eingesetzt werden oder entstehen. Beide schlossen den Einsatz von NPR oder deren Entstehung während des Lebenszyklus aus. In der Folge ergab sich im Projektteam eine Diskussion über die Nanorelevanz des Sol-Gel-Prozesses, der für die Herstellung der Holz-Nanobeschichtung eine Rolle spielt.

Nach allgemeiner Vorstellung entstehen dabei zumindest intermediär Nanopartikel. Diese Frage konnte aufgrund fehlender Informationen nicht abschließend geklärt werden. Das Gesundheitsrisiko in der Herstellungs- und Nutzungsphase beider Oberflächenbeschichtungen kann aber generell als gering eingeschätzt werden.

Den ermittelten ökologischen Vorteilen der beiden nanotechnologischen Oberflächenbeschichtungen steht also nur ein geringes bis gar kein Risikopotenzial gegenüber.

Schlussfolgerungen

Für die in den Fallstudien analysierten nanotechnologischen Oberflächenbeschichtungen konnte zwar ein ökologischer Nutzen im Vergleich zu herkömmlichen Alternativen nachgewiesen werden. Verallgemeinernde Schlussfolgerungen auf andere Nanoanwendungen sind allerdings nur bedingt möglich.

Da kontinuierlich neue Nanoprodukte auf den Markt drän-

gen, ist eine Durchführung weiterer Analysen wie Ökobilanzierungen und Risikoanalysen wichtig. Einerseits um herauszufinden, welche Produkte einen ökologischen Nutzen leisten können und andererseits um Wissenslücken im Risikobereich aufzuzeigen und zu füllen.

Anmerkungen

- (1) Das Projekt NanoRate wurde gefördert aus Mitteln des Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank und des österreichischen Lebensministeriums. Das Projektteam von NanoRate umfasst: Manfred Klade – Projektleitung (IFZ Graz); Antonia Wenisch, Markus Meissner, Andrea Wallner – Ökobilanz (Österreichisches Ökologie-Institut Wien); Susanne Stark – Risikoanalyse (Verein für Konsumenteninformation Wien), Enikő Veres (Joanneum Research Graz)
- (2) Mehr über die Methode Eco-Indicator 99 im Internet: <http://www.pre.nl/eco-indicator99/default.htm>
- (3) Mehr über die Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte) im Internet: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01031/index.html?lang=de>

Literatur

- BCC: Opportunities in nanostructured materials: Biomedical, pharmaceutical & cosmetic, Business Communication Company. Norwalk 2001.
- Höck, J. et al.: Vorsorgeraster für Synthetische Nanomaterialien. Bundesamt für Gesundheit und Bundesamt für Umwelt. Bern 2008.
- Klade, M. / Meissner, M. / Stark, S. / Wallner, A. / Wenisch, A. / Veres, E.: NanoRate Endbericht. Wien 2009.
Internet: <http://www.ecology.at/nanorate.htm>
- Schmid, S. et al.: Wissenschaftsethik und Technologiebeurteilung, Band 27, Springer Verlag 2009. Im Internet unter: <http://www.Nanobusiness.com>
- Sengül, H. / Theis, T. L. / Ghosh, S.: Toward sustainable nanoproducts: An overview of nanomanufacturing methods. In: Journal of Industrial Ecology 12, 3/2008, S. 329 – 360.
- Wintergreen, S.: Nanotechnology Market Opportunities, Strategies, and Forecasts, 2004 to 2009. Ort 2004. Im Internet unter: http://www.wintergreenresearch.com/reports/Nanotech_Final.htm

AUTORIN + KONTAKT

Andrea Wallner ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Österreichischen Ökologie-Institut.

Andrea Wallner, Österreichisches Ökologie-Institut, Abteilung Gesellschaft-Wissenschaft-Technologie, Seidengasse 13, 1070 Wien, Österreich.

Tel.: +43 699 1 52361-35,

E-Mail: wallner@ecology.at,

Internet: <http://www.ecology.at>



(c) 2010 Authors; licensee IÖW and oekom verlag. This is an article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial No Derivates License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.