

**OAW****ITA**Institut für Technikfolgen-Abschätzung der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften**Sabine Greßler,
Michael Nentwich***

Nano und Umwelt – Teil I: Entlastungspotenziale und Nachhaltigkeitseffekte

Zusammenfassung

Mittels nanotechnologischer Produkte, Verfahren und Anwendungen könnte durch Einsparungen bei Rohstoffen, Energie und Wasser sowie durch Reduktion von Treibhausgasen und problematischer Abfälle ein wesentlicher Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz geleistet werden. Nanomaterialien können etwa die Widerstandsfähigkeit von Materialien erhöhen; schmutz- und wasserabweisende Beschichtungen sollen helfen, den Reinigungsaufwand zu reduzieren, neuartige Dämmmaterialien, die Energieeffizienz von Gebäuden zu verbessern, der Zusatz von Nanopartikeln zu einem Material, eine Gewichtsreduktion und damit Energieeinsparungen beim Transport zu bewirken. Besondere Hoffnungen werden in nanotechnologisch optimierte Produkte und Verfahren zur Energiegewinnung und -speicherung gesetzt, die derzeit in Entwicklung sind.

Das nachhaltige Potenzial von Nanotechnologie wird oft betont, aber es handelt sich dabei eher um eine wenig belegte Erwartung. Um die tatsächlichen Auswirkungen eines Produktes auf die Umwelt – sowohl Entlastungseffekte als auch mögliche Gefährdungen – feststellen zu können, müsste der gesamte Lebenszyklus von der Herstellung der Ausgangsmaterialien bis zur Entsorgung am Ende der Lebensdauer betrachtet werden. Einige der wenigen bislang durchgeführten Lebenszyklus-Analysen zeigen für bestimmte Produkte durchaus verringerte Umweltwirkungen bzw. Energie- und Ressourceneinsparungen durch die Verwendung von Nanomaterialien bzw. nanotechnologischer Verfahren. Doch nicht jedes „Nano-Produkt“ ist a priori umweltfreundlich oder nachhaltig und die Herstellung von Nanomaterialien benötigt oftmals noch viel Energie, Wasser und umweltproblematische Chemikalien.

* Korrespondenzautor

Einleitung

Nanotechnologie wird oft als „Schlüsseltechnologie“ des 21. Jahrhunderts bezeichnet und die Erwartungshaltung hinsichtlich innovativer Produkte und neuer Marktpotenziale ist groß. Doch nicht nur Produkte mit neuen bzw. verbesserten Funktionalitäten oder revolutionäre Entwicklungen im Bereich der Medizin sollen in Zukunft unser Leben verbessern, sondern technische Innovationen wecken vor allem auch im Umweltbereich große Hoffnungen¹. Mittels nanotechnologischer Produkte, Verfahren und Anwendungen soll ein wesentlicher Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz durch Einsparungen bei Rohstoffen, Energie und Wasser sowie durch Reduktion von Treibhausgasen und problematischer Abfälle geleistet werden können. Die Verwendung von Nanomaterialien verspricht also gewisse Umweltentlastungspotenziale und Nachhaltigkeitseffekte, die im vorliegenden Dossier dargestellt werden. Allerdings spielt Nanotechnologie im Umweltschutz sowohl in der Forschung als auch in Praxis nur eine eher untergeordnete Rolle. Umwelttechnikunternehmen selbst messen der Nanotechnologie in ihrem jeweiligen Geschäftsfeld nur eine begrenzte Bedeutung zu².

Neben den Umweltentlastungspotenzialen bedürfen auch allfällige Gefährdungspotenziale und Risiken einer eingehenden Betrachtung und stehen zunehmend im Fokus der Forschung. Einen Überblick dazu gibt das Dossier 027 „Nano und Umwelt – Teil II“.

Umweltentlastungspotenziale

Steigende Rohstoff- und Energiekosten einerseits und das zunehmende Umweltbewusstsein der KonsumentInnen andererseits führen dazu, dass immer mehr Produkte auf den Markt kommen, die gewisse Vorteile für den Umwelt- und Klimaschutz versprechen. Nanomaterialien weisen spezielle physikalische und chemische Eigenschaften auf, die sie auch interessant für die Entwicklung umweltfreundlicher Produkte machen. So kann etwa die Widerstandsfähigkeit von Materialien gegenüber mechanischer Belastung oder Witterungseinflüssen erhöht und somit die Lebensdauer eines Produktes verlängert werden; schmutz- und wasserabweisende Beschichtungen, die der Nanotechnologie zugerechnet werden, können den Reinigungsaufwand reduzieren; neuartige Dämmmaterialien verbessern die Energieeffizienz von Gebäuden; oder der Zusatz von Nanopartikeln zu einem Material führt zu einer Gewichtsreduktion und damit zu Energieeinsparungen beim Transport. Im Bereich der chemischen Industrie werden Nanomaterialien aufgrund ihrer besonderen katalytischen Eigenschaften eingesetzt, um die Energie- und Ressourceneffizienz zu erhöhen und Nanomaterialien können in bestimmten Anwendungsbereichen umweltproblematische Chemikalien ersetzen. Besondere Hoffnungen werden in nanotechnologisch optimierte Produkte und Verfahren zur Energiegewinnung und -speicherung gesetzt, die derzeit in Entwicklung sind und die in Zukunft einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz und zur Lösung unserer Energieprobleme leisten sollen.

Bei der Mehrzahl der derzeit am Markt erhältlichen „Nano-Konsumprodukte“ ist jedoch Umweltschutz nicht das vorrangige Ziel. Weder Textilien mit Nanosilber gegen Schweißgeruch, noch besonders stabile Golfschläger mit CNTs bringen Vorteile für die Umwelt. Für andere, z. B. selbstreinigende Oberflächenbeschichtungen oder Textilien mit Fleckschutzausrüstung werden solche von den Herstellern zwar versprochen (verringertes Reinigungsaufwand, daher Einsparungen bei Energie, Wasser und Reinigungsmitteln), ohne dafür aber zumeist die entsprechenden Nachweise vorzulegen.

Das nachhaltige Potenzial von Nanotechnologie wird oft betont. Es handelt sich dabei aber meist um eine wenig belegte Erwartung⁷. Um die tatsächlichen Auswirkungen eines Produktes auf die Umwelt – sowohl Entlastungseffekte als auch mögliche Gefährdungen – feststellen zu können, müsste der gesamte Lebenszyklus von der Herstellung der Ausgangsmaterialien bis zur Entsorgung am Ende der Lebensdauer betrachtet werden. In der Regel fehlt aber bei der Beschreibung von Umweltvorteilen von Produkten eine Analyse und Bewertung des Ressourcen- und Energieverbrauchs bei der Herstellung dieser Produkte³.

Lebenszyklus-Analyse/ Ökobilanz

Sollen der nachhaltige Nutzen, die ökologischen Vorteile bzw. die Umweltwirkungen eines Produktes, eines Verfahrens oder einer Anwendung während des gesamten Lebensweges („Von der Wiege bis zur Bahre“) analysiert und bewertet werden, eignet sich dazu die Lebenszyklus-Analyse („Life Cycle Assessment“, LCA) oder Ökobilanz. Zu den Umweltwirkungen zählt man sämtliche umweltrelevanten Entnahmen von Ressourcen aus der Umwelt (z. B. Rohstoffe wie Erze oder Rohöl) sowie die Emissionen in die Umwelt, wie z. B. Abfälle und CO₂. Der Begriff „Ökobilanz“ wird im Sinne einer Gegenüberstellung, also dem Vergleich von mehreren Produkten verwendet.

Für die LCA oder Ökobilanz steht ein standardisiertes Regelwerk der „International Organization for Standardization“ (ISO) zur Verfügung (ISO 14040 und 14044), das folgende Elemente umfasst: Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung. Die Erstellung erfolgt zumeist mittels spezieller Software.

Umweltentlastungspotenziale

werden insbesondere für die folgenden Bereichen erhofft (siehe dazu:^{1; 3; 4; 5; 6}):

- **Einsparung von Rohstoffen durch Miniaturisierung**
 - Durch die Verringerung der Schichtdicke bei Beschichtungen und geringerem Materialeinsatz bei Lebensmittelzusatzstoffen oder kosmetischen Inhaltsstoffen.
- **Einsparung von Energie durch Gewichtsreduktion oder durch Funktionsoptimierung**
 - Neue, nanotechnologische optimierte Materialien, etwa Kunststoffe oder Metalle mit Kohlenstoffnanoröhrchen (CNTs), sollen in Zukunft Flugzeuge und Fahrzeuge leichter machen und somit Treibstoffe eingespart werden;
 - Neue Beleuchtungsmittel (OLED) mit nanoskaligen Schichten aus Kunststoff und organischem Farbstoff sind in Entwicklung, deren Umwandlungsrate von Energie in Licht bis zu 50 % betragen soll (im Vergleich dazu herkömmliche Glühlampen = 5 %);
 - Modernen Autoreifen wird schon seit längerer Zeit nanoskaliger Industrieuß („Carbon Black“) zur Materialverstärkung zugefügt, um den Rollwiderstand zu verringern, wodurch Treibstoffeinsparungen bis zu 10 % möglich sind;
 - Selbstreinigende oder „Easy-to-Clean“-Beschichtungen, z. B. auf Glas, können etwa bei der Gebäudereinigung zu Energie- und Wassereinsparungen führen, da solche Flächen leichter oder weniger oft zu reinigen sind;
 - Nanotribologische Verschleißschutzprodukte sollen als Treibstoff- oder Motoröl-Zusatz einerseits den Treibstoffverbrauch von Fahrzeugen reduzieren und andererseits auch die Lebensdauer von Motoren verlängern;
 - Nanopartikel als Fließmittel ermöglichen das Schmelzen und Gießen von Kunststoffen bei niedrigeren Temperaturen;
 - Nanoporöse Dämmmaterialien können im Bauwesen dazu beitragen, den Energieeinsatz zu Heiz- oder Kühlzwecken von Gebäuden zu reduzieren.
- **Energie- und Umwelttechnik**
 - Verschiedene Nanomaterialien können den Wirkungsgrad von Photovoltaik-Anlagen verbessern;
 - In Entwicklung sind neuartige Farbstoffsolarzellen („Grätzel-Zelle“) mit nanoskaligen Halbleitermaterialien, welche den natürlichen Prozess der Fotosynthese grüner Pflanzen nachahmen;
 - Kunststoffe mit CNTs als Beschichtung der Rotorblätter von Windkraftanlagen machen diese leichter und erhöhen die Energieausbeute;
 - Nanotechnologisch optimierte Lithium-Ionen-Batterien haben eine verbesserte Speicherkapazität sowie eine verlängerte Lebensdauer und kommen etwa in Elektroautos zum Einsatz;
 - Brennstoffzellen mit nanoskaligen Keramikmaterialien zur Energiegewinnung sind in Entwicklung, die energie- und ressourcenschonend hergestellt werden können;
 - Nanoporöse Membranen und Filter mit Nanomaterialien werden zur Wasseraufbereitung und -reinigung eingesetzt;
 - Nanopartikeläre Eisenverbindungen finden Anwendung in der Grundwassersanierung zur Entfernung von chlorierten Kohlenwasserstoffen;
 - Der Wirkungsgrad von Katalysatoren in Kraftfahrzeugen wird durch die Nanoskaligkeit der eingesetzten katalytisch aktiven Edelmetalle erhöht und
 - nanoporöse Partikelfilter für die Abgasreinigung in Kraftfahrzeugen sind in Entwicklung.
- **Ersatz von gefährlichen Stoffen**
 - Nanosilber kann u. U. sinnvoll dazu eingesetzt werden, gefährliche Biozide etwa in Holzschutzmitteln oder Farben zu ersetzen;
 - Nanokeramische Korrosionsschutzbeschichtungen für Metalle ohne schädlichen Schwermetalle (Chrom, Nickel), z. B. für Haushaltsgeräte oder Automobile, können umwelt- und gesundheitsgefährdende Chrom-VI-Lacke und die konventionelle Phosphatierung ersetzen;
 - Nanoskaliges Titandioxid und Siliziumdioxid können das umweltschädliche Brom in Flammschutzmitteln ersetzen;
 - Nanopartikeläres Titandioxid als mineralischer UV-Filter in Sonnenschutzmitteln wird als Alternative zu den gesundheitlich bedenklichen organischen Filtern betrachtet.
- **Energie- und Ressourceneffizienz in der chemischen Industrie**
 - Mittels Nanokatalysatoren kann z. B. die Ausbeute chemischer Reaktionen erhöht und der Anfall umweltbelastender Nebenprodukte verringert werden.

Die LCA fokussiert auf Produkte und Verfahren, die entweder bereits am Markt sind oder Marktreife besitzen, um auf möglichst konkrete Daten zurückgreifen zu können. Mittels LCA lassen sich auch mögliche gesundheitliche Effekte analysieren und bewerten, sofern sich diese über Wirkmodelle beschreiben lassen und entsprechende (epidemiologische) Daten vorliegen. Wirkmechanismen und Exposition im Zusammenhang mit Nanomaterialien sind bislang jedoch noch weitgehend unbekannt, sodass gesundheitliche Effekte von Nanomaterialien in der LCA derzeit (noch) nicht erfasst werden können. Weitere Schwierigkeiten bei der Erstellung einer LCA für „Nano-Produkte“ sind die oft fehlenden Angaben zu den Eigenschaften und Inhaltsstoffen eines Produktes, da diese von den Herstellern mit Berufung auf das Produktgeheimnis oftmals nicht preisgegeben werden, sowie auch die unzureichende Datenlage betreffend Anwendung und Entsorgung⁷. Die wenigen bislang durchgeführten LCAs von Produkten mit Nanomaterialien umfassen deshalb auch nicht alle Stufen des Lebenszyklus⁸ und eine umfassende Analyse und Bewertung aller Umweltwirkungen und gesundheitlicher Effekte ist nicht möglich.

Bisherige LCA deuten darauf hin, dass vor allem die Herstellungsphase eines „Nano-Produktes“ bzw. der nanoskaligen Ausgangsmaterialien hinsichtlich der Umweltwirkungen relevant ist⁹. So etwa verursacht die Erzeugung von antibakteriellen T-Shirts mit Nanosilber eine wesentlich größere Umweltbelastung als jene konventioneller, da die Herstellung von Nanosilber, je nach angewandeter Methode, die Emission größerer Mengen umweltschädlicher Treibhausgase mit sich bringt¹⁰. Die Ökobilanz zweier solarer Verfahren zur Wasserreinigung zeigte im Langzeitbetrieb ein deutlich höheres Umweltbelastungspotenzial des photokatalytischen Verfahrens mit nano-TiO₂ gegenüber dem konventionellen aufgrund des hohen Verbrauchs von Ressourcen bei der Herstellung des nanoskaligen Titandioxids¹¹.

Einige der bislang durchgeführten LCAs zeigen aber für bestimmte Produkte durchaus verringerte Umweltwirkungen bzw. Energie- und Ressourceneinsparungen durch die Verwendung von Nanomaterialien bzw. nanotechnologischer Verfahren (für eine Übersicht siehe¹²). Durch den Einsatz von Edelmetallen in Nanoform in Autoabgaskatalysatoren lässt sich z. B. deren Menge um 50-95 % reduzieren. Nanobeschichtetes Antireflexglas erhöht die Effizienz von Solarkollektoren um bis zu 6 %, Nanolacke für Automobile können in geringerer Schichtdicke aufgebracht

werden und reduzieren die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen um 65 %. Organische Leuchtdioden („Organic Light Emitting Diodes“, OLED) in Displays haben eine höhere Energieeffizienz und benötigen einen geringeren Materialinput als konventionelle Displays¹³. In einer Ökobilanz zweier Produkte zur widerstandsfähigen bzw. wasserabweisenden Beschichtung von Oberflächen (Holz, Glas), die der Nanotechnologie zugerechnet werden, konnte aufgrund der geringeren Applikationsmenge und des verringerten Reinigungsaufwandes ein Umweltnutzen bestätigt werden, wenn gleich aufgrund fehlender Daten Annahmen in der Analyse und Bewertung getroffen werden mussten⁷. Plastikflaschen (PET) mit Nanobeschichtung für Getränke wurden in einer Ökobilanz mit Aluminiumdosen und Einweg-Glasflaschen verglichen, wobei sich zeigte, dass die Nano-PET-Flasche rund ein Drittel weniger Treibhausgase verursacht als die Aluminiumdose und das Umweltentlastungspotenzial im Vergleich mit Einweg-Glasflaschen sogar rund 60 % beträgt¹⁴.

Neben der LCA besteht noch die Möglichkeit einer prospektiven Umweltbilanzierung, um Umweltentlastungseffekte einer Anwendung oder eines Verfahrens abzuschätzen, die sich erst in Entwicklung befinden. Bis zum konkreten Einsatz in der Praxis können aber noch vielfältige technische Probleme und Herausforderungen bestehen. Inwieweit sich mögliche Umweltentlastungspotenziale dann tatsächlich realisieren lassen, ist also weitgehend offen (siehe dazu¹³).

Die aktuelle Situation

Bislang ist leider noch kein durchschlagender Erfolg der Nanotechnologie bei der Lösung unserer Umwelt- und Klimaprobleme zu verzeichnen und nicht jedes „Nano-Produkt“ ist a priori umweltfreundlich oder nachhaltig. Insbesondere Umweltorganisationen betonen, dass die seitens der Industrie propagierten Vorteile und Potenziale oftmals übertrieben und ungeprüft sind und es in vielen Fällen noch Jahre bis zur Realisierung dauern könnte, wenn es überhaupt dazu kommt¹⁵. Es sei sogar zu befürchten, dass Nanotechnologie die Energie- und Umweltkosten noch weiter erhöhen könnte¹⁶.

Tatsächlich benötigt die Herstellung von Nanomaterialien heute oftmals noch viel Energie, Wasser und umweltproblematische Chemikalien, wie etwa Lösungsmittel. In einem Kilogramm CNTs stecken derzeit etwa

0,1 bis 1 Terajoule (TJ) an Energie¹⁷. 1 TJ entspricht in etwa der Energiemenge von 167 Barrel Erdöl (ca. 26.550 Liter)¹⁶. Das macht CNTs zu einem der energieintensivsten Materialien, die uns bekannt sind¹⁷. Die hochtechnische Herstellung von auf Kohlenstoff basierenden Nanomaterialien, wie z. B. Fullerene, Kohlenstoff-Nanoröhrchen und Kohlenstoff-Nanofasern, ist derzeit noch so energieintensiv, dass mögliche Umweltvorteile – etwa durch Treibstoffeinsparungen aufgrund leichter Fahrzeugkarosserien – noch konterkariert werden^{17; 18; 19}. Der hohe Energiebedarf fällt insbesondere dann ins Gewicht, wenn von einem Nanomaterial große Mengen für die Massenproduktion eines Produktes benötigt werden. Werden allerdings nur sehr geringe Mengen eingesetzt, etwa von CNTs zur Herstellung von speziellen Kunststofffolien, lässt sich eine Umweltentlastung feststellen¹². Eine mögliche Energieeinsparung bei der Anwendung eines Produktes ist also jeweils im Einzelfall dem Energieverbrauch zur Herstellung eines Nanomaterials gegenüberzustellen, um einen Umweltentlastungseffekt feststellen zu können. Durch die Weiterentwicklung und Verbesserung der Herstellungsprozesse besteht die Hoffnung, dass der Energiebedarf in Zukunft reduziert werden kann.

Die Effizienz von Nano-Solarpaneelen liegt derzeit immer noch etwa 10 % unter jener der konventionellen Silizium-Paneele¹⁶ und Nanotechnologie hat bislang noch nicht viel dazu beigetragen, Fahr- oder Flugzeuge leichter und somit treibstoffsparender zu gestalten. Die Voraussetzungen für eine industrielle Massenproduktion (Produktionsvolumina, Automatisierungsgrad, Qualitätsstandards) sind dafür noch nicht gegeben und den hohen Anforderungen an das Material (z. B. Widerstandsfähigkeit, Stärke, Sicherheit) kann zu wettbewerbsfähigen Kosten noch nicht entsprochen werden²⁰. Der Beitrag, den Nanotechnologie zur Reduktion des Treibhausgases CO₂ derzeit leisten kann, erscheint gering: 2007 wurde geschätzt, dass bis zum Jahr 2010 mit einer Einsparung von rund 200.000 t CO₂ durch Gewichtsreduktion und verringerten Schadstoffausstoß von Kraftfahrzeugen sowie durch Wärmedämmung von Gebäuden gerechnet werden kann. Das entspräche nur etwa 0,00027 % der weltweiten CO₂-Emissionen²¹.

Anmerkungen und Literaturhinweise

- ¹ Bundesamt für Umwelt (BAFU) Schweiz, 2010, Dossier Nanotechnologie, *umwelt*, 3/2010 <http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/umwelt/10649/index.html?lang=de&download=NHzLpZeg7t,lnp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCGelf3fWym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A>.
- ² Petschow, Ulrich, et al. (Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung), 2009, *Umweltschutz, Umwelttechnik und Marktpotenziale – Chancen der Nanotechnologie für NRW*, im Auftrag von: Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Nr. 195/10, März 2009: IÖW <http://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/IOEW_SR_195_Chancen_der_Nanotechnologie_f%C3%BCr_NRW.pdf>.
- ³ Becker, Heidi, et al., 2009, *Nanotechnik für Mensch und Umwelt. Chancen fördern und Risiken minimieren*, Oktober 2009, Dessau-Roßlau: deutsches Umweltbundesamt <<http://www.nanolawreport.com/uploads/file/Nanotechnik%20für%20Mensch%20Und%20Umwelt%20Chancen%20Fördern%20Und%20Risiken%20Mindern.pdf>>.
- ⁴ Heubach, Daniel, et al., 2005, *Einsatz von Nanotechnologie in der hessischen Umwelttechnologie*, im Auftrag von: Hessen Agentur, Wiesbaden: Hessisches Ministerium für Wirtschaft Verkehr und Landesentwicklung <http://www.hessen-nanotech.de/mm/Nanoinut_Endversion_Internet.pdf>.
- ⁵ Umweltministerium Baden-Württemberg, 2008, *Innovationen durch Nanotechnologie in der Umwelttechnik* <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56895/Innovationen_durch_Nanotechnologie.pdf?command=downloadContent&filename=Innovationen_durch_Nanotechnologie.pdf>.
- ⁶ Catenhusen, Wolf-Michael, et al., 2008, *Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien. Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2008*, November 2008, Bonn, Berlin: NanoKommission der deutschen Bundesregierung <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanokomm_abschlussbericht_2008.pdf>, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanokomm_abschlussbericht_2008_en.pdf (englisch)>.
- ⁷ Klade, Manfred, et al., 2009, *Matrix zur Darstellung von Nutzen und Risiken von Nano-Produkten (NanoRate)*, November 2009 <<http://www.umweltnef.at/filemanager/download/63425/>>.
- ⁸ Woodrow Wilson Center, 2007, *Nanotechnology and Life Cycle Assessment – A Systems Approach to Nanotechnology and the Environment*, im Auftrag von: Woodrow Wilson Center for Scholars Project on Emerging Nanotechnologies, März 2007 <http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/2711/168_nanolca_3.07.pdf>.

Fazit

Aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften können Nanomaterialien auch dazu eingesetzt werden, Produkte oder Herstellungsprozesse umweltfreundlicher zu gestalten. Der Schwerpunkt liegt dabei vor allem auf Energie- und Ressourceneffizienz. Einige Konsumprodukte, die Umweltvorteile versprechen, sind bereits erhältlich und auch im industriellen Bereich wurden Anwendungen schon realisiert. Vieles befindet sich aber noch im Stadium der Forschung und Entwicklung, vor allem in der Energie- und Umwelttechnik. Den großen Erwartungen hinsichtlich eines Umweltlastungspotenzials durch nanotechnologisch optimierte Produkte stehen Befürchtungen gegenüber, dass insbesondere der hohe Bedarf an Energie und Ressourcen bei der großtechnischen Herstellung von Nanomaterialien mögliche Vorteile konterkariert. Leider fehlen in den meisten Fällen umfassende Lebenszyklus-Analysen, um die tatsächlichen Umweltwirkungen – sowohl die möglichen Vorteile also auch die Risiken – entlang des gesamten Lebensweges eines Produktes bewerten zu können. Hier sind insbesondere die Hersteller aufgefordert, die zur Untermauerung der behaupteten Umweltvorteile notwendigen Nachweise zu erbringen bzw. Daten für Analysen und Bewertungen bereitzustellen. Wie in anderen Fällen technologischer Innovation steht auch bei der Nanotechnologie zunächst die jeweils intendierte Funktion der Nanomaterialien im Vordergrund. Da positive Umwelteffekte selten der Grund für die Verwendung eines Nanomaterials sind, sind solche Effekte (willkommene) Nebenerscheinungen. Je nach Bedingung können aber auch negative oder gar keine Effekte auftreten. Es gilt also, aktiv Bedingungen zu schaffen, unter denen positive Effekte realisiert werden können.

- ⁹ Sengül, Hatice, et al., 2008, Towards Sustainable Nanoproducts – An Overview of Nanomanufacturing Methods, *Journal of Industrial Ecology* 12(3), 329-359 <http://www.uic.edu/depts/ovcr/iesp/Publications/Faculty%20Publications/Theis/Theis_Toward%20Sustainable%20Nanoproducts.pdf>.
- ¹⁰ Walser, Tobias, et al., 2011, Prospective Environmental Life Cycle Assessment of Nanosilver, *Environmental Science & Technology* 45(10), 4570-4578.
- ¹¹ Martens, Sonja, et al. (Golder Associates GmbH), 2010, *Untersuchungen des Einsatzes von Nanomaterialien im Umweltschutz*, im Auftrag von: Umweltbundesamt, Nr. 34/2010, Juni 2010, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt <<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3777.pdf>>.
- ¹² Steinfeldt, Michael/Von Gleich, Arnim (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung gGmbH FB Umweltökonomie und -politik), 2010, *Entlastungseffekte für die Umwelt durch nanotechnische Verfahren und Produkte*, im Auftrag von: Umweltbundesamt, Nr. 33/210, Juni 2010, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt <<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3777.pdf>>.
- ¹³ Steinfeldt, Michael, et al., 2004, *Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte*, im Auftrag von: BMBF <http://www.bmbf.de/pub/nano_Umwelt_ioew_endbericht.pdf>.
- ¹⁴ Möller, Martin, et al., 2009, *Nanotechnologie im Bereich der Lebensmittel*, hg. v. Zentrum für Technikfolgen-Abschätzung: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- ¹⁵ International POPs Elimination Network Nanotechnology Working Group/European Environmental Bureau (EEB), o.J., *Nanotechnology and the environment: A mismatch between claims and reality* <http://www.eeb.org/publication/2009/090713_OECD_environmental_Brief.pdf>.
- ¹⁶ Friends of the Earth, 2010, *Nanotechnology, climate and energy: over-heated promises and hot air?* <<http://nano.foe.org.au/sites/default/files/Nanotechnology,%20Climate%20and%20Energy%20-%20Australia%20web.pdf>>.
- ¹⁷ Gutowski, Timothy G., et al., 2010, Minimum Exergy Requirements for the Manufacturing of Carbon Nanotubes, *IEEE, International Symposium on Sustainable Systems and Technologies*, 16.-19. Mai 2010, Washington D.C. <<http://web.mit.edu/ebm/www/Publications/Nano%20Paper%20IEEE%20ISSST%20FINAL.pdf>>.
- ¹⁸ Khanna, Vikas/Bakshi, Bhavik R., 2008, Carbon Nanofiber Polymer Composites: Evaluation of Life Cycle Energy Use, *Environmental Science & Technology* 43(6), 2078-2084.
- ¹⁹ Anctil, Annick, et al., 2011, Material and Energy Intensity of Fullerene Production, *Ibid.* 45, 2353-2359.
- ²⁰ Bax & Willems Consulting Venturing, 2010, *ObservatoryNano: Coatings, adhesives and sealants for the transport industry*, April 2010 <http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/NOB_coating_adhesives_sealants_transport_final.pdf>.
- ²¹ Cientifica Ltd, 2007, *Nanotech: Cleantech – Quantifying The Effects Of Nanotechnologies On CO₂ Emissions*, Mai 2007, London <http://cientifica.eu/blog/wp-content/uploads/downloads/2011/04/054_CO2QuantificationWhitePaper.pdf>.

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.oeaw.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.oeaw“ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt: epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/

NanoTrust-Dossier Nr. 026, November 2011: epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier026.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