



Nanotechnologie: Lösung für unsere Umweltprobleme?

Inhalt

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Herausforderungen und Möglichkeiten der »Grünen Nanotechnologie« | 3 |
| 2 | Löst Nanotechnologie die Wasserkrise? | 5 |
| 3 | Energierevolution dank Nanotechnologie? | 9 |
| 4 | Umweltsanierung durch Nanotechnologie? | 14 |
| 5 | Mehr Nachhaltigkeit bei Produktion und Konsum? | 17 |
| 6 | Die Rolle der Nanotechnologie für eine nachhaltige Zukunft | 21 |
| 7 | Nanotechnologie – Forderungen und Ziele des BUND | 22 |

Einleitung

Bereits Ende des letzten Jahrhunderts wurde die Nanotechnologie als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts bezeichnet. Grundlage der Nanotechnologie ist der Umgang mit Materialien im Größenbereich von 1–100 Nanometer (nm), wobei es hier in erster Linie um die gezielt industriell hergestellten Nanomaterialien (NM) geht. Denn Nanopartikel können auch natürlichen Ursprungs sein (z.B. aus Vulkanausbrüchen und Waldbränden) oder als unbeabsichtigte Nebenprodukte bei menschlichen Aktivitäten entstehen (z.B. bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen in Autos, Heizungen u.ä.).

Nanomaterialien bestehen definitionsgemäß aus abgrenzbaren strukturellen Bestandteilen in einer Größenordnung von 1 bis 100 Nanometern in mindestens einer Dimension (EU-Kommission 2011).

Definitionen

Nano (griechisch) = Zwerg

1 Nanometer (nm) = 10^{-9} m = 10^{-6} mm = 10^{-3} µm

Nanomaterialien (1–100 nm):

- Nanoobjekte
- Materialien mit einer inneren Nanostruktur oder einer Oberflächen-Nanostruktur



Nanoobjekte unterteilt nach der Form:

- Nanopartikel: Alle drei Dimensionen im Nanobereich (d. h. kugelförmig)
- Nanoröhren und Nanostäbe: Zwei Dimensionen im Nanobereich
- Nanoplättchen: Eine Dimension im Nanobereich

Mittlerweile sind in vielen industriellen Bereichen nanotechnologisch hergestellte Produkte auf dem Markt, und auch in Konsumprodukten für den alltäglichen Bedarf werden immer häufiger Nanomaterialien eingesetzt. Die Europäische Union hat darauf reagiert und nach der aktuellen EU-Gesetzgebung müssen Biozide, Kosmetika und Lebensmittel bzw. Lebensmittelverpackungen mit dem Zusatz (nano) gekennzeichnet werden, wenn diese Nanomaterialien enthalten. Dies ist beispielsweise bei Sonnenschutzcremes mit hohem Lichtschutzfaktor die Regel, da der Schutz meistens durch Nano-Titandioxid bewirkt wird.

In dieser Broschüre beschäftigt sich der BUND allerdings nicht mit Konsumgütern und Alltagsprodukten, sondern mit den Erwartungen an eine nachhaltige Zukunft, die sich mit der Nanotechnologie unter dem Stichwort »Green nano« (Grüne Nanotechnologien) verbindet.

Unter »Green nano« soll hier in Anlehnung an die Festlegung der deutschen Nanokommission sowohl eine nachhaltige Anwendung der Nanotechnologien (z. B. Umweltentlastung und Ressourcenschutz) als auch die nachhaltige Gestaltung der technologischen Lösung selbst verstanden werden. Dazu gehören neben dem Ersatz von gesundheits- und/oder umweltschädlichen Substanzen durch zumindest weniger schädliche oder gänzlich unbedenkliche Stoffe beispielsweise auch die Aufbereitung von verunreinigten Böden und Gewässern. Auch Unterstützung beim Ersatz von fossilen Brennstoffen zählt zu den Anwendungsbereichen von Green Nano. Natürlich muss bei der Anwendung neuer Techniken, wie auch beim Einsatz der Nanotechnologie darüber hinaus sichergestellt sein, dass keine neuen Gesundheits- und/oder Umweltgefährdungen entstehen. Zur Nachhaltigkeit gehört auch eine energie- und ressourcensparende Produktion sowie eine hohe Recyclingfähigkeit.

Herausforderungen und Möglichkeiten der »Grünen Nanotechnologie«

Die zunehmende Erschöpfung der natürlichen Ressourcen, die Zerstörung ganzer Lebensräume, der Klimawandel und die wachsende Ungleichheit zwischen Arm und Reich können zu Hungerkatastrophen, Kriegen und weitreichenden ökologischen Schäden führen.

Das Modell ständig wachsender Produktions- und Konsumraten, auf dem die westlichen Volkswirtschaften basieren, stößt zusehends an seine Grenzen. Die ersten Folgen sind bereits heute erkennbar: Arme Menschen müssen einen steigenden Anteil ihres Einkommens für Energie, Heizung und Grundnahrungsmittel aufwenden. Extreme Wetterereignisse wie Dürren oder Überschwemmungen treten häufiger und stärker auf, giftige Industriechemikalien belasten Böden, Luft und Gewässer selbst in den entlegensten Regionen der Welt und weltweit nimmt die Artenvielfalt rapide ab.


In dieser Situation ist die Hoffnung groß, durch neue technologische Entwicklungen zu einer Wirtschaftsweise zu finden, die es der Menschheit erlaubt, diese gewaltigen Herausforderungen zu überwinden. Besonders hoch gehandelt wird dabei die Nanotechnologie. Nanomaterialien weisen häufig völlig andere physikalische und chemische Eigenschaften auf, als wir es von den gleichen Stoffen in größerer Form gewohnt sind. Dadurch werden unzählige neue industrielle Anwendungen möglich.

So könnten nanotechnologische Produkte, Verfahren und Anwendungen durch vielerlei Einsparungen z. B. bei Rohstoffen, Energie und Wasser sowie durch Verringerung der Treibhausgase und eventuell problematischer Abfälle einen wesentlichen Beitrag zur Umwelt- und Klimaschutz leisten.

Das nachhaltige Potenzial von Nanotechnologien wird zwar häufig herausgestellt, um jedoch die tatsächlichen Auswirkungen eines Produktes auf die Umwelt feststellen zu können, wäre es erforderlich den gesamten Lebenszyklus von der Herstellung der Ausgangsmaterialien bis zur Entsorgung zu betrachten.

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.

Berücksichtigt werden muss aber auch, dass die Herstellung von Nanomaterialien z.T. viel Energie, Wasser und umweltproblematische Chemikalien benötigt, sodass der Nutzen oftmals zumindest fraglich bleibt.



Nanotechnologien sollen vor allem auch Kläranlagen bei der so genannten vierten Reinigungsstufe in die Lage versetzen, beispielsweise Mikroschadstoffe aus den Abwässern zu entfernen.

Löst Nanotechnologie die Wasserkrise?

Über zwei Milliarden Menschen weltweit haben keinen Zugang zu sauberem Wasser. Rund 800 Millionen Menschen haben keine Grundversorgung mit Wasser, circa 2,5 Milliarden Menschen verfügen über keine sanitäre Grundversorgung und über 900 Millionen müssen ihre Notdurft im Freien verrichten. Noch immer gehören der Mangel an sauberem Wasser und Hygiene zu den häufigsten Todesursachen bei Kindern unter fünf Jahren. Jeden Tag sterben mehr als 700 Kinder an vermeidbaren Krankheiten wie etwa Durchfall, die durch verunreinigtes Wasser oder mangelnde Hygiene hervorgerufen wurden. Betroffen sind vor allem Menschen oder Familien in den ärmeren Regionen der Welt – und dort vor allem in den ländlichen Gebieten. Dabei sind mehr als zwei Drittel der Erde von Wasser bedeckt, allerdings sind nur 0,3 Prozent davon trinkbar. Und dieses Trinkwasser ist zudem sehr ungleich verteilt. Besonders in Afrika, Lateinamerika und Asien herrscht vielerorts dramatische Wasserknappheit. Eine Besserung ist momentan nicht in Sicht. Laut aktuellem UN-Weltwasserbericht könnte bis 2050 die halbe Weltbevölkerung vom Mangel an sauberem Wasser betroffen sein.

Der Zugang zu frischem Wasser ist allerdings auch in Europa ein Problem. Die Dürren der letzten Jahre von Südeuropa bis England geben einen Vorgeschmack darauf, was im Zuge der Klimaerwärmung auch bei uns normal werden könnte. Große Teile des europäischen Grundwassers sind bereits heute verunreinigt (z.B. mit Nitrat aus der industriellen Tierproduktion). Die Förderung und Nutzung der Grundwasserreserven insbesondere durch Großstädte führt außerdem zu einer Gefährdung der umliegenden Feuchtbiootope.

Konventionelle Wasserbehandlungstechnologien

Es existieren unterschiedliche Techniken der Wasserbehandlung, wobei einige von ihnen bereits seit Tausenden von Jahren bekannt sind. Die natürliche Reinigung von Oberflächenwasser durch eine Uferfiltration wurde in der Vergangenheit durch künstliche Filterbetten nachgeahmt (z. B. aus Keramik, Aktivkohle, granulare Medien, Fasern und Textilgewebe). Hinzu kommen die Entsalzung (Umkehrosmose, Destillation, adsorbierende Filtermedien) sowie chemische oder radioaktive Behandlungen (Meridian Institute 2006). Allerdings reichen die bisherigen Methoden oftmals nicht mehr aus, weil z.B. bestimmte Mikroschadstoffe schon in kleinsten Mengen gesundheitsgefährdend und/oder so klein sind, dass sie buchstäblich durch die Maschen fallen.

Nanotechnologie zur Wasseraufbereitung

Tatsächlich gibt es schon jetzt Anwendungen der Nanotechnologie im Bereich der Wasseraufbereitung. Unterschieden werden kann die Behandlung von Trinkwasser, Grundwasser und Abwasser. Nanotechnologien sollen vor allem auch Kläranlagen bei der so genannten vierten Reinigungsstufe in die Lage versetzen, beispielsweise Mikroschadstoffe aus den Abwässern zu entfernen. Bei den meisten Anwendungen wird vor allem die große Oberfläche und die Möglichkeit genutzt, Nanomaterialien mit spezifischen Funktionen auszustatten.

Zu nennen sind:

• **Nanosorbenten**

entfernen verschiedenste organische und anorganische Verunreinigungen z.B. aus Abwässern.

Nanomaterialien und nanostrukturierte Oberflächen können zur Abtrennung von Schadstoffen aus dem Wasser genutzt werden. Es werden Adsorptionsmittel basierend Kohlenstoff (Aktivkohle als Breitband-adsorptionsmittel, Kohlenstoffnanoröhren (CNT) zur Entfernung z. B. von bestimmten Antibiotika) und Metalloxiden eingesetzt. Nanoskalige Metalloxide (z.B. Eisenoxide, Titandioxid, Aluminiumoxid) sind effizient und kostengünstig bei der Entfernung von Radionukliden und Schwermetallen wie Arsen, Blei, Quecksilber, Kupfer, Cadmium, Chrom und Nickel. Ein wichtiger Aspekt zur Wirtschaftlichkeit dieser Adsorptionsmittel ist die Möglichkeit der Wiederverwendung und Metallrückgewinnung.

• **Nanometalle**

dienen als Katalysatoren oder aktive Reagenzien u. a. zur Desinfektion oder zur Entfernung z. B. von chlorierten Kohlenwasserstoffen.

Diese Nanokatalysatoren beschleunigen den Ablauf chemischer Prozesse wie Oxidation, Reduktion oder Abbau von Schadstoffen ohne sich selber dabei zu verändern. Nanokatalysatoren werden heute bereits in der Entfernung von Schwermetallen aus Grund- und Trinkwasser eingesetzt.

In der Abwasserreinigung kommt beispielsweise Nano-Titandioxid als Katalysator zum Einsatz. Bei der so genannten Photokatalyse werden bei UV-Bestrahlung des Titandioxids sowohl Wasser als auch Luftsauerstoff zu reaktiven Radikalen umgesetzt, die toxische oder biologisch schwer abbaubare organische Fremdstoffe umwandeln.

• **Nanosensoren**

erkennen Schadstoffe wie z. B. Pathogene im Wasser.

Mit Hilfe der Nanotechnologie können u.a. für bestimmte Moleküle spezifische Sensoren entwickelt, verschiedene Tests in miniaturisierter Form angeboten (»lab-on-a-chip«) und/oder kontinuierliche Messverfahren für die Vor-Ort-Analytik bereit gestellt werden. Nanosensoren können demnach dazu beitragen, zielgenauere und kostengünstigere Überwachungsmessungen durchzuführen.

• **Nanofiltrationsmembranen**

zur Beseitigung von Nitrat, Chlorid, Carbonat u.a. Stoffen aus Trinkwasser oder in Entsalzungsanlagen aus dem Meerwasser.

Nanoskalige Membranen sind heute bereits Stand der Technik. Sie können, im Gegensatz zu konventionellen Techniken, auch gelöste organische und anorganische Schadstoffe zurückhalten. Verwendet werden organische Polymere sowie anorganische Keramiken. Nach dem Brennprozess sind die Nanopartikel in der Keramik fest verbacken und können demnach auch nicht mehr herausgelöst werden.

Umwelt- und Gesundheitsgefährdung

Die Vielzahl der bei der Wasseraufbereitung verwendeten Nanomaterialien lässt derzeit keine allgemeine Aussage zur möglichen Gefährdung von Umweltorganismen zu. Von einigen der verwendeten Nanomaterialien ist allerdings das ökotoxische Potential seit langem bekannt, so dass umweltoffene Anwendungen von Nano-Titandioxid, Kohlenstoffnanoröhren (CNT) und Nano-Silber als problematisch beurteilt werden.

Eine Gesundheitsgefährdung könnte über die Haut oder über das Trinkwasser bestehen, wenn beispielsweise nach einer Abwasserbehandlung Nanomaterialien im behandelten Wasser zurückbleiben. In diesem Fall müsste obligatorisch durch nachgeschaltete Filter der Eintrag ins Trinkwasserversorgungssystem unterbunden werden. Eine Freisetzung der in den Keramikfiltern fest eingebetteten Nanopartikel ist dagegen eher unwahrscheinlich.

Das Recht auf sauberes Wasser – ein Menschenrecht

Am 28. Juli 2010 hat die Generalversammlung der Vereinten Nationen mit der Resolution 64/292 das Recht auf Wasser als Menschenrecht anerkannt. Da immer noch Milliarden Menschen von diesem Menschenrecht ausgeschlossen sind haben die Vereinten Nationen das Thema als eines der wichtigsten Ziele in ihren Katalog der Nachhaltigkeitsziele bis zum Jahr 2030 aufgenommen.

Bereits 2006 stellte die UNESCO fest, dass „Missmanagement, Korruption, Mangel an angemessenen Institutionen, bürokratische Trägheit sowie Mangel an Neuinvestitionen sowohl in Humankapazitäten als auch in physische Infrastruktur“ die Hauptgründe für den weltweit mangelnden Zugang zu sauberem Wasser sind. Die Regulierung und der Besitz von Wasserrechten spielen eine zunehmend größere Rolle, ebenso die Frage, wer die Technologien besitzt, um sauberes Wasser bereitstellen zu können.

Der Kampf ums Wasser hat längst begonnen

Die Zugangsrechte zu Wasserressourcen, Wasserentsalzung und -reinigung sind inzwischen zu einem globalen Industriezweig geworden: Wasseraufbereitungsunternehmen können kleine öffentliche oder private Betriebe sein, einige der privaten Unternehmen sind jedoch Teil von großen Konzernen. So haben die beiden großen französischen Wasser-Giganten Veolia und Suez den Weltwasser-Markt unter sich aufgeteilt und versorgen mittlerweile fast

200 Millionen Menschen mit Trinkwasser, darunter die Metropolen Buenos Aires, Casablanca und Manila, aber auch Coca-Cola, Pepsi oder Danone kämpfen um die Trinkwasserversorgung für Millionen zahlungskräftige Kunden in Asien und Südamerika. Die staatliche oder kommunale Wasserversorgung bleibt meist auf der Strecke und die Ärmsten der Armen sind auf staatliche Wasserlieferungen oder minderwertiges Trinkwasser angewiesen.

Fazit:

Alle bisher diskutierten nanotechnologischen Anwendungen, so sinnvoll sie auch perspektivisch sein könnten, sind Hightech-Lösungen und eher für die entwickelten Industrienationen konzipiert als für die Teile der Welt, die am meisten unter Wassernot leiden. Eine ideale technische Lösung müsste nicht nur kosteneffizient und verlässlich, sondern zugleich auch auf lokale Materialien und/oder Fertigkeiten zurückgreifen und damit eine lokale Kontrolle und eigenständige Lösung der Probleme durch die Menschen vor Ort ermöglichen.

Wesentliche Aspekte für die Umweltverträglichkeit nicht nur von Nanomaterialien sind der Rohstoffeinsatz, der Energieverbrauch, die Emissionen bei der Herstellung, bei der Anwendung und bei der Entsorgung. Um eine realistische Ökobilanz erstellen zu können, werden auch Produktionszahlen, Anteile der Nano-Komponenten usw. benötigt.

Aufgrund fehlender Zahlen lassen sich zurzeit keine belastbaren Ökobilanzen erstellen, nicht zuletzt auch deswegen, weil viele Verfahren noch im Forschungs- oder Versuchsstadium sind. Zwar dürfte unstrittig sein, dass die Nanotechnologie das Potenzial zu Einsparungen beim Rohstoff- und Energieaufwand hat, ebenso unstrittig ist aber auch, dass für die Herstellung bestimmter Nanomaterialien enorme Mengen an Energie, Wasser und umweltproblematischer Chemikalien erforderlich sind.



Foto: © Lars Ploughman

Nach Angaben von Unicef und der WHO haben nach wie vor 2,2 Milliarden Menschen keinen sicheren Zugang zu sauberem Trinkwasser.

Eine Abwägung ist ohne reelle Lebenszyklusanalysen schlechterdings nicht möglich. Betrachtet man die Ursachen für den Mangel an sauberem Wasser, so wird klar, dass nicht nur technische Innovationen, sondern vor allem gesellschaftliche und politische Veränderungen nötig sind, um die Wasserkrise zu bewältigen. Als erste und wichtigste

Maßnahme ist eine grundlegende Veränderung im Hinblick darauf nötig, wie wir unsere Wasserressourcen wertschätzen, nutzen und teilen. Das Ziel sollte dabei sein, dass sich alle Menschen das Menschenrecht nach Zugang zu sauberem Wasser und hygienischen Lebensbedingungen zu einem bezahlbaren Preis erfüllen können.

Energiewende dank Nanotechnologien?

Eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts stellt der Übergang von fossilen Brennstoffen zu nachhaltigen, erneuerbaren Energiequellen dar. Der Nanotechnologie wird hierbei eine wesentliche Rolle bei der Suche nach technischen Lösungen für eine bessere Energieerzeugung, -speicherung und -verteilung sowie nicht zuletzt auch bei der Nutzung zugesprochen.

Durchbruch für die Solarenergie?

Zurzeit liegt der Anteil der durch **Photovoltaik** (PV) erzeugten Stroms in Deutschland noch unter 10 Prozent. Um die Herstellung von Solarstrom wirtschaftlicher zu betreiben, zielt die Forschung auf eine Optimierung des Wirkungsgrades, des Materialeinsatzes und der Kosten. Durch eine effiziente Nutzung des gesamten Wellenlängenspektrums des Sonnenlichts kann außerdem der Wirkungsgrad der Module erhöht werden. Nanomaterialien werden bereits heute als Antireflexbeschichtung, als Isoliermaterial oder als Elektrodenmaterial eingesetzt, wodurch sich der Wirkungsgrad teilweise um bis zu 5 Prozent erhöhen lässt.

Zurzeit haben **Dünnschichtsolarzellen** bestehend aus Verbindungshalbleitern wie z. B. Galliumarsenid, Indiumphosphid, Cadmiumtellurid oder Zinkselenid bereits einen Weltmarktanteil an der PV-Produktion von 20 Prozent, mit steigender Tendenz. Im Labor konnten Wirkungsgrade von bis zu 40 Prozent erreicht werden. Das ist wesentlich mehr als bei den herkömmlichen auf Silizium basierenden Solarzellen, die nur bis zu 25 Prozent erreichen können.

Dünnschichttechnologien haben aufgrund des geringen Halbleitermaterialverbrauchs nicht nur ökonomische, sondern auch ökologische Vorteile bei der Umweltverträglichkeit. Die energetische Amortisation liegt bei ca. einem Jahr und ist somit wesentlich kürzer als bei herkömmlichen Siliziumsolarzellen mit ca. zwei Jahren. Auch in der Lebenszyklusanalyse haben sie nur ein geringes Treibhausgaspotenzial sowie einen geringen Wasserverbrauch und auch die Emissionen von Stickoxiden und Schwefeldioxid sind nur etwa halb so hoch wie bei herkömmlichen PV-Modulen.

Allerdings muss berücksichtigt werden, dass Cadmium krebserzeugend und daher in vielen Anwendungen bereits verboten ist, wohingegen andere Elemente wie z.B. Indium nur sehr begrenzt verfügbar und deshalb teuer sind.

Bei **Farbstoffsolarzellen** (DSSC) findet die Lichtabsorption in organischen Farbstoffen (z.B. Chlorophyll) statt. Das Trägermaterial besteht z.B. aus Titandioxid, Zinkoxid oder Zinndioxid. Darüber hinaus werden Beschichtungen aus nanoskaligen Materialien (z.B. Aluminium/Titan-Nanokeramik, Wolframcarbid) als Schutz vor Abnutzung, Erosion und Korrosion eingesetzt.

Die erzielten Wirkungsgrade liegen momentan allerdings nur bei 2 bis 8 Prozent, wobei 30 Prozent zukünftig möglich sein sollen.

Während Farbstoff-Solarzellen mit ca. 1,4 Jahren energetischer Amortisationszeit einen Vorteil gegenüber herkömmlichen siliziumbasierten Solarzellen haben, ist ihre Haltbarkeit mit lediglich 12 Jahren zurzeit wesentlich geringer. Auch das Treibhausgaspotenzial und die Stickoxid und Schwefeldioxid -Emissionen liegen deutlich höher als bei den anderen nanobasierten PV-Techniken.

Quantenpunktsolarzellen (QDSC) bestehen aus verschiedenen Nano-Halbleitermaterialien z.B. Indiumgalliumarsenid, Cadmiumselenid, Cadmiumtellurid, Indiumphosphid, Zinkselenid oder Kupferindiumsulfid. Im Vergleich zu herkömmlichen Solarzellen, die nur Licht einer bestimmten Wellenlänge umwandeln können, sind QDSC so aufgebaut, dass sie verschiedene Wellenlängen gleichzeitig nutzen können. Die bisher realisierten Wirkungsgrade liegen unter 10 Prozent, allerdings sind durch die Erzeugung mehrerer Schichten höhere Wirkungsgrade von 31 bis 80 Prozent möglich. Ein bedeutender Nachteil ist die Vielzahl an toxischen Halbleitermaterialien. Belastbare Angaben zur Ökobilanz können zurzeit nicht gemacht werden.

In **Organischen Solarzellen (OPV)**

werden als Halbleitermaterialien organische Moleküle eingesetzt. Die Solarzellen sind sehr dünn und führen zu geringeren Materialverbräuchen als herkömmliche Silizium-solarzellen und damit einhergehend zu geringeren Produktionskosten. Indiumzinnoxid bzw. Aluminium dient als Elektrodenmaterial auf der Vorder- bzw. Rückseite.

Erste organische Solarzellen finden bereits in Nischenmärkten Anwendung. Aufgrund der kostengünstigen Rohmaterialien (Kunststoff) und Herstellungsverfahren (durch Druckverfahren) sowie der flexiblen Formgebung haben sie ein hohes Potenzial, nicht nur bei der Versorgung mobiler Elektronikgeräte. Zurzeit liegt der Wirkungsgrad allerdings bei nur 2 bis 4 Prozent, hinzu kommt eine geringe

Lebensdauer von 3 bis 5 Jahren. Auch ist der Einsatz von gefährlichen Lösemitteln sehr hoch. Es wird davon ausgegangen, dass bei einer Weiterentwicklung der Technik die Emissionen langfristig geringer sein werden als bei jeder anderen Photovoltaiktechnik. Eine Erhöhung des Wirkungsgrades auf 10 Prozent, was im Labormaßstab bereits erreicht wurde, reduziert die energetische Amortisationszeit auf wenige Wochen.

Fazit:

Von der nanobasierten Photovoltaik können deutliche Verbesserungen beim Wirkungsgrad und den Kosten erwartet werden. Noch nicht befriedigend gelöst ist der Ersatz einer Vielzahl toxischer Stoffe. Auch sind viele Fragen bezüglich des gesamten Lebenszyklus von Solarenergieprodukten und der Nutzung neuer Nanomaterialien noch nicht abschließend zu beantworten.

Effizientere Windenergieanlagen?

Für den Windenergiemarkt wird in den nächsten Jahren weltweit mit Wachstumsraten im zweistelligen Bereich gerechnet. Die Windenergie deckt in Deutschland bereits knapp unter 20 Prozent des Strombedarfs. Durch den gezielten Einsatz von Nanomaterialien in Windenergieanlagen (WEA) erhofft man sich in erster Linie einen besseren Wirkungsgrad.

Durch den Einsatz von **Kohlenstoffnanoröhren (CNT)** in Kompositmaterialien für die Rotorblätter kann das Gewicht verringert und gleichzeitig die Stabilität erhöht werden. Der Einsatz größerer Rotorblätter ermöglicht dann eine höhere Energieausbeute. Zusätzliche Oberflächenbeschichtungen mit CNT oder Graphen können eine Eisbildung und Verschmutzung auf den Rotorblättern reduzieren, sodass eine Gewichtszunahme der Rotorblätter vermieden wird und die aerodynamischen Eigenschaften der Rotorblätter erhalten bleiben.

Windenergieanlagen bestehen aus vielen beweglichen Bauteilen (Getriebe u.a.), bei denen es aufgrund von Reibung zu einem Wirkungsgradverlust kommt. Die Anwendung von nanobasierten Schmierstoffen wie Graphen oder Nano-Siliziumdioxid kann den Reibungswiderstand verringern.

Fazit:

Bei den oben genannten nanotechnologischen Anwendungen lässt sich, unter der Voraussetzung einer optimalen Prozessführung über den gesamten Lebenszyklus, eine zumindest leichte Verbesserung der Energieeffizienz der Windenergieanlagen erzielen. Darüber hinaus kann der Einsatz von nanobasierten Schmierstoffen den Einsatz von herkömmlichen umwelt- und gesundheitsschädigenden Schmierstoffen reduzieren. Nachteilig wirkt sich allerdings der höhere Energie- und Lösemittelbedarf bei der Herstellung der Rotorblätter aus.

Wasserstoff für Brennstoffzellen?

Schon seit Jahrzehnten wird angestrebt Wasserstoff als Energieträger für die Brennstoffzellentechnik, insbesondere für Automobile, zu etablieren. Eine Brennstoffzelle wandelt chemische Energie direkt in elektrische Energie um, wobei der Energieträger, vor allem Wasserstoff, an der Anode in Protonen und Elektronen dissoziiert. Durch die Reaktion von Protonen, Elektronen und Sauerstoff an der Kathode bildet sich Wasser und es fließt Strom. Obwohl Wasserstoff nahezu unendlich vorhanden ist, eine sehr hohe Energiedichte hat und ohne schädliche Emissionen verbrennt, steckt die Technik aufgrund immenser Kosten immer noch in Kinderschuhen.

Nanomaterialien könnten die Herstellung von Wasserstoff verbilligen, z. B. in dem bei den bislang bei der Elektrolyse eingesetzten Platinelektroden Nano-Platin verwendet wird, wodurch sowohl Effizienz und Geschwindigkeit erhöht als auch Kosten gesenkt werden können. In der Photolyse

könnte z. B. Nano-Titandioxid mit Sonnenlicht als Energiequelle genutzt werden. Bisher ist allerdings die Effizienz der rein photokatalytischen Systeme zu gering, um kommerziell umgesetzt zu werden.

Fazit:

Nanomaterialien hätten durchaus das Potenzial durch eine effizientere und deutlich kostengünstigere Herstellung von Wasserstoff die Marktfähigkeit von Brennstoffzellen zu verbessern.

Fortschritte in der Energiespeicherung?

Die Bedeutung der Energiespeicherung wird in naher Zukunft mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien und der Elektromobilität stark zunehmen. Die derzeitigen Batterien sind noch immer zu schwer, zu groß, zu teuer und der Ladevorgang dauert zu lange. Daher wird daran gearbeitet, mithilfe der Nanotechnologien wesentlich leistungsfähigere und leichtere Stromspeicher zu entwickeln und serienreif verfügbar zu machen.

Schwerpunkt der Forschung und Entwicklung sind zurzeit wieder aufladbare **Batterien auf Lithiumbasis**. Diese sind aktuell die am weitesten verbreiteten tragbaren Energiespeicher (u. a. in Laptops, Mobiltelefonen und Elektrofahrzeugen). Aus ökonomischen und ökologischen Gründen werden zunehmend neue nanobasierte Materialien eingesetzt, so beispielsweise Phosphate von Übergangsmetallen (Lithiummangan-, Lithiumkobalt-, Lithiumeisenphosphat). Dies führt beispielsweise zu einer Reduktion der Materialmenge, außerdem wird durch die Nanostrukturierung die Oberfläche der Kathode vergrößert, wodurch die Energiespeicherung verbessert und die Ladezyklen stabilisiert werden könnten.

Lithium-Luft-Batterien befinden sich aktuell noch im Forschungsstadium. Sie besitzen theoretisch eine hohe spezifische Energiedichte, zehnmal höher als bei heutigen Batterien. Lithium-Luft-Batterien nutzen atmosphärischen Sauerstoff, der beim Entladen Lithium zu Lithiumoxid oxidiert, wobei Energie frei wird. Beim Aufladen wird unter Rückbildung der Lithiumanode der Sauerstoff zurück in die Atmosphäre entlassen. Der Entwicklung von **Natrium-Luft-Batterien** werden jedoch größere Chancen eingeräumt. Die zu erwartende Energiedichte ist zwar nur fünfmal höher als bei Lithium-Ionen-Batterien, Natrium ist allerdings wesentlich preiswerter und weniger toxisch als Lithium.

Die **Lithium-Schwefel-Batterie** ist ein weiterer erfolgversprechender Batterietyp mit einer zwei bis fünfmal höheren Energiedichte als herkömmliche Batterien. Ein großer Vorteil liegt im Verzicht auf knappe, teure, umwelt- und gesundheitsgefährdende Schwermetalle wie Kobalt oder Nickel. Auch hier wird am Ersatz von Lithium durch Natrium gearbeitet, wodurch allerdings die Energiedichte verringert würde.

Des Weiteren wird an **gedruckten Batterien** geforscht, hierbei werden elektronische Bestandteile mit speziellen metallbasierten Tinten auf verschiedene Materialien gedruckt. Die Leistungsfähigkeit ist zurzeit allerdings noch sehr gering. Es wird erwartet, dass diese in naher Zukunft erhöht werden kann und damit ultradünne, flexible und wieder aufladbare Batterien hergestellt werden können.

Superkondensatoren für die Speicherung elektrischen Stroms unterscheiden sich von aktuell gängigen Batterien im Wesentlichen dadurch, dass sie sich sehr viel schneller laden und entladen lassen. Allerdings ist die Speicherkapazität zurzeit noch sehr gering. Die aktuelle Forschung zielt besonders auf die Erhöhung sowohl der Leistung als auch der Energiedichte ab, wozu Nanotechnologien beitragen sollen. Geforscht wird vornehmlich an Kohlenstoffnanoröh-

ren (CNT) und Graphen. Ziel ist es, die Herstellungskosten zu senken und umweltfreundliche Materialien einzusetzen.

Seit Jahrzehnten sind **Wasserstoffspeicher** Gegenstand der Forschung. Sie könnten z.B. für die Speicherung überschüssiger erneuerbarer Energie, die weder verbraucht noch weitergeleitet wird, dienen. Der Umgang mit Wasserstoff ist allerdings nicht unproblematisch, eine Lagerung kann als stark komprimiertes Gas, als verflüssigtes Gas oder gebunden an Feststoffe erfolgen. Um Wasserstoff zu verflüssigen, muss er auf minus 253 Grad Celsius gekühlt werden, hierfür werden bereits 30 bis 40 Prozent des Energiegehalts von Wasserstoff genutzt. Komprimierter und verflüssigter Wasserstoff birgt zusätzlich ein Explosionsrisiko bei unentdeckten Leckagen. Die Alternative soll die Speicherung in nanostrukturierten Materialien bieten, da diese große Mengen an Wasserstoff auf engstem Raum einlagern könnten. Derartige Speichersubstanzen (Ammoniumborane, CNTs, Metallhydride oder Metalllegierungen mit Titan, Eisen oder Nickel) binden den Wasserstoff physikalisch oder chemisch reversibel, so dass das Risiko einer Explosion eingeschränkt wird. Insgesamt sind die Wirkungsgrade dieser Wasserstoffspeichersysteme jedoch mit ca. 29 Prozent sehr niedrig. Langfristig könnten aber die Systemwirkungsgrade auf bis zu 46 Prozent gesteigert werden.



Foto: pixabay/PublicDomainPictures.com

Fortschritte in der Energiespeicherung?

Fazit:

Bei bestimmungsgemäßem Gebrauch der Energiespeichersysteme ist nicht mit einer Freisetzung von Nanomaterialien zu rechnen, da diese in der Regel als Nanokomposite vorliegen, die im Speichersystem eingeschlossen sind. Prinzipiell könnten die Nanomaterialien die Energiespeicher sicherer und haltbarer machen, sodass auch das Explosionsrisiko gegenwärtiger Energiespeicher vermindert würde. Die Sammlung verbrauchter Energiespeicher muss allerdings durch geregelte Rücknahmesysteme gewährleistet sein, um eine sichere und effiziente Verwertung zu gewährleisten. Bei einer unsachgemäßen Entsorgung sind negative Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen nicht auszuschließen.

Steigerung der Energieeffizienz?

Im **Fahr- und Flugzeugbau** könnte die Nutzung von Nanomaterialien, die leichter und widerstandsfähiger als konventionelle Materialien sind (wie beispielsweise Kohlenstoffnanoröhren) zu einer deutlichen Effizienzsteigerung führen, da leichtere Fahrzeuge weniger Energie verbrauchen, um die gleiche Strecke zurückzulegen.

Fazit:

Gerade der Verkehrssektor ist allerdings ein Bereich, in dem bislang alle technologischen Fortschritte zur Effizienzsteigerung und Ressourcenschonung durch immer stärkere Motoren und höhere Zulassungszahlen bei den Autos und einer permanenten Zunahme des Luftverkehrs in der Summe zu keinerlei Einsparungen geführt haben. Auch fehlen Untersuchungen zur ökologischen Gesamtbilanz entsprechender Anwendungen.

Geht uns endlich ein Licht auf?

Die Europäische Union hat in der Vergangenheit bereits einige Maßnahmen beschlossen um den Energieverbrauch durch **Beleuchtung** zu verringern.

Sowohl Glühlampen als auch Halogenlampen sind bereits größtenteils verboten. Nachdem LED-Leuchten jetzt als Standard gelten, ist bereits eine neue Generation von organischen Leuchtdioden (OLED) auf dem Markt. OLED sind Dünnschichtbauelemente aus organischen halbleitenden Materialien. Im Vergleich zu LED ist die Lebensdauer und Lichtausbeute zwar geringer, sie lassen sich aber in Dünnschichttechnik kostengünstiger herstellen und auch die Anwendungsbereiche sind vielfältiger. Die OLED-Technik wird heute bereits für Bildschirme in Smartphones wie auch in großflächigen Fernsehern und Computermotoren eingesetzt, zukünftig scheinen auch biegsame Bildschirme möglich.

Die in OLED enthaltenen Mengen an gefährlichen Stoffen sind aufgrund der Nanobeschichtung sehr gering. Durch die feste Einbindung der Nanopartikel ist eine Freisetzung in der Nutzungsphase und bei ordnungsgemäßer Entsorgung nicht zu erwarten.

Fazit:

Auch im Fall der Beleuchtung ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Einsparungen nicht durch Rebound-Effekte durch eine stetig steigende Nutzung der Produkte wieder kompensiert werden. Weiterhin wird eine Vielzahl von problematischen Inhaltsstoffen verwendet, für die weder ein adäquates Recycling oder der Ersatz durch weniger schädliche Stoffe geklärt sind.

Gesamtfazit

Die aufgeführten Beispiele zur Energieeffizienz zeigen sehr eindrücklich, dass die technologischen Erneuerungen durch Nanotechnologien allein nicht in der Lage sind, die weitgesteckten Erwartungen zu erfüllen. Ohne flankierende politische Maßnahmen werden sich die notwendigen Zielvorgaben zur Begrenzung des Klimawandels nicht erreichen lassen.

Umweltsanierung durch Nanotechnologie?

4

Die Verschmutzung der Umwelt durch Schadstoffe und Abfälle stellt die Gesellschaft vor gewaltige Herausforderungen. Entsprechend wächst auch der Bedarf nach innovativen Lösungen. Der Nanotechnologie wird hierbei eine führende Rolle zugeschrieben. Die Lösungsansätze reichen von einer Reduktion der produzierten Abfälle und Schadstoffe, über die Entfernung dieser aus der Umwelt bis hin zur Wiederverwertung von Abfällen als wertvolle Ressource.

Konventionelle Techniken zur Umweltsanierung sind bisher nicht in der Lage, die vielen Probleme bei der Förderung von sauberem Trinkwasser, der Entfernung von Luftschadstoffen und der Sanierung von industriellen Altlasten zu lösen. Bisher werden durch Schadstoffe verseuchte Böden meist durch das Abtragen des Oberbodens und die nachfolgende Lagerung auf einer Deponie »beseitigt«. Diese Methode verschiebt das Problem lediglich von einem Ort zum anderen.

Kleine Helfer für große Probleme?

Es gibt eine Reihe von Sanierungsmethoden, bei denen Nanotechnologien zum Einsatz kommen. So können über **Photokatalyse** mit Nano-Titandioxid Stickstoffoxide und flüchtige organische Verbindungen abgebaut werden. Deshalb finden diese Nano-Titandioxid Partikel bereits in kommerziellen Außenanstrichen und Zement Verwendung, um mittels des photokatalytischen Effekts einzelne Schadstoffe in der Luft abzubauen. Auch sollen mit Nano-Titandioxid angereicherte Farben bisherige organische und hoch giftige Biozide ablösen, die bislang zum Schutz vor biologischen Verschmutzungen verwendet werden.

Doch auch die Verwendung von Nano-Titandioxid ist nicht unproblematisch. Die Nanopartikel werden langfristig aus Gebäudeoberflächen ausgewaschen und gelangen über Kläranlagen in die Vorfluter. Obwohl der Großteil der größeren Fraktionen im Faulschlamm zurückbleibt, werden gerade Nanopartikel nicht vollständig zurückgehalten und gelangen über das Abwasser der Kläranlagen in die Flüsse. Insbesondere empfindliche Wasserorganismen am Beginn der Nahrungskette wie Wasserflöhe werden potentiell geschädigt. Aber auch bei Fischen konnten bereits oxidativer Stress und Organveränderungen festgestellt werden.

Eine aktuelle Studie lieferte zudem Warnhinweise auf generationsübergreifende Effekte. Hier wurde Nano-Titandioxid von trächtigen Mäusen über die Plazenta auf den Nachwuchs übertragen. Dies führte zu Schädigungen des Nervensystems und des Gehirns sowie zu einer Reduktion der Spermienproduktion bei männlichen Nachkommen.

Die Internationale Krebsforschungsagentur (IARC) hatte Titandioxid in 2010 ohne Berücksichtigung der Größe als „möglicherweise krebserregend für den Menschen“ eingestuft. Und auch der europäische Ausschuss für Risikobewertung der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) hat in 2017 vorgeschlagen, Titandioxid als „vermutlich krebserzeugend“ einzustufen. Beide Entscheidungen beruhen auf einem in Tierversuchen nachgewiesenen Risiko bei der Inhalation.

Die **Sanierung verseuchter Böden**, wie von früheren Industrie- und Militärstandorten, ist ein dringendes Problem in vielen industrialisierten Ländern. Die Nutzung von elementarem Eisen und Eisenoxid in Nanogröße ist möglicherweise eine kosteneffizientere Lösung als bisherige Verfahren. Obwohl Tests in den USA und Europa vielversprechende Ergebnisse lieferten, gibt es immer noch ungelöste Fragen bezüglich einer Freisetzung der Nanopartikel in Bodenökosystemen. Unklar ist etwa, wie sie auf Bodenorganismen und auf die Grundwasserqualität wirken.

Zumindest zum Einsatz von Nanoeisen bei der Sanierung von **Grundwasserschäden** gibt es mittlerweile ermutigende Erfahrungen. Nach Einschätzung des Umweltbundesamtes ergibt sich aus den bisherigen Untersuchungen zum Einsatz von Nanoeisen bei der Sanierung von Grundwasserschäden kein relevantes Risiko. Auch sind keine relevanten akuten Schadwirkungen auf die belebte Umwelt zu erwarten. Allerdings könnte eine Gefahr durch gefährliche Stoffe als weitere Komponenten der Nanoeisenmischung bestehen. Darüber hinaus muss verhindert werden, dass sich Nanoeisen und seine Folgeprodukte über seinen räumlich begrenzten Einsatzort bei Grundwassersanierungen hinaus ausbreiten und womöglich in andere wasserführende Schichten gelangen. Hierfür ist die Entwicklung spezieller Mess- und Analytikmethoden notwendig, so dass der Einsatz durch ein Monitoring begleitet und die Dauerhaftigkeit des Sanierungserfolges sichergestellt werden kann.

Im Forschungsprojekt ReGround, an dem u.a. die Universität Duisburg-Essen beteiligt ist, wurde an drei mit Schwermetallen kontaminierten Industriestandorten dieses Verfahren erprobt. Spezielle Eisenoxid-Nanopartikel wurden in das Grundwasser leitende Gestein injiziert und bildeten dort eine Barriere, die die gefährlichen Stoffe zurückhält. In bisherigen Verfahren wird das Wasser an die

Oberfläche gepumpt und dann dort behandelt, um hochgiftige Schwermetalle wie Arsen, Chrom, Kupfer, Blei und Zink aus dem Grundwasser zu lösen. Solche sog. Pump-and-Treat-Verfahren sind allerdings sehr kostspielig und müssen extrem lange betrieben werden. Die Methode mit Nanoeisen hat sich als wirksamer und wirtschaftlicher herausgestellt. Ein weiterer Vorteil ist die kurze Vorbereitungszeit und universelle Nutzbarkeit, da weder große bauliche Maßnahmen noch bestimmte Geländevoraussetzungen notwendig sind. Zudem eignet sich das Verfahren nicht nur für stillgelegte, sondern auch für noch aktive Industriestandorte.

Fazit:

Während der Einsatz von Nanotechnologien zur Umweltsanierung in einigen Fällen unter Laborbedingungen erfolgreich demonstriert wurde, sind bisher nur wenige Anwendungen auf ihre Sicherheit und Effizienz im Feldeinsatz erprobt. Viele der groß angekündigten Lösungen sind über die Phase von Machbarkeitsstudien oder Pilotversuchen noch nicht hinaus gekommen.

Wichtige Schlüsselfragen sind: Wie kann sichergestellt werden, dass die Technik effektiv ist und nicht zu neuen Umweltbelastungen durch freigesetzte Nanomaterialien führt? Werden die zur Schadstofffiltration eingesetzten Nanopartikel in die Nahrungskette eintreten, zu Erkrankungen von Pflanzen und/oder Verschlechterungen des Bodens führen und Bodenökosysteme beeinträchtigen?

Alle neu vorgeschlagenen Lösungen müssen mit den bereits bestehenden verglichen und Verbesserungen bezüglich der Effizienz und der ökonomischen, sozialen und ökologischen Kosten umfassend unter Beweis gestellt werden. Die beste Option bleibt letztendlich die Vermeidung von Schadstoffen und Abfällen in Produktion und Nutzung.

Mehr Nachhaltigkeit bei Produktion und Konsum?

5

Eines der wichtigsten Argumente für die »Grüne Nanotechnologie« ist das Versprechen einer nachhaltigeren Produktion von Gütern durch die Einsparung von Energie und Ressourcen sowie die Verwendung von weniger giftigen Chemikalien im Verarbeitungsprozess.

Bis dato sind nur sehr wenige ökobilanzielle Bewertungen verfügbar, die die Nachhaltigkeit von auf Nanotechnologien basierenden Materialien und Produkten mit konventionellen vergleichen. Bereits vorhandene Daten deuten aber an, dass die ökologische Bilanz von Nanoprodukten nicht immer besser ist, als die von vergleichbaren konventionellen Produkten, wenn man den gesamten Lebenszyklus betrachtet.

Reduktion giftiger Stoffe?

Nanomaterialien werden oft als mögliche Ersatzstoffe für schädliche Chemikalien, wie beispielsweise Schwermetalle oder andere hochtoxische Stoffe, genannt. Diese Möglichkeit besteht ohne Zweifel, insbesondere bei Beschichtungen und Klebern. Beispielsweise beruht die Effizienz konventioneller **Antifouling-Farben** auf der Wirkungsweise von giftigen Chemikalien. Mithilfe von Nanomaterialien wird dieser chemische Effekt durch einen strukturellen ersetzt, wodurch sich die Organismen nicht mehr so gut am Schiffsrumpf anhaften können.

Nanopartikel wie Titandioxid, Siliziumdioxid, Magnesiumoxid oder Zinkoxid können außerdem **Flammschutzmittel** auf Basis von Brom ersetzen, die langlebig und biologisch schwer abbaubar sind.

Die Nanotechnologie birgt also prinzipiell die Chance, gefährliche Substanzen durch weniger gefährliche zu ersetzen. Bisher scheinen dadurch aber erst Fortschritte in relativ kleinen Schritten erzielt worden zu sein. Auch ist, aufgrund unzureichender oder fehlender Tests, in manchen Fällen noch unklar, ob die als Ersatz vorgeschlagenen Nanomaterialien tatsächlich wesentlich sicherer sind als die Stoffe, die sie ersetzen sollen.

Pestizide sollen Pflanzen vor Schädlingen wie Insekten, Mikroorganismen oder Nematoden schützen. Durch die Anwendung von **Nano-Pestiziden** könnte trotz einer geringeren Wirkstoffmenge eine bessere Wirksamkeit erzielt werden. Derzeit werden derartige Produkte weiterhin bezüglich einer Nutzen- und Risikoabwägung erforscht und sind noch nicht marktfähig. Allerdings würde eine Ausweitung des ökologischen Landbaus eine weitaus höhere Einsparung erbringen, da dort chemische Pestizide generell untersagt sind.

Nanotechnik-basierte Beschichtungen können durch die Reduzierung der notwendigen Beschichtungsdicken, die Senkung des Lösemittelanteils sowie des Anteils an toxischen Verbindungen (wie z. B. Chromverbindungen) in der Lackapplikation zur Entlastung der Umwelt beitragen. Selbstreinigende bzw. leicht zu reinigende Oberflächen können zudem den Reinigungsaufwand und damit den Verbrauch von Energie und potenziell schädigenden Reinigungsmitteln reduzieren und außerdem die Lebensdauer des zu schützenden Gegenstandes verlängern.

Umweltvorteile von **Verpackungen mit Nanomaterialien** liegen im Bereich der Gewichtsverringerung und Materialeinsparung. Allerdings sind auch Einschränkungen der Recyclingfähigkeit denkbar. Auch die Freisetzung von Nanomaterialien aus der Verpackung insbesondere bei einer unsachgemäßen Entsorgung, ist nicht auszuschließen.

Nanotechnologische Anwendungen im **Automobilsektor** betreffen neben den bereits besprochenen Energiespeichersystemen für die Elektromobilität eine Vielzahl von Komponenten. So kann der Treibstoffverbrauch und damit auch der Schadstoffausstoß z. B. durch die Verringerung des Fahrzeuggewichts und der Reibungsverluste gemindert werden.

In die gleiche Richtung wirken bessere Laufeigenschaften von Reifen und die Zugabe von Nano-Treibstoffzusätzen, welche die Verbrennung effizienter machen. Durch die Verwendung von Nanomaterialien beim Abgaskatalysator kann eine Materialersparnis von 70 bis 90 Prozent erreicht werden. Nano-basierte Oberflächenbeschichtungen versprechen einen verbesserten Korrosionsschutz, mithilfe nano-basierter Öle und Schmierstoffe wird verringerter Verschleiß und der Verzicht von giftigen Materialien erreicht und somit auch zur Schonung wichtiger Ressourcen beigetragen.

Der Zusatz von Nano-Silizium (Nano-Silica) in **Reifen** ist mittlerweile weltweiter Standard. Ein Nano-Anteil von üblicherweise ca. 10 Prozent verringert dabei den Rollwiderstand um ca. 20 Prozent, erhöht die Haftung um ca. 12 Prozent und reduziert dadurch auch den Bremsweg um ca. 10 Prozent. In einer vergleichenden Ökobilanz konnte auch eine Umweltentlastung um ca. 5 bis 10 Prozent errechnet werden. Allerdings gelangt Nano-Silica durch den Reifenabrieb in die Umwelt, durch eine kontinuierlich hohe Eintragsmenge könnte es langfristig zu umweltschädlichen Konzentrationen kommen. Es ist daher zu be-

mängeln, dass mögliche Umwelt- oder Gesundheitsauswirkungen von Nano-Silica aus Reifenabrieb bisher nicht systematisch erfasst und weitergehend untersucht werden. Auch Carbonblack (= Industrieruß), ein weiterer relevanter Bestandteil von Autoreifen, liegt weitgehend in Nanoform vor, so dass der Reifenabrieb mittlerweile zu gut einem Drittel aus Nanopartikeln besteht.

Nanotechnologie und Nanomaterialien bieten auch im Bereich der **Bauwirtschaft** und der Architektur neue Möglichkeiten. Infrage kommen derzeit vor allem vier Bereiche: zementgebundene Baustoffe, Lärm- und Wärmedämmung bzw. Temperaturregelung, Oberflächenbeschichtungen zur Verbesserung der Funktionalitäten diverser Materialien sowie Brandschutz. Allerdings spielen Nano-Baustoffe vornehmlich aufgrund der hohen Kosten bislang keine Rolle.

Umweltfreundlichere Produktion?

Nanomaterialien haben den Ruf, höhere Effizienzwerte bei vielen Produkten zu ermöglichen, da sie oft leichter und widerstandsfähiger als die Materialien sind, die sie ersetzen. Die Produktion von Nanomaterialien kann aber unerwartet große Auswirkungen auf die Umwelt haben, da für hoch spezialisierte Produktionsumgebungen viel Energie und Wasser sowie giftige Chemikalien benötigt werden. Ohne spezifische Bilanzierungen können daher keine verlässlichen Angaben über Nachhaltigkeit und/oder Umweltfreundlichkeit gemacht werden. Bislang liegen leider nur sehr wenige derartiger aussagekräftiger Studien vor.

In einer Fallstudie zum Ersatz von Carbon Black durch **Kohlenstoffnanoröhren (CNT)** in Plastikteilen im Fahrzeugbau wurde deutlich, dass sich keine ökologischen Vorteile ergeben, wenn nicht gleichzeitig absolute Gewichtsreduzierungen des Gesamtplastikteils realisiert werden können. Erst bei einer gleichzeitigen Gewichtseinsparung von ca. 5 Prozent nähern sich die untersuchten Szenarien hinsichtlich

ihrer Umweltwirkungen an. Ursache ist insbesondere der höhere Energieaufwand zur Herstellung von CNT.

In einer weiteren Studie wurde an zwei Fallbeispielen der Nano-NachhaltigkeitsCheck des ÖkolInstituts angewandt. Die Betrachtung einer **Oberflächenbeschichtung für Glas mit hoher UV-Schutzwirkung** ergab für das mit Nano-Zinkoxid beschichtete Glas eine deutlich bessere Wirksamkeit und längere Haltbarkeit. Der CO₂-Fußabdruck verringerte sich um rund ein Drittel gegenüber einem konventionellen UV-Schutzglas. Als mögliches Risiko wurde jedoch die Entsorgung des Nano-Abfalls bewertet.

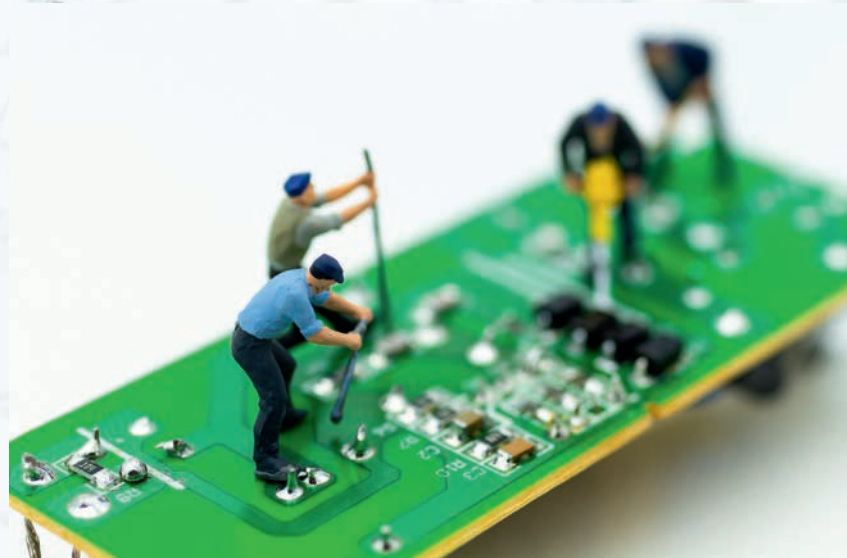
Die Beurteilung eines **Betonbeschleunigers** zeigte die deutlich schnellere Aushärtung von Beton durch Zusatz von Nanopartikeln und ergab somit ein deutliches Energieeinsparungspotenzial. Entscheidend waren am Ende jedoch die sehr hohen Zusatzkosten der Betonbeschleuniger, die somit eine größere Markteinführung behindern.

In einer Untersuchung einer **Solaren Wasserbehandlung** mit Einsatz von Nano-Titandioxid für die Photokatalyse ergab sich langfristig ein negativer Umwelteffekt gegenüber vergleichbaren Behandlungen. Maßgeblich war die mit zunehmender Laufzeit steigende Umweltbelastung durch das Titandioxid. Neben dem hohen Ressourcen-Verbrauch für die Herstellung mussten auch mögliche schädigende Auswirkungen auf die aquatische Umwelt in Betracht gezogen werden.

Beim Vergleich eines PKW-**Kombinationsfilter mit Nanofaserbeschichtung** mit einem herkömmlichen Kombinationsfilter zeigte die Ökobilanz geringe Vorteile des nanotechnischen Produktes auf.

Fazit:

Ob durch den Einsatz nanotechnologischer Lösungen letztlich ein Umweltbelastungs- oder Umweltentlastungseffekt auftritt, lässt sich nur anhand von konkreten ökobilanziellen Betrachtungen erkennen. Entsprechende Untersuchungen existieren jedoch leider nur für wenige Anwendungen. In der Regel ist nicht bekannt, ob und wenn in welchen Mengen Nanomaterialien verwendet werden. Die Anwendung in End-of-Pipe-Technologien oder lediglich der Ersatz von giftigen Stoffen durch weniger schädliche Stoffe kann nicht von vornherein als umweltfreundlich oder nachhaltig bezeichnet werden. So wäre auch für Nano-Pestizide vollständiger Verzicht wie im ökologischen Landbau die nachhaltigere Lösung.



Auf der Suche nach alternativen Werkstoffen.

Foto: polymanu/shutterstock.com

Die Rolle der Nanotechnologie für eine nachhaltige Zukunft

Seit der industriellen Revolution hat sich unsere Gesellschaft darauf konzentriert, ökonomisches Wachstum zu schaffen. Dieses Wachstum wurde einerseits durch neue Technologien ermöglicht, andererseits aber auch durch die beispiellose Erhöhung des Verbrauchs begrenzter, nicht erneuerbarer Ressourcen, durch die großflächige Transformation von Ökosystemen zu Kulturland sowie durch die Nutzung der Umwelt als Senke für Rückstände von Produktion und Konsum. Technologische Innovationen stehen als Fortschrittsmotor im Zentrum der Wachstumsförderung und werden zum Anbieter von Lösungen für die Probleme der Menschheit erhoben.

Kann die Nanotechnologie ihre Versprechen halten?

Auch die Nanotechnologie wird als Lösungsansatz für eine Vielzahl drängender Umweltprobleme gesehen. Bei näherer Betrachtung konnten bislang jedoch die wenigsten dieser Versprechungen eingehalten werden. Ob es um Wasseraufbereitung, die Sanierung von Altlasten oder preiswerten Solarstrom geht: In vielen Fällen sind die angekündigten nanotechnologischen Lösungsansätze erst in der Pilotphase oder werden gerade erst im Feld erprobt. Ein kommerzieller Einsatz auf weltweiter Ebene könnte in vielen Fällen allenfalls in etwa 5 bis 10 Jahren möglich sein. In einigen Fällen könnten die in Entwicklung befindlichen nanotechnologischen Produkte tatsächlich zu einer Umweltentlastung führen, in anderen erscheint dies fraglich, wenn man ihren gesamten Lebenszyklus betrachtet. Die Frage lautet also: Welche Rolle können technische

Innovationen und insbesondere die Nanotechnologie auf dem Weg in eine nachhaltige Zukunft spielen?

Grüne Nanotechnologie

»Grüne Chemie« und »Grüne Technologie« versuchen mit einer Kombination von Entwicklungs- und Verarbeitungsprinzipien zu einer nachhaltigeren Produktion beizutragen, beispielsweise indem sie gefährliche Inhaltsstoffe möglichst vermeiden, bei niedrigen Temperaturen produzieren und dadurch Energie sparen. Außerdem spielt die Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und die Berücksichtigung der Umweltbilanz über den gesamten Lebenszyklus eine wichtige Rolle bei der Entwicklung und Gestaltung von Materialien und Produkten. Im gleichen Maße versucht die »Grüne Nanotechnologie« diese Ideen und Ziele nicht nur zu verfolgen, um Nanoprodukte bereitzustellen, die Lösungen für Umweltprobleme bieten, sondern diese Nanomaterialien und -produkte auch in einer Art und Weise herzustellen, die übermäßige Auswirkungen auf die Umwelt oder die menschliche Gesundheit vermeidet. Wenn diese Prinzipien sorgfältig angewendet werden, könnte die »Grüne Nanotechnologie« zu Herstellungsverfahren führen, die umweltfreundlicher und energieeffizienter als die herkömmlichen sind.

Wachstumsparadigma in Frage stellen

Es erscheint notwendig, dass nicht nur unsere Produktionsweisen »grüner« werden müssen, sondern auch unser Wirtschaftsmodell insgesamt überdacht werden muss, um

unsere Gesellschaft fit für die Zukunft zu machen. So zeigen die bisherigen Erfahrungswerte, dass Effizienzsteigerungen in der Regel nicht zu einer Reduktion des Energie- und Rohstoffverbrauchs in absoluten Zahlen führen: Anstelle von Einsparungen zugunsten der Umwelt können Effizienzerhöhungen sogar zu einer Ausweitung der Produktion und des Konsums führen, weil sie etwa Produkte erst preisgünstig machen. Das liegt am so genannten „Rebound-Effekt“.

Die erhöhte Effizienz sorgt zwar für Energieeinsparungen, aber diese technische Innovation wird etwa durch mengenmäßigen Mehrverbrauch oder aufwendigere Produkte überkompensiert, wodurch die Entlastungseffekte für die Umwelt ganz oder teilweise wieder aufgehoben werden. Neben der Förderung »grüner Technologie« gilt es daher auch das Wachstumsmodell der westlichen Industrienationen auf den Prüfstand zu stellen und nach Alternativen zu suchen.



Foto: PowerUp/shutterstock.com

Nanotechnologie – Forderungen und Ziele des BUND

Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland ist mit über 620.000 Mitgliedern und Förderern einer der größten Umweltverbände in Deutschland. Bereits seit 2004 beschäftigt sich der BUND mit den Chancen und Risiken der Nanotechnologien.

In unserem Fokus stehen dabei vor allem Anwendungen der Nanotechnologie, bei denen Verbraucher*innen oder die Umwelt direkt in Kontakt mit Nanomaterialien kommen können (wie zum Beispiel bei Lebensmitteln und Verpackungen, Küchen- und Haushaltsartikeln, Textilien und Kosmetika) oder die einen besonderen Nutzen für den Umweltschutz versprechen (wie Energiespeichersysteme).

Um zur öffentlichen Debatte über die Nanotechnologie beizutragen, informiert der BUND Verbraucher*innen über die Chancen und Risiken der Nanotechnologie durch Broschüren, Faltblätter, Pressearbeit und eine ausführliche Internetrubrik zum Thema.

Zugleich sucht der BUND den Kontakt mit Entscheidungsträger*innen aus Politik und Wirtschaft, um die weitere Entwicklung der Nanotechnologie auch aktiv zu beeinflussen. Dazu beteiligt sich der BUND am Nanodialog der Bundesregierung und anderen Stakeholder-Dialogen und versucht Politiker*innen auf nationaler und europäischer Ebene, seine Meinung näher zu bringen. Auch in den

Normungsgremien des DIN ist der BUND beteiligt, wenn es um Standardisierungsfragen rund um die Nanotechnologie geht.

Diese vielseitigen Aktivitäten wären nicht möglich ohne den Einsatz vieler ehrenamtlicher BUND-Aktiver, welche sich regelmäßig in der Arbeitsgruppe „Nanotechnologien“ des Bundesarbeitskreises „Umweltchemikalien/Toxikologie“ treffen.

Ziel aller Aktivitäten ist ein verantwortungsvoller Umgang mit der Nanotechnologie. Dort, wo die Nanotechnologie tatsächlich Chancen für den Umweltschutz und die Verbraucher*innen bietet, sollten diese genutzt werden, allerdings nur dann, wenn mögliche Chancen die Risiken überwiegen. Daher setzt sich der BUND für eine strikte Anwendung des Vorsorgeprinzips ein: Nanomaterialien sollten in verbrauchernahen und umweltoffenen Anwendungen nicht verwendet werden, bis

- wirksame gesetzliche Regelungen in Kraft sind, die die Anwendung kontrollieren,
- Daten zur Risikobewertung vorliegen, die die Sicherheit belegen, und
- Verbraucher*innen selbst entscheiden können, ob sie solche Produkte kaufen möchten.

Hierzu müssen die vorhandenen Regelwerke auf die Notwendigkeit für spezifische Regelungen für Nanomaterialien überprüft und ergänzt werden. Um die Markttransparenz zu stärken, fordert der BUND die Einführung einer generellen Melde- und Kennzeichnungspflicht. Alle Produkte, die Nanomaterialien enthalten, sollten in einem öffentlich zugänglichen Produktregister erfasst sein. Bei verbraucher- und umweltoffenen Anwendungen muss die Verwendung von Nanomaterialien außerdem auf Produktverpackungen oder Geräten deutlich zu erkennen sein.

Forderungen an den Gesetzgeber

Keine Daten – kein Markt

Alle gesetzlichen Regelwerke müssen nano-spezifische Regelungen enthalten, z. B. für nano-spezifische Sicherheitstests. Solange keine ausreichenden Daten vorgelegt werden, die mögliche Gefahren für die menschliche Gesundheit und/oder Umwelt hinreichend sicher ausschließen und eine sichere und dem Prinzip der Vorsorge folgende Verwendung demonstrieren, darf ein Produkt nicht vermarktet werden.

Nanomaterialien sind als Neustoffe zu behandeln

Alle Nanomaterialien müssen auch chemikalienrechtlich als Neustoffe eingestuft werden und spezifisch für sie entwickelte Sicherheitstests und Risikobewertungen für Umwelt und Gesundheit durchlaufen. Die Risikobewertung muss dem Vorsorgeprinzip folgen und sich auf den gesamten Lebenszyklus der entsprechenden Produkte erstrecken. Auch die möglichen sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen müssen berücksichtigt werden.

Sicherheitsdaten zur Verfügung stellen

Alle für die Sicherheitsbeurteilung relevanten Daten und Informationen, einschließlich angewandter Methoden, Verwendungszweck, Ergebnissen von Sicherheitstests und

Risikoabschätzungen, müssen der Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Kennzeichnungspflicht schaffen

Alle Produkte, die synthetische Nanomaterialien enthalten, müssen eindeutig gekennzeichnet werden. Dies gilt auch für Agrochemikalien, die synthetische Nanomaterialien enthalten.

Erweiterung der Definition für Nanomaterialien

Materialien sollen auch dann einer nanospezifischen Regulierung unterworfen werden, wenn sie in allen Dimensionen größer als 100 Nanometer sind, aber in ihren Eigenschaften den Materialien unter 100 Nanometer vergleichbar sind und sich in ihrem Verhalten grundlegend von größeren Partikeln des gleichen Stoffes unterscheiden. Dieses ist in vielen Fällen für Materialien bis zu 300 Nanometer der Fall. Bei Vorliegen entsprechender Daten über Gesundheits- und Umweltrisiken sowie spezifischer Eigenschaften auch noch größerer Partikel muss diese Definition gegebenenfalls noch weiter angepasst werden.

Ausreichend Mittel zur Erforschung der Risiken bereitstellen

Die Fördermittel für die Erforschung der möglichen Risiken sind auf eine Höhe von ca. 10 bis 15 Prozent der gesamten Fördermittel für die Nanotechnologie anzuheben. Außerdem sollte bei der Vergabe von Fördermitteln verstärkt darauf geachtet werden, dass Projekte gefördert werden, die einen gesellschaftlichen und ökologischen Mehrwert versprechen. Zusätzlich sollte sich Firmen, die sich um eine staatliche Förderung bewerben, den „Prinzipien für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Nanotechnologie“ verpflichten, die im Rahmen des Nanodialogs der Bundesregierung erarbeitet und von der NanoKommission verabschiedet wurden.

Quellen/Nachweise

- AG Green Nano der deutschen Nanokommission (2010): Aspekte einer nachhaltigen Gestaltung von Nanotechnologien – 13 Designprinzipien, Stand 30.8.2010.
- Blechner, N. (2018): Geschäfte mit der Wasserknappheit, 21.08.2018, ARD, www.tagesschau.de/wirtschaft/boerse/wasserknappheit-nestle-101.html, Zugriff: 17.12.2018.
- Da.Na 2.0 (2019): Nanomaterialien in Pflanzenschutzmitteln, www.nanopartikel.info.
- EU-Kommission (2011): Empfehlung der EU-Kommission (2011/696/EU) vom 18.10.2011 zur Definition von Nanomaterialien.
- IARC – International Agency for Research on Cancer (2010): Titanium Dioxide, Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 93, Lyon.
- Institut für Technikfolgenabschätzung (Hrsg.) (2011): Nano und Umwelt – Teil I: Entlastungspotenziale und Nachhaltigkeitseffekte, NanoTrust-Dossier No. 26, Dezember 2011.
- Institut für Technikfolgen-Abschätzung (Hrsg.) (2012): Baugewerbe, NanoTrust-Dossier Nr. 032, Juni 2012.
- Institut für Technikfolgen-Abschätzung (Hrsg.) (2012): Nano-Titandioxid – Teil 3: Umwelteffekte, NanoTrust-Dossier Nr. 035, September 2012.
- Meridian Institute (2006): Overview and comparison of conventional water treatment technologies and nano-based water treatment technologies, Global Dialogue on nano-technology and the poor: opportunities and risks, Chennai, Indien.
- Ökopool (Hrsg.) (2014a): FachDialog »Nanotechnologie und aquatische Umwelt«, Hintergrunddokument, Mai 2014.
- Ökopool (Hrsg.) (2014b): FachDialog 2 »Aquatische Umwelt«, Zusammenfassung der Diskussion vom FachDialog 2 am 19. und 20. Mai 2014 in Berlin.
- Ökopool (Hrsg.) (2014c): Nanomaterialien und Nanotechnologien in der aquatischen Umwelt, Bericht des BMUB einschließlich der Diskussionsergebnisse des FachDialogs »Aquatische Umwelt«, August 2014.
- Ökopool (Hrsg.) (2017): Chancen und Risiken der Anwendung von NT im Automobilsektor, NanoDialog 5, Hintergrund, Hamburg.
- Ökopool (Hrsg.) (2018): Anwendungen von Nanomaterialien in Reifen – Umweltrelevanz und Emissionen, NanoDialog 5, Thematischer Bericht, Hamburg.
- Rohde, T. (2018): Weltwasserwoche 2018: 10 Fakten über Wasser, 24.08.2018, UNICEF, Kopenhagen, www.unicef.de/informieren/aktuelles/blog/weltwasserwoche-2018-zehn-fakten-ueber-wasser/172968, Zugriff: 21.12.2018.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (2011): Vorsorgestrategien für Nanomaterialien. Sondergutachten Juni 2011, E. Schmidt, Berlin.
- Trouiller, B., Reliene, R., et al. (2009): Titanium dioxide nanoparticles induce DNA damage and genetic instability in vivo in mice, Cancer Res 69(22): 8784–8789.

- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2010): Entlastungseffekte für die Umwelt durch nanotechnische Verfahren und Produkte, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, FKZ 206 61 203/02, UBA-FB 001317, texte 33/2010, Dessau.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2012): Analyse und strategisches Management der Nachhaltigkeitspotenziale von Nanoprodukten. NachhaltigkeitsCheck von Nanoprodukten, Endbericht – Unterstützt mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Auftrag des Umweltbundesamts, texte 15–2012, Dessau
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2013): Nanobasierte Beleuchtungssysteme : Organische Licht emittierende Diode (OLED), Datenblatt Nanoprodukte, Stand: 19.9.2013.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2014): Untersuchung der Auswirkungen ausgewählter nanotechnischer Produkte auf den Rohstoff- und Energiebedarf, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, FKZ 3711 93 428, UBA-FB 001881, Texte 21/2014.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2014): Einsatz von Nanomaterialien in Beschichtungen, Datenblatt, Stand: 09.04.2014.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2014): Einsatz von Nanomaterialien in der Energiespeicherung, Datenblatt, Stand: 11.12.2014.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2015): Einsatz von Nanomaterialien und nanoskaligen Produkten zur Abwasserbehandlung, Datenblatt, Stand: 04.12.2015.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016): Einsatz von Nanomaterialien in der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energie, Datenblatt, Stand: 01.09.2016.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2018): Einsatz von Nanomaterialien in Kunststoffverpackungen, Datenblatt, Stand: 27.04.2018.
- UN – Vereinte Nationen (2010): Recht auf sauberes Wasser, Resolution 64/292, New York, www.menschenrechtsabkommen.de/recht-auf-sauberes-wasser-1122/, Zugriff: 21.12.2018.
- UN – Vereinte Nationen (2016): UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung bis 2030, Ziel 6: Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen, <https://17ziele.de/ziele/6.html>, Zugriff: 17.12.2018.
- UNESCO – Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur (2006). Water – a shared responsibility, executive summary, UN-WATER /WWAP /2006/3.
- Universität Duisburg-Essen (2019): Mit Eisenoxid gegen hochgiftige Stoffe – Neues Verfahren zur Grundwassersanierung, Pressemitteilung, 18. 01.2019.
- Wikipedia (2019): Organische Leuchtdiode, https://de.wikipedia.org/wiki/Organische_Leuchtdiode, Zugriff: 08.03.2019.

Förderhinweis: Dieses Projekt wurde gefördert durch das Umweltbundesamt und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Die Mittelbereitstellung erfolgt auf Beschluss des Deutschen Bundestages. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

**Umwelt
Bundesamt**

Impressum:

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V (BUND) · Friends of the Earth Germany · Kaiserin-Augusta-Allee 5 · 10553 Berlin · Tel.: 030/2 75 86-40 Fax: 030/2 75 86-4 40 · Text und Konzept: Erik Petersen, Dr. Rolf Buschmann

Fotos: Titel: istock.com/woolzian · V.i.S.d.P.: Antje von Broock · Gestaltung: N & Umwelt GmbH · Berlin, Druck: Z.B.I., Köln · Februar 2019