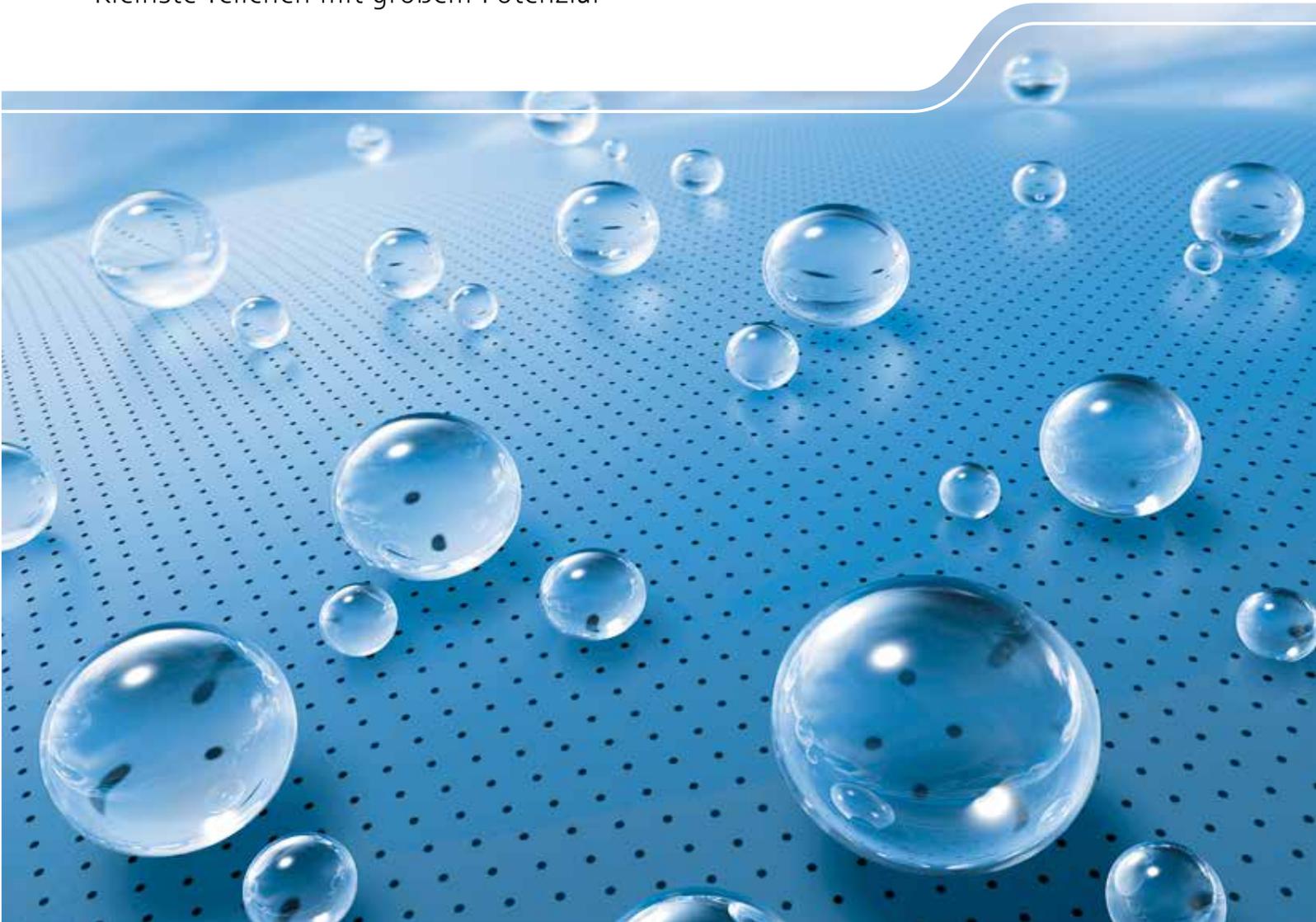




Nanotechnologie

Kleinste Teilchen mit großem Potenzial



Inhalt

1 Allgemeine Informationen	5
1.1 Was ist Nanotechnologie?.....	5
1.2 Was sind Nanopartikel und Nanomaterialien?.....	5
1.3 Kommen Nanopartikel in der Natur vor?.....	7
1.4 Was ist das Besondere an Nanopartikeln?	7
1.5 Wie werden Nanopartikel hergestellt?.....	8
1.6 Was hat der Lotuseffekt mit Nanotechnologie zu tun?.....	8
2 Welche Nanomaterialien und Nanopartikel gibt es und wo werden sie eingesetzt?	10
2.1 Nanosilber.....	11
2.2 Titandioxid.....	12
2.3 Nanoröhren aus Kohlenstoff.....	13
2.4 Zinkoxid.....	14
2.5 Eisen / Eisenoxid.....	14
2.6 Aluminiumoxid.....	15
2.7 Nanotechnologie in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen.....	15
3 Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt	16
3.1 Wo kommen wir mit Nanopartikeln in Berührung?.....	17
3.2 Wie gelangen Nanopartikel in den menschlichen Organismus und was bewirken sie?	19
3.3 Von welchen Produkten könnte eine gesundheitliche Gefährdung ausgehen?.....	20
3.4 Konnten bereits durch Nanopartikel verursachte Gesundheitsschäden nachgewiesen werden?.....	20
3.5 Wie gelangen die Nanopartikel in die Umwelt?.....	23
3.6 Welche Auswirkungen auf die Umwelt sind bereits bekannt?.....	23
4 Forschung und Entwicklung – Ein Blick in die Zukunft	24
4.1 Welche Fragen sind noch offen?.....	25
4.2 Welche Perspektiven und Chancen gibt es?	25
4.3 Wo findet Forschung zur Nanotechnologie im Freistaat Sachsen statt?.....	26
5 Rechtliche Bestimmungen	28
5.1 Welche gesetzlichen Regelungen für Nanomaterialien gibt es?.....	29
5.2 Wie werden Produkte, die Nanomaterialien enthalten, gekennzeichnet?	29
5.3 Wie erkennt man, ob Produkte Nanomaterialien enthalten?.....	29
6 Fachwörterverzeichnis	30
7 Quellenverzeichnis	31

Vorwort



Sehr geehrte Damen und Herren,

vor circa 50 Jahren legte der amerikanische Physiker Richard Feynman mit seinem Vortrag „There is Plenty of Room at the Bottom“, auf Deutsch: „Da unten ist eine Menge Platz“, den Grundstein für die Nanotechnologie. Obwohl ultrafeine Partikel schon in der Antike beispielsweise als Farbpigmente oder Füllstoffe verwendet wurden, erfolgte die Prägung des Begriffs „Nanotechnologie“ erst in den 1970er Jahren des letzten Jahrhunderts. Seitdem nimmt der Einsatz von synthetisch hergestellten Nanoprodukten in der Industrie, der Medizin sowie im technischen Umweltschutz stark zu.

Heute haben sich die Begriffe „Nano“ und „Nanotechnologie“ fest in unserem Sprachgebrauch etabliert. Doch was ist Nanotechnologie überhaupt? In welchen Produkten kommen Nanoteilchen vor? Gehen Gefahren von Nanoteilchen aus und müssen Vorkehrungen zum Schutz von Mensch und Umwelt getroffen werden? Die Nanotechnologie eröffnet vielseitige Möglichkeiten, um die Energie- und Ressourceneffizienz zu verbessern und die Umwelt von problematischen Substanzen zu entlasten. Aber jede neue Technologie beinhaltet nicht nur Chancen, sondern ist auch mit Risiken behaftet. Aus diesem Grund bedarf es, unter Beachtung des Vorsorgeprinzips, eines verantwortungsvollen Umgangs mit der Nanotechnologie.

Die vorliegende Broschüre gibt einen Überblick über die Welt der winzigen, sogenannten nanoskaligen Teilchen und ihre Anwendungen und geht darüber hinaus auf noch offene Fragen, Perspektiven und Chancen dieser Zukunftstechnologie ein.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Frank Kupfer', with a stylized flourish at the end.

Frank Kupfer

Sächsischer Staatsminister für Umwelt und Landwirtschaft

1 Allgemeine Informationen

1.1 Was ist Nanotechnologie?

Nanotechnologie ist ein Sammelbegriff für eine Reihe von Technologien, die sich mit Strukturen, Materialien und Prozessen im Nanometerbereich befassen. Dabei werden Chemie, Physik, Biologie und Ingenieurwissenschaften miteinander verknüpft. Es handelt sich nicht um einen abgrenzbaren Bereich der Naturwissenschaften, sondern vielmehr um eine interdisziplinäre Wissenschaft. Das Wort „nano“ stammt aus dem Griechischen und kann mit dem Wort „Zwerg“ oder „zwerghaft“ übersetzt werden. Ein Nanometer (nm) entspricht dem milliardsten Teil eines Meters (10^{-9} m).

Um eine Vorstellung zu bekommen, wie klein ein Nanometer ist, lässt sich folgender Größenvergleich anstellen: Die Größe eines Nanopartikels verhält sich zu der eines Fußballs ungefähr so wie der Fußball zur Erdkugel.

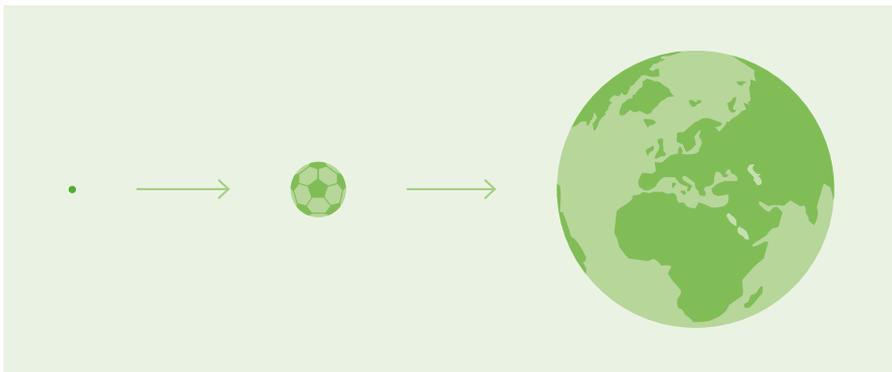
1.2 Was sind Nanopartikel und Nanomaterialien?

Im Oktober 2011 wurde von der Europäischen Kommission eine Empfehlung für die Definition von Nanomaterialien veröffentlicht.

Diese lautet wie folgt:

„Nanomaterial“ ist ein natürliches, bei Prozessen anfallendes oder hergestelltes Material, das Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat enthält, und bei dem mindestens 50 % der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von 1 nm bis 100 nm haben.*

Nanopartikel weisen aufgrund ihrer geringen Größe oft völlig neuartige Eigenschaften auf.



Ein Nanopartikel verhält sich in der Größe zu einem Fußball wie der Fußball zur Erdkugel

*Quelle: Amtsblatt der Europäischen Union, EMPFEHLUNG DER KOMMISSION vom 18. Oktober 2011 zur Definition von Nanomaterialien, L 275/38



Im Bausektor werden dem Verputz manchmal Nanopartikel beigemischt

Der Begriff Nanomaterial wird häufig als Sammelbegriff für verschiedene Strukturen verwendet:

■ **kugelförmige Struktur:**

Nanoteilchen bzw. Nanopartikel sind in allen drei Dimensionen nanoskalig.

■ **faserförmige Struktur:**

Nanofasern weisen zwei nanoskalige und eine größere Dimension auf.

■ **extrem dünne Schichten:**

Nanoplättchen, wobei eine Dimension im nanoskaligen Bereich liegt, die beiden anderen Dimensionen sind deutlich größer.

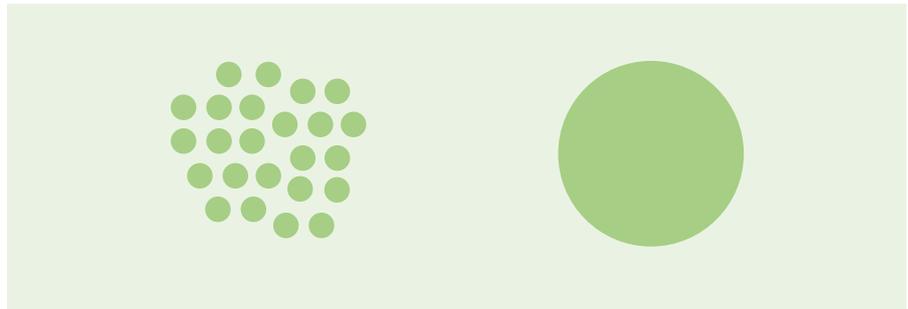
Zu den Nanomaterialien werden auch Materialien gerechnet, die eine innere nanoskalige Struktur besitzen. Häufig handelt es sich dabei auch um Verbundsysteme, sogenannte Aggregate oder Agglomerate, aus Nanopartikeln, -stäbchen oder -plättchen.

Zur Vereinfachung werden in dieser Broschüre nur die Begriffe Nanomaterial, Nanoteilchen bzw. Nanopartikel verwendet.

1.3 Kommen Nanopartikel in der Natur vor?

Neben den vom Menschen synthetisch hergestellten Nanopartikeln gibt es auch natürliche Vorkommen. So konnten im Boden Nanopartikel in Form von Mineralien (Semtkit, Allophan) nachgewiesen werden. Auch Vulkanausbrüche und Waldbrände setzen Nanopartikel frei. Die dadurch verursachten Luftverunreinigungen sind u. a. auf nanoskalige Partikel in Form von Ruß, Staub oder Aerosole zurückzuführen.

Aber auch vom Menschen (anthropogen) verursachte Nanopartikel kommen in unserer



Unterschiede in der Oberfläche bei gleichem Volumen*

Umwelt vor. Beispielsweise werden Nanopartikel in Form von Ruß aus Industrieanlagen oder Dieselmotoren in die Umgebungsluft freigesetzt.

In dieser Broschüre soll ausschließlich auf synthetisch hergestellte Nanopartikel eingegangen werden.

1.4 Was ist das Besondere an Nanopartikeln?

Mit sinkendem Partikeldurchmesser nimmt die Oberfläche im Verhältnis zum Volumen zu.

Wenn man zum Beispiel einen Würfel eines bestimmten Stoffes mit einer Kantenlänge von 1 µm untersucht, weist dieser die gleichen physikalischen Eigenschaften auf wie ein Würfel mit einer Kantenlänge von 1 m. Betragen die Abmessungen des Stoffes dagegen nur wenige Nanometer, können dadurch zum Teil drastische Veränderungen der Materialeigenschaften erzeugt werden.

Aluminium beispielsweise ist als grobes Pulver harmlos. Wenn man jedoch Aluminium auf die Größe eines Nanoteilchens reduziert, wird Alu-

minium sehr reaktionsfreudig und hochexplosiv. Lange Zeit war der Wissenschaft nicht klar, warum die physikalischen Eigenschaften eines Stoffes von der Oberfläche abhängig sind. Heute weiß man, dass sich bei einem Material mit einer Kantenlänge von 1 nm viele Atome außen am Rand, also an der Oberfläche des Materials, befinden. Die Atome an der Oberfläche des Stoffes weisen andere Eigenschaften auf als die Atome im Inneren. Es kommen bei kleinen Teilchen verstärkt oder ausschließlich die Eigenschaften der Atome zum Tragen, die sich an der Oberfläche befinden. Dadurch wird eine Veränderung der physikalischen Eigenschaften hervorgerufen.

*Quelle: Dr. Kühnel UFZ



1.5 Wie werden Nanopartikel hergestellt?

Grundsätzlich kann zwischen zwei Herstellungsverfahren, dem „Bottom-Up“- und dem „Top-Down“-Verfahren unterschieden werden. Das „Bottom-Up“-Verfahren umfasst chemisch-physikalische Methoden, mit denen aus vielen kleinen Teilstücken eine deutlich größere Struktur im Nanobereich aufgebaut wird. „Bottom-Up“-Methoden nutzen die Grundsätze der Selbstorganisation von Atomen, Molekülen und Nanokristallen. Dabei ordnen sich Atome und Moleküle wie von selbst in bestimmten Strukturen an, die für sie energetisch günstig sind. Unter Nutzung dieser Eigenschaften können Nanopartikel zum Beispiel durch Ausflockung (Fällung) von Feststoffen aus Flüssigkeiten, die Metallionen enthalten, hergestellt werden.

Ein anderer Weg zur Gewinnung von Nanomaterialien sind sogenannte Gasphasenprozesse (Aerosolprozesse). Dabei werden aus Gasen und Dämpfen mittels physikalisch-chemischer Methoden flüssige oder feste Nanopartikel abgeschieden.

Das Gegenstück zum „Bottom-Up“-Verfahren ist das „Top-Down“-Verfahren. Hier werden größere Objekte mit mechanisch-physikalischen Methoden so verändert und verkleinert, dass Strukturen im nanoskaligen Bereich entstehen. Es gibt mehrere Möglichkeiten, das „Top-Down“-Verfahren in die Praxis umzusetzen. Bei der mechanischen Herstellung werden Mikropartikel durch Mahlen zu Nanopartikeln zerkleinert. Die Prägung mit Hilfe eines nanostrukturierten Stempels ist ein weiteres Herstellungsverfahren. Dabei wird aus einem sehr harten Material das Negativ des gewünschten Nanomusters geformt. Dieser Stempel wird in die zu prägende Oberflä-



Der Lotuseffekt lässt Textilien schmutzabweisend werden

che gedrückt und hinterlässt das Muster im Nanoformat. Anwendung findet diese Methode – auch als Nanoprägelithographie bezeichnet – zum Beispiel bei der Herstellung von elektronischen Bauteilen wie Schaltkreisen.

1.6 Was hat der Lotuseffekt mit Nanotechnologie zu tun?

Wasser perlt in Tropfen von einem Lotusblatt ab. Doch wie kommt es dazu und was hat das mit Nanotechnologie zu tun?

Lange Zeit wurde vermutet, dass die Oberfläche des Lotusblattes sehr glatt sein muss, um diesen Effekt zu erzielen. Doch genau das Gegenteil ist der Fall. Bei der Lotuspflanze liegt die Beschaffenheit der Blattoberfläche im mikro- und nanoskaligen Bereich. Die Oberfläche ist außerordentlich rau. Man kann es sich auch so vorstellen, dass die Oberfläche mit vielen kleinen „Spitzen“ überzogen ist. Weil Wasser über eine hohe Oberflächen-

spannung verfügt, ist es immer bestrebt, die Form einer Kugel anzunehmen. Dadurch liegt der Wassertropfen auf den „Spitzen“ des Lotusblattes auf und hat nur sehr wenig Kontakt zur eigentlichen Blattoberfläche. So können die Wassertropfen sehr schnell abperlen.

Diesen Effekt macht man sich in der Nanotechnologie zu Nutze. Denn nicht nur Wasser, sondern auch Schmutz hat bei einer nanoskaligen Oberfläche wenig Kontakt mit der eigentlichen Oberfläche des Materials. Wenn ein Wassertropfen von einer nanoskaligen Oberfläche abperlt, nimmt er die ebenfalls darauf befindlichen Schmutzpartikel mit.

Dieser Effekt findet heute in einer Vielzahl von Produkten Anwendung, wie zum Beispiel in Markisen, die sich „selbst reinigen“, oder bei Krawatten, von denen Spritzer von Tomatensauce einfach mit Wasser abgewischt werden können.



Der Lotuseffekt lässt Wassertropfen von der Blattoberfläche abtropfen

2 Welche Nanomaterialien und Nanopartikel gibt es und wo werden sie eingesetzt?

Mittlerweile haben eine Reihe von Produkten, die aus Nanomaterialien bestehen, Einzug in unseren Alltag gehalten. Bei vielen Erzeugnissen ist kaum bekannt, dass Nanoteilchen enthalten sind. Das Spektrum reicht von Sonnencreme über Funktionsbekleidung bis hin zu Kosmetika und funktionellen Fassadenanstrichen. In diesem Kapitel wird ein Überblick über die am häufigsten eingesetzten Nanomaterialien und ihre Einsatzgebiete gegeben.



Nanopartikel in der Sonnencreme wirken wie winzige Spiegel und reflektieren die UV-Strahlung



2.1 Nanosilber

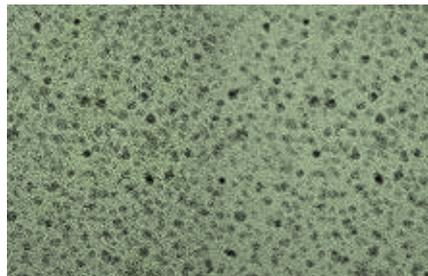
Seit 2.000 Jahren ist die antibakterielle (keimtötende) Wirkung von Silber bekannt. Bereits die alten Römer legten Silbermünzen in die Aufbewahrungsgefäße von Milch. Durch die minimale Auflösung des Silbers blieb die Milch länger haltbar. Dafür sind jedoch nicht Silberatome verantwortlich, sondern freigesetzte Silberionen (Ag⁺). Sie wirken toxisch auf Bakterien, Pilze und Algen.

Heute findet die keimtötende Eigenschaft des Edelmetalls breite Anwendung. Vor allem im medizinischen Bereich wird Nanosilber eingesetzt, um medizinische Geräte keimfrei zu halten. Dafür werden winzige Silberpartikel auf Pinzetten, Implantate, Wundauflagen oder Katheter aufgebracht. Durch den Kontakt mit Flüssigkeit kommt es zur kontinuierlichen Freisetzung der positiv geladenen Silberionen. Diese zerstören Enzyme, destabilisieren die Zellmembran, das Zellplasma oder die Zellwand der Bakterien. Das führt zur Abtötung der Bakterien. Medizinische Geräte, die mit Nanosilber beschichtet wurden, bleiben deshalb keimfrei.

Auch in der Textilindustrie wird Nanosilber eingesetzt, um sogenannte Funktionsbekleidung

herzustellen. Dazu werden in T-Shirts oder Socken nanoskalige Silberpartikel eingearbeitet, um den Schweißgeruch zu neutralisieren. Dabei töten die Silberpartikel Mikroorganismen ab – mit dem Ergebnis, dass verschwitzte Textilien weniger schnell riechen. Wie lange sich jedoch das Nanosilber im Gewebe der Textilien halten kann, ist vom Herstellungsprozess und den Waschvorgängen abhängig. Denn ein Teil des Nanosilbers wird mit jedem Waschvorgang aus den Textilien herausgelöst.

Vielseitige Anwendung findet Nanosilber auch im Haushalt und im Büro. Türgriffe und Computertastaturen, die mit Nanosilber beschichtet wurden, bleiben weitgehend keimfrei.



Nano-Silberpartikel



Türgriffe werden mittels Nanosilber weitgehend keimfrei



2.2 Nano-Titandioxid

Titandioxid (TiO_2) ist ein sehr häufig eingesetztes Nanomaterial.

So ist mit Titandioxid beschichtetes Flachglas (Floatglas) dualaktiv, d. h. zwei Eigenschaften des Titandioxids werden kombiniert, um eine selbstreinigende Wirkung zu ermöglichen. Die Beschichtung der Außenseite mit

Titandioxid bewirkt eine Herabsetzung der Oberflächenspannung und verhindert so die Tröpfchenbildung. Das Wasser verteilt sich als dünner Wasserfilm auf der Oberfläche und nimmt so den Schmutz beim Abfließen auf. Diese selbstreinigenden Eigenschaften werden durch einen fotokatalytischen Effekt verstärkt. Die UV-Absorption der Titandioxid-Beschichtung erzeugt aktiven Sauerstoff,

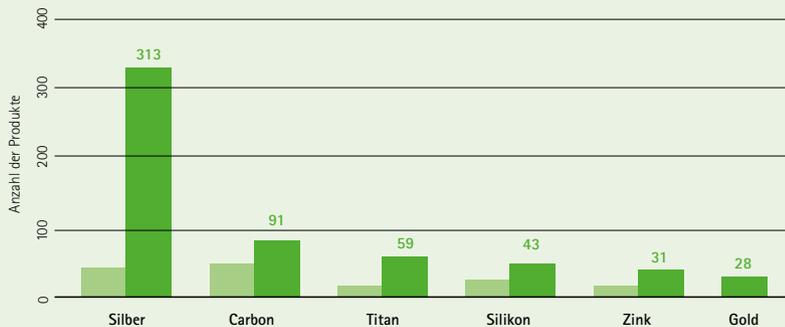
durch den organische Verschmutzungen zersetzt und die Haftung des Schmutzes auf der Oberfläche reduziert werden. Titandioxid-Nanopartikel finden durch diese fotokatalytischen Eigenschaften vor allem in Farben und Lacken Anwendung.

Im Bausektor wird dem Verputz oder den Farben für den Außenanstrich Nano-Titandioxid beigemischt. Dadurch soll verhindert werden, dass sich Algen, Pilze, Moose und Flechten an feuchten Wänden festsetzen können. Auch mit Graffiti bemalte Wände lassen sich leichter reinigen.

Außerdem wird Nano-Titandioxid in Sonnencreme verwendet, da es als physikalischer Filter gegen die UV-Strahlung der Sonne wirkt.

Nanoskaliges Titandioxid wird auch zur Herstellung von organischen Farbstoffsolarzellen genutzt. Bei diesen wird das Licht durch Farbstoffmoleküle absorbiert. Dabei hat Titandioxid die Funktion einer Halbleiterelektrode. Allerdings erreichen diese organischen Solarzellen noch nicht die Wirkungsgrade von konventionellen anorganischen Solarzellen auf Silizium-Basis.

Anzahl der derzeit auf dem Markt befindlichen Produkte, die Nanomaterialien enthalten.



Quelle: Dr. Kühnel, UFZ

■ 8. März 2006

■ 10. März 2011

Solarzellen auf Basis von nanoskaligem Titan-dioxid bieten aber den Vorteil, dass sie flexibel und nur wenige Millimeter dünn sind. Dadurch können sie wie eine Folie gebogen und auch transparent hergestellt werden. Normale Fensterscheiben könnten mit dieser transparenten Folie beklebt und zur Stromerzeugung genutzt werden, ohne dass diese sichtbar ist. Zur Zeit wird verstärkt an den organischen Solarzellen geforscht.

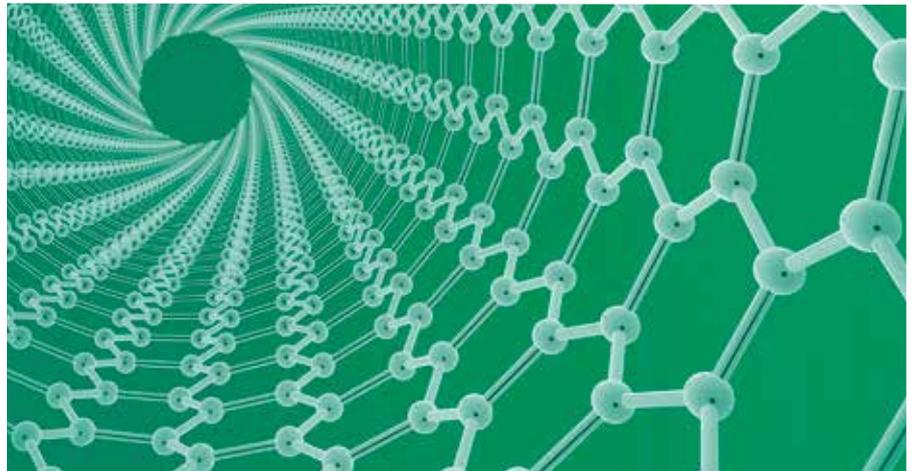
2.3 Nanoröhren aus Kohlenstoff (CNT)

Die Entdeckung von „fußballartig“ angeordneten Kohlenstoffmolekülen, sogenannten Fullerenen, setzte eine Vielzahl neuer technischer Entwicklungen in Gang, die bereits im täglichen Leben genutzt werden.

Durch die Entwicklung der „verlängerten“ Fullerene entstanden Nanoröhren aus Kohlenstoff (engl.: carbon nanotubes; CNT). Die Kohlenstoffatome der Nanoröhren sind ringförmig angeordnet und bilden einen Hohlzylinder. Im Durchmesser misst der Hohlzylinder nur wenige Nanometer, aber die Länge kann mehrere Millimeter betragen.



Kolbenbolzen und Kolbenringe beschichtet mit diamantähnlichem Kohlenstoff

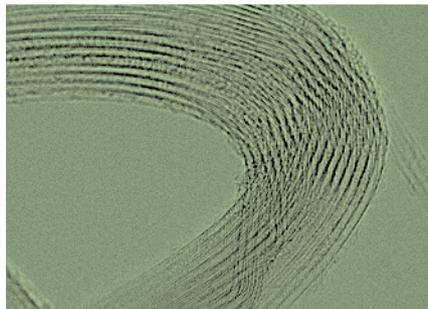


Schematische Darstellung eines einwandigen CNT

Nanoröhren aus Kohlenstoff weisen interessante physikalische Eigenschaften auf. CNT sind elastisch, leicht, extrem strapazierfähig und bis zu 50-mal zugfester als Stahl.

Besonders die Elektronikindustrie macht sich das zu Nutze, denn CNT können als Halbleiter oder Isolatoren fungieren. Unter anderem können aus Kohlenstoff-Nanoröhren

neuartige Displays, Speicher, Transistoren oder Dioden hergestellt werden. Auch für Akkus von Handys und Laptops werden bereits Kohlenstoff-Nanoröhren genutzt. Schon ab einer nur fünfprozentigen Beimischung von CNT in den Akkus erhöht sich deren Lebensdauer deutlich. Mit Nanoröhren aus diamantähnlichem Kohlenstoff werden außerdem Fahrzeugteile, wie zum Beispiel Kolbenringe und Kolbenbolzen, beschichtet. Durch die sehr harte Oberflächenbeschichtung wird die Reibung zwischen den Komponenten verringert. Das hat wiederum eine längere Lebensdauer der einzelnen Komponenten zur Folge. Mit einer Verringerung der Reibung wird auch die Energieeffizienz verbessert und der CO₂-Ausstoß gesenkt.



Seitenansicht eines Bündels aus CNTs

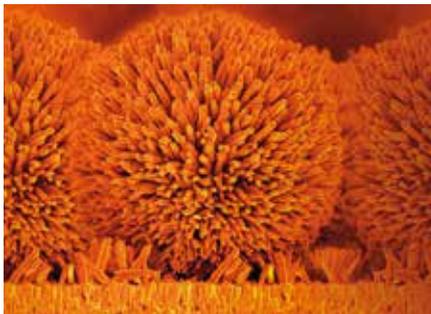
Im Freizeitbereich finden Produkte aus Kohlenstoff-Nanoröhren ebenfalls Verwendung, zum Beispiel in leichten und stabilen Fahrradrahmen oder Tennis-, Golf- und Hockeyschlägern.

2.4 Zinkoxid

Zinkoxid (ZnO) ist wie Titandioxid ein direkter Halbleiter. Eine Besonderheit von Nano-Zinkoxid ist die hohe Transparenz im sichtbaren Wellenbereich des Lichts.

Diese Eigenschaften sind vor allem für die Elektronikindustrie interessant. So werden Leuchtdioden (LED), Flüssigbildschirme oder Dünnschicht-Solarzellen mit Hilfe von nanoskaligem Zinkoxid hergestellt. Weil die extrem dünnenschichtigen, aber stark strukturierten und rauhen Nanobeläge aus Zinkoxid das eintreffende Sonnenlicht reflektieren und streuen, gelangt mehr Sonnenlicht in die Siliziumschichten der Solarzellen, was wiederum zur Steigerung des Wirkungsgrades führt.

Zudem wirkt nanopartikuläres Zinkoxid als physikalischer Filter gegen die UV-A- und UV-B-Strahlung der Sonne. Deshalb werden Nanopartikel aus Zinkoxid zur Herstellung von Sonnenschutzmitteln verwendet. Wie kleine Spiegel reflektieren die Nanopartikel die eintreffende Sonnenstrahlung.



Die stark strukturierte Oberfläche aus „Nano-Seeigeln“ mit „Stacheln“ aus Zinkoxid-Nanodrähten soll die Effizienz von Solarzellen erhöhen

2.5 Eisen / Eisenoxid

Eisen (Fe) kommt als natürliches Element in unserer Erdkruste vor. Nanoskalige Eisenpartikel, sogenannte supermagnetische Eisenoxid-Nanopartikel (SPION, superparamagnetic iron oxide nanoparticles), finden hauptsächlich in der Medizin und der Umweltbranche Anwendung.

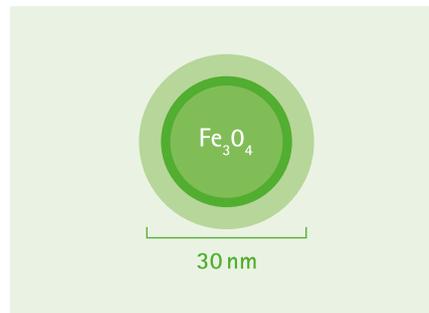
Die derzeit verwendeten SPION setzen sich aus zwei Komponenten zusammen: einem Kern aus Eisenoxid und einer Hülle, die aus einem Polymer (Makromolekül) besteht. Die Hüllpolymere können aus verschiedenen chemischen Verbindungen bestehen und bedecken die gesamte Oberfläche des nanoskaligen Eisenoxidpartikels. Diese Beschichtung des Eisenoxidkerns verhindert die Agglomeration der Nanopartikel, reduziert die Toxizität und kontrolliert das Verhalten sowie die Verteilung im menschlichen Körper oder in der Umwelt.

Großes Anwendungspotenzial finden die Nano-Eisenoxidpartikel in der Medizin. Bisher kamen bei der konventionellen Tumor-

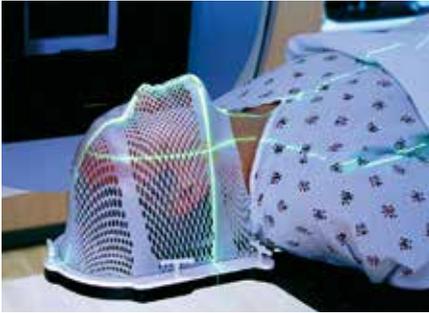
behandlung starke Medikamente zum Einsatz – oft mit erheblichen Nebenwirkungen, da die Stoffe meist im ganzen Körper wirken und somit auch gesunde Zellen beeinträchtigen.

Mit Hilfe der Nanotechnologie kann Eisenoxid zur gezielten Tumorbehandlung eingesetzt werden. Dafür werden Nano-Eisenoxidpartikel direkt in den Tumor oder in die Blutbahn injiziert. Auf Grund ihrer geringen Größe von rund 15 nm und der bioreaktiven Oberfläche können die im Blut befindlichen Nanopartikel sogar die Blut-Hirn-Schranke überwinden und zur Behandlung ansonsten schlecht erreichbarer Hirntumore eingesetzt werden. Sobald die nanoskaligen Eisenoxide von den Tumorzellen aufgenommen worden sind, wird von außen ein Magnetfeld angelegt. Die Eisenoxidpartikel beginnen zu vibrieren und sich dabei stark zu erwärmen. Die Tumorzelle wird dadurch an Ort und Stelle irreversibel geschädigt. Ein Vorteil dieser Methode ist, dass sich die umliegenden Zellen kaum erwärmen und dadurch keinen Schaden nehmen.

Seit einigen Jahren werden Nanomaterialien auch in der In-situ-Grundwassersanierung eingesetzt, d. h. die Sanierung erfolgt an Ort und Stelle. Dabei wird am häufigsten elementares Eisen als Reagenz verwendet. Nanopartikel mit elementarem Eisen (Nano Zero Valent Iron, NZVI) zur Dekontamination des Grundwassers werden auch als „Nanoeisen“ bezeichnet. Durch Bohrlöcher wird das Nanoeisen in Form einer wässrigen Suspension in das kontaminierte Grundwasser gepumpt. Aufgrund der großen spezifischen Oberfläche verfügt das Nanoeisen über eine erhöhte chemische Reaktivität. Die Schadstoffentfernung aus dem Grundwasser erfolgt dadurch, dass das elementare Eisen Elektronen an die im Grundwasser



Schematische Darstellung eines Eisenoxidkerns, umhüllt mit einem Polymer



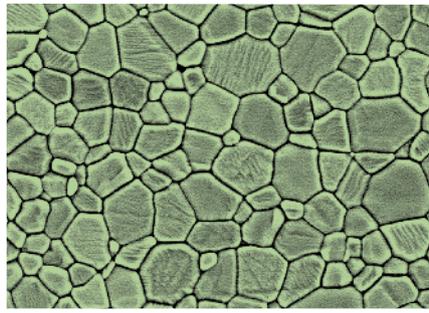
Tumorbehandlung mittels Nanotechnologie

befindlichen Schadstoffe abgibt, was eine Reduktion der organischen und anorganischen Schadstoffe bewirkt. Das hat zur Folge, dass organische Schadstoffe abgebaut und anorganische Schadstoffe, wie z. B. Schwermetalle, durch Fällung aus dem Grundwasser entfernt werden. Voraussetzung für den Erfolg dieser Technologie ist eine umfangreiche und detaillierte Erkundung des Untergrundes.

2.6 Aluminiumoxid

Nanopartikel können die Eigenschaften von Lacken in verschiedener Hinsicht beeinflussen und verbessern. Mit einem Zusatz von Nanopartikeln aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) kann beispielsweise die Kratz- und Abriebfestigkeit von behandelten Oberflächen erhöht werden, ohne dass andere Eigenschaften der Lacke, wie deren Glanz und Transparenz, beeinträchtigt werden.

Aufgrund ihrer hohen Verschleißfestigkeit werden Aluminiumoxid-Nanomaterialien auch im Anlagen- und Maschinenbau sowie in der Medizin (z. B. künstliche Gelenke) eingesetzt.



Mikroskopische Aufnahme von Aluminiumoxid-Partikeln

2.7 Nanotechnologie in Lebensmitteln und Lebensmittelverpackungen

Zusatzstoffe in Lebensmitteln sind in der EU ebenso zulassungspflichtig wie Additive für Lebensmittelverpackungen. Dies gilt auch für nanoskalige Stoffe. Derzeit sind in Deutschland keine Lebensmittel auf dem Markt, die neuartige, vollständig künstlich erzeugte Nano-Zutaten enthalten. Auch das viel diskutierte, antibakteriell wirksame Nano-Silber hat dafür keine Zulassung. Es gibt jedoch Lebensmittelzusatzstoffe, die schon seit vielen Jahren auf dem Markt sind und unter dem Aspekt „Nano“ neu in die Diskussion geraten sind. So kommt in manchen pulverförmigen Lebensmitteln, wie Kochsalz und Tütensuppen, Siliziumdioxid (Kieselsäure, E 551) zum Einsatz. Es soll verhindern, dass das Pulver verklumpt. Allerdings handelt es sich dabei um einen bereits seit den 1970er Jahren zugelassenen Zusatzstoff, der nicht nanopartikelulär, sondern in Form von größeren Agglomeraten eingesetzt wird.

Schon länger werden in der Lebensmittelindustrie auch so genannte Nanokapseln verwendet. In die Kapseln werden beispielsweise

Mineralstoffe oder Vitamine eingeschlossen, damit diese wasserlöslich werden, länger haltbar bleiben oder sich im Körper erst unter bestimmten Bedingungen öffnen. Nanokapseln, auch Micellen oder Liposome genannt, werden aus Stoffen natürlichen Ursprungs, wie Lecithin oder Cyclodextrin, erzeugt.

Ein großes Anwendungspotenzial für die Nanotechnologie wird im Bereich der so genannten Lebensmittelbedarfsgegenstände gesehen. Folien, Frischhalteboxen, Kunststoffflaschen oder Kunststoffverpackungen können durch eine Beschichtung aus Nano-Titandioxid oder Nano-Siliziumdioxid vor UV-Strahlen geschützt werden. Ton-Nanopartikel (Silikate) in Kunststoffen sollen die Steifheit des Materials verbessern sowie den Gasaustausch verhindern und so Lebensmittel länger frisch halten. Silber und Zinkoxid können Verpackungen und Küchengeräte weitgehend keimfrei halten. Außerdem werden Verpackungen entwickelt, bei denen Nano-Sensoren signalisieren, ob die Kühlkette unterbrochen wurde und das verpackte Lebensmittel verdorben ist. In Lebensmittelbedarfsgegenständen aus Kunststoffen dürfen Nanopartikel grundsätzlich nur dann eingesetzt werden, wenn sie in der Verordnung der EU über Kunststoffe, die in Kontakt mit Lebensmitteln kommen (EU-Verordnung Nr. 10/2011), aufgelistet und demzufolge ausdrücklich zugelassen sind.



3 Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt



Jede neue Technologie muss auf eine mögliche Gefährdung von Gesundheit und Umwelt untersucht werden, so auch die Nanotechnologie. Dabei gilt das Vorsorgeprinzip. Das heißt, dass bei unvollständigem Wissen über mögliche negative Auswirkungen auf Mensch und Umwelt präventiv gehandelt werden muss.



Kratzfester Autolack mit fest eingebundenen Nanopartikeln

Gegenüber konventionellen Chemikalien können Nanomaterialien mit der gleichen chemischen Zusammensetzung andere biologische Wirkungen und ein anderes Umweltverhalten zeigen. Unstrittig ist, dass es aufgrund noch fehlender anerkannter Methoden Schwierigkeiten bei der Identifizierung und Risikobewertung möglicher gefährlicher Eigenschaften nanoskaliger Stoffe gibt. Auch die von der Bundesregierung im Jahr 2006 ins Leben gerufene Nanokommission hält ungeachtet des großen Innovationspotenzials der Nanotechnologie einen schnellen Abbau bestehender Wissenslücken zu möglichen Auswirkungen von Nanomaterialien und -produkten auf Gesundheit und Umwelt für dringend erforderlich. In ihrem im Jahr 2011 erschienenen Bericht gibt es hierzu konkrete Empfehlungen (www.bmu.de/chemikalien/nanotechnologie). Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) weist in seinem im Jahr 2011 erschienenen Gutachten zur Nanotechnologie darauf hin, dass wegen bestehender Wissensdefizite dem Vorsorgeprinzip eine zentrale Rolle beizumessen ist und die Risikoforschung intensiviert werden muss (www.umweltrat.de). Im Jahr 2010 wurden in Deutschland 6 % der insgesamt für die Förderung der Nanotechnologie eingesetzten 400 Mio. Euro für die Risikoforschung verwendet.

Das Umweltbundesamt empfiehlt, die Risikoforschung zu verstärken und aus Vorsorgegründen den Einsatz von Produkten zu vermeiden, aus denen Nanomaterialien/-partikel freigesetzt werden können.

Nicht alle Nanopartikel haben das gleiche Gefahrenpotenzial. Grundsätzlich lassen sich die Nanopartikel in zwei Risikogruppen ein-

teilen: die fest eingebundenen und die freien Nanoteilchen.

■ Fest eingebundene Nanopartikel

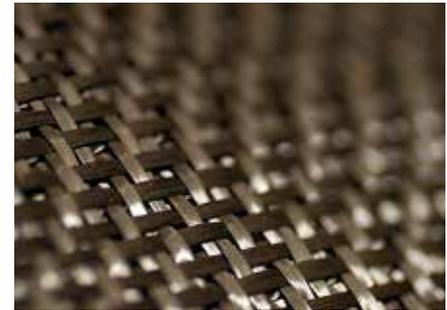
Viele Produkte enthalten Nanopartikel, die fest in eine Trägersubstanz eingebettet sind und nicht ausgewaschen oder abgerieben werden können. Ein Beispiel dafür ist der kratzfeste Fahrzeuglack, dem Nanopartikel zugesetzt wurden. Die Wissenschaftler sind sich einig, dass von diesen Produkten nur eine sehr geringe Gefährdung für Mensch und Umwelt ausgeht.

■ Freie Nanopartikel

Als problematischer erweisen sich hingegen freie Nanopartikel oder Nanopartikel, die nur schwach in eine Trägersubstanz eingebunden sind und sich daher herauslösen können. Freie Nanopartikel werden von den Wissenschaftlern als bedenklich eingestuft.

3.1 Wo kommen wir mit Nanopartikeln in Berührung?

Bei den Nanopartikeln, die fest eingebunden sind, kann nur dann ein gesundheitliches Risiko entstehen, wenn diese freigesetzt werden. Das ist möglich, wenn diese Nanoprodukte zerstört oder entsorgt werden. Auf keinen Fall sollte an dem fertigen Produkt, wie zum Beispiel einem Fahrradrahmen aus Carbon (bestehend aus Kohlenstoff-Nanoröhren), gesägt oder gebohrt werden, da sich die Nanopartikel dann frei in der Luft verteilen und vom Menschen eingeatmet werden können. Speziell bei Kohlenstoff-Nanoröhren muss davon ausgegangen werden, dass die freigesetzten CNT ein ähnliches Verhalten wie Asbestfasern aufweisen. Nanoröhrchen aus Kohlenstoff könnten sich

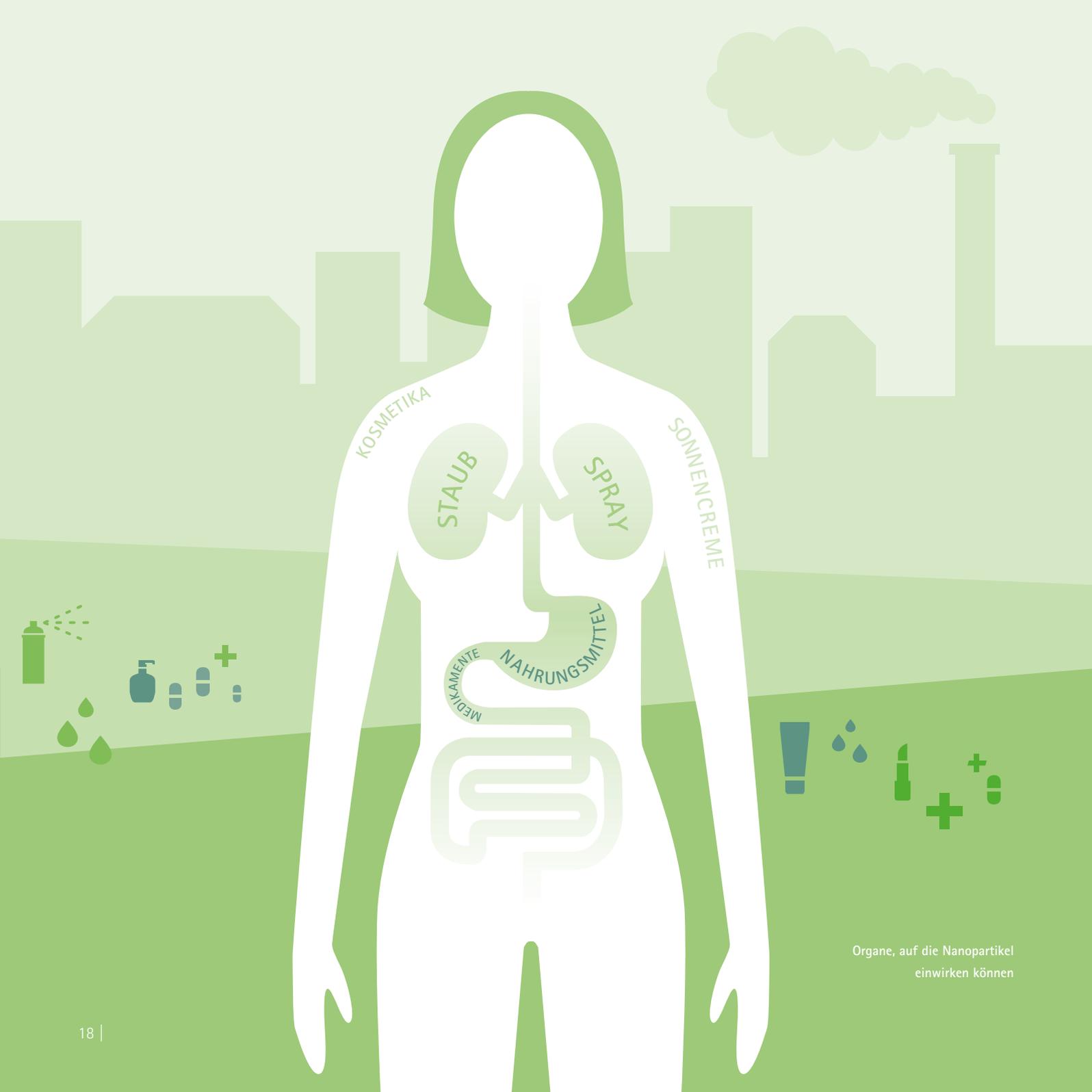


Das Zersägen von Carbon (bestehend aus CNT) kann gesundheitsschädliche Nanopartikel freisetzen

z. B. fest in der Lunge festsetzen und bleibende Schäden hervorrufen.

Der Einsatz in der Medizin, zum Beispiel zur Tumorbehandlung, stellt einen weiteren Berührungspunkt des Menschen mit Nanoteilchen dar. Hier wird aber das Gesundheitsrisiko, das von den Nanopartikeln ausgeht, geringer eingestuft als der medizinische Nutzen.

Auch bei der Produktion kann eine Freisetzung von Nanopartikeln an die Umgebungsluft erfolgen. Nanoteilchen können durch unzureichende Filteranlagen in die Umwelt gelangen. Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer aus der Produktion können direkt mit den Nanopartikeln in Berührung kommen und diese bei unzureichendem Schutz einatmen. Deswegen sind bei der Produktion besondere präventive Maßnahmen erforderlich. Durch eine geschlossene Betriebsführung von Anlagen, in denen Nanomaterialien produziert oder verarbeitet werden, kann eine Exposition am Arbeitsplatz weitgehend vermieden werden.



KOSMETIKA

SONNENCREME

STAUB

SPRAY

MEDIKAMENTE

NAHRUNGSMITTEL

Organe, auf die Nanopartikel
einwirken können

3.2 Wie gelangen Nanomaterialien in den menschlichen Organismus und was bewirken sie?

Freie Nanopartikel können auf drei Wegen in den menschlichen Organismus gelangen und dort unter Umständen ihre toxikologische Wirkung entfalten:

■ Über die Atemwege (besonders durch Stäube oder verbrauchernehe Sprays)

Das größte Risiko sehen Wissenschaftler in der Einatmung von Nanopartikeln. Sind Nanoteilchen über die Atemwege in den Körper gelangt, können sie sich im Gewebe verschiedener Organe anreichern. Dabei stellt die Lunge das kritischste Organ dar.

Bereits nachgewiesen ist, dass bestimmte Nanopartikel bis in das Lungengewebe vordringen und dort die Blut-Luft-Schranke überwinden können. Das heißt, die Nanopartikel gelangen durch die dünne Trennschicht der Lungenbläschen bis in das Blut.

Dadurch besteht die Möglichkeit, dass die Nanopartikel mit dem Blut bis zum Gehirn wandern und dort die Blut-Hirn-Schranke überwinden. Da die Nanoteilchen zu klein sind, um als Fremdkörper von der Immunabwehr erkannt zu werden, könnten sie so bis in das Gehirn vordringen. In einem Tierversuch an Mäusen konnten bisher nur verschwindend kleine Mengen von Nanomaterialien in den Gehirnen der Tiere nachgewiesen werden. Die Auswirkungen auf das Gehirn sind bisher noch unerforscht.

Weiterhin ist nicht auszuschließen, dass unerwünschte Wechselwirkungen zwischen den Nanoteilchen und den Zellen stattfinden. Toxikologen gehen davon aus, dass Nano-



Gesunde Haut bildet eine gute Barriere gegen Nanopartikel in Sonnencreme

teilchen, bedingt durch ihre geringe Größe, durch die Zelloberfläche hindurch bis in die Zelle und sogar in den Zellkern gelangen können. Dadurch könnten sie die Zellprozesse erheblich stören oder sogar das Erbgut verändern.

■ Über die Haut (zum Beispiel durch Kosmetika, Sonnenmilch)

Eine Aufnahme von Nanoteilchen über die gesunde Haut gilt als eher unwahrscheinlich. Denn die gesunde Haut bildet eine gute Barriere gegen Nanopartikel und schützt somit vor einem Eindringen der Partikel in den menschlichen Organismus.

■ Über den Magen-Darm-Trakt (zum Beispiel aus Nahrungsmitteln oder Medikamenten)

Ob die Aufnahme von Nanopartikeln über die Nahrung gesundheitliche Auswirkungen hat, ist weitgehend unbekannt.

Bisher konnten noch keine wissenschaftlichen Nachweise erbracht werden, dass Nanomaterialien, so wie sie heute hergestellt oder verwendet werden, zu einer gesundheitlichen Schädigung führen. Jedoch sind sich die Forscher über das genaue Verhalten der Nanopartikel im Körper noch nicht einig – mangels internationaler Bewertungsstandards und Untersuchungsmethoden.





Antibakterielle Zahnbürsten versprechen eine bessere Zahnpflege

3.3 Von welchen Produkten könnte eine gesundheitliche Gefährdung ausgehen?

Immer mehr Produkte, die Nanomaterialien enthalten, drängen Jahr für Jahr auf den Markt. Noch gibt es erhebliche Wissenslücken über das Verhalten von Nanomaterialien. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen geht davon aus, dass von folgenden Nanoprodukten und Nanomaterialien ein erhöhtes Risiko ausgeht:

■ Sprays, die Nanomaterialien enthalten

Bei der Verwendung von Sprays, die zur Oberflächenbehandlung sowie zur Glas-, Textil- und Lederpflege dienen, können Nanopartikel während des Sprühvorgangs freigesetzt werden und der Benutzer kann diese Nanopartikel über die Atemwege aufnehmen.

■ Produkte mit Nano-Silberpartikeln

In immer mehr verbrauchernahen Produkten sind Nano-Silberpartikel enthalten. Mittlerweile werden aufgrund ihrer antibakteriellen Wirkung auch Babyschnuller oder Zahnbürsten mit nanoskaligen Silberpartikeln angeboten. Das Bundesinstitut für Risiko-

bewertung (BfR) hat im Jahr 2009 den Herstellern empfohlen, auf die Verwendung von nanoskaligem Silber in Lebensmitteln und den Produkten des täglichen Bedarfs zu verzichten, weil bisher noch keine abschließende Risikobewertung möglich und die gesundheitliche Unbedenklichkeit von Nanoprodukten nicht erwiesen ist.

■ Produkte aus Kohlenstoff-Nanoröhren

Die faserförmige Struktur der Kohlenstoff-Nanoröhren erinnert an Asbestfasern. Sie stehen daher im Verdacht, krebserregend zu wirken. Ein kanzerogenes Potenzial besteht hauptsächlich bei der Herstellung und Weiterverarbeitung, wenn die Kohlenstoff-Nanoröhren ungebunden vorliegen. Im Endprodukt sind die CNT fest in der Stoffmatrix eingebunden und können damit keine Schäden hervorrufen.

■ Sonnencreme mit Nanoteilchen

Mittlerweile werden zahlreiche Sonnenschutzmittel angeboten, die Nanopartikel aus Zinkoxid oder Titandioxid enthalten. Dermatologische Studien zeigen, dass die Haut eine gute Barriere gegenüber Nanopartikeln darstellt.

Die Größe der einzelnen Nanopartikel, die zur Herstellung von Sonnenschutzmitteln verwendet werden, liegt zwischen 20 und 60 nm. Bevor die Nanopartikel bei der Herstellung zum Sonnenschutzmittel hinzugegeben werden, werden sie mit Silizium-Aluminiumoxid beschichtet. Dadurch bilden sich Aggregate mit einer Größe von 200 bis 500 nm. Verschiedene Studien zeigen, dass diese Nanopartikel in Sonnenschutzmitteln nicht in gesunde Haut eindringen können und damit auch kein gesundheitliches Risiko für den Verbraucher darstellen.

Über das Verhalten von Nanopartikeln auf erkrankter Haut, zum Beispiel nach einem Sonnenbrand, gibt es nach bisherigem Wissensstand noch keine zuverlässigen Informationen.

3.4 Konnten bereits durch Nanopartikel verursachte Gesundheitsschäden nachgewiesen werden?

Bisher wurden am Menschen noch keine durch synthetisch hergestellte Nanomaterialien verursachten gesundheitlichen Schäden nachgewiesen. Gesundheitliche Risiken von bereits auf dem Markt befindlichen Nanoprodukten sind kaum erforscht. Jedoch weisen wissenschaftliche Studien darauf hin, dass negative Auswirkungen auftreten könnten. Tierversuche zeigen, dass hohe Dosen von Nano-Titandioxid Entzündungen in der Lunge hervorrufen und sogar krebserregend wirken können. Auch für Kohlenstoff-Nanoröhren gibt es Hinweise auf asbestfaserähnliche pathogene Effekte wie die Bildung von Lungenfibrosen und Lungentumoren. Nur sehr wenige Studien befassten sich bisher mit Aufnahme und Verbleib von Nanomaterialien im Magen-Darm-Trakt. Laut Bundesinstitut für Risikobewertung lassen die dabei erhobenen Daten keine eindeutigen Schlussfolgerungen zu. Sie sind demnach nicht oder nur unzureichend zur Risikobeschreibung von Nanomaterialien geeignet.





Sprays mit dem Zusatz „Nano“ werden oft in der
Textil- und Lederpflege eingesetzt



Da bisher nur wenig über die Auswirkung von Nanopartikeln auf die Umwelt bekannt ist, wird intensiv daran geforscht

3.5 Wie gelangen die Nanopartikel in die Umwelt?

Was passiert mit den Nanomaterialien, wenn ein Produkt beschädigt wird, im Müll landet oder die Nanoteilchen ausgewaschen werden und danach ins Abwasser und in oberirdische Gewässer oder Grundwasser gelangen? Oder wenn eine unbeabsichtigte Freisetzung durch Unfälle während der Produktion oder beim Transport erfolgt?

Bei der Herstellung, Bearbeitung und der Verwendung von Nanomaterialien können Abfälle entstehen, die Nanomaterialien enthalten. Solche Abfälle werden weder im europäischen noch im deutschen Abfallrecht gesondert betrachtet. Es gibt auch keine genauen Kenntnisse über die in die Umwelt eingetragenen Mengen sowie den Austrag von Nanomaterialien und nanomaterialhaltigen Abfällen in thermischen, biologischen und mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen sowie Deponien. Bis heute sind keine speziellen Entsorgungsverfahren für Nanoabfälle etabliert. Nanomaterialien, die mit Gebrauchsgütern in geringen Mengen in Abfallverbrennungsanlagen gelangen, werden nach derzeitigem Wissensstand entweder im Feuerraum, wenn dem Verbrennungsprozess ausreichend Sauerstoff zugeführt wird, zerstört oder weitgehend in den Abgasen agglomeriert bzw. chemisch gebunden. Bei der Abgasreinigung werden diese dann aus dem Abgas entfernt.

Problematisch sind Nanomaterialien, die wasserlöslich sind und in Gewässer gelangen können. So können zum Beispiel Nanosilber-Ionen durch das Waschen aus Textilien freigesetzt werden. Auch aus Fassadenanstrichen können sowohl Titandioxid- als

auch Nanosilberpartikel herausgewaschen werden. Wissenschaftliche Studien ergaben, dass sehr viele Nanomaterialien eine hohe Neigung zur Bildung von Aggregaten und Agglomeraten haben bzw. sehr schnell an organischen Feststoffen adsorbieren und damit nicht mehr als Nanopartikel wirken. Dies gilt jedoch nicht für alle nanoskaligen Stoffe. Zum Beispiel ist ungeklärt, wie sich Nano-Titandioxid in der Umwelt verhält. Es wird vermutet, dass sich die Partikel im Sediment anreichern. Derzeit sind die Langzeitauswirkungen von Nano-Titandioxid noch zu wenig wissenschaftlich untersucht.

3.6 Welche Auswirkungen auf die Umwelt sind bereits bekannt?

Insgesamt sind die Kenntnisse über Auswirkungen von Nanomaterialien auf die Umwelt noch geringer als über deren Wirkung auf den Menschen. Es gibt beispielsweise keine genauen Erkenntnisse darüber, ob nanoskaliges Titandioxid oder Zinkoxid in umwelt- oder gesundheitsgefährdenden Mengen aus Produkten wie Sonnenschutzmitteln oder Fassadenfarben freigesetzt werden. Ein Nachweis, dass Nanomaterialien negative Effekte auf die Umwelt haben, konnte bisher nicht erbracht werden. Allerdings weisen laut Umweltbundesamt Studien darauf hin, dass es Wechselwirkungen mit biologischen Systemen geben kann. Zum Beispiel führte nanoskaliges Titandioxid in Laborversuchen zu einer erhöhten Sterblichkeitsrate bei Wasserflöhen. Versuche mit Aluminiumoxid-Nanopartikeln zeigten ein reduziertes Wurzelwachstum bei verschiedenen Nutzpflanzen (z. B. Mais, Gurke). Nanosilber könnte aufgrund seiner bakteriziden Wirkung die Mikroflora im Boden sowie in Kläranlagen stören



Beim Waschen von Textilien können Silber-Ionen freigesetzt werden

oder zur Ausbildung von Resistenzen in gefährlichen Mikroorganismen führen.

Es muss jedoch beachtet werden, dass die meisten Forschungsergebnisse auf Untersuchungen beruhen, die im Labor durchgeführt wurden. In der Umwelt spielen viele weitere Faktoren eine Rolle, zum Beispiel Verdünnungseffekte und die Bioakkumulation. Deswegen können die Ergebnisse aus dem Labor nicht 1:1 in die Praxis übertragen werden.



4 Forschung und Entwicklung – Ein Blick in die Zukunft



Forschung mit dem Rasterelektronenmikroskop

4.1 Welche Fragen sind noch offen?

Aufgrund der besonderen Eigenschaften der Nanomaterialien wird die Risikobewertung erschwert. Zudem ist es sehr schwierig, standardisierte Methoden und Messtechniken für Nanomaterialien zu erarbeiten. In eine Risikobewertung geht immer mit ein, welchen Konzentrationen eines potenziell gefährlichen Stoffes Mensch oder Umwelt ausgesetzt sind. Zu den Umweltkonzentrationen von synthetisch hergestellten Nanopartikeln liegen bisher jedoch nur sehr wenige Daten vor.

Ein weiteres Problem ist die Vergleichbarkeit der vorliegenden Forschungsergebnisse. In einem Tierversuch an Mäusen sollte festgestellt werden, ob sich das Einatmen von Nanomaterialien krebserregend auswirken kann. Es wurden zwei Versuche mit dem gleichen Nanomaterial durchgeführt. Der Unterschied bestand lediglich in der Partikelgröße des Nanomaterials. Bei einem Versuch konnte nachgewiesen werden, dass sich die Nanomaterialien krebserregend auswirken können, in dem anderen Versuch dagegen nicht. Dies zeigt, wie wichtig es ist, klare Vorgaben für die Bewertung der Risiken, die von Nanomaterialien ausgehen, zu erarbeiten. Denn erst dann können geeignete Analyse- und Nachweisverfahren entwickelt werden.

4.2 Welche Perspektiven und Chancen gibt es?

Die Anzahl der Produkte, die Nanopartikel enthalten, wächst zunehmend. Schätzungsweise sind über tausend derartige Produkte weltweit auf dem Markt erhältlich. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) prognostiziert für das Jahr 2015 ein weltweites Marktpotenzial nanotechnologi-

scher Produkte, Verfahren und Dienstleistungen von über einer Billion Euro. Im Jahr 2005 wurde das Marktvolumen der Nanotechnologie auf 100 Milliarden Euro geschätzt. Wenn die Prognose des BMBF zutrifft, wäre das eine Verzehnfachung innerhalb von zehn Jahren.

Als zukünftig sehr erfolgversprechend wird vor allem die Anwendung der Nanotechnologie im Bereich der innovativen Materialien und der Elektronik gesehen. Auch der Leitung, Speicherung und Umwandlung von Energie auf Basis von nanoskaligen Materialien wird ein hohes Potenzial vorausgesagt. Ein Beispiel dafür ist die Brennstoffzelle. Weitere zukunftssträngige Anwendungen bieten die Solartechnik sowie die Entwicklung chemischer Katalysatoren. Aber auch die Weiterentwicklung von Materialien für Medizin, Diagnostik, Verbraucherartikel und Kosmetik unter Einsatz der Nanotechnologie ist sehr erfolgversprechend.

Bis heute haben ca. 1,5 Milliarden Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Die Nanotechnologie kann dazu beitragen, mit Schmutz und Pestiziden kontaminiertes Wasser sowie Salzwasser aus Ozeanen zu Trinkwasser aufzubereiten. So werden durch den Einsatz von Nanofiltrations-Membranen Partikel im Nanometerbereich (1-10 nm) zurückgehalten. Diese Nanofiltration wird insbesondere zur Enthärtung und Entfernung von Schwermetallen in der Wasseraufbereitung eingesetzt. Zudem werden Nanoröhrchen aus Kohlenstoff in Filtersystemen zur Beseitigung von Viren, Bakterien und anderen Verunreinigungen verwendet.



Die Solartechnologie ist eine zukunftssträngige Anwendung der Nanotechnologie





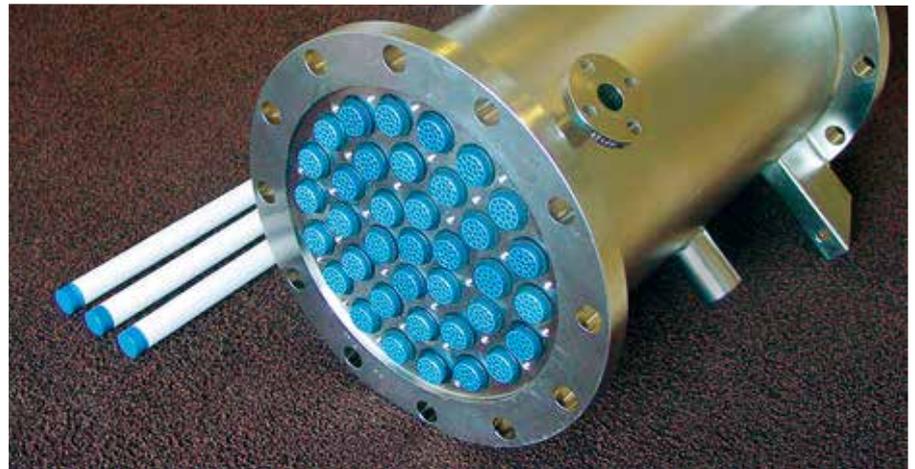
Nanofiltrations-Membrananlage zur Diafiltration

4.3 Wo findet Forschung zur Nanotechnologie im Freistaat Sachsen statt?

Der wirtschaftliche Erfolg des Freistaates Sachsen beruht unter anderem auf dem stark vorangetriebenen Ausbau der Wissenschaft und Forschung, insbesondere auch in den Bereichen Mikroelektronik und Nanotechnologie.

Im Freistaat Sachsen existiert eine Vielzahl von Forschungseinrichtungen und Unternehmen im Bereich der Nanotechnologie, viele davon in den Großräumen Dresden, Leipzig und Chemnitz. Insbesondere in der Mikro-Nanoelektronik hat der Standort Sachsen bereits eine weltweit anerkannte Führungsposition erlangt. Beispielhaft ist das Fraunhofer-Center Nanoelektronische Technologie zu nennen, das eng mit der ortsansässigen Halbleiterbranche kooperiert. Auch bei der Entwicklung von Nanomaterialien, z. B. von keramischen Werkstoffen, sowie bei der Entwicklung ultradünner Nanoschichten

ist Sachsen führend. Besondere Potenziale werden zudem im Zusammenwirken der Lebenswissenschaften und der Medizintechnik mit den Mikro- und Nanotechnologien bzw. der Nanobiotechnologie gesehen. Zukunftsträchtig sind nanotechnologische Entwicklungen auch im Automobilbau, z. B. bei der Entwicklung kratzfester Lacke und Instrumentenbeschichtungen.



Modul mit keramischer Membran

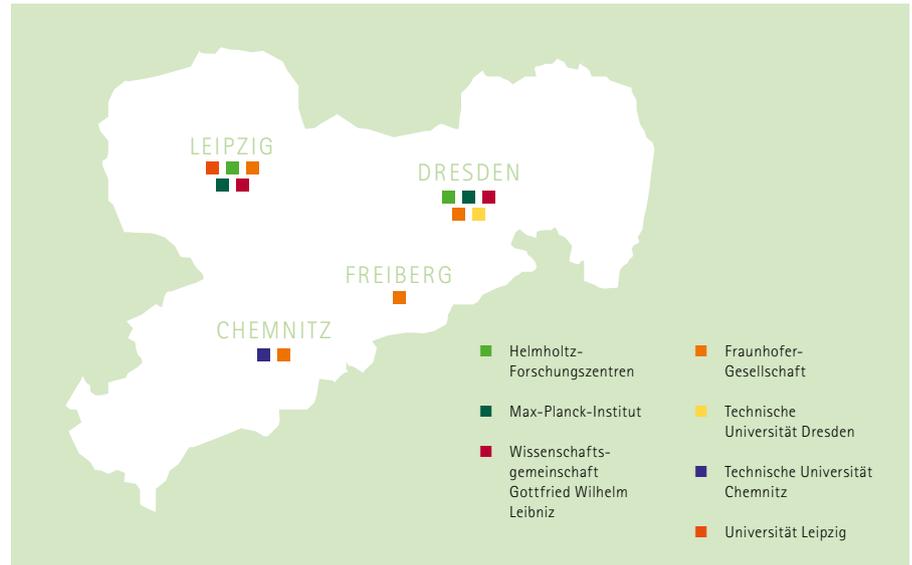
Folgende Einrichtungen forschen in verschiedenen Bereichen der Nanotechnologie:

Zentren / Cluster / Universitäten:

- Fraunhofer-Center Nanoelektronische Technologien CNT Dresden
- Nanotechnologie-Kompetenzzentrum „Ultradünne funktionale Schichten“ (Geschäftsstelle im Fraunhofer IMS Dresden)
- Fraunhofer Cluster Nanoanalytik Dresden
- Technische Universität Dresden – zum Beispiel Institut für Werkstoffwissenschaft
- Technische Universität Chemnitz – zum Beispiel Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
- Universität Leipzig – zum Beispiel Fakultät für Physik und Geowissenschaften
- Zentrum für Innovationskompetenz ZIK B CUBE an der Technischen Universität Dresden

Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen:
Fraunhofer-Gesellschaft:

- Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS Dresden)
- Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS Dresden)
- Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme (ENAS Chemnitz)
- Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren (IZPF Dresden)
- Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik (FFD Dresden)
- Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie (IZI Leipzig)
- Fraunhofer Technologiezentrum Halbleitermaterialien (THM Freiberg)



Nanotechnologie-Zentren im Freistaat Sachsen

Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz:

- Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden e. V.
- Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.
- Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung Leipzig e.V.

Helmholtz-Forschungszentren

- Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)

Max-Planck-Gesellschaft

- Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe Dresden
- Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme Dresden

- Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften Leipzig

Unternehmen

- AMTEC GmbH, Chemnitz
- CeWOTec gGmbH, Chemnitz
- VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH, Dresden
- AXO Dresden GmbH, Heidenau
- Novalded AG, Dresden
- bubbles & beyond GmbH, Leipzig
- Cetelon Nanotechnik GmbH, Eilenburg
- FHR Anlagenbau GmbH, Ottendorf-Okrilla
- DTF Technology GmbH, Dresden

Diese Auflistung stellt nur einen Auszug dar und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

5 Rechtliche Bestimmungen



Ab 2013 sollen alle Kosmetika, die Nanopartikel enthalten, mit dem Zusatz „Nano“ gekennzeichnet werden



5.1 Welche gesetzlichen Regelungen für Nanomaterialien gibt es?

Bisher existieren in Deutschland und Europa keine spezifischen Regelungen zu Nanomaterialien. Es gibt jedoch einige Vorschriften, die unter anderem auch Nanomaterialien und Nanopartikel betreffen. So müssen nach der EU-Verordnung über neuartige Lebensmittel und Lebensmittelzutaten (Novel Food) auch „Nano-Lebensmittel“ und „Nano-Lebensmittelzutaten“ bewertet und zugelassen werden.

Chemikalien unterliegen sowohl in ihrer normalen als auch in ihrer nanoskaligen Form der europäischen Chemikalienverordnung (REACH). Jedoch werden in der REACH-Verordnung nicht der physikalische Zustand, z. B. die Partikelgröße, und die damit verbundenen Eigenschaften eines Stoffes berücksichtigt. Nach Einschätzung der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) ist es jedoch notwendig, gefährliche Eigenschaften eines Stoffes in Abhängigkeit von der Partikelgröße zu identifizieren und zu bewerten. Derzeit wird diskutiert, ob bei der Registrierung eines Stoffes gegebenenfalls auch nanospezifische Informationen erfasst werden sollen.

5.2 Wie werden Produkte, die Nanomaterialien enthalten, gekennzeichnet?

Momentan gibt es europaweit keine einheitliche Kennzeichnungspflicht für Produkte, die Nanopartikel enthalten. Für einzelne Produktgruppen gibt es jedoch bereits Kennzeichnungsvorschriften. So müssen nach der europäischen Kosmetik-Verordnung Kosmetika, die Nanopartikel enthalten, ab 2013 mit dem Zusatz „Nano“ gekennzeichnet werden. Nach der im Dezember 2011 in Kraft getretenen Lebensmittel-Informationsverordnung müssen Lebensmittel, die Nano-Zutaten enthalten, innerhalb der EU ab Dezember 2014 entsprechend gekennzeichnet werden.

Auch nach der 2013 in Kraft tretenden EU-Biozid-Verordnung sind mit nanoskaligen Stoffen behandelte Materialien mit dem Zusatz „Nano“ zu kennzeichnen. Dies betrifft z. B. Textilien, in die Nano-Silber eingearbeitet ist.

5.3 Wie erkennt man, ob Produkte Nanomaterialien enthalten?

Generell ist es schwierig zu erkennen, ob in einem nicht entsprechend gekennzeichneten Produkt Nanomaterialien enthalten sind.

Nur zum Teil ist dies durch die Produktbezeichnung möglich. So werden beispielsweise Wandfarben, Pflegemittel für Autos, Leder oder Textilien häufig mit dem Zusatz „Nano“ gekennzeichnet. Ein Hinweis auf Nanoprodukte kann außerdem sein, wenn Produkte mit dem Zusatz „antibakteriell“ oder „keimfrei“ beworben werden. Das können Textilien, Haushaltsgeräte oder Produkte für Kinder sein. Andererseits werben Anbieter manchmal irreführend mit „Nano“, auch wenn keine Nanomaterialien im Produkt enthalten sind oder nur Materialien mit kleiner Partikelgröße (im Mikrometerbereich oder größer) eingesetzt wurden.

Im Internet gibt es einige Webseiten und Datenbanken, die Produkte mit Nanomaterialien auflisten. Zum Beispiel kann unter www.nanoproducts.de nach Produkten gesucht werden, die Nanomaterialien enthalten. Die Seite www.nanopartikel.info vereint in einer sogenannten Wissensbasis Informationen zu Anwendungen für Nanomaterialien und möglichen schädlichen Wirkungen auf Mensch und Umwelt.

6 Fachwörterverzeichnis

Adsorption

Als Adsorption bezeichnet man die Anhaftung von Stoffen aus Gasen oder Flüssigkeiten an der Oberfläche eines Festkörpers, d. h. an der Grenzfläche zwischen zwei Phasen.

Aerosol

Ein Aerosol ist ein Gemisch aus festen oder flüssigen Schwebeteilchen und einem Gas.

Agglomerat

Ein Agglomerat ist eine Ansammlung von schwach gebundenen Partikeln. Schwache Kräfte, z. B. Van-der-Waals-Kräfte, oder einfache physikalische Verhakungen halten ein Agglomerat zusammen.

Aggregat

Als Aggregat bezeichnet man fest gebundene oder verschmolzene Partikel. Starke Kräfte, z. B. kovalente Bindungen oder solche, die auf Sintern (Erhitzen auf Temperaturen unterhalb des Schmelzpunktes) oder komplexen physikalischen Verhakungen beruhen, halten ein Aggregat zusammen.

Atom

Atome sind Grundbausteine der Materie. Atome sind die kleinste Einheit, in die sich Materie mit chemischen oder mechanischen Mitteln zerlegen lässt.

Blut-Hirn-Schranke

Die Blut-Hirn-Schranke, auch Blut-Gehirn-Schranke genannt, ist eine bei allen Landwirbeltieren im Gehirn vorhandene physiologische Barriere zwischen dem Blutkreislauf und dem Zentralnervensystem. Sie schützt das Gehirn vor Krankheitserregern, die sich im Blut befinden, und stellt damit einen natürlichen Filter dar.

Blut-Luft-Schranke

Die Blut-Luft-Schranke bezeichnet die dünne Schicht, die in der Lunge den luftgefüllten Raum der Lungenbläschen von dem Blut in den Kapillaren trennt.

BfR

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) ist eine nachgeordnete Behörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und hat die Aufgabe, dieses in Fragen der Lebensmittelsicherheit, der Produktsicherheit, der Chemikaliensicherheit und des Verbraucherschutzes wissenschaftlich zu beraten.

Fotokatalyse/fotokatalytische Wirkung:

Eine durch Licht ausgelöste chemische Reaktion, bei der durch die UV-Strahlung Sauerstoffmoleküle der Luft in sogenannte Radikale umgewandelt werden. Diese Radikale bauen organische Moleküle zu Kohlendioxid und Wasser ab.

Halbleiter

Halbleiter sind feste Stoffe, die aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften bei sehr tiefen Temperaturen elektrischen Strom nicht leiten, bei Erwärmung jedoch eine mit der Temperatur anwachsende Leitfähigkeit zeigen.

Ion

Ein Ion ist ein elektrisch geladenes Atom oder Molekül.

Kanzerogen

Als kanzerogen bezeichnet man einen Stoff, einen Organismus oder eine Strahlung, die eine Krebserkrankung fördern oder erzeugen.

Oxid

Ein Oxid entsteht, wenn sich ein chemisches Element mit Sauerstoff verbindet.

Polymer

Ein Polymer ist eine chemische Verbindung aus ketten- oder verzweigten Molekülen (Makromolekülen), die wiederum aus gleichen oder gleichartigen Einheiten, den sogenannten Monomeren, bestehen.

REACH

REACH steht für „Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals“, also für die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien. Die Verordnung gilt für alle chemischen Stoffe, die in der EU hergestellt oder in die EU eingeführt werden.

Reagenz

Stoff, der zusammen mit einem oder mehreren anderen Stoff(en) eine chemische Reaktion herbeiführen soll.

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU)

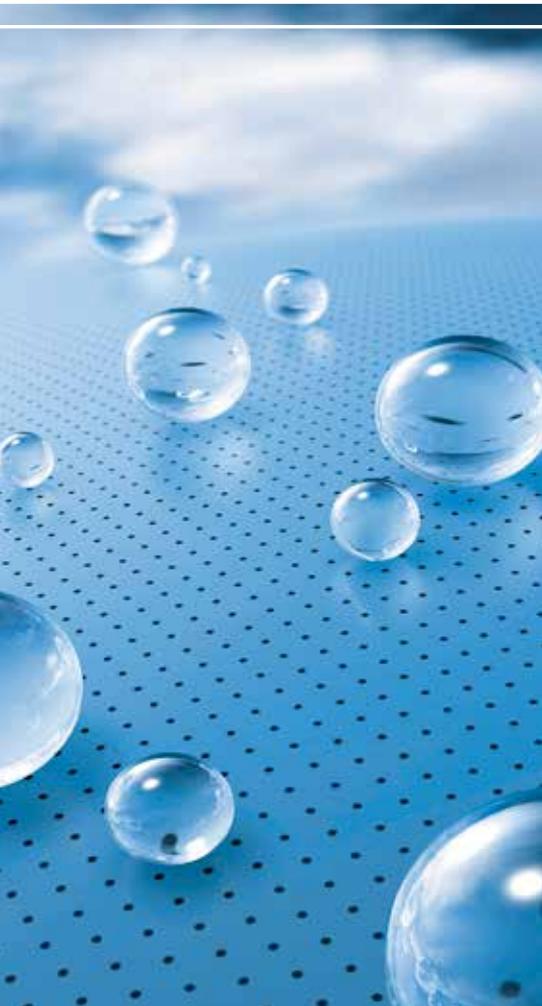
Der SRU, auch bekannt als Umweltrat, ist ein wissenschaftliches Beratungsgremium der deutschen Bundesregierung. Der SRU begutachtet die Umweltsituation in Deutschland und berät die Bundesregierung hinsichtlich ihrer zukünftigen Umweltpolitik.

Toxizität

Toxizität ist die Bezeichnung für die Giftigkeit oder gesundheitsschädigende Eigenschaft eines Stoffes.

7 Quellenverzeichnis

- www.nanopartikel.info
- www.world-of-nano.de
- www.bfr.bund.de
Bundesinstitut für Risikobewertung
Stellungnahme 001/2009 des BfR
- www.umwelt-schweiz.ch
Bundesamt für Umwelt BAFU
- www.nanotruck.de
- www.verbraucherzentrale-sachsen.de
- www.eawag.ch
- www.bund.net
Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
- www.nano-technologien.com
- www.nanoportal-bw.de
Nanotechnologien im Alltag
- www.umweltrat.de
Sachverständigenrat für Umweltfragen
- www.lotustech.de
- www.fmf.uni-freiburg.de/projekte/pg_energie/solar/farbstoffsolarzellen
- www.wikipedia.de
- **Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien**
Bericht und Empfehlungen der NanoKommission 2011
- **nano textil**
Fragen und Antworten rund um die Nutzung von Nanotechnologien am Beispiel der deutschen Textilwirtschaft
- **nano trust dossiers Nr. 006**
(November 2008)
- **Axel Kampe, Energieperspektiven**
(4/2006)
- **Umweltaspekte von Nanoabfällen**
SBB-Forum IV-2011 (Sonderabfallgesellschaft Brandenburg/Berlin mbH)
- **Terra Consult Bern**
Konzeptpapier „Umweltverträgliche und sichere Entsorgung von Abfällen aus Herstellung sowie industrieller und gewerblicher Verarbeitung von synthetischen Nanomaterialien“
(September 2009)
- **Leitfaden zur sicheren Entsorgung von Abfällen, die Nanomaterialien enthalten**
Verband der Chemischen Industrie e.V.
(Oktober 2009)
- **Nanotechnik für Mensch und Umwelt,**
Hintergrundpapier, Umweltbundesamt
(Oktober 2009)
- **Regionalstudie Nanotechnologie in Dresden/Sachsen**
Herausgeber: Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf,
(2006)

**Herausgeber:**

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
Postfach 10 05 10, 01076 Dresden
Bürgertelefon: +49 351 564-6814
Telefax: +49 351 564-2059
E-Mail: info@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de

Redaktion:

SMUL, Referat 55, Endredaktion: Anja Naumann, SMUL

Fotos:

Titel: ag visuell, www.fotolia.de; Seite 4: SMUL; Seite 6: Clara Dinand, www.fotolia.de; Seite 8: Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf; Seite 9: sensolux, www.fotolia.de; Seite 10: Knut Wiarda, www.fotolia.de; Seite 11: Empa; Seite 13: Fraunhofer IWS Dresden; Seite 14: Empa; Seite 15: Snowleopard1, www.istockphoto.com (links), Fraunhofer IKTS Dresden (rechts); Seite 16: dutourdumonde, www.fotolia.de; Seite 17: Floris Slooff, www.fotolia.de (links), Mark Kostich, www.istockphoto.com (rechts); Seite 19: Klaus Eppele, www.fotolia.de; Seite 20: Jan Öztürk-Lettau, www.shotshop.com; Seite 21: Nikki Bidgood, www.istockphoto.com; Seite 22: Shawn Hempel, www.fotolia.de; Seite 23: Felix Vogel, www.fotolia.de; Seite 24: Sebastian Sparenga, www.istockphoto.com; Seite 25: tschak, www.shotshop.com; Seite 26: Fraunhofer IKTS Dresden; Seite 28: diego_cervo, www.istockphoto.com

Gestaltung und Satz:

Heimrich Et Hannot GmbH

Druck:

Löbnitz-Druck GmbH

Redaktionsschluss:

29. März 2012

Auflagenhöhe:

2.000 Exemplare, 2. Auflage (unverändert)

Papier:

Gedruckt auf 100 % Recycling-Papier

Bezug:

Diese Druckschrift kann kostenfrei bezogen werden bei:

Zentraler Broschürenversand
der Sächsischen Staatsregierung
Hammerweg 30, 01127 Dresden
Telefon: +49 351 2103671
Telefax: +49 351 2103681
E-Mail: publikationen@sachsen.de
www.publikationen.sachsen.de

Verteilerhinweis:

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.