

Gesundheitsrelevante Aspekte synthetischer Nanomaterialien

IMPRESSUM

Herausgeber

Konsortium des Projekts NanoCare,
gefördert von Bundesministerium für Bildung und Forschung

Verantwortlicher im Sinne des Presserechts

DECHEMA e.V.
Dr. C. Steinbach
Theodor Heuss Allee 25
60486 Frankfurt am Main

Redaktion

Prof. Dr. H. Krug, St. Gallen, Schweiz
Dr. T. Kuhlbusch, Duisburg
Dr. K. Nau, Karlsruhe
Dr. C. Steinbach, Frankfurt am Main
Dr. A. Förster, Frankfurt am Main

Redaktionelle Mitarbeit

Dr. U. Neubauer, Bad Soden am Taunus

Autoren

Mitglieder des NanoCare-Konsortiums
siehe Seite 19

Layout

PM-GrafikDesign, Wächtersbach

Druck

Seltersdruck, Selters/Taunus

erschienen im Juni 2009

Titelbild:

BASF (Zinkoxid-Nanoteilchen), Bayer (biegsame Solarzelle), victorpr/Fotolia (Mikroskop)

ALLGEMEINES

Verantwortungsvoller Umgang mit Nanotechnologie	4
NanoCare hat viel erreicht	5
Was bedeutet „Nano“?	6
Nano ist eigentlich nichts Neues	6
Hier steckt Nano drin	7
Das Risiko abschätzen und begrenzen	9
Der Risikobegriff	9

ERGEBNISSE UND ERKENNTNISSE AUS NANOCARE

Partikelherstellung und -charakterisierung	10
Vergleichbarkeit der Ergebnisse	10
Wechselwirkungen zwischen Nanopartikeln und Zellen	11
In-vitro-Tests: Zelltypen und biologische Effekte	11
In-vivo-Tests: Tierversuch zur Aufnahme durch Atmung	11
Multitalent Titandioxid	12
Gesunde Haut schützt gut	12
Nanostrukturiertes Titandioxid in Körperzellen	12
In-vitro-Studien mit nanostrukturiertem Titandioxid	12
In-vivo-Studien: Eingeatmetes nanostrukturiertes Titandioxid	13
Freisetzung von Nanopartikeln bei der Produktion von Nanomaterialien	14
Bildung von Stäuben und Stabilität von Agglomeraten	14
Computersimulation der Partikelausbreitung bei einer ungewollten Freisetzung	15
Entwicklung von Messtechnik und Messmethodik	15

DAS FAZIT DES PROJEKTES

STARTSCHUSS FÜR FOLGEPROJEKTE

DAS NANOCARE-KONSORTIUM



Nanotechnologie macht die Entwicklung von Materialien mit vollkommen neuen Eigenschaften möglich. Das Herz dieses Solarmoduls beispielsweise ist ein organischer Farbstoff, der in Kombination mit Nanopartikeln Sonnenlicht in Strom umwandelt. Solche Solarzellen könnten zukünftig sogar in Glasfassaden integriert werden. (Bild: Fraunhofer ISE)

Verantwortungsvoller Umgang mit Nanotechnologie

Nanotechnologie ist in aller Munde. In den vergangenen Jahren hat sich die Nanotechnologie zu einer Zukunftstechnologie entwickelt, deren Bedeutung der modernen Informationstechnologie mit der Einführung des Computers vergleichbar scheint. Denn praktisch jeder Wirtschaftszweig wird über kurz oder lang von der Nanotechnologie profitieren.

In die Wissenschaft hat die Nanotechnologie längst Einzug gehalten. Eigene Forschungsdisziplinen wie Nanooptik, Nanobiotechnologie und Nanomedizin, Nanoelektronik und Nanomaterialforschung haben sich mittlerweile etabliert. Nanomaterialien finden sich schon in vielen Alltagsprodukten – von Sonnencremes bis zu Zahnpasten mit Reparaturreffekt, von Schmutz abweisenden Wandfarben bis zu neuen Werkstoffen für medizinische Implantate. Die Liste der neuen oder verbesserten Produkte, in denen Nano steckt, wird immer länger. Kein Wunder, denn Nanomaterialien besitzen außergewöhnliche Eigenschaften und machen vollkommen neue Anwendungen möglich. Man denke nur an biegsame Keramiken und an Papier, das hitzebeständig, durchsichtig und hart ist wie Glas, sich aber trotzdem falten lässt.

Der verantwortungsvolle Umgang mit einer Zukunftstechnologie wie der Nanotechnologie muss eine Selbstverständlichkeit sein. Daher widmet sich in Deutschland das Verbundprojekt NanoCare den offenen Fragen zu

möglichen Gesundheitsgefahren durch Nanomaterialien. NanoCare ist eine Kooperation von Forschern aus Wissenschaft und Industrie, die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung drei Jahre lang mit fünf Millionen Euro gefördert wurde. Die Industriepartner haben weitere 2,6 Millionen Euro beigesteuert.

Die NanoCare-Wissenschaftler publizieren ihre Resultate in Fachzeitschriften und stellen sie auf der Website www.nanopartikel.info der Öffentlichkeit zur Verfügung. Auch diese Broschüre informiert über die Motivation sowie die Ziele von NanoCare und gibt eine Übersicht über einige der Forschungsergebnisse.

nanoCare hat viel erreicht

Das NanoCare-Konsortium hat sich im Jahr 2005 gebildet, um mögliche gesundheitsrelevante Effekte von industriell hergestellten Nanopartikeln genauer zu untersuchen. Mit intern standardisierten Methoden und gängigen biologischen Testsystemen wurde eine Wissensbasis geschaffen, auf deren Grundlage die Eigenschaften der untersuchten Nanomaterialien systematisch und fundiert beurteilt werden können.

Die Wissenschaftler des Projektes NanoCare haben ihre Untersuchungen mit Nanomaterialien aus der Industrie durchgeführt. Mit modernen Methoden haben sie die biologische Wirkung und die Belastung am Arbeitsplatz während der Herstellung der Nanomaterialien analysiert, um auf der Basis dieses Wissens ein mögliches Risiko besser abschätzen zu können.

Darüber hinaus war es den Mitarbeitern des NanoCare-Projektes wichtig, die Ergebnisse zu kommunizieren, also mit Stakeholdern – mit Politikern, Journalisten, Vertretern von Kirchen, Gewerkschaften und anderen gesellschaftlichen Gruppen – sowie mit den Bürgern zu diskutieren. Insgesamt fünf Dialogveranstaltungen haben gezeigt, dass die breite Öffentlichkeit bisher eher weniger, die Vertreter der gesellschaftlichen Gruppen aber stark daran interessiert sind, sich über mögliche Folgen der Verwendung von Nanomaterialien zu informieren. Da noch ein deutlicher Aufklärungsbedarf besteht, wird der Internetauftritt des NanoCare-Projektes weiter ausgebaut. Er soll eine Grundlage für einen offenen Dialog rund um die Nanotechnologie in Deutschland schaffen.

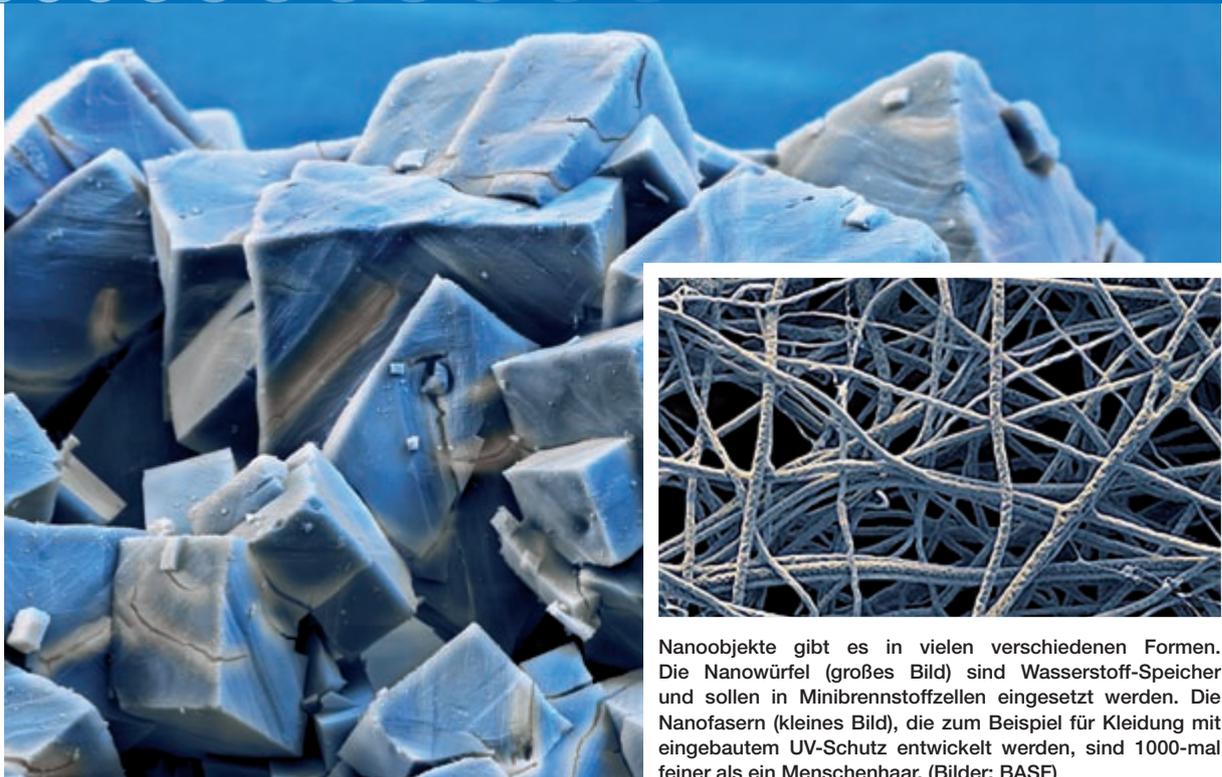


In mehreren Kampagnen haben die Mitarbeiter von NanoCare die Öffentlichkeit über ihre Forschung informiert. Beim Bürgerdialog in Hamburg und München war auch der Nano-Truck des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) vor Ort. (Bild: Harald Krug)

Einheitliche Prüfmethoden

Das NanoCare-Projekt hat bereits zur Vereinheitlichung internationaler Prüfmethoden beigetragen und wird dies auch weiterhin tun. So wurden der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) wichtige Erkenntnisse aus NanoCare zur Verbesserung international anerkannter Teststrategien zur Verfügung gestellt. Im Rahmen der OECD ist Deutschland auch verantwortlich für die Umsetzung eines umfangreichen Testprogramms zu nanostrukturiertem Titandioxid; Resultate aus dem NanoCare-Projekt tragen dazu maßgeblich bei.

Außerdem haben die NanoCare-Mitarbeiter in mehreren Publikationen auf entscheidende Fehler hingewiesen, die bei der Untersuchung von Nanopartikeln in vielen bisherigen Studien gemacht wurden und so zu falschen Interpretationen geführt haben. Eine wesentliche Aufgabe des Projektes NanoCare war es daher, die verwendeten Methoden und Versuchsdurchführungen so zu vereinheitlichen, dass andere Forschergruppen sie zuverlässig anwenden können. Trotz der Vielzahl möglicher Materialien, biologischer Systeme und biologischer Effekte hat NanoCare hier wichtige Fortschritte erzielt.



Nanoobjekte gibt es in vielen verschiedenen Formen. Die Nanowürfel (großes Bild) sind Wasserstoff-Speicher und sollen in Minibrennstoffzellen eingesetzt werden. Die Nanofasern (kleines Bild), die zum Beispiel für Kleidung mit eingebautem UV-Schutz entwickelt werden, sind 1000-mal feiner als ein Menschenhaar. (Bilder: BASF)

Was bedeutet „Nano“?

„Nano“ ist in. Doch was heißt „Nano“ eigentlich? „Nano“ stammt vom griechischen Wort „nanos“ ab und bedeutet „Zwerg“. Ein Nanometer ist also ein winziger Bruchteil eines Meters, genauer: ein Milliardstel Meter. Alle Teilchen, die in mindestens einer äußeren Dimension – also in der Länge, Breite oder Höhe – zwischen 1 und 100 Nanometer messen, bezeichnet man in der Fachsprache als Nanoobjekte. Nanoobjekte, die in allen drei Dimensionen nanoskalig sind, werden Nanopartikel genannt. Das ist seit August 2008 in einer DIN-Norm festgelegt. Um sich die Winzigkeit dieser Teilchen vorzustellen, hilft folgender Vergleich: Ein Nanopartikel verhält sich zur Größe eines Fußballs etwa so wie ein Fußball zur Größe unseres Planeten Erde.

Nano ist eigentlich nichts Neues

Schon lange vor der gezielten industriellen Herstellung von Nanoteilchen hat der Mensch solch winzige Teilchen erzeugt, teils sogar genutzt. Die Entwicklung von klassischen Fotos beruht in einem der wesentlichen Schritte auf der Erzeugung von Silber-Nanopartikeln. Bei Brandrodungen und im Verkehr wiederum bilden sich Nano-Rußteilchen.

Nanoteilchen sind nicht ausschließlich menschengemacht, sondern kommen auch in der Natur vor. Wald- und jährlich wiederkehrende Savannenbrände emittieren genauso Nano-Rußteilchen wie die durch Menschen verursachten Verbrennungsprozesse.

Wichtige Begriffe

Nanomaterial

Nanomaterial ist ein häufig benutzter Oberbegriff, der unter anderem Nanoobjekte und Nanopartikel sowie deren Aggregate und Agglomerate umfasst.

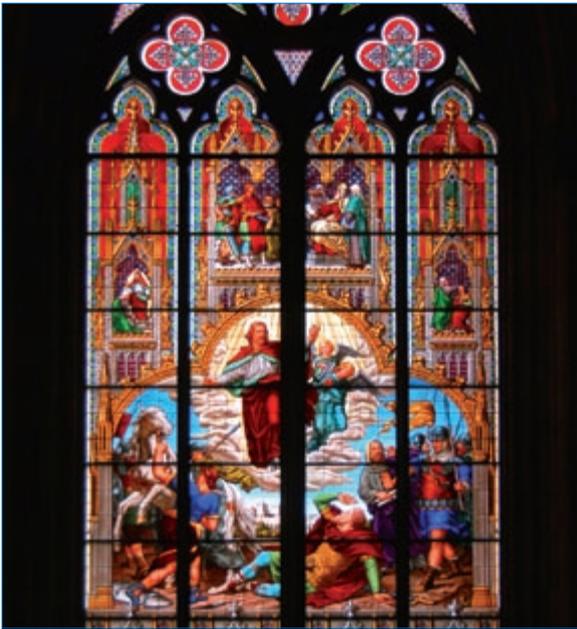
Agglomerate

Nanoobjekte haben die starke Tendenz, sich zusammenzulagern und mikro- oder millimetergroße Agglomerate zu bilden, etwa in pulverförmigen Materialien. Diese Agglomerate können mechanisch, zum Beispiel durch starkes Rühren, wieder zerkleinert werden, da deren Einzelteile durch relativ schwache Kräfte miteinander verbunden sind.

Aggregate

Aggregate sind dagegen Zusammenlagerungen von Nanoobjekten, die durch starke Kräfte, zum Beispiel durch chemische Bindungen, zusammengehalten werden. Diese können nicht mehr in ihre Einzelteile zerfallen, es sei denn, es würden enorme Energien dafür aufgewendet.

In dieser Broschüre werden wir zum besseren Verständnis auf die wissenschaftlich einwandfreien Bezeichnungen von Nanomaterialien und Nanoobjekten verzichten und meist den Begriff „Nanoteilchen“ verwenden.



Erst heute weiß man, dass selbst in alten Kirchenfenstern Nanotechnologie steckt: Für die Rotfärbung sorgt Gold in Nanoform. (Bild: © leiana, Fotolia.com)



Ein schon lange genutztes Nanomaterial ist Industrieruß. Er trägt wesentlich zur Verbesserung der Eigenschaften von Reifen bei und dient außerdem als Pigment. (Bild: Christian Kellner, Fotolia)

Nanoteilchen können verschiedenste Formen annehmen und sehr uneinheitlich gestaltet sein. Immer aber besitzen sie im Verhältnis zu ihrer Masse eine sehr große Oberfläche und meist eine geringe Anzahl von Atomen oder Molekülen, woraus sogenannte Quanteneffekte resultieren. Aus diesen Gründen unterscheiden sich ihre Eigenschaften deutlich von einem Material derselben chemischen Zusammensetzung, das nicht nanoskaliert ist. Nano-Goldpartikel beispielsweise schimmern rot, Nano-Keramiken sind biegsam wie Folien – allesamt Eigenschaften, die sie für völlig neue Anwendungen brauchbar machen.

Hier steckt Nano drin

Nanomaterialien werden bereits vielfältig genutzt – von Spezialgebieten in der Medizin bis zu Alltagsprodukten wie Hautcremes und Wandfarben. Zu den klassischen, schon lange in großen Mengen hergestellten Nanomaterialien zählt zum Beispiel der als „Carbon Black“ bezeichnete Industrieruß. Carbon Black steckt in Autoreifen und erhöht deren Abriebbeständigkeit, Haftung und Elastizität. Außerdem ist Carbon Black ein gängiges Schwarzpigment für Tinten, Lacke, Kunststoffe und vieles mehr. Ein weiteres Beispiel für schon länger in großen Mengen genutzte Nanomaterialien sind die künstlich hergestellten Kieselsäuren, chemisch: Siliziumdioxid. Als Füllstoff

Nanoteilchen in der Medizin

In der Medizin gibt es viele Anwendungen für Nanomaterialien: Da Silberionen Bakterien töten können, was schon seit mehr als 2000 Jahren genutzt wird, werden medizinische Geräte und andere Gebrauchsgegenstände (Computertastaturen, Spülmaschinen, bis hin zu Socken) heutzutage mit Nanosilber beschichtet. Nanopartikel sollen außerdem zukünftig als winzige Transportmittel für Medikamente eingesetzt werden, die Wirkstoffe durch den Körper steuern und erst am Zielort freisetzen. Das senkt das Risiko von Nebenwir-

kungen. In der Tumorbehandlung erzielen Nanopartikel aus Eisenoxid schon erste Erfolge. Sie werden direkt in die Geschwüre gespritzt und erwärmen sich bei Anlegen eines äußeren Magnetfeldes. Die damit erzielte Hitze tötet dann die Tumorzellen ab. Ähnlich funktioniert die Nutzung von Nano-Eisenoxidteilchen in speziellen Klebstoffen, die durch Mikrowellen, quasi auf Kommando, schnell und effektiv aushärten, ohne dass sich die umgebenden Bauteile erhitzen.

verstärken sie Silikonkautschuk und verdicken zum Beispiel Druckfarben und Zahnpasten. Auch Papier für hochglänzende Ausdrücke enthält diese Kieselsäuren.

Pulversuspensionen aus Siliziumdioxid-, Aluminiumoxid- und Ceroxid-Nanopartikeln wiederum werden in der Elektronikindustrie zum Reinigen und Polieren von Silizium-Wafern eingesetzt, jenen Scheiben, die für Computerchips oder auch für Solarzellen Verwendung finden.

Nanopartikel aus Titandioxid und Zinkoxid dienen in Sonnencremes und in Sonnenschutz-Textilien als wirksame UV-Filter. In Farben und Lacken, aber auch in Lippenstiften und anderen Kosmetikprodukten sorgen Nanoteilchen als Pigmente für Glitzer- und Farbeffekte.

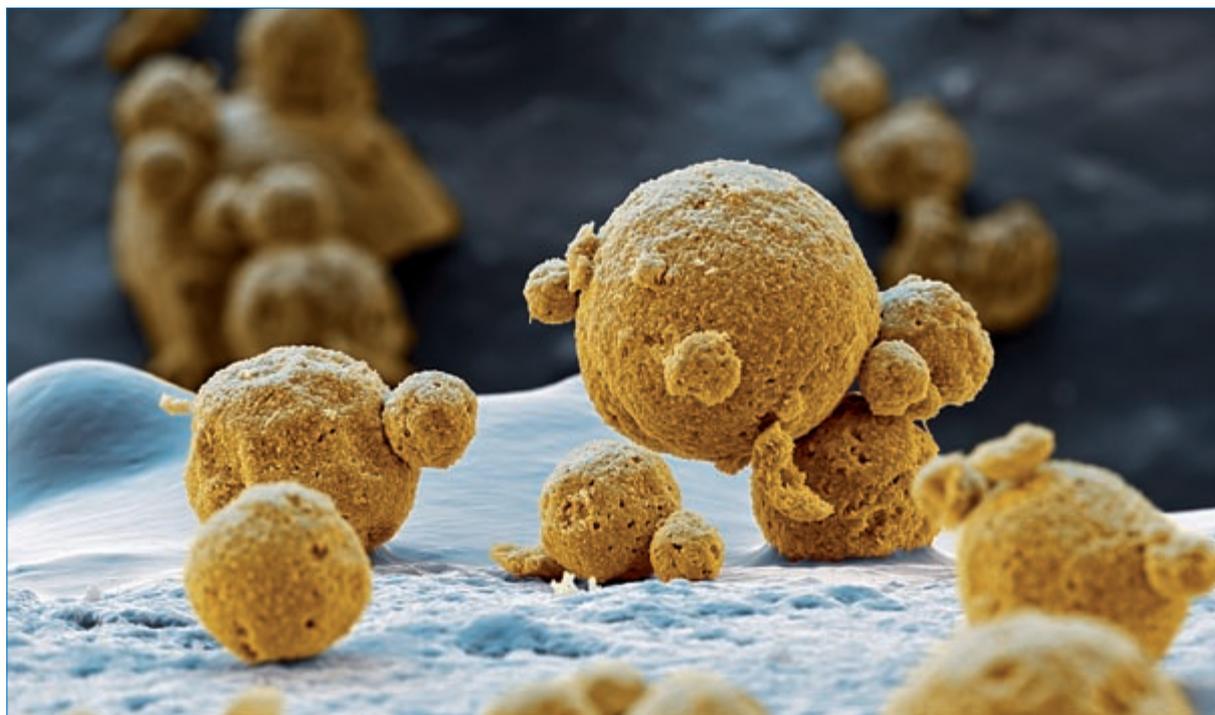
Magnetische Flüssigkeiten, sogenannte Ferrofluide, enthalten Nanoteilchen aus Eisenoxiden. Sie werden beispielsweise zur Kühlung in Lautsprecherboxen und als flüssiges Dichtungsmaterial eingesetzt.

Organische Materialien, in die anorganische Nanopartikel fest eingebettet sind, sind ebenfalls schon im Einsatz. Bei diesen Verbundwerkstoffen greift man auf ein Grundprinzip der Natur zurück. Feinstrukturen in der Größenordnung von einigen Nanometern, in denen sich anorganisches Mineral mit organischem Kitt miteinander

verbindet, sind der Grund für die außerordentliche Stabilität von Knochen, Zahnschmelz und Perlmutter. Als Bindemittel verbessern diese Verbundwerkstoffe die Qualität von Lacken, Farben und Verputzmaterialien. Auch in Klebstoffen und für Beschichtungen von Leder, Holz und Textilien werden sie genutzt.

Diese Beispiele geben nur eine kleine Auswahl aus der Anwendungspalette der modernen Nanotechnologie. Daneben helfen Nano-Katalysatoren der Chemieindustrie Ressourcen zu schonen – auch der Autokatalysator kommt mit weniger Platin aus, wenn er das Edelmetall in Nanoform enthält. Eine wesentliche Rolle spielen Nanomaterialien auch in der Energietechnik, etwa bei der Herstellung von Energiespeichern und bei der Entwicklung besserer Solarzellen.

Die hier aufgezählten Anwendungen und Möglichkeiten zeigen, dass der Mensch mit diesen neuen Materialien in direkten Kontakt kommen kann. Daher gilt es, die Nanomaterialien vorsorglich auf eventuelle Auswirkungen auf die Gesundheit zu untersuchen sowie mögliche Effekte auf die Umwelt zu beachten. Im Projekt NanoCare haben die Forscher sich speziell der gesundheitlichen Aspekte angenommen, indem sie mögliche Belastungen am Arbeitsplatz untersucht sowie verschiedene biologische Tests durchgeführt haben, um negative Einflüsse auf die Gesundheit möglichst ausschließen zu können.



Elektronenmikroskopische Aufnahme von nano- bis mikrometeregroßen Metalloxid-Partikeln, die als Energiespeicher in Lithium-Ionen-Batterien eingesetzt werden. Die Lithium-Ionen sind in das Metalloxid eingeschlossen. Dadurch entsteht kein brennbares Lithium und die Batterien sind sicherer. (Bild: BASF)

Das Risiko abschätzen und begrenzen

Über die heute auf dem Markt befindlichen Nanomaterialien weiß man schon eine ganze Menge. Nanomaterialien sind eine besondere Form von Chemikalien und fallen damit unter die bestehenden gesetzlichen Regelungen der Chemikalien-, Medikamenten-, Lebensmittel-, Kosmetik- und Waschmittelverordnung sowie unter viele weitere Regularien.

Die ersten kompletten Anmeldungen von großvolumigen Produkten, die unter dem neuen europäischen Chemikaliengesetz REACH eingereicht wurden, betreffen Nanomaterialien. Dennoch können bei neuen Nanomaterialien eventuell Effekte auftreten, die mit den bisherigen Methoden nicht erkannt werden. Gerade da hat NanoCare angesetzt und Standardprozeduren entwickelt, um Effekte untersuchen zu können, die möglicherweise nanospezifisch sind.

Es gilt: Neue Technologien mit neuen Anwendungen werfen immer auch Fragen zu ihrer Sicherheit auf. Die aktuelle Sicherheitsforschung zu Nanomaterialien hat daher das Ziel, Antworten auf diese Fragen zu finden und somit Nanomaterialien noch sicherer zu machen.

Der Risikobegriff

Bevor neue Produkte auf den Markt kommen, müssen die Hersteller ein mögliches Risiko für Mensch und Umwelt abschätzen. Das gilt natürlich auch für Nanomaterialien. Bei dieser Abschätzung betrachten sie einerseits das Gefährdungspotenzial, das sich aus den Materialeigenschaften herleitet, und andererseits das Ausgesetztsein des Menschen oder der Natur gegenüber diesem Material, die sogenannte Exposition.

Ob eine Substanz die Gesundheit schädigt, hängt nicht nur von ihren Eigenschaften ab, sondern maßgeblich auch von der Menge, die ein Lebewesen aufnimmt. Das bedeutet aber auch: Je mehr wir über die Eigenschaften eines Stoffes wissen und je besser wir ihn etwa am Arbeitsplatz oder in der Umwelt nachweisen können, desto besser können wir ein mögliches Risiko abschätzen und uns, wenn notwendig, davor schützen. Genau dieses Ziel haben die Wissenschaftler im NanoCare-Projekt verfolgt.

Die Dosis bestimmt die Giftigkeit

Die gesundheitliche Beeinträchtigung durch Chemikalien, aber auch durch andere Stoffe, hängt von deren Konzentration am Wirkort ab. Schon vor 500 Jahren hat Paracelsus erkannt, dass „all Ding' sind Gift und nichts ohn' Gift; allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift ist.“ Ein gesundheitliches Risiko ergibt sich da-



Bevor Nanomaterialien in den Handel kommen, werden sie wie alle anderen neuen Produkte auf eventuelle Gefahren für Mensch und Umwelt geprüft. Bestehende Verordnungen gelten auch für Nanoprodukte. (Bild: Matty Symons, Fotolia)



Das Risiko wird als Produkt aus Exposition und Gefährdung definiert. (Bild: Harald Krug)

her aus dem Gefährdungspotenzial (Wirkung) und der möglichen Aufnahme (Exposition). Ist einer der beiden Parameter gleich Null, besteht auch kein Risiko. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn das Material nicht freigesetzt werden kann.

Ergebnisse und Erkenntnisse aus NanoCare

Partikelherstellung und -charakterisierung

Die untersuchten Nanomaterialien gehörten drei unterschiedlichen Gruppen an:

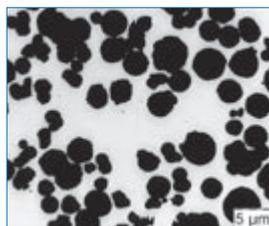
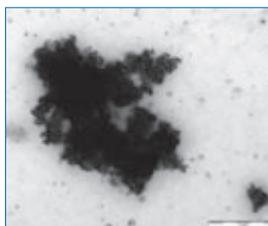
- Industrieruß „Carbon Black“ als Nanomaterial aus reinem Kohlenstoff
- Metalloxide, darunter neben anderen Titandioxid, Cerdioxid und Zinkoxid
- die Salze Bariumsulfat und Strontiumcarbonat

Um die Materialeigenschaften zu charakterisieren, wurden Größe und Größenverteilung sowie der Aggregations- und Agglomerationsgrad der Nanomaterialien bestimmt. Gemessen wurden außerdem der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit, die Feststoffkonzentration sowie das Oberflächenpotenzial der Nanopartikel in wässriger Suspension.

Wichtig: Vergleichbarkeit der Ergebnisse

Als Vergleichsmaterial verwendeten die Wissenschaftler des Forschungsprojektes NanoCare zwei bereits gut untersuchte Nanomaterialien: Titandioxid und den Industrieruß Carbon Black. Die im Rahmen von NanoCare generierten Daten zu den bis dahin weniger gut untersuchten Nanomaterialien wurden mit den Ergebnissen von Carbon Black und Titandioxid verglichen.

Außerdem erarbeiteten die Projektpartner sogenannte Standardarbeitsanweisungen (standard operation procedures, SOPs) für die Untersuchung von Nanomaterialien, die häufig wiederkehrende und immer gleiche Vorgehensweisen genau beschreiben. Diese SOPs stellen sicher, dass alle beteiligten Labore die Nanomaterialien und die bei den Tests verwendeten lebenden Zellen und andere Hilfsmittel gleich behandeln und so zu vergleichbaren Ergebnissen kommen. Die im Projekt NanoCare erstellten Standardarbeitsanweisungen stehen im Internet auf www.nanopartikel.info zum Download bereit.



Elektronenmikroskopische Aufnahmen von industriell hergestelltem Ruß (Carbon Black, links) und Titandioxid: Diese beiden Substanzen sind bereits gut charakterisiert und dienen daher im NanoCare-Projekt als Vergleichsmaterialien. (Bilder: NanoCare-Konsortium)



Apparatur zur Herstellung von Nanopartikeln. Schon geringe Unterschiede in Partikelgröße oder -form können das Verhalten von Nanopartikeln im Körper beeinflussen. (Bild: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH)

Die zentralen Inhalte des NanoCare-Projektes

Partikelherstellung

Gezielte Modifikation der zu untersuchenden Partikel nach Größe, Oberflächenladung und ihrer Oberflächenchemie. Zusätzliche Parameter sind die Oberflächenbeladung (Coating) und die Hydrophobierung.

Partikelstandardisierung und -charakterisierung

Besonders wichtig war, dass alle Partner mit dem gleichen Material arbeiten. Nur so ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet. Dazu mussten auch die Anlagen und Methoden standardisiert werden.

In-vitro-Modelle

Auswahl geeigneter Zellen/Zelltypen für die Untersuchungen, zum Beispiel Fresszellen der Lunge, Epithelzellen und Ko-Kulturen, und Definition gültiger Biomarker für das Effektmontoring (Bestimmung des Gefährdungspotenzials).

In-vivo-Validierung im Tiermodell

Überprüfung der erhaltenen Ergebnisse in wenigen Tierversuchen und Extrapolation von in vitro zu in vivo.

Realität: Expositionserfassung am Arbeitsplatz

Anzahl, Agglomeratstabilität und Ausbreitung von Nanopartikeln am Arbeitsplatz sowie Anpassung und Neuentwicklung von Messmethoden.

Datenaufbereitung, -interpretation und Wissensbasis

Analyse der in NanoCare erhobenen Daten sowie relevanter Ergebnisse aus der Fachliteratur, Pflege einer Wissensbasis für interne und externe Nutzung.

Wissenstransfer: Kommunikation und Dialog

Interner Dialog und Wissenstransfer zur Strukturierung der Forschungsergebnisse, Dialogveranstaltungen und Expertentreffen sowie Webportal, Veröffentlichungen im Internet aber auch als Zeitschriftenbeiträge.

Wechselwirkungen zwischen Nanopartikeln und Zellen

Wie oben bereits erwähnt, sind alle Stoffe giftig, allein die Konzentration macht den Unterschied aus. Ziel der Toxikologen von NanoCare war es daher festzustellen, ab welcher Dosis in den eingesetzten Prüfsystemen keine Schädigung mehr auftritt. Sie sind dafür zwei verschiedene Wege gegangen: Zum einen haben sie die Substanzen *in vitro* getestet, wörtlich übersetzt bedeutet dies „im Glas“, also in Laborversuchen mit isolierten Zellen außerhalb eines lebenden Organismus. Zum anderen haben sie ihre Studien im lebenden Tier, also *in vivo* durchgeführt.

In-vitro-Tests: Zelltypen und biologische Effekte

Für die toxikologischen Tests verwendeten die Forscher verschiedene Zelltypen, darunter Zellen aus den ober-



Die Lunge gilt als die Haupteintrittspforte für Nanoteilchen aus der Luft. Im Rahmen des NanoCare-Projektes wurde daher im Tierversuch die Aufnahme durch Atmung untersucht. (Bild: Sebastian Kaulitzki, Fotolia)

ten Schichten von Lunge, Haut und Darm, aber auch Fresszellen des Immunsystems sowie Zellen aus den innersten Schichten der Lymph- und Blutgefäße. Untersucht wurde, wie die Zellen auf Nanopartikel reagieren, ob sie beispielsweise aggressive Sauerstoffradikale oder andere Substanzen produzieren, die auf Stress- und Entzündungsreaktionen der Zelle hinweisen. Stirbt die Zelle oder kann sie sich vor den Nanopartikeln schützen? Haben die Nanopartikel einen Einfluss auf die Gene und auf die Vermehrung der Zellen? Lagern sich die Nanopartikel in den Zellen ab beziehungsweise wo docken sie an deren Oberfläche an? Um solche Fragen zu klären, standardisierten die NanoCare-Forscher bestehende Testverfahren und entwickelten auch völlig neue.

In-vivo-Tests: Tierversuch zur Aufnahme durch Atmung

Im Tierversuch mit Ratten wurde die Aufnahme von Nanoteilchen aus der Luft untersucht. Die Ratten atmeten verschiedene Nanopartikel in unterschiedlichen Konzentrationen ein. Zum Vergleich wurden dieselben Studien mit Reinaluft durchgeführt. Die NanoCare-Forscher analysierten dabei den Gehalt von Proteinen und die Aktivität von Enzymen in der Lungenspülflüssigkeit und im Lungengewebe der Ratten. Außerdem untersuchten sie unter dem Mikroskop, ob sich das Lungengewebe und der Atemtrakt der Tiere krankhaft verändert hatten. Ermittelt wurde ferner, ab welcher Konzentration die Nanopartikel einen Effekt zeigten. Die Ergebnisse aus den *In-vivo*-Tests wurden mit jenen aus den *In-vitro*-Modellen verglichen.

Multitalent Titandioxid

Am Beispiel Titandioxid sollen im Folgenden die verschiedenen gesundheitsbezogenen Aspekte unseres Projektes verdeutlicht werden. Titandioxid, chemische Formel: TiO_2 , ist das neunthäufigste Mineral der Erdkruste. Es kommt in Gesteinen und eingebunden in anderen Mineralen vor. Zur industriellen Verwendung wird es mit speziellen Raffinierungsverfahren aufbereitet und liegt dann als weißliches Pulver vor. Titandioxid ist chemisch stabil, hitzebeständig und besitzt einen hohen Brechungsindex. Es ist vielseitig verwendbar, zum Beispiel als wichtiges Weißpigment für Farben, Lacke, Textilien, Kunststoffe und Papier. Unter der Kennzeichnung E171 wird es Nahrungsmitteln zugesetzt und findet sich außerdem in Medikamenten, Zahncremes und vielen anderen Alltagsprodukten.



Herkömmliches Titandioxid dient als Weißpigment in Wandfarben und vielen anderen Produkten. (Bild: Sandro Götze, Fotolia)

Nanostrukturiertes Titandioxid dagegen besitzt völlig andere physikalische Eigenschaften als sein großer Bruder. Es ist nicht mehr weiß, sondern durchsichtig. Es kommt so nicht in Lebensmitteln zum Einsatz, sondern wird als effektiver UV-Filter in Sonnencremes, Textilien, Holzschutzmitteln und vielen anderen Produkten verwendet. Aufgrund seiner Energie-absorbierenden Eigenschaften könnte nanostrukturiertes Titandioxid zukünftig auch in Solarzellen eingesetzt werden. Ultrakleine Titandioxidpartikel sind außerdem Bestandteil von selbstreinigenden Oberflächen, da sie als Mini-Katalysatoren organischen Schmutz abbauen.

Gesunde Haut schützt gut

Da nanostrukturiertes Titandioxid wegen seiner Schutzwirkung vor UV-Strahlung in vielen Sonnencremes eingesetzt wird, stellt sich selbstverständlich die Frage



Nanopartikel in Kosmetika gelten als unproblematisch, da sie nicht durch gesunde Haut in den Körper eindringen. (Bild: Victoria Alexandrova, Fotolia)



Die Haut ist eine gute Barriere für Nanoteilchen. (Bild: OOO, Fotolia)

nach möglichen Nebeneffekten auf der Haut. Dieser Aspekt stand zwar nicht auf der Liste der Arbeiten im Projekt NanoCare, das große europäische Projekt NANODERM hat sich aber mit dieser Frage beschäftigt und herausgefunden, dass die Nanoteilchen nicht durch die gesunde Haut in den Körper eindringen können. Weitere Information erhalten Sie bei den Wissenschaftlern, die diese Studie durchgeführt haben (www.uni-leipzig.de/~nanoderm/).

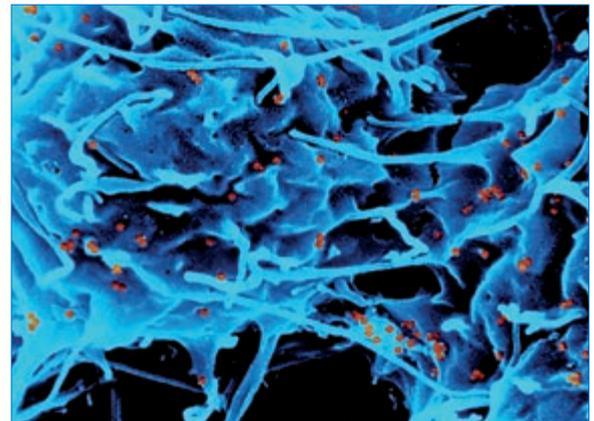
Nanostrukturiertes Titandioxid in Körperzellen

Wie andere Partikel, auch größere oder kleinere, kann nanostrukturiertes Titandioxid von Zellen aufgenommen werden. Es kommt dabei aber wesentlich darauf an, an welcher Stelle des Körpers wir in Kontakt mit solchen Teilchen kommen. Am empfindlichsten ist die Lunge, aber dort sind die Fresszellen unseres Immunsystems darauf spezialisiert, fremde Eindringlinge im wahrsten Sinne des Wortes zu „fressen“ und nach außen zu transportieren. Es wurde gezeigt, dass Fresszellen in vitro einatembare Partikel – sowohl größere als auch kleinste – aufnehmen und so konnten deren Wirkungen modellhaft analysiert werden.

In-vitro-Studien mit nanostrukturiertem Titandioxid

In-vitro-Studien dienen dazu, zelluläre Reaktionen zu untersuchen und Wirkmechanismen aufzuklären, um mögliche Effekte im Organismus besser zu verstehen. Der Kontakt einer Zelle mit nanostrukturiertem Titandioxid sowie die Aufnahme der Partikel in die Zelle lösen typische Zellreaktionen aus. In den Experimenten der NanoCare-Partner, aber auch in Studien anderer Labors, wurde deutlich, dass nanostrukturiertes Titandioxid

- die Zellvitalität, also die „Gesundheit“ der Zelle, nur in sehr hohen Konzentrationen beeinflusst.



Eine Fresszelle während der Entsorgung von Nanopartikeln. (Bild: Harald Krug)

- Entzündungsreaktionen der Zellen auslöst. Diese Reaktionen sind die typische Antwort von Zellen auf einen Eindringling. Sie dienen dazu, den Fremdkörper zu bekämpfen, seine Ausbreitung zu verhindern oder den Schaden zu reparieren.
- auch die Bildung von reaktiven Sauerstoffverbindungen und Radikalen fördert.

Die zentralen Erkenntnisse unserer Studien sind, dass eine biologische Wirkung der Nanoteilchen von ihrer Struktur, Form und Größe abhängt. Alle beobachteten Effekte sind ausschließlich bei sehr hohen Konzentrationen aufgetreten, bei Konzentrationen also, die im Alltagsgebrauch nicht vorkommen. Dennoch sind diese Beobachtungen von Bedeutung, da sie helfen, die prinzipielle Wirkung von Nanoteilchen auf lebende Zellen besser zu verstehen.

In-vivo-Studien: Eingatmetes nanostrukturiertes Titandioxid

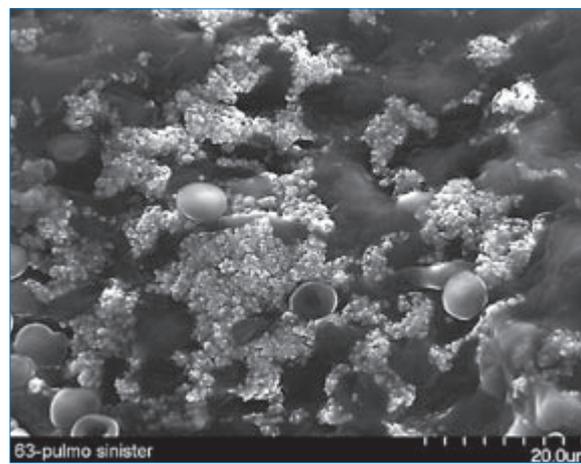
In der Diskussion um mögliche Gesundheitsgefahren durch Nanomaterialien gilt das Einatmen (Inhalation) von Stäuben als besonders kritisch. Daher wurden neben den In-vitro-Versuchen mit Zellkulturen auch Inhalationsstudien mit Labortieren durchgeführt. Mit unseren Experimenten wurden die biologischen Effekte, insbesondere die Entzündungsreaktion, nach wiederholter Aufnahme von Nanomaterialien untersucht. Kurz zusammengefasst lauten die Ergebnisse dieser Experimente:

- In den getesteten niedrigen Konzentrationen (die für den Alltag allerdings schon als hoch gelten) rufen die Nanopartikel keine krankhaften Reaktionen in der Lunge hervor.
- Höhere Konzentrationen lösen im Tierversuch eine Entzündungsreaktion aus, die sehr gut mit den Ergebnissen der In-vitro-Experimente übereinstimmt.
- Es war deutlich nachweisbar, dass größere Partikel bei gleicher Masse geringere Reaktionen hervorrufen als die Nanopartikel.

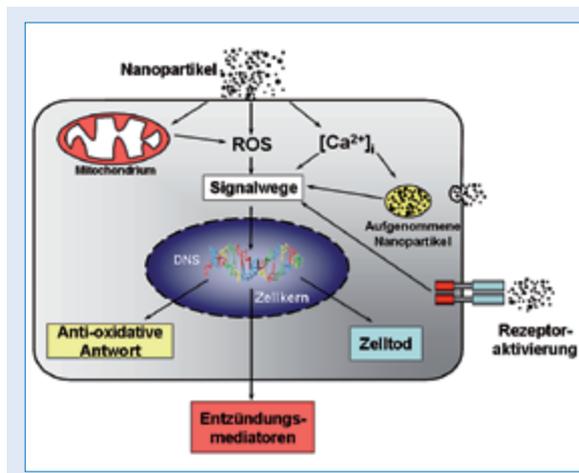
- Die Entzündungsreaktionen waren aber nicht von Dauer, sondern klangen nach wenigen Tagen wieder vollständig ab.

Es muss an dieser Stelle deutlich gemacht werden, dass wir mit unseren Experimenten nur die Auswirkungen hoher Konzentrationen über eine relativ kurze Zeit untersucht haben. Chronische, also lebenslange Behandlungen mit niedrigen Konzentrationen müssen noch getestet werden.

Außerdem wurde die mögliche Verteilung der Titandioxid-Teilchen aus der Lunge in andere Teile des Körpers erforscht. Dazu wurde der Titangehalt in der Lunge, Leber, Niere, Milz, im Hirn und in den Lymphknoten des Mittelfellraums und im Bereich zwischen den Lungenflügeln gemessen. Außer in der Lunge fand sich Titan nur in den Lymphknoten des Mittelfellraumes. Dieser Abtransport in die Lymphknoten ist ein Element der Lungenabwehr und wird auch bei größeren einatembaren Partikeln beobachtet. In den anderen Organen war kein Titan messbar.



Abgelagertes Nanomaterial (hell) in der Lunge nach Inhalation eines Staubes aus Titandioxid. (Bild: BASF)



So wirken Nanopartikel aus Titandioxid auf Körperzellen: Bei einer hohen Belastung mit Nanoteilchen bildet die Zelle aggressive Sauerstoffverbindungen (ROS, reactive oxygen species). Außerdem erhöht sich der Einstrom von Kalzium-Ionen (Ca^{2+}) in die Zelle. Dadurch werden in der Zelle verschiedene Signalwege ausgelöst, die schlimmstenfalls im Zelltod enden. Über biochemische Substanzen (Entzündungsmediatoren) kann die Zelle aber auch Entzündungsreaktionen auslösen, die die Schadstoffe beseitigen oder den Schaden begrenzen.

(Bild: verändert nach HF Krug et al., 2006)



Untersuchungen an einem Modellreaktor zur Beurteilung der strömungstechnischen Bedingungen bei der Herstellung von Nanomaterialien.
(Bild: Bayer MaterialScience)

Freisetzung von Nanopartikeln bei der Produktion von Nanomaterialien

Ein weiterer Schwerpunkt im NanoCare-Projekt waren Untersuchungen zur Exposition an Arbeitsplätzen während der Herstellung und Weiterverarbeitung von Nanomaterialien. Dabei berücksichtigten die Wissenschaftler auch die Verteilung der untersuchten Nanopartikel in der Luft und mögliche Veränderungen dieser Partikel. Dieser Teil des Projektes untergliederte sich in vier Punkte:

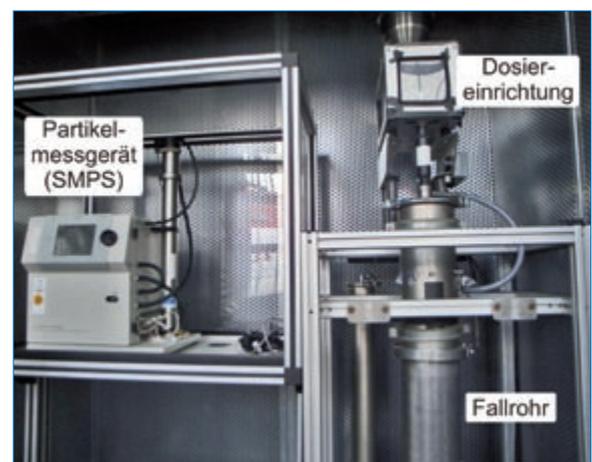
- Bildung von Stäuben und Stabilität von Agglomeraten
- Computermodellierung der Partikelausbreitung bei einer ungewollten Freisetzung
- Entwicklung der Messtechnik und Messmethodik
- Messung der Konzentration von Nanopartikeln am Arbeitsplatz

Bildung von Stäuben und Stabilität von Agglomeraten

Während der Herstellung lagern sich die in hohen Konzentrationen vorliegenden Nanopartikel bereits im geschlossenen Reaktor zu größeren Aggregaten und Agglomeraten zusammen. Während der Weiterverarbeitung könnten die Agglomerate aber Kräften ausgesetzt sein, die sie wieder in kleinere Fragmente oder sogar in die Ausgangsteilchen zerlegen. Da kleine Partikel tiefer in die Lunge gelangen können als größere, spielt die Stabilität der Agglomerate in der Risikobewertung und für den Abscheideort in der Lunge eine wichtige Rolle.

Um die Stabilität der Aggregate und Agglomerate zu untersuchen, verwendeten die NanoCare-Forscher zwei

verschiedene Verfahren. Zum einen gaben sie Pulver über eine Rüttelschiene in ein Fallrohr, das im Gegenstrom mit sauberer Luft durchpustet wurde. Dieses Verfahren simuliert beispielsweise die auftretenden Kräfte – hier leichte Scherkräfte – beim Umschütten von Pulvern. Gemessen wurden dabei die Anzahl und die Größenverteilung der Teilchen im Gegenstrom. Im zweiten Verfahren wurden die Nanomaterialien großen Scherkräften ausgesetzt. Dafür wurde das Pulver zunächst mit Luft vermischt und dann durch eine Düse gepresst. Dieser



Apparatur zur Untersuchung der Stabilität von Agglomeraten aus Nanoobjekte: Das zu untersuchende Pulver wird über die Dosiereinrichtung in das Fallrohr gegeben. (Bild: IGF)

Versuch simuliert den Fall, dass Nanoteilchen durch eine Leckage aus einem unter Druck stehenden Behälter freigesetzt werden.

Im Fallrohr wurden acht Materialien in insgesamt 19 Variationen untersucht. Dabei erhöhte sich bei acht der untersuchten Materialvarianten die Zahl der Nanopartikel deutlich. Insgesamt wurde bei elf Varianten beobachtet, dass größere Agglomerate in kleinere Fragmente zerfallen. Auffällig war auch, dass die verschiedenen Materialien unterschiedlich stark staubten. Die Konzentrationen in der Luft lagen zwischen Tausend und mehreren Millionen Nanopartikeln pro Kubikzentimeter. Zum Vergleich: In Gebäuden befinden sich üblicherweise etwa 10.000 Nanopartikel pro Kubikzentimeter Raumluft, in der Nähe von viel befahrenen Straßen können die Werte auf 100.000 Nanopartikel pro Kubikzentimeter steigen. Beim Pressen durch die Düse hing die Zerlegung der Agglomerate ebenfalls stark von dem jeweils verwendeten Nanomaterial ab. Während einige Materialien die Düse nahezu unverändert passierten, zerfielen andere mit steigendem Druck immer stärker in kleinere Fragmente. Diese für Nanomaterialien relativ neuen Methoden zum Staubungsverhalten können wichtige Hinweise für eine Risikoanalyse insbesondere am Arbeitsplatz geben.

Computersimulation der Partikelausbreitung bei einer ungewollten Freisetzung

Punktuellen Messungen von Partikeln am Arbeitsplatz sagen relativ wenig darüber aus, wie schnell und wohin sich Partikel in einem Raum verteilen. Was passiert beispielsweise bei einem Leck, wenn Nanopartikel ungewollt aus einem Behälter austreten? Um diese Situation vorherzusagen zu können, haben Wissenschaftler die Strömung der Teilchen am Computer simuliert. Solche Computer-

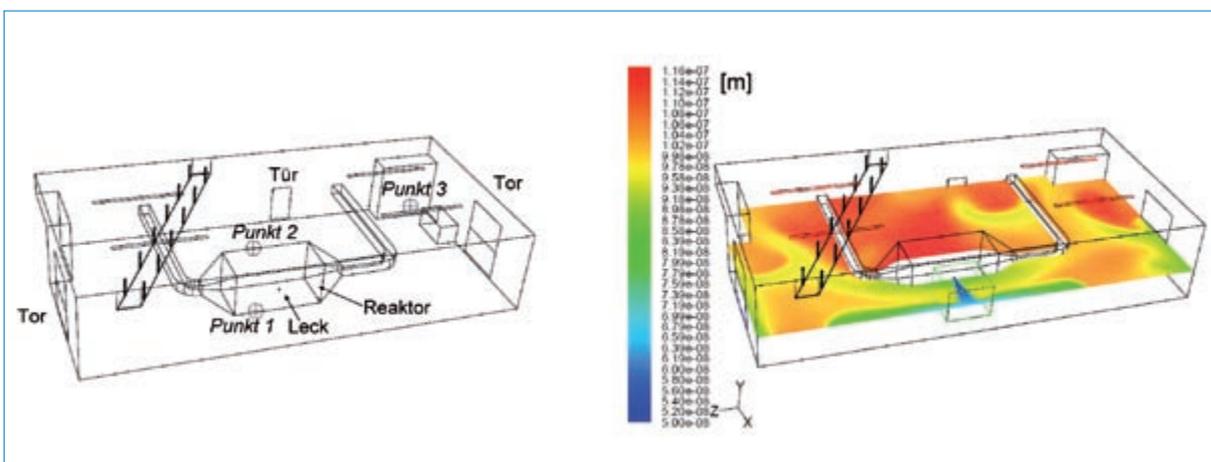
modelle berücksichtigen verschiedene Gegebenheiten, etwa die Durchlüftung des Raumes – stehen die Türen offen oder sind sie geschlossen? –, die Temperatur des ausströmenden Luft-Teilchen-Gemisches (Aerosol) und die Größenverteilung der freigesetzten Partikel, die sich mit der Konzentration der Teilchen in der Luft durch Aggregation und Agglomeration verändert. Die Simulationen helfen, Belastungen am Arbeitsplatz vorherzusagen und zu begrenzen.

Für jeden beliebigen Punkt im Raum liefert das Computermodell Daten. Es berechnet beispielsweise, welche Belastung in einer Höhe von einem Meter, der Atemhöhe von sitzenden Personen, herrscht. Die Computersimulation hat auch gezeigt, dass zum Beispiel eine veränderte Temperatur des freigesetzten Aerosols die Ausbreitung der Partikel im Raum stark beeinflusst, gegebenenfalls sogar begünstigt, und sich somit die Belastung von Arbeitern deutlich erhöhen würde.

Entwicklung von Messtechnik und Messmethodik

Die Messung von Nanopartikeln am Arbeitsplatz ist nicht einfach. Die verwendeten Messgeräte sollen selbst kleinste Teilchen noch zuverlässig erfassen. Zudem müssen die möglicherweise aus einem Prozess freigesetzten Nanopartikel von bereits in der Umgebungsluft vorhandenen Nanopartikeln unterschieden werden können.

Die NanoCare-Experten benutzten unterschiedliche Messgeräte. Um sicherzustellen, dass sie die damit bestimmten Daten untereinander vergleichen können, haben sie zu Beginn des Projektes systematische Vergleichsmessungen durchgeführt. Die Geräte mussten dafür simultan Aerosole aus Kochsalz sowie aus Diesel-



Computermodellierung für den Fall, dass Nanopartikel während der Produktion ungewollt aus einem Leck austreten. Die Farben geben den mittleren Partikeldurchmesser in einer Höhe von 1,50 Meter wieder. Blau steht für kleine Partikel, rot für größere, agglomerierte Partikel. (Bild: IUTA, Duisburg)

ruß-Agglomeraten messen. Bei der Größenbestimmung der Teilchen stimmten die Geräte gut überein. Die gemessenen Gesamtkonzentrationen wichen jedoch um bis zu 30 Prozent voneinander ab.

Auf dieser Basis wurden Messstrategien für die Bestimmung von ungewollt freigesetzten Partikeln am Arbeitsplatz in der Industrie erarbeitet. Dafür muss man zunächst wissen, wie viele Partikel von draußen an den Arbeitsplatz in die Werkshalle gelangen. Die Hintergrundbelastung lässt sich bestimmen, indem man im Vorfeld der eigentlichen Messungen durch Innenraum- und Außenmessungen den Anteil der Partikel in der Außenluft bestimmt, die in den Innenraum gelangen, wobei während der Innenmessungen keine Nanopartikel produziert werden dürfen. Während der tatsächlichen Messung der Belastung am Arbeitsplatz wird zeitgleich auch an der Außenluft gemessen und so die Hintergrundkonzentration abgeschätzt. Diese Hintergrundbelastung dient dann als Bezugsgröße. Erst wenn die Messwerte am Arbeitsplatz deutlich höher sind als die Hintergrundbelastung, deutet das auf ein Leck oder ein anderes Problem hin. Dabei müssen allerdings sämtliche Störungen – etwa in der Halle fahrende Gabelstapler und Arbeiten

Messung der Belastung am Arbeitsplatz

Die im Rahmen von NanoCare entwickelte Messstrategie wurde an insgesamt elf Arbeitsplätzen an vier Industriestandorten mit Herstellung, Verpackung und Verarbeitung von Nanomaterialien eingesetzt. An keinem dieser Arbeitsplätze wurde eine signifikante Erhöhung der Konzentration von Nanopartikeln oder kleineren Aggregaten beziehungsweise Agglomeraten (unter 400 Nanometern) festgestellt. Somit kann festgehalten werden, dass es an den untersuchten Industriestandorten keine signifikante Belastung durch Nanopartikel aus der Produktion gibt.

mit Schweißgeräten – berücksichtigt werden. Basierend auf den Erfahrungen aus diesen Untersuchungen haben die NanoCare-Wissenschaftler eine Messstrategie entwickelt, die für die standardisierte Erfassung von Nanopartikeln am Arbeitsplatz zur Verfügung steht.



Partikelmessung am Arbeitsplatz in der Industrie.
(Bild: Evonik)



Großes Gerät, das kleinste Objekte sichtbar macht: Ein Wissenschaftler am Rasterkraftmikroskop. (Bild: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH)

Das Fazit des Projektes

Das NanoCare-Projekt hat Wesentliches erreicht: Für die Bestimmungen der Partikelbelastung während der Produktion von Nanomaterialien wurden Messstrategien entwickelt und an realen Arbeitsplätzen in der Industrie getestet. Es konnten keine Belastungen der Mitarbeiter durch Nanomaterialien nachgewiesen werden. Weiterhin wurden die Stabilität von Agglomeraten unter relevanten Bedingungen sowie die Fähigkeit von Pulvern Staub freizusetzen untersucht. Beides sind wichtige Parameter der Risikoanalyse. Damit die Ergebnisse toxikologischer Studien in Zukunft besser vergleichbar werden, wurden Standardarbeitsanweisungen formuliert. Diese sind wie andere wichtige Informationen für alle zugänglich im Internet publiziert.

Im NanoCare-Projekt wurden insgesamt elf verschiedene Nanomaterialien toxikologisch genauer untersucht. Für fast alle Materialien konnten Schwellenwerte definiert werden, unterhalb derer keine Effekte festgestellt wurden. Dies ist die Voraussetzung für die Festlegung von Grenzwerten. Das Durchdringen von Zellbarrieren wie der Luft-Blut-Schranke in der Lunge konnte mit den im Rahmen von NanoCare eingesetzten Methoden nicht festgestellt werden. Es bleibt aber festzuhalten, dass die untersuchten Partikel im In-vitro-Experiment von allen Zelltypen aufgenommen werden konnten. Die untersuchten Nanomaterialien wurden bei den In-vivo-Studien allerdings nur in Fresszellen der Lunge gefunden, deren natürliche Aufgabe es ist, Fremdstoffe aufzunehmen und aus der Lunge zu entfernen. In hoher Dosis führten die Materialien zu Entzündungen, die eine typische Reaktion auf fremde Partikel und nicht nanospezifisch sind. Die Tiere erholten sich nach einiger Zeit.

Die getesteten Nanomaterialien zeigten zum Teil unterschiedliche biologische Wirkungen. Die Wirkung von „Nano“ lässt sich daher nicht pauschal beurteilen, sondern hängt von dem jeweiligen Nanomaterial ab, zum Beispiel von der Materialzusammensetzung, Größe und Struktur.

In fünf Dialogveranstaltungen wurde mit Politikern, Journalisten, Vertretern von Kirchen, Gewerkschaften und anderen gesellschaftlichen Gruppen sowie mit Bürgern über die Chancen und Risiken der Nanotechnologie diskutiert. Für alle, die sich darüber hinaus informieren wollen, gibt es auf www.nanopartikel.info umfangreiche Informationen – auch diese Website ist ein Ergebnis von NanoCare. Im Internet wird eine Wissensbank zur Verfügung gestellt, die ständig weiterentwickelt wird und wesentliche Informationen zu gesundheitlichen Aspekten von Nanomaterialien liefert.

Neue Messmethoden etabliert

Im NanoCare-Projekt wurden Methoden etabliert, mit denen sich die biologische Wirkung von Nanomaterialien messen lässt, sowie Strategien entwickelt, Nanomaterialien am Arbeitsplatz zu messen. Damit wurde eine weitere wichtige Grundlage für die sichere und verantwortungsvolle Entwicklung der Nanotechnologie gelegt.



Nanotechnologie macht neuartige Implantate in der Medizin möglich, etwa Kunstlinsen mit Mini-Wirkstoffdepots zur Behandlung der Augenkrankheit „Grauer Star“. Gerade für solche Anwendungen muss das Risikopotenzial von Nanoobjekten noch besser abgeschätzt werden. (Bild: Flad & Flad Communication Group)

Startschuss für Folgeprojekte

Im NanoCare-Projekt wurden Anwendungen und Messmethoden für den vorsorgenden und nachhaltigen Umgang mit Nanomaterialien entwickelt und die Daten der Öffentlichkeit bei verschiedenen Veranstaltungen in einer verständlichen Form nahe gebracht. So war der Auftrag an die Wissenschaftler im Projekt NanoCare definiert. Die Gesellschaft braucht derartige Informationen, um eine neue Technologie und deren Nutzen besser einschätzen zu können.

Wohlgermerkt: Es gibt keine Innovation und keinen Fortschritt ohne einhergehende Risiken. Der Verbraucher muss diese Risiken aber kennen, um einschätzen und entscheiden zu können, ob er sie akzeptiert, weil der Nutzen die Risiken überwiegt. Das gilt auch für die Nanotechnologie. Dabei bedeutet ein hohes Risiko nicht unbedingt eine Ablehnung. In vielen Bereichen des täglichen Lebens akzeptieren die Verbraucher hohe Risiken einer Technologie, wenn sie darin einen großen Nutzen sehen. Das beste Beispiel dafür ist der Autoverkehr. Mit jeder Fahrt gehen wir das Risiko ein, bei einem Verkehrsunfall tödlich verletzt zu werden.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat das NanoCare-Projekt finanziell gefördert und damit die Grundlage für ein Projekt geschaffen, das in Europa Maßstäbe gesetzt hat. Erstmals haben Wissenschaftler im großen Umfang reproduzierbare Ergebnisse zur biologischen Wirkung von Nanomaterialien erarbeitet.

Damit haben die Forscher schon viel erreicht. Dennoch: Wissen und Nichtwissen liegen oft dicht beieinander. Dies gilt auch für die komplexen Fragestellungen der Nanotechnologie. Immer mehr Wissen lässt uns zugleich ahnen, was wir nicht wissen. Wenn wir das akzeptieren

und zugleich unverdrossen nach immer neuen Antworten suchen, ist dies ein Weg, verantwortlich mit neuen Technologien wie der Nanotechnologie umzugehen. So geht es konsequenterweise weiter: Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat bereits vor dem Projektende von NanoCare entschieden, zwei weitere Förderprogramme aufzulegen, die sich den Themen Umwelt (NanoNature) und Gesundheit (diese Fördermaßnahme heißt ebenfalls NanoCare) widmen und die noch im Jahr 2009 starten werden. In der Risikoforschung zur Nanotechnologie nimmt Deutschland damit international eine Vorreiterrolle ein. In den zukünftigen Forschungsprojekten sollten Untersuchungen zur Aufnahme, Verteilung und Ausscheidung von Nanomaterialien und zur Wechselwirkung mit Zellbestandteilen berücksichtigt werden, um weitere Erkenntnisse zur Risikobewertung dieser Materialien zu erlangen.

Mehr Infos im Internet

Die Wissenschaftler von NanoCare und dessen Folgeprojekten laden Sie ein, einen Blick auf die Website www.nanopartikel.info zu werfen. Hier finden Sie weitere Forschungsergebnisse zur Nanotechnologie in allgemeinverständlicher Form.

Das NanoCare-Konsortium



Bayer MaterialScience



VDI Technologiezentrum

