



Nanopartikel – Anwendungen und mögliche Risiken

**Ministerium für Arbeit und Soziales
des Landes Baden-Württemberg**



Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES

Impressum

Teil 1: Dokumentation der gleichnamigen Veranstaltung vom 23.05.2006

Teil 2: Ergänzende Informationen

Stefan Löchtefeld

iku GmbH

Olpe 39, 44135 Dortmund

Tel. 02 31-3 18 91, Fax 02 31-3 18 94

www.iku-gmbh.de loechtefeld@iku-gmbh.de

Titelfoto: © BASF AG

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung und Ausblick	4
Veranstaltungsdokumentation.....	7
Grußwort Josef Kreuzberger, Regierungspräsidium Stuttgart	8
Grußwort Prof. Dr. Bijan Kouros, Ministerium für Arbeit und Soziales.....	11
Chancen und Grenzen des Einsatzes von synthetischen Nanopartikeln in verbrauchernahen Produkten	13
Kratzfestere Klarlacke bei Mercedes-Benz PKW	19
Funktionelle Textilien	23
Nanotechnologie in Baubeschichtungen – Anwendungen und Risiken.....	31
Nanotechnologie in Sportbeschichtungen	35
Gesundheitliche Aspekte von Nanomaterialien.....	38
Synthetische Nanopartikel aus Sicht des Umweltbundesamtes.....	50
Risikobewertung und Risikokommunikation bei Nanopartikeln in Verbraucherprodukten	52
Perspektiven für das Land Baden-Württemberg: Zusammenfassung der Diskussion zwischen Wissenschaft, Industrie, Umwelt- und Verbraucherverbänden und Verwaltung.....	54
Nanoprodukte und Verbraucherschutz – eine Bestandsaufnahme	59
Was versteht man unter Nanotechnologie?	59
Welche Nanopartikel gibt es?	60
Was versteht man unter Nanoprodukten?.....	61
Was verändert sich durch die Kleinheit der Materialien?.....	61
Welche Nanoprodukte gibt es?.....	62
Welche Produkte soll es in Zukunft geben?.....	63
Welchen Nutzen haben Nanoprodukte?.....	64
Was weiß man über die Auswirkungen von Nanopartikeln auf den Menschen?	65
Können die Produkte unbedenklich genutzt werden?	65
Wie wirken Nanoprodukte auf die Umwelt?.....	66
Welchen Nutzen kann die Nanotechnologie für die Umwelt haben?.....	66
Risikowahrnehmung und Risikokommunikation der Nanotechnologie	67
Ausgewählte weiterführende Literatur	69

Zusammenfassung und Ausblick

Prof. Dr. Bijan Kouros

Ministerium für Arbeit und Soziales des Landes Baden-Württemberg

Am 23. Mai 2006 diskutierten in Stuttgart auf Einladung des Ministeriums für Arbeit und Soziales über 80 Fachfachleute aus Industrie, Wissenschaft, Öffentlichem Gesundheitsdienst und Umweltverwaltung über Anwendungen und die möglichen Risiken der Nanotechnologie.

Ziel der Veranstaltung war, Erkenntnisse über die Exposition der Verbraucher gegenüber synthetischen Nanopartikeln zusammenzutragen und den aktuellen Stand der Forschung über gesundheitliche Auswirkungen von Nanopartikeln sowie die bestehenden Wissenslücken darzulegen. Damit wurde der Dialog über die Chancen und Risiken der Nanotechnologie fortgesetzt.

Nano kommt aus dem Griechischen und heißt übersetzt Zwerg. Ein Nanometer ist ein Millionstel Millimeter. Diese Längeneinheit gibt der Nanopartikel ihren Namen. So klein sie auch sind, so groß und vielfältig sind bereits heute schon ihre Verwendungsmöglichkeiten. Zurzeit sind mehr als 700 Nanoprodukte mit Verbraucherbezug auf dem Markt. Wie die nachfolgenden Beiträge zeigen, sind wichtige Anwendungen aus gesundheitlicher Sicht z.B. die Entwicklung neuer Diagnose- und Therapieverfahren, die Entwicklung neuer und die Optimierung bereits vorhandener Medikamente.

Neue Technologien eröffnen immer neue Möglichkeiten. So ergeben sich durch die nanotechnologische Behandlung neue erwünschte Eigenschaften von Materialoberflächen. Neben den vielfältigen Chancen beinhalten neue Technologien häufig auch Risiken. Dies müssen frühzeitig erkannt werden, um geeignete Maßnahmen zur Risikominimierung herbeizuführen. Nanopartikel haben auch andere biologische Eigenschaften, die unerwünschte gesundheitliche Wirkungen auslösen können. Deshalb sind folgende Fragen zu beantworten: Geht

mit Produkten auf Basis von Nanopartikeln eine nachweisbare Exposition für den Menschen bei Herstellung, Gebrauch oder Entsorgung einher? Auf welchen Wegen erfolgt diese Exposition, und ist damit ein unzumutbares Risiko verbunden?

Inzwischen liegen einige Erkenntnisse über die Auswirkungen von Nanopartikeln auf den Organismus vor. Insgesamt reicht jedoch die Datenbasis für eine verlässliche Risikoabschätzung nicht aus. Einvernehmlich wurde bei der Veranstaltung in Stuttgart festgestellt, dass vorrangig in folgenden Punkten Handlungsbedarf besteht:

- Bereitstellung von Referenzmaterialien
- Validierung bestehender und Weiterentwicklung verlässlicher Methoden
- Untersuchung von Expositionsmöglichkeiten für die Anwender und Verbraucher
- Erweiterung der Datenbasis über die Toxikokinetik, Deposition und Akkumulation von Nanopartikeln
- Entwicklung einer abgestimmten Teststrategie, die die beiden für eine Risikobewertung erforderlichen Parameter „Exposition“ und „Wirkung“ ausreichend beschreiben könnte

Die Schließung dieser Wissenslücken braucht eine konzertierte Aktion, an der sich die Industrie und der Bund beteiligen sollen. Deshalb ist der angekündigten gemeinsamen Forschungsstrategie von BfR, BAuA und UBA eine große Bedeutung beizumessen. Die Beteiligung der Industrie an der Klärung offener Fragen, insbesondere an der Entwicklung einheitlicher Prüfmethoden, ist auch aus Sicht der Wirtschaft im Eigeninteresse der Industrie.

Es ist wichtig, die Erkenntnisse über potentielle Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen von Nanopartikeln zu kommunizieren. Frühzeitige und transparente Informationen sind Voraussetzungen für die Akzeptanz der Verbraucher für die Nanotechnologie. Deshalb plant das Ministerium für Arbeit und Soziales Ba-

den-Württemberg die Einrichtung eines Netzwerkes, um den Informationsaustausch zwischen den beteiligten Akteuren zu fördern.

In dieses Netzwerk sollen Gesundheits- und Umweltbehörden, Forschungseinrichtungen, kleine und mittlere Unternehmen (KMU), Umwelt- und Verbraucherverbände einbezogen werden.

Von der Mitwirkung an diesen Netzwerken sollen alle Akteure profitieren:

- Verbraucher erhalten kompetente, lokale Ansprechpartner zu Fragen über gesundheitliche und umweltrelevante Auswirkungen von Nanopartikeln.
- Behörden erfahren rechtzeitig, welche Aspekte im Fokus der Aufmerksamkeit der Verbraucher stehen und welche Informationen hierüber verfügbar sind.
- KMU erhalten Informationen und Anregungen, die für ihre interne Entscheidungsfindung notwendig bzw. hilfreich sein können.

Das ist aus unserer Sicht ein wichtiger Beitrag für eine rationelle Auseinandersetzung mit der Nanotechnologie mit dem Ziel die Chancen der Nanotechnologie zu fördern.

Veranstaltungsdokumentation

Uhrzeit	Vorträge	Beiträge von
10.00	Begrüßung	Josef Kreuzberger, <i>Regierungspräsidium Stuttgart</i> Prof. Dr. Bijan Kouros <i>Ministerium für Arbeit und Soziales</i>
10.15	Chancen und Grenzen des Einsatzes von synthetischen Nanopartikeln in verbraucher-nahen Produkten	Dr. Markus Pridöhl, <i>DEHEMA/VCI Arbeitskreis Responsible Production and Use of Nanomaterials</i>
11.00	Produktbeispiele aus Baden-Württemberg Kratzfeste Autolacke Funktionale Textilien Aktive Innenraumfarbe Skiwachs	Dr. Michael Hilt, <i>DaimlerChrysler AG, Sindelfingen</i> Dr. Thomas Stegmaier; <i>Institut für Textil- und Verfahrenstechnik, Denkendorf</i> Dr. Peter Grochal, <i>Sto AG, Stühlingen</i> Dr. Markus Schütz, <i>Holmenkol Sport-Technologie GmbH & Co KG, Ditzingen</i>
12.00	Mittagspause	
13.00	Gesundheitliche Aspekte von Nanomaterialien	Prof. Dr. Harald Krug, <i>Forschungszentrum Karlsruhe</i>
14.00	Synthetische Nanopartikel aus Sicht des Umweltbundesamtes	Dr. Kirsten Märkel, <i>Umweltbundesamt, Berlin</i>
14.30	Risikobewertung und Risikokommunikation bei Nanopartikeln in Verbraucherprodukten	Prof. Dr. Rolf F. Hertel, <i>Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin</i>
15.00	Kaffeepause	
15.30	Perspektiven für das Land Baden-Württemberg: Diskussion zwischen Wissenschaft, Industrie, Umwelt- und Verbraucherverbänden und Verwaltung	Podiumsdiskussion mit: Prof. Dr. Harald Krug Dr. Markus Pridöhl Dr. Julia Nill, <i>Verbraucherzentrale Baden-Württemberg</i> Dr. Christian Kühne, <i>Umweltministerium Baden-Württemberg</i> Prof. Dr. Bijan Kouros
16.30	Ende der Veranstaltung	

Grußwort Josef Kreuzberger, Regierungspräsidium Stuttgart

Sehr geehrter Herr Professor Kouros,

sehr geehrte Damen und Herren,

die Menschen interessieren sich seit jeher nicht nur für den Makrokosmos, sondern versuchen genauso in die Welt des Kleinsten und Winzigen vorzudringen. Fernrohr und Mikroskop wurden nicht zufällig zur gleichen Zeit erfunden und entwickelt. So verwundert es nicht, dass von der Nanotechnologie eine ganz besondere Faszination ausgeht.

Albert Einstein schrieb in seinem Buch „Mein Weltbild“: „Das Schönste, was wir erleben können, ist das Geheimnisvolle. Es ist das Grundgefühl, das an der Wiege von wahrer Kunst und Wissenschaft steht. Wer es nicht kennt und sich nicht mehr wundern, nicht mehr staunen kann, der ist so gut wie tot und seine Augen erloschen.“

Ich bin immer wieder verwundert, wenn ich von einer neuen Errungenschaft der Nanotechnologie erfahre. Es ist aber auch erstaunlich, welche Fortschritte in den vergangenen Jahren auf diesem Gebiet gemacht wurden und was heute bereits möglich ist.

Mit Hilfe der Nanotechnik erhalten Materialien ganz neue und unerwartete Eigenschaften. Es werden schmutzabweisende Oberflächen für Textilien oder Fahrzeuge entwickelt, die sich sozusagen von selbst reinigen, antimikrobielle Beschichtungen, welche die Infektionsgefahr bei Operationen erheblich verringern können oder Diagnosesysteme und Behandlungsmöglichkeiten von Krankheiten, bei denen über Nanopartikel chemische Stoffe ganz gezielt an bestimmte Strukturen im Organismus transportiert werden können. Die Potentiale der Nanotechnologie scheinen so enorm zu sein, dass hier sogar von einer dritten industriellen Revolution gesprochen wird.

Doch scheint auch die Nanotechnologie ein janusköpfiges Wesen zu sein: Neben überschwänglicher Begeisterung für diesen neuen Entwicklungszweig werden in neuester Zeit vermehrt kritische Stimmen laut, die vor möglichen Gefahren der Nanotechnologie und der künstlich hergestellten Nanopartikel warnen. Wir kennen in Stuttgart diese besondere Problematik bei bestimmten ultrafeinen Partikeln, die zwar nicht gezielt hergestellt werden, aber bei allen Verbren-

nungsprozessen, z. B. auch in den Automotoren, entstehen und als Luftschadstoffe eine besondere Rolle spielen. Bei diesen ultrafeinen Partikeln im Nanometerbereich, dem sogenannten „Feinstaub“, zeigt sich, dass kleinste Teilchen nicht nur positive, sondern auch negative Eigenschaften haben können.

Gerade für die Entwicklung einer Technologie, auf die große Hoffnungen in die Zukunft gesetzt werden, ist es daher besonders wichtig, frühzeitig mögliche Risiken, die für die Nutzer und die Bevölkerung entstehen können, mit zu betrachten und gezielt in die Forschung zu integrieren. Gegenwärtig besteht in den meisten Anwendungen noch kaum Klarheit darüber, in welchem Maße Mensch und Umwelt durch die neuartigen Produkte Nanopartikeln ausgesetzt sind und ob bzw. in welcher Weise diese Partikel auf Mensch und Umwelt einwirken. In einer solchen Situation der Unsicherheit kann es sehr leicht geschehen, dass die hohe Akzeptanz, welche die Nanotechnologie in der Öffentlichkeit besitzt, in ihr Gegenteil umschlägt.

Es freut mich daher ganz besonders, dass das Ministerium für Arbeit und Soziales zusammen mit der Abteilung 9 des Regierungspräsidiums, dem Landesgesundheitsamt, die heutige Veranstaltung in den Räumen des RP Stuttgart durchführt. Die Risikobewertung und die Risikokommunikation im Bereich neuer Technologien wird in Zukunft eine immer wichtigere Aufgabe für den öffentlichen Gesundheitsdienst darstellen. Hier erwartet der Verbraucher eine qualifizierte Beratung durch wirtschaftlich unabhängige Institutionen. Mit dem Landesgesundheitsamt verfügen wir über eine Einrichtung, die diese Aufgabe kompetent erfüllen kann.

Die Wahl des Veranstaltungsortes hier im Regierungspräsidium ist für mich ein Beleg, dass wir einen Rahmen dafür bieten, verschiedene Verwaltungsbereiche, die von der Nanotechnologie tangiert sind, zusammen zu bringen. Im Bereich der Nanotechnologie ist wie in kaum einem anderen Bereich eine fachübergreifende Zusammenarbeit notwendig. Bei der Risikobewertung sind nicht nur Aspekte des Gesundheitsschutzes betroffen, sondern ebenso Aspekte des Arbeitsschutzes, des Umweltschutzes und des Immissionsschutzes.

Baden-Württemberg und die Region Stuttgart stehen im Bereich innovativer Forschung ganz weit vorne. Um diese Position behaupten und ausbauen zu können, müssen sowohl die Chancen wie auch die Risiken für die Anwendung

neuer Technologien erforscht und kommuniziert werden. Dazu sind Veranstaltungen dieser Art auch in Zukunft sehr notwendig.

Ich freue mich auf die Beiträge der Fachleute und wünsche der Veranstaltung einen guten Verlauf.

Grußwort Prof. Dr. Bijan Kouros, Ministerium für Arbeit und Soziales

Sehr geehrter Herr Vizepräsident Kreuzberger,
sehr geehrte Damen und Herren,
meine lieben Kolleginnen und Kollegen,

Nanotechnologie hat sich zu einer Schlüsseltechnologie entwickelt. Deshalb hat der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages im Oktober 2000 das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag mit einer Technikfolgenanalyse beauftragt. Dieser Bericht wurde im März 2004 vorgelegt.

Darin wird dargelegt, dass die Nanotechnologie ein zukunftssträchtiger Technologiebereich mit realistischen und visionären Möglichkeiten ist. Wichtige Anwendungen aus gesundheitlicher Sicht sind z. B. die Entwicklung neuer Diagnose- und Therapieverfahren, die Entwicklung neuer und die Optimierung bereits vorhandener Medikamente.

Die Autoren des Berichts verweisen auch darauf, dass der Stand der Forschung über die potenziellen Umwelt- und Gesundheitswirkungen der Nanotechnologie unbefriedigend ist. Es wird deshalb gefordert, diese Lücken zu schließen, da sich aus dem fehlenden Wissen um die Umwelt- und Gesundheitsfolgen Hemmnisse für die Markteinführung nanotechnologischer Verfahren und Produkte ergeben könnten. Im Bericht wird darüber hinaus betont, dass eine frühzeitige, transparente und sachliche Information der Öffentlichkeit sehr wichtig ist. Diese Auffassung wird von uns geteilt. Denn wir sollen Fehler vermeiden, die in der Vergangenheit bei anderen Entwicklungen - wie etwa der Gentechnik - gemacht wurden.

Deshalb wollen wir einen Beitrag leisten, damit durch einen sachlichen Dialog die Akzeptanz der Verbraucher für Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Verfahren und Produkte verbessert wird. Es muss unbedingt vermieden werden, dass die Wahrnehmung der Nanotechnologie weniger von konkreten Anwendungen und ihrem Nutzen geprägt wird als von absurden Horrorvisionen - wie z.B. die Vernichtung allen Lebens auf der Erde durch selbst replizierende Nanoroboter.

Diese Dialoge müssen auf allen Ebenen geführt werden. Auf lokaler Ebene können auch die Gesundheitsämter eine Vermittlerrolle einnehmen, da sie in der Regel die erste Anlaufstelle für die besorgten Bürger sind. Deshalb haben wir die iku GmbH mit der Durchführung dieser Veranstaltung beauftragt, damit die Gesundheitsämter in geeigneter Weise am Dialogprozess beteiligt werden können. Als Handreichung werden wir die Ergebnisse zusammenfassen und den Gesundheitsämtern zur Verfügung stellen.

Ich möchte nun schließen und Herrn Stefan Löchtfeld von der iku GmbH, der die Veranstaltung moderieren wird, das Wort geben.

Chancen und Grenzen des Einsatzes von synthetischen Nanopartikeln in verbrauchernahen Produkten

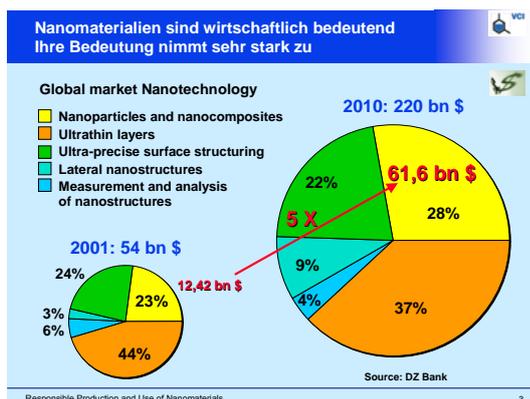
Dr. Markus Pridöhl
DECHEMA/VCI Arbeitskreis Responsible Production and Use of Nanomaterials

Was ist Nanotechnologie

Nanotechnologie gilt als eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Mit dem Vorstoß in die Zwergenwelt (nanos im Griechischen Zwerg) verbinden sich große Chancen für die Gesellschaft.

Nanotechnologie ist keine spezifische Technologie oder klar umgrenzte Gruppe von Technologien, sondern ein breites, höchst heterogenes Technologiefeld. Deshalb sollte man eigentlich besser von Nanotechnologien sprechen. Dazu zählen u. a. Materialien, Strukturen und Schichten, deren Abmessungen unter 100 Nanometern liegen sowie Verfahren zu deren Herstellung, Analyse und Verwendung. Die chemische Industrie ist besonders stark auf dem Gebiet der Nanomaterialien engagiert

Nanotechnologie stärkt den Standort Deutschland



Viele Studien bewerten die Nanotechnologie als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts und sprechen ihr eine große Bedeutung für die Wirtschaft und den Arbeitsmarkt zu. Banken schätzen, dass das Marktvolumen der Nanotechnologien bereits die 100 Milliarden Dollar-Grenze überschritten

hat. Nanomaterialien, eine der Domänen der chemischen Industrie, tragen dazu etwa ein Viertel bei. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung schätzt in einer Studie von 2004, dass bereits 50.000 bis 100.000 Arbeitsplätze in Deutschland in Unternehmen bzw. Forschungseinrichtungen direkt oder in-

direkt von der Nanotechnologie abhängen. In den kommenden Jahren wird besonders im Umfeld der Nanotechnologie die Schaffung weiterer, besonders innovativer Arbeitsplätze erwartet.

Laut einer Analyse von 2004 rechnen Experten mit 10.000 neuen Arbeitsplätzen in Deutschland bis zum Jahr 2007. 450 Unternehmen in Deutschland setzen Nanotechnologien ein. 80% der befragten Unternehmen erwarten einen wachsenden Bedarf an Mitarbeitern. Deutschland hat nach der USA eine führende Rolle im Bereich der Nanoforschung. Auch bei skeptischer Bewertung dieser Analysen und Prognosen hat die Nanotechnologie das Potential, zur Stärkung der deutschen Wirtschaft substantziell beizutragen.

Aufgrund der breiten Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnologie misst auch Degussa als weltweit führendes Unternehmen der Spezialchemie diesem Technologiefeld eine hohe wirtschaftliche Bedeutung bei. Denn Innovation und der Einsatz neuer Technologien sind aus Sicht von Degussa für eine nachhaltige Entwicklung unverzichtbar.

Nanotechnologie bringt Komfort und Sicherheit

Wir Menschen profitieren auf vielfältige Weise von Nanotechnologien: Um Computerchips herzustellen, werden Silizium-Wafer während der Herstellung mit Nanomaterialien äußerst glatt poliert. Nanomaterialien sorgen in Lacken dafür, dass sie zwar streichfähig sind, aber dennoch nicht wegfließen. Die Leistungsfähigkeit verstärkter Kunststoffe und Elastomere beruht vielfach auf Nanomaterialien. Schmutzabweisende Oberflächenvergütungen erleichtern uns die Arbeit. Sonnenschutzmittel verdanken ihren hohen Lichtschutzfaktor nanoskalierten Partikeln. Nanomaterialien tragen so zu Komfort und Sicherheit in unserem Alltag bei.

Nanomaterialien können die Umwelt entlasten und Ressourcen sparen

Autoabgaskatalysator

- Nanoskalige Edelmetalle (Pt, Rh, Pd) auf Trägermaterial
- Dadurch 90% weniger Ausstoß von Kohlenwasserstoffen, Kohlenmonoxid und Stickoxiden



Katalysatoren in der Industrie

- Etwa 80% aller chemischen Erzeugnisse durchlaufen mindestens eine katalytische Stufe.
- Das spart Energie und mindert Nebenprodukte.



Responsible Production and Use of Nanomaterials 18

Nanotechnologie entlastet die Umwelt

Nanoskalige Edelmetalle im Autoabgaskatalysator reduzieren die Emission von Kohlenwasserstoffen, Kohlenmonoxid und Stickoxiden aus Fahrzeugen um 90 %. Die nano-

technologische Entspiegelung der Abdeckscheiben von Solarzellen steigert deren Wirkungsgrad um mehrere Prozentpunkte. Intensiv wird derzeit an der Speicherung von Wasserstoff mit Hilfe nanostrukturierter Materialien geforscht; ein Durchbruch auf diesem Gebiet würde den mobilen Einsatz abgasarmer Brennstoffzellen ermöglichen. Eine andere umweltschonende Alternative zum Benzinmotor stellen die bereits in der Serie eingeführten Hybridelektrofahrzeuge dar, die weniger Schadstoffe emittieren und weniger Treibstoff verbrauchen. Die Verbreitung der Hybridfahrzeuge wird durch die Entwicklung von nanostrukturierten Batterieseparatoren begünstigt, die die sichere Verwendung der besonders leistungsstarken Lithium-Ionenbatterien für diesen Einsatzzweck erst ermöglichen. Nanomaterialien tragen so zur Entlastung der Umwelt bei.

Nanotechnologie sorgt für Fortschritt in der Medizin

Große Fortschritte werden auch im medizinischen Bereich erwartet: neuartige Diagnosesysteme und Therapiekonzepte werden entwickelt oder in den Markt eingeführt: Beispiele sind die Früherkennung von Alzheimererkrankungen, verbesserte Drug-Targeting-Konzepte oder die Krebstherapie. So laufen derzeit viel versprechende klinische Studien zur Behandlung von inoperablen Gehirntumoren mittels nanoskaliger Eisenoxidteilchen. Nanomaterialien tragen somit maßgeblich auch zum Fortschritt der Medizin und unserer Gesundheit bei.

Kommunikation und Dialog sind wichtig



Eine Umfrage in Deutschland aus dem Jahr 2004 (kommPassion) zeigt auf der anderen Seite, dass etwa der Hälfte der Befragten Nanotechnologie aber unbekannt ist. Ein Drittel behauptet, davon bereits gehört zu haben, nur ein Drittel kann etwas Spezifisches damit anfangen. Seit 2005

nimmt die Aufmerksamkeit für das Thema bei Verbraucher und Umweltverbänden, Behörden und Medien deutlich zu.

Es ist daher sehr sinnvoll und wichtig, alle Beteiligten sachgerecht zu informieren und frühzeitig, in einen offenen Dialog gerade mit Kritikern zu treten, da hohe Informationsdefizite vorhandene Besorgnisse verstärken. Der Dialog mit

neutralen Wissenschaftlern ist zu verstärken, weil sie in der Öffentlichkeit großes Vertrauen genießen.

Die chemische Industrie implementiert parallel zu den Entwicklungsarbeiten Managementsysteme zur Vermeidung möglicher Risiken und begleitet die Forschung durch einen intensiven Dialog mit allen gesellschaftlichen Gruppen.

Nanotechnologie bei Degussa

Degussa stellt nanotechnologische Produkte bereit, die exakt auf die Bedürfnisse der Kunden und Verbraucher zugeschnitten sind. Sie leistet damit wesentliche Beiträge zu Umweltschutz, Gesundheit, Komfort und Mobilität. Insbesondere auf dem Gebiet nanostrukturierter Materialien hat Degussa langjährige Erfahrung.

Degussa nutzt die Nanotechnologie, um Produkten des täglichen Lebens verbesserte oder völlig neue Eigenschaften zu geben. Beispiel Lithium-Ionen-Batterie: Mithilfe der Nanotechnologie gelingt dem Unternehmen die Herstellung einer keramischen und zugleich flexiblen Membran. Dadurch können große Lithium-Ionen-Batterien, die man von elektrischen Kleingeräten wie Handys bereits kennt, nun auch in Hybridautos als sichere und umweltschonende Energiepakete eingesetzt werden. So lassen sich bis zu 25 Prozent Treibstoff sparen.

Oder feinteiliges Titandioxid: Es findet in transparenten Sonnenschutzcremes Verwendung, die einen hohen UV-Schutzfaktor haben. Empfindliche Haut lässt sich dadurch effektiv vor der gefährlichen UV-Strahlung schützen.

Weitere Beispiele sind Sprit sparende Reifen, kratzfeste Lacke oder leistungsfähige Computer. Eine moderne Gesellschaft ist ohne „Nano“ schon heute nicht mehr vorstellbar.

Degussa geht Nanotechnologie nachhaltig und proaktiv an

Der Schutz der Gesundheit sowie der verantwortungsvolle Umgang mit der Umwelt sind dabei integrale Bestandteile des unternehmerischen Handelns von Degussa. Zugleich sind dies die Grundlagen unseres wirtschaftlichen Erfolges. Wir stehen daher bei der Nutzung von Nanotechnologie klar zu unserer Verantwortung für Mensch und Umwelt. Deshalb begleiten wir die Entwicklung

dieser Technologie durch intensive Sicherheitsforschung und durch stetigen Dialog mit Verbrauchern, Umweltverbänden und Behörden. Wir fördern aktiv den Dialog über die Chancen und Risiken der Nanotechnologie und setzen uns dafür ein, diese für die Gesellschaft transparent zu machen und ihren Nutzen zu verdeutlichen.

Eine Reihe einander ergänzender Bausteine und Maßnahmen dienen dabei der Umsetzung:

- Unter anderem gibt es spezifische Arbeitskreise zum Thema Produkte und Kommunikation bei Degussa.
- Es werden spezielle Messmethoden zur Erfassung von Nanopartikeln am Arbeitsplatz weiterentwickelt und entsprechende freiwillige Arbeitsplatzmessungen sowie Gesundheitsstudien von Mitarbeitern durchgeführt.
- Wissenschaftliche Fragestellungen werden durch eigene Forschungsprojekte sowie durch Teilnahme bzw. Initiierung öffentlich geförderter Forschungsprojekte wie NanoCare und Nanoderm angegangen.
- Viele der drängenden Aufgaben im Bereich Normung, Recht und Kommunikation lassen sich nur zusammen mit anderen Unternehmen, Behörden und Verbänden und oftmals nur im globalen Kontext angehen. Daher engagieren wir uns in vielen deutschen und internationalen Verbänden und Institutionen wie VCI, DECHEMA, CEFIC, SUSCHEM, ICCA, BIAC, OECD, DIN/ISO/ASTM, ACC, EPA .
- Wir fördern die firmeninterne und die externe Kommunikation zum Thema Nanotechnologie durch Dialog- und Informationsveranstaltungen, Broschüren, Vorträge und Pressemitteilungen und Internetbeiträge, wo auch unsere Position zur Nanotechnologie abrufbar ist. Wir suchen den Dialog mit Behörden, Gewerkschaften, Umweltorganisationen, Wissenschaftlern, Journalisten und der breiten Öffentlichkeit. Beispiele sind der VCI-Dialog zur Arbeitssicherheit, der Workshop des Umweltbundesamtes, das Forums Nanotechnologie von Bündnis 90-Die Grünen, econsense-Veranstaltungen in Berlin, entsprechende Veranstaltungen des BUND, des hessischen Wirtschaftsministeriums oder des Landes Baden-Württemberg.

Zur Abstimmung und Umsetzung dieser vielfältigen Maßnahmen wurde bei Degussa eigens die Stelle des Koordinators Nanotechnologie eingerichtet.

Nanotechnologien bietet Chancen für Mensch, Umwelt und Wirtschaft. Verantwortungsvolles Vorgehen der Industrie, offener Dialog aller Beteiligten und zukunftsweisende Politik schaffen die Voraussetzungen für einen nachhaltigen Erfolg.

Kratzfestere Klarlacke bei Mercedes-Benz PKW

Dr. Michael Hilt
DaimlerChrysler AG

Abstract

Der Karosseriedecklackaufbau Basislack/Klarlack gewährleistet langjährige Witterungsbeständigkeit verbunden mit guter Glanzhaltung, insbesondere bei Verwendung der derzeitig üblichen polyurethanvernetzten 2K-Acrylatklarlacke. Ein durch den Trend zu dunklen Farben verstärkter Effekt bei 2K-Klarlacken mit sehr guter Chemikalienbeständigkeit ist die Sichtbarkeit feinsten mechanischer Beschädigungen der Lackoberfläche, wie sie beispielsweise durch kleinste mineralische Schmutzbestandteile in automatischen Waschanlagen verursacht werden. DaimlerChrysler hat sich als Hersteller von Fahrzeugen, die im Premiumsegment positioniert sind, zum Ziel gesetzt, zur weiteren kundenrelevanten Optimierung der Produktqualität der Klarlackoberfläche Materialien zu entwickeln und in die Serie einzuführen, die deutlich kratzbeständiger als die bisher eingesetzten Produkte sind. Es wird über den Stand der Entwicklung der Produkte, über den Stand der Einführung neuer Produkte und über die bei der Einführung gemachten Erfahrungen berichtet.

Einleitung

Der derzeitige Stand der Karosserielackierung sieht in der Regel die Beschichtung mit einem Klarlack als letzter Lackschicht vor. Der Vorteil dieses Konzeptes ist die lange Glanzhaltung unter Witterungseinflüssen und der deutlich bessere optische Eindruck derartiger Oberflächen. Ein großer Nachteil besteht bei diesem Konzept in der bei dunklen Farben deutlich besseren Wahrnehmbarkeit feinsten mechanischer Schäden im Klarlack, wie sie z. B. beim Reinigen oder Abwischen von Fahrzeugen auftreten. Deshalb ist ein wichtiges Ziel vieler Fahrzeughersteller, die Beständigkeit ihrer Produkte gegenüber diesen im gerichteten Licht besonders deutlich wahrnehmbaren Waschkratzern zu verbessern.

Entwicklungsziel

Unsere Zielsetzung bei der Entwicklung kratzbeständiger Klarlacke war es, in einem ersten Schritt die Kratzbeständigkeit des Klarlackes so zu verbessern, dass mindestens zwanzig Fahrzeugwäschen ohne wesentliche Veränderungen in der Klarlackoptik möglich sind. Eine weitere wichtige Nebenbedingung bei der Entwicklung war, die Resistenz der Klarlackoberfläche gegenüber sonstigen Einflussfaktoren (Chemikalienbelastung) auf keinen Fall zu verschlechtern, idealerweise jedoch gleichfalls zu verbessern.

Vorgehen

Um die Performance bezüglich Chemikalien- und Kratzbeständigkeit verschiedener Klarlacksysteme zu bewerten, wurden Untersuchungen dieser sich nach dem derzeitigen Stand der Materialtechnik gegenseitig beeinflussenden Größen an kommerziellen und in Entwicklung befindlichen Materialien durchgeführt. Als Kriterium für die Kratzbeständigkeit diente die Prüfung mit der AMTEC-KISTLER Laborwaschanlage, zur Beurteilung der Chemikalienresistenz wurde die bei Mercedes-Benz eingesetzte Gradientenofenprüfmethode herangezogen. Die untersuchten Produkte zeigten signifikante Unterschiede und es wurden zwei Produkte, deren Chemikalienbeständigkeit im Vergleich zur Serie auf einem akzeptablen Niveau lagen, für weitere Untersuchungen in der Linie herangezogen.

Konzepte zur Reduzierung der Kratzempfindlichkeit

Zur Optimierung der Kratzbeständigkeit von Klarlacken wurden und werden gleichzeitig mehrere Wege verfolgt. Da hochflexible Kunststoffklarlacke auf Grund ihrer geringen Chemikalienbeständigkeit für horizontale Flächen nur unbefriedigende Resultate bezüglich Langzeitbeständigkeit liefern, wurde ein 2K-Karosserieklarlackmaterial so modifiziert, dass die bisher unbefriedigende Kratzbeständigkeit durch Nanopartikeleinbau auf das bisher höchste bekannte Niveau bei Karosserieklarlacken gesteigert werden konnte.

Ergänzend oder alternativ kann durch Bindemitteloptimierung und den damit einhergehenden Änderungen im Vernetzungsgrad eine große Steigerung der Kratzbeständigkeit bei der Prüfung mit der Laborwaschanlage (AMTEC-KISTLER

Waschanlagensimulation) erzielt werden. Die Chemikalienbeständigkeit ist bei derartig veränderten Produkten etwas geringer als bei der bisherigen Serie.

Durch den Einsatz der UV-Strahlungstrocknung wird versucht, besonders regelmäßige höchstmolekulare Bindemittelnetzwerke zu erzeugen. Diese Produkte sind im Forschungs- und Entwicklungsstadium und werden in diesem Vortrag nicht behandelt. Nachfolgend soll schwerpunktmäßig auf bisher erzielte Ergebnisse und deren Umsetzung mit 2K-Systemen eingegangen werden.

Partikelverstärkte Klarlacke

Zur Erhöhung der Kratzbeständigkeit besteht die Möglichkeit, 2K-Klarlacke mit Hartstoffpartikeln im Nanometerbereich zu formulieren. Diese Partikel sind durch ihre geringe Größe in der Bindemittelmatrix des Klarlackes nicht sichtbar, erhöhen jedoch die Kratzbeständigkeit des damit gefüllten Klarlackes deutlich unter Beibehaltung einer Chemikalienbeständigkeit, die der des Klarlackbindemittels weitgehend entspricht.

Mit *einem* Lackhersteller wurde dieses Konzept entwickelt und nach umfangreichen Labor- und Feldtests an Dienstwagen zunächst für das S-Klasse Coupé und anschließend für weitere Baureihen freigegeben. Beim Upscaling dieses Produktes wurden die neu entwickelten Schleif-, Reparatur- und Spotreparaturkonzepte optimiert. Fahrzeuge, die mit diesem Produkt lackiert werden, zeigen auch nach mehreren Jahren im Feld eine deutlich sichtbare Verbesserung der Kratzbeständigkeit im Vergleich zur bisherigen Serie. Der Vorteil dieses Materialkonzepts besteht darin, dass das Produkt in modifizierten Serienanlagen (Lackwechseinrichtung, Trockneroptimierung) eingesetzt werden kann und somit eine Umstellung relativ einfach möglich ist.

Zur Verarbeitung dieses Systems wurden die bestehenden Serienanlagen modifiziert. Im Werk Sindelfingen wurde in zwei Decklackanlagen die Möglichkeit eines automatischen Klarlackwechsels realisiert. Verschiedene Komponenten wurden an die spezifischen Anforderungen der Applikation kratzfesterer Klarlacke angepasst. Die Applikationstechnik der drei weiteren Decklacklinien in Sindelfingen wurde ebenfalls an die Anforderungen zur Lackierung kratzfesterer Klarlacke angepasst.

Klassische kratzfestere 2K-Klarlacke

Durch Bindemitteloptimierung ist es möglich, besonders regelmäßig aufgebaute molekulare Netzwerke zu erzeugen. Es wurden mit verschiedenen Herstellern Produkte untersucht, die sich in der Laboruntersuchung als sehr viel versprechend hinsichtlich optimierter Kratzbeständigkeit herausgestellt hatten. Um deren Feldtauglichkeit zu beurteilen, wurden, wie auch für das mit Nanopartikeln modifizierte Produkt, Dienstwagen für USA und Europa in begrenzter Stückzahl produziert und ausgewertet.

Nach dem derzeitigen Stand kann das als sehr groß eingeschätzte Optimierungspotenzial bezüglich Kratzbeständigkeit auf den Fahrzeugen nicht in allen Fällen wieder gefunden werden. Zur Klärung dieser Diskrepanz sind weitere Labor- und Felduntersuchungen erforderlich.

Die mit den unterschiedlichen Systemen gemachten Erfahrungen legen nahe, dass eine sichere Aussage über die Praxisperformance nicht *allein* auf Basis von Laborergebnissen mit einer Testmethode möglich ist. Um eine sicherere Aussage zu erhalten, ist nach dem derzeitigen Stand mindestens eine weitere alternative Prüftechnik erforderlich.

Erfahrungen beim Praxiseinsatz in der Linie

Die Prozesse Schleifen, Polieren, Reparatur in der Oberfläche, Reparatur in der Montage und Feldreparatur konnten für das bei Mercedes-Benz im Praxiseinsatz befindliche System durch Einsatz des eigenen und von Lieferanten-know-how gelöst werden. Für das Schleifen und Polieren wurden spezielle Prozesse entwickelt, die mit den in der Übergangszeit der Einführung verwendeten Normal-2K-Klarlacken „abwärtskompatibel“ sind. Diese Prozesse zeichnen sich im Wesentlichen dadurch aus, dass teilweise oder komplett exzentrisch gearbeitet wird. Durch Optimierung der Materialeigenschaften des kratzfesteren 2K-Klarlackes ist es wie beim bisherigen System nicht erforderlich, alle Stellen am Fahrzeug bei der Reparatur zu überrutschen. Für die Reparatur in der Montage wurden spezielle Materialien entwickelt, die sich, wie auch die Materialien für die Feldreparatur, durch besondere Kratzbeständigkeit im Originalzustand auszeichnen. Mit diesem Paket an Maßnahmen ist es möglich, deutlich kratzbeständigere Fahrzeuge prozesssicher und qualitativ hochwertig herzustellen.

Funktionelle Textilien

***Dr. Thomas Stegmaier, Dr. Volkmar von Arnim und
Prof. Dr.-Ing. Heinrich Planck
Institut für Textil- und Verfahrenstechnik, Denkendorf***

Textile Funktionen

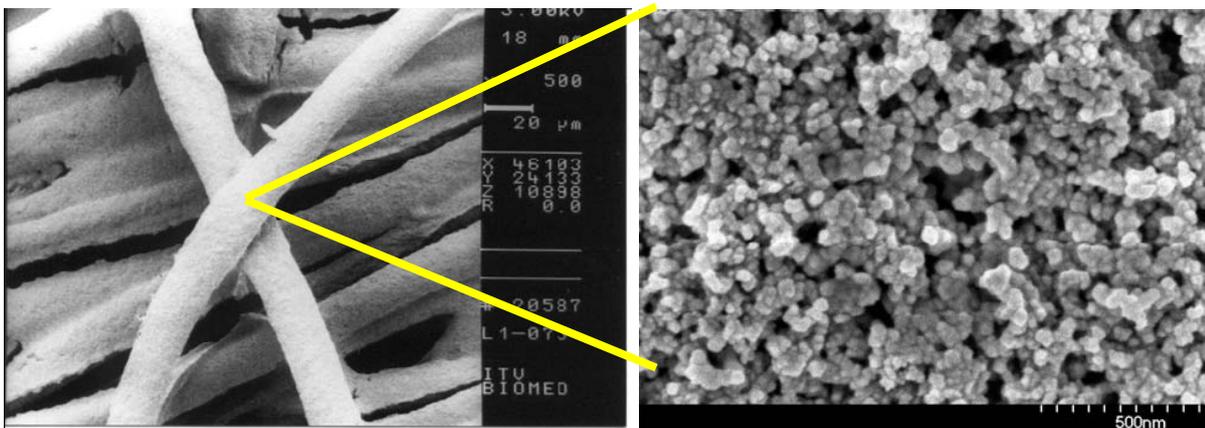
Textilien werden neben der Bekleidung in einem äußerst breiten industriellen Anwendungsspektrum eingesetzt. Darin erfüllen sie eine Vielzahl von Funktionen, die in der Kombination gefordert werden. Sehr vielen textilen Anwendungen liegen beispielsweise eine technische Schutzfunktion des menschlichen Körpers vor Umwelteinflüssen zugrunde. Dies ist die technische Basisfunktion von Bekleidung. In den letzten Jahrzehnten sind sowohl die Anforderungen an Schutzfunktionen gewachsen als auch die Möglichkeiten, diese mit faserbasierten Werkstoffen zu erreichen. Dazu zählen Wetterschutz (Wind- und Wasserdichtigkeit), Hitzeschutz (Wärmeleitung, Temperatenausgleich, Isolation), Strahlungsschutz (elektromagnetische Strahlung von langwelliger Radiostrahlung über Wärmestrahlung bis hin zu energiereicher kurzwelliger Röntgen- oder γ -strahlung), Kälteschutz (Isolation und Wärmeleitfähigkeit), Feuerschutz (Brennbarkeit, Wärmeleitfähigkeit) sowie Chemikalienschutz (Barrierewirkung gegen Flüssigkeiten, Partikel oder ggf. Gase) [i]. Ähnliche vielseitige Schutzfunktionen übernehmen Textilien auch in technischen Anwendungen. Zu ihnen zählen z. B. der Brandschutz bei der Bautenisolation, der Witterungsschutz beim textilen Bauen, der Strahlungsschutz bei empfindlichen elektronischen Geräten, in militärischen Anwendungen oder zur Abschirmung energiereicher elektromagnetischer Strahlungsquellen, Hitzeschutz in Airbags bei der Expansion mit Zündladungen, sowie die Barrierewirkung beim Umwelt- oder Katastrophenschutz. Im militärischen Bereich wird versucht Tarneffekte durch das Einbetten von Absorber- und Strahlerpigmenten in Polymere zu erreichen. Auch im Bereich des Bauens, auch Heimtextilien, sind multifunktionale Textilien gefordert (Wasser-, Öl- und Schmutzabweisung, Flammhemmung, Strahlungsreflexion bzw. Absorption im Bereich Sonnenschutz, UV-Schutz und Wärmestrahlung zur Energieeinsparung, sowie der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) und Geruchseliminierung). Viele dieser besonderen Funktionen können durch das Ein-

bringen von Nanopartikeln in das Faserpolymer oder einem Beschichtungsauftrag erreicht oder verbessert werden.

Im wachsenden Markt von Feinstfiltern wachsen die Anforderungen an die Filtermedien, Mikro- und Nanopartikel in deren Herstellung, Verarbeitung und Anwendung sicher abzuscheiden, um sowohl die menschliche Gesundheit als auch die Produktionssicherheit (z.B. Elektronikfertigung, Pharmaherstellung) zu gewährleisten. Dazu zählen auch Pollenfilter z.B. im Automobil oder in Klimaanlagen, um allergiegeplagten Menschen Linderung zu schaffen und hochtemperaturbeständige Filter für Rauchgasreinigung in Verbrennungsanlagen oder bei der Zementherstellung.

Nanopartikel in der Textilveredelung

In der Textilveredelung, das heißt bei der Applikation von funktionserzeugenden Textilhilfsmitteln und Beschichtungen, werden nanocompositerzeugende Kombinationen aus Nanopartikeln und Binder überwiegend zur Erzeugung physikalischer und chemischer Funktionen verwendet. Verfahren zur dauerhaften, nichttemporären Textilveredelung unter Einsatz von Nanopartikeln sind beispielsweise beschrieben für bioaktive, antimikrobielle Partikel (z. B. Silber), photoaktive Partikel (z. B. TiO_2), leitfähige und magnetische Partikel (z. B. Metalle u. Metalloxide), farbgebende Pigmente, UV-absorbierende Partikel (z. B. ZnO), und andere [ii]. Nanocompositdarstellende Faserbeschichtungen, die zudem die Abrasionsbeständigkeit eines Textils verbessern, sind für Sol-Gelbeschichtete Glasgewebe im Einsatz [iii].



(Quelle: BASF AG)

Als Beispiel für die Verwendung von Nanopartikeln in der Textilveredlung sollen selbstreinigende Textilien dienen. Durch eine hydrophobe, nanostrukturierende Ausrüstung auf den Fasern wird der Kontakt von Wasser und Schmutzpartikel zum Textil erheblich minimiert. REM-Fotografien zeigen die Mikro-Nano-Doppelstruktur auf einem Textil.

Extrem hohe Kontaktwinkel lassen einen Wassertropfen bei geringstem Neigungswinkel abrollen. Dabei werden lose haftende Schmutzpartikel entfernt und eine saubere und trockene Oberfläche allein durch das Abreinigen mit Wassertropfen zurückgelassen.

Nanopartikel in der Faserherstellung und Erzeugung textiler Composite

Textile Composite haben eine jahrzehntelange Tradition, beispielsweise bei glasfaserverstärkten Verbundsystemen. Mit der Entdeckung und Entwicklung aufskaliertes Herstellungstechniken nanoskaliger Partikel und Fasersysteme sind zahlreiche Entwicklungsarbeiten über die Verwendung dieser Nanosysteme für Hochleistungs-Polymercomposite durchgeführt worden. Die wesentlichen Funktionen eines nanoskaligen Füllstoffs sind die mechanische Verstärkung der Polymermatrix einerseits und die Erzeugung physikalischer Funktionen (wie elektrische Leitfähigkeit oder Antistatik) sowie chemischer Eigenschaften (z. B. Anfärbbarkeit) andererseits. Aufgrund ihrer großen Oberfläche können die Nanopartikel effektiver mit der Polymermatrix wechselwirken und sogar auf die Polymerkettenbeweglichkeit Einfluss nehmen.

Nanofasern leiten Kräfte von der Polymermatrix ab und erhöhen beispielsweise die Zugfestigkeit von Nanocomposite-Fasern. Kohlenstoffnanofasern erhöhen dazu vor allem die Zugfestigkeit der Compositfaser, während Rußnanopartikel die Abriebbeständigkeit verbessern. Kohlenstoffnanofasern und Rußnanopartikel vermitteln beide eine elektrische Leitfähigkeit. Als Matrixpolymere sind hier beispielsweise Nylon (Polyamid, PA), Polyester (PET) und Polyethylen (PE) untersucht [iv/v/vi]. Für mit Kohlenstoffnanoröhren gefüllte Fasern sind neben nochmals erhöhten elektrischen Leitfähigkeiten extrem hohe Zugfestigkeiten und Energieaufnahmevermögen nachgewiesen worden, die wesentlich über die Eigenschaften von Stahl, Spinnenseide oder Aramid (Kevlar®) hinausgehen [vii/viii/ix/x]. Die Nanoskaligkeit der CNTs erlaubt deren Verwendung auch in

Fasersystemen. CNT-verstärkte Synthefasern sind Gegenstand aktueller Entwicklungen, unter anderem auch an den DITF Denkendorf.

Im Gegensatz zu den Kohlenstoffnanoröhren sind nanoskalige Schichtsilikate („Nano clay“, Montmorillonit) als Faserfüllstoff bereits näher an einer industriellen Anwendung. Auch hier weisen die Nanocomposite einerseits deutlich verbesserte mechanische Eigenschaften als die ungefüllte Faser, andererseits spezifische weitergehende Funktionen auf. Durch 5 % Gewichtsanteil der Schichtsilikate wurde die Zugfestigkeit von Nylon um 40 % erhöht [xi]. Zugleich wurden jedoch auch Schutzfunktionen wie UV-Absorption, Flammenschutz, Wärmeformbeständigkeit und Barrierewirkung verbessert. Auch die Anfärbbarkeit ansonsten sehr schwer färbbarer Fasern wie Polypropylen (PP) wurde verbessert [xii]. Bei anderen Nanopartikeln als Faserfüllstoff wie TiO₂, ZnO, MgO stehen die mechanischen Wirkungen eher im Hintergrund und antimikrobielle, selbstreinigende und UV-absorbierende Eigenschaften im Vordergrund [xiii].

Mikro- und Nanofasern für Filteranwendungen

Porosität und Porengröße sind Basiseigenschaften von Filtermedien, welche die Effizienz sowie Druckwiderstand und Durchlässigkeit bestimmen. In textilen Filtern hoher Porosität hängt die Porengröße von der Fasergröße ab. Eine Reduzierung der Porengröße unter den Faserdurchmesser verringert die Porosität erheblich und reduziert die Permeabilität. Die Filtereffizienz steigt somit mit der Reduzierung des Faserdurchmessers. Die Nachfrage nach Filtermedien mit hoher Filtereffizienz im Submikrometerbereich nimmt zu. Die Forderung basiert auf dem Bedarf für die Filtration von Aerosolen und der für die Industrie immer wichtiger werdenden Nanopartikel sowie der Forderung nach einer effektiven Barriere gegen Bakterien (<0,3 µm), Viren und anderen Mikroorganismen.

Der Durchmesser von natürlichen sowie synthetischen Fasern variiert meist zwischen 10 und 20 µm. Mikrofasern und Bikomponenten-Split-Fasern erlauben 3 bis 7 µm. Meltblow und Lösungsblasen reichen bis 1 µm Faserdurchmesser [xx]. Darunter werden im Submikrometerbereich Glasfasern hergestellt, die jedoch für viele Filtrationsanwendungen nicht eingesetzt werden sollten. Mit Hilfe des elektrostatischen Spinnens und einer am ITV durchgeführten Weiterentwicklung mit wesentlich höherer Produktivität können Faserdurchmesser im Bereich von 50 nm bis 1 µm erzeugt werden. Bei optimalem Einsatz wird die

gewünschte Abscheidung von kleinsten Teilchen mit hoher Effizienz bei geringstmöglichem Druckwiderstand ermöglicht.

Umweltaspekte, Arbeits- und Verbraucherschutz

Partikelfreisetzung

Sowohl den Forschern, als auch den industriellen Entwicklern und Produzenten ist mittlerweile in der Regel bewusst, dass Nanopartikel nicht nur positive Eigenschaften hinsichtlich ihres technischen Potenzials haben, sondern auch kritisch hinsichtlich ihres Gefahrenpotenzials untersucht werden müssen. Aber wissenschaftliche Literatur und auch Beiträge in den Medien lassen erkennen, dass die Gefahrenpotenziale hier noch nicht abschließend wissenschaftlich dargelegt sind [xiv]. Umfangreiche eigene Studien hierzu sind jedoch bei den typischerweise kleinen und mittelständischen Textilunternehmen technisch und wirtschaftlich unmöglich. Auch das ITV Denkendorf, als ein verhältnismäßig großes Forschungsinstitut kann meist nur einzelne Aspekte untersuchen. So sehen wir es als wichtigen Teil unserer Untersuchungen an, die Freisetzungsmechanismen der in den Nanocomposite eingesetzten Nanosysteme zu ermitteln und daraus, unter Einbeziehung literaturverfügbarer wissenschaftlicher Erkenntnisse, das Gefahrenpotenzial abzuschätzen und Unternehmen bei Entwicklungen zu beraten. Vielen Unternehmen stehen meist nur (sicherheits)technische Datenblätter zu einzelnen Komponenten zur Verfügung. Beim Umgang mit Nanopartikeln und ihrem Einsatz ist deren Gefahrenpotenzial zu berücksichtigen [xv/xvi/xvii]. Dieses ergibt sich hauptsächlich aus deren Lungengängigkeit. Feinststäube insbesondere mit Partikelgrößen $< 1 \mu\text{m}$ gelten als lungengängig. Größere Partikel mit Durchmessern $> 3 \mu\text{m}$ werden in der Regel in den oberen Atemwegen abgeschieden. Hierunter fallen auch die üblicherweise durch Abrieb erzeugten textilen Faserstäube. Teilchen von 1 bis gut $3 \mu\text{m}$ Größe dringen bis in die Bronchienspitzen vor. Am weitesten gelangen diejenigen Partikel, die $< 1 \mu\text{m}$ sind. Sie können alle "Filtersysteme" passieren und landen teilweise in den Lungenbläschen respektive Alveolen, wo sie sich auf deren enorm großen Oberflächen ablagern.

Die Hersteller von nanopartikelhaltigen Hilfsmitteldispersionen geben üblicherweise die Empfehlung die Produkte nicht zu versprühen. Ansonsten sei

während der in der Textilindustrie üblichen Verarbeitung, beispielsweise in Tauchprozessen keine besondere Gefährdung aufgrund der enthaltenen Nanopartikel gegeben. Jüngste Untersuchungen der BASF zur Beurteilung des Gefahrenpotenzials eines neuen nanopartikulären Hilfsmittels ergaben weiterhin, dass auch bei der Verarbeitung entsprechend ausgerüsteter Textilien keine kritischen Feinstaubkonzentrationen auftreten. Dennoch wird die übliche Empfehlung gegeben die Arbeitsbereiche gut zu belüften [xviii].

Nanofasern haben einen Faserdurchmesser von $< 1 \mu\text{m}$, aber Faserlängen weit über 1 mm. Bei mechanischem Abrieb agglomerieren diese Fasern erfahrungsgemäß zu größeren Faserknäuel. Eine Lungengängigkeit ist somit nicht zu befürchten.

Prüfmethoden zur Messung und Klassifizierung von Feinststäuben in Atemluft sind in der Filtertechnik und Reinraumtechnik etabliert. Die am ITV etablierten und akkreditierten Prüfungen zur Partikelfreisetzung aus Reinraumgeweben und Abscheideeffizienz von Luftfiltern erlauben die quantitative Messung von Partikeln von 300 nm bis $10 \mu\text{m}$ und darüber. Bei der Messung der Partikelfreisetzung in Anlehnung an die Reinraumtechnologie wird durch Bewegung des Textils Abrieb erzeugt. Freigesetzte Partikel werden unmittelbar im Luftstrom gezählt oder in Membranfiltern gesammelt und mikroskopisch ausgewertet.

Hautverträglichkeit

Je nach Natur der in den Beschichtungssystemen enthaltenen Substanzen muss damit gerechnet werden, dass diese Substanzen auf die menschliche Haut übertragen werden, wenn es zu direktem Körperkontakt zum Textil kommt. Die Haut- bzw. Körperverschträglichkeit von Textilien, die im Körperkontakt stehen, ist daher von Interesse. Das gilt nicht nur für antimikrobiell ausgerüstete Textilien. Die Öko-Tex-Standards bieten durch die gezielte Prüfung auf ausgewählte, kritische Schadstoffe eine gewisse Sicherheit in Bezug auf die Körperverschträglichkeit. Dieser Standard ist jedoch nur sinnvoll einsetzbar bei bekannten Substanzen mit bekannter toxischer oder reizender Wirkung.

Für die angestrebten Neuentwicklungen von Beschichtungssystemen ist ein am ITV Denkendorf entwickeltes akkreditiertes Testverfahren, das speziell die Hautverträglichkeit überprüft, wesentlich sinnvoller. Bei diesem wird die Wirkung von Textilien auf die Haut erstmals mit Hilfe von lebenden Zellen als Bio-

sensoren bestimmt. Hierzu werden in einer simulierten Kontakt- bzw. Tragesituation (Temperatur, Feuchtigkeit, pH, usw.) die herauslösbaren Substanzen extrahiert und anschließend in Kontakt mit einer sensiblen Zellkultur (menschliche Keratinozyten) gebracht. Veränderungen an der Zellkultur werden dokumentiert und als Kriterium für die Hautverträglichkeit herangezogen [xix]. Dieses Testverfahren wurde auf Basis von Methoden der Bestimmung der Biokompatibilität nach ISO 10993 aufgebaut.

- [i] Rödel, H.: Trend zu modularer Schutzbekleidung, BW. - Düsseldorf, 54(2002)1. - S. 36-37
- [ii] Soane, D. S., et al., US 6,607,994 B2 2003
- [iii] Bahnert, T., Abschlußbericht AiF-Forschungsvorhaben Nr. 12431 N, 2002
- [iv] Harholdt, K., Carbon Fiber, Past and Future, Industrial Fabric Products Review, Vol 88, No. 4, 2003, p14
- [v] Xu, C., Agary, Y., Matsuo, M., Mechanical and Electrical Properties of Ultra-High-Molekular Weight Polyethylene and Carbon Black Particle Blends, Polymer Journal, 30, No. 5, 1998, p372
- [vi] Kim, Y. K., Lewis, A. F. et al., Nanocomposite Fibers, National Textile Center Annual Report M00-D08, 2002
- [vii] Baughman, R. H., et al. Carbon Nanotubes – the Route Towards Applications, Science, Vol 297, 2, Aug. 2002, p787
- [viii] Rao, A. M., Andres, R., Derbyshire, F., Nanotube Composite Carbon Fibers, Energeia, Vol. 9, No 6, 1998, p1.,
- [ix] Sennet, M., Welsh, E. et al., Dispersion and Alignment of Carbon Nanotubes in Polycarbonate, Applied Physics A, 76, 2003, p111-113
- [x] Ko, F. K., Khan, S., et al., Structure and Properties of Carbon Nanotube Reinforced Nanocomposites, AIAA 2002-1426
- [xi] Gilman, J. W, et. Al, . Flammability Studies of Polymer Layered Silicate Nanocomposites: Polyolefin, Epoxy, and Vinyl Ester Resins, Chemistry and Technology of Polymer Additives. Chapter 14. 1999, Blackwell Science Inc., 249-265 pp, 1999.

- [xii] Fan, Q., Alton S. C., Wilson, R., nanoclay-modified Polypropylene Dyeable with Acid and Disperse Dyes, AATCC review, June 2003, p25
- [xiii] Fujishima, A., Hashimoto, K., Watanabe, T., TiO₂ Photocatalysis-Fundamentals and Applications, Bkc, Inc, Tokio 1999
- [xiv] Biswas, P., Wu, C. Y. Nanoparticles and the Environment, J. Air & Waste Manage. Assoc. 55:708–746
- [xv] Borm, P. J. A., Die Toxikologie ultrafeiner Partikel, BIA-Report 7/2003
- [xvi] Areskoug H, Camner P, Dahlén S-E, Låstbom L, Nyberg F, Pershagen G, Particles in ambient air — a health risk assessment. Scand J Work Environ Health 26(2000), suppl 1, p. 1-96
- [xvii] Chong, S.-K., Methods of Calculating Lung Delivery and Deposition of Aerosol Particles, Respir Care 2000:45(6):695
- [xviii] Nörenberg, R. Denkendorfer Nanoforum, 6. April 2006, Stuttgart
- [xix] Schreiber, H., Doser, M., Planck, H., Melliand Textilberichte, Band 85, Heft 6, S. 487-489, 2004
- [xx] Dauner, M., Production of nano fiber nonwovens using electrostatic spinning, 7. Symposium „Textile Filter“, Chemnitz, 02./03.03.2004

Nanotechnologie in Baubeschichtungen – Anwendungen und Risiken

Dr. Peter Grochal

Sto AG

Hintergrund

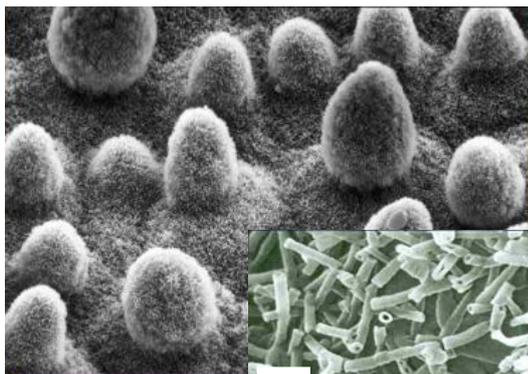
Die Beschichtungsindustrie ist seit Jahren im Bereich der Nanotechnologie tätig, ohne den Begriff Nano- oder Nanotechnologie zu verwenden.

Es sind vor allem Füllstoffe und Pigmente, die durch Verbrennung oder Fällung hergestellt werden.

Als Beispiel seien die pyrogenen Kieselsäuren, Aluminiumoxide, Titandioxide sowie Rußpigmente genannt, die definitionsgemäß Teilchengrößen kleiner als 100 nm besitzen.

Lotus Effekt®

Eine deutliche Herausstellung der nanoskaligen Strukturen kam mit der Entdeckung des Lotus-Effekts®. Oberflächenstrukturen im Nanobereich, wenn sie zusätzlich hydrophobe Eigenschaften besitzen, bewirken durch fließendes Wasser eine Selbstreinigung, den so genannten Lotus-Effekt®.

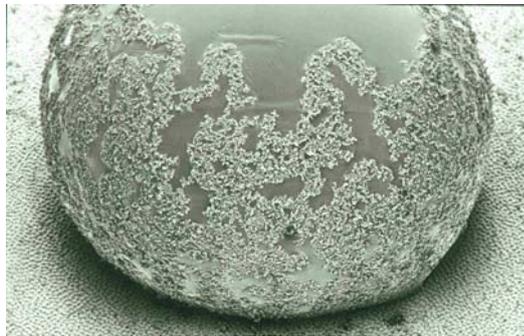


wachsartige Oberstruktur des Lotusblattes in μm -Bereich sowie Feinstruktur im Nanobereich.



Selbstreinigende
mit Lotus-Effekt®

Außenfarbe



Ein Wassertropfen als Schmutzsammler auf hydrophober, strukturierter Oberfläche



Selbstreinigender Dekorputz mit Lotus-Effekt®

Nanocomposites

Eine neue Bindemitteltechnologie, für Herstellung sog. Nanocomposites, bedient sich nanoskalierter Kieselgele in deren Anwesenheit man eine Dispersionspolymerisation ablaufen lässt.

Je nach Verhältnis Kieselgel zum Polymer erhält man unterschiedliche Strukturen mit bemerkenswerten Eigenschaften wie niedrige Anschmutzbarkeit, Brennbarkeit und Wasseraufnahme.

Die Anwendung ist bisher fast ausschließlich im Außenbereich.

Transparente Deckschichten

Breitere Anwendung finden nanoskalierte Pigmente und Füllstoffe in klaren Finish-Beschichtungen.

Bei Teilchengrößen < 100 nm bleiben sie für sichtbares Lichtspektrum in einer Polymermatrix unsichtbar und können die Oberflächenhärte und Abriebfestigkeit weiter verbessern.

Im Innenbereich sind es nur hochvernetzte Deckschichten für Industriefußböden auf PU- oder Epoxidharzbasis.

Photokatalyse allgemein

Eine neue Technologie, die im Bereich der Nanostrukturen angewendet werden kann, ist die Photokatalyse.

Auf dem Markt sind etliche photokatalytisch wirksame TiO₂-Pigmente im Nanobereich.

Photokatalyse ist ein Oxidationsprozess unter UV-Licht-Einwirkung, mit dem organische Stoffe abgebaut werden können. Es ist im Prinzip eine Verbrennung bei Normaltemperatur. Die Oberfläche wird dadurch selbstreinigend.

Die fest anhaftende Schmutzschicht an Fassadenbeschichtungen ist meist organischen Ursprungs. Durch die photokatalytische Wirkung wird der Schmutz an der Grenzoberfläche abgebaut und die Fassadenoberfläche durch Regenwasser benetzt. Der organische Schmutz wird – ähnlich wie in einem Waschvorgang – unterspült und mit Regen abgewaschen.



Selbstreinigende photokatalytische
Farbe mit Nanokatalysator



Luftreinigende Innenfarbe
mit Visible Light Catalysator

Photokatalyse Innen

Im Innenbereich können die photokatalytisch wirkenden Farben die Luft reinigen und Gerüche beseitigen. Durch die oxidative Wirkung haben sie teilweise eine desinfizierende Wirkung. Dafür braucht man allerdings TiO₂-Katalysatoren, die mit normalem Lampenlicht aktiviert werden können. Diese, so genannten VLC's (Visible Light Catalysators) haben wir mit Uni Erlangen entwickelt und mit Fa. Kronos in Großproduktion überführt.

Da im Innenbereich deckende Farben mit hoher Opazität gefordert werden, werden die Pigmente nicht oder selten mit Teilchengrößen < 100 nm verwendet.

Ein Abrieb mit nanoskalierten Teilchen besteht also nicht.

Nanosilber - Innenfarben

Eine Diskussion haben Innenbeschichtungen mit sog. Nanosilber entfacht, die als antibakterielle Oberflächenbeschichtungen ausgelobt werden.

Dass Silber antimikrobielles Potenzial hat, ist bereits seit der Antike bekannt.

Die sog. oligodynamische Wirkung von Silber beruht auf Ionisation $Ag \rightarrow Ag^+$

Die Wirkung von Ag^+ entfaltet sich interzellulär

Die möglichen Folgen sind Wechselwirkungen mit DNS und Störungen der Replikation.

Unsere Firma zögert bislang mit der Einführung solcher Beschichtungen, die heute schon in vielen Ausschreibungen für Schulen und Krankenhäuser enthalten sind.

Der Transport und die Wirkung von Ag^+ ist nur in Verbindung mit Feuchtigkeit möglich. Die Lebensfähigkeit von Bakterien ist ebenfalls nur auf feuchtem Untergrund gegeben. Da die Innenraumwände im Regelfall trocken sind, fehlt es theoretisch an der Sinnhaftigkeit dieser Beschichtungen.

Die Krankheiten wie SARS oder seit neuem die Vogelgrippe induzieren marketingmäßig die Anwendung solcher Beschichtungen, obwohl die Wirksamkeit in der Praxis noch nicht nachgewiesen ist.

Wenn jedoch Nanosilber-Beschichtungen hergestellt werden, sollte beachtet werden, dass die Silberkonzentration die Wirkungskonzentration nicht übermäßig übersteigt und das Silber auf einem Träger oder Matrix so eingebunden ist, dass der Abrieb einzelner Elementarteilchen nicht möglich ist.

Schlussbemerkung

Insgesamt möchten wir feststellen, dass der alleinige Begriff NANO – kein Qualitätsprädikat ist und keine Qualitätsgewährleistung darstellt.

Nanotechnologie in Sportbeschichtungen

Dr. Markus Schütz

Holmenkol Sport-Technologie GmbH & Co KG

Das Unternehmen

In den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts experimentierte der Skispringer und Chemiker Max Fischer mit Paraffinwachsen, um die Geschwindigkeit seiner Holzski vor allem bei nassem, klebrigem Schnee zu steigern und ein Ankleben zu verhindern. Im Jahr 1922 gründete er die „Vereinigten Wachswarenfabriken AG“ mit der Marke HOLMENKOL für Skiwachse. Damit ist HOLMENKOL der älteste Skiwachshersteller der Welt mit einer über 80jährigen Tradition.

Im Jahr 2002 wurde diese Marke in einem joint venture mit der Nanotechnologiefirma Nanogate verselbstständigt. Ziel dieses Unternehmens ist die Entwicklung und Vermarktung von einzigartigen, umweltfreundlichen und hochwirksamen Sportbeschichtungen auf Basis modernster Technologien wie z. B. der Nanotechnologie. HOLMENKOL wurde 2004 in die TOP 100 der innovativsten Betriebe des deutschen Mittelstands aufgenommen.

Die Produkte und Technologien

HOLMENKOL setzt neben seinen klassischen Technologien auch im Skiwachsbereich mit der NANOWAX-Linie und den NANOSPEED-Finishwachsen verstärkt auf Nanotechnologie. Die NANOWAX-Linie wurde neben dem Sports e. V. Innovations Preis (2001) und dem ISPO Award (2002) vom renommierten Magazin „Forbes“ 2003 als Nanoprodukt Nr. 1 weltweit ausgezeichnet.

Für den Outdoorbereich wurden, neben einem Antibeschlagsmittel für Brillen und Visiere, Imprägnierungen auf Basis der Nanotechnologie entwickelt. 2004 wurde die Imprägnierwirkung des Produkts TEXTILE PROOF von der Stiftung Warentest mit „sehr gut“ (1,1) bewertet.

Eine Gleitversiegelung für alle beweglichen Metallteile, wie z. B. Ketten sowie eine Beschichtung zur Verhinderung von Verschmutzungen des Rahmens wurden auf dem Fahrradmarkt etabliert.

Im Wassersport sind die Beschichtungen SPORTPOLISH und AQUASPEED auf Bootsrümpfen zur Reibungsminimierung im Wasser sowie die Segelbeschichtung SEAL N GLIDE inzwischen nicht mehr wegzudenken. Mit den Produkten wurden schon in den unterschiedlichsten Klassen Meisterschaften gewonnen und neue Geschwindigkeitsrekorde aufgestellt.

Weitere Märkte sind in Vorbereitung.

Um die jeweils gewünschten Produkteigenschaften zu erzielen, werden bei HOLMENKOL vor allem selbstorganisierende Schichten im Nanometerbereich eingesetzt. Darüber hinaus sind aber auch Nanopartikel im Einsatz. Damit können sowohl extrem hydrophile als auch extrem hydrophobe Oberflächen erzeugt werden. Durch definierte Strukturierung der aufgetragenen Beschichtung wird z. B. bei den Imprägnierungen zusätzlich die Oberflächenenergie minimiert. Die resultierende Oberfläche verhält sich ähnlich der Oberfläche eines Lotusblattes.

Der Verbraucherschutz

Die bei uns eingesetzten Nanopartikel und Nanostrukturelemente sind grundsätzlich inert in einer Matrix eingebettet und somit von ihrer Umgebung isoliert. Durch die feste Verankerung der Nanomaterialien mit der umhüllenden Matrix (durch chemische Bindungen) ist eine Gefährdung des menschlichen Organismus nach dem derzeitigen Kenntnisstand ausgeschlossen. Auch die Ablösung einzelner Nanopartikel aus dem Oberflächenverbund durch Abnutzung ist auszuschließen. Das bedeutet, dass diese zu keinem Zeitpunkt des Produktzyklus als freie Nanopartikel freigesetzt werden können.

Unsere Produkte werden vor der Markteinführung umfangreich geprüft. Alle wesentlichen Aspekte einer potenziellen Gefährdung der Verbraucher werden hier berücksichtigt. Die Prüfungen gehen regelmäßig über das vom Gesetzgeber vorgeschriebene Maß hinaus. Neben toxikologischen Untersuchungen werden unter anderem Anwenderstudien zur Praxistauglichkeit, umfangreiche Qualitätstests sowie Untersuchungen zur Sicherheit und Verkehrsfähigkeit aller HOLMENKOL-Produkte durchgeführt. Wir arbeiten hier mit renommierten Partnern und Instituten zusammen. Hierzu gehören u. a. das TNO; das Fraunhofer Institut für Toxikologie und experimentelle Medizin, das ITV Denkendorf,

das Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e. V., das tiv oder das Institut Fresenius.

In den Fällen, in denen wir Nanotechnologie-Produkte als Aerosole einsetzen, stellen wir die Tröpfchengröße im Sprühnebel gezielt auf eine für den Anwender unbedenkliche Größe ein. Damit kann die Lungengängigkeit von vornherein ausgeschlossen werden.

Über unsere Muttergesellschaft Nanogate sind wir zudem direkt an Projekten, die zur weiteren Klärung des Risikopotenzials beitragen und zur besseren Transparenz der Nanotechnologie führen, beteiligt (z.B. Nanosafe, EU-Projekt zur Gefährdungsanalyse von Nanomaterialien).

Unsere auf Nanotechnologie basierenden Produkte sind teilweise seit 1998 auf dem Markt und haben sich in der Praxis bewährt. Inzwischen sind sie viele tausend Mal ohne einen einzigen Gefährdungsfall verkauft worden und nachweislich sicher.

Gesundheitliche Aspekte von Nanomaterialien

Prof. Dr. Harald F. Krug

Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Toxikologie und Genetik

Die „Nanotechnologie“ gilt allgemein als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Mit dieser Technologie verbinden sich viele Hoffnungen, sowohl der Wirtschaft als auch der Nutzer, aber es werden auch eine Reihe von Befürchtungen bzw. Vorbehalten geäußert. Solche Vorbehalte sind nicht unwesentlich auch auf die teilweise schlechten Erfahrungen mit anderen Technologien zurückzuführen, da von ihnen neben den erhofften Vorteilen auch Risiken und Gefahren gesundheitlicher, sicherheitstechnischer oder auch gesellschaftlicher Art ausgingen. So werden die möglichen Gefahren der Nanotechnologie mittlerweile nicht nur in *Science-Fiction* Romanen thematisiert, sondern auch von verschiedenen Interessengruppen problematisiert. Zu Recht, lautet hier die Frage? Wirtschaftliche und wissenschaftliche Innovationen sind ohne jedes Risiko nicht realisierbar. Entscheidend sind jedoch die Kenntnis und zufrieden stellende Beherrschung der Risiken sowie eine Risiko/Nutzenabwägung, die sich an den Interessen der Gesellschaft und der Individuen orientiert. Im Zusammenhang mit der Nanotechnologie und dem Umgang mit Nanomaterialien stehen momentan vor allem mögliche gesundheitliche Risiken im Vordergrund. Ist ein solches Gefährdungspotenzial vorhanden und ist es derzeit kalkulierbar? Können die Risiken soweit aufgeklärt werden, dass diese tatsächlich von der Gesellschaft akzeptierbar sind? Im Folgenden werden wichtige Gesichtspunkte gesundheitlicher Aspekte von Nanopartikeln erläutert.

Wie „neu“ sind Nanopartikel?

Von der Möglichkeit, technisch ultrafeine Partikel herzustellen, geht nicht gleichzeitig eine völlig neue Exposition des Menschen gegenüber solchen, sehr kleinen Teilchen z.B. in der Atemluft aus. Lange bevor wir mit neuen Technologien in den Nanobereich vordringen konnten, waren wir bereits kleinsten Partikeln ausgesetzt. Denn bei jedem Waldbrand oder anderen Verbrennungsprozessen, bei jedem Vulkanausbruch und bei allen mechanischen Vorgängen werden nicht nur die sichtbaren Stäube und Rußpartikel in die Atmosphäre abgegeben, sondern auch beachtliche Mengen an feinen ($< 2,5 \mu\text{m}$) und ultrafein-

nen (< 100 nm) Stäuben erzeugt. Eine Exposition gegenüber einem Gemisch aus Grob-, Fein- und Ultrafeinstaub ist somit schon lange gegeben und auch als gesundheitlich nachteilig bekannt. An Arbeitsplätzen mit berufsbedingter Exposition (in der BRD ca. 6 Mio.) treten auch häufiger entsprechende Erkrankungen auf; bei Bergleuten beispielsweise die Pneumokoniose nach Inhalation quarzhaltiger Stäube.

Feine und ultrafeine Partikel in der Umgebungsluft, die nicht natürlichen Ursprunges sind, stammen derzeit in den meisten Fällen aus

1. technischen Verbrennungsprozessen aller Art
2. dem Straßenverkehr (Dieselruß, Katalysatorausstoß, Abrieb von Reifen, Kupplungen und Bremsen)
3. dem häuslichen Bereich, z.B. aus Kerzenbrand
4. Küchentätigkeiten, wie Kochen, Braten und Grillen
5. Zigarettenrauch.

In Deutschland ging in jüngster Zeit zwar die Gesamtbelastung der Luft durch Stäube zurück (auf die Masse bezogen), die Partikelanzahl (N/m^3) nahm jedoch zu (vor allem der Anteil der ultrafeinen Partikel trägt dazu bei). Für die nachgewiesenen Partikel sind auch die Quellen bekannt: Verbrennungsprozesse und Straßenverkehr haben den größten Anteil an der Gesamtschwebstaubfraktion. Gerade die kleinsten Partikel aber zeichnen sich durch eine erheblich größere Oberfläche im Verhältnis zum Volumen und zur Masse aus. Bei gleicher Masse wird dies besonders deutlich: die Oberfläche und besonders die Anzahl der Partikel steigt enorm an, wenn die Größe reduziert wird¹. Hieraus leiteten sich im wesentlichen zwei Hypothesen ab: wird die Anzahl größerer Partikel erniedrigt, können die kleineren Partikel seltener durch Koagulation mit großen Partikeln beseitigt werden und sie bleiben länger stabil; Partikel werden mit abnehmender Größe immer toxischer, da ihre Oberfläche katalytisch wirksam ist und unerwünschte Reaktionen auslöst. Beide Hypothesen sind nach wie vor noch nicht stichhaltig bewiesen, und werden teils kontrovers diskutiert (Ober-

¹ Partikel mit einem Durchmesser von 10 nm besitzen gegenüber Partikeln mit einem Durchmesser von 1 μm bei gleicher Masse eine mehr als 300 mal größere Oberfläche, ihre Anzahl steigt bei gleicher Masse auf das eine Million fache.

dörster et al. 2000; Oberdörster 2001; Warheit et al. 2006; Wottrich et al. 2004; Zhang et al. 2003).

Alle diese Studien betreffen Umweltbelastungen durch Verbrennungs- und Verarbeitungsprozesse. Wie anfangs jedoch erwähnt, mehren sich auch Vorbehalte gegenüber den industriell genutzten Nanopartikeln. Diese werden in einer ganzen Reihe von Produkten schon seit geraumer Zeit eingesetzt, dazu gehören:

1. Cremes/Pasten/Kosmetika/Zahnpasta
6. Drucker/Kopierer
7. Sonnenschutz
8. Farben/Lacke/Kleber u.v.m.
9. Autoreifen
10. Nahrungsmitteladditiva
11. Oberflächenimprägnierung

Nanopartikel sind somit neben den ungewollt in die Umwelt entlassenen Partikeln ebenfalls eine mögliche Expositionsquelle schon während der Herstellung und Verarbeitung dieser Produkte. Folgende Fragen werden dadurch aufgeworfen: Geht mit Produkten auf Basis von Nanopartikeln eine nachweisbare Exposition für den Menschen bei Herstellung, Gebrauch oder Entsorgung einher, auf welchen Wegen erfolgt diese Exposition, wo verbleiben letztlich die Nanopartikel und ist mit diesen ein unzumutbares Risiko verbunden? Für die kleinsten Partikel in der Atemluft wurde geäußert, dass „ultrafeine Partikel (Durchmesser $< 0,1\mu\text{m}$) in ihrer Konzentration in der Atemluft eher zugenommen haben“, sowie „die Wirkungen auf Herz-Kreislauf-Systeme und auf das autonome Nervensystem möglicherweise extrem relevant für Personen mit entsprechenden Vorerkrankungen sind“ und „die Exposition gegenüber höheren Konzentrationen zu einer Verkürzung der Lebenserwartung bis zu zwei Jahren führen kann“ (Eikmann und Seitz, 2002). Bei der Anwendung von Produkten, die Nanopartikel enthalten, sind solche Daten bisher epidemiologisch noch nicht erfasst worden, da es kaum Hinweise für mögliche gesundheitsbeeinträchtigende Wirkungen gibt. Außerdem ist bei Produkten wie Cremes, Farben und Sonnenschutz nicht immer die Lunge betroffen, und ein Produkt, das Nanopartikel enthält oder daraus gebildet wurde, emittiert nicht automatisch wieder solche in die

Umgebung. Daher lassen sich die epidemiologischen Studien zur Luftverunreinigung auch nicht ohne weiteres auf andere Formen der Exposition übertragen. Die Exposition über die Lunge durch inhalierbare Stäube ist aber sicherlich der maßgebliche Weg; er gilt für die meisten gesundheitlich relevanten Wirkungen ultrafeiner Stäube bzw. Partikel (Oberdörster, 2001) und somit auch für technisch erzeugte Nanoteilchen.

Neue Materialien – Neue Risiken

Die Verkleinerung eines Materials und seine Bearbeitung hat mittlerweile eine Grenze überschritten, nach der die bisherigen Gesetze nicht mehr uneingeschränkt zutreffen. Ein beliebiges Material verhält sich in nanoskaligen Dimensionen auf einmal ganz anders, als in seiner "größeren" Form. Diese neuen Eigenschaften machen eben den Reiz der neuen Technologie aus, wenn plötzlich elektrisch isolierende Stoffe leitend werden, oder kleine Metallcluster fluoreszieren, farbige oder durchsichtig werden. Durch die Änderung ihrer Eigenschaften wird der Entwicklung neuer Produkte Tür und Tor geöffnet und Nanopartikel werden in vielen neuen Anwendungen zu finden sein. Genauso überraschend, wie die direkten Substanzeigenschaften, kann sich aber möglicherweise auch ihr Verhalten in der Umwelt oder in lebenden Organismen verändern. Und hier liegt nun eine große Herausforderung, die Erforschung nicht nur der gewünschten Effekte der neuen Materialien, sondern auch die der unerwünschten Effekte, also der möglichen Nachteile, die mit dieser Technologie verbunden sind. Noch sind wir nicht wirklich auf dem Stand von einer echten "Nanotechnologie" zu sprechen, sondern nach wie vor handelt es sich um Nanowissenschaften, die noch dabei sind, Eigenschaften und Anwendungen zu erforschen, aber schleichend und nahezu unbemerkt hat sich die Anwendung einiger Nanoteilchen bereits in der Gesellschaft etabliert. Das sind nicht unbedingt solche Anwendungen, die unter den Begriff Nanotechnologie fallen würden, aber es führt eben bereits dazu, dass diese Nanoteilchen in die Umwelt bzw. an oder in lebende Organismen und den Menschen gelangen. Hier nun ist die Wissenschaft gefordert, rechtzeitig mögliche nachteilige Wirkungen zu untersuchen, um den negativen Effekten vorzubeugen. Natürlich müssen wir uns bewusst sein, dass es neue Technologien ohne ein damit einhergehendes Risiko nie geben wird, aber wir können etwas dafür tun, diese Risiken zum einen

frühzeitig zu erkennen und zum anderen rechtzeitig durch geeignete Maßnahmen eine Minderung des Risikos herbeizuführen.

Gesundheitliche Aspekte

Zum Mechanismus der Lungenschädigung durch inhalierte Partikel

In unserem Atmungssystem sorgen verschiedene Schutzmechanismen dafür, dass eingeatmete Krankheitserreger und Fremdstoffe keinen Schaden anrichten können. Neben der mechanischen Ausschleusung (Husten, Niesen) spielen unspezifische und spezifische Immunabwehrprozesse sowie Entgiftungsmechanismen eine wichtige Rolle. Zur Bekämpfung von Bakterien und Viren oder zur Beseitigung nicht-infektiöser Partikel wird lokal eine Entzündungsreaktion ausgelöst oder die vor Ort anwesenden Immunzellen, in Lungenbläschen sind das Alveolarmakrophagen, aktiviert. Dabei werden neben reaktiven Sauerstoffspezies auch Proteine und Lipide freigesetzt, die als chemische Botenstoffe (Mediatoren) auf andere Zelltypen wirken. Dadurch sind z. B. die Epithelzellen, welche die Lungenbläschen auskleiden, oder die Endothelzellen, welche die in unmittelbarer Nachbarschaft liegenden Blutgefäße auskleiden, betroffen. Die einsetzende Bekämpfung der eingedrungenen Fremdkörper kann auch gesundes Gewebe in Mitleidenschaft ziehen, das durch anti-inflammatorische Prozesse geschützt bzw. wieder repariert werden muss. Die Feinregulation (Homöostase) dieses Netzwerks von Mediatoren sorgt dafür, dass der Schaden für die Lunge oder den Organismus begrenzt wird. Eine Unter- oder Überregulierung bestimmter Mediatoren würde zu größeren Schäden und damit zur Verschlimmerung von Erkrankungen führen.

Die inflammatorische Antwort nach Inhalation von feinen und ultrafeinen Partikeln wurde am Menschen sowie mit Ratten eingehend untersucht (Übersicht bei: Oberdörster *et al.*, 2000; Oberdörster, 2001). Die mit der Einwanderung von Entzündungszellen verbundene Freisetzung von reaktiven Sauerstoffspezies und lysosomaler Enzyme schädigte das Lungenepithel, so dass die Fähigkeit zur Abwehr von Krankheitserregern beeinträchtigt wurde. Die im Umweltaerosol enthaltenen Metalle scheinen bei der Auslösung von Partikel-induzierten Effekten eine wichtige Rolle zu spielen, wie experimentelle und epidemiologische Versuchsansätze zeigen konnten. Als Ursache für die zytotoxische Wirkung von

Partikeln werden auch Oberflächeneigenschaften und das elektrokinetische Potenzial von Partikeln diskutiert. Zu den ultrafeinen Stäuben und den Nanopartikeln fehlen solche Untersuchungen noch weitgehend.

Modellentwicklung zur mechanistischen Bestimmung der Wirkung ultrafeiner Partikel

Im Institut für Toxikologie und Genetik soll sowohl für umweltrelevante Aerosole (Feinstaub) als auch an synthetischen Nanopartikeln unterschiedlicher Größe (12 – 400 nm) mit lungenspezifischen *in vitro*-Tests herausgefunden werden, welche chemischen Bestandteile und welche Partikelgrößenfraktionen zur toxischen Wirkung beitragen. Als Beispiel für Umweltpartikel wurde Flugstaub aus einer industriellen Hausmüllverbrennungsanlage ausgewählt, weil der Verbrennungsprozess, ähnlich wie bei der Kohleverbrennung, gut untersucht ist und eine hohe Anzahl sehr feiner Partikel darin enthalten ist (Paur et al., 2000).

Im Allgemeinen werden für Toxizitätsstudien Zellkulturen aus der Lunge submers in flüssigen Kulturmedien, in denen die Partikel suspendiert werden, behandelt. In der Lunge kommt der Kontakt mit den inhalieren Partikeln jedoch direkt über die Gasphase zustande. Aus diesem Grund haben wir am Institut für Toxikologie und Genetik eine realitätsnähere Messmethode entwickelt. Wie in der *in vivo* Situation in der Lunge wird in diesem System die Exposition der Zellen an der Luft/Flüssigkeits-Grenzschicht durchgeführt. Diese Methode ist allerdings technisch sehr aufwändig, denn es muss einerseits ein definiertes Aerosol erzeugt werden, das in einer geeigneten Weise über Testzellen geleitet wird und andererseits müssen die Zellkulturen durch geeignete Trägersysteme über den Testzeitraum funktionell lebensfähig erhalten werden. Bei unserer Methode werden die Zellen auf einer porösen Membran ausgesät, die es den Zellen erlaubt, sich während der Luftexposition durch die Poren mit Flüssigkeit und Nährstoffen zu versorgen (Diabate et al., 2004).

Nach der Exposition werden die Zellen auf ihre Vitalität und das Kulturmedium auf Mediatoren untersucht, die charakteristisch für entzündliche Veränderungen sind. Dieses in der Entwicklung befindliche Expositionssystem wird es in Zukunft ermöglichen, vor-Ort-Messungen mit lebenden Zellen durchführen zu können, um an möglichen Quellen direkt die Einflüsse von Partikeln in der Luft nachweisen zu können. Die bisherigen Experimente nach der herkömmlichen

Methode (submers-Exposition) haben zu dem Ergebnis geführt, dass ultrafeine synthetische Modell- und Flugaschepartikel bereits bei nicht zytotoxischen Konzentrationen verschiedene Parameter einer entzündlichen Reaktion, z.B. Zytokinbildung, in Lungenzellen induzieren oder verstärken (Diabate et al., 2002). Aus den Ergebnissen der beschriebenen Untersuchungen sollen Informationen zur Verfügung gestellt werden, mit denen die Gesundheitseffekte durch partikuläre Luftverschmutzungen aus einzelnen Quellen beurteilt werden können, um dann gezielte technische Maßnahmen zur Emissionsminderung vorzunehmen. Genauso wichtig ist die Einschätzung der Partikelemissionen, die bei der Anwendung von neuen Technologien oder beim Einsatz von neuen Brennstoffen entstehen können, damit die Entwicklungen so frühzeitig wie möglich in die richtige Richtung gelenkt oder Entscheidungen über eine ausgedehntere Anwendung getroffen werden können. Die Expositionssysteme werden helfen, Partikelbelastungen auch am Arbeitsplatz daraufhin überprüfen zu können, inwieweit ein entscheidendes Gesundheitsrisiko von ihnen ausgeht oder nicht.

Nanopartikel – Risiken

In dieser Zusammenfassung würde es zu weit führen, auf alle möglichen neuen Materialien einzugehen und diese erschöpfend zu diskutieren. Daher soll beispielhaft an wenigen partikulären Systemen auf die wesentlichen Belange in der Risikodebatte hingewiesen werden. In der Nanotechnologie sind aktuell Kohlenstoff-Nanoröhrchen für viele Entwicklungen von großem Interesse, und zwar wegen ihrer herausragenden mechanischen, elektrischen und magnetischen Eigenschaften. Es gibt einwandige Nanoröhrchen mit Durchmessern von 1 - 2 nm oder mehrwandige Nanoröhrchen mit Durchmessern von 10 – 30 nm. Beide können eine Länge von mehreren Mikrometern haben und durchaus von Zellen aufgenommen werden. Die potenziellen Gefahren in Bezug auf die Inhalation von Nanoröhrchen z. B. bei deren Herstellung, sind weitestgehend unbekannt. Bei Inhalationsversuchen an Ratten wurde festgestellt, dass inhalierte Kohlenstoffpartikel beträchtliche Lungenschäden verursachen können und dass das toxische Potenzial mit kleiner werdender Partikelgröße und größer werdender Partikeloberfläche steigt. Vergleichbare Versuche mit Kohlenstoff-Nanoröhrchen sind sehr schwierig, weil sie stark agglomerieren. Bei ersten Versuchen wurden die Partikel in Flüssigkeit suspendiert und in die Atemwege von Ratten oder Mäusen instilliert (Lam et al. 2004; Warheit et al., 2004). Die

höchste Konzentration von 5 mg einwandiger Nanoröhrchen pro kg Körpergewicht führte zu einer Mortalität von ca. 15% der exponierten Ratten. Die Ursache war allerdings eine Verstopfung der Hauptatemwege durch Partikel-Agglomerate und nicht die mögliche Toxizität der Partikel selbst. Bei den Überlebenden wurde eine transiente Lungenentzündung sowie die Bildung von multifokalen Granulomata beobachtet. Das Auftreten von Granulomata bei Abwesenheit anderer schädlicher Effekte scheint nicht dem normalen Paradigma zu folgen, das durch toxische Stäube wie Quarz oder Asbest entsteht. Exposition mit diesen Stäuben führt zu Zellschäden, Entzündung und Fibrose. Wegen der starken Agglomeration in Suspensionen ist es unumgänglich, diese Partikel als Aerosol in einer Inhalationsstudie oder mit einem *in vitro*-Test zu untersuchen. Unsere eigenen Studien haben ergeben, dass die Kohlenstoff-Nanoröhrchen nur dann eine akute Toxizität aufweisen, wenn die Kontaminanten, die während der Synthese entstehen (amorpher Kohlenstoff) bzw. dort benutzt werden (Metallionen), nicht in ausreichendem Maße entfernt wurden. Das bedeutet, dass die gezeigte akute Toxizität nur von den Metallen oder dem amorphen Kohlenstoff abhängt, während gereinigte Kohlenstoffröhrchen weder oxidativen Stress noch einen Verlust der Vitalität hervorrufen können (Wörle-Knirsch *et al.*, 2006). In dieser Studie konnten wir darüber hinaus zeigen, dass auch *in vitro* Granuloma-ähnliche Strukturen um die Kohlenstoffröhrchen entstehen. Ebenfalls für Aufregung sorgten die von E. Oberdörster in 2004 präsentierten Daten zu Fullerenen, die in aquatischen Systemen auf Fische toxisch wirkten und dabei vor allem in den Gehirnen zu Lipidperoxidation führten (Oberdörster 2004). Die hier aufgeführten Studien belegen gleichzeitig, wie wichtig es ist, keine voreiligen Schlüsse aus einzelnen Ergebnissen zu ziehen, die noch nicht von unabhängiger Seite wiederholt bzw. durch weitere Experimente bestätigt wurden. Während bei der Instillation der Nanotubes in Ratten- und Mäuselungen die Tiere eher erstickt sind, weil es zum Verschluss der oberen Bronchien kam, ist die Studie von Frau Oberdörster bisher noch nicht durch weitere Studien belegt worden. Dennoch ist es vor diesem Hintergrund als kritisch zu bewerten, wenn bereits in Kosmetika Fullerene als „anti-oxidatives“ Prinzip Verwendung finden, die Daten zu den Untersuchungen dieses Produktes wären für eine umfassende Beurteilung der Fullerene und ihrer Wirkungen von besonderer Bedeutung.

Aus den oben dargestellten Beispielen werden bereits wichtige Fragen deutlich, die für eine Risikoabschätzung unbedingt adressiert werden müssen, um ein Risiko für den Menschen am Arbeitsplatz aber auch der Nutzer der Produkte weitestgehend ausschließen zu können. Fälle, wie gerade durch den Badezimmerreiniger „Magic Nano“ in die Öffentlichkeit gelangt, sollten in der Zukunft möglichst vermieden werden. Daher wäre es notwendig, die nachfolgend aufgeführten Wissenslücken zu schließen und systematische Untersuchungen möglich zu machen:

1. Verlässliche und vergleichbare Methoden sind derzeit nicht vorhanden/definiert
2. Ein Referenzmaterial fehlt bisher völlig
3. Expositionsszenarien werden nur wenig untersucht
4. Einige wichtige biologische Effekte sind zwar beschrieben, aber wichtige Informationen fehlen immer noch zu: Toxikokinetik, Deposition und Akkumulation
5. Ökotoxikologische Aspekte sind bisher fast völlig unberücksichtigt
6. Einige Fragen sind bisher nicht adressierbar, da entsprechende Fälle noch gar nicht eingetreten sind

Nanopartikel – Chancen

Mit der Entwicklung neuer Materialien und der Verbesserung analytischer Systeme geht auch immer ein Aufschwung der verschiedensten Anwendungen einher. Neben einem Einsatz nanostrukturierter Materialien im technischen Bereich finden Nanoteilchen auch ihre Anwendung in Biologie und Medizin. Verschiedene Produkte sind bereits im molekularbiologischen Labor etabliert, wie z. B. die Verwendung von fluoreszierenden Nanopartikeln, so genannten Quantumdots, zur Markierung von Zellstrukturen oder magnetische Nanopartikel zum einfachen separieren von Proteinen oder Zellorganellen. Die Quantumdots haben gegenüber herkömmlichen Fluoreszenzfarbstoffen den großen Vorteil, dass ihre Fluoreszenz nicht ausbleicht. Funktionalisierte Nanotubes aus Kohlenstoff werden schon als Biosensoren verwendet, sie können spezifisch klinisch relevante Biomoleküle detektieren. In der Medizin werden die Eigenschaften der Nanoteilchen zur Verbesserung der Pharmakotherapie genutzt.

Nanopartikel können als Transportsystem für Medikamente verwendet werden und können so die Löslichkeit eines Pharmakons deutlich gegenüber der des freien Medikaments erhöhen, des Weiteren sind sie imstande Nebenwirkungen zu reduzieren oder verhindern den schnellen Abbau von Arzneimitteln. Bei Augenerkrankungen werden Partikel aus Chitosan, einem Polysaccharid, das eine gute Bioadhäsion aufweist, permeabilitätssteigernd wirkt und wenig toxisch ist, als Vehikel für Medikamente benutzt. So wird eine selektive und verlängerte Pharmakotherapie an der Mucosa des Auges ermöglicht. Auch beim Transport von Medikamenten über die Blut-Hirn Schranke können Nanopartikel von Nutzen sein. Durch Nanopartikel, die mit Polysorbat bedeckt sind, können Medikamente, wie das Antibiotikum Doxorubicin, das zur Krebstherapie verwendet wird, direkt über eine Rezeptorwechselwirkung in Endothelzellen des Gehirns und somit in die Hirnblutgefäße gelangen (Kreuter, 2001). Mittlerweile gibt es viele weitere Ansätze, Nanoteilchen für die Diagnose und Therapie von Tumoren einzusetzen (Brigger et al., 2002; Roy et al., 2003; Steiniger et al., 2004). Dabei werden sogar Modelle erstellt, welche die Therapie individuell an den Patienten anpassen (Li et al., 2002). Einige Arzneimittel auf der Basis von Nanopartikeln befinden sich im Stadium von klinischen Studien.

Resümee

Soviel Potenzial in den neuen Materialien enthalten ist, soviel Unwissenheit besteht aber auch über ihre möglichen nachteiligen Wirkungen in der Umwelt oder im Organismus. Sei es am Arbeitsplatz, bei der Herstellung, bei der technischen Anwendung oder bei der Verwendung als Medikament, immer werden diese Nanoteilchen auch "Nebenwirkungen" haben, die genauestens gegen die Vorteile abgewogen werden müssen, bevor sie bedenkenlos zum Einsatz kommen. Allerdings hat zu den technischen Entwicklungen neuer Nanomaterialien bereits frühzeitig eine Diskussion in der Öffentlichkeit eingesetzt, die nun dazu führt, dass umfangreiche Untersuchungen möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen eingeleitet werden. Gerade jetzt werden die Aktivitäten sowohl von der Umwelttoxikologie, der Hygieneinstitute und auch anderer akademischer Forschungseinrichtungen verstärkt, um eventuelle Nachteile und unerwünschte Nebenwirkungen der neuen Materialien frühzeitig zu erkennen. Dazu werden auch Projekte beitragen, die gerade durch das BMBF gefördert gestartet sind (INOS, NanoCare, Tracer) und zum Ziel haben, sehr verschiedene

Materialien auf ihre möglichen negativen Folgen hin zu untersuchen, die Daten in einer Datenbank interpretiert zur Verfügung zu stellen und den gezielten Dialog mit wichtigen gesellschaftlichen Gruppen aber auch mit der Öffentlichkeit zu suchen (NanoCare: www.nanopartikel.info).

Literatur

- Brigger, I., Dubernet, C., Couvreur, P. (2002): Nanoparticles in cancer therapy and diagnosis. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 54, 631-651.
- Diabate, S., Mulhopt, S., Paur, H.R., Wottrich, R., Krug, H.F. (2002): In vitro effects of incinerator fly ash on pulmonary macrophages and epithelial cells. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 204, 323-326.
- Diabate, S., Völkel, K., Wottrich, R., Krug, H.F. (2004): Macrophages and epithelial cells in co-culture as sensitive targets for pulmonary toxicity assessment. In: Heinrich, U. (ed.), *Effects of air contaminants on the respiratory tract - Interpretation from molecular to meta analysis* Fraunhofer IRB Verlag, Hannover, pp 233-243
- Eikmann, T., Seitz, H. (2002): Klein, aber oho! Von der zunehmenden Bedeutung der Feinstäube. *Umweltmed. Forsch. Prax.* 7, 63 – 64.
- Kreuter, J. (2001): Nanoparticulate systems for brain delivery of drugs. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 47, 65-81.
- Lam CW, James JT, McCluskey R, Hunter RL (2004) Pulmonary toxicity of single-wall carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation. *Toxicol. Sci.* 77:126-134
- Li, K.C., Guccione, S., Bednarski, M.D. (2002): Combined vascular targeted imaging and therapy: a paradigm for personalized treatment. *J. Cell Biochem. Suppl* 39, 65-71.
- Oberdörster E (2004) Manufactured nanomaterials (fullerenes, C60) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass. *Environ. Health Perspect.* 112:1058-1062
- Oberdörster G (2001) Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 74:1-8

- Oberdörster G, Finkelstein JN, Johnston C, Gelein R, Cox C, Baggs R, Elder AC (2000) Acute pulmonary effects of ultrafine particles in rats and mice. 96, Health Effects Institute, Cambridge, MA.
- Oberdörster, G. (2001): Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 74, 1-8.
- Paur, H.R., Bauman, W., Becker, B., Mätzing, H., Seifert, H. (2000): Technische Maßnahmen zur Minderung von Verbrennungsaerosolen. *Nachrichten* 32, 148-157.
- Roy, I., Ohulchanskyy, T.Y., Pudavar, H.E., Bergey, E.J., Oseroff, A.R., Morgan, J., Dougherty, T.J., Prasad, P.N. (2003): Ceramic-based nanoparticles entrapping water-insoluble photosensitizing anticancer drugs: a novel drug-carrier system for photodynamic therapy. *J. Am. Chem. Soc.* 125, 7860-7865.
- Steiniger, S.C., Kreuter, J., Khalansky, A.S., Skidan, I.N., Bobruskin, A.I., Smirnova, Z.S., Severin, S.E., Uhl, R., Kock, M., Geiger, K.D., Gelperina, S.E. (2004): Chemotherapy of glioblastoma in rats using doxorubicin-loaded nanoparticles. *Int. J. Cancer* 109, 759-767.
- Warheit DB, Webb TR, Sayes CM, Colvin VL, Reed KL (2006) Pulmonary Instillation Studies with Nanoscale TiO₂ Rods and Dots in Rats: Toxicity Is not Dependent upon Particle Size and Surface Area. *Toxicol. Sci.* 91:227-236
- Warheit, D.B., Laurence, B.R., Reed, K.L., Roach, D.H., Reynolds, G.A., Webb, T.R. (2004): Comparative pulmonary toxicity assessment of single-wall carbon nanotubes in rats. *Toxicol. Sci.* 77, 117-125.
- Wörle-Knirsch, J.M., Pulskamp, K., Krug, H.F. (2006): Oops they did it again! Carbon nanotubes hoax scientists in viability assays. *Nano Lett.*, in press.
- Wottrich R, Diabaté S, Krug HF (2004) Biological effects of ultrafine model particles in human macrophages and epithelial cells in mono- and co-culture. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 207:353-361
- Zhang Q, Kusaka Y, Zhu X, Sato K, Mo Y, Kluz T, Donaldson K (2003) Comparative toxicity of standard nickel and ultrafine nickel in lung after intratracheal instillation. *J. Occup. Health* 45:23-30

Synthetische Nanopartikel aus Sicht des Umweltbundesamtes

Dr. Kirsten Märkel

Umweltbundesamt, Abteilung Toxikologie und gesundheitsbezogene Umweltbeobachtungen

Die Nanotechnologie ist eine aufstrebende Technologie. Die von der Nanotechnologie erwarteten positiven wirtschaftlichen Entwicklungen sind auch im Umwelt- und Gesundheitsschutz zu erwarten. So könnten nanotechnische Entwicklungen vor allem zu Erhöhungen der Ressourceneffizienz und zu Verbesserungen der Umweltschutzleistungen insgesamt führen.

Trotz der in den vergangenen Jahren rasanten Entwicklung der Nanotechnologie und der wachsenden Zahl von mit Nanotechnik hergestellten Produkten ist noch wenig über die Exposition durch Nanopartikel und deren Wirkung auf den Menschen und die Umwelt bekannt. Aufgrund der neuartigen Eigenschaften und dem bisher meist noch unbekanntem toxischen Potenzial von Nanopartikeln, ist daher die technologische Entwicklung auch mit den erforderlichen Risikobewertungen zu begleiten. Ziel ist es, die positiven Potenziale für den Umweltschutz zu erschließen, bei gleichzeitiger Minimierung der Risiken zum Schutz von Mensch und Umwelt.

Zur Diskussion von Risiken, Nutzen und Kenntnisstand fand im Oktober 2005 eine gemeinsame Dialogveranstaltung des Umweltbundesamtes, des Bundesumweltministeriums und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und –medizin zum Thema „Synthetische Nanopartikel in Arbeits- und Umweltbereichen“ statt.

Vorrangiges Ziel der Veranstaltung war es, zu einem frühen Zeitpunkt das Gespräch über die neue Schlüsseltechnologie zu suchen, um Fehler zu vermeiden, die in der Vergangenheit bei vergleichbaren Entwicklungen gemacht wurden.

Vorträge zu spezifischen Themen vermittelten den Teilnehmerinnen und Teilnehmern den aktuellen Wissensstand zum Thema Nanotechnologie. In sechs verschiedenen Workshops wurden offene Fragen benannt und der Forschungs- und Handlungsbedarf diskutiert.

Im Verlauf der Veranstaltung wurde deutlich, dass synthetische Nanopartikel vielfältige Chancen bieten, der momentane Wissensbedarf jedoch noch zu groß

ist, um eine abschließende Risikobewertung vornehmen zu können. Die Teilnehmer hielten eine Risikokommunikation für besonders wichtig, um in der Bevölkerung Glaubwürdigkeit, Vertrauen und Akzeptanz für die Nanotechnologie zu erzeugen.

Wichtiges Ergebnis der Veranstaltung war die Entscheidung des Bundesumweltministeriums, in Zusammenarbeit mit den beteiligten Behörden den offenen Dialog mit den beteiligten Kreisen und Interessengruppen weiterzuführen.

Aus Sicht des Umweltbundesamtes besteht dringender Forschungsbedarf, um die möglichen Risiken der Technologie frühzeitig zu identifizieren und entsprechende Schutzmaßnahmen treffen zu können. Im UBA sind daher zurzeit zwei toxikologische Forschungsprojekte geplant. Zudem soll eine Studie Aufschluss über mögliche Umweltentlastungseffekte geben. Zur Klärung der rechtlichen Situation prüft das UBA, ob die bestehenden Regelungen ausreichen und geeignet sind, mögliche Risiken adäquat zu erfassen.

Eine gemeinsame Forschungsstrategie zur Ermittlung potenzieller Umwelt- und Gesundheitsgefahren durch Nanopartikel wird von UBA, BfR und BAuA konzipiert und soll im Herbst diesen Jahres vorgestellt werden.

Risikobewertung und Risikokommunikation bei Nanopartikeln in Verbraucherprodukten

Prof. Dr. Rolf F. Hertel

Bundesinstitut für Risikobewertung, Fachgruppe Risikobewertung und Folgenabschätzung

Der regulatorische Rahmen, in dem synthetische Nanopartikel industriell hergestellt, vermarktet und vom Endverbraucher gehandhabt werden, ist bisher nicht speziell auf die Nanoskaligkeit der eingesetzten Stoffe ausgerichtet. Auch verfügen wir über keine spezielle unter allen Beteiligten abgestimmte Teststrategie für Nanopartikel, die die beiden für eine Risikobewertung erforderlichen Parameter "Exposition" und "Wirkung" ausreichend beschreiben könnte. Die Vielzahl der zum Thema Nanotechnologie veranstalteten Aktivitäten macht deutlich, dass bei allen an der Thematik interessierten Herstellern und Vertreibern, Verbrauchern, Wissenschaftlern und Administratoren dieses Wissensdefizit aus auch unterschiedlicher Betrachtungs- und Interessenslage artikuliert wird. Gegenwärtig werden aber große Anstrengungen unternommen, den Informationsbedarf zu befriedigen.

Das Bundesinstitut für Risikobewertung hat den gesetzlichen Auftrag zur Risikokommunikation. Es beginnt in diesem Jahr mit zwei Forschungsvorhaben, die sich mit der Wahrnehmung und Früherkennung von möglichen Risiken der Nanotechnologie für den Verbraucher beschäftigen.

Im Sommer 2006 soll eine "Delphi-Befragung zu Risiken nanotechnologischer Anwendungen in den Bereichen Lebensmittel, Kosmetika und Bedarfsgegenstände" durchgeführt werden. Mit diesem Projekt sollen potenzielle Risiken der Nanotechnologie in verbraucherrelevanten Bereichen frühzeitig identifiziert, die Implikationen der verstärkten Anwendung der Nanotechnologie durch Verbraucher hinterfragt und Handlungsstrategien zur Vermeidung bzw. Minimierung möglicher Risiken entwickelt werden.

In Vorbereitung auf die Delphi-Befragung wurde Ende März 2006 ein Expertengespräch zu Anwendungen der Nanotechnologie in den Gebieten Lebensmittel, kosmetische Mittel und Bedarfsgegenstände durchgeführt. In der Veranstaltung sollten die eingeladenen Experten das BfR darüber informieren, mit

welchen Stoffen und Partikelgrößen gearbeitet wird, welche Risiken von den Endprodukten für den Verbraucher ausgehen könnten und welche nanotechnologischen Anwendungen und Produkte zukünftig zu erwarten sind.

Im zweiten Projekt geht es um die Durchführung einer "Verbraucherkonferenz zur Wahrnehmung der Nanotechnologie in den Bereichen Lebensmittel, Kosmetika und Bedarfsgegenstände". Ziel ist, ein qualifiziertes Meinungsbild von Verbraucherinnen und Verbrauchern zu nanotechnologischen Anwendungen in den Bereichen Lebensmittel, Kosmetika und Bedarfsgegenstände zu erstellen sowie Verbrauchern die direkte Beteiligung an der öffentlichen und politischen Diskussion zu einem gesellschaftlich relevanten Thema zu ermöglichen.

Zukünftigen Forschungs- und Handlungsbedarf über Möglichkeiten und Risiken der Nanotechnologie sehen wir nicht nur in der Risikoforschung, sondern vor allem auch in der Risikokommunikation. Die faire und frühzeitige Kommunikation wird entscheidend für den gesellschaftlichen Umgang mit dieser Technologie werden.

Perspektiven für das Land Baden-Württemberg: Zusammenfassung der Diskussion zwischen Wissenschaft, Industrie, Umwelt- und Verbraucherverbänden und Verwaltung

Teilnehmende:

- Prof. Dr. Bijan Kouros (Ministerium für Arbeit und Soziales Baden-Württemberg)
- Dr. Christian Kühne (Umweltministerium Baden-Württemberg)
- Prof. Dr. Harald Krug (Forschungszentrum Karlsruhe)
- Dr. Julia Nill (Verbraucherzentrale Baden-Württemberg)
- Dr. Markus Pridöhl (DECHEMA/VCI Arbeitskreis Responsible Production and Use of Nanomaterials)

Dr. Julia Nill
Verbraucherzentrale Baden-Württemberg

Frau Dr. Nill von der Verbraucherzentrale des Landes Baden-Württemberg schilderte die Diskussion aus der Sicht der Verbraucherschützer. Sie stellte die Fragen, die die Verbraucher an die neue Technologie haben, in den Mittelpunkt. Diese interessieren an erster Stelle die Sicherheit der Produkte, die auf der Basis von Nanotechnologie produziert würden. Die Nanotechnologie selber, ihren wissenschaftlichen Hintergrund und das Funktionieren der Anwendungen wären zweitrangig.

Ein zweiter wichtiger Punkt ist aus ihrer Sicht die Frage nach den Rahmenbedingungen für die Produktion durch die Gesetzgebung der Politik. Hier müsse alles getan werden, um die Produkte für die Verbraucher nicht nur vor und während der Herstellung, sondern auch bei der Anwendung sicher zu machen. Dazu gehöre auch eine Deklaration der verkauften Produkte, die auf die Verwendung von Nanopartikeln hinweisen.

Dr. Nill machte darauf aufmerksam, dass es aus ihrer Sicht kaum Risikoforschung zu den verwendeten Nanopartikeln gebe. Es sei wichtig, noch einmal darauf hinzuweisen, dass kleinere Partikel unter Umständen andere Eigenschaften haben als größere Partikel des gleichen Materials. Eine Gefahr gebe es z. B.

auch durch die Tatsache, dass die Abbauprodukte von Produkten mit Nanopartikeln schädlicher sein können, als das Ursprungsprodukt. Nur weil bislang eine Gefährlichkeit des Faserabriebs von Kleidungsstücken nicht nachgewiesen wurde, hieße dies nicht automatisch, dass dieser Abrieb sicher sei.

Außer Acht lassen dürfe man auch nicht die Perspektive des Arbeitsschutzes. Der Arbeitsschutz müsse den Bedingungen der bei der Herstellung von Produkten auf Nanobasis in Kontakt stehenden Mitarbeiter angepasst und deren Sicherheit gewährleistet werden. Auch aus diesem Grund seien schnelle gesetzliche Veränderungen, die die geänderte Situation berücksichtigen, wichtig.

Prof. Dr. Bijan Kouros

Ministerium für Arbeit und Soziales Baden-Württemberg

Für Prof. Dr. Kouros vom Ministerium für Arbeit und Soziales des Landes Baden-Württemberg stand die Frage der Risikokommunikation im Vordergrund. Das weitere Vorgehen des Ministeriums bestehe zunächst darin, die Risikokommunikation rund um das Thema Nanotechnologie zu verfolgen. Seine Vorstellung ist es, in einem ersten Schritt zielgerichtet die Gesundheitsämter des Landes mit entsprechendem Informationsmaterial zu versorgen, damit diese am Dialog teilnehmen und in einem zweiten Schritt als Multiplikatoren agieren können.

Daneben möchte Prof. Dr. Kouros eine Diskussion der Chancen und Risiken zwischen Wissenschaftlern, Behörden sowie der regionalen Ebene anstoßen. Den Auftakt dieser Diskussion soll die Handreichung der Ergebnisse der heutigen Veranstaltung sein. Dadurch würden alle Beteiligten auf den gleichen Kenntnisstand gebracht. Im Anschluss daran solle die Chancen- und Risikodiskussion auf Grundlage eines vergleichbarem Kenntnisstandes fortgeführt werden.

Ziel sei die Schaffung eines Netzwerkes für das Land Baden-Württemberg. Dort sollten nicht nur Informationen, sondern auch offene Fragen der neuen Technologie diskutiert und erörtert werden.

Dr. Markus Pridöhl

DECHEMA/VCI Arbeitskreis Responsible Production and Use of Nanomaterials

Dr. Pridöhl unterstützte die Vision Prof. Dr. Kouros'. Das angedachte Netzwerk können zusätzlich auch den kleinen und mittelständischen Unternehmen als regionaler Ansprechpartner dienen. Hier gebe es für sie die Möglichkeit Informationen zu bekommen. Gleichzeitig könne das Netzwerk auch für die Informationsbündelung für Bürger zur Verfügung stehen. Es bietet sich die Gelegenheit auch auf regionaler Ebene einen kompetenten Ansprechpartner zu haben.

Prinzipiell sei die Industrie aber grundsätzlich daran interessiert, nur sichere Produkte auf dem Markt anzubieten, sind diese doch quasi die Lebensgrundlage eines jeden Unternehmens. Von daher bestehe ein sehr großes Eigeninteresse der Industrie am Vertrieb sicherer Produkte.

Dr. Pridöhl zeigte sich bezüglich einer einheitlichen Prüfmethode zuversichtlich. Erkenntnisse aus der Arbeit mit Nanopartikeln gebe es erst seit kurzem. Daher ist es nun im nächsten Schritt wichtig aus diesen Erkenntnissen vergleichbare Tools zu entwickeln, die sich für einheitliche Prüfmethode eignen.

Auch die gewünschte Deklaration von mit Nanotechnologie erzeugten Produkten ist momentan noch schwierig, da diese voraussetzt, dass es einheitliche, von allen akzeptierte Bezeichnungen gibt. Zwar wird zurzeit daran gearbeitet, zum jetzigen Zeitpunkt sind solche Bezeichnungen aber noch nicht vorhanden.

Gleichzeitig machte Dr. Pridöhl noch einmal auf die Umsetzung eines Responsible Care Codes, also einer freiwilligen Vereinbarung der Industrie zum verantwortungsvollen Umgang aufmerksam.

Prinzipiell, so Dr. Pridöhl zur Diskussion über die Verantwortung der Verbraucherverbände, ist der Vergleich mit Feinstaub nicht hilfreich für die Verbraucher. Dies würde lediglich in einer schwarzweiß-Malerei enden, was wiederum dazu führt, dass die Nanotechnologie per se verteufelt werde. Die Probleme lägen aber vielmehr bei nur wenigen spezifischen Herstellern.

Das geplante neue europäische Chemikalienrecht (REACH) der EU könne in Zukunft eine gute Möglichkeit bieten solche schwarzen Schafe auszusortieren. Dann müssen nämlich nicht nur Informationen über die im Produkt verwendeten Materialien des Produzenten angegeben werden, sondern auch über die

Materialien, die von Vorlieferanten geliefert werden. Dadurch ergebe sich eine Transparenz, die bis zum Endverbraucher reicht.

Prof. Dr. Harald Krug
Forschungszentrum Karlsruhe

Prof. Dr. Harald Krug äußerte sich lobend über in Baden-Württemberg laufende Förderprogramme. Diese ermöglichten schon frühzeitig eine Förderung von zwei seiner Projekte zur Toxizitätsforschung in der Nanotechnologie. Er wünscht sich, dass trotz knapper Mittel diese Förderprogramme möglichst lange weiterlaufen mögen. Die geförderten Projekte und Programme seien sehr renommiert und eine wichtige Maßnahme.

Die Risiken, die durch die Anwendung von Nanotechnologie entstehen, sollten erforscht werden. Nur sie könnten letztendlich zeigen, ob die neue Technologie sicher und das Risiko akzeptabel ist.

Chancen der Nanotechnologie sehe er insbesondere in der Medizin. Eine Hoffnung hege er, zukünftig Gehirntumore mittels Eisenoxid gezielter bekämpfen zu können. Die Nebenwirkungen bei dieser Methode sind weitaus geringer als bei den bisher üblichen Operationsmethoden. Heute sei es vielmehr so, dass durch die Medikamente, die die Tumore zerstören sollen, häufig wiederum neue Tumore gebildet werden. Die Abschätzung und die Wahl der Methode müsse aber bei jedem Einzelnen liegen. Die ist eine Entscheidung, die nicht von der Gesellschaft getroffen werden könne.

Dr. Christian Kühne
Umweltministerium Baden-Württemberg

Dr. Christian Kühne sieht bei der Diskussion um die Nanotechnologie insbesondere auch Chancen für die Umwelt und die Umwelttechnik.

Große Nutzenpotentiale liegen insbesondere in den Bereichen umweltfreundlichere und ressourcensparende Produktionsverfahren und Produkte, effizientere Energieerzeugung und –nutzung, neue Emissionsminderungsverfahren für Luft, Wasser und Boden sowie in der Umweltüberwachung mit neuen Nanosensoren und –detektoren. Nanotechnologische Verfahren und Produkte werden sich durch einen geringeren Materialeinsatz, weniger Emissionen und Abfällen

bei der Herstellung und Entsorgung sowie durch einen deutlich kleineren Energiebedarf auszeichnen und werden so einen erheblichen Beitrag zum Schutz der Umwelt leisten. Verbesserte Eigenschaften neuer Nanowerkstoffe wie längere Lebensdauer, geringeres Gewicht, bessere Schmier- und Gleiteigenschaften, bessere Reinigungseigenschaften oder der Ersatz wertvoller Naturressourcen werden ebenfalls in der Zukunft dazu bei. Vielleicht können dann auch nanostrukturierte Katalysatoren auftretende Schadstoffe rückstandsfrei und ohne Aufwand schon am Ort ihrer Entstehung vollständig eliminieren.

Aufgaben für das Umweltministerium sieht Dr. Kühne in der Identifizierung, Entwicklung und Förderung dieser viel versprechen Anwendungen der Nanotechnologie für den Umweltschutz. Dabei ist der Nutzen mit den möglichen Risiken verantwortungsvoll abzuwägen.

Nanoprodukte und Verbraucherschutz – eine Bestandsaufnahme

Stefan Löchtefeld

iku GmbH

Dieser Abschnitt gibt eine allgemein verständliche Übersicht über das Thema Nanoprodukte und Verbraucherschutz. Der Bericht stellt wesentliche Erkenntnisse zusammen, erhebt aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Was versteht man unter Nanotechnologie?

Was bedeutet Nano? Nano kommt aus dem griechischen und heißt übersetzt Zwerg. Ein Nanometer (nm) bezeichnet den millionsten Teil eines Millimeters, also 10^{-9} m. Ein Haar hat einen Durchmesser von ca. 50.000-80.000 nm; ein Wasserstoffatom ca. 0,1 nm.

Worum geht es bei der Nanotechnologie? Bei der Nanotechnologie geht es um die „Herstellung, Untersuchung und Anwendung von funktionalen Strukturen, deren Abmessungen im Bereich unter einhundert Nanometer liegen.“ (BMBF 2002) Durch den Einsatz nanoskaliger Materialien und/oder neuer Technologien werden kleinste Strukturen geschaffen, die über andere Eigenschaften verfügen.

Um nanoskalige Strukturen zu produzieren, gibt es zwei Wege: Durch fortschreitende Miniaturisierung = Top-Down-Ansatz oder durch einen Aufbau auf Molekülebene = Bottom-Up-Ansatz. Beim Bottom-Up-Ansatz zur Herstellung nanoskaliger Strukturen kann unterschieden werden zwischen einer kontrollierten Manipulation der Atome und dem Ausnutzen so genannter Selbstorganisationsmechanismen. Selbstorganisation bedeutet, nanoskalige Materialien fügen sich unter bestimmten Umgebungsvoraussetzungen zu neuen Strukturen zusammen.

Welche Nanopartikel gibt es?

Was sind synthetische Nanopartikel?

Bei Nanopartikeln wird unterschieden zwischen

- natürlichen Nanopartikeln – wie z.B. Pollen, Mineralstaub, Meersalz -,
- durch Verbrennungsprozesse entstandenen und
- synthetischen Nanopartikeln.

Synthetische Nanopartikel sind künstlich hergestellte Partikel mit einer Größe kleiner 100 nm, die über veränderte Eigenschaften und/oder Funktionalitäten verfügen. Im Folgenden betrachten wir die synthetischen Nanopartikel, da diese in Nanoprodukten verwendet werden.

Welche Nanopartikel gibt es?

Die wichtigsten im Einsatz befindlichen Nanopartikel sind:

- Carbon Black (Industrieruß),
- Metalloxide wie Siliziumdioxid SiO_2 , Titandioxid TiO_2 , Aluminiumdioxid Al_2O_3 , Zinkoxid ZnO und Eisenoxid (Fe_2O_3 , Fe_3O_4),
- Halbleiter wie Cadmium-Tellurid CdTe und Gallium-Arsenid GaAs und
- Metalle wie Gold und Silber

Aber auch neue Strukturen zählen zu den Nanopartikel:

Was sind Nanoröhren?

- Nanoröhren:
Röhren mit Durchmessern bis zu 50 Nanometern und einer Länge von einigen Mikrometern aus Metallnitriden, -sulfiden, -halogeniden oder Kohlenstoff. Kohlenstoff-Nanoröhren (Carbon Nano Tubes CNT) werden z.B. in der Computerindustrie eingesetzt.

Was sind Fullerene?

- Fullerene/Buckyballs
Fullerene sind kugelförmige Gebilde aus Kohlenstoffatomen (z.B. C_{60} , C_{70} , C_{76} , C_{80}). Das Fulleren C_{60} wird auch Buckminster Fulleren oder Buckyball genannt. Fullerene werden insbesondere in der Medizin eingesetzt.

Was sind Quantenpunkte?

- Quantenpunkte oder Nanodots
5 nm hohe und 100 nm große, pyramidenförmige Gebilde. Sie bestehen aus einigen tausend Atomen. Auf einen Quadratcentimeter lassen

sich etwa 100 Milliarden Quantenpunkte unterbringen. Unter geeigneten Rahmenbedingungen ordnen sich diese Quantenpunkte selbstständig und regelmäßig an. Sie bilden z.B. die Grundlage für neue Lasersysteme.

Was versteht man unter Nanoprodukten?

Nanoprodukte sind mit Nanomaterialien oder durch nanotechnologische Verfahren hergestellt. Nanoskalige Materialien werden z.B. bei der Herstellung von einigen Kosmetika verwendet. Beim Lithographieverfahren wird beispielsweise im nanoskaligen Bereich gearbeitet.

Was verändert sich durch die Kleinheit der Materialien?

Durch die Verkleinerung von Strukturen und Materialien ergeben sich neue Funktionalitäten oder Eigenschaften. Für die Nanopartikel kann dies bedeuten, dass sie

Neue physikalische

- andere physikalische Eigenschaften haben: Farbe, Transparenz, Festigkeit, Dichte, Leitfähigkeit etc.

chemische

- über andere chemische Eigenschaften verfügen: Struktur, Schmelzpunkt, Löslichkeit, Reaktionsfähigkeit, katalytische Eigenschaften etc.

*biologische
Eigenschaften*

- oder andere biologische Eigenschaften haben: Lungengängigkeit, Diffusions- und Permeabilitätsfähigkeit etc.

Ursache für diese neuen Eigenschaften sind das veränderte Verhältnis von Oberflächenatomen zu Volumenatomen oder quantenmechanische Effekte.

Dadurch können Produkte aus Nanomaterialien neue, gewünschte Eigenschaften bekommen. Sonnencremes haben beispielsweise eine höhere Wirksamkeit und sind auch für Allergiker geeignet, Schmutz und Wasser haften nicht mehr so gut auf Textilien, Autos und Wänden, Computerchips werden immer kleiner, die Energieausbeute bei Leuchtdioden erhöht sich.

Aus gesundheitlicher Sicht sind insbesondere die veränderten biologischen Eigenschaften von Bedeutung.

Welche Nanoprodukte gibt es?

Zurzeit sind etwa 700 Produkte auf dem Markt. Produkte mit Verbraucherbezug sind unter anderem:

- Autoreifen mit Carbon-Black-Partikeln
- Sonnenschutzcremes mit höherem UV-Schutz und für empfindlichere Haut, die Oxidpartikel beinhalten
- Kosmetika mit Nanopartikeln
- Nanoskalige Tonerpartikel für Kopierer und Drucker
- Farben und Lacke, die UV-Strahlen absorbieren
- Kratzfeste Autolacke
- Textilien, die wasser- und schmutzabweisend sind
- Textilien, die durch Oxidpartikel über einen verbesserten Sonnenschutz verfügen
- Sicherheitsbekleidung, die elektrostatische Aufladung verhindert
- Verbesserte Entspiegelung und höhere Kratzfestigkeit von Brillengläsern
- Glas- und Fensterreiniger, die Oberflächen länger sauber halten
- Optimierte Elektronik-Chips, Festplatten, RAM-Speicher, Diodenlaser, Displays, Akkus
- Leuchtdioden mit effizienterer Energieausnutzung in Anzeigetafeln, Rückleuchten und Taschenlampen
- Golf- und Tennisschläger mit Carbonbeimischungen und somit erhöhter Stabilität und verbesserten Spieleigenschaften
- Babywindeln mit Beimischungen nanopartikulärer Materialien zur besseren Absorption der Feuchtigkeit, oder Frischhaltefolien mit durch nanopartikuläre Materialien gesteigerter Reißfestigkeit und Gaspermeabilität
- Wundheftpflaster für Verbrennungen und Desinfizierungs sprays mit Silberpartikeln

- Reinigungsarme Backöfen, Backbleche und haftfreie Pfannen
- Selbstreinigende Keramikwaschbecken, -wannen etc.
- Skiwachs mit besseren Laufeigenschaften
- Mineralische Nahrungsergänzungsmittel für Sportler
- Zahnfüllungen auf Nanopartikelbasis
- Kläranlagen mit nanoskaligen Filtermembranen

Und die Zahl der Nanoprodukte steigt kontinuierlich an.

Welche Produkte soll es in Zukunft geben?

Die Zusammenstellung enthält sowohl Überlegungen als auch Produkte und Verfahren, die sich bereits im Versuchsstadium befinden.

- **Medizin:** Diagnose- und Therapieansätze bei Krebs und Diabetes; Nanopartikel als Kontrastmittel, zur lokalen Zerstörung des Gewebes (z.B. Tumoren) und als Wirkstofftransporter; Bio-Chips für die medizinische Diagnostik. Einige Beispiele:
 - a. Nanoquinon (Nanoskalikges Koenzym Q10 - bekannt aus Kosmetika) soll bei Migräne und Tinnitus aurium helfen und wird als Medikament gegen Parkinson untersucht.
 - b. Ein französisch-italienisches Forscherteam hat erfolgreich Kohlenstoff-Nanoröhren als Transporter für ein Antimykotikum (Wirkstoff gegen Pilzinfektionen) eingesetzt. Zusätzlich entwickelte es eine Strategie, um die Nanoröhren kontrolliert mit einem zweiten Wirkstoff oder Marker zu bestücken.
 - c. Magnetische Eisenpartikel werden an der Berliner Charite zur Tumorbehandlung in die selektive Thermotherapie und als Wirkstoffträger für eine gezieltere Chemotherapie eingesetzt. In Frankfurt untersuchen Wissenschaftler weitere Möglichkeiten der Tumorbehandlung, insbesondere auch bei Gehirntumoren.

- d. In Bochum werden Mikro- und Nanosensoren u.a. zur Messung des Neurotransmitter Dopamin entwickelt und in-vitro und in-vivo getestet.
- **Automobilindustrie:** Intelligente Systeme, die auf Fahrverhalten und Umweltreize reagieren; Spiegel und Scheiben, die sich auf äußere Bedingungen einstellen; verbesserte Haftung von Reifen auf unterschiedlichen Straßenbelägen; einstellbare Farbwechsel des Lacks; kratzfeste Kunststoffe in der Innenverkleidung.
 - **Maschinen und Anlagenbau:** Neue Fertigungs- und Anlagentechniken; verbesserte Maschinen und Anlagen durch funktionale Schichten; eine verbesserte Messtechnik und Sensorik.
 - **Energietechnik:** Neue Energiespeicher wie Brennstoffzellen; hoch effiziente Solarzellen und neuartige Materialien, die Wärme in elektrischen Strom umwandeln.
 - **Information und Kommunikation:** Multifunktionale Geräte in kleinen Formaten; dreidimensionale holographische Darstellung; Geräte, die eine Online-Diagnostik mit automatischer Alarmierung zulassen.
 - **Optik:** Beleuchtungstechniken auf Basis optoelektronischer Komponenten (z.B. großflächige Leuchtdioden); nanometer genau gefertigte optische Linsen in beliebiger Geometrie (z.B. für Datenprojektionsgeräte, in der Lithographie und Medizintechnik).

Welchen Nutzen haben Nanoprodukte?

*Verbesserte
Eigenschaften*

Der Nutzen für den Verbraucher kann sehr unterschiedlich sein. Überwiegend liegt er in der Verbesserung und Optimierung von Eigenschaften, wie z.B. einer verbesserten Energieausnutzung. Daneben gibt es neue Materialeigenschaften, die einen Zusatznutzen für die Verbraucher bringen (so beispielsweise selbstreinigende Oberflächen).

*Medizinischer
Nutzen*

Betont wird insbesondere der medizinische Nutzen. Zum Beispiel lagern sich beschichtete (gecoatete) Eisenoxidpartikel gezielt in Krebszellen an und durch Magnetfelder angeregt zerstören sie diese. Als neue, Erfolg versprechende

Krebstherapie befindet sich dieses Verfahren gerade in der medizinischen Zulassung.

Informationen zu möglichem Umweltnutzen auf Seite 66.

Was weiß man über die Auswirkungen von Nanopartikeln auf den Menschen?

Inzwischen gibt es einige Erkenntnisse über Aufnahmewege und Biokinetik im menschlichen Körper (z.B. Oberdörster et. al. 2005). Die geringe Größe ermöglicht neue Wege innerhalb des Körpers, beispielsweise von der Nase über den Geruchsnerve unter Umgehung der Blut-Hirn-Schranke ins zentrale Nervensystem.

Bei bereits länger eingesetzten Materialien wie Silizium- und Titandioxid sind die Wirkungen relativ gut bekannt. Bisherige Studien zeigen, dass nanoskaliges Material allgemein erheblich stärkere oder andere Wirkungen haben kann als das entsprechende Bulk-Material. Bei einigen Materialien gibt es Untersuchungen, die inflammatorische Effekte oder oxidativen Stress bewirkten. Hier sind noch die toxischen Wirkungsmechanismen zu überprüfen und Dosis-Wirkungsbeziehungen abzuklären.

Gerade in diesem Bereich, sowie generell bezüglich neuer Materialien sind weitere Untersuchungen in erheblichem Umfang notwendig.

Können die Produkte unbedenklich genutzt werden?

Zurzeit können keine abschließenden Aussagen zur Gefährlichkeit von Produkten mit Nanopartikeln auf Umwelt und Gesundheit getroffen werden. Das ist ein wesentliches Ergebnis der ersten Dialogveranstaltung zur Bewertung von synthetischen Nanopartikeln im Oktober 2005 in Bonn (siehe auch www.dialog-nanopartikel.de).

Es können über die potentielle Gefährlichkeit bisher nur so wenige Aussagen getroffen werden, weil bei den meisten Materialien unklar ist, wie sich ihre neuen Partikeleigenschaften auf das Verhalten im menschlichen Körper auswir-

Wie verhalten sich bereits eingesetzte Materialien?

ken; ob und ggf. welche Reaktionen ausgelöst werden; welche Organe/Körperteile besonders betroffen sind. Hier sind die Wissenslücken noch sehr groß.

Für einige Nanomaterialien wie z.B. Titandioxid gibt es schon umfangreiche Untersuchungen, da diese Materialien seit längerem eingesetzt werden. Trotz der umfangreichen Untersuchungen kann bisher nur gesagt werden, dass nach jetzigem Wissensstand keine Gefährdung bekannt ist. Ein Phänomen, welches bei der Einführung einer neuen Technologie zu beobachten ist: Anfangs sind nicht alle Auswirkungen vorhersehbar – man denke an FCKW in Kühlschränken oder Unfalltote beim Automobil.

Die Nanomaterialien bedürfen daher einer intensiven Risikobewertung, die Nutzen und mögliche Gefahren genau betrachtet. Es ist notwendig, Bedingungen zu definieren, mit denen mögliche Gefahren minimiert bzw. verhindert werden. Nach Einschätzung von Experten muss dies vermutlich produktbezogen erfolgen. Dies sind wichtige Voraussetzungen für die Nutzung der sich durch Nanotechnologie bietenden Chancen und Potentiale.

Wie wirken Nanoprodukte auf die Umwelt?

Zu den Wirkungen auf die Umwelt können noch weniger Aussagen getroffen werden als zu den Wirkungen auf Menschen. Hier müssen erst einmal mögliche Expositionswege im Produktlebenszyklus geklärt und untersucht werden. Auch die Transportwege Luft, Wasser, Boden, die Aufnahme durch Pflanzen und Tiere sowie Einträge in die Nahrungskette sind abzuklären.

Welchen Nutzen kann die Nanotechnologie für die Umwelt haben?

Folgender Nutzen wird für die Umwelt genannt:

- Verbesserung der Trinkwassergewinnung und der Boden- und Luftreinigung mittels nanotechnologischer Verfahren
- Verbesserte Energieausnutzung, -speicherung und verbesserter Energietransport

- Ressourcenschonung durch neue Materialien oder durch Einsatz geringerer Materialmengen
- Verringerung des Einsatzes umweltschädlicher Substanzen

Risikowahrnehmung und Risikokommunikation der Nanotechnologie

Risikowahrnehmung Risikowahrnehmung beschreibt, wie Laien intuitiv Risiken beurteilen, d.h. es geht um subjektive Einschätzungen, die die Größe eines Risikos betreffen.

Bezogen auf die Nanotechnologie stellen die bisherigen Untersuchungen fest: Nanotechnologie wird nicht als Risikotechnologie wahrgenommen – aber auch nicht als risikofrei. Die Firma komm.passion hat festgestellt, dass sich Bürgerinnen und Bürger bei der Risikowahrnehmung noch nicht festgelegt haben. Zurzeit gibt es eher positive Assoziationen bei geringem Informationsstand in der Bevölkerung.

Wiedemann und Schütz stellten fest, dass gerade die „unbekannten Risiken“ der Nanotechnologie im Focus der Aufmerksamkeit der Bevölkerung standen. Außerdem sei die Risikowahrnehmung signifikant abhängig von Imagefaktoren.

Aufgaben der Risikokommunikation Aufgaben der Risikokommunikation sind

- die Verständigung zwischen den verschiedenen Parteien zu ermöglichen und
- die Risikomündigkeit der Bevölkerung zu erhöhen.

Die ehemalige Risikokommission der Bundesregierung formuliert: „Mit dem Begriff der Risikomündigkeit ist die Fähigkeit angesprochen, auf der Basis der Kenntnis der faktisch nachweisbaren Konsequenzen von Risikoauslösenden Ereignissen oder Aktivitäten, der verbleibenden Unsicherheiten und anderer risikorelevanter Faktoren eine persönliche Beurteilung der jeweiligen Risiken vornehmen zu können, die den Wertvorstellungen für die Gestaltung des eigenen Lebens sowie den persönlichen Kriterien zur Beurteilung der Akzeptabilität dieser Risiken für die Gesellschaft insgesamt entspricht.“ (siehe Risikokommission 2003, S. 53)

Risiko-kommunikation

Risikokommunikation umfasst daher jegliche Kommunikation, die Identifikation, Abschätzung, Bewertung und Management von Risiken betrifft. Von beson-

derer Bedeutung ist dabei die Kommunikation mit der Öffentlichkeit, d.h. mit Betroffenen und interessierten Bürgerinnen und Bürgern.

Für die Nanotechnologie sollten daher folgende Aufgaben mit der Risikokommunikation verbunden werden:

- über Ergebnisse der Vernetzung der verschiedenen Akteure (Wirtschaft, Wissenschaft, Verwaltung, Politik und NGO's) informieren,
- Transparenz über Forschungsergebnisse und Verfahren sowie Ergebnisse der Risikobewertungen herstellen,
- verständlich die Chancen und Risiken von Nanotechnologieprodukten darstellen
- geeignete Bilder, Symbole und (Erfolgs)Geschichten in den Köpfen verankern und
- den eigenen Umgang mit den bestehenden Unsicherheiten bei der Risikobewertung darstellen.

Ziel ist es, die Glaubwürdigkeit und das Vertrauen für den Dialogprozess und dessen Ergebnisse herzustellen.

Ausgewählte weiterführende Literatur

- Aachener Gesellschaft für Innovation und Technologietransfer AGIT; Aachener Kompetenzzentrum Medizintechnik AKM; Fraunhofer Institut für Lasertechnik e.V. ILT et al. (2004). Nanotechnologie pro Gesundheit: Chancen und Risiken – Innovations- und Technikanalyse. Aachen: Eigenverlag
- Allianz Center for Technology und OECD (2005) Opportunities and Risks of Nanotechnologies. Small size that matter. Eigenverlag.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF [Hrsg.] (2002) Nanotechnologie in D. Standortbestimmung. Berlin: Eigenverlag
- Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF [Hrsg.] (2004) Nanotechnologie erobert Märkte. Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie. Berlin: Eigenverlag.
- de Groot, René; Loeffler, Jonathan (2005). SWOT Analysis Concerning the Use of Nanomaterials in the Medical and Health Sector. Report European project "Development of Advanced Technology Roadmaps in Nanomaterial Sciences and Industrial Adaptation to Small and Medium sized Enterprises" ("NanoroadSME").
- ETC Group [Hrsg.] (2003) The big down: From Genomes to Atoms.
www.etcgroup.org/documents/TheBigDown.pdf
- HA Hessen Agentur GmbH [Hrsg.] (2006). Nanomedizin - Innovationspotentiale in Hessen für Medizintechnik und Pharmazeutische Industrie. Schriftenreihe der Aktionslinie hessen-nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. Wiesbaden: Eigenverlag
- komm.passion GmbH (2004). Wissen und Einstellungen zur Nanotechnologie. Höchste Zeit, die Weichen zu stellen. Eine Repräsentativ-Studie der komm.passion GmbH. Präsentation der Ergebnisse.
www.komm-passion.de/fileadmin/UL-AdvTec/Nanostudie_kurz.pdf
- Oberdörster, Günther; Oberdörster, Eva; Oberdörster, Jan (2005) Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles. In: Environmental Health Perspectives. Vol. 113 Nr. 7 S. 823-839
- Risikokommission [Hrsg.] (2003) Abschlussbericht der Risikokommission. Ad-hoc-Kommission „Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risiko-

- bewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland“. Salzgitter
- The Royal Society, The Royal Academy of Engineering [Hrsg.] (2004) Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties.
- Steinfeld, Michael; von Gleich, Armin; Petschow, Ulrich; Haum, Rüdiger; Chudoba, Thomas; Haubold, Stephan (2004) Nachhaltigkeitseffekte durch Herstellung und Anwendung nanotechnologischer Produkte. Schriftenreihe des IÖW 177/04
- Swiss Re (2004) Nanotechnologie: Kleine Teilchen – große Zukunft? Reihe Risk Perception Zürich: Eigenverlag
- TAB Büro für Technikfolgenabschätzung [Hrsg.]; Paschen, Herbert; Coenen, Christopher; Fleischer, Torsten; Grünwald, Reinhard; Oertel, Dagmar; Revermann, Christoph (2003) Nanotechnologie. TAB-Arbeitsberichte Nr. 92. Berlin: Eigenverlag. (Auch als Bericht des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages unter Drucksache 15/2713 veröffentlicht.)
- TA-SWISS Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung [Hrsg.] (2003). Nanotechnologie in der Medizin. Studie des Zentrums für Technikfolgen-Abschätzung TA 47/2003. Bern: Eigenverlag
- VDI-TZ ZTC Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH [Hrsg.] (2004): Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt. Innovations- und Technikanalyse.
- VDI/VDE Innovation + Technik GmbH (2004). Sectoral Report Health and Medical Systems. Work document on nanotechnology. NanoRoadMap project. Düsseldorf: Eigenverlag.
- Wiedemann, P.M.; Schütz, H. (2005). Risikowahrnehmung der Nanotechnologie. Eine experimentelle Studie. Arbeiten zur Risikokommunikation Heft 90. Jülich: Eigenverlag.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen WGBU [Hrsg.] (1998). Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Jahrgutachten 1998. Berlin: Springer.

Weitere Unterlagen zur Bewertung von synthetischen Nanopartikeln finden Sie unter der Homepage www.dialog-nanopartikel.de

