

IVAM UvA BV

NANO IN DER MÖBELINDUSTRIE

Iststand 2012, Zusammenfassung

Fleur van Broekhuizen
30.05.2012



IVAM UvA BV

NANO IN DER MÖBELINDUSTRIE

Iststand 2012, Zusammenfassung

Fleur van Broekhuizen
30.05.2012

IMPRESSUM

TITEL

Nano in der Möbelindustrie, Iststand 2012 – Zusammenfassung

VERFASSER

F. A. van Broekhuizen (IVAM UvA BV, NL)

LENKUNGSAUSSCHUSS

R. Gehring (EFBH), C. Ravazzolo (EFIC), M. Eirup (EFIC), B. de Turck (UEA), R. Rodriguez (UEA), U. Spannow (BAT, DK), J. Waage (FNV Bouw, NL) und J. Moratalla (AIDIMA, ES)

DIESER BERICHT WURDE IN AUFTRAG GEGEBEN DURCH

EFBH (Europäische Föderation der Bau- und Holzarbeiter),
EFIC (Europäische Konföderation der Möbelindustrie) und
UEA (Verband der europäischen Möbelindustrie), im Rahmen des Europäischen Sozialdialogs.



DANKSAGUNG

Die Untersuchung wurde von der Europäischen Kommission, Generaldirektion Beschäftigung, gemäß Zuschussvereinbarung Nr. VS/2011/0134 - SI2-596685 im Rahmen des Europäischen Sozialdialog in der Möbelindustrie bezuschusst.

Die Verfasser möchten den Unternehmen (Möbelbetrieben, Rohstoffproduzenten, Produktherstellern), den Gewerbeverbänden, den Forschungs- und Entwicklungsanstalten für ihre wertvollen Beiträge zur Untersuchung, die vermittelten Einblicke und die Offenheit während der Besprechungen danken.

WEITERE AUSKUNFT ÜBER DEN BERICHT IST ERHÄLTICH BEI

IVAM UvA BV
Amsterdam - NL
Tel.: +31 20 525 5080
www.ivam.uva.nl
E-Mail: office@ivam.uva.nl

Satz und Gestaltung: Beryl Natalie Janssen/Köln

Einzelheiten aus dem vorliegenden Bericht dürfen vorbehaltlich der genauen Quellenangabe übernommen werden. IVAM UvA BV lehnt jede Verantwortung für Schaden oder Nachteile infolge der Anwendung der Ergebnisse aus dem vorliegenden Bericht ab.

INHALTSVERZEICHNIS

4	EINLEITUNG
5	MARKT UND PERSPEKTIVEN
5	Marktpotenzial
8	Einschränkungen der Anwendung von Nanomaterialien in der Möbelindustrie
8	Kosten-Nutzen-Analyse
8	Langfristige Leistungen
8	Sicherheits- und Gesundheitsschutzüberlegungen
9	SICHERHEITS- UND GESUNDHEITSSCHUTZÜBERLEGUNGEN
9	Einleitung
9	Schädliche Nebenwirkungen von Nanomaterialien für die Gesundheit
9	Schädliche Nebenwirkungen von Nano-TiO ₂
9	Schädliche Nebenwirkungen von Nano-SiO ₂
10	Schädliche Nebenwirkungen von Nano-Ag
10	Expositionsgrenzwerte
12	Expositionsquellen
13	Exposition durch Einatmen und Überlegungen zum Gesundheitsschutz
13	Exposition durch die Haut
13	Exposition durch Hinunterschlucken
13	Exposition des Endverbrauchers
14	EINRICHTUNG EINES SICHEREN ARBEITSPLATZES
14	Szenarien für die Exposition am Arbeitsplatz in der Möbelindustrie
17	Transparente Kommunikation über die Risiken und Rückverfolgbarkeit
19	Initiativen zur Regulierung der Nanomaterialien und Nanoprodukte
20	ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN

EINLEITUNG

IM RAHMEN DES EUROPÄISCHEN SOZIALDIALOGS haben die EFBH (Europäische Föderation der Bau- und Holzarbeiter), die EFIC (Europäische Konföderation der Möbelindustrie) und der UEA (Verband der europäischen Möbelindustrie) die Initiative ergriffen, IVAM UvA BV damit zu beauftragen, die derzeitige Sensibilisierung unter den Stakeholdern zu untersuchen und eine Übersicht der derzeitigen Nanoprodukte im europäischen Möbelmarkt zu erstellen. In der vorliegenden Zusammenfassung werden kurz die Ergebnisse beschrieben, wie sie im Bericht »Nano in Furniture, state of the art 2012« dargelegt sind. Die folgenden wichtigen Fragen werden hier besprochen:

- Welche Arten von Nanomaterialien werden in der Produktion von Möbelprodukten eingesetzt?
- Welches sind in naher Zukunft die Perspektiven für die Anwendung von Nanomaterialien in der Möbelproduktion?
- Welche Gesundheits- und Sicherheitsschutzaspekte können für die Arbeitnehmer am Arbeitsplatz eine Rolle spielen?
- Wie sieht ein sicherer und präventiver Arbeitsplatz aus?

»Nano« bezieht sich auf die Größenordnung. Nanotechnologie bedeutet einfach die Fähigkeit, Materialien (und ihr Verhalten) bis auf einen Nanometer (nm) (z. B. eine Größe, die etwa 10.000 Mal geringer als der Durchmesser eines menschlichen Haares ist) festzulegen, zu kontrollieren und zu manipulieren. Dies beinhaltet nicht nur fortschrittliche Bildgestaltungstechniken, um das Verhalten der Materialien zu untersuchen und zu verbessern, son-

dern auch den Entwurf und die Herstellung äußerst feiner Pulver, Flüssigkeiten oder fester Stoffe, die Partikel mit Außenmaßen im Bereich von 1 nm bis 100 nm, die sogenannten Nanopartikel, haben. Nanomaterialien (MNM) sind Materialien, die zu mindestens 50% aus Nanopartikeln bestehen¹. Unternehmen setzen Nanomaterialien ein, um ihre Produkte mit neuen oder verbesserten Eigenschaften auszustatten (Nanoprodukte). Auch wenn in der Möbelwirtschaft nicht im großen Maßstab rohe Nanomaterialien benutzt werden, werden auch in diesem Wirtschaftszweig immerhin Nanoprodukte benutzt. Beispiele sind kratzerbeständige Lacke, antibakterielle, selbstreinigende oder leicht zu reinigende Beschichtungsstoffe, ultrastarker Beton für Anwendung in Küchen- und Straßenmobiliar.

Allerdings macht man sich ernsthaft über die möglichen Sicherheits- und Gesundheitsrisiken der MNM Sorgen. MNM können aus den folgenden Gründen für den Menschen gefährlicher sein als die herkömmlichen mikroskopischen Äquivalente:

- Sie sind so klein, dass sie leichter in den menschlichen Körper eindringen können (beispielsweise über das Nervensystem der Nase oder durch die Haut);
- Sie sind so klein, dass ihr Pulver das Verhalten gasförmiger Stoffe annehmen kann.
- Wegen ihrer Form und ihrer großen spezifischen Oberfläche können sie spezifische toxische Reaktionen auslösen;
- Sie können andere chemische und physikalische Eigenschaften – z. B. elektrische Leitfähigkeit – aufweisen.

Erst jetzt versteht man allmählich die toxische Wirkung von MNM. Die genauen toxischen Effekte können aber je nach dem MNM stark unterschiedlich sein und vieles ist diesbezüglich noch nicht bekannt. Man kann aber davon ausgehen, dass das toxische Profil teils auch auf das einzigartige Verhalten von MNM zurückzuführen ist, das diese gerade für innovative Produktanwendungen so interessant macht. Die beobachteten typischen schädlichen Effekte sind Entzündungen, kardiovaskuläre Erkrankungen, Zelltod, Bildung von Narbengewebe (z. B. in den Lungen), Störungen bei Embryonen und die Bildung von Krebszellen in befallenen Gewebe. Die bei MNM ermittelten nachteiligen Effekte sind aber weitgehend von der Expositionsdosis und -dauer abhängig. Die nachteiligen Effekte hängen auch von der Art der MNM-Aussetzung ab. Aus den ersten Befunden stellt sich beispielsweise heraus, dass MNM in reiner Form besonders toxisch sein können, aber sobald sie in eine Matrix eingebettet worden sind, weisen sie bei einer Aussetzung nicht mehr eine derart hohe Toxizität auf.

In der vorliegenden Zusammenfassung werden die Anwendung von Nanomaterialien bei Möbeln im Jahre 2012, deren Potenzial in naher Zukunft, die Probleme im Bericht des Sicherheits- und Gesundheitsschutzes und die Best Practices für einen sicheren Arbeitsplatz in der europäischen Möbelindustrie bilanziert.

¹ Am 18. Oktober 2011 nahm die Europäische Kommission eine Definition an. Für weitere Auskunft siehe: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/11/704&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>.

MARKT UND PERSPEKTIVEN

NANOTECHNOLOGIE kann weitreichende Folgen für die Zukunft von Möbeln und die Vielfalt ihrer Anwendungen haben. Nicht nur hinsichtlich der Qualität und der Funktionalität, sondern auch im Bereich der Umwelt, der Betriebshygiene und der öffentlichen Gesundheit. Bei einer Beobachtung des Marktes im Jahre 2012 stellt man aber fest, dass die Verwendung von technisch hergestellten Nanomaterialien (MNM) bei der Herstellung von Möbeln und Möbelprodukten immer noch in den Anfängen steckt. Aus den ersten Praxiserfahrungen zeigt sich, dass sie vor allem bei Beschichtungstoffen, den »Nanocoatings«, eingesetzt werden, wo ihr Marktanteil vermutlich weniger als 1% der sonstigen »Nicht-Nano-«Beschichtungstoffe beträgt. Der MNM-Markt in der Möbelindustrie kennzeichnet sich durch eine mangelhafte Rückverfolgbarkeit, mangelhafte Kenntnisse über ihre Verfügbarkeit und ihre Anwendbarkeit, Geheimhaltung über Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten und eine ablehnende Haltung der Produzenten, um sich selber als Benutzer von MNM bekannt zu machen, dies wegen der weltweiten gesellschaftlichen Debatte über die Gesundheits- und Sicherheitsrisiken und anderer unbeantworteter Fragen.

MARKTPOTENZIAL

Am Anfang des Jahrtausends propagierte man MNM als die wichtigste Innovation, die die Forschung und Entwicklung im Möbelsektor völlig neu gestalten würde. Man hegte hohe Erwartungen, aber bisher brachten Forschung und Entwicklung wenig erfolgreiche Marktprodukte hervor. Wegen der Weltwirtschaftskrise gerieten die Investitionen in Forschung und Entwicklung in den vergangenen Jahren ins Stocken und verlangsamten sich die weiteren Entwicklungen.

Ein Bereich, in dem die Anwendung von MNM erfolgreich ist, ist die Qualitätsverbesserung von Möbeln, zur Verringerung ihrer Wartung und Reinigung. Krankenhäuser und (Heim)büros sind Beispiele von Anwendungsbereichen, wo derartige Produkte einen hohen Mehrwert liefern können. Nano-SiO₂ oder Flüssigglas ist eines der MNM, die in diesem Zusammenhang am häufigsten erwähnt werden. Flüssigglas wird in leicht zu reinigenden, Wasser abweisenden, Öl abstoßenden und Anti-Graffiti-Beschichtungstoffen verwendet. Flüssigglas wird auch in besonders kratzerbeständigen Lacken oder in Beschichtungstoffen zum Schutz von Metall, Holz oder Stein vor Erosion oder Verschleiß angewandt. Es kann Holz vor Algenbewuchs oder anderen Organismen wie Holzwürmern oder Termiten schützen. Außerdem wird Nano-SiO₂ für die Herstellung von ultrastarkem Beton mit hoher Dichte benutzt, welches sich hervorragend bei Küchen- oder Straßenmobiliar einsetzen lässt. Aus direkten Kontakten zu den Möbelproduzenten und ihren Lieferanten stellt sich heraus, dass der Markt für diese Anwendungen allmählich wächst.

MNM sind auch erfolgreich bei antibakteriellen oder selbstreinigenden Beschichtungstoffen. Nano-Silber und Nano-TiO₂ sind zwei MNM, die dafür am häufigsten verwendet werden. Diese beiden MNM sind relativ

teuer und werden für die Oberflächenbehandlung von Möbeln und an anderen Stellen eingesetzt, wo Infektionen vermieden werden müssen, insbesondere im Lebensmittelsektor, bei Schwimmbädern oder in Saunas oder sogar in den öffentlichen Verkehrsmitteln.

Eine letzte Anwendung von MNM ist die Vorbeugung von Entfärbung oder dem Abbau von Stoffen unter UV-Einwirkung. Nanolehm besteht aus MNM, die für die Stabilisierung von Pigmenten benutzt werden. Nano-TiO₂, Nano-ZnO und Nano-CeO werden als UV-Blocker eingesetzt, beispielsweise in Holzschutzmitteln.

Die Fachliteratur beschreibt noch viel mehr Anwendungen bzw. es sind noch mehr im Markt vorhanden, z. B. intelligentes Glas, Nanozellstofftextilien und Klebstoffe. Siehe auch den vollständigen Bericht »Nano in Furniture, state of the art 2012« für eine detaillierte Übersicht der verschiedenen Nanomaterialien, die für die Möbelindustrie erhältlich sind. Im Jahre 2012 werden diese aber offensichtlich immer noch kaum benutzt. In naher Zukunft können MNM eine Rolle bei der weiteren Entwicklung der Funktionen von Möbeln und dem Ausbau einer nachhaltigeren Möbelindustrie spielen. MNM können die folgenden Aspekte verbessern:

- die Produktion leichter, stärkerer und nachhaltigerer Materialien;
- die Einführung neuer Materialfunktionalitäten;



Mit einem Wasser abstoßenden Mittel behandeltes Nylongewebe. Leicht zu reinigender Beschichtungstoff mit Flüssigglas.

TABELLE 1 Übersicht der funktionalen Produktgruppen von Nanomaterialien für Anwendungen bei Möbeln im Jahre 2012

PRODUKT-GRUPPE	BESCHREIBUNG	RELATIVE ANWENDUNG BEI MÖBELN ²
Glas	Seit einigen Jahren wird Nanotechnologie in der Entwicklung und Herstellung verschiedener Glasgattungen angewandt, z. B. nichtreflektierendes Glas, Privacy-Glas, thermisches Dämmglas (auf Reflexion oder Absorption von Infrarotlicht basierend). Bei vielen Anwendungen könnte dieses Glas eingesetzt werden, z. B. Glasschränke, Museummaterialien, Lampen, Tische, Büro- oder Medizinmöbel. Laut den großen Produzenten bleibt die Marktdurchdringung bei Möbeln aber niedrig.	Niedrig – nicht nachweisbar
Verbundwerkstoffe	Es gibt erhebliche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich der Nanoverbundwerkstoffe, sowohl der Kunststoff- wie der Holzverbundwerkstoffe. Bei Holzverbundwerkstoffen werden mögliche Anwendungen beschrieben, bei denen Nanofasern eingesetzt werden, um die Stärke und Leistungen der Verbundwerkstoffe zu steigern. Aus den ersten Kontakten mit der Industrie der Verbundwerkstoffe geht allerdings hervor, dass diese Anwendung noch nicht marktreif sind. Einige Beispiele: <ul style="list-style-type: none"> • neuartige Flammschutzanwendungen • Nanozellstoff als Armierungsfaser • Nanosilizium für eine höhere Festigkeit 	Niedrig – nicht nachweisbar
Holz	In der Forstwirtschaft (der Produktionsphase des Holzes) wird Nanotechnologie eingesetzt für optimalere Schädlingsbekämpfungsmittel zum Erhalt der Wälder und für eine nachhaltigere Holzproduktion. Bevor Holz in einem Holzprodukt verwendet werden kann, kann man mit Nanotechnologie detaillierter die Leistungen von Holz untersuchen und auf diese Weise besser die Verwendungsmöglichkeiten des Holzes nutzen. In der Verwendungsphase von Holz werden neue Techniken entwickelt, um die Holzoberfläche derart zu ändern, dass das Holz abriebfester und UV-resistenter wird.	Niedrig – nicht nachweisbar
Metall	Eine Verbesserung des Metalls durch Nanotechnologie erfolgt mittels einer Anpassung der Metallstruktur oder einer Anpassung der Metalloberfläche. Galvanisierung ist ein Beispiel der Technik, bei der Nanomaterialien Anwendung finden. Die Härtung von Stahl ist ein weiteres Beispiel.	Niedrig – nicht nachweisbar
Textilien	Sehr unterschiedliche mögliche Anwendungen von Nanomaterialien bei Textilien werden bei verschiedenen Produkten beschrieben und nachgewiesen. Im Möbelsektor findet man jedoch nur fleckenabweisende, leicht zu reinigende und antibakterielle Textilienanwendungen. Aus Nanozellstoff hergestellte, stark absorptionsfähige Textilien stellen eine vierte Anwendung dar, die immer stärker vermarktet wird.	Gering, aber nimmt zu
Beton	Beton wird vor allem in öffentlichen Freilufträumen benutzt. Silicastaub oder Feinkieselerde (Nanosilizium) wird für die Herstellung von UHPC-Beton (ultrahochfestem Beton) eingesetzt und NanoTiO ₂ , um Beton mit einer »selbstreinigenden« Oberfläche zu versehen. Dies sind zwei mögliche Anwendungen von Nanomaterialien, die in diesem Sektor nützlich sein können. Prima-Marina von Escofet® ist ein Beispiel eines Produktsortiments für Freilichtbänke und -tische, bei denen UHPC-Beton, auch als »liquid stone« bekannt, eingesetzt werden. Kohlenstoffnanoröhren sind MNM, deren Fähigkeit zur Steigerung der Stärke von Betonverbundwerkstoffen derzeit untersucht wird und, die in Kürze angewandt werden.	Mäßig, werden immer mehr eingesetzt.
Klebstoffe	Klebstoffe mit Nanomaterialien für Möbel enthalten Bestandteile aus Silica oder Silan, die als Verbindungssubstanz in der Polymerstruktur der Klebstoffe bzw. als Stabilisator in wasserhaltigen Klebstoffen zur Verbesserung der Produktviskosität eingesetzt werden. Das Dispersionsmittel Dermocoll®S von Bayer ist ein Beispiel für letzteres und besteht aus einem Dispersionsmittel von Silica-Polyurethan. Weitere Produkte, die entwickelt wurden, verrohen die Oberfläche. Die mit Nanomaterialien verrohten Oberflächen steigern die Klebkraft und sorgen dafür, dass weniger Klebstoff verwendet werden muss.	Niedrig – nicht nachweisbar
Beschichtungsstoffe; wasser- oder ölabweisend	Man kann mit verschiedenen Nanotechniken eine wasser- oder ölstoßende Wirkung erzielen. Dies kann angewandt werden bei Textilien, Holz oder Metall, um Erosion und Verschleiß zu senken und vor Flecken, Fingerabdrücken, usw. zu schützen. Diese Wirkung kann auch bei Holzverbundwerkstoffen eingesetzt werden, um dem Aufquellen infolge Wasserabsorption entgegenzuwirken. Mit der Flüssigglastechnik beispielsweise wird ein poröser wasserabweisender Beschichtungsstoff aufgetragen, mit dem das unterliegende Material trotzdem noch atmen kann.	Relativ hoch und nimmt zu

² Wegen des bahnbrechenden Charakters und der beschränkten Marktdurchdringung von MNM in der Möbelindustrie war es nicht möglich, quantitativ die Verwendung von MNM in verschiedenen Produktgruppen zu messen. Deshalb werden die Anwendungsfrequenz und die Marktperspektiven von MNM bei Möbelprodukten auf relative Art und Weise angegeben. »Hoch« ist auszulegen als *relativ hoch im Verhältnis zu allen mittels MNM verbesserten und im Markt erhältlichen Produkten*. »Niedrig« ist auszulegen als *nicht nachweisbar*, auch wenn es möglich ist, dass das Nanomaterial zwar verwendet wird, ohne dass es erwähnt wird. »Gering« bedeutet *in geringem Maße, aber noch nachweisbar*.

Beschichtungsstoffe, Kratzerbeständigkeit	Besonders kratzerbeständige Farben oder Lacke bilden einen Nanoproduktmarkt, der im Kommen ist. Diese Nanoprodukte können bei Holzprodukten wie Tischen, Türen oder Böden eingesetzt werden aber auch bei Möbelmaterialien, die intensiver genutzt werden, z. B. Kunststoff oder Streifenplatten. Es gibt verschiedene Beschichtungsanwendungen mit diesen kennzeichnenden Eigenschaften, sowohl wasserhaltige wie nicht-wasserhaltige.	Relativ hoch und nimmt zu
Beschichtungsstoffe, graffitiabweisend	Antigraffiti-Beschichtungsstoffe werden wegen ihrer Freiluftanwendung, z. B. bei Straßenmobiliar, beschrieben. Sie können aber auch bei Möbeln für Kinder oder Küchen eingesetzt werden, um zugleich als Möbel wie auch als Tafel benutzt zu werden.	Mäßig und nimmt zu
Beschichtungsstoffe, leicht zu reinigen	Schmutzabweisende Eigenschaften sind Anwendungen, bei denen Nanomaterialien eingesetzt werden, um die Möbeloberfläche zu verbessern. Eine häufig angewandte Technik ist die des sogenannten »Lotuseffekts«. Das Lotusblatt besteht aus feinen Haaren, die die Oberflächenspannung senken und der Absorption von Öl und Wasser entgegenwirken. Demzufolge perlt der »Schmutz« leicht ab. Wenn man dieses Prinzip bei Möbelmaterialien anwendet, ist die Oberfläche leichter zu reinigen. Und deshalb sind weniger Reinigungsmittel und Textilien für die Reinigung notwendig.	Relativ hoch und nimmt zu
Beschichtungsstoffe, UV-Schutz	Möbel, die draußen benutzt werden, sind ständig allen Witterungsbedingungen, unter anderem auch der Einwirkung von UV-Strahlung, ausgesetzt. UV-Strahlen beschleunigen die Alterung von Materialien und Beschichtungsstoffen. Eine Möglichkeit, um die Verwitterung zu verlangsamen, ist das Hinzufügen von UV absorbierenden Wirkstoffen. Vor allem bei Holzoberflächen werden die Vorteile von Nanoadditiven, die diese Absorption erleichtern, beschrieben. UV absorbierende Additive wirken als UV-Barriere und werden eingesetzt, um den Lebenszyklus und die Farbestabilität von Farben und Beschichtungsstoffen zu steigern.	Gering, aber nimmt zu
Beschichtungsstoffe, selbstreinigend	Selbstreinigende Beschichtungsstoffe weisen aktiv organisches Material (verunreinigende Stoffe und Organismen) ab. Sie können sich als interessant erweisen, um bei Küchenmöbeln eingesetzt zu werden. Dort wird man täglich mit der Ablagerung von sehr dünnen Schichten von Speiseöl und anderen, Lebensmittel verunreinigenden Stoffen (Proteinen, Kohlenhydraten) konfrontiert. Auch in Krankenhäusern, Saunas, Schwimmbädern, usw. können sie interessant sein, auch wenn sie nicht die üblichen Reinigungsarbeiten ersetzen.	Niedrig, nimmt in spezifischen Bereichen zu
Beschichtungsstoffe, antibakteriell	Antibakterielle Beschichtungsstoffe beseitigen Bakterien und andere Mikroorganismen wie Algen oder Pilze, die versuchen, auf der beschichteten Oberfläche zu überleben. Dies kann eine wichtige Eigenschaft für Möbel in großen öffentlichen Räumen sein, wie U-Bahnzügen, Zügen, Büroräumen, Kindertagesstätten, Krankenhäusern oder der Bioindustrie. Dort kann der Beschichtungsstoff zu einer Senkung des Infektionsrisiko zwischen Mensch und Tier und somit des Ausbruchs von Epidemien beitragen.	Niedrig, nimmt in spezifischen Bereichen zu

TABELLE 2 Nanomaterialien, die 2012 am häufigsten bei in der Möbelindustrie verwendeten Nanoprodukten eingesetzt werden

Eigenschaft des Produkts →	Kratzerbeständigkeit	Leicht zu reinigen	Graffitiabweisend	UV/Licht-Barriere	Selbstreinigend	Anti-mikrobiell
Nanomaterial						
SiO ₂	X	X	X			
TiO ₂ /ZnO				X	X	X
CeO ₂				X		
Ag						X
CuO						X

- der Ersatz gefährlicher Flamm-schutzmittel durch neue, MNM-basierte Anwendungen;
- die Verwendung neuer Verleimungs-techniken und Formeln für Kleb-stoffe mit MNM;
- der Entwurf »intelligenter« Möbel wie Küchenschränke, die melden, wenn die Nudeln fast aufgebraucht

sind, oder ein Stuhl, der je nach der Einstellung des Kunden die Farbe wechselt.

Tabelle 1 enthält eine Übersicht der verschiedenen vorhandenen Produkt-gruppen und Anwendungen bei Möbel-produkten.

Im Jahr 2012 werden die in den verschiedenen Produktgruppen von Möbeln eingesetzten Nanomaterialien beschrieben als Nano-SiO₂, Nano-TiO₂ und Nano-Ag. Tabelle 2 fasst die 6 wichtigsten Nanomaterialien zusammen, denen man am häufigsten bei verschiedenen Nanoprodukten in Möbeln begegnet. Tabelle 2 gibt auch



Polierte Oberfläche einer MDF-Platte mit einer Oberschicht aus Bambus, mit einem besonders kratzerfesten Lack mit Nano-SiO₂ behandelt.

eine Übersicht der wichtigsten Eigenschaften, mit denen diese Nanomaterialien die Produkte versehen. Diese Nanomaterialien können im Prinzip bei fast jedem Primärgut eingesetzt werden. So ist beispielsweise nur eine kleine Modifizierung des Nanomaterials notwendig, um in einem wasserhaltigen statt lösemittelhaltigen Beschichtungsstoff oder in einem Beschichtungsstoff für Metall statt für Holz eingesetzt zu werden. Es reicht, die Konzentrationen zu ändern, um aus einem wasserabweisenden einen selbstreinigenden Beschichtungsstoff zu machen.

Beispiele von Nanomaterialien oder -produkten findet man in verschiedenen Datenbanken nanomaterialhaltiger Produkte, die vermarktet werden. Die meisten Datenbanken visieren ein spezifisches Nutzerpublikum an (z. B. das Woodrow Wilson Institute³, Nanowerk⁴, Nanodaten⁵, Bund⁶ und Nanodatenbanken⁷). Keine einzige dieser Datenbanken erwähnt spezifische Materialien oder Produkte für die Anwendung bei Möbeln. Offensichtlich müssen noch einige Hindernisse bewältigt werden, bevor MNM großzügig im Markt vertrieben werden.

EINSCHRÄNKUNGEN DER ANWENDUNG VON NANOMATERIALIEN IN DER MÖBELINDUSTRIE

Obwohl die Möglichkeiten von MNM bei Möbeln vielversprechend sind, hemmt eine Reihe von Faktoren eine groß angelegte Einführung von Nanomaterialien bei Möbelprodukten. Die wichtigsten Momente, die derzeit eine Anwendung noch verhindern, werden nachstehend zusammengefasst.

KOSTEN-NUTZEN-ANALYSE

Die meisten MNM sind ziemlich neue Stoffe. Ihre jährlichen Produktionsmengen sind immer noch gering und sie sind dementsprechend teuer. Demzufolge empfindet man MNM oft als ein zu teures Ersatzmittel für andere, bestehende Alternativen. Je nachdem, wie sich die Produktionsvolumina steigern, ändert sich aber diese Lage. Nano-TiO₂ ist ein Beispiel eines MNM, das gerade rentabel genug geworden ist, um als UV-Blocker in Beschichtungsstoffen angewandt zu werden.

LANGFRISTIGE LEISTUNGEN

Weil sie noch so neu sind, müssen viele MNM noch beweisen, dass sie auf längere Sicht nachhaltig bleiben. Herkömmliche Produktionsprozesse müssen vielleicht angepasst werden und die Hersteller und die Verbraucher müssen an ihre Leistung glauben, sodass die Hersteller weiter in diese neue Technologie investieren. Deshalb werden MNM vorwiegend in Beschichtungsstoffen verwendet. Wegen der zunehmenden Erfahrungen und des wachsenden Vertrauens werden MNM erwartungsgemäß aber auch ihren Weg zu komplexeren und anspruchsvolleren Materialien finden. Nanozellstofffasern z. B. sind MNM, die in naher Zukunft eingesetzt werden können, um sowohl Beschichtungsstoffe wie auch Verbundwerkstoffe zu verstärken.

SICHERHEITS- UND GESUNDHEITSSCHUTZ-ÜBERLEGUNGEN

Man weiß nur wenig über die Sicherheits- und Gesundheitsschutzaspekte der verschiedenen MNM. Wegen ihres

besonders kleinen Umfangs und der nanospezifischen Reaktionsfähigkeit von MNM gibt es genügend Grund, kritischere Nebenwirkungen als bei roheren und größeren Stoffen vorauszusetzen. Wegen der Ungewissheit über die Sicherheits- und Gesundheitsschutzaspekte der MNM beschränken sich die Möbelhersteller auf die Verwendung von MNM während des Produktionsprozesses von Möbeln. Diese Ungewissheit führt zur Besorgtheit über die Sicherheit und die Gesundheit ihrer Arbeitnehmer, der Verbraucher und der Umwelt. Sie gibt auch Anlass zur Besorgtheit über die Risiken der MNM-Exposition und die angebrachten Schutzmaßnahmen während der Anwendung und der Verwendung und der Entsorgung am Ende ihres Lebenszyklus. Es ist daher von wesentlicher Bedeutung, dass Informationen über eine sichere Anwendung und ein sicherer Einsatz von MNM in der gesamten Wertkette der Möbelprodukte kommuniziert werden, d. h. vom Rohstoffproduzenten bis zum Möbelhersteller und zu dem/den Endverbraucher(n) des Möbelprodukts. Gediegene und zuverlässige Informationen vom Lieferanten ermöglichen es dem Arbeitgeber in der Möbelindustrie, seine Pflichten hinsichtlich des Schutzes seiner Arbeitnehmer gegen die mit MNM einhergehenden Risiken zu erfüllen. Wenn Informationen über die Anwendung und die Benutzung sorgfältig zwischen den Akteuren in der gesamten Wertschöpfungskette von Möbeln kommuniziert werden, wird die Möbelindustrie in der Lage sein, MNM auf unbedenkliche Art und Weise zu benutzen und ihr Potenzial voll auszuschöpfen.

³ <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/>

⁴ www.nanowerk.com

⁵ www.nanodaten.de

⁶ <http://bund.net/nanodatenbank>

⁷ www.nano.taenk.dk

SICHERHEITS- UND GESUNDHEITSSCHUTZÜBERLEGUNGEN

EINLEITUNG

MNM können aus den folgenden Gründen für den Menschen gefährlicher als die herkömmlichen mikroskopischen Äquivalente sein:

- Sie können leichter in das menschliche Gewebe vordringen;
- Sie sind so klein, dass sie das Verhalten gasförmiger Stoffe annehmen können und dies beeinflusst ihr Migrations- und Expositionsprofil;
- Sie können über das Nervensystem und durch die Plazenta migrieren und durch die Haut eindringen;
- Wegen ihrer Form können sie spezifische toxische Reaktionen wie Entzündungen oder oxidativen Stress auslösen;
- Wegen ihres größeren Verhältnisses Oberfläche zu Masse haben sie eine höhere chemische Reaktivität;
- Sie können andere chemische Eigenschaften aufweisen. Sie können beispielsweise eine katalytische Wirkung bekommen;
- Sie können andere physikalische Eigenschaften aufweisen. Sie können beispielsweise elektrisch leitfähig oder löslicher sein.

Auch wenn der heutige Kenntnisstand nicht ausreicht, um die Toxizität von Nanomaterialien auf Grund ihrer Zusammensetzung und Morphologie vorauszusagen, trotzdem kann man davon ausgehen, dass ihr toxisches Profil teils auf ihr einzigartiges chemisches und physikalisches Verhalten zurückzuführen ist, dass sie für Produktinnovationen gerade so interessant macht. Trotz ihrer immanenten Risiken bildet die wahrscheinliche Aussetzung den ausschlaggebenden Faktor für die Gesundheitsrisiken von Nanomaterialien und -produkten. Bei einer wirksamen Verhinderung der Exposition treten keine Gesundheitsrisiken auf.

SCHÄDLICHE NEBENWIRKUNGEN VON NANOMATERIALIEN FÜR DIE GESUNDHEIT

Es gibt kein allgemeines »Gesundheitsrisiko von Nanomaterialien«. Jedes Nanomaterial hat seine eigenen kennzeichnenden schädlichen Effekte für die Gesundheit. Unter den MNM, die derzeit vorwiegend in der Möbelindustrie eingesetzt werden, ist nur die Toxizität von Nano-TiO₂ ziemlich gut erforscht. Über die Toxizität von Nano-SiO₂ und Nano-Ag (Nanosilber), die beiden anderen am häufigsten eingesetzten MNM, ist dagegen viel weniger bekannt. Für alle sonstigen MNM sind Angaben über die Toxizität knapp oder fehlen sie schlichtweg.

Wegen der vielen Fragezeichen hinsichtlich der schädlichen Nebenwirkungen für die Gesundheit der jeweiligen Nanomaterialien ist es sinnvoll, die verfügbaren Kenntnisse zu sammeln und gemeinsame Tendenzen zu identifizieren. Die am meisten beobachteten Gesundheitsrisiken sind Entzündungen und oxidativer Stress. Bei ausreichend hohen Dosen können Inflammation und oxidativer Stress zum Zelltod oder zur Bildung von Narbengewebe, beispielsweise in den Lungen, führen. Zellwucherung, Beschädigung des DNA und hormonale Störungen sind andere Effekte. Eine ausführliche Übersicht der vorhandenen Kenntnisse über die Sicherheits- und Gesundheitsrisiken von Nanomaterialien findet man bei Aschberger et al. (2011)⁸. Diese allgemeinen Effekte auf die Gesundheit können sich letztendlich äußern in Entzündungen der Atemwege, Bronchitis, Asthma, kardiovaskuläre Erkrankungen, Krebs oder Störungen bei Embryonen. Eine Reizung der ausge-

setzten Haut wird ebenfalls als mögliche schädliche Nebenwirkung erwähnt, z. B. bei oberflächenaktiven bioziden MNM wie Nano-TiO₂, Nano-Ag oder Nano-SiO₂ (siehe weiter unten). Die heutigen Daten reichen nicht aus, um eine Reizwirkung von MNM nachzuweisen.

SCHÄDLICHE NEBENWIRKUNGEN VON NANO-TIO₂

Im Jahre 2011 wertete das NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health, USA) alle vorhandenen wissenschaftlichen Daten über das Gesundheits- und Sicherheitsprofil von Nano-TiO₂ aus. NIOSH⁹ schlussfolgerte, dass es genügend Beweise gibt, um Nano-TiO₂ als möglicherweise krebserregenden Wirkstoff einzustufen. Interessant dabei ist allerdings, dass das NIOSH zum Schluss kommt, dass der krebserregende Effekt von Nano-TiO₂ einem sekundären Mechanismus zuzuschreiben ist. Der Effekt ist also nicht für die chemische Substanz selber, sondern für das Partikel kennzeichnend und wird verursacht, weil Nano-TiO₂ nicht löslich ist und eine Nanogröße hat. Ein ähnlicher Effekt lässt sich demnach auch bei anderen nicht löslichen MNM voraussagen. Das NIOSH schlussfolgerte weiter, dass das Auftragen einer dünnen Schicht auf jedes Partikel Nano-TiO₂ angeblich den krebserregenden Effekt erhöht und, dass sich offensichtlich die Morphologie (amorph oder kristallin) nicht deutlich auf die krebserzeugende Eigenschaft auswirkt.

SCHÄDLICHE NEBENWIRKUNGEN VON NANO-SIO₂

Anders als bei Nano-TiO₂ wurde das Profil von Nano-SiO₂, dem zweiten Nanomaterial bisher viel weniger

⁸ Aschberger A, Micheletti C, Sokull-Kluttgen B und Christensen FM (2011) Analysis of currently available data for characterizing the risks of engineered nanomaterials to the environment and human health – Lessons learned from four case studies, *Environment International*, 37, 1143 – 1156.

⁹ Occupational Exposure to Titanium Dioxide, NIOSH, Current Intelligence Bulletin 63, April 2011.

erforscht. Nano-SiO₂ kann in amorpher oder kristalliner Form und in den unterschiedlichsten Gattungen und Formen hergestellt werden. Je nach der genauen Struktur ist die physikalische und chemische Reaktivität unterschiedlich und auch das toxische Profil kann unterschiedlich sein. Napiersky et al. (2010)¹⁰ untersuchten die verschiedenen Formen und Synthesen und sie beschrieben die vorhandenen Kenntnisse über die Toxizitätsmechanismen dieses Nanomaterials. Sie stellten fest, dass die Toxizität von Nano-SiO₂ wahrscheinlich auf die kristalline Struktur zurückzuführen ist. Kristallines Nano-SiO₂ löst offensichtlich oxidativen Stress und daher Beschädigung von DNA und Zellmembranen aus. In der Industrie dagegen wird meist die amorphe Form von Nano-SiO₂ eingesetzt, um die Leistungen von Produkten zu verbessern. Die Anwendung in kratzerbeständigen Lacken ist davon ein Beispiel. Man geht davon aus, dass amorphes Nano-SiO₂ viel weniger toxisch ist als kristallines Nano-SiO₂ und deshalb wurde in einigen Studien das genaue Profil eingehender untersucht. In einer beschränkten Anzahl von Untersuchungen wird angegeben, dass Nano-SiO₂ keine Rolle spielt bei progressiver Fibrose in den Lungen, bei hohen Dosen aber zu einer akuten Lungenentzündung führen kann. Trotzdem kann sich bei weiterer Forschung herausstellen, dass diese Schlussfolgerungen auf Grund des genauen Entwurfs des amorphen Nano-SiO₂ angepasst werden müssen. In immer mehr Studien wird auf die starke Interaktion zwischen Nano-SiO₂ und Peptiden hingewiesen, als auch auf die große Bedeutung, die die Oberfläche bei der Reaktivität des Materials spielt und auf die Abhängigkeit der Toxizität von jeglicher Veränderung der Oberfläche. Die Wechselwirkung mit Peptiden beispielsweise kann auf eine potentielle allergische Wirkung (ähnlich wie bei Epoxidprodukten) hindeuten. Wichtig ist auch, dass in unterschiedlichen Studien eine unterschiedliche Toxizität auf Grund unterschiedlicher Analysen nachgewiesen wird.

Napiersky et al. (2010) und von ihnen zitierte Quellen heben hervor, dass für Nanomaterial kennzeichnende Gesundheits- und Sicherheitsrisiken für die Arbeitnehmer vor allem auftreten, wenn Pulver des rohen Nanomaterials hergestellt oder manipuliert werden. In einer Suspension oder in einem festen Stoff wird Nano-SiO₂ – so behaupten sie – fixiert und ist daher die Exposition infolge Einatmung erwartungsgemäß sehr gering.

SCHÄDLICHE NEBENWIRKUNGEN VON NANO-AG

Die Toxizität von Silber wurde in der Vergangenheit eingehend erforscht. Dabei stellte sich heraus, dass Silber für Menschen relativ bedenkenlos ist, für Umweltorganismen aber besonders giftig sein kann. Im Gegensatz zu makroskopischen Silber wurde das toxische Profil von Nano-Ag bisher nicht so eingehend untersucht. In beiden Fällen ist die Toxizität auf die Emission von Silberionen (Ag⁺) zurückzuführen. Bei Nano-Ag aber kann das Nanopartikel selbst eine erhöhte Toxizität aufweisen, weil es im Falle der Exposition auf eine andere Art und Weise im menschlichen Körper (oder in der Umwelt) verbreitet wird als Silberpartikel mit einem größeren Durchmesser. So stellte man in Untersuchungen über die Toxizität in der Umwelt fest, dass Nano-Ag wie eine Art Ag⁺-Bombe in Mikroorganismen wirkt. Eine Übersicht der verfügbaren Daten, die das toxische Profil von Nano-Ag beschreiben, findet man in einer neueren Untersuchung von TNO (2011)¹¹.

Trotz der Tatsache, dass zurzeit ein vollständiges toxisches Profil von Nano-Ag fehlt, gibt es Hinweise, dass man vorsichtig sein sollte bei der Anwendung von Nano-Ag bei Möbelprodukten. Eine der grundlegenden Anwendungen von Nano-Ag ist die für die medizinische Behandlung sehr empfindlicher Wunden, bakterieller Infektionen oder als Desinfizierungsmittel für Bakterienstämmen, die besonders resistent gegenüber ande-

ren Antibiotika sind oder werden. Ein falscher Gebrauch kann zur Entwicklung von bakterieller Resistenz gegenüber Silber beitragen (cf. TNO 2011 und die Quellen darin). Wenn dies passieren würde, hätte dies gewaltige Folgen für die menschliche Gesundheit.

EXPOSITIONSGRENZWERTE

Für die Beurteilung der Sicherheit am Arbeitsplatz werden oft Arbeitsplatzgrenzwerte (OEL = occupational exposure limit) benutzt. Die derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisse reichen nicht aus, um Arbeitsplatzgrenzwerte für die meisten Nanomaterialien vorzuschlagen. Nur für eine beschränkte Zahl von Nanomaterialien schlagen die Unternehmen, die sie herstellen, oder Forschungsanstalten einen Arbeitsplatzgrenzwert (OEL), einen empfohlenen Expositionsgrenzwert (REL = recommended exposure limit) oder eine abgeleitete Expositionshöhe ohne Beeinträchtigung (DNEL = derived no-effect level) vor. Tabelle 3 enthält die Zusammenfassung einer Auswahl.

Bis verbindliche Expositionsgrenzwerte für Nanomaterialien ermittelt worden sind, können vorläufige Nanoreferenzwerte für eine pragmatische Bewertung benutzt werden. Verschiedene Initiativen untersuchten die Möglichkeit einer Klassifizierung zur Festlegung artmäßiger Referenzwerte für MNM, z. B. das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung und das britische BSI (British Standard Institute). In den Niederlanden einigten sich die Arbeitgeber- und Arbeitnehmerverbände, um derartige Orientierungswerte für die Arbeitsplatzexposition zu verwenden, die sogenannten vorläufigen Nanoreferenzwerte. Im März 2012 veröffentlichte der Sozialwirtschaftliche Rat (SER)¹² in den Niederlanden eine Tabelle mit Nanoreferenzwerten als offizielles Gutachten für das niederländische Ministerium für Soziales und Beschäftigung, siehe Tabelle 4.

Die abgeleiteten Nanoreferenzwerte werden für pragmatische Vergleichs-

¹⁰ Napiersky D, Thomassen LCJ, Lison D, Martens JA und Hoet PH (2010) The Nanosilica Hazard: another variable entity, *Particle and Fibre Toxicology*, 7, 39.

¹¹ van Manen - Vernooij B, le Feber F, van Broekhuizen FA, van Broekhuizen P (2011) Pilot »Kennisdelen Nano in de verketen«, TNO Report V20123.

¹² SER Advies 12/01, März 2012, Voorlopige nanoreferentiewaarden voor synthetische nanomaterialen [Vorläufige Nanoreferenzwerte für synthetische Nanomaterialien], Anlage 1.

TABELLE 3 Vorschläge für OEL, REL und DNEL für spezifische Nanopartikel

WIRKSTOFF		OEL oder REL mg/m ³	DNEL mg/m ³	Referenz
MWCNT (Baytubes) *	als gewichteter Mittelwert über 8 Stunden**	0,05		Pauluhn, 2010
MWCNT (Nanocyl)	als gewichteter Mittelwert über 8 Stunden	0,0025		Nanocyl 2009
CNT (SWCNT und MWCNT) *	als gewichteter Mittelwert über 8 Stunden	0,007		NIOSH 2010
Fulleren		0,8		NEDO-2 2009
Ag (18-19 nm)	DNEL		0,098	Stone et al. 2009
TiO ₂ (10 -100 nm) (REL) **	10 Std./Tag, 40 Std./Woche	0,3		NIOSH 2011

* CNT= carbon nanotube (Kohlenstoffnanoröhre); SWCNT = single-wall CNT (einwandige Kohlenstoffnanoröhre); MWCNT= multi-wall CNT (mehrwandige Kohlenstoffnanoröhre)

** REL = empfohlen Expositionsgrenzwert; TWA = als gewichteter Mittelwert

TABELLE 4 Die niederländische Tabelle mit den vorläufigen Nanoreferenzwerten wurde vom SER im März 2012 empfohlen

KLASSE	BESCHREIBUNG	DICHTE (kg/m ³)	NANOREFERENZWERT (als gewichteter Mittelwert über 8 Stunden)	BEISPIELE
1	Rigide, biopersistente Nanoröhren, Nanofasern und Nanostäbchen, bei denen asbestähnliche Effekte nicht auszuschließen sind.	-	0,01 Fasern/cm ³ (= 10.000 Fasern/m ³)	SWCNT, MWCNT oder Metalloxydfasern, bei denen asbestähnliche Effekte vom Hersteller nicht ausgeschlossen werden.
2	Biopersistente, granulare Nanomaterialien im Bereich 1 zu 100 nm	> 6 000	20.000 Partikel/cm ³	Ag, Au, CeO ₂ , CoO, Fe, Fe ₃ O ₄ , La, Pb, Sb ₂ O ₅ , SnO ₂
3	Biopersistente, granulare Nanomaterialien im Bereich 1 zu 100 nm	< 6 000	40.000 Partikel/cm ³	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , TiN, TiO ₂ , ZnO, Nanolehm Russ, C ₆₀ , Dendrimere, Polystyrol-Nanoröhren Nanofasern und Nanostäbchen, bei denen asbestähnliche Effekte nicht ausdrücklich auszuschließen sind.
4	Nicht-biopersistente, granulare Nanomaterialien im Rahmen 1 zu 100 nm	-	Geltende OEL	Beispielsweise Fette, Siloxane, Salz (= NaCl).

höhen verwendet; sie garantieren nicht, dass eine unter diesen Referenzwerten liegende Exposition gegenüber Nanomaterialien bedenkenlos ist. Die Nanoreferenzwerte können verwendet werden, solange die EU oder die Mitgliedstaaten selber keine Arbeitsplatzgrenzwerte für Nanomaterialien angeordnet haben oder solange die REACH-Dokumentation keine spezifischen Expositionsgrenzwerte oder abgeleiteten Expositionshöhen ohne Beeinträchtigung (DNEL) für Nanomaterialien empfiehlt. Wegen der Zusammenarbeit zwischen den niederländischen Sozialpartnern, aus der die

Tabelle mit Nanoreferenzwerten hervorging, und wegen der offiziellen Anerkennung dieser Tabelle als SER-Gutachten ist sie einzigartig. Einzigartig ist auch die definierte Maßeinheit: die Anzahl von Nanopartikeln pro cm³, denn dies drückt aus, dass die Oberfläche der Bezugspunkt für die Reaktivität von Nanomaterialien ist, nicht die Masse/das Gewicht. Der Europäische Gewerkschaftsbund (EGB) fördert die Anwendung der niederländischen Tabelle der Nanoreferenzwerte. Die mögliche Umsetzung in der gesamten Europäischen Union wird derzeit untersucht.

Wenn ein Nanomaterial in einem Produkt verwendet wird, ist es nicht unbedingt ein »unveränderliches« Partikel. In vielen Produkten wird das Nanomaterial mit der Produktmatrix reagieren oder sich daran binden. Beispiele davon sind Nanosilica in kratzerbeständigen Lacken, Nanosilber in hochwertigen Textilien oder ein Nanomaterial, das für Galvanisierung verwendet wird. Bei anderen Produkten bleibt das Nanomaterial lockerer in der Produktmatrix eingebettet, z. B. Nanotitaniumdioxid in selbstreinigenden Beschichtungsstoffen. Das Verhalten eines Nanomaterials in einem Produkt

beeinflusst die schädlichen gesundheitlichen Effekte und die voraussichtliche Exposition. Deshalb ist es wichtig zu wissen, ob sich die Toxizität eines Nanomaterials während der verschiedenen Lebenszyklusphasen ändern kann, von möglicherweise gefährlich als Rohstoff bis nicht toxisch für Verbraucher während der Verwendung und gefährlich als Abfall bei der Entsorgung in die Umwelt. Die folgende Frage ist deshalb in der ganzen Debatte über die Sicherheit und die Gesundheit von Nanomaterialien von ausschlaggebender Bedeutung:

Was passiert mit dem Nanomaterial, sobald es verwendet worden ist, und was passiert mit dessen nanospezifischem Charakter?

EXPOSITIONSQUELLEN

In der Möbelwirtschaft werden die Arbeitnehmer üblicherweise Nanoprodukten (in der Form, in der sie bezogen wurden oder in den Formen, in denen sie infolge der Einsetzung oder Verarbeitung entstehen) ausgesetzt, nicht den reinen Nanomaterialien. Die Exposition erfolgt mit anderen Worten größtenteils in den nachfolgenden Situationen:

Produkte, in denen Nanopartikel oder Nanomaterialien eingebettet sind (in einer festen Matrix, in Pulver, in einer Flüssigkeit oder in einem Gemisch) und der Staub oder die Aerosole dieser Produkte, die entstehen bei der maschinellen Bearbeitung, dem Versprühen oder einer anderen Applikation am Arbeitsplatz.

All dieses wirkt sich auf die tatsächliche Exposition eines Arbeitnehmers gegenüber dem Nanomaterial im Produkt aus. Aus Forschung von Saber et al. (2011a¹³, b¹⁴) stellt sich heraus, dass erhebliche Unterschiede auftreten können bei der Exposition gegenüber reinen Nanomaterialien einerseits und in einem Beschichtungsstoff

eingebetteten Nanomaterialien andererseits. Sie untersuchten verschiedene Beschichtungsstoffe (Akrylbeschichtungsstoffe und mit UV behandelte Lacke), die verschiedene Nanomaterialien (Nano-TiO₂, Nano-SiO₂, Nanolehm und Russ) enthalten. Sie stellten fest, dass die reinen Nanomaterialien nanospezifische Entzündungs- und DNA schädigende Effekte aufwiesen. Sobald aber diese Nanomaterialien im Beschichtungsstoff oder im Lack eingebettet waren, war das toxische Profil des Schleifstaubs dieser Nanoprodukte mit der Toxizität derselben Produkte ohne Nanomaterialien vergleichbar. Die ersten und vorläufigen wissenschaftlichen Untersuchungen belegen mit anderen Worten, dass in einer Matrix eingebettete Nanomaterialien nicht notwendigerweise dieselbe Toxizität aufweisen, die sie in reiner Form wohl haben. Diese vielversprechenden ersten Ergebnisse sind sehr wichtig für die Risikobeurteilung von Arbeiten mit Nanomaterialien und Nanoprodukten in der Möbelindustrie. Sie ermutigen zu weiterer Forschung um zu ermitteln, ob ähnliche Effekte auch bei anderen Produkten und Materialien beobachtet werden.

Generell gibt es drei Formen, in denen ein MNM in ein Nanoprodukt aufgenommen ist:

1. Ein MNM kann stabil/träge sein, aber dennoch physikalisch wechselwirken (reagieren). Dies resultiert in einer Matrix, in der das MNM eingebettet ist, wobei aber keine chemische Reaktion mit der Produktmatrix stattfindet. Demzufolge bleibt das Nanomaterial »ungebunden« und es kann im Prinzip entweichen.
2. Ein MNM kann chemisch reagieren. Dies resultiert in einer Verbindung zwischen dem MNM und der Matrix, sodass ein Entweichen des Nanomaterials unwahrscheinlich wird.
3. Ein MNM kann sowohl chemisch wie auch physikalisch reaktionsfähig sein und auf der Matrixoberfläche haften. Auf diese Weise wird das Nanomaterial vermutlich nicht entweichen, aber bei direkter

Berührung der Oberfläche kann trotzdem eine Exposition auftreten. Bakterizide Beschichtungsstoffe sind davon ein Beispiel.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die drei Arten beschrieben, auf die Arbeitnehmer in der Möbelindustrie den Nanomaterialien in den Produkten, mit denen sie arbeiten, ausgesetzt werden können. Wegen der Art ihrer täglichen Arbeit und der Produkte, mit denen sie meist arbeiten, treten die meisten Gesundheitsrisiken infolge der Einatmung von Nanomaterialstaub (Ergebnis von Schneiden, Schleifen, Bohren, Nähen oder maschineller Bearbeitung) oder Aerosolen der aufgetragenen Farben oder Leime auf. Es kann auch eine Durchdringung der Haut erfolgen (allerdings in viel geringerem Maße). Man kann Gesundheitsbedenken beim Kontakt mit oberflächenreaktiven Substanzen wie bakteriziden Mitteln erwarten. Auch eine Exposition durch Hinunterschlucken ist zu erwarten. Nanomaterialien, die aus den Lungen oder der Nase entfernt werden, werden mit dem Schleim hinuntergeschluckt. Auch während der Mittags- und Kaffeepausen besteht ein Risiko, das Nanomaterialien enthaltender Staub oder Farbe hinuntergeschluckt werden, wenn die Hände und das Gesicht nicht gründlich gewaschen werden.

Die Nanopartikelexposition beim Befördern von mit Nanomaterialien veränderten Möbelteilen wie Keramik, Glas, Stahl, Kunststoff, Verbundwerkstoffen, Dämmstoffen, Beton, Holz oder mit gehärteten Beschichtungsstoffen behandelten Oberflächen ist erwartungsgemäß sehr gering, weil die Nanomaterialien in diesen Fällen normalerweise in der festen Matrix eingebettet sind. Trotzdem empfiehlt es sich, auch in solchen Fällen Berührung der Haut zu vermeiden und sicherheitshalber Handschuhe zu tragen.

¹³ Saber AT, Jensen KA, Jacobsen NR, Birkedal R, Mikkelsen L, Moller P, Loft S, Wallin H und Vogel U (2011a) Inflammatory and genotoxic effects of nanoparticles designed for inclusion in paints and lacquers, *Nanotoxicology, Early Online*, 1 – 9.

¹⁴ Saber AT, Koponen IK, Jensen KA, Jacobsen NR, Mikkelsen L, Moller P, Loft S, Vogel U und Wallin H (2011b) Inflammatory and genotoxic effects of sanding dust generated from nanoparticle-containing paints and lacquers, *Nanotoxicology, Early Online*, 1 – 13.

EXPOSITION DURCH EINATMEN UND ÜBERLEGUNGEN ZUM GESUNDHEITSSCHUTZ

Die Nanomaterialienexposition durch Einatmung kann erfolgen, wenn in der Luft schwebende Partikel am Arbeitsplatz erzeugt werden, weil einerseits die angewandten Verfahren Staub oder Aerosole erzeugen oder weil andererseits Pulver von Nanomaterialien verarbeitet wird. In der Möbelindustrie landen die meisten Nanomaterialien am Arbeitsplatz als Bestandteil (Ingredienz) eines Nanoprodukts wie eines Beschichtungsstoffes oder behandelte Textilien. Der Umgang mit rohem Nanomaterial ist in diesem Projekt nicht untersucht worden. Wir stellten aber das Hinzufügen von nanosilica-haltigen Mattierungsmitteln bei bestimmten Beschichtungsstoffen oder Lacken und bestimmten (in Suspension gelieferten) Pigmenten in der Industrie fest.

Verschiedene Studien haben nachgewiesen, dass Nanopartikel bis ins Lungengewebe vordringen und auf diese Weise die Blutbahn erreichen können. Nanopartikel können über das Nervensystem der Nase auch das Gehirn erreichen. Dort können sie die Blut-Hirn-Schranke durchbrechen oder über das Nervensystem weiter migrieren. Diese beiden Mechanismen können eine wichtige Rolle spielen bei der Entwicklung bestimmter Erkrankungen des Herzes oder des zentralen Nervensystems.

Eine Gruppe von Nanomaterialien, der besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist, sind die röhrenförmigen Nanomaterialien. Vor einigen Jahren erregten Kohlenstoffnanoröhren international die Aufmerksamkeit wegen ihrer vermuteten Mesotheliom erzeugenden Wirkung (Krebs eines spezifischen Lungenteils und des Bauchfells). Aus weiteren Untersuchungen zu diesem Thema geht hervor, dass die Toxizität von Kohlenstoffnanoröhren (und anderen Nanoröhren) weitgehend von der genauen Form und der Funktionalität des betroffenen Nanomaterials abhängig ist. Eine ausführliche Übersicht der

vorhandenen Kenntnisse findet man bei Zhao und Liu (2012)¹⁵. Als erste Präventionsmaßnahme empfiehlt es sich nichtsdestotrotz jede Aussetzung gegenüber Nanoröhren, -stäbchen oder -fasern zu vermeiden, es sei denn, dass der Produzent des Nanomaterials asbestähnliche Nebenwirkungen ausdrücklich ausschließt.

Röhrenförmigen (oder stäbchenförmigen) Nanomaterialien gebührt besondere Aufmerksamkeit bei der Beurteilung des Sicherheits- und Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer, Verbraucher und der Umwelt. Eine Verwendung von Nanokohlenstoffröhren wurde in der Möbelindustrie noch nicht beobachtet. Wegen ihrer einzigartigen elektrischen Eigenschaften und ihrer Möglichkeiten als stärkende Faser, alternatives Flammenschutzmittel oder Mittel, um Algenbewuchs entgegenzuwirken, darf man davon ausgehen, dass sie in Zukunft eingesetzt werden.

EXPOSITION DURCH DIE HAUT

Die Haut gilt traditionell als gute Partikelschranke. Wenn die Haut gefährdet ist (z. B. geschürft oder verletzt) oder gestresst ist (an den Gelenken z. B.) können trotzdem Nanopartikel durch die Haut dringen. Auch die Haarfollikel und Poren sind Stellen auf der Haut, durch die die Nanopartikel eindringen können. Sobald ein Nanopartikel die Hautschranke durchbrochen hat, bilden das unterliegende Hautgewebe und die Blutbahn selbstverständlich das erste Ziel. Über das Blut kann das Nanopartikel zu anderen Organen befördert werden. Auch die Haut selber kann ein Ziel sein. Bisher ist Reizung der Haut wegen MNM-Exposition kaum untersucht wurden. Wegen der Funktionalität bestimmter MNM, die beispielsweise entwickelt wurden, um organisches Material abzubauen oder als Biozid zu wirken, kann man ohne weitere Forschung eine mögliche Reizwirkung nicht ausschließen. Bei Nano-SiO₂ deutet die Reaktionsfähigkeit dieses Stoffes auf Peptide auf eine mögliche Reizwirkung hin, die noch

weiter untersucht werden muss. Der Haut als möglichem Aufnahmeweg gebührt besondere Aufmerksamkeit in der Möbelindustrie, beispielsweise wenn während der Arbeit Nanomaterial enthaltender Staub erzeugt wird oder wenn Rückstände von Nanomaterial enthaltendem Staub am Arbeitsplatz zurückblieben.

EXPOSITION DURCH HINUNTERSCHLUCKEN

Beim Hinunterschlucken geht es nicht nur um Nanomaterialien, die unmittelbar (durch den Mund) hinuntergeschluckt werden, sondern auch um Nanopartikel, die zunächst eingeatmet werden und anschließend mit dem von den Lungen ausgetriebenen Schleim hinuntergeschluckt werden (sekundäre Ingestion genannt). Nanopartikel können in die Eingeweide aufgenommen werden und genauso wie Nahrung in die Blutbahn geraten.

EXPOSITION DES ENDVERBRAUCHERS

Auch wenn der Endverbraucher ein Möbelprodukt höchstwahrscheinlich nicht selber bearbeitet (herstellt), kann er trotzdem Nanomaterialien ausgesetzt werden. Vor allem der (Haut)kontakt mit der obersten Schicht des Produkts (Stuhl, Tisch, usw.) kann intensiv sein. Trotzdem wird eine Exposition nur eintreten, wenn das Material einigermaßen »mobil« ist, z. B. bei Weichmachern, oder wenn sich das Nanomaterial – wie bei antibakteriellen Mitteln – oben auf der Matrix befindet. Bei der Risikobeurteilung der Nanomaterialienexposition muss man aber auch berücksichtigen, dass Nanomaterialien oft mit der Matrix des Materials verbunden oder darin eingebettet sind. Deshalb wird die Aussetzung des Endverbrauchers bei vielen Anwendungen niedrig sein. Nichtsdestotrotz muss die mögliche Exposition der Endverbraucher beim Entwurf eines Möbelprodukts ernsthaft in Erwägung gezogen werden.

¹⁵ Zhao X und Liu R (2012) Recent progress and perspectives on the toxicity of carbon nanotubes at organism, organ, cell, and biomacromolecule levels, Environment International, 40, 244-256.

EINRICHTUNG EINES SICHEREN ARBEITSPLATZES

IM VORSORGEPRINZIP, das von der Europäischen Kommission und den Sozialpartnern in der Möbelindustrie empfohlen wird, wird dargelegt, wie man in verantwortlicher Art und Weise mit Nanomaterialien arbeitet. Dieses Prinzip ist nicht als Vorschrift gemeint, sondern entscheidet sich für eine Vorgehensweise, die sich aus 5 Modulen zusammensetzt:

maßnahmen zur Vermeidung oder maximalen Einschränkung der Exposition helfen. Der *Guidance on Working Safely with Nanomaterials and Nanoproducts (Leitfaden für sicheres Arbeiten mit Nanomaterialien und Nanoprodukten)* wurde von den niederländischen Sozialpartnern erstellt und ist ein Beispiel eines solchen Tools. Andere Tools konzen-

SZENARIEN FÜR DIE EXPOSITION AM ARBEITSPLATZ IN DER MÖBELINDUSTRIE

In den vergangenen Jahren wurden immer mehr Untersuchungen veröffentlicht, in denen die mögliche Exposition von Arbeitnehmern gegenüber Nanomaterialien unter praxisnahen Umständen untersucht wurde. Diese Untersuchungen konzentrieren sich vor allem auf die mögliche Exposition während Schleif- oder Sprüharbeiten und während der Arbeit mit Pulvern von Nanomaterialien. Die ersten Befunde deuten alle auf dieselbe Schlussfolgerung hin, d. h. dass eine Aussetzung gegenüber den freigesetzten Nanomaterialien nur während der Arbeit mit reinen Nanomaterialien oder mit Pulvern von Nanomaterialien vorkommen. Sobald ein Nanomaterial in einer Matrix eingebettet ist, beobachtet man keine Exposition gegenüber dem reinen Nanomaterial mehr. Stattdessen stellt man fest, dass die Exposition während Schleif- oder Sprüharbeiten meist herrührt aus der Produktmatrix samt des in dieser Matrix eingebetteten Nanomaterials. Die Messungen der Exposition am Arbeitsplatz im Rahmen der vorliegenden Untersuchung entsprechen den vorläufigen Befunden.

In einer ersten Untersuchung kann die Arbeit mit MNM in der Möbelindustrie in drei »Risikobereiche« eingeteilt werden:

DAS HÖCHSTE RISIKO tritt auf bei Arbeiten, bei denen Pulver mit reinen MNM verwendet werden. Nachfolgend werden die ersten einzuleitenden Maßnahmen zur Senkung der Exposition erwähnt:

- (1) Untersuchen, ob der Einsatz eines Alternativproduktes mit bekannten Sicherheits- und Gesundheitsrisiken eine Möglichkeit ist;

1. Wenn unzureichend Angaben über die Sicherheits- Gesundheitsrisiken von MNM vorhanden sind, muss die Exposition von Arbeitnehmern in der Möbelindustrie vermieden werden. <ul style="list-style-type: none">• Vermeiden Sie MNM-Exposition auf Grund der Präventionsstrategie.
2. Wegen der Ungewissheit über die Sicherheits- und Gesundheitsrisiken der MNM müssen Produzenten und Lieferanten ihre Abnehmer in der Möbelindustrie über die MNM in ihren Materialien und Produkten informieren. <ul style="list-style-type: none">• Erklärung über den MNM-Inhalt und die mögliche Freisetzung eines Produkts oder Materials in der Produktionskette.• Erfassung in einem zentralen Verzeichnis der MNM-Bestandteilen und der möglichen Freisetzung eines Produkts oder Materials.
3. Registrierung der Exposition am Arbeitsplatz ermöglicht eine frühzeitige Vorprüfung und eine nachträgliche Prüfung der schädlichen Nebenwirkungen von MNM für die Gesundheit der Arbeitnehmer in der Möbelindustrie. <ul style="list-style-type: none">• Gleichwertig mit der Registrierung krebserregender Stoffe: Nanofasern und krebserregende, erbgutverändernde, fortpflanzungsgefährdende oder sensibilisierende MNM.• Gleichwertig mit der Registrierung fortpflanzungsgefährdender Stoffe: alle sonstigen unlöslichen MNM.
4. Eine transparente Kommunikation über die Risiken ist von wesentlicher Bedeutung für die Arbeitnehmer und Arbeitgeber, sodass ein sicherer Arbeitsplatz für die Arbeit mit MNM in der Möbelindustrie eingerichtet werden kann. <ul style="list-style-type: none">• Informationen in SDB (Sicherheitsdatenblätter) über bekannte Nanorisiken, Risikoverwaltung und mangelnde Kenntnisse.• Information über die sichere Anwendung und den sicheren Einsatz, beispielsweise mittels einer Gebrauchsanweisung.• Einen Stoffsicherheitsbericht (REACH) für Stoffe > 1 Tonne/Jahr/Betrieb fordern.
5. Eine Ermittlung von Arbeitsplatzgrenzwerten für Nanomaterialien oder von Nanoreferenzwerten ist erforderlich für die Beurteilung der Sicherheit am Arbeitsplatz. <ul style="list-style-type: none">• Für Nanopartikeln, die am Arbeitsplatz entweichen könnten.

Die praktische Umsetzung des Vorsorgeprinzips ist kompliziert. Zur Unterstützung der Arbeitgeber und Arbeitnehmer in diesem Prozess wurden verschiedene Tools entwickelt. Eine Reihe von Tools will den Arbeitnehmern und Arbeitgebern bei der Beurteilung und Bewertung der Gesundheitsrisiken bei der Arbeit mit MNM und beim Ergreifen von Präventions-

maßnahmen zur Vermeidung oder maximalen Einschränkung der Exposition helfen. Der *Leitfaden* und die Übersicht von Nanoreferenzwerten können als gute Praktik für die Einrichtung eines Arbeitsplatzes gesehen werden, der den Vorbeugeprinzipien entspricht. Auf EU-Ebene, in verschiedenen anderen EU-Mitgliedstaaten und in den USA laufen ähnliche Projekte.

BILD 1. Spritzen unter Hochdruck in der Spritzkabine.
Der Pfeil gibt die Luftströmung des Absaugsystems an.
Grün bedeutet eine niedrige, rot eine hohe Nanopartikelzahl.



- (2) Den Lieferanten bitten, die MNM in flüssiger oder Pastenform zu liefern;
- (3) Jede Exposition vermeiden (indem der Arbeitnehmer abgesichert wird, mittels Absaugung, vorzugsweise mit einer Absaughaube, oder indem Handhabungsautomaten in einem völlig geschlossenen und automatisierten Prozess verwendet werden, oder mit Hilfe von persönlichen Schutzausrüstungen).

EIN MÄSSIGES RISIKO tritt auf bei Arbeiten mit MNM-haltigen (flüssigen oder festen) Materialien wie Farben, Lacken, Klebstoffen, Verbundwerkstoffen oder Textilien. Sprühen, Schmirgeln, Polieren, Schneiden oder andere maschinelle Bearbeitungen mit MNM-haltigen Materialien sind Beispiele von Arbeiten mit einem hohen Expositionsrisiko, die oft in der Möbelindustrie vorkommen. In derartigen Fällen ist eine Exposition gegenüber MNM-haltigem Staub und Aerosolen zu erwarten und diese muss vermieden werden. Die ersten einzuleitenden Maßnahmen zur Beherrschung des Expositionsrisikos sind:

- (1) Die Erzeugung von Staub und Aerosolen möglichst durch die Anwendung technischer Einrichtungen vermeiden;
- (2) Ein wirksames Absaugsystem verwenden;
- (3) Persönliche Schutzausrüstungen benutzen, um Einatmung oder Kontakt mit der Haut zu verhindern.

ARBEITEN MIT NIEDRIGEM RISIKO wie die Behandlung MNM-haltiger fester oder flüssiger Materialien ohne Erzeugung von Staub und Aerosolen. Das Tragen einer Platte mit MNM-Beschichtung oder einer Dose mit MNM-Farbe von Platz A nach Platz B ist ein Beispiel einer solchen Tätigkeit. Das MNM haftet in der Matrix und ent-

weicht nicht ohne weiteres bei Berührung. Trotzdem empfiehlt es sich, durch das Tragen von Handschuhen den Kontakt mit der Haut zu vermeiden, beispielsweise beim Umräumen von Möbelprodukten, die mit antibakteriellen oberflächenreaktiven Beschichtungsstoffen behandelt worden sind.

Bei Arbeiten mit MNM oder MNM-haltigen Materialien mit hohem oder mäßigem Risiko empfiehlt es sich außerdem, die tatsächliche Nanopartikelexposition des/der betroffenen Arbeitnehmer(s) zu überwachen. Dies sollte vorzugsweise erfolgen vor und nachdem die zusätzlichen Expositionsverhinderungsmaßnahmen getroffen worden sind, sodass die Wirksamkeit dieser Maßnahmen geprüft und ermittelt werden kann, ob zusätzliche expositions-senkende Maßnahmen zu treffen sind.

Unten werden die wichtigsten Schlussfolgerungen dieser Untersuchung hinsichtlich der Maßnahmen zur Senkung der Exposition am Arbeitsplatz beschrieben. An verschiedenen Arbeitsplätzen wurden Messungen mit zwei Nanopartikelzählern mit Zeitauflösung (NanoTracer, Philips Aerasense) durchgeführt. Diese maßen die Nanopartikelmenge in der Luft und ihren durchschnittlichen Durchmesser. Die Zusammensetzung der Nanopartikel in der Luft wurde analysiert mit einem Rasterelektronenmikroskop kombiniert mit einer energiedispersiven Röntgenspektroskopie (SEM/EDX¹⁶). Im Markt sind verschiedene Analysetechniken zur Bemessung der Nanomaterialienexposition am Arbeitsplatz vorhanden. Für eine eingehende Beurteilung müssen mindestens die folgenden Kriterien erfüllt sein:

1. Die Nanopartikelmenge, die bei einer Arbeit erzeugt wird, muss quantifiziert werden;

2. Die chemische Zusammensetzung dieser Nanopartikel muss ermittelt werden.

Die nachstehenden Beispiele basieren auf einer eingeschränkten Zahl von Beobachtungen. Sie sind nur als Anregung für die Ausarbeitung von Vorbeugungsmaßnahmen am jeweiligen Arbeitsplatz zu sehen.

Sprühen von Farben, Lacken oder Klebmitteln

Beim Versprühen eines Nanoprodukts stellt die Einatmung von Aerosolen die möglicherweise größte Expositionsgefahr dar. Deshalb müssen das Sprühen von und das Arbeiten mit staubigen Materialien möglichst vermieden werden. Wenn man einen Pinsel oder eine Rolle benutzt, ist das Aussetzungsrisiko niedriger als bei einer Spritzpistole. Die Exposition am Arbeitsplatz ist auch geringer, wenn das Sprühen mit einem Handhabungsautomaten in einem geschlossenen Raum stattfindet als wenn per Hand gesprüht wird.

BEOBACHTUNGSBEISPIEL 1: UNTER HOCHDRUCK SPRITZEND AUFTRAGEN eines MNM-haltigen Lackes auf Holzplatten in einer Spritzkabine wie im Bild 1. Mit Ausnahme des normalen Schutzes vor lösemittelhaltigen Lacken wurden keine besonderen Maßnahmen getroffen, um die MNM-Exposition zu vermeiden. Der Pfeil gibt an, dass eine hohe MNM-Exposition ermittelt wurde. Der Arbeitnehmer selber wurde nur mäßig MNM ausgesetzt. Die an der Vakuumabsaugwand gemessenen Konzentrationen waren viel höher. Aus dieser Beobachtung geht hervor, dass ein gut überlegtes Absaugsystem effizient die MNM aus dem Atembereich des Arbeitnehmers entfernt. Trotzdem wurden keine

¹⁶ Die SEM/EDX-Analysen wurden an der Universität Utrecht (NL), Abteilung Elektronenmikroskop, mit Hilfe von J.A. Post und J.W. Geus durchgeführt.



Arbeitsplatzgrenzwerte für Nanomaterialien für dieses MNM festgelegt, um die Exposition des Arbeitnehmers zu bewerten. Vergleicht man diese Arbeit mit dem niederländischen Nanoreferenzwert als Beispiel einer guten Praktik, kommt man zum Schluss, dass keine weiteren Kontrollmaßnahmen gegen Exposition erforderlich waren. Trotzdem wird empfohlen, die geeigneten persönlichen Schutzausrüstungen zu tragen. Es herrscht immer noch Unklarheit über die langfristigen schädlichen Effekte einer plötzlichen Spitzenexposition oder niedriger Dosen, sodass eine MNM-Exposition möglichst zu vermeiden ist.

Im Falle eines Risikos der Exposition gegenüber MNM-haltigen Aerosolen oder Stäuben muss die Absauganlage mit einem HEPA-Filter versehen werden und muss man eine Atemmaske mit FFP3-Filter tragen sowie eine Schutzbrille, Nitrilkauschukhandschuhe (vorzugsweise zwei Paar) und

einen undurchlässigen Anzug von Tyvek® (oder ähnlichem Kunststoffvlies), um die Haut zu schützen.

BEOBACHTUNGSBEISPIEL 2: AUFTRAGEN EINER MNM-BESCHICHTUNG UNTER NIEDERDRUCK MIT MANUELLEM PUMPZERSTÄUBER. Die Arbeit wird im Bild 2 gezeigt. Der Zerstäuber wurde benutzt zum Anfeuchten eines Bohnerlappens und anschließend wurde die Kissenoberfläche damit behandelt. Das Zimmer war nicht belüftet. Das Auftragen erfolgte in »Hüfthöhe«. Es wurde keine MNM-Exposition ermittelt. Dieses Beispiel lässt vermuten, dass sorgfältiges Spritzen mit einer Pumpe unter Niederdruck zu einer geringen, nicht zu erfassenden Exposition führt, sodass keine zusätzlichen Expositionsschutzmaßnahmen notwendig sind, um das Einatmen von MNM zu verhindern. Die Haut muss aber natürlich geschützt werden.

Die MNM-Exposition hängt von vielen Faktoren ab, unter anderem dem Verhalten des Arbeitnehmers während der Arbeit mit MNM und der Intensität und Dauer der Arbeit. Es wird empfohlen, immer die Effektivität der Expositionsschutzmaßnahmen zu bewerten, vorzugsweise mittels einer quantitativen sowie qualitativen Analyse.

Schmirgeln/Schleifen und Polieren von Farben und Lacken

BEOBACHTUNGSBEISPIEL 3: SCHLEIFEN VON MIT EINEM SEHR KRATZERFESTEN LACK BEHANDELTEN HOLZPLATTEN. Während des Schleifens werden Nanopartikel freigesetzt, denn sie sind Bestandteil des durch das Schleifen erzeugten Staubes. Nanopartikel können außerdem vom Motor der Schleifmaschine erzeugt werden. Aus den verfügbaren Daten geht hervor, dass beim Schleifen mit geringer Energie wenig Nanopartikel freigesetzt werden. Schleifen mit hoher Energie erzeugt mehr Nanopartikel. Die verfügbaren Daten belegen weiter eine vergleichbare Nanopartikelemission bei Beschichtungsstoffen mit und ohne Nanomaterialadditiven. Forschungen von Saber et al. (2011) ergaben außerdem, dass der Schleifstaub nanomaterialhaltiger Farbe genauso toxisch sein kann wie der Schleifstaub derselben Farbe aber ohne Nanomaterial. Auf Basis des heutigen Kenntnisstandes unterstellt man deshalb kein zusätzliches Risiko einer Exposition gegenüber Nanopartikeln beim Brechen oder Schleifen von Oberflächen, die mit Nanobeschichtungsstoffen behandelt wurden. Je nach der Matrix und der Dauer, während der die eingatmeten ultrafeinen Partikel in den Lungen verbleiben, bleibt allerdings weiterhin das Risiko bestehen, dass die Matrix sich in der Lungenflüssigkeit

BILD 2. Beschichten eines Zahnarztstuhlkissens mit einem Pumpzerstäuber und einem weichen Bohnerlappen.





BILD 3. Zwei Beispiele von Expositionsschutzmaßnahmen zur Verhinderung der MNM-Exposition während des Schmirgelns oder Polierens MNM-haltiger Materialien. Links: eine Werkbank mit Vakuumabsaugvorrichtung. Rechts: optimaler Schutz mittels Nitrilkauschukhandschuhen, eines undurchlässigen Anzugs und einer Atemmaske mit FFP3-Filter.

löst und, dass deshalb Nanomaterialien, die in der Matrix eingebettet waren, entweichen.

Wenn mit einem festen (d. h. nicht staubigen) Nanoprodukt gearbeitet wird, hängt die voraussichtliche Exposition gegenüber dem Inhaltsstoff von der Wechselwirkung mit der Matrix ab, in (auf) der es haftet. Ist das MNM inert, aber kann es physikalisch reagieren, ist das Ergebnis eine Matrix, in der das Nanomaterial eingebettet ist, aber mit der es chemisch nicht verbunden ist. Auf diese Weise bleibt das MNM »ungebunden« und könnte es im Prinzip entweichen, was das Expositionsrisiko bei Berührung erhöht. Denkbar ist auch, dass das MNM chemisch mit der Oberfläche verbunden ist und trotzdem reagiert, beispielsweise bei bakteriziden Oberflächen. Auch im letzteren Fall kann eine MNM-Aussetzung schädliche Nebenwirkungen auslösen. Nur wenn das MNM innen in der Matrix eingebettet und fixiert ist, ist eine Exposition höchst unwahrscheinlich.

Das Schleifen von Holzplatten im Beobachtungsbeispiel 3 erfolgte auf einer nicht belüfteten Werkbank. Die Schleifmaschine war mit einer lokalen Absaugvorrichtung versehen. Eine MNM-Exposition wurde während des Schleifens und des Polierens ermittelt. Sobald die Arbeit eingestellt wurde, nahm diese Exposition sehr schnell ab. Während des Nassschleifens konnte keine MNM-Exposition gemessen werden. Die heutigen Messungen lassen vermuten, dass trockenes Schleifen und Polieren zu einer höheren MNM-Exposition führen als in der niederländischen Übersicht von Referenzwerten empfohlen wird, vor allem wenn das Schleifen einen ganzen Arbeitstag dauert. In diesem Fall ist die Arbeit in einer nicht belüfteten Umgebung nicht effizient, wenn man die Exposition eingrenzen will. Zusätzliche Expositionsschutzmaßnahmen müssen getroffen werden. Die Bilder 3 zeigen Beispiele

einer vakuumbelüfteten Werkbank oder Wand und persönlicher Schutzausrüstungen.

Nach Beendigung der Arbeit kommt es darauf an, Kontakt der Haut mit MNM-Pulvern, -Stäuben oder -Flüssigkeiten zu vermeiden. Zum Beispiel wenn immer noch MNM-haltiger Staub auf der geschliffenen Platte liegt. Benutzen Sie niemals Pressluft für die Entfernung dieses Staubes. Für die Reinigung des Arbeitsplatzes müssen ein industrieller Staubsauger mit HEPA-Filter und feuchte Reinigungstücher benutzt werden, um zu vermeiden, dass sich Nanopartikeln verbreiten. Die Benutzung eines Besens, einer Bürste oder eines Haushaltsstaubsaugers muss vermieden werden. Verschüttete Substanzen, leere Verpackungen oder Restmengen müssen als giftige chemische Abfälle gekennzeichnet und entsprechend entsorgt werden.

Textilien schneiden

BEOBACHTUNGSBEISPIEL 4: NYLONTEXTILGEWEBE, das mit einer Wasser abweisenden Nanobeschichtung behandelt wurde, wird mit einer normalen Schere geschnitten. Es konnte keine Nanopartikelexposition ermittelt werden. Besondere Vorsorge muss getroffen werden, um eine mögliche Exposition vor Nanofasern zu vermeiden. Auch wenn keine Exposition gegen MNM-haltigen Fasern festgestellt wurde, empfiehlt es sich trotzdem, vor einer Vakuumabsaugwand oder auf einer vakuumbelüfteten Werkbank zu arbeiten, wenn ein Risiko der Aussetzung an MNM-haltigen Fasern vorhanden ist.

Die eigentliche Exposition ist sehr unterschiedlich und hängt von Faktoren ab wie dem spezifischen Produkt, den genauen Umgebungsbedingungen und der konkreten Arbeitsumgebung des/der betroffenen Arbeitnehmer(s).

DIE HIER BESCHRIEBENEN BEISPIELE von Arbeiten in der Möbelindustrie dürfen nicht generalisiert und mit ähnlichen Praktiken verglichen werden. Für jeden neuen Einzelfall muss eine Risikobewertung vorgenommen werden, um die Effektivität der vorhandenen Expositionsschutzmaßnahmen zu beurteilen und zu prüfen, welche Vorbeugungsmaßnahmen getroffen werden müssen, um die Gesundheit der Arbeitnehmer zu schützen. Diese vier Beobachtungsbeispiele lassen aber vermuten, dass die derzeitigen Expositionsschutzmaßnahmen, wie sie in der Möbelindustrie vorgeschrieben sind, wirksam sind beim Schutz der Arbeitnehmer vor MNM in den Produkten, mit denen sie arbeiten.

TRANSPARENTE KOMMUNIKATION ÜBER DIE RISIKEN UND RÜCKVERFOLGBARKEIT

In der gesamten Wertstoffkette des Möbelsektors, aber auch anderer Sektoren, gibt es bis heute ein enormes Problem bezüglich des »Teilens von Informationen zu Nanomaterialien«, die in den genutzten Produkten eingesetzt werden. Im Jahre 2012 gibt es wenig Transparenz über die Verwendung von MNM in Materialien und Produkten für die Möbelproduktion. Vor allem, weil die europäische Gesetzgebung (noch) keine nanospezifischen Informationen über MNM in Materialien und Produkten vorschreibt, abgesehen von den Vorschriften für alle Substanzen, wie diese in der REACH-Verordnung und in der CLP/GHS-Richtlinie festgehalten sind. Über das Ob und Wie in der nahen Zukunft wird derzeit auf europäischer Ebene debattiert.

Die freiwillige Kommunikation über MNM in Materialien und Produkten hat nur einen geringen Erfolg. Die verschiedenen Stakeholder der Möbelindustrie identifizieren die wichtigsten Ursachen dieser mangelhaften Kommunikation und diese Ursachen werden im vorliegenden Bericht zusammengefasst. Die Kommunikationskette startet üblicherweise beim Hersteller des MNM. Er informiert den/die Produzent(en) des Materials, der anschließend selber den Lieferanten informiert, der seinerseits wieder den Möbelhersteller informiert. Der Möbelproduzent informiert seine Arbeitnehmer über das eingesetzte MNM und den Endverbraucher, der die Möbel kauft. Die Zulieferkette von Materialproduzenten kann lang sein. Bei Textilien beispielsweise kann die Kette bestehen aus einem Hersteller von Fasern, der einen Garnproduzenten beliefert, der seinerseits die Garne für eine Weberei liefert. Die Möbelproduktion ist manchmal auch ein Puzzle von unterschiedlichen Subunternehmern, die zusammen ein einziges Möbelprodukt erstellen. Bei jedem weiteren Schritt in der Produktionskette gehen meist immer mehr wertvolle Informationen über das MNM verloren.

In der Kommunikation zwischen Lieferanten und Möbelproduzenten beherrschen vier Faktoren die mangelhafte Rückverfolgbarkeit von MNM in Materialien. Wettbewerb und geistige Eigentumsrechte beispielsweise führen zur Geheimhaltung. Vermarktung stellt den zweiten Faktor dar. »*Nanotechnology*« lässt bestimmte Materialien besser verkaufen. Auch wenn sie den Eindruck erwecken, dass sie MNM enthalten, stellt sich manchmal heraus, dass sie gar keine enthalten. Bei anderen Materialien hat dieses Argument weniger Überzeugungskraft. Diese werden dann oft auch nicht als »Nano« gekennzeichnet. Nur eine beschränkte Zahl von Materialien und Produkten werden richtig gekenn-

zeichnet und erteilen spezifische Informationen über die MNM. Ein dritter wichtiger Grund für die beschränkte Rückverfolgbarkeit von MNM in Materialien ist die soziale Debatte über die ungeklärten Sicherheits- und Gesundheitsrisiken der MNM. Statt diese Ungewissheit zu kommunizieren, wird sie als Anlass für Vertraulichkeit genommen. Man soll ja »keine schlafenden Hunde wecken«. Unwissenheit ist der vierte Faktor, der die Kommunikation beeinträchtigt. Lieferanten von Materialien werden oft selbst nicht gut informiert und können deshalb dem Möbelproduzenten auch nur wenige oder gar keine Informationen erteilen.

Der Möbelhersteller verantwortet aber die Sicherheit und den Gesundheitsschutz seiner Arbeitnehmer. Außerdem muss der Möbelproduzent dafür sorgen, dass sich seine Produkte auf sichere Art und Weise benutzen lassen. Für die Kommunikation über MNM bedeutet dies Folgendes:

1. Man muss informiert werden (insbesondere durch den Lieferanten oder den Subunternehmer);
2. Man muss Vorsichtsmaßnahmen ergreifen und einen sicheren Arbeitsplatz einrichten, und man muss die betroffenen Arbeitnehmer informieren/unterweisen;
3. Man muss den Endverbraucher in geeigneter Weise informieren.

Die Möbelhersteller geben zu erkennen, dass die Ungewissheit hinsichtlich der Sicherheits- und Gesundheitsrisiken sie momentan davon abhält, MNM in ihren Produkte einzusetzen. Außerdem hat die Frage, *wie sie mit den erteilten Informationen umgehen*, auch Folgen für ihre Bestrebung, noch mehr zu wissen und informiert zu werden über die MNM, die sie vielleicht schon verwenden. Manche Möbelproduzenten wissen lieber nichts, denn was müssen sie tun, wenn sie über die nötigen Informationen verfügen? Andere haben wohl ihre Lieferanten

und Vertragspartner gebeten, sie über das mögliche Vorhandensein von MNM in ihren Produkten zu unterrichten.

Dieser Situation muss ernsthaft Aufmerksamkeit gewidmet werden. Es empfiehlt sich, dass sich die Möbelproduzenten bei ihren Lieferanten danach erkundigen, ob ihre Materialien MNM enthalten und sich darüber unterweisen zu lassen, wie sie diese Materialien in verantwortlicher Weise einsetzen können. Zugleich müssen die Möbelhersteller dafür sorgen, dass sie einen sicheren Arbeitsplatz mit den notwendigen Schutzausrüstungen einrichten, wenn sie mit MNM arbeiten. Es gibt verschiedene Expositionsschutzmittel – beispielsweise spezifische Absaugsysteme und persönliche Schutzausrüstungen – und diese haben bewiesen, dass sie wirksam vor MNM-Aussetzung schützen. Außerdem sind verschiedene Tools vorhanden, mit denen die Arbeitgeber und Arbeitnehmer eine Risikoanalyse und Risikobewertung vornehmen können, einschließlich eines Aktionsplans für den sicheren Umgang mit MNM. Den Arbeitgebern und Arbeitnehmern muss weiter auch klar gemacht werden, dass die nanospezifische Toxizität der MNM vom Expositionsrisiko abhängt. Wenn MNM beispielsweise in einer Matrix eingebettet und fixiert worden sind, können sie ohne Bedenken benutzt werden. Aber selbst wenn MNM fixiert worden sind, kann trotzdem noch eine Exposition durch den direkten Kontakt mit dem Material nachteilige Wirkungen auslösen, wenn das Nanomaterial oberflächenreaktive Eigenschaften hat, z. B. bei manchen bioziden Beschichtungstoffen. Die Möbelindustrie soll aufgefordert werden, die Bedingungen zu untersuchen, unter denen sie für weitere Innovationen und auf verantwortete Art und Weise die Möglichkeiten der MNM ausnutzen kann.

INITIATIVEN ZUR REGULIERUNG DER NANOMATERIALIEN UND NANOPRODUKTE

Wie für alle sonstige chemische Wirkstoffe werden die Registrierung, Beurteilung, Genehmigung und Einschränkung von Nanomaterialien grundsätzlich mittels REACH geregelt¹⁷. Der Bericht *Nanomaterialien in REACH* (2008) der Europäischen Kommission gibt eine Übersicht der Arten, wie sich REACH auf die Vorschriften für Nanomaterialien auswirkt¹⁸. Eine weitere wichtige Verordnung für normale Stoffe und Gemische ist die CLP/GHS-Verordnung (CLP = chemical labelling and packaging = Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen)¹⁹. Nanomaterialien, die gemäß der CLP/GHS-Verordnung den Kriterien für die Einstufung als Gefahrstoff entsprechen, müssen eingestuft und gekennzeichnet werden. Der Bericht der Europäischen Kommission *Regulation, Classification, Labelling and Packaging of nanomaterials under REACH and CLP* (2009) vermittelt eine Übersicht der Auswirkungen von

REACH und CLP/GHS auf Nanomaterialien²⁰. Der Bedarf an einer näheren Spezifizierung der Vorschriften von Nanomaterialien und die Erarbeitung weiterer Richtlinien werden derzeit untersucht.

Eine erste konkrete Initiative in Frankreich startete im Rahmen der französischen Umweltschutzgesetzgebung *Loi Grenelle*²¹. Sie verpflichtet zur Anmeldung, falls Nanomaterialien in Produkten verwandt werden. Dieses Gesetz soll am 1. Januar 2013 in Kraft treten. Dann müssen alle vor 2012 produzierten, eingeführten oder verkauften Substanzen angemeldet werden. Diese Gesetzgebung gilt für chemische Produkte, Biozide und Substanzen mit Nanopartikeln (Artikel 1), wenn davon jährlich mehr als 100 Gramm in Frankreich hergestellt, importiert oder vertrieben werden. Andere Länder wie Italien, Deutschland und Belgien erwägen ebenfalls die Ausarbeitung eines Anmeldesystems für Nanomaterialien, um auf diese Weise einen besseren Überblick über den entsprechenden jeweiligen nationalen Markt zu bekommen.

¹⁷ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/reach/index_en.htm

¹⁸ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/reach/nanomaterials_en.pdf

¹⁹ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/classification/index_en.htm

²⁰ http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/reach/nanos_in_reach_and_clp_en.pdf

²¹ <http://www.nanonorma.org/>

ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN

AUS EINGEHENDER UNTERSUCHUNG der europäischen Möbelindustrie und Interviews mit Möbelbetrieben und Lieferanten von Materialien stellt sich heraus, dass sich der Markt für Nanomaterialien in der Möbelproduktion im Jahre 2012 immer noch in der Anfangsphase befindet. Nanotechnologie kann erhebliche Implikationen für die Zukunft der Möbelproduktion haben. Nicht nur für die Qualität und die Funktionalitäten der Möbel, sondern auch für die Leistungen im Bereich der Umwelt, der Arbeitshygiene und der öffentlichen Gesundheit und für die Produktion und die Enderzeugnisse. Antibakterielle, wasserabweisende, kratzerfeste und vor UV schützende Beschichtungsstoffe sind hierfür ein Beispiel. Trotz der vielen innovativen Möglichkeiten für Mobiliar gibt es immer noch viele Hindernisse, beispielsweise die hohen Kosten, die (langfristige) Qualität, noch nicht beantwortete Fragen über Sicherheits- und Gesundheitsschutzfragen und die Akzeptanz der Verbraucher. Trotzdem wurde auch eine Reihe von erfolgreichen Marktanwendungen von Nanomaterialien festgestellt. Beispiele sind Beschichtungsstoffe mit Flüssiggas für eine größere Kratzerfestigkeit, wasserabweisende, antimikrobielle oder selbstreinigende, vor UV-Strahlung schützende Beschichtungsstoffe, antibakterielle sowie leicht zu reinigende Textilien und ultrahochfester Beton.

Die Untersuchung der europäischen Möbelindustrie zeigt auch ein hohes Maß an Unwissenheit. Möbelhersteller

sind offensichtlich nicht gut über die Nanomaterialien, die sie vielleicht benutzen, informiert und wenn Informationen kommuniziert werden, sind diese oft schwer zu verstehen. Dieser Situation muss ernsthaft Aufmerksamkeit gewidmet werden. Es empfiehlt sich, dass sich die Möbelproduzenten bei ihren Lieferanten danach erkundigen, ob ihre Materialien MNM enthalten und sich darüber aufklären lassen, wie sie diese Materialien in verantwortlicher Weise einsetzen können.

Nanomaterialien können toxischer sein als ihre ein Mikrometer großen äquivalenten Stoffe. Sie können wegen ihrer nanospezifischen Art unerwartete nachteilige gesundheitliche Effekte aufweisen, einschließlich kardiovaskulärer Erkrankungen, Lungenentzündung, Effekte auf das zentrale Nervensystem, Zelltod, Bildung von Narbengewebe (z. B. in den Lungen), Störungen in Embryonen und die Entwicklung von Krebszellen in angegriffenem Gewebe. Daher müssen die Möbelproduzenten einen vorbeugenden und sicheren Arbeitsplatz einrichten, wenn mit Nanomaterialien gearbeitet wird. Es sind verschiedene Tools vorhanden, mit denen die Arbeitgeber und Arbeitnehmer eine Risikoanalyse, eine Risikobewertung, vornehmen können, einschließlich eines Aktionsplans für den sicheren Umgang mit MNM. Das Expositionsrisiko tritt vor allem auf, wenn nanomaterialhaltiger Staub oder Aerosole erzeugt werden. Das Sprühen von Farben oder Klebmitteln, das Schleifen von beschichteten Oberflächen und das Polieren oder

Zersägen von festen Materialien sind Beispiele von Tätigkeiten, bei denen ein Expositionsrisiko auftreten kann. Es sind verschiedene Expositionsschutzmittel vorhanden – beispielsweise spezifische Absaugsysteme und persönliche Schutzausrüstungen – und diese haben bewiesen, dass sie wirksam vor MNM-Exposition schützen. Die Automatisierung von Produktionsprozessen – mit Handhabungstechnik in einem geschlossenen Raum – ist eine andere Möglichkeit, um die Exposition der Arbeitnehmer zu vermeiden. Vorläufige Ergebnisse zeigen, dass in Staub eingebettete Nanomaterialien vermutlich keine nanospezifische Toxizität mehr haben. Ein niedriges Risiko der Exposition gegenüber Nanomaterialien darf erwartet werden, wenn die Arbeitnehmer diese in einer Matrix eingebetteten und fixierten Materialien berühren.

Wenn die Möglichkeiten von MNM getestet werden, müssen die Möbelproduzenten das Vorsorgeprinzip anwenden und die Gesundheit der Arbeitnehmer schützen. Sie sollen von den Informationen ausgehen, die der MNM-Lieferant erteilt hat, von einer Risikobewertung und den allgemeinen Präventionsmaßnahmen bei der Verwendung von chemischen Substanzen.