

**OAW****ITA**

Institut für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

**nano** trust**dossiers**

Nr. 032 • Juni 2012

**Sabine Greßler,  
André Gázsó\***

## Nano im Baugewerbe

### Zusammenfassung

Nanotechnologie und Nanomaterialien bieten auch im Bereich der Bauwirtschaft und der Architektur neue Möglichkeiten. „Nano-Produkte“ für das Bauwesen finden sich derzeit vor allem in vier Bereichen: zementgebundene Baustoffe, Lärm- und Wärmedämmung bzw. Temperaturregelung, Oberflächenbeschichtungen zur Verbesserung der Funktionalitäten diverser Materialien sowie Brandschutz. Zurzeit sind Nanomaterialien – und folglich „Nano-Produkte“ – aufgrund der erforderlichen Produktionstechnologie noch erheblich teurer als die konventionellen Alternativen und die technische Leistung vieler Produkte muss erst noch nachgewiesen werden. Sowohl ArbeitnehmerInnen wie auch EndanwenderInnen können bei der Verwendung eines „Nano-Bauproduktes“ mit Nanomaterialien in Kontakt kommen und sind vor möglichen gesundheitlichen Gefährdungen zu schützen. Vor allem den EndanwenderInnen fehlt aber oft die Information, welches Nanomaterial sich in welcher Form und Konzentration in einem Produkt befindet. Ist ein Nanomaterial fest in eine Matrix eingebunden, etwa in Beton oder in einem Isoliermaterial, ist die Wahrscheinlichkeit einer Exposition mit dem Nanomaterial nach derzeitigem Kenntnisstand sehr gering oder überhaupt nicht gegeben, sofern das Produkt nicht zerstörend bearbeitet wird. Wird etwa eine Nanobeschichtung aufgesprüht oder Mörtel auf einer Baustelle angerührt, bestehen für ArbeiterInnen mögliche Gesundheitsgefährdungen durch das Einatmen von Staub oder kleinsten Flüssigkeitströpfchen (Aerosole). Da derzeit „Nano-Bauprodukte“ am Markt noch eine untergeordnete Rolle spielen erscheint eine aktuelle Umweltgefährdung durch Nanomaterialien gering. Es existieren allerdings kaum Daten zur Exposition, daher kann derzeit für kein Nanomaterial eine umfassende Risikobewertung vorgenommen werden.

\* Korrespondenzautor

### Einleitung

Nanotechnologie und Nanomaterialien bieten auch im Bereich der Bauwirtschaft und der Architektur interessante neue Möglichkeiten, etwa durch die Entwicklung sehr strapazierfähiger, langlebiger und dabei extrem leichter Baustoffe. Neuartige Dämm- und Isoliermaterialien mit sehr guten Dämmwerten sind bereits am Markt erhältlich, ermöglichen auch eine thermische Sanierung von Gebäuden bei denen eine konventionelle Dämmung nicht möglich ist und können helfen, die Energieeffizienz zu steigern. Zur Verfügung steht auch eine Vielzahl von Methoden zur Behandlung von Oberflächen, wie etwa Glas, Mauerwerk, Holz oder Metall, um einerseits die Funktionalitäten zu verbessern und andererseits die Lebensdauer der Materialien zu verlängern. Derartige Oberflächenbeschichtungen versprechen auch eine Ressourcenschonung, etwa von Wasser, Energie und einen verringerten Einsatz von Reinigungsmitteln.

Obwohl aus der Forschung viel über neue nanotechnologische Entwicklungen berichtet wird, zeigt die Realität, dass „Nano-Produkte“ im Baugewerbe derzeit noch eine sehr untergeordnete Rolle spielen und lediglich Marktnischen besetzen. Die Bauwirtschaft gilt als konservativ und Neuerungen haben es oft schwer sich durchzusetzen<sup>1</sup>. Einer der Hauptgründe dafür sind die noch hohen Kosten. Zurzeit sind Nanomaterialien – und folglich „Nano-Produkte“ – aufgrund der erforderlichen Produktionstechnologie noch erheblich teurer als die konventionellen Alternativen<sup>2</sup>. Baumaterialien werden zumeist in großen Mengen benötigt – kleine Preisunterschiede können bei Betrachtung des Gesamtvolumens eines Bauwerks zu einem enormen Anstieg der Gesamtkosten beitragen. Auch die technische Leistung neuer Produkte muss zuerst nachgewiesen werden<sup>2</sup>. Bei Gebäuden wird oft in Zeiträumen von 20 bis 30 Jahren geplant, daher kann es schwierig sein, etwa eine Beschichtung mit einer Haltbarkeit von nur zwei bis drei Jahren aufzubringen<sup>1</sup>. Nachdem eine langfristige praktische Erfahrung mit vielen Nano-Produkten noch

fehlt und daher zur Lebensdauer zu wenig bekannt ist, bleibt man im Baugewerbe deshalb vorläufig noch lieber bei den bewährten konventionellen Produkten.

Auch der Kenntnisstand über nanotechnologische Anwendungen und Produkte, deren Verfügbarkeit und Leistungen im Baugewerbe ist derzeit noch äußerst beschränkt. Eine im Jahr 2009 durchgeführte Umfrage im europäischen Bausektor zeigte, dass die Mehrheit der Befragten ( $\approx 75\%$ ) nicht wusste, ob sie mit „Nano-Produkten“ arbeitet oder nicht<sup>2</sup>. Dies liegt auch daran, dass es keine verpflichtende Kennzeichnung von Nanomaterialien in Bauprodukten gibt und die Vorsilbe „nano“ – wie auch in anderen Branchen – in der Bewerbung eines Produktes nur dann verwendet wird, wenn sich Hersteller dadurch bessere Absatzmöglichkeiten versprechen. Oftmals ist es einem Anwender auch nicht ersichtlich, ob ein „Nano-Produkt“ tatsächlich Nanomaterialien enthält, um welches es sich dabei handelt und in welcher Menge es eingesetzt wurde. Nicht überall, wo „nano“ draufsteht, ist allerdings auch ein Nanomaterial enthalten. Oftmals verweist „nano“ lediglich auf Strukturen in Nanogröße, wie etwa Poren in einem Material, oder auf solche, die sich etwa beim Aushärten von Mörtel bilden. Die Verwendung der Bezeichnung „nano“ bei der Produktauslobung ist in den letzten Jahren wieder rückläufig, da Informationen über mögliche Umwelt- oder Gesundheitsrisiken von Nanomaterialien insbesondere über die Medien zu einem eher zurückhaltenden Kaufverhalten geführt haben.

Das vorliegende Dossier bietet einen Überblick über nanotechnologische Anwendungen und Produkte im Baugewerbe und widmet sich auch den Fragen nach möglichen Umwelt- und Gesundheitsrisiken, die von diesen Produkten ausgehen könnten.

## Anwendungsbereiche und Produkte

„Nano-Produkte“ für das Bauwesen finden sich derzeit vor allem in vier Bereichen: (1) zementgebundene Baustoffe, (2) Lärm- und Wärmedämmung bzw. Temperaturregelung sowie (3) Oberflächenbeschichtungen zur Verbesserung der Funktionalität diverser Materialien, sowie (4) Brandschutz. Die deutsche Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG Bau) führt auf Grundlage von Herstellerangaben eine Liste von Bau- und Reinigungsprodukten, die mit dem Schlagwort „nano“ beworben werden oder nanotechnologische Effekte nutzen. Diese Liste enthält auch Angaben darüber, ob die Eigenschaften des Produktes auf den Zusatz von Nanoteilchen oder auf Nanostrukturen zurückzuführen sind. Mit Stand vom 19.1.2012 enthält die Liste 63 Produkte aus dem Bereich der zementgebundenen Baustoffe (Mörtel, Zement, Dachsteine), Farben, Lacke und andere Produkte zur Oberflächenbeschichtung<sup>3</sup>.

### 1. Zementgebundene Baustoffe

#### a. Ultrahochfester Beton (Ultrahochleistungsbeton, Ultra High Performance Concrete, UHPC)

Beton ist eine Art künstliches Gestein aus Zement, Zuschlagsstoffen (Sand, Kies, Splitt) und Wasser. Mit einer Jahresproduktion von über zehn Mrd. Tonnen weltweit ist Beton das mengenmäßig größte von Menschen produzierte Wirtschaftsgut und mit Abstand der wichtigste Baustoff im Massiv- und Rohbau<sup>4</sup>. Die Festigkeit von Beton ergibt sich aus kleinsten Kristallnadeln (Kalziumsilikathydrate), die sich bei der Aushärtung fest ineinander verzahnen. Mit Elektronenmikroskopen können die Strukturen bis in den Nanometerbereich abgebildet und untersucht sowie der Zusammenhang zwischen der Nanostruktur eines Baustoffs und seinen Eigenschaften analysiert werden. Eine zielorientierte Optimierung von Baustoffen auf eine bestimmte Anwendung ist damit möglich<sup>5</sup>. Das führte in den letzten Jahren zu neuen Entwicklungen und Materialverbesserungen. Nanoskalige Bindemittelzusätze geben dem konventionellen Baustoff Beton zum Teil neue Eigenschaften in Bezug auf Verarbeitbarkeit, Festigkeit und Dauerhaftigkeit. Durch die Zugabe von Siliziumdioxid-Nanopartikeln werden die Poren

im Beton aufgefüllt und dieser wird dichter und härter. Ultrahochfester Beton enthält zudem Stahlfasern, welche die Zugfestigkeit verbessern. Diese Betonarten erreichen eine stahlähnliche Druckfestigkeit von über 200 N/mm<sup>2</sup>. Polymerzusätze (z. B. Kunstharze) sorgen für eine Verflüssigung und Stabilisierung der Zementsuspensionen, was für die Entwicklung selbstverdichtender Betone genutzt wird<sup>4</sup>. Durch die hohe Festigkeit und Dichte von UHPC können besonders leichte und filigrane Konstruktionen, wie etwa Brücken, errichtet werden. Die 2007 eröffnete neue Gärtnerplatzbrücke<sup>6</sup> über die Fulda in Kassel (Deutschland) war die erste größere Brücke in Deutschland, für deren vorgefertigte Betonbauteile ultrahochfester Beton verwendet wurde (Abb. 1). Zusätzlich wurden die Betonteile in einem neuartigen Klebverfahren zusammengefügt<sup>7</sup>.

Ein weiteres Beispiel ist die Wild-Brücke<sup>8</sup> in Völkermarkt (Kärnten, Österreich), die im Oktober 2010 eröffnet wurde und weltweit die erste mittelgroße Straßenbrücke mit einer Haupttragkonstruktion aus UHPC ist<sup>9</sup>.

#### b. Reparaturmörtel zur Betoninstandsetzung

Bedingt durch äußere Einflüsse, z. B. salzhaltige, feuchte Luft, Frost, Wind und Regen, aber auch durch Alterung und Belastung, entstehen Schäden an Betonkonstruktionen, wie etwa Risse, Abplatzen der Oberfläche und Ablösungen, die hohe Kosten in der Bauwirtschaft verursachen. Neuartige Reparaturmörtel, die laut Herstellerangaben auf Nanotechnologie basieren, zeichnen sich durch verbesserte technische Eigenschaften, wie z. B. höhere Dichte, Biegezug- und Druckfestigkeit



Abbildung 1: Die Gärtnerplatzbrücke über die Fulda in Kassel aus ultrahochfestem Beton (Quelle: [www.gaertnerplatzbruecke.de](http://www.gaertnerplatzbruecke.de))

sowie Frostbeständigkeit aus und sollen dazu beitragen Betonschäden zu minimieren. Weiters versprechen das geringe Gewicht und die leichte Verarbeitbarkeit zusätzliche Vorteile für die Anwender. Hersteller solcher Reparaturmörtel betonen, dass die verbesserten Eigenschaften ihrer Produkte nicht durch die Zugabe von Nanopartikeln erreicht werden, sondern dass ein detailliertes Verständnis der Zementhydratation<sup>10</sup> die Grundlage für eine Verbesserung der Qualität und Dichte der Nanostrukturen in der Zementpaste darstellt<sup>11</sup>.

#### c. Photokatalytisch aktive Betonprodukte und Beschichtungen

Unter Anwesenheit von (UV)-Licht und Wasser (Luftfeuchtigkeit) beschleunigt nanoskaliges Titandioxid chemische Reaktionen, bei denen Sauerstoffradikale entstehen, die organische Stoffe zersetzen und abbauen. Diesen als Photokatalyse bezeichneten Prozess



Abbildung 2: Die Jubiläumskirche in Rom, gebaut mit photokatalytisch aktivem, „selbstreinigendem“ Beton der Firma Italcementi (Quelle: [quartiermagazin.com/quartier08/der-weise-riese](http://quartiermagazin.com/quartier08/der-weise-riese))

macht man sich im Bereich des Baugewerbes und der Architektur für „selbstreinigende“ Bauprodukte und zum Abbau von Luftschadstoffen zunutze. Eingearbeitet in Zement oder in einer Schicht auf Beton aufgebracht, bewirkt die photokatalytische Aktivität von nano-TiO<sub>2</sub> die Zersetzung von organischem Schmutz, der dann mit dem Regen abgewaschen wird<sup>12</sup>. Das äußere Erscheinungsbild von Gebäuden bleibt so länger optisch ansprechend. Ein Beispiel dafür ist etwa die Jubiläumskirche in Rom, die im Jahr 2003 errichtet wurde (Abb. 2) und deren weißer Beton auch Jahre später noch keine Anzeichen von Verschmutzung zeigt<sup>13</sup>.

Ein weiterer Einsatzbereich von photokatalytisch aktiven Betonprodukten und Beschichtungen ist die Luftreinigung. In Ballungszentren stellt die Luftbelastung u. a. mit Stickoxiden aus dem Autoverkehr ein großes Problem dar. Betonprodukte, wie z. B. Dach- und Pflastersteine mit photokatalytischem TiO<sub>2</sub> sollen helfen, die Luftqualität zu verbessern, indem sie Stickoxide aus der Umgebungsluft in Nitrat umwandeln<sup>14</sup>. Ein weiterer Einsatz ist etwa in Lärmschutzwänden oder Straßenbelägen möglich. In dem von der EU geförderten Projekt PICADA (Photocatalytic Innovative Coverings Applications for Depollution Assessment)<sup>15</sup> wurde die Wirksamkeit von photokatalytisch aktivem Zementmörtel in einem Versuchsaufbau untersucht, wobei eine Reduzierung der Stickoxide um 40 bis 80 % festgestellt werden konnte<sup>16</sup>. Unter realen Bedingungen wurde in den Niederlanden zwischen 2005 und 2009 an Autobahn-Teststrecken die Effektivität von Lärmschutzwänden mit einer photokatalytischen Beschichtung untersucht<sup>17</sup>. Eine deutliche Verbesserung der Luftqualität durch die Reduktion von Stickoxiden konnte nicht nachgewiesen werden. Eine mögliche Ursache für dieses Ergebnis könnte u. a. der zu kurze Kontakt zwischen Luft und der photokatalytisch aktiven Beschichtung sein. Im Rahmen des bis 2013 laufenden EU-Forschungsprojekts „PhotoPAQ“ wird ebenfalls die Effektivität solcher Beschichtungen an einem Teilstück eines Straßentunnels in Brüssel untersucht<sup>18</sup>. Veröffentlichte Ergebnisse liegen noch nicht vor. Derzeit ist der Spezialzement mit nano-TiO<sub>2</sub> noch wesentlich teurer als konventioneller Zement. Eine sorgfältige Abwägung von Kosten und Nutzen ist deshalb notwendig, ebenso sind noch weitere Untersuchungen zu allfälligen schädlichen Nebenprodukten des photokatalytischen Schadstoffabbaus erforderlich<sup>19</sup>. Zielführender als teure photokatalytische Betonprodukte oder Beschichtungen erscheint nach den momentan verfügbaren Daten die Vermeidung von Schadstoffemissionen an der Quelle.

#### d. Bodenverfestigung im Straßenbau

Um eine Straße vor Frostschäden zu schützen, muss der Unterbau in geeigneter Weise vorbereitet werden. Neuartige Polymerdispersionen<sup>20</sup> mit nanoskaligem Siliziumdioxid, die dem Zement zugefügt werden, sollen dazu beitragen, die Haltbarkeit von Straßen zu verlängern und versprechen gleichzeitig verbesserte Verarbeitungseigenschaften<sup>21</sup>. Wie auch bei ultrahochfestem Beton füllen die SiO<sub>2</sub>-Nanopartikel die Zwischenräume der Betonteilchen aus, wodurch sich eine besonders gleichmäßige und dichte Betonmatrix ergibt. Die Polymere in der Dispersion sind zudem wasserabweisend, wodurch sich die Wasseraufnahmefähigkeit des Straßenunterbaus verringert und eine höhere Frostbeständigkeit gegeben ist. Diese neuartigen Zusätze versprechen auch noch weitere Vorteile: Es können lokal verfügbare Materialien (Sand, Lehm oder Bodenaushub) zur Herstellung des Straßenunterbaus verwendet werden, wodurch weniger Material transportiert werden muss. Der Abbindevorgang von Bindemitteln (z. B. Zement) und dem Polymeradditiv kann sowohl mit Süß- als auch mit Salzwasser erfolgen und die Verarbeitung ist sogar bei Temperaturen unter -10° C möglich. Auch für Abdichtungs- und Trag-schichten im Wasser- und Kanalbau, Damm- und Deponiebau eignen sich diese Nanopolymerdispersionen laut Herstellerangaben.

## 2. Wärme- und Schallisolierung, Temperaturregelung

Eine der größten Herausforderungen im Baubereich ist die thermische Sanierung des Bestandes an Wohnungs- und Gewerbegebäuden, bei der etwa neuartige Dämmmaterialien auf Basis von Nanotechnologie einen Beitrag leisten können<sup>4</sup>. Der Energieverbrauch ist in der Vergangenheit stetig gestiegen und lag in Österreich im Jahr 2009 um fast 80 % über dem Niveau von 1970. In privaten Haushalten wird rund 30 % der Energie für die Bereitstellung von Raumwärme aufgewendet<sup>22</sup>. Hier liegt also ein großes Potenzial für Energieeinsparungen. Der österreichische Energieeffizienzaktionsplan<sup>23</sup> zur Umsetzung der EU-Energieeffizienz- und Energiedienstleistungsrichtlinie legt fest, dass 9 % des jährlichen Durchschnittsverbrauchs bis spätestens 17.5.2018 eingespart werden sollen. Als Maßnahmen zur Erreichung dieses Energie-sparrichtwerts werden u. a. die Steigerung der Sanierungsrate im Wohnbau bzw. die thermische Sanierung sämtlicher Nachkriegsbauten (1950-1980) sowie die Forcierung von Niedrigenergie- und Passivhausstandards festgelegt.



Abbildung 3: Nanogel®  
(Quelle: [www.guenstiger-daemmen.de/daemmstoffe/aerogel-p400-wls-0021](http://www.guenstiger-daemmen.de/daemmstoffe/aerogel-p400-wls-0021))

Innovationen, die der Nanotechnologie zugerechnet werden, ermöglichen auch eine Wärmedämmung bei Gebäuden, bei denen eine herkömmliche, etwa 20 cm dicke Außendämmung nicht möglich ist (z. B. bei Altbauten mit strukturierter Fassade) und erreichen dabei sehr gute Dämmwerte:

#### a. Aerogel

Aerogel ist ein besonders leichtes Material, das z. B. aus Kieselsäure hergestellt werden kann. Das Gel wird in einem speziellen Verfahren getrocknet, sodass eine Art fester Schaum entsteht, der zu mehr als 95 % aus Luft besteht. Erstmals wurden solche Silica-Aerogele bereits in den 1930er Jahren hergestellt<sup>24</sup>. Die Poren dieses Materials sind nur wenige Nanometer groß, daher auch die Markenbezeichnung Nanogel®. Die Wärmeleitfähigkeit in einem Material mit Poren im Nanometerbereich ist sehr gering, da nur wenige Gasmoleküle in den Poren Platz finden und somit die Übertragung der Wärme von einem Gasteilchen auf ein anderes verringert wird. Aerogel hält 15 Einträge im Guinness-Buch der Rekorde, u. a. als „bester Isolator“ und „leichtester Feststoff“. Aus einer Kombination von Aerogel und Steinwolle wird die sogenannte Aerowolle® hergestellt und in dünne Gipsplatten eingearbeitet, die zur Innendämmung verwendet werden können<sup>25</sup>. Aerogel kann auch zwischen zwei Fensterglasscheiben eingefüllt werden<sup>26</sup>. Infrarotstrahlen und auch Schall werden von solchen Verglasungen gut abgehalten. Allerdings ist Aerogel nicht durchsichtig, sodass sich ein Effekt wie bei „Milchglas“ ergibt. In Entwicklung ist derzeit ein Dämmputz mit Aerogel<sup>27</sup>, der 2013 auf den Markt erhältlich sein soll.

#### b. Vakuum-Isolationspaneele (VIP)

Der Kern dieser speziellen Dämmplatten besteht aus nanoskaliger Kieselsäure, Graphit bzw. Siliziumcarbid in einem Vakuum und ist von einer besonders dichten und stabilen Verbundfolie aus Kunststoff und Aluminium umgeben<sup>24</sup>. Durch die Entfernung der wärmeleitenden Luft erhalten die nur 2-4 cm dünnen Platten besonders gute Dämmwerte, die mit jenen konventioneller Dämmmaterialien,



wie etwa 20 cm dicken Platten aus Polystyrol, vergleichbar sind. Verwendet werden können VIPs sowohl im Innen- als auch im Außenbereich, etwa für Wände, Dächer, Terrassen, aber auch für Kühlgeräte<sup>28</sup>. Allerdings sind VIPs relativ empfindlich, denn mechanische Beschädigungen können das Vakuum zerstören. Aus diesem Grund ist ein Zuschneiden nicht möglich. Auch die Kosten sind derzeit noch hoch.

**c. Latentwärmespeicher („Phase Change Materials“, PCM) – Temperaturregelung**

Vor allem in Dachbodenausbauten oder in Gebäuden, die in Leichtbauweise errichtet wurden, kann es im Sommer sehr heiß werden. Abhilfe versprechen Verputze, Ziegel, Beton- oder Lehmplatten mit eingearbeiteten PCM, die auf Basis von Paraffinwachsen hergestellt werden. Paraffinkugeln mit einem Durchmesser im Mikro- oder Nanometerbereich werden dabei von einer stabilen Hülle aus Kunststoff bzw. Acrylglas umgeben. Wenn das Wachs bei höheren Temperaturen schmilzt, entzieht es seiner Umgebung Wärmeenergie durch den Phasenwechsel von fest auf flüssig. Wenn die Temperaturen z. B. in der Nacht wieder sinken, wird das Wachs wieder fest und gibt die Wärmeenergie wieder ab. Baumaterialien mit PCM eignen sich somit zur Temperaturregelung in Innenräumen und können im besten Fall den Einsatz einer Klimaanlage überflüssig machen<sup>29</sup>.

**d. Elektrochrome Fenstergläser mit Nanobeschichtung**

Elektrochrome Fenstergläser bestehen aus zwei Glasplatten (Sandwichscheibe) mit einer leitfähigen, transparenten Beschichtung. Im Zwischenraum befindet sich eine Sol-Gel-Schicht<sup>30</sup> aus Wolframtrioxid. Beim Anlegen einer kleinen elektrischen Spannung (bis 3 V) verfärbt sich diese nanostrukturierte Beschichtung blau und reduziert den Durchtritt von Sonnenlicht durch die Verbundscheibe<sup>31</sup>. Licht- und Wärmeeintrag in einen Raum können mit derartigen elektrochromen Gläsern individuell gesteuert werden. Die Schaltzeit ist abhängig von der Größe der Fenster und kann zwischen drei und fünf Minuten betragen, was als Nachteil empfunden werden kann. Anders als bei konventionellen elektrochromen Fenstergläsern ist eine dauernde Stromzufuhr nicht notwendig.

**3. Oberflächenbeschichtungen**

Im Bereich des Bauwesens ist bereits eine Vielzahl von Produkten zur Funktionalisierung der verschiedensten Oberflächen am Markt

verfügbar, die der Nanotechnologie zugeordnet werden. Im Vordergrund stehen dabei schmutz- und wasserabweisende sowie „selbstreinigende“ Beschichtungen, etwa in Form von Fassadenfarben, für Fenstergläser, Dachziegel, als Oberflächenschutz von Baustoffen gegenüber eindringendem Wasser, Moosen, Algen oder Schimmel, wie auch „Anti-Graffiti“- oder „Anti-Fingerprint“-Beschichtungen. Diesen Einsatzgebieten wurde bereits ein eigenes NanoTrust-Dossier gewidmet (Nr. 020).

**4. Brandschutz**

Spezielles Brandschutzglas besteht aus zwei Glasscheiben mit einer nur 3 mm dünnen Füllung aus nanoskaligem SiO<sub>2</sub>, die im Brandfall aufschäumt. Solche Gläser halten einer Dauerbeflammung von mehr als 1.000 °C bis zu 120 Minuten stand, sind dabei aber sehr leicht und dünn. Die Schicht selbst ist optisch kaum wahrnehmbar. Neben Anwendungen in Gebäuden werden diese Gläser auch bei Schiffsverglasungen eingesetzt. Mittels nano-SiO<sub>2</sub> können auch Leichtbau-Sandwichplatten aus Stroh und Hanf, wie sie etwa im Messebau verwendet werden, brandhemmend beschichtet werden. Trotz der glasartigen Beschichtung sind die Platten diffusionsfähig und können am Ende ihrer Lebenszeit normal geschreddert und entsorgt werden<sup>1</sup>.

Nanostrukturierte Silikatpartikel (sogenannter „Nano-Clay“ oder „Nano-Ton“) können zur Optimierung der Flammseigenschaften und Hitzebeständigkeit in Kunststoffen eingesetzt werden. Solche Nano-Kompositmaterialien werden etwa zur Herstellung von Kabelummantelungen oder Verschalungen (z. B. Sicherungskästen, Steckdosen) für den Innenausbau eingesetzt<sup>4</sup>.

**5. Noch in Entwicklung befindliche Anwendungen**

Kohlenstoff-Nanoröhrchen (CNTs) sind aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften<sup>32</sup> von speziellem Interesse bei der Entwicklung von bewehrtem Beton. Bereits die Zugabe von nur einem Gewichtsprozent CNTs kann die mechanischen Eigenschaften verbessern, insbesondere mehrwandige CNTs (MWCNTs) erhöhen die Druck- und Zugfestigkeit. Bei der gleichmäßigen Einarbeitung von CNTs in die Betonmatrix sind jedoch noch technische Hindernisse zu überwinden (Verklumpen der CNTs, schlechte Bindung der CNTs mit der Matrix). Diese Probleme, die noch hohen Herstellungskosten und möglicherweise auch die noch nicht eindeutig abschätzbaren gesund-

heitlichen Risiken von CNTs haben bislang noch nicht zu einer Marktführung eines Betonprodukts mit CNTs geführt. In Entwicklung sind weiters auf Nanotechnologie basierende Sensoren (nano-electromechanical devices, NEMS), die in Beton eingearbeitet werden können und der Qualitätskontrolle und dem Monitoring der Haltbarkeit dienen sollen. Mittels solcher Sensoren sollen in Zukunft u. a. die Betondichte und -viskosität sowie Parameter, welche die Haltbarkeit beeinflussen (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit, PH-Wert, Vibrationen, etc.) gemessen werden können<sup>33</sup>.

**Gesundheitsaspekte**

Eine Exposition von EndanwenderInnen mit Nanomaterialien aus einem „Nano-Bauprodukt“ ist grundsätzlich auf zwei Wegen möglich<sup>2</sup>:

1. Bei der Anwendung eines gebrauchsfertigen Produktes (z. B. einer Fassadenfarbe) oder eines Produktes, das vor Ort einem Material zugemischt wird (z. B. ein Zuschlagsstoff für Beton);
2. Bei der zerstörenden Bearbeitung eines „Nano-Produktes“, etwa durch Bohr-, Schleif- oder Fräsarbeiten.

Sowohl ArbeitnehmerInnen wie auch private EndanwenderInnen können bei der Verwendung eines „Nano-Bauproduktes“ mit Nanomaterialien in Kontakt kommen und sind vor möglichen gesundheitlichen Gefährdungen zu schützen. Im Bereich des Arbeitnehmerschutzes sorgen dafür einschlägige gesetzliche Bestimmungen und ein entsprechendes Risikomanagement in Unternehmen<sup>34</sup>. Insbesondere den EndanwenderInnen fehlt aber oft die Information welches Nanomaterial, in welcher Form und Konzentration sich in einem Produkt befindet. Gemäß der EU-Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP-Verordnung<sup>35</sup>) sind Hersteller nicht dazu verpflichtet, ihre Kunden darüber zu informieren, dass ihr Produkt Nanomaterialien enthält. Eine Möglichkeit dafür wäre das Sicherheitsdatenblatt (Material Safety Data Sheet, MSDS), aber bei Produkten, für die ein MSDS mitgeliefert wird, hängt es vom Hersteller ab, ob in diesem Sicherheits- und Gesundheitsschutzinformationen über ein verwendetes Nanomaterial angeführt werden<sup>2</sup>. Die Informationsweitergabe entlang der gesamten Wertschöpfungskette – vom Hersteller des in einem Produkt eingesetzten Nanomaterials bis zum Endanwender – ist demnach zumeist nicht gegeben.

Ist ein Nanomaterial fest in eine Matrix eingebunden, etwa in Beton oder in einem Isoliermaterial, ist die Wahrscheinlichkeit einer Exposition mit dem Nanomaterial nach derzeitigem Kenntnisstand sehr gering oder überhaupt nicht gegeben, sofern das Produkt nicht zerstörend bearbeitet wird. Aber auch in diesem Fall zeigten Untersuchungen, dass etwa die Bearbeitung eines Nanokompositmaterials mit Schleifpapier nicht zu einer Freisetzung der nanopartikulären Bestandteile führt<sup>36</sup>. Bei Bohrarbeiten an Beton mit einem Nano-Zuschlagsstoff konnten in einer Studie höhere Nanopartikelkonzentrationen in der Umgebungsluft festgestellt werden als bei konventionellem Beton. Da die derzeit verfügbaren Partikelmessgeräte aber nur die Anzahl der Partikel pro Volumseinheit Luft messen können und keine Charakterisierung der Partikel möglich ist, ist die Zusammensetzung und Herkunft der gemessenen Partikelkonzentration nicht geklärt. Die Studienautoren vermuten, dass vom Motor der Bohrmaschine bei der Bearbeitung des dichteren und härteren Nano-Betons aufgrund der stärkeren Bohrintensität mehr Nanopartikel emittiert wurden<sup>37</sup>. Es ist jedenfalls wahrscheinlich, dass beim Betrieb elektrischer Geräte, wie auch durch Heizungen oder bei Verbrennungsprozessen eine hohe Konzentration von Nanopartikeln freigesetzt wird.

Wird etwa eine Nanobeschichtung aufgesprüht oder Mörtel auf einer Baustelle angerührt, bestehen für ArbeiterInnen mögliche Gesundheitsgefährdungen durch das Einatmen von Staub oder kleinsten Flüssigkeitströpfchen (Aerosole). In der oben erwähnten Untersuchung wurde auch die Arbeitsplatzexposition bei der Handhabung staubiger und flüssiger Materialien untersucht. Beim Anrühren von Mörtel zeigten sich kurzfristig sehr hohe Nanopartikelkonzentrationen in der Luft, die allerdings abhängig von den Wetterbedingungen waren. Bei starkem Wind wurden wesentlich niedrigere Konzentrationen gemessen. Beim Aufsprühen einer Beschichtung mit nano-TiO<sub>2</sub> konnte eine geringfügig erhöhte Nanopartikelkonzentration festgestellt werden, allerdings könnte dies auf Emissionen des Motors des Sprühgerätes zurückzuführen sein. Die Ergebnisse der Arbeitsplatzuntersuchungen dieser Studie lassen darauf schließen, dass der Beitrag der verwendeten Geräte zur Nanopartikelkonzentration in der Umgebungsluft (Mischmaschinen, Bohrer, Dieselaggregate etc.), ebenso wie jener von Zigarettenrauch größer ist als jener der verwendeten „Nano-Bauprodukte“. Die in den Niederlanden aufgrund des Fehlens von Expositionsgrenzwerten für Nanomaterialien an Arbeitsplätzen im Sinne des Vorsorgeprinzips eingeführten sogenannten

„Nano-Referenzwerte“ wurden bei keiner in dieser Studie untersuchten Arbeitsplatzsituation überschritten, sodass für diese keine zusätzlichen nanospezifischen Arbeitsschutzmaßnahmen erforderlich erscheinen<sup>37</sup>.

Um vorsorglich eine mögliche Gesundheitsgefährdung von ArbeitnehmerInnen durch Nanomaterialien zu vermeiden, verfolgen europäische Hersteller von Nanomaterialien schon seit längerem einen präventiven Ansatz, etwa in Form spezieller Verhaltenskodizes<sup>38</sup>. Da insbesondere das Einatmen von Nanopartikeln eine mögliche Gesundheitsgefährdung darstellt<sup>39</sup>, werden Maßnahmen gesetzt, um dies zu verhindern. So erfolgt die Produktion eines Großteils der Nanomaterialien in flüssiger Form als Suspensionen oder Lösungen bzw. in einem abgedichteten Umfeld, um das Expositionsrisiko zu minimieren. Die meisten nanopartikulären Zuschlagsstoffe werden ebenfalls von den Produktherstellern in flüssiger Form vermarktet. Ist dies aus technischen Gründen nicht möglich, wie etwa im Fall von Quarzstaub für ultrahochfesten Beton, so werden andere Lösungen gesucht, wie etwa der Einsatz von wasserlöslichen Verpackungsmaterialien, welche die Produkteigenschaften des Betons nicht beeinträchtigen<sup>2</sup>. Bestimmte Branchen, wie etwa die Lack- und Farbenindustrie stellen auch spezielle Betriebsleitfäden zur sicheren Verwendung von Nanomaterialien zur Verfügung<sup>40</sup>.

## Umweltvorteile und -gefährdungen

Den potenziellen Umweltvorteilen von „Nano-Produkten“ wie auch den möglichen Umweltgefährdungen durch Nanomaterialien wurden bereits zwei NanoTrust-Dossiers gewidmet (Nr. 026 und 027), sodass hier nur kurz auf diese Thematik Bezug genommen wird.

Umweltvorteile durch Bauprodukte mit Nanomaterialien oder von solchen, die auf Nanotechnologie basieren, werden insbesondere im Bereich von Energieeinsparungen und Ressourcenschonung erhofft. Neuartige Isoliermaterialien können etwa dazu beitragen, den Energiebedarf für Heizung und Kühlung von Wohn- und Gewerbegebäuden zu reduzieren und können auch dort angewendet werden, wo eine herkömmliche Dämmung nicht möglich ist. Spezielle Nanobeschichtungen können die Lebensdauer von Materialien erhöhen und, wie etwa im Fall von „selbstreinigenden“ Beschichtungen, dazu beitragen, den Reinigungsaufwand zu re-

duzieren und so den Bedarf an Energie, Wasser und Reinigungsmitteln zu senken. Allerdings fehlt für die meisten „Nano-Bauprodukte“ eine umfassende Lebenszyklusanalyse bzw. eine vergleichende Ökobilanz mit konventionellen Bauprodukten, sodass sich die tatsächlichen Umweltvorteile nicht quantifizieren lassen.

Da „Nano-Bauprodukte“ derzeit am Markt nur eine untergeordnete Rolle spielen, erscheint eine aktuelle Umweltgefährdung durch Nanomaterialien gering. Es liegen jedoch kaum Daten zur Exposition vor, daher kann für kein Nanomaterial derzeit eine umfassende Risikobewertung vorgenommen werden. Möglich ist ein Umwelteintrag vor allem durch Abfall und Abwasser. Im Falle von „Nano-Bauprodukten“ etwa durch die Deponierung von Bauschutt mit Nanomaterialien oder durch die nicht sachgerechte Entsorgung von Farben oder Lacken über die Kanalisation. Untersuchungen haben gezeigt, dass aus Fassadenfarben nanopartikuläres TiO<sub>2</sub> ausgewaschen und in die Umwelt gelangen kann. Für die Entsorgung oder das Recycling von Bauprodukten mit Nanomaterialien gibt es bislang keine speziellen Bestimmungen. Für bestimmte Nanomaterialien, wie etwa nano-TiO<sub>2</sub> oder Nanosilber zeigten Laboruntersuchungen umwelttoxische Wirkungen. Wie hoch der tatsächliche Eintrag dieser Materialien in die Umwelt ist und wie sich diese in natürlichen Ökosystemen verhalten, ist jedoch derzeit noch weitgehend unbekannt.

### Fazit

In Forschung und Entwicklung werden große Anstrengungen unternommen, auf Basis von Nanotechnologie Materialeigenschaften zu verbessern und neue Produkte zu entwickeln, die für die Bauwirtschaft von Interesse sein können. Demgegenüber steht das konventionelle Verhalten der Bauwirtschaft, sodass in der Realität „Nano-Bauprodukte“ noch eine sehr untergeordnete Rolle im Baugewerbe spielen. Erst wenn diese zu konkurrenzfähigen Preisen verfügbar sind und deren technisches Verhalten ausreichend aufgeklärt ist, kann mit einer größeren Akzeptanz gerechnet werden. Bezüglich Umwelt- und Gesundheitsgefahren von Bauprodukten mit Nanomaterialien sind insbesondere weitere Untersuchungen unter realen Bedingungen notwendig. Ebenso wichtig ist die Entwicklung bzw. Adaptierung von Messgeräten zur Analyse der Arbeitsplatz- und Umweltexposition.

Anmerkungen und Literaturhinweise

1 Leydecker, Sylvia, 2008, *Nanomaterialien in Architektur, Innenarchitektur und Design*: Birkhäuser Verlag

2 Van Broekhuizen, Fleur/Van Broekhuizen, Pieter, 2009, *Nanoprodukte im europäischen Baugewerbe – Aktueller Sachstand 2009. Zusammenfassung*, im Auftrag von: FIEC EFBH, November 2009: IVAM UvA BV [www.efbww.org/pdfs/Nano%20-%20DE%20Summary.pdf](http://www.efbww.org/pdfs/Nano%20-%20DE%20Summary.pdf).

3 [www.bgbau.de/d/pages/praevfachinformationen/gefahstoffe/nano/index.html](http://www.bgbau.de/d/pages/praevfachinformationen/gefahstoffe/nano/index.html).

4 Luther, Wolfgang, 2008, *Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen*, im Auftrag von: Hessisches Ministerium für Wirtschaft Verkehr und Landesentwicklung, Nr. Band 7 der Schriftenreihe der Aktionlinie Hessen Nanotech: HA Hessen Agentur [www.hessen-nanotech.de/mm/NanoBau\\_final\\_Internet.pdf](http://www.hessen-nanotech.de/mm/NanoBau_final_Internet.pdf).

5 Flatz, Christian, 2009, *Nanostruktur am Bau, zukunft forschung – Magazin für Wissenschaft und Forschung der Universität Innsbruck*, 01/09, 18 [www.uibk.ac.at/forschung/magazin/2/lackner\\_troi.pdf](http://www.uibk.ac.at/forschung/magazin/2/lackner_troi.pdf).

6 [www.gaertnerplatzbruecke.de](http://www.gaertnerplatzbruecke.de).

7 Juschkus, Ute, 2010, *Nanotechnologie und Ultra Performance Concrete (UHPC)*, *RKW-Fachinfo – Nanotechnologie am Bau (1)*, 4-6 [www.rkw-kompetenzzentrum.de/uploads/media/2010\\_MA\\_Nano-am-Bau.pdf](http://www.rkw-kompetenzzentrum.de/uploads/media/2010_MA_Nano-am-Bau.pdf).

8 [www.wild.raum.at](http://www.wild.raum.at).

9 WILD-Brücke – UHPC in der Praxis als Ergebnis der Forschung. TU Graz. [www.zement.at/Service/literatur/fileupl/koll08\\_09freytag.pdf](http://www.zement.at/Service/literatur/fileupl/koll08_09freytag.pdf).

10 Zementhydratation ist die chemische Ursache für die Erhärtung des Zements bei Mischung mit Wasser, bedingt durch die Bildung kristallwasserhaltiger Kalksilikate, Aluminate und Ferrite in Verbindung mit wasserhaltigen Gelmassen, wobei die sich bildenden Kristalle sich gegenseitig durchdringen und durch die Gelmassen verkittet werden. (Quelle: Lexikon/Glossar Gebäudetechnik, [www.gbt.ch/Lexikon/Z/Zementhydratation.html](http://www.gbt.ch/Lexikon/Z/Zementhydratation.html)).

11 Produktbeispiel: [www.emaco-nanocrete.com/german/produkte.html](http://www.emaco-nanocrete.com/german/produkte.html).

12 Siehe dazu auch NanoTrust-Dossier 020.

13 Building small: Nanotechnology makes inroads in the construction industry. Chemical & Engineering News, Juni 2011. [greenharmonyhome.com/wordpress/?p=2936](http://greenharmonyhome.com/wordpress/?p=2936).

14 Für weiterführende Informationen und Produkte siehe z. B. [www.heidelbergcement.com/de/de/country/zement/lieferprogramm/spezialzemente/tiocem.htm](http://www.heidelbergcement.com/de/de/country/zement/lieferprogramm/spezialzemente/tiocem.htm); [www.italcementigroup.com/ENG/Research+and+Innovation/Innovative+Products/TX+Active/](http://www.italcementigroup.com/ENG/Research+and+Innovation/Innovative+Products/TX+Active/).

15 PICADA Projekt (Photocatalytic Innovative Coverings Applications for Depollution Assessment). [www.picada-project.com/dominio/SitePicada/Picada.nsf?OpenDataBase](http://www.picada-project.com/dominio/SitePicada/Picada.nsf?OpenDataBase).

16 Bolte, Gerd (HeidelbergCement Technology Center), 2009, *Innovative building materials – reduction of pollutants with TiO<sub>2</sub>Cem*. ZKG in-

ternational, Nr. 1/2009 [www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/7DEA23C8-7023-46FD-8BEE-5AA11CF4FC33/0/TiO2Cem\\_Sonderdruck\\_ZKG.pdf](http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/7DEA23C8-7023-46FD-8BEE-5AA11CF4FC33/0/TiO2Cem_Sonderdruck_ZKG.pdf).

17 Dutch Air Quality Innovation Programme; [www.ipl-airquality.nl](http://www.ipl-airquality.nl).

18 Bessere Luft durch neue Oberflächen? Troposphärenforscher untersuchen Spezialbeschichtungen. Informationsdienst Wissenschaft. 139.174.2.142/de/news439662; Projekt PhotoPAQ (Demonstration of Photocatalytic Remediation Processes on Air Quality). [photopaq.ircelyon.univ-lyon1.fr](http://photopaq.ircelyon.univ-lyon1.fr).

19 Juschkus, Ute, 2010, Superzweg TiO<sub>2</sub> – Umweltschutz mit Nanotechnologie, *RKW-Fachinfo – Nanotechnologie am Bau (1)*, 9-10 [www.rkw-kompetenzzentrum.de/uploads/media/2010\\_MA\\_Nano-am-Bau.pdf](http://www.rkw-kompetenzzentrum.de/uploads/media/2010_MA_Nano-am-Bau.pdf).

20 Polymerdispersionen sind eine Mischung von Kunststoffpartikeln in Wasser.

21 Für weitere Informationen siehe: [www.nanosky.com/de/nanosky\\_nts.html](http://www.nanosky.com/de/nanosky_nts.html).

22 [e-control.at/de/konsumenten/energie-sparen/thema-energieverbrauch](http://e-control.at/de/konsumenten/energie-sparen/thema-energieverbrauch).

23 Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, 2007, 1. *Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreich gemäß EU-Richtlinie 2006/32/EG* [ec.europa.eu/energy/demand/legislation/doc/neeap/austria\\_neeap\\_de.pdf](http://ec.europa.eu/energy/demand/legislation/doc/neeap/austria_neeap_de.pdf).

24 Juschkus, Ute, 2010, Zwergenträume – Nano-schäume. Energieeffizientes Bauen mit Nanotechnologie, *RKW-Fachinfo – Nanotechnologie am Bau (1)*, 7-9 [www.rkw-kompetenzzentrum.de/uploads/media/2010\\_MA\\_Nano-am-Bau.pdf](http://www.rkw-kompetenzzentrum.de/uploads/media/2010_MA_Nano-am-Bau.pdf).

25 Aerowolle® der Firma Rockwool: [www.aerowolle.de](http://www.aerowolle.de).

26 Siehe z. B. Okagel® der Firma Okalux. [www.okalux.de/produkte/marken/okagel.html](http://www.okalux.de/produkte/marken/okagel.html).

27 Aerogel-Dämmputz isoliert historische Bauten einfach und wirksam. EMPA. [www.empa.ch/plugin/template/empa/3/101225/---/l=1](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/3/101225/---/l=1).

28 Für Produktbeispiele siehe Firma Vaku-Isotherm: [www.vaku-isotherm.de/ebene2.html](http://www.vaku-isotherm.de/ebene2.html) oder Firma Porextherm: [www.porextherm.com/produkte.html](http://www.porextherm.com/produkte.html).

29 Für ein Produktbeispiel eines mikroverkapselten PCM siehe: Micronal®, BASF; [www.micronal.de/portal/basf/ide/dt.jsp?setCursor=1\\_286688](http://www.micronal.de/portal/basf/ide/dt.jsp?setCursor=1_286688).

30 Siehe dazu NanoTrust-Dossier 006.

IMPRESSUM:

**Medieninhaber:** Österreichische Akademie der Wissenschaften; Juristische Person öffentlichen Rechts (BGBl 569/1921 idF BGBl I 130/2003); Dr. Ignaz Seipel-Platz 2, A-1010 Wien

**Herausgeber:** Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA); Strohgasse 45/5, A-1030 Wien; [www.oew.ac.at/ita](http://www.oew.ac.at/ita)

**Erscheinungsweise:** Die NanoTrust-Dossiers erscheinen unregelmäßig und dienen der Veröffentlichung der Forschungsergebnisse des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung im Rahmen des Projekts NanoTrust. Die Berichte werden ausschließlich über das Internetportal „epub.oew“ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt: [epub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/](http://epub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/)

NanoTrust-Dossier Nr. 032, Juni 2012: [epub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier032.pdf](http://epub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier032.pdf)

ISSN: 1998-7293



Dieses Dossier steht unter der Creative Commons (Namensnennung-NichtKommerziell-KeineBearbeitung 2.0 Österreich) Lizenz: [creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/at/deed.de](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/at/deed.de)

31 Siehe dazu: Blau und grau färbende Sol-Gel elektrochrome Fenster. NanoInfo, INM Leibniz-Institut für Neue Materialien. [www.inm-gmbh.de/wp-content/uploads/2011/04/handout\\_Elektrochrom\\_de\\_2011.pdf](http://www.inm-gmbh.de/wp-content/uploads/2011/04/handout_Elektrochrom_de_2011.pdf). Für ein Produktbeispiel siehe Firma Infraselect: [www.flachglas.de/uploads/X\\_PDFs/Broschueren/INFRASELECT\\_4\\_08.pdf](http://www.flachglas.de/uploads/X_PDFs/Broschueren/INFRASELECT_4_08.pdf).

32 Siehe dazu NanoTrust-Dossier 022.

33 Mann, Surinder (Institute of Nanotechnology), 2006, *Nanotechnology and Construction*, November 2006: Nanoforum [www.nanoforum.org/dateien/temp/Nanotech%20and%20Construction%20Nanoforum%20report.pdf?09052012123958](http://www.nanoforum.org/dateien/temp/Nanotech%20and%20Construction%20Nanoforum%20report.pdf?09052012123958).

34 Für eine Übersicht zu den Aspekten des ArbeitnehmerInnenschutzes siehe NanoTrust-Dossier 029.

35 Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.12.2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006. [eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:DE:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:DE:PDF).

36 Wohlleben, Wendel, et al., 2011, On the Lifecycle of Nanocomposites: Comparing Released Fragments and their In-Vivo Hazards from Three Release Mechanisms and Four Nanocomposites, *small (16)*, 2384-2395.

37 Van Broekhuizen, Pieter, et al., 2011, Use of nanomaterials in the European construction industry and some occupational health aspects thereof, *Journal of Nanoparticle Research 13(2)*, 447-462 [www.nanoservices.nl/include/Van\\_Broekhuizen\\_et\\_al\\_2011\\_Use\\_of\\_nanomaterials\\_in\\_the\\_European\\_construction\\_industry1.pdf](http://www.nanoservices.nl/include/Van_Broekhuizen_et_al_2011_Use_of_nanomaterials_in_the_European_construction_industry1.pdf).

38 Siehe dazu auch NanoTrust-Dossier 016.

39 Siehe dazu auch NanoTrust-Dossier 003.

40 Hermann, Andreas, et al., 2009, *Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche – Ein Betriebsleitfaden*, im Auftrag von: Verkehr und Landentwicklung Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Nr. Band 11 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech, September 2009: HA Hessen Agentur GmbH [www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden\\_NanoFarbeLacke\\_Vorab.pdf](http://www.hessen-nanotech.de/mm/Betriebsleitfaden_NanoFarbeLacke_Vorab.pdf).