

European Federation  
of Building  
and Woodworkers



# Nanoprodukte im europäischen Baugewerbe

## Aktueller Sachstand 2009 Zusammenfassung

Fleur van Broekhuizen  
Pieter van Broekhuizen

Amsterdam, November 2009



*Initiative mit der finanziellen Unterstützung der Europäischen  
Kommission im Rahmen von Programmen und Maßnahmen in  
den Sektoren Soziales und Beschäftigung*

## Kolophon

**Titel:** Nanotechnologien im europäischen Baugewerbe – Aktueller Sachstand 2009  
- Zusammenfassung  
**Verfasser:** F.A. van Broekhuizen und J.C. van Broekhuizen  
**Lenkungsausschuss:** R. Gehring (EFBH), D. Campogrande (FIEC), J. Gascon (FCC, Spanien), U. Spannow (3F, DK), J. Waage (FNV Bouw, NL)

Auftraggeber des vorliegenden Berichts innerhalb des Kontextes des Europäischen Sozialdialogs waren: die EFBH (Europäische Föderation der Bau- und Holzarbeiter) und FIEC (Verband der Europäischen Baugewerbe). Eine ausführliche Fassung des Forschungsberichtes ist in Englisch verfügbar.

### Danksagung

Diese Studie erfolgte mit der Unterstützung der Europäischen Kommission, Generaldirektion Beschäftigung gemäß Subventionsvereinbarung Nr. VS/2008/0500 – SI2.512656 im Rahmen des europäischen Sozialdialogs im Baugewerbe.

Die Verfasser danken den Unternehmen (Bauunternehmen, Rohstoffherstellern, Produktherstellern, Abfallwirtschaftsunternehmen), den Branchenorganisationen, den Forschungs- und Entwicklungsinstituten und einzelnen Personen für ihre wertvollen Beiträge zu der Studie, die gewährten Einblicke und ihre Offenheit in den geführten Diskussionen.

Ausführlichere Informationen zu dem Bericht erteilt Ihnen das:

IVAM UvA BV

NL - Amsterdam

Tel.: +31 (0) 20 / 525 50 80

[www.ivam.uva.nl](http://www.ivam.uva.nl)

E-Mail: [office@ivam.uva.nl](mailto:office@ivam.uva.nl)

Einzelheiten aus vorliegendem Bericht dürfen unter der Voraussetzung der ordnungsgemäßen Quellenangabe genutzt werden.

IVAM UvA b.v. übernimmt keinerlei Haftung für jegliche Schäden oder Nachteile, die sich aus der Verwendung oder der Anwendung der Ergebnisse des vorliegenden Berichts ergeben.

## **Zusammenfassung**

Vorliegender Bericht umfasst eine Studie über die Verfügbarkeit, die Verwendung sowie Sicherheits- und Gesundheitsschutzfragen im Zusammenhang mit Nanoprodukten im europäischen Baugewerbe im Jahr 2009. Eine europäische Umfrage unter den Arbeitgebern, Arbeitnehmern und Arbeitnehmervertretern aus dem Bausektor, ausführliche Interviews mit einer Reihe von betroffenen Interessengruppen sowie eine umfassende Literaturstudie führten zu den vorliegenden Untersuchungsergebnissen.

Das Wissen der einzelnen Akteure im Baugewerbe über die Verfügbarkeit und Leistung von Nanomaterialien ist äußerst begrenzt. Das gilt sowohl für die Arbeitgeber und Arbeitnehmer im Baugewerbe als auch für die damit verbundenen Berufszweige wie Architekten, Bauingenieure und die Kunden der einzelnen Bauwerke.

Auf Grund dieser mangelnden Kenntnisse und der Tatsache, dass nanogroße Inhaltsstoffe oft zu kostspielig sind, als dass ihr Einsatz zu wettbewerbsfähigen Produkten führen würde, findet nur eine begrenzte Zahl von Nanoprodukten ihren Weg auf die Baustellen. Die wesentlichen am Markt erfassten Produkttypen sind mit Nanopartikeln angereicherte Beton- und Zementstoffe, Nanobeschichtungen und Isoliermaterialien. Dennoch wird intensiv Forschung und Entwicklung betrieben und den Erwartungen zufolge soll der Marktanteil von Nanoprodukten und deren Vielfalt dank der einzigartigen Merkmale, die sie aufweisen (sollen), steigen.

Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass eben genau diese Produkte auch neue Sicherheits- und Gesundheitsschutzrisiken für die Beschäftigten auf den Baustellen aufwerfen, welche die Wissenschaft erst jetzt zu verstehen beginnt. Dies gilt insbesondere für die Herstellung von Nanopartikeln oder Aerosolen. Typische Aktivitäten mit einem möglicherweise hohen Expositionsrisiko gegenüber Nanopartikeln stellt die Anwendung von feuchten oder staubigen Nanoprodukten, das Bearbeiten von getrockneten oder vorgefertigten Nanoprodukten und das Reinigen oder Warten von Materialien und der eingesetzten Ausrüstung dar. Im Allgemeinen mangelt es jedoch an ausführlichen Informationen über die Produktzusammensetzung und deren mögliche nanospezifische Arbeitsschutzprobleme, und es kommen die dem Rohstoffhersteller zur Verfügung gestellten Informationen im Laufe der Benutzerkette abhanden.

Für das durchschnittliche Bauunternehmen erweist es sich somit als äußerst schwierig, eine ordnungsgemäße Risikobeurteilung vorzunehmen und einen sicheren Arbeitsplatz für seine Mitarbeiter zu schaffen. Eine Möglichkeit für den Umgang mit dem Unbekannten ist die Einhaltung eines präventiven Ansatzes. Die Entwicklung einer begrenzten Anzahl von Hilfsmitteln zur Unterstützung der Bauunternehmen bei der Umsetzung dieses Ansatzes (beispielsweise durch Registrierungs- und Notifizierungssysteme, Nanoreferenzwerte oder bewährte Praktiken für eine bestimmte Anzahl hoch risikoträchtiger Tätigkeiten) ist für das Schließen dieser Wissenslücken empfehlenswert.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Nanotechnologien im Bausektor.....</b>	<b>7</b>
2.1 Faktoren, die den Einsatz von Nanoprodukten im Bauwesen beeinflussen .....	8
2.2 Aktivitäten zur Gewährleistung der Sicherheit am Arbeitsplatz.....	14
<b>3. Nanoprodukte auf der Baustelle .....</b>	<b>16</b>
3.1 Einleitung .....	16
3.2 Zement, Beton und Mörtel.....	17
3.3 Beschichtungen und Farben.....	18
3.4 Nanotechnologien und Infrastruktur .....	21
3.5 Isoliermaterialien .....	21
<b>4. Gesundheitsrisiken .....</b>	<b>23</b>
4.1 Einleitung .....	23
4.2 Möglichkeiten der Exposition.....	24
4.3 Arbeitsschutzfragen im Zusammenhang mit verschiedenen Nanopartikeln .....	25
4.4 Mögliche Ansätze für den sicheren Einsatz von Nanoprodukten .....	27
<b>5. Optionen für weitere Aktivitäten zur Unterstützung eines sicheren Arbeitsplatzes .....</b>	<b>31</b>

# 1. Einleitung

Innerhalb des europäischen Sozialdialogs haben FIEC (Verband der Europäischen Baugewerbe) und EFBH (Europäische Föderation der Bau- und Holzarbeiter) die Initiative ergriffen, das IVAM UvA BV mit der Untersuchung des aktuellen Kenntnisstandes bei den Interessengruppen und der Erstellung einer Übersicht der derzeitigen Nanoprodukte im europäischen Baugewerbe zu beauftragen. In vorliegendem Executive Summary werden die Ergebnisse einer umfangreichen Studie zum aktuellen Stand der Technik im Jahr 2009 im Hinblick auf die Verfügbarkeit, den Gebrauch und der Sicherheits- und Gesundheitsschutzaspekte von Nanoprodukten im europäischen Bausektor vorgestellt. In dem Hauptbericht „Nanotechnologien im europäischen Baugewerbe, aktueller Sachstand 2009“ werden die Ergebnisse dieser Studie detailliert erläutert.

Auf Grund des ständigen Drucks seitens des Markts auf der Suche nach haltbareren, nachhaltigeren und günstigeren Produkten für das Baugewerbe bedarf es stetiger Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Eine der jüngsten technologischen Entwicklungen in diesen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sind Nanotechnologien. Nanotechnologien stehen schlicht und ergreifend für die Fähigkeit, Materialien (und deren Verhalten) bis auf das Nanometer (nm) genau (d. h. eine Größenordnung von rund 10.000 x kleiner als die Dicke eines menschlichen Haares) zu beobachten, zu überwachen und zu beeinflussen. Dazu gehören hochtechnische Bildgebungsverfahren zur Untersuchung und Verbesserung des Materialverhaltens, aber auch für die Auslegung und Produktion äußerst feiner Pulver, Flüssigkeiten oder Feststoffe, die Partikelgrößen zwischen 1 und 100 nm umfassen, so genannte Nanopartikel. Unternehmen verwenden diese Nanopartikel, um ihren Produkten neue oder bessere Eigenschaften zu verleihen. Beispiele sind transparente infrarotreflektierende Fensterbeschichtungen zur Förderung eines besseren Raumklima-Managements, hochfeste Betonmaterialien zur Ermöglichung feinerer und leichter Konstruktionen und selbstreinigende Beschichtungen, die ebenfalls zum Abbau der organischen Luftverschmutzung beitragen.

Obwohl im Internet zahlreiche Informationen über Nanotechnologien im Baugewerbe zu finden und künftige Erwartungen hoch sind, zeigt die heutige Realität doch, dass sich lediglich eine begrenzte Anzahl von Nanoprodukten tatsächlich auf der Baustelle durchsetzen können. Dies ist ganz einfach so, weil die Techniken und Nanoinhaltsstoffe für die Herstellung von Produkten, die mit den bereits bestehenden konkurrieren könnten, bisher viel zu kostspielig sind. Laut Aussage einiger großer Akteure in diesem Bereich: *„fällt das Baugewerbe in dieser Hinsicht, auf Grund der involvierten Kosten und der für die verwendeten Materialien erforderlichen Technik- und Sicherheitsstandards im Vergleich zur gesamten Industrie fast 10 Jahre zurück.“*

Trotzdem ist es wichtig, die steigenden Mengen zu berücksichtigen. Denn Nanoprodukte im Bausektor weisen einzigartige Merkmale auf, rufen aber gleichzeitig gegebenenfalls neue Sicherheits- und Gesundheitsschutzrisiken für die Baustellenarbeiter hervor. Angesichts der Neuheit von Nanomaterialien und -produkten im Allgemeinen werden diese Sicherheits- und

Gesundheitsschutzrisiken erst jetzt nach und nach nachvollziehbar<sup>1</sup>. Dies trägt zusammen mit den hohen Erwartungen an das zukunftsnahe Marktpotenzial von Nanoprodukten<sup>2</sup> zu der Bedeutung bei, die Entwicklungen im Bereich der Nanotechnologien von Anfang an mitzuverfolgen und sich die bestehenden Ungewissheiten in Fragen Sicherheits- und Gesundheitsschutz von Nanomaterialien und -produkten bewusst zu machen, um angemessene Maßnahmen zu ergreifen, wenn dies als erforderlich erachtet wird. In vorliegendem Bericht wird der Versuch unternommen, etwas mehr Einblick in Nanoprodukte und deren Merkmale in der heutigen Bauwirtschaft zur Förderung einer besser aufgeklärten Risikobeurteilung zu gewähren.

Wenn die Rede von Nanomaterialien und Nanoprodukten ist, ist es wichtig, festzuhalten, dass es noch keine festgelegten Begriffsbestimmungen gibt und es folglich sehr schnell zu Missverständnissen kommt. In vorliegendem Bericht gilt:

1. als Nanomaterial ein besonderes Material mit Nanopartikeln bzw. Agglomeraten oder Aggregaten aus Nanopartikeln in fester bzw. disperser Form in einer Flüssigkeit oder aber innere bzw. äussere Nanostrukturen bzw. nanogroße Bereiche.
2. als Nanoprodukt jegliches Produkt, dem Jemand gezielt ein Nanomaterial zur Beeinflussung der Produkteigenschaften beifügt.

Nanopartikel gelten als „konstruierte“ Partikel (künstlich hergestellt, um sie von den „natürlichen“ nanogroßen Partikeln zu unterscheiden, die z. B. bei Vulkanausbrüchen entstehen) mit einer Größe zwischen 1 und 100 nm. Diese können löslich oder nicht löslich sein. Derzeit sind lediglich nicht lösliche Partikel mit dem Begriff Nanopartikel gemeint, da die nicht löslichen beständigen Partikel jene sind, die bei den potenziellen nanotypischen Auswirkungen auf die Gesundheit eine ausschlaggebende Rolle spielen. In der aktuellen Diskussion geht es jedoch zunehmend um die Frage möglicher Auswirkungen durch lösliche nanogroße Partikel auf die Gesundheit, unter anderem bedingt durch deren nanotypisches Umweltverhalten.

---

<sup>1</sup> Es gibt verschiedene offene Fragen zu den Gesundheitsrisiken und zur Expositions kinetik von Nanomaterialien und -produkten. Andererseits aber gibt es zahlreiche Kenntnisse und Erfahrungen im Bereich der Arbeitsschutz-Auswertungen und des Umgangs mit Expositionsrisiken. Der Einsatz unserer Kenntnisse im Umgang mit unserem Unwissen ist die Herausforderung im Umgang mit Nanoprodukten.

<sup>2</sup> siehe beispielweise [www.hessen-nanotech.de](http://www.hessen-nanotech.de)

## 2. Nanotechnologien im Bausektor

Um sich einen umfassenden Überblick über die aktuelle Verfügbarkeit und den Einsatz von Nanomaterialien und Nanoprodukten auf Baustellen zu verschaffen und somit auch einige Einblicke in laufende Entwicklungen zu erhalten, die zu einem zukunftsnahe Einsatz von Nanoprodukten führen, und um auf die sich aus dem verwendeten Nanoprodukt ergebenden Arbeitsschutzprobleme hinzuweisen und diese zu evaluieren, wurden drei Wege eingeschlagen:

1. Eine umfassende (wissenschaftliche) Literaturstudie und Internetsuche bildeten die Grundlage für den gewährten Einblick in Nanomaterialien und Nanoprodukte im Bausektor und die berufsbedingten Gesundheitsfragen, die möglicherweise eine Rolle in deren Anwendung spielen.
2. FIEC und die EFBH haben eine Umfrage unter ihren Mitgliedern in 24 europäischen Staaten zur Sondierung des allgemeinen Kenntnisstandes der Arbeitgeber(vertreter) und Arbeitnehmer im Zusammenhang mit der Anwendung von Nanoprodukten im Sektor durchgeführt (im Folgenden die 2009-Umfrage genannt). Ziel der 2009-Umfrage war es, sich einen ersten Eindruck der Erfahrungen in diesem Bereich, der Gründe für die Umstellung auf ein Nanoprodukt und der Arbeitsschutzfragen, die Produktlieferanten melden, zu verschaffen. Es war nicht beabsichtigt, einen umfassenden Überblick der Einzelheiten der gegenwärtigen Einsatzbereiche von und Arbeitspraktiken mit Nanoprodukten im Baugewerbe zu liefern, da dies eines wesentlich ausgefeilteren Ansatzes bedurft hätte.
3. Es wurden ausführliche Interviews mit Arbeitnehmern und Arbeitgebern im Baugewerbe, mit Architekten, Produktherstellern und Forschungs- und Entwicklungswissenschaftlern für Baustoffe und -produkte geführt, um einen entsprechend tiefen Einblick in die laufenden Aktivitäten im Bereich Nanoprodukte für das Baugewerbe zu erhalten. Die Ergebnisse dieser Interviews waren wichtig, um die Ergebnisse der 2009-Umfrage, die Literaturstudie und Internetsuche zu prüfen und jene Nano-Entwicklungen herauszukristallisieren, die nach dem aktuellen Stand als für den Bausektor am wichtigsten eingestuft werden können.

Die daraus resultierenden Informationen werden in nachstehenden Abschnitten dargelegt. In Tabelle 0-1 ist eine Übersicht des Funktionsprofils der Teilnehmer der 2009-Umfrage aufgezeigt, ebenso wie die Art von Organisationen, die für die ausführlichen Interviews kontaktiert wurden.

Tabelle 0-1 Übersicht des typischen Hintergrund(funktions)profils der Befragten im Rahmen der 2009-Umfrage und Übersicht der einzelnen Organisationsarten, die im Rahmen der ausführlichen Interviews kontaktiert wurden

Befragte <sup>3</sup>	Funktion	Ausführliche Interviews (%)	Organisationsart
6	Arbeitgeber	21	Baugewerbe
4	Maler/Lackierer (Arbeitnehmer, Arbeitnehmervertreter)	21	Rohstoff-/Produkthersteller
4	Sicherheitsberater (Arbeiter, Arbeitnehmervertreter)	9	Branchenorganisationen
3	Verschiedene (Arbeitnehmer, Arbeitnehmervertreter)	4	Architekten
11	Keine näheren Angaben (Arbeitnehmer, Arbeitnehmervertreter)	42	Universitätsforschung und -entwicklung
38 <sup>4</sup>	Arbeitsschutzberater / Arbeitshygieniker (nur in den NL)		

## 2.1 Faktoren, die den Einsatz von Nanoprodukten im Bauwesen beeinflussen

2003 hegten Fachleute aus Forschung und Entwicklung hohe Erwartungen an die unmittelbaren Entwicklungen von Nanoprodukten für das Baugewerbe. Nur ein geringer Teil der damals angestrebten Produkte konnte sich allerdings tatsächlich auf den Baustellen etablieren<sup>5</sup>. Dazu lassen sich verschiedene Gründe anführen. Die wichtigsten werden in nachstehenden Abschnitten behandelt.

### Preiswettbewerb

Der erste Grund überhaupt, warum Nanoprodukte zwar in der Gesellschaft erfolgreich ankommen mögen, es jedoch nicht ins Baugewerbe schaffen, sind die involvierten Kosten. Zurzeit sind Nanomaterialien und folglich Nanoprodukte auf Grund der erforderlichen Produktionstechnologie noch erheblich teurer als ihre Nicht-Nano-Alternativen. Für den Bausektor bedeutet dies, dass bereits in der Forschungs- und Entwicklungsphase eines Produkts Initiativen abgebrochen werden, wenn vorhersehbar ist, dass das herzustellende Nanoprodukt niemals ein konkurrenzfähiges Preisniveau erreichen wird. Dies ist größtenteils durch die Tatsache bedingt, dass Bauprodukte fast ausschließlich in großen Mengen geliefert werden und kleine Preisunterschiede pro kg bei der Betrachtung des Gesamtvolumens des Bauwerks zu einem enormen Anstieg der Gesamtkosten beitragen.

Die Hersteller von Baumaterialien zeigen sich also zögerlich bei der Entwicklung von Nanoprodukten und jene Nanoprodukte, die entwickelt werden, werden ausschließlich im Rahmen wissenschaftlicher Aufträge angewandt. Dies gilt insbesondere für großvolumige Produkte wie Beton oder Mörtel und für Baubeschichtungen. Bei Isoliermaterialien und architektonischen sowie Glasbeschichtungen verursacht die derzeitige Forderung der Gesellschaft nach Verbesserung des Energiemanagements im Kontext des Klimawandels und

<sup>3</sup> Insgesamt gingen 28 Antworten aus 14 verschiedenen europäischen Ländern ein, zuzüglich 38 weiteren von Arbeitsschutzexperten (Gesundheitsschutz) aus den Niederlanden, die getrennt behandelt werden.

<sup>4</sup> Das Antwortpaket der niederländischen Arbeitshygieniker und Arbeitsschutzberater (insgesamt 38 Befragte) war in der 2009-Umfrage einmalig und wurde deshalb getrennt ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Auswertung stimmten durchaus mit den Ergebnissen der übrigen Antworten überein.

<sup>5</sup> Bartos PJM 2009, Nanotechnology in Construction 3, Proceedings of the NICOM3. ISBN 978-3-642-00980-8



nach dem Abbau von Treibhausgasen jedoch einen Anreiz für deren weitere Markteinführung.

### Technische Leistung

Die technische Leistung der Produkte ist eine zweite Hemmschwelle für die breite Einführung von Nanoprodukten. Die technische Leistung sollte gründlich nachgewiesen werden, damit auch die technischen Standards für dieses Material erfüllt werden. Das hängt ganz offensichtlich vom Marktsektor ab. Bei Beton ist dies zum Beispiel ein grundlegendes Thema. Bei selbstreinigenden Fensterbeschichtungen ist dieses Thema wesentlich irrelevanter, da zum Beispiel die Sicherheitsstandards deutlich niedriger sind.

### Kenntnisstand innerhalb des Sektors

Die (mangelnden) Kenntnisse stellen ein weiteres Schlüsselement dar, das die Einführung von Nanoprodukten im Baugewerbe hemmt. Ohne die entsprechenden Kenntnisse wissen die Betroffenen schlicht und ergreifend nicht, dass es neue anzuwendende oder auszuprobierende Materialien gibt. In Europa ist die Kenntnis von Nanotechnologien im Baugewerbe äußerst beschränkt und zählt derzeit noch zu den Merkmalen einer kleinen Anzahl von Schlüsselakteuren, die die Marktentwicklung vorantreiben. Die Ergebnisse der 2009-Umfrage von FIEC und EFBH zum Kenntnisstand unter den Bauarbeitern und deren Arbeitgebern sind in Bild 0-1 dargestellt; zu erkennen ist, dass die Mehrheit der Befragten (~75 %) nicht wusste, ob sie mit Nanoprodukten arbeiten oder nicht. Dieses Ergebnis basiert auf 28 beantworteten Fragebögen, wo ursprünglich 3 Rückmeldungen jeweils von den FIEC- und EFBH-Mitgliedern aus allen 24 EU-Ländern angestrebt waren (ein Gesamtziel von 144 Rückmeldungen)<sup>6</sup>.

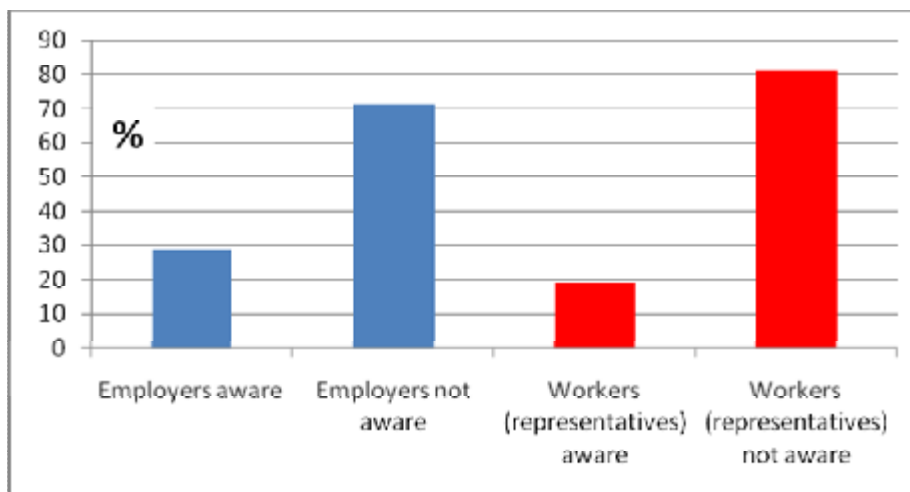


Bild 0-1 Antwort der Arbeitgeber und Arbeitnehmer(vertreter) in der 2009-Umfrage, die (nicht) wussten, ob Nanoprodukte an ihrem Arbeitsplatz vorhanden sind.

Die Umfrageergebnisse sollten jedoch mit Blick auf den Einsatz von Nanoprodukten im Baugewerbe nur als Anhaltspunkt für den aktuellen Wissenstand innerhalb des Sektors

<sup>6</sup> 14 unterschiedliche Länder beantworteten den Fragebogen mit einem typischen Zählwert von 1 oder 2 Rückmeldungen pro Land, die Niederlande ausgenommen. Die wesentlich höhere Rückmeldungsrate aus den Niederlanden ist durch das (nationale) Parallelprojekt bedingt, in dem es um Nanoprodukte im Baugewerbe und die damit verbundene Arbeitsplatzexposition geht.

ausgelegt werden. In der Tat ist es so, dass die 25 % der Befragten, die Kenntnisse haben, die tatsächlichen Zahlen auf Grund der positiven Auswahl eher überschätzen: Es liegt nahe, dass diejenigen eher antworten, die wissen, dass sie mit Nanoprodukten arbeiten. Dies ergab sich aus verschiedenen Anmerkungen der Arbeitnehmervertreter und Arbeitgeber in Reaktion auf die 2009-Umfrage, in der u. a. folgendes angeführt wurde:

- *„...Ich habe mit einer Reihe von Unternehmen über dieses Thema gesprochen und niemand ist über irgendwelche Materialien informiert, die diese Produkte enthalten. Ich habe auch mit einer Reihe von Personen des Health and Safety Executive gesprochen und auch sie sind nicht über das Vorkommen dieser Produkte informiert... (UK).“*
- *„...wir haben versucht, Informationen aus verschiedenen Untersektoren im Bauwesen zu erhalten, haben allerdings bis heute keine nützlichen Hinweise bekommen. Das Problem (und das ist keineswegs überraschend für uns) ist nach wie vor nicht bekannt (CH).“*
- *„...das Thema ist schlicht und ergreifend zu abstrakt und zu unbekannt, als dass die Umfrage überhaupt beantwortet werden könnte (NL).“*

Diese Aussagen führen zusammen mit den Ergebnissen der ausführlichen Interviews, die parallel zur 2009-Umfrage mit einer Reihe von betroffenen Hauptakteuren (wie BASF, HeidelbergCement, Skanska) geführt wurden, zu der Annahme, dass sich Nanotechnologien noch nicht entsprechend im Bausektor durchsetzen konnten. Eine Reihe von Kontakten mit verschiedenen KMU untermauern das Bild, dass Nanotechnologien heutzutage lediglich einen Nischenmarkt im Baugewerbe besetzen. Gegenteilige Anzeichen sind jedoch auch in einem Unternehmen vorzufinden, das beratend im Bereich Sicherheits- und Gesundheitsschutz im Installateur- und Elektrikersektor in Dänemark tätig ist, und darauf hinweist, dass ihnen *„...keinerlei Informationen über jegliche in diesen Sektoren verwendeten Nanoprodukte vorliegen, sie sich aber ziemlich sicher sind, dass einige der Produkte, die sie vorfinden, wirklich Nanoprodukte sind.“*

Die Befragten der 2009-Umfrage, die mit Nanoprodukten arbeiten, arbeiteten vorwiegend mit Zement- oder Betonprodukten, Beschichtungen oder Isoliermaterialien (siehe Bild 0-2). Weitere Produkttypen, einschließlich Produkten für den Straßenbelag, Flammenhemmstoffen oder Textilien wurden nur von einigen wenigen genannt. Alle Befragten verwendeten ihre Nanoprodukte aus Wettbewerbsgründen (Alternativprodukte ausgenommen) und gelegentlich auf den (zusätzlichen) Sonderwunsch eines Kunden.

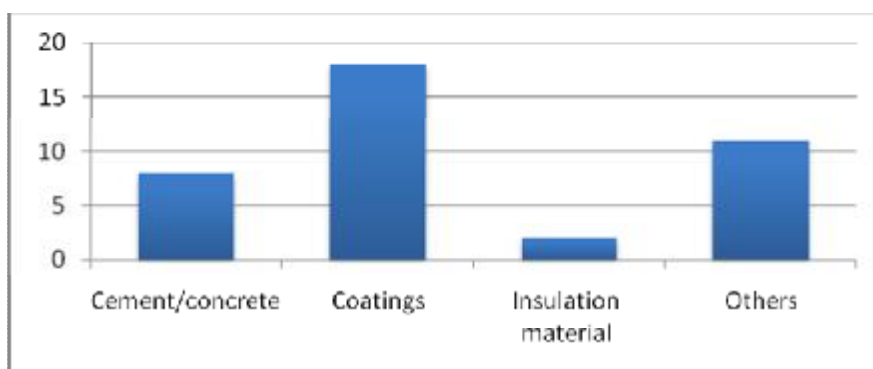


Bild 0-2 Nanoprodukte, von denen angegeben wurde, dass sie tatsächlich benutzt werden; Produktanzahl nach Produkttyp basierend auf den Ergebnissen der 2009-Umfrage

Interessant ist jedoch die Tatsache, dass einige der Befragten, die antworteten: *„Nein, mir ist nicht bewusst, dass ich mit Nanoprodukten arbeite“*, angaben, möglicherweise mit

bestimmten Nanoproduktarten zu arbeiten, wenn ihnen eine Liste mit besonderen Produkttypen vorgelegt wurde (~18 % aller Befragten: Arbeitnehmer, Arbeitnehmervertreter und Arbeitgeber). Die üblicherweise von diesen Befragten erkannten Produkttypen überschneiden sich mit den Produkten, die jene Befragten namentlich zitierten, die wissen, dass sie mit Nanoprodukten arbeiten (~21 % aller Befragten: Arbeitnehmer, Arbeitnehmervertreter und Arbeitgeber). Dies weist auf einen allgemeineren Wissensmangel in Bezug auf die eingesetzten Produktarten hin, könnte jedoch auch so ausgelegt werden, dass die Befragten bei spezifischen Produkten am ehesten erwarten, dass Nanoprodukte auftauchen können. Alternativ dazu könnte die Antwort jedoch auch durch Marketingeinflüsse in Verbindung mit einer technisch höheren Produktleistung hervorgerufen worden sein, die der Vorsilbe *Nano-* beigemessen wird und die darauf schließen lässt, dass alle 'neuen', 'einzigartigen' oder 'ultrastarken' Produkte als Nanoprodukte wahrgenommen werden.

#### Vorzüge der Nanotechnologien für den Sektor

Der Einsatz von Nanotechnologien zur Untersuchung und Entwicklung von verbesserten Materialien erfordert eine starke Forschungs- und Entwicklungsabteilung mit der Möglichkeit, teure Ausrüstungsgüter einzusetzen, die von qualifizierten Leuten verwendet werden. Da das Baugewerbe jedoch nie besonders forschungs- und entwicklungsorientiert war, finden Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Hinblick auf Nanoprodukte im Wesentlichen in großen multinationalen Unternehmen wie bei BASF, AKZO-NOBEL, DuPont, HeidelbergCement und Italcementi oder in spezialisierten (Universitäts- oder privaten) Forschungsinstituten statt. Dies bedeutet indirekt, dass KMU eine geringe oder gar keine Rolle in den gegenwärtigen Pionieraktivitäten für Nanoprodukte im Bausektor spielen. Ausnahmen bilden KMU-Spin-Offs, die einen Vertrag haben, der es ihnen erlaubt, die Forschungseinrichtungen größerer „Mutterunternehmen“ zu nutzen, KMU, die als Universitäts-Spin-Offs gegründet wurden (und die Universitätseinrichtungen nutzen dürfen) und ihren Schwerpunkt auf spezifische Nano-Nischenmärkte wie die Produktion und maßgeschneiderte Auslegung von besonderen Nanomaterialien konzentrieren, ebenso wie eine kleine Anzahl von KMU, denen es gelungen ist, die Erfolge und Durchbrüche größerer Unternehmen für die innovative Entwicklung ihrer eigenen Produktlinien zu verwenden.

Die Lage ändert sich allerdings gerade im Beschichtungssektor. Nanobeschichtungen gelten üblicherweise als 'weit' in ihrer Entwicklung, was andere Baustoffe wie Beton oder Isoliermaterialien anbelangt, und die Anwendungsverfahren für Nanomaterialien werden unter den Produktherstellern immer 'geläufiger'. Aus diesem Grund beginnen KMU im Bereich Farben und Beschichtungen ebenfalls eine Rolle zu spielen und ihre eigene Nanoproduktlinie herzustellen.

#### Das Kommunizieren von „Nano-“ in der gesamten Benutzerkette

Für den durchschnittlichen Bauarbeiter gelten detaillierte Kenntnisse über die chemische Zusammensetzung der Produkte, mit denen er arbeitet, nicht als oberste Priorität. Gefragt sind Informationen zur Technik sowie zum Arbeitsschutz. Das gilt für "normale" Produkte und ist auch für Nanoprodukte keineswegs anders. Der Zugriff auf standardisierte Methoden zur Bestimmung der beruflich bedingten Gesundheitsrisiken, die sich aus der Exposition gegenüber Nanoprodukten ergeben, ist Gegenstand der aktuellen Debatte und es gibt eine Reihe offener Fragen im Zusammenhang mit der Anwendbarkeit dieser Methoden. Folglich

besteht eine allgemeine Ungewissheit bezüglich der durch Nanoprodukte bedingten Sicherheits- und Gesundheitsschutzrisiken, die mit einer gewissen Vorsicht gehandhabt und verwendet werden sollten.

Nanomaterialien können (pro Gramm Material) wesentlich reaktionsfähiger sein als ihre entsprechenden Nicht-Nanoformen und äußerst unterschiedliche Verhaltensmerkmale aufweisen, weshalb sie gegebenenfalls ganz andere, viel schwerwiegendere Auswirkungen auf die Gesundheit haben können. Die festgelegten Sicherheitsgrenzen, ab denen eine Registrierung und Mitteilung der Sicherheits- und Gesundheitsschutzrisiken erforderlich wird, sind somit möglicherweise zu hoch, um einen sicheren Arbeitsplatz zu gewährleisten, und sollten herabgesetzt werden. Innerhalb Europas wird in Lobbyingaktivitäten von ETUI und EGB auf eine Änderung dieser Situation mittels einer Abänderung von REACH gedrängt, damit eine verbindliche Notifizierung sämtlicher willentlich einem Produkt beigemischten Nanomaterialien verbindlich gemacht wird.

Derzeit ist die Lage so, dass es nur begrenzte Möglichkeiten gibt, sich über die chemischen Einzelheiten eines Nanoprodukts zu informieren. Es gibt nur wenige Produkthersteller, die nanogroße Inhaltsstoffe oder Nanomaterialien verwenden und ihre Kunden über diese Tatsache informieren, da sie auf Grund der Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP)<sup>7</sup> nicht dazu verpflichtet sind. In der 2009-Umfrage geben die Befragten lediglich für 7 der 41 als im Einsatz befindlichen angeführten Nanoprodukte an, durch das Datenblatt für Material Sicherheit (MSDS) über die Produkteigenschaften informiert zu sein und lediglich in 4 von diesen MSDS werden Schutzmaßnahmen für das entsprechende Nanoprodukt vorgeschrieben, die sich von den vorgeschriebenen Maßnahmen für die vom gleichen Bauunternehmen vormals verwendeten (Nicht-Nano)Produkte unterscheiden (siehe Bild 0-3). Die erteilte Antwort lässt darauf schließen, dass für die Mehrheit der Produkte die Sicherheits- und Gesundheitsschutzaspekte des Produktes nur recht bescheiden in der Benutzerkette mitgeteilt werden (für 34 Produkte gibt es nach dem aktuellen Kenntnisstand der befragten Person, die ein Bauarbeiter oder ein Arbeitgeber sein kann, kein MSDS für das verfügbare Produkt). Für jene Produkte, für die ein MSDS mitgeliefert wird, hängt es vom Hersteller oder Lieferanten ab, ob in dem MSDS Sicherheits- und Gesundheitsschutzinformationen angeführt werden oder nicht, die speziell für diesen Nanoinhaltsstoff gelten. Für jene Produkte, die von den Befragten in der 2009-Umfrage angeführt wurden, wird in den meisten MSDS in keiner Form auf die Nanoinhaltsstoffe hingewiesen, während in den technischen Datenblättern gelegentlich eindeutig darauf hingewiesen oder angedeutet wird bzw. mitunter angedeutet zu werden scheint (beispielsweise im Produktnamen), dass das Produkt zumindest ein Nanomaterial enthält. Nanospezifische Informationen im technischen Datenblatt reichen von recht detaillierten Informationen wie Angabe der Größenordnung und mit Rasterelektronenmikroskopie erzeugtes Bild<sup>8</sup> des Nanopartikels oder Beschreibung des aktiven Oberflächenbereichs des Nanomaterials pro Gramm, bis hin zu sehr „einfachen“ Hinweisen darauf, dass das Produkt beispielsweise Nano-Quarz enthält (ohne weitere Angaben darüber, wie dieser Quarz aussieht).

---

<sup>7</sup> [http://ec.europa.eu/environment/chemicals/dansub/home\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/dansub/home_en.htm); deutsche Fassung von Verordnung (EG) Nr. 1272/2008: <http://eur-lex.europa.eu/JOHtml.do?uri=OJ:L:2008:353:SOM:de:HTML>

<sup>8</sup> abgekürzt: REM

In allen Fällen, in denen mehr Informationen über das Nanoprodukt bereitgestellt wurden, behaupten die Produkthersteller, ihr Produkt sei bei vorschriftsgemäßem Gebrauch ungefährlich und dass für den ordnungsgemäßen Gebrauch keinerlei (nano-)spezifische Fertigkeiten oder Schulungen erforderlich seien. Hinzu kommt, dass für die Mehrheit der in der 2009-Umfrage genannten Nanoprodukte die vorgeschriebenen Schutzmaßnahmen als *'kein Unterschied im Vergleich'* zu vergleichbaren Nicht-Nanoprodukten angegeben wurden. Es hieß auch, dass die Arbeitspraktiken nicht durch ihren Einsatz beeinflusst werden. Lediglich für zwei Produkte wurden mehr Schutzmaßnahmen im Vergleich zu Nicht-Nanoprodukten vorgeschrieben, die für ähnliche Anwendungen zum Einsatz kamen. Für Produkte der 2009-Umfrage gilt letztere Angabe für zwei zementartige Produkte mit Nano-Siliziumdioxid. Es gab allerdings auch Anzeichen, dass Nanoprodukte die Arbeiten erleichtern können.

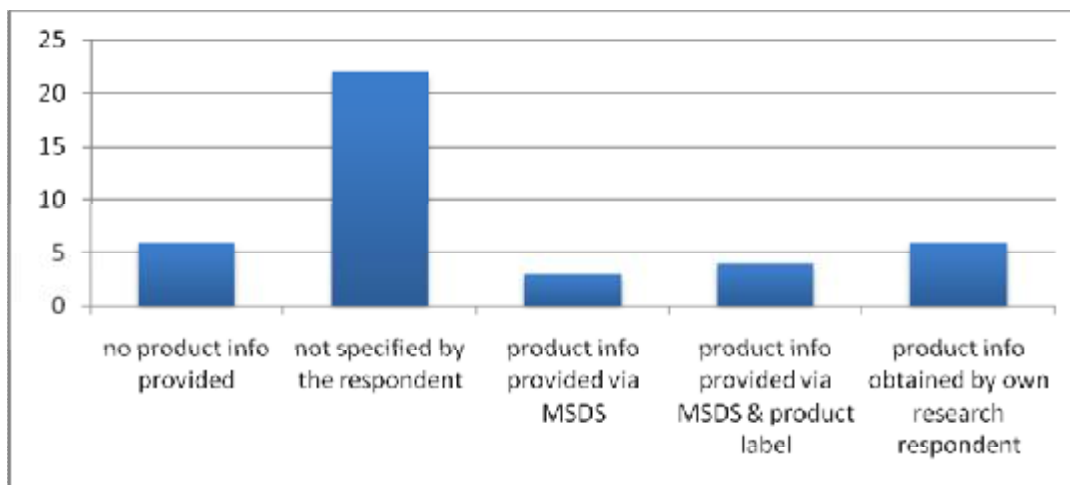


Bild 0-3 Spezifikation der Produktinformationen für Nanoprodukte, die laut Angaben in der 2009-Umfrage eingesetzt werden (Angaben in Zahlen)

Gegenwärtig lässt sich die Informationskette im Großen und Ganzen wie folgt darstellen (siehe auch Bild 0-4): die "Rohstoffhersteller" von Nanomaterialien machen detaillierte Angaben zu den Materialeigenschaften (wie Reaktionsfähigkeit, besondere Verhaltensmerkmale, Größe, Form, Kristallstruktur, Masse und Dichte) und den Besonderheiten in Sicherheits-, Gesundheitsschutz- und Umweltfragen (insofern diese bekannt sind) für den nächsten Benutzer in der nachgelagerten Kette (meistens der Produkthersteller). Je nach Geschäftsbeziehungen entsprechen diese Details lediglich den gesetzlichen Mindestanforderungen oder fallen etwas ausführlicher aus, wenn ein gegenseitiges Vertrauensverhältnis besteht. Zu diesem Zeitpunkt endet jedoch im Allgemeinen die Bereitstellung nanospezifischer Informationen in der Kette. Produkthersteller verwenden das Nanomaterial meist nur als Zusatzstoff in Mengen unterhalb der Registrierungs- und Meldepflicht. Nur wenige dieser Hersteller unterrichten ihre Kunden dennoch, manchmal indem sie mitunter lediglich mitteilen *„mit Hilfe von Nanotechnologien hergestellt“*, ohne dies genauer auszuführen. Für den Kunden bedeutet dies ein weiteres Ratespiel darüber, was sich nun tatsächlich in dem Nanoprodukt befindet.

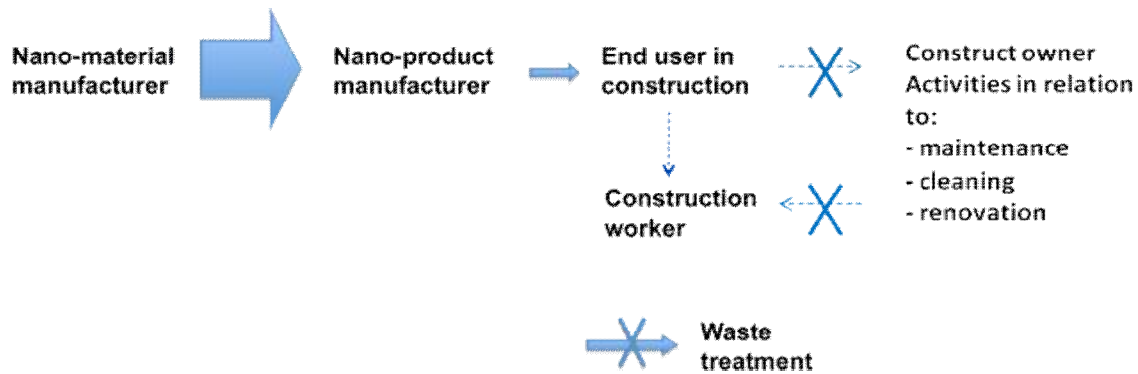


Bild 0-4 Intensität der Bereitstellung nanospezifischer Informationen in der nachgelagerten Benutzerkette vom Rohstofflieferanten bis hin zu jenen, die sich mit den Abfallstoffen befassen. Die Dicke der Pfeile weist grob auf die Menge nanospezifischer Informationen hin, die dem nächsten Benutzer in der Kette bereitgestellt wird.

## Nano verkauft sich

Nanotechnologien und die Produkte, die mit Hilfe dieser Technologie gefertigt werden, sollen zahlreiche der aktuell prioritären Themen wie die Erschöpfung der mineralischen Vorkommen, Umweltverschmutzung, Energieverbrauch und Ausstoß von Treibhausgasen lösen. Sogar Sicherheitsfragen wie Terrorangriffe und Weltfrieden seien mit ihrer Hilfe lösbar. Diese hohen Erwartungen führten dazu, dass *Nano-* mit Schlüsselbegriffen wie *Erfolg*, *Hochleistung* und *nachhaltige Entwicklung* gleichgesetzt wurden. Folglich begannen Unternehmen, aber auch Forscher, ihre Arbeiten als *Nano-* zu verkaufen, um somit Kunden anzuziehen oder entsprechende Finanzierungen zu erhalten. Dieser Trend setzte mehr oder weniger vor rund 10 - 15 Jahren ein und selbst jetzt, wo der Trend auf Grund der Anliegen im Bereich Sicherheits- und Gesundheitsschutz und des Drucks von Branchenorganisationen zur Vermeidung von Verwirrungen beim Thema 'Nano'<sup>9</sup> wieder rückläufig ist, wird *Nano-* nach wie vor zur besonderen Kennzeichnung von technisch äußerst leistungsstarken bzw. ausgefeilten, smarten Produkten verwendet.

Dies gilt übrigens nicht nur für Produkte, die Nanomaterialien enthalten. Auch relativ standardmäßige Produkte mit Enzymen (die nano-übliche Größen aufweisen) oder ölige Dispersionen (mit kleinen Öltröpfchen mit einem Durchmesser im Nanobereich) bekamen das Namensattribut *Nano-*. Ebenso Produkte, die als Grenzfälle betrachtet werden können, deren Vorläufermaterialien mittels Verfahren für Nanomaterialien oder die Nanoproduktion hergestellt werden, die jedoch in Wirklichkeit Inhaltsstoffe enthalten, die gar keine Nanomaterialien mehr sind. Die daraus resultierende Situation ist irreführend, da Nanoprodukte gelegentlich als Nicht-Nanoprodukte verkauft werden, aber auch das Gegenteil der Fall sein kann, nämlich dass Nicht-Nanoprodukte mitunter als Nanoprodukte auf den Markt kommen.

## 2.2 Aktivitäten zur Gewährleistung der Sicherheit am Arbeitsplatz

Trotz der oben genannten Punkte sind sich immer mehr Nanoprodukthersteller des Potenzials und der größtenteils unbekanntenen Sicherheits- und Gesundheitsschutzfragen im Zusammenhang mit dem Gebrauch und der Handhabung von Nanopartikeln bewusst. Auf der Baustelle kann es in folgenden Fällen zu einer Nanopartikel-Exposition kommen:

<sup>9</sup> Persönliche Angaben einer Reihe unterschiedlicher Materialhersteller.

1. beim Ersteinsatz eines Nanoproduktes: Arbeiten mit einem Nanoprodukt (ein gebrauchsfertiges Produkt oder ein Mehrfachkomponenten-Produkt, das vor Ort gemischt wird),
2. beim Zweiteinsatz eines Nanoproduktes: zerstörende Bearbeitung eines Nanoproduktes (z. B. Bohr-, Schleif- oder Reinigungstätigkeiten).

Es bedarf insbesondere dann einer sorgfältigen Risikobeurteilung, wenn diese Tätigkeiten die Handhabung von staubigen oder flüssigen Materialien oder die Entstehung von Staub oder Aerosolen beinhalten. Typische Beispiele sind das Aufsprühen von Nanobeschichtungen, das Beimischen von Quarzstaub im Mörtel, das Sandstrahlen einer fotoaktiven Betonfassade oder das Reinigen einer antibakteriellen (silberhaltigen) Wand. Andererseits gelten die Expositionsrisiken gegenüber Nanopartikeln durch die Handhabung von (vorgefertigten) Feststoff-Nanoprodukten wie nano-aufgewertete Keramik-, Glas-, Stahlgüter, Kunststoffe, Verbundstoffe, Isoliermaterialien, Beton oder Holz, ohne diese in irgendeiner Weise zerstörend zu bearbeiten, (wenn überhaupt) als niedrig, da davon ausgegangen wird, dass die Nanopartikel in der Feststoffmatrix eingekapselt bleiben. Es könnte jedoch im Laufe der Zeit mit dem Verschleiß des Materials zu einer Exposition kommen, insbesondere wenn das Gebäude renoviert oder abgerissen wird.

In einem ersten Versuch zur Herstellung eines sicheren Arbeitsplatzes ist den Empfehlungen verschiedener Organisationen sowie bedeutender Materialhersteller und der Europäischen Kommission zufolge ein präventiver Ansatz erforderlich. Als Folge der ständigen Unterstreichung der Einhaltung eines präventiven Ansatzes in den einzelnen Verhaltenskodizes – was auch von der Europäischen Kommission und den größeren Interessengruppen in der Industrie wie BASF und Dupont unterstützt wird -, erfolgt die Produktion eines Großteils der Nanopartikel und Nanomaterialien in Flüssigform (Suspensionen oder Lösungen) in einem 'druckfreien' oder abgedichteten Umfeld, um somit eine maximale Partikelkontrolle und minimale Expositionsrisiken zu gewährleisten. Aus diesen Gründen - und anders als noch vor einigen Jahren - liefern Produkthersteller die meisten nanogroßen Zuschlagstoffe als gebrauchsfertige Suspension oder Lösung. Ist dies - wie im Fall von Quarzstaub für ultrahochfesten Beton (UHPC) - nicht möglich, so dass die Zuschlagstoffe in Pulverform beibehalten werden müssen, werden andere Lösungen zur Expositionsprävention gesucht, wie der Einsatz von wasserlöslichen Verpackungsmaterialien (Big Bags), die die vorgesehenen Produkteigenschaften (Beton) nicht beeinträchtigen.

Es ist jedoch nach wie vor äußerst schwierig festzulegen, ob bestimmte Arbeitspraktiken und die ergriffenen Schutzmaßnahmen für ein sicheres Arbeiten ausreichen oder nicht. Messgeräte zur Bestimmung der tatsächlichen Arbeitsplatzexposition sind äußerst kostspielig, schwer zu bedienen und liefern zudem nur begrenzte Antworten auf die eigentlichen Expositions niveaus. Den heutigen Kenntnissen zufolge gibt es verschiedene persönliche Schutzausrüstungen am Markt, die vor einer Nanopartikelexposition schützen. Informationen zu persönlichen Schutzausrüstungen sind einer jüngsten Studie der OECD zu entnehmen, die einem umfassenden Überblick über den Vergleich von Anleitungen zur Auswahl von Haut- und Atemschutzausrüstungen zum Schutz der Arbeiter vor einer möglichen Exposition gegenüber hergestellten Nanomaterialien enthält.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> OECD Environment, Health and Safety Publications Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Nr. 12 (2009) ENV/JM/MONO(2009)17

## 3. Nanoprodukte auf der Baustelle

### 3.1 Einleitung

Der Gesamtmarktanteil von Nanoprodukten im Baugewerbe ist klein und gilt für Nischenmärkte<sup>11</sup>. Dieser Anteil soll jedoch in naher Zukunft wachsen<sup>12</sup> und es wird davon ausgegangen, dass Nanopartikel eine wichtige Rolle in der Materialkonstruktion, -entwicklung und -produktion für das Baugewerbe<sup>13</sup> spielen werden. Bereits jetzt ließen sich im Prinzip in fast jedem Teil eines Durchschnittshauses oder -gebäudes Nanoprodukte auffinden (siehe Bild 0-5).

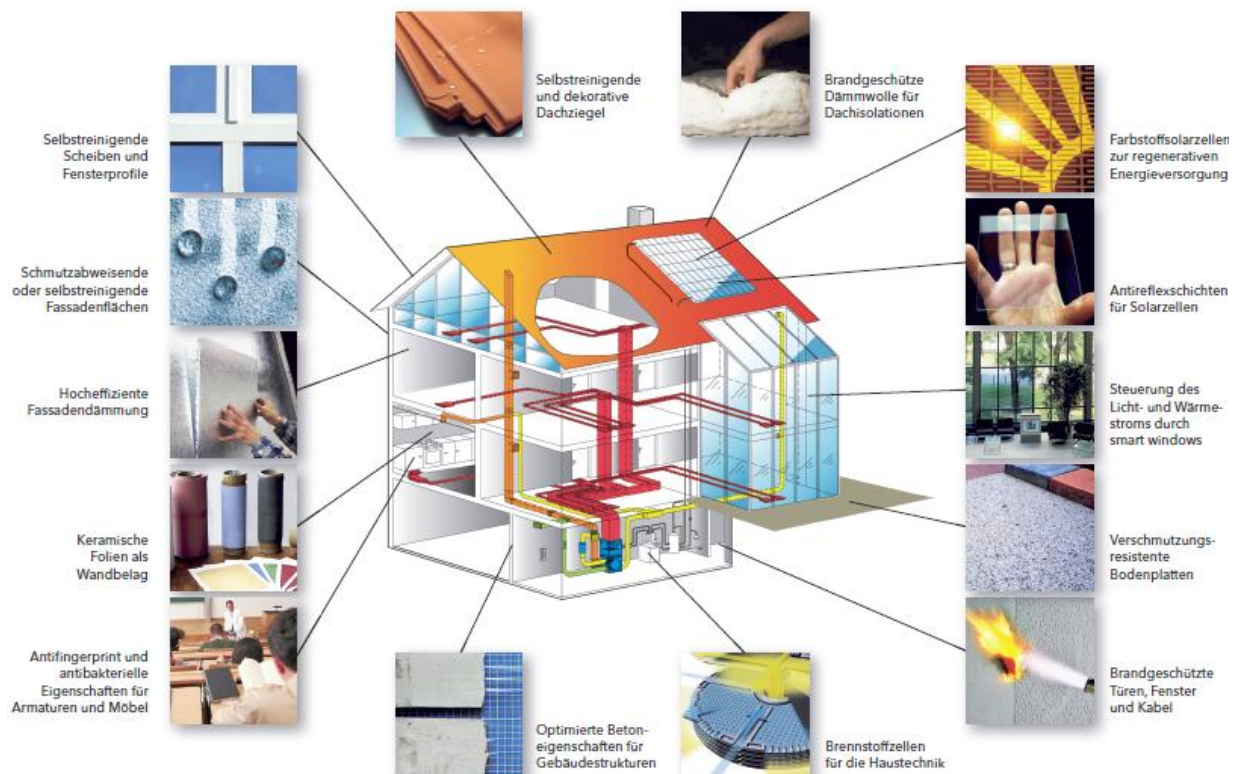


Bild 0-5 Schematische Übersicht eines typischen Hauses unserer Zeit, die zeigt, wo sich Nanoprodukte befinden könnten<sup>14</sup>.

Die in der 2009-Umfrage angegebenen Nanoprodukte bezogen sich vorwiegend auf Zement und Beton, Beschichtungen und Isoliermaterialien. Diese galten als gute Entsprechung der Produkttypen, die im Rahmen der ausführlichen Interviews benannt wurden, was darauf schließen lässt, dass Beschichtungs- sowie Zement- und Betonmaterialien, gefolgt von Isoliermaterialien womöglich den größten Marktanteil von Nanoprodukten im heutigen

<sup>11</sup> Persönliche Angabe

<sup>12</sup> Von \$ 20 Millionen (US) 2007 auf ~ \$ 400 Millionen (US) vor Ende 2017; Freedonia Group Inc. *Nanotechnology in Construction* –Pub ID: FG1495107; 1. Mai 2007

<sup>13</sup> Nanotechnologie im Bauwesen 2006; [www.hessen-nanotech.de](http://www.hessen-nanotech.de)

<sup>14</sup> Auszug aus der Broschüre „Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen“, Hrsg. HA Hessen Agentur 2007, Quellen: Schrag GmbH VDI TZ



Baugewerbe ausmachen. Dies stimmt auch durchaus mit den Ergebnissen aus einer umfangreichen Literaturstudie überein, die im Kontext des vorliegenden Berichts durchgeführt wurde. Folglich galten Zement und Beton, Beschichtungen und Isoliermaterialien als vorrangige Schwerpunkte. In diesem Kontext sind die am häufigsten erwähnten Nanopartikel Kohlenstofffluorid- (CF-)Polymere, Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ), Zinkoxid ( $\text{ZnO}$ ), Siliziumdioxid (oder Silikastaub,  $\text{SiO}_2$ ), Silber (Ag) und Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Ferner ist es interessant, festzustellen, dass keinerlei Nachweis für den Einsatz von Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT) in diesen Produkten erbracht werden konnte, obwohl zahlreiche Veröffentlichungen eine dahingehende Forschung und Produktentwicklung belegen.

Kohlenstofffluorid-Polymere (CF-Polymere) sind teflonartige Moleküle, die auf eine Oberfläche aufgetragen werden, um dieser wasser- und ölabweisende Eigenschaften zu verleihen. Als typischer Anwendungsbereich gilt Glas.

Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) saugt UV-Licht auf und wird als Schutzschicht vor dem UV-Abbau eingesetzt. Einige  $\text{TiO}_2$ -Arten sind photokatalytisch und katalysieren den Abbau organischer Verunreiniger wie Algen, PAK, Formaldehyd und  $\text{NO}_x$  unter dem Einfluss von UV-Licht. Anwendungsbereiche sind fast alle Oberflächenarten, die UV-geschützt oder selbstreinigend sein oder die zur Senkung der Luftverschmutzung beitragen sollen.

Zinkoxid ( $\text{ZnO}$ ) weist ähnliche fotoaktive Eigenschaften wie  $\text{TiO}_2$  auf und ist in ähnlichen Anwendungen einsetzbar.

Quarzstaub (amorphes  $\text{SiO}_2$ ) bindet Beton, macht diesen unter alkalischen Bedingungen wie in einem Meeresumfeld fester und langlebiger. Ferner kann es zur Stabilisierung von Füllstoffen wie Flugasche-Beton beigemischt werden oder einem Beschichtungsmaterial, was zu einer äußerst starken Matrix führt; er ist auch als feuerhemmendes Mittel einsetzbar. Zu den typischen Anwendungsbereichen zählen UHPC (ultrahochfester Beton), kratzfeste Beschichtungen und Brandschutzglas.

Silber (Ag) agiert als Bakterizid und kann allen möglichen Materialien beigemischt werden. Im Baugewerbe findet man Silber meist in Beschichtungen vor. In der Tat ist es das Silberion, das entsteht, wenn sich Ag in Wasser auflöst, welches die antibakteriellen Eigenschaften verleiht.

Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) wird in Beschichtungen für das Zusammenspiel mit dem Bindemittel und als Zuschlagstoff für äußerst kratzfeste Beschichtungen eingesetzt.

### 3.2 Zement, Beton und Mörtel

Bei Beton wirft die Kombination eines bereits gegebenen guten Preis-Leistungs-Verhältnisses eine große Herausforderung für jegliche erfolgreiche Anwendung von Nanotechnologien auf<sup>15</sup>. Einer der Bereiche, in dem sich Nanotechnologien jetzt und in naher Zukunft als äußerst wertvoll erweisen, ist ein besseres Verständnis und die Optimierungen der Materialeigenschaften<sup>16</sup>.

Der Einsatz von Nanopartikeln in zementartigen Materialien und Betonstoffen ist auf  $\text{TiO}_2$  und Quarzstaub konzentriert. Beide Zuschlagstoffe werden jedoch in kleinen Mengen oder in zweischichtigen Systemen verwendet und das angesichts der involvierten Kosten auch nur, wenn es aus Leistungsgründen speziell erforderlich ist. Derzeit am Markt erhältliche Produktbeispiele auf der Grundlage von Silikastaub lauten Chronolia™, Agilia™ und Ductal™ von Lafarge und EMACO®Nanocrete von BASF<sup>17</sup>. Beispiele von photokatalytischem Zement

<sup>15</sup> NICOM3, Tagungsbericht 2009

<sup>16</sup> Verschiedene Präsentationen und persönliche Angaben einer Reihe von Unternehmen und Universitätswissenschaftlern anlässlich von NICOM3, Prag 2009

<sup>17</sup> Ihren Informationen zufolge handelte es sich bei dem ursprünglichen Material in der Tat um eine Form von Silikastaub, der im Rahmen des Produktionsverfahrens zu größeren Partikeln angehäuft wurde.

lauten TioCem TX Active (Heidelberg Zement<sup>18</sup>), NanoGuardStone-Protect der Nanogate AG<sup>19</sup> und TX Arca und TX Aria (ItalCementi), die als Bindemittel für eine breite Palette von Beschichtungsmaterialien hergestellt werden wie Außenwände, Tunnel, Betonböden, Pflasterklötze, Kacheln, Dachziegeln, Farben für die Straßenmarkierung, Betonplatten, Putz und zementartige Farben<sup>20</sup>.



Bild 0-6 Links: Die Produktpalette EMACO® Nanocrete. Rechts: Die Jubiläumskirche in Rom, einer der meist zitierten Erfolge mit photokatalytischem Beton unter Beimischung von TiO<sub>2</sub>. Material: TX Active (TX Arca) von ItalCementi.

Es gab keinerlei Anzeichen für den tatsächlichen Gebrauch von CNT-bewehrtem Beton (mit Kohlenstoff-Nanoröhren bewehrter Beton. Als Gründe wurden die hohen Kosten von CNT und die Schwierigkeit genannt, diese in einer Matrix zu verteilen. Die Untersuchung der Anwendungsmöglichkeiten von CNT in Beton stellt jedoch einen aktiven Forschungsbereich dar.

Auf Grund der strengen Qualitätsanforderungen dauert die Materialentwicklung im Allgemeinen zwischen 5 und 10 Jahren). In naher Zukunft ist mit Entwicklungen im Bereich Silikastaub zur Stabilisierung von Beton mit erheblichen Anteilen recycelter Betonaggregate<sup>15</sup> sowie eingekapselter Zuschlagstoffe zur optimalen Feinabstimmung des Aushärtungsverfahrens zu rechnen.

### 3.3 Beschichtungen und Farben

Von allen Nanoprodukten im Baugewerbe waren Beschichtungen und Farben bislang womöglich am erfolgreichsten bei der Eroberung einer Marktposition: „*Vorausgesetzt, man findet überhaupt ein Nanoprodukt auf einer Durchschnittsbaustelle, so ist die Wahrscheinlichkeit, Nanofarben oder -beschichtungen vorzufinden, bei weitem am größten*“<sup>21, 22</sup>. Dekorative Beschichtungen kommen äußerst häufig vor, aber auch ultraleistungsstarke Baubeschichtungen wie industrielle Bodenbeschichtungen wurden gefunden. Nanotechnologien werden aus folgenden Gründen in Farben und Beschichtungen verwendet:

1. Nanopartikel agieren auf Grund einer stärkeren Durchdringung, eines besseren Deckungsgrads oder eines besseren Zusammenspiels zwischen Beschichtung und

<sup>18</sup> Ihren Informationen zufolge ist das in diesem Produkt enthaltene TiO<sub>2</sub> nicht nanogroß, sondern geringfügig größer, d. h. im Mikronbereich.

<sup>19</sup> <http://www.nanogate.de/en/>

<sup>20</sup> <http://www.italcementigroup.com/ENG/Italcementi+Group/>

<sup>21</sup> Persönliche Angabe

<sup>22</sup> <http://www.soci.org/Chemistry-and-Industry/Cnl-Data/2009/16/Nanocoatings-incognito>

- Oberfläche besser mit der darunterliegenden Oberfläche als ihre größeren Pendant, was zu einer langlebigeren Oberflächendeckung führt.
2. Nanopartikel sind im sichtbaren Licht transparent.
  3. Die Transparenz öffnet die Tür zu neuartigen Zuschlagstoffen mit neuen Eigenschaften für normalerweise nicht transparente Beschichtungen wie etwa hoch kratzfeste oder UV-beständige, IR-absorbierende bzw. -reflektierende, feuerbeständige, elektrisch leitfähige und antibakterielle und selbstreinigende Eigenschaften.

Diese fließen in die Entwicklung neuer Beschichtungssysteme für fast alle denkbaren Oberflächen von Kunststoffen bis hin zu Stahl ein. Innerhalb dieser Produktgruppe von Nanobeschichtungen gilt der Schwerpunkt antibakteriellen Beschichtungen (Beimischen von  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$  oder  $\text{Ag}$ ), photokatalytischen "selbstreinigenden" Beschichtungen ( $\text{TiO}_2$  oder  $\text{ZnO}$ ), UV- und IR-reflektierenden bzw. -absorbierenden Beschichtungen ( $\text{TiO}_2$  oder  $\text{ZnO}$ ), feuerhemmenden Beschichtungen ( $\text{SiO}_2$ ) und kratzfesten Beschichtungen ( $\text{SiO}_2$  oder  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Diese Funktionalitätsarten kommen im Allgemeinen bei Wandbeschichtungen (innen oder außen), Holzfassaden, Glas und verschiedenen Straßenbelägen zum Einsatz.

#### Photokatalytische, antibakterielle und selbstreinigende Wandfarben

Die am häufigsten vorzufindenden Nanowandfarben werden für ihre photokatalytischen, antibakteriellen oder selbstreinigenden Eigenschaften vermarktet. Beispiele selbstreinigender, photokatalytischer Beschichtungen sind Arctic Snow Professional Interior Paint von Arctic paint LTD ( $\text{TiO}_2$ ), Cloucryl der Alfred Clouth Lackfabrik GmbH&Co KG<sup>23</sup> ( $\text{ZnO}$ ) und Amphisilan von Caparol<sup>24</sup>. Ein Beispiel für eine antibakterielle Beschichtung basierend auf Nano-Ag ist Bioni Hygienic der Bioni CS GmbH (siehe auch Bild 0-7)<sup>25</sup>. Eine leicht zu reinigende Beschichtung, die sowohl wasser- als auch ölabweisend ist, ist Fluowet ETC100 (beruhend auf CF-Polymeren von Clariant).



Bild 0-7 Eine antimikrobielle Wandbeschichtung mit nanogroßen Silberpartikeln für den Gebrauch in Kliniken und Krankenhäusern

#### Nanobeschichtungen für Holzoberflächen

Nanobeschichtungen für Holzprodukte werden für (Außen)wände und Fassaden entwickelt, ebenso wie für Parkettböden und Möbel, wobei der Schwerpunkt auf wasserabweisenden und in geringerem Maße ölabweisenden, kratzfesten und UV-schützenden Eigenschaften liegt. Obwohl es mehrere Produkte am Markt gibt, herrscht angesichts der Qualität einiger Produkte der ersten Generation dennoch Skepsis hinsichtlich der Dauerhaftigkeit, insbesondere was die wasser- und UV-abweisenden Beschichtungen anbelangt<sup>26</sup>. Folglich ist

<sup>23</sup> [http://www.clou.de/frontend\\_live/start.cfm](http://www.clou.de/frontend_live/start.cfm)

<sup>24</sup> aus Kostengründen mit mikrogroßem  $\text{TiO}_2$ , aber nanogroßem  $\text{SiO}_2$  für eine hohe Kratzfestigkeit.

<sup>25</sup> <http://www.bioni.de/index.php?lang=en>

<sup>26</sup> Persönliche Angaben von unterschiedlichen Beschichtungsherstellern und Personen aus dem Holzsektor

es für Beschichtungen der neuen Generation schwierig, sich zu bewähren, und Beispiele tatsächlicher Anwendungsfälle auf der Baustelle sind rar.

BYK Additives & Instruments<sup>27</sup> ist ein Beispiel für ein Unternehmen, das für die neue Generation UV-schützender Beschichtungen wirbt. Diese können auf organischen UV-Absorbern<sup>28</sup> oder den Metalloxiden ZnO und CeO<sub>2</sub> beruhen. TiO<sub>2</sub> ist aus Gründen der Transparenz und photokatalytischen Aktivitäten weniger gebräuchlich.

Beispiele hoch kratzfester Holzlacke mit Nano-SiO<sub>2</sub> sind Bindzil CC30 (Baril Coatings), Nanobyk 3650 (BYK Additives & Instruments) und Pall-X Nano (Pallmann). Nanobyk 3600 (BYK Additives & Instruments) ist ein Beispiel für hoch kratzfeste Beschichtungen basierend auf der Beimischung von nanogroßen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Partikeln.

Im Gegensatz zu externen Verschleißfaktoren wie UV-Licht oder Kratzern zählt das Ausbluten komplexer Chemikalien wie Tannine, die im Laufe der Zeit die Holzoberfläche verblässen lassen, zu einem Teil der Holzeigenschaften. Durch die Behandlung der Holzoberflächen mit einer Nanoton-Beschichtung (wie Hydrotalcit Mg<sub>4</sub>Al<sub>2</sub>(OH)<sub>12</sub>CO<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O, Nuplex) kann dieser Prozess verzögert werden. Produkte aus dieser Palette werden ebenfalls von BYK hergestellt.

Wasser- oder ölabweisende Nanobeschichtungen für Holz lauten beispielsweise 2937 GORI Professional Transparent von Dyrup Denmark<sup>29</sup>, Percenta Nano Wood & Stone Sealant<sup>30</sup> (Schutz von Holz- und Steinmaterialien vor Wasser und Öl, meist beruhend auf CF-Polymeren), Pro-Sil 80 von NanoCer<sup>31</sup> und Nanowood von Nanoprotect<sup>32</sup>. Von diesen beruhen einige Beschichtungen allerdings auf nanogroßen 'Fettmizellen' (Aggregate von Partikeln) in Wasser. Obwohl Mizellen im Nanotechnologieverfahren hergestellt werden, sollten sie nicht als Nanopartikel betrachtet und die Beschichtungen folglich nicht als Nanobeschichtungen bezeichnet werden.

#### Nanobeschichtungen für Glas

Neben den selbstreinigenden, photokatalytischen, hitzebeständigen, entspiegelten und Antibeschlagbeschichtungen für Glas gibt es interessante Entwicklungen im Bereich Raumklimakontrolle (Blockieren von Infrarot- und sichtbarem Licht). Sowohl (re-)aktive als auch passive Lösungen sind vorzufinden. Passive sind in Form von feinen, ständig arbeitenden Folien vorhanden<sup>33</sup>; bei aktiven Lösungen zur Raumklimakontrolle kommen thermochrome, photochrome oder elektrochrome Technologien zum Einsatz, die durch Ändern der Infrarotlichtabsorption zur Kühlung des Gebäudes jeweils auf die Temperatur, Lichtintensität oder die beaufschlagte Spannung reagieren. Letzteres ist das einzige System, das sich händisch steuern lässt. Indem das Glas durch einfaches Berühren einer ähnlichen Vorrichtung wie ein Lichtschalter mit Spannung belegt wird, wird eine Wolframoxidschicht

---

<sup>27</sup> <http://www.byk.com>

<sup>28</sup> z. B. Hydroxyphenylbenzotriazole, Hydroxybenzophenone, Hydroxyphenyl-S-Thiazine oder Oxalilanilide

<sup>29</sup> [www.dyrup.com](http://www.dyrup.com)

<sup>30</sup> <http://en.percenta.com/nanotechnology-wood-stone-sealing.php>

<sup>31</sup> <http://www.intelcoats.com/nanop%20Indnanocer%20engl.html>

<sup>32</sup> <http://www.nanoprotect.co.uk/wood-protection.html>

<sup>33</sup> Beispiele von Unternehmen, die diese bewerben, sind die Econtrol®-Glas GmbH & Co, 3M und Saint-Gobain

auf die Glasoberfläche aufgetragen, die dadurch opaker (lichtundurchlässiger) wird und mehr Infrarotlicht absorbiert (siehe z. B. Bild 0-8).



Bild 0-8 (links) Glasfassaden für Gebäude bieten eine breite Palette an nanotechnologischen Innovationen im Baugewerbe, (rechts) elektrochromes Glas.

### 3.4 Nanotechnologien und Infrastruktur

Im Bereich Nachhaltigkeit und Umweltschutz, wird in der Forschung und Entwicklung die Möglichkeit untersucht, die Luftverschmutzung durch Abgase über eine  $\text{TiO}_2$ -aktivierte Infrastruktur zu kontrollieren. Dazu wurden Produkte wie NOxer<sup>®34</sup>-Pflasterklötze aus Beton und KonwéClear<sup>35</sup>, eine zementartige Asphaltbeschichtung, entwickelt (siehe Bild 0-9). Eine Reihe verschiedener Unternehmen wie Italcementi und HeidelbergCement stellen so auch Materialien in Form von Backsteinen, Klötzen, Platten, Kacheln und Schallmauern her.



Bild 0-9 Von links nach rechts: ein Bürgersteig in Japan mit NOxer<sup>®</sup>, TX Aria Pflasterklötze und eine Tunnelbeschichtung (Italcementi), eine KonwéClear-Straße (Bouwend Nederland Podium 22, 14. Dez. 2006).

### 3.5 Isoliermaterialien

Unter den im Baugewerbe verwendeten Nanoprodukten gelten Isoliermaterialien insofern als etwas außergewöhnlich, als dass diese Materialien häufig keine Nanopartikel enthalten, aber aus Nanoschaum (oder festem Schaum (Aerogel) mit Nanoblasen oder Nanolöchern hergestellt werden. Insbesondere aus Sicht des Arbeitsschutzes ist dieser Unterschied von großer Bedeutung, denn er legt nahe, dass vom Arbeiten mit diesen Materialien keine *nanospezifischen* Gesundheitsrisiken ausgehen.

Nanoporöse Isoliermaterialien wie fester Schaum (Aerogele) und bestimmte Polymer-Nanoschäume können sich als 2- bis 8-fach effizienter als traditionelle Isoliermaterialien erweisen (Bild 0-10). Bei den heutzutage für Aerogele zur Wärmedämmung vorzufindenden Materialien handelt es sich meist um Siliziumdioxid oder Kohlenstoff mit einem Luftanteil von rund 96 Prozent<sup>36</sup>. Ein Beispiel ist Insulair<sup>®</sup> NP, eine nanoporöse, flexible Gelistrierdecke

<sup>34</sup> <http://www.eurovia.com/en/produit/136.aspx>

<sup>35</sup> <http://hbo-kennisbank.uvt.nl/cgi/av/show.cgi?fid=3698>

<sup>36</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Aerogel>

von Insulcon B.V.<sup>37</sup> (Bild 0-10), die speziell für Anwendungsbereiche mit Extremtemperaturen geeignet ist.



Bild 0-10 Von links nach rechts: verbesserte Isolierung mittels Aerogel-basierten Materialien; Aerogel: ausgeschiedene Nanoporen in einer SiO<sub>2</sub>-Matrix<sup>38</sup>; flexible nanoporöse Isolierdecken von Insulcon B.V. (2x)

Weitere Produkte in diesem Bereich lauten Roof Acryl Nanotech (beruhend auf einem nanostrukturierten Fluor-Polyurethan-Bindemittel in Verbindung mit einer photokatalytischen Eisenoxid-Oberschicht)<sup>39</sup> von BASF und Relius Benelux für die Kälte- und Wärmedämmung von Dächern, PCI Silent von BASF als Schallsolierung, Spaceloft (speziell für das Baugewerbe entwickelt) und Pyrogel XT von Aspen Aerogels<sup>40</sup> basierend auf einer nanoporösen Siliziumdioxidstruktur, Pyrogel XTF und Pyrogel 2250 von Aspen Aerogels beruhend auf einer nanoporösen Siliziumdioxidstruktur, die speziell für einen einzigartigen Brandschutz ausgelegt wurde, Cryogel Z von Aspen Aerogels ebenfalls beruhend auf einer nanoporösen Siliziumdioxidstruktur, die speziell für eine spezielle Kälteisolierung ausgelegt ist.

---

<sup>37</sup> [http://www.insulcon.com/page/products/Microporous\\_and\\_Nanoporous\\_products.htm](http://www.insulcon.com/page/products/Microporous_and_Nanoporous_products.htm)

<sup>38</sup> <http://www.spaceflightnow.com>

<sup>39</sup> <http://www.relius.nl/ViewDocument.asp?DocumentId=419&MenuId=90&MenuLabel=News>

<sup>40</sup> <http://www.aerogel.com/>

## 4. Gesundheitsrisiken

### 4.1 Einleitung

Es wird zunehmend nachgewiesen, dass Nanomaterialien für Menschen gefährlicher sein könnten als ihre mikrogroßen Entsprechungen. Die Betonung sollte jedoch auf dem Wort 'könnten' liegen, da der aktuelle Wissensstand (2009) zu begrenzt ist, als dass verallgemeinert werden könnte. Deshalb ist ein präventiver Ansatz beim Arbeiten mit diesen Materialien ratsam. Die beiden Hauptfaktoren, die eine neuartige Toxizität von Nanomaterialien beeinflussen, sind *Größe* und *Form*.

Auf Grund der geringen Größe von Nanopartikeln (entweder zweidimensionale Nanostäbchen oder dreidimensionale Nanopartikel) weisen sie unterschiedliche elektronische Verhaltensmerkmale auf, was sich in ihrer chemischen Reaktionsfähigkeit widerspiegelt, die gegenüber der normalen Funktionsweise des menschlichen Körpers immer aggressiver wird. Beispielsweise lösen eine Reihe von untersuchten Nanomaterialien ausgeprägtere entzündende Wirkungen (über einen Mechanismus namens oxidativer Stress) aus, sammeln bzw. binden sich effizienter an bestimmten Teilen des menschlichen Körpers und verhindern somit deren ordnungsgemäße Funktionsweise. Hinzu kommt, dass ihr Oberflächenbereich auf Grund ihrer geringen Größe im Verhältnis zu ihrem Partikelvolumen (und ihrer Masse) relativ vergrößert wird, so dass sie pro Masseinheit wesentlich reaktiver werden.

Die Größenreduzierung und Abänderung der elektronischen Eigenschaften beeinflussen zudem ihr physikalisches Verhalten. Genannt seien ein paar Beispiele:

- Nanopartikel können so klein sein, dass sie sich wie Gase verhalten.
- Nanopartikel können so klein sein, dass sie tiefer in die Lunge eindringen und leichter in die Blutbahn geraten.
- Anders als die meisten anderen chemischen Stoffe können sie über das Nervensystem der Nase aufgenommen und "leicht" in das menschliche Gehirn transportiert werden<sup>41</sup>.
- Einige Nanopartikel können gegebenenfalls in die Plazenta gelangen und dort den Fötus erreichen<sup>42</sup>.
- Auf Grund ihrer Größe und ihrer Oberflächenbeschaffenheit können sie Stellen im menschlichen Körper erreichen (Zellen, Organe), die vor derartigen Invasionen durch größere Formen sehr gut geschützt waren.
- Und auf Grund ihrer Größe und Oberflächenbeschaffenheit dringen sie leichter durch die menschliche Haut als ihre größeren Entsprechungen, insbesondere, wenn die Haut leicht beschädigt ist (geschwächt, trocken, sonnenverbrannt, abrasiv).

Zusätzlich zur Größe spielt auch die besondere Form der Nanopartikel eine Schlüsselrolle im toxischen Verhalten der Materialien. Während Partikel beispielsweise relativ ungiftig sein können, können sich Nanostäbchen wie Nadeln verhalten, die das menschliche Gewebe durchstechen. Aber auch das Gegenteil wurde festgestellt: Nanopartikel, die auf Grund ihrer

---

<sup>41</sup> Oberdorster G et al. 2004, Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhalation Toxicology* 16 (6-7): 437-445

<sup>42</sup> Hagens WI et al. 2007, What do we (need to) know about the kinetic properties of nanoparticles in the body? *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 49: 217-229

Form und Oberflächenbeschaffenheit in der Lage sind, spezifische menschliche Hindernisse zu überwinden.

Weitere Faktoren, bei denen nachgewiesen wurde, dass sie eine wichtige Rolle bei der Festlegung nanotypischer Gesundheitsrisiken darstellen, sind der Aggregat- und Agglomeratstatus des Materials und dessen Morphologie/Gestalt (amorph, also gestaltlos oder kristallin), die die tatsächliche Wahrscheinlichkeit beeinflussen, gegenüber nanogroßen Materialien exponiert zu werden, ebenso wie die Intensität der potenziellen Gefahren dieses Materials. Unabhängig von den innewohnenden Gefahren gilt jedoch als Schlüssel für jegliches Gesundheitsrisiko durch Nanomaterialien oder -produkte die tatsächliche Expositionswahrscheinlichkeit.

## 4.2 Möglichkeiten der Exposition

Wenn es um die Exposition gegenüber Nanopartikeln geht, sind Bauarbeiter zunächst (fast ausnahmslos) Nanoprodukten ausgesetzt. Dies hat Auswirkungen auf die tatsächliche Exposition der Arbeiter gegenüber den Nanopartikeln im Produkt. Atmet ein Arbeiter beispielsweise Nanopartikel enthaltenden Staub ein, so hängt die tatsächliche Dosis Nanopartikel, der der Arbeiter ausgesetzt ist, von der Löslichkeit des Staubes ab. Ist der Staub nicht löslich, so verbleiben Teile der Nanopartikel in der Matrix eingebettet und die Exposition erfolgt nur gegenüber jenen Nanopartikeln an der Oberfläche des Staubkorns. Ist der Staub jedoch löslich, so umfasst die Exposition die gesamte Anzahl Nanopartikel im Staubkorn.

Schon allein auf Grund der Art der Aktivitäten im Alltag eines Bauarbeiters und der Produkte, mit denen er üblicherweise arbeitet, sind die wahrscheinlich vorrangigsten Gesundheitsrisiken durch die Exposition beim Einatmen von Staub erzeugenden Nanomaterialien (beim Schneiden, Schleifen, Bohren oder Fräsen) bedingt oder - wie beim Farbspritzen – durch freigesetzte Aerosole. Das Durchdringen der Haut spielt gegebenenfalls auch eine Rolle (wenn auch eine wesentlich geringere) und kann sich eventuell als problematisch erweisen, wenn größere Körperflächen unbedeckt sind<sup>43</sup>. Die Exposition über die primäre Aufnahme (über die Haut) scheint sich aller Voraussicht nach nicht als Problem zu entwickeln, solange für Körperpflege gesorgt ist. Die Exposition durch die sekundäre Aufnahme, die sich aus dem Einatmen von Nanomaterialien bedingt durch die natürlichen Reinigungsmechanismen der Luft- und Atemwege ergeben, stellt jedoch ein Risiko dar.

### Exposition durch Einatmen

Als allgemeine Faustregel für das Einatmen von Staub und Aerosolen gilt: je kleiner die Partikel, umso tiefer können sie in die Lunge eindringen, bevor sie sich dort absetzen, und umso schwerwiegender sind gegebenenfalls auch die gesundheitlichen Auswirkungen.

---

<sup>43</sup> Die Haut gilt im Allgemeinen als guter Partikelschutz. Diese Behauptung wird jedoch derzeit durch mehrere Forschungsarbeiten in Frage gestellt, aus denen hervorgeht, dass bestimmte Nanopartikel gebeugte Hautstellen (wie am Handgelenk) oder intaktes Hautgewebe mit der sie in Hautkontakt kommen durchdringen, je nach chemischer Zusammensetzung, Größe, Form und Matrix. (Muller-Quernheim, 2003, <http://www.orpha.net/data/patho/GB/uk-CBD.pdf>; Tinkle et al. 2003, *Environ. Health Perspect.* 111:1202-8; und Ryman-Rasmussen et al. 2006 *Toxicol. Sci.* 91:159-65).



Typische verzeichnete Auswirkungen auf die Gesundheit lauten (NEAA 2005 und die darin enthaltenen Referenzen)<sup>44</sup>:

- Entzündung der Atemwege,
- Bronchitis,
- Asthma,
- kardiovaskuläre Auswirkungen.

Diese Faustregel ist jedoch für Nanopartikel nicht mehr gültig und ein wichtiger Teil der eingeatmeten Nanopartikel setzt sich in der Nase fest<sup>45</sup>. Im Hinblick auf den weiteren Transport im Körper wurde festgestellt, dass einige dieser Nanopartikel in das Nervensystem, das Hirngewebe und andere Organe wie die Blutlaufbahn, das Herz und die Leber und das Knochenmark weitertransportiert werden, wo sie eine entzündende Wirkung entfalten können, die eine ganze Welle von Nebenwirkungen auslösen kann (Oberdorster et al. 2004 und die darin enthaltenen Referenzen<sup>41</sup>; für eine ausführlichere Themenübersicht siehe Politis et al. 2008<sup>46</sup>) wie Reizungen, Entzündungen, Absterben der Zellen, ein außergewöhnliches Zellwachstum, DNA-Schäden und Hormonstörungen (Donaldson et al., 1996; Zang et al., 1998).

### **4.3 Arbeitsschutzfragen im Zusammenhang mit verschiedenen Nanopartikeln**

Obwohl es in Bezug auf die Toxizität von Nanopartikeln noch viele Unbekannte gibt, werden die Forschungsarbeiten fortgesetzt und erste Ergebnisse liegen vor. CNT, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> und Silber zählen zu jenen Partikelarten, die bis heute am besten untersucht wurden.

#### Einzelne Toxizitätsprofile

CNT wurde in jüngsten Medienberichten auf Grund von Toxizitätsstudien sehr viel Aufmerksamkeit zuteil, die erste Anzeichen eines asbestähnlichen Verhaltens im Lungengewebe nachwies<sup>47</sup>. Die Toxizität hängt jedoch Beobachtungen zufolge von dem Verhältnis Länge/Durchmesser ab, dem Agglomeratstatus, der Oberflächenbeschaffenheit und dem Vorkommen kleiner Unreinheiten in Form von Metallkatalysatoren<sup>48</sup>.

TiO<sub>2</sub> kann in Form von Anatas oder Rutil zum Einsatz kommen, wobei ersteres (das meistens bei photokatalytischen Anwendungen verwendet wird) üblicherweise das toxischste ist<sup>49</sup>. Der Internationale Risikorat (International Risk Governance Council) kommt zu dem Schluss, dass die Exposition von intakter Haut gegenüber nanogroßem TiO<sub>2</sub> wahrscheinlich keine Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit hat<sup>50</sup>, die Durchdringung einer beschädigten

---

<sup>44</sup> NEAA 2005. Particulate Mater: a Closer Look, [www.rivm.nl](http://www.rivm.nl), Netherlands Environmental Assessment Agency, E. Buijsman, J.P. Beck, L. van Bree, F.R. Cassee, R.B.A. Koelemeijer, J. Matthijsen, R. Thomas und K. Wieringa.

<sup>45</sup> ICRP 1995. Internationale Strahlenschutzkommission (International Commission on Radiological Protection)

<sup>46</sup> Politis M, Pilinis C, Lekkas TD 2008. Ultra Fine Particles and Health Effects. Dangerous. Like no Other PM? Review and Analysis, *Global NEST Journal*. Band 10(3), S. 439-452

<sup>47</sup> Als Beispiel: Poland CA, et al. 2008, *Nature Nanotechnology*, Band 3, Juli 2008, S. 223; Pacurari M et al. 2008 *Environmental Health Perspectives*, Band 116, Nr. 9, 1211; Kostaleros K 2008., *Nature Biotechnology*, Band 26, Nr. 7, 774-776

<sup>48</sup> Pulskamp K et al. 2006 *Toxicology Letters*, 168, 58-74; Wick P et al. 2007 *Toxicology Letters*, 168, 121-131

<sup>49</sup> Sayes CM et al. 2006 *Toxicol. Sciences* 92(1), 174-185

<sup>50</sup> IRGC 2008. Risk Governance of Nanotechnology Applications in Food and Cosmetics, ISBN 978-2-9700631-4-8

Haut gegebenenfalls aber schon<sup>51</sup>. Eine umfassende Übersicht der Auswirkungen auf die Gesundheit erteilt das NIOSH<sup>52</sup>. Nano-TiO<sub>2</sub> weist (unter bestimmten Bedingungen) gegebenenfalls ein genotoxisches Potenzial auf und zeigt entzündende Wirkungen beim Einatmen. Die Langzeit-Exposition gegenüber Anatas-TiO<sub>2</sub> zeigt darüber hinaus krebserregende Wirkungen, DNA-Schäden oder Auswirkungen auf die Entwicklung des zentralen Nervensystems beim Fötus, was auf die Möglichkeit fortpflanzungsgefährdender Wirkungen beim Menschen schließen läßt<sup>53</sup>.

SiO<sub>2</sub> kann amorph oder kristallin sein. Angaben des IRGC<sup>54,55</sup> zufolge, ist synthetisch hergestelltes amorphes Nano-SiO<sub>2</sub> wasserlöslich, nicht toxisch und ihm werden normalerweise bezüglich der Toxizität die gleichen Risikopotentiale für den Menschen zugeschrieben wie amorphem Nicht-Nano-Quarzmehl. Abhängig vom Produktionsverfahren kann amorphes SiO<sub>2</sub> jedoch mit kristallinem SiO<sub>2</sub> kontaminiert sein, das je nach Kristallinitätsgrad Auswirkungen auf die Toxizität der Gesamtprobe hat. Kristallines Siliziumdioxid ist äußerst toxisch und bekannt als Verursacher von Silikose bedingt durch die Exposition am Arbeitsplatz.

Es gibt nur wenige Kenntnisse über die Toxizität von Nanosilber beim Menschen. Wijnhoven *et al.* (2009)<sup>56</sup> haben die Wissenslücken noch einmal überarbeitet und kommen zu dem Schluss, dass reguläres Silber zwar relativ untoxisch, eingeatmetes oder geschlucktes Nano-Ag jedoch in die Blutbahn dringen und in das zentrale Nervensystem aufsteigen kann, wo es möglicherweise schädigende Wirkungen haben kann, die schlimmer als bei regulärem Silber sind. Einer der Gründe, warum mit schwerwiegenden Auswirkungen zu rechnen ist, ist die große Oberfläche der Nanopartikel, die zur Freisetzung einer relativ höheren Konzentration von aufgelösten (und reaktiven) Silberionen führt.

#### Expositionsrisiken am Arbeitsplatz

Es liegen nur wenige Informationen zur Beurteilung der Expositionsrisiken von Bauarbeitern gegenüber Nanopartikeln am Arbeitsplatz vor. Die Exposition gegenüber Nanoprodukten durch das Einatmen von Staub oder Aerosolen ist in gewissem Maße offensichtlich. Das Auswerten der Expositionsrisiken bei der zerstörenden Bearbeitung oder bei der Handhabung von Nanoprodukten ist jedoch wesentlich weniger klar. Einige erste Hinweise lassen sich aus den Arbeiten von Vorbau *et al.* (2009), Koponen *et al.* (2009) und Kaegi *et al.* (2008)<sup>57</sup> ableiten. Aus der ersten Studie ergab sich, dass es durch das Hinzufügen von Nanopartikeln in einer Beschichtung nicht zwangsläufig zu einem höheren Verschleiß der daraus entstehenden Beschichtungsfolie kommen muss. Aus der zweiten Studie ging hervor, dass beim Schleifen keine einzelnen Nanopartikel nachgewiesen wurden, die sich aus den

---

<sup>51</sup> SCCP 2007. Opinion on the Safety of Nanomaterials in Cosmetic Products (Stellungnahme zur Sicherheit von Nanomaterialien in kosmetischen Mitteln), verabschiedet am 18. Dezember 2007

<sup>52</sup> NIOSH-Entwurf 2005. Evaluation of Health Hazards and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide, *Entwurf 22. Nov. 2005*

<sup>53</sup> Simizu M *et al.* 2009 *Part. Fibre. Toxicol.* Band 6, 20; Bhattacharya K *et al.* 2008 *Part. Fibre. Toxicol.* Band 6, 17

<sup>54</sup> Internationaler Risikorat, 09-2008; ISBN 978-2-9700631-4-8

<sup>55</sup> Mergert R *et al.* 2002 *Arch. Toxicol.* 75:625

<sup>56</sup> Wijnhoven SWP *et al.* 2009 *Nanotoxicology*, 1-30

<sup>57</sup> Vorbau M *et al.* 2009 *Aerosol Science* 40:209-217; Koponen IK *et al.* 2009 *Journal of Physics Conference Series*, 151, 012048; Kaegi R *et al.* 2008. *Environ. Pollut.* doi:10.1016/j.envpol.2008.08.004

untersuchten Beschichtungen ablösen (obwohl die Größe des erzeugten Staubs in den Mikronbereich fällt), und dass im Gegensatz dazu ultrafeine Partikel von der Schleifmaschine bei der Emission von Partikeln < 50 nm vorherrschen. Und die dritte Studie enthält Hinweise darauf, dass Nano-TiO<sub>2</sub> aus einer getrockneten Beschichtung nicht auslaugt, allerdings in die Atemluft gerät, wenn es mit dem Bindemittel während des Verschleißes "abbröckelt". Die ersten Ergebnisse in diese Richtung sehen insofern vielversprechend aus, als dass keine Nanopartikel beobachtet wurden, die *einfach nur so* freigesetzt werden. Die zu diesem Thema durchgeführten Arbeiten sind allerdings nach wie vor zu begrenzt, als dass weitere Schlüsse über die Expositionsrisiken gegenüber Nanopartikeln beim Arbeiten mit Nanoprodukten im Allgemeinen gezogen werden könnten. Es gibt auch keine ausreichenden Kenntnisse, um die Ergebnisse von Koponen, Vorbau und Kaegi hochzurechnen und somit Schätzungen über die Expositionsrisiken gegenüber anderen als den untersuchten Nanopartikeln vorzunehmen.

#### **4.4 Mögliche Ansätze für den sicheren Einsatz von Nanoprodukten**

Das Organisieren eines sicheren Arbeitsplatzes erfordert Einblicke in die möglichen Gefahren von Nanopartikeln und deren Verhalten beim Einsatz von Produkten, in denen diese enthalten sind. Wie jedoch bereits dargestellt sind die derzeitigen Kenntnisse über die toxikologischen Eigenschaften von Nanopartikeln (Stand 2009) eher begrenzt. Gleiches gilt für die mögliche Freisetzung von Nanopartikeln aus Nanoprodukten bei Einsatz, Reinigung oder Wartung. Dadurch wird eine Risikobeurteilung erschwert.

Die Verwendung von Nanoprodukten im Baugewerbe ist jedoch eine Tatsache und es ist davon auszugehen, dass sie in Zukunft weiter zunimmt. Dies erfordert einen verantwortungsbewussten Ansatz, der es erlaubt, aus der weiteren europäischen Debatte über Nanotechnologien zu lernen. Ein solcher Ansatz wurde vom niederländischen sozioökonomischen Rat vorgelegt<sup>58</sup>. Der dort behandelte präventive Ansatz lässt sich als Strategie beschreiben, auf eine wachsame, umsichtige, vernünftige und transparente Art und Weise mit Ungewissheiten umzugehen, die der Situation angemessen ist.

Sie sollte im politischen Kontext der Arbeitsschutzpolitik (im Rahmen der Risikoevaluierung und Risikobewertung sowie des dazugehörigen Aktionsplans) umgesetzt werden. Kurzgefasst gestaltet sich diese Strategie wie folgt (siehe auch Tabelle 0-2).

##### *Schwerpunkt auf prioritäre Aktivitäten*

Als praktische Hilfe für Unternehmen scheint angemessen, bewährte Praktiken für Arbeitsplätze auszuarbeiten, an denen es ggf. zu einer Exposition gegenüber Nanopartikeln kommen kann. Die Einstufung der Nanopartikel entsprechend ihren jeweiligen Risiken kann sich als hilfreich erweisen, wenn es darum geht festzustellen, auf welchen Aktivitäten der Schwerpunkt liegen sollte und wie umfassend die zu ergreifenden Maßnahmen sein sollten. Ein einfaches System mit drei Kategorien (mit einer Einstufung der erwarteten Gefahren von I bis III) kann gegebenenfalls als Grundlage dienen<sup>59</sup>:

---

<sup>58</sup> Siehe insbesondere den beratenden Bericht des niederländischen sozioökonomischen Rates: „*Nanoparticles in the Workplace, health and safety precautions*“, 2009 Sociaal Economische Raad, Den Haag Niederlande. Ein Teil des vorgeschlagenen vorsorglichen Ansatzes beruht auf diesem beratenden Bericht.

<sup>59</sup> BSI 2007 (31. Dezember), "Public Document" PD 6694-2:2007, "Nanotechnologies -- Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials." In diesem Dokument wird eine vierte Kategorie eingeführt: lösliche Nanopartikel. Da der wesentliche Schwerpunkt hier jedoch auf nicht löslichen Nanopartikeln liegt, wird diese Kategorie ausgelassen.

- I Faserförmige, nicht lösliche Nanopartikel (Länge > 5 µm).
- II Nanopartikel, die in ihrer Molekular- oder größeren Partikelform als krebserregend, erbgutverändernd, allergisierende, sensibilisierende oder fortpflanzungsgefährdend gelten.
- III Nicht lösliche oder schwer lösliche Nanopartikel (die keiner der beiden vorgenannten Kategorien angehören).

Die allgemeine Empfehlung lautet: Exposition durch Einatmen oder Hautkontakt vermeiden. Im Baugewerbe zählen zu den vorrangigen Tätigkeiten das Schleifen, Bohren, Mischen, Fräsen, Schneiden und Aufsprühen von Nanomaterialien und -produkten sowie das Reinigen des Arbeitsplatzes und der verwendeten Ausrüstungen. Zum Festlegen von Maßnahmen und zur Expositionsprävention, kann von der klassischen betrieblichen Gesundheitsschutzstrategie, angewandt auf den Umgang mit Nanopartikeln, ausgegangen werden.

Tabelle 0-2 Bausteine für einen vorsorglichen Ansatz

Bausteine für einen vorsorglichen Nano-Ansatz
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Daten --- keine Exposition               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Expositionsprävention gemäß der betrieblichen Gesundheitsschutzstrategie (einschl. des eventuellen Ersatzes von potenziell äußerst gefährlichen Nanopartikeln)</li> </ul> </li> <li>• Notifizierung der Nanoprodukt-Zusammensetzung für Hersteller und Lieferanten               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Angabe des Nanogehalts eines Produktes durch die Produktionskette hinweg</li> <li>- Angabe des Nanogehalts eines Produktes gegenüber einer zentralen Verwaltungsstelle in Form einer Art Datenbank</li> </ul> </li> <li>• Expositionsregistrierung für den jeweiligen Arbeitsplatz               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analog zur Registrierung von krebserregenden Stoffen für Nanofasern und CMRS-Nanomaterialien</li> <li>- Analog zur Registrierung von fortpflanzungsgefährdenden Stoffen für andere nicht lösliche Nanomaterialien</li> </ul> </li> <li>• Transparente Gefahrenmitteilung               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Informationen auf Datenblättern für Materialicherheit (MSDS) über bekannte Nanorisiken, den Umgang damit und Wissenslücken</li> <li>- Anforderung eines Stoffsicherheitsberichts (REACH) für Stoffe &gt; 1 Tonne/Jahr/Unternehmen</li> </ul> </li> <li>• Abweichung von Nano-OELs oder Nanoreferenzwerten               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Für Nanopartikel kann dies ggf. auf den Baustellen freigegeben werden</li> </ul> </li> </ul>

### *Notifizierung von Nanoprodukten*

Aus den Ergebnissen der 2009-Umfrage und den ausführlichen Interviews wurde geschlussfolgert, dass die meisten Arbeiter und Arbeitgeber im Baugewerbe nicht gut über Nanoprodukte, mit denen sie eventuell arbeiten, informiert bzw. darüber in Kenntnis sind. Wie können sie also eine ordnungsgemäße Risikobeurteilung vornehmen?

Informationen sind eine erste Grundvoraussetzung und eine steigende Nachfrage seitens des Marktes drängt dazu, eine Art Notifizierungspflicht einzuführen (so z. B. in den Niederlanden (SER), Frankreich und der Schweiz). Die Notifizierung ist insbesondere für die gefährlichsten und risikoträchtigsten Nanoprodukte erforderlich. Das Datenblatt für Materialicherheit (MSDS) kann gegebenenfalls zur Weiterleitung dieser Informationen vom Hersteller an den Anwender der Produkte hinzugezogen werden. Eine der Aufgaben der Arbeitgeber und Arbeitnehmer im Baugewerbe könnte darin bestehen, auf diese Initiativen hinzuweisen und aktiv nach ausdrücklichen Informationen über den Nanopartikelgehalt des jeweils verwendeten Produktes und die zu ergreifenden Vorsichtsmaßnahmen zu fragen, um

möglichen durch die Exposition gegenüber Nanopartikeln ausgelösten gesundheitsschädigenden Wirkungen vorzubeugen.

### Nanoreferenzwerte

Unter normalen Umständen sind den Grenzwerten berufsbedingter Exposition (OELs) unten genannte Expositionsgrade zu entnehmen, die darauf hinweisen, welche Arbeiten als sicher gelten. Für Nanopartikel gibt es so etwas jedoch nicht. *Nanoreferenzwerte* (NRVs), deren Festlegung als vorsorgliche Expositionsgrenzwerte mit Hilfe des präventiven Ansatzes abgeleitet wurde, können gegebenenfalls so lange als Lösung dienen, bis OELs erstellt wurden. Ein Beispiel sind die *„Bewertungsmaßstäbe der Exposition“* wie in Tabelle 0-3 dargelegt (beruhend auf BSI 2007)<sup>59</sup>.

Tabelle 0-3 Risikoeinstufung nicht löslicher Nanopartikel und Nanoreferenzwerte

Kat.	Beschreibung	NRV	Anmerkung
I	Faserförmige, nicht lösliches Nanomaterial mit einem hohen Aspektverhältnis (Verhältnis Länge/Durchmesser) <sup>a</sup>	0,01 Fasern/ml	Analog zu Asbestfasern
II	Jedliches Nanomaterial, das bereits in seiner Molekular- oder größeren Partikelform als krebserregend, erbgutverändernd, fortpflanzungsgefährdend oder als sensibilisierend (CMRS) eingestuft ist	0,1 x bestehender OEL für die Molekularform oder größere Partikel	Die potenziell erhöhte Löslichkeitsrate dieser Materialien in Nanopartikelform könnte zu einer erhöhten Bioverfügbarkeit führen. Deshalb wurde ein Sicherheitsfaktor von 0,1 eingeführt.
III	Nicht lösliche oder schwer lösliche Nanomaterialien, die nicht in der Kategorie der faserigen oder CMRS-Partikel eingestuft sind	0,066 x bestehender OEL für die Molekularform oder größere Partikel	Analog zum NIOSH <sup>60</sup> wird zu einem Sicherheitsfaktor von 0,066 (= 15 x niedriger) geraten. Ein alternativer Bewertungsmaßstab wird wie folgt angeregt: 20.000 Partikel/ml, ausgeschieden aus der umgebenden Partikelkonzentration.

<sup>a</sup> Als Faser gilt ein Partikel mit einem Aspektverhältnis > 3:1 und einer Länge > 5.000 nm.

### Unternehmensregister und Expositionsregistrierung

Eine weitere Möglichkeit zur Umsetzung eines präventiven Ansatzes, wie er vom niederländischen SER vorgestellt wurde, ist die Einrichtung eines Expositionsregistriersystems in Unternehmen, die mit Nanoprodukten arbeiten, welche die gefährlichsten Nanopartikel enthalten (z. B. Kategorien I und II). Für die Bauarbeiter vor Ort wird es schwierig sein, darüber zu urteilen, ob und unter welchen Umständen die Überwachung der Sicherheits- und Gesundheitsschutzrisiken angebracht und hilfreich ist. In Ermangelung von Kenntnissen wird jedoch dazu geraten, im Expositionsregister zu erfassen, wer (welche Arbeitnehmer) welchem Stoff (welchen Nanopartikeln), wann (zu welchem Zeitpunkt) und wo (unter welchen Umständen) ausgesetzt wurde; dabei könnte es sich um ein System handeln, das in Übereinstimmung mit den aktuellen Praktiken für Asbest- und

<sup>60</sup> Ausgehend von dem vom NIOSH für nicht lösliches Nano-TiO<sub>2</sub> beschriebenen Ansatz: NIOSH 2005, Draft NIOSH current intelligence bulletin: Evaluation of Health Hazard and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide, 22. November 2005

CMR-Stoffe ausgelegt werden kann. Eine solche Registrierungsform passt gegebenenfalls gut zu den Praktiken kleiner Unternehmen und mit Hilfe eines solchen Registers ist es möglich, eventuell Exponierte zurückzuverfolgen und die Expositionsdauer einzuschätzen, falls in naher Zukunft ein bestimmtes Nanomaterial als gefährlich eingestuft wird oder ein Gesundheitsschaden auftritt.

### *Control Banding*

Eine weitere Möglichkeit für den Umgang mit unklaren Gefahren in einem bestimmten Arbeitsumfeld und einer bestimmten beruflichen Tätigkeit und das Einschätzen der potenziellen Risiken auf pragmatische und umsichtige Art und Weise besteht darin, ein so genanntes Control-Banding-Instrument (CB) einzusetzen. Es gibt verschiedene CBs, die KMU weltweit einsetzen (siehe Tischer et al. 2009 und die darin enthaltenen Referenzen<sup>61</sup>). Das CB schlägt anhand der jeweiligen Materialgefahren, der Staubigkeit und der Nano-Merkmale wie Größe, Form und Oberflächenreaktivität der Nanomaterialien, der verwendeten Materialmenge und der Expositionswahrscheinlichkeit allgemein zu ergreifende Schutzmaßnahmen vor. Dies ist ein Beispiel einer solchen CB-Methode, die von Paik et al. vorgeschlagen wurde (2008)<sup>62</sup>.

---

<sup>61</sup> Tischer M, Bredendiek-Kamper S, Poppek U, Packroff R 2009. How Safe is Control Banding? Integrated Evaluation by Comparing OELs with Measurement Data and Using Monte Carlo Simulation, *Ann Occup. Hyg.* Band 53(5):449-462

<sup>62</sup> Paik SY, Zalk DM, Swuste P. 2008. Application of a Pilot Control Banding Tool for Risk Level Assessment and Control of Nanoparticle Exposures. *Ann Occup. Hyg.* Band 52(6):419-428

## 5. Optionen für weitere Aktivitäten zur Unterstützung eines sicheren Arbeitsplatzes

Die derzeitigen Gesundheitsrisiken beim Arbeiten mit, Anwenden oder Bearbeiten von Nanoprodukten sind ungewiss und erschließen sich nur langsam. Dies beinhaltet die Sicherheits- und Gesundheitsschutzprofile der Nanopartikel als solche, aber auch die tatsächlichen Expositionsrisiken gegenüber diesen Nanopartikeln im Umgang mit dem Produkt. Da jedoch für eine Reihe von Nanopartikeln im Vergleich zu ihren makroskopischen Ausgangsmaterialien ein vergrößertes Verhältnis Oberfläche:Volumen, neuartige elektronische Eigenschaften, verschiedene Transportkinetiken und biologische Verhaltensmerkmale und veränderte chemische Reaktionsfähigkeiten festgestellt wurden, steigt der Verdacht, dass Nanopartikel gegebenenfalls bislang unvorhersehbare und potenziell schwerwiegende Gesundheitsrisiken bergen. Das erschwert eine ordnungsgemäße Risikobeurteilung und das Risikomanagement; zudem wurden bislang keinerlei Verhaltenskodizes oder bewährte Praktiken für das Baugewerbe entwickelt, die hilfreich beim Umgang mit all diesen Unbekannten wären. Anhand dessen, was jedoch vom Arbeiten mit (gefährlichen) Chemikalien bekannt ist, lassen sich Vorsichtsmaßnahmen für den verantwortlichen Umgang mit den Unbekannten der Gesundheitsrisiken von Nanoprodukten erarbeiten. Diese Strategie wird im Allgemeinen als präventiver Ansatz bezeichnet. Ein Ausgangspunkt für diesen Ansatz ist die Expositionsprävention gegenüber Nanopartikeln durch die Verfolgung einer betrieblichen Gesundheitsschutzstrategie. Wird eine wirksame Expositionsprävention betrieben (im Falle unzulänglicher Gefahrendaten), so stimmt dies mit dem REACH-Grundsatz „Keine Daten, kein Markt“ überein. Innerhalb des vorsorglichen Ansatzes werden folgende mögliche Bausteine zur Unterstützung eines sicheren Arbeitsplatzes vorgeschlagen:

- Keine Daten --- keine Exposition
  - Expositionsprävention gemäß der betrieblichen Gesundheitsschutzstrategie (einschl. des eventuellen Ersatzes von potenziell äußerst gefährlichen Nanopartikeln)
- Notifizierung der Nanoprodukt-Zusammensetzung für Hersteller und Lieferanten
  - Angabe des Nanogehalts eines Produktes durch die Produktionskette hinweg
  - Angabe des Nanogehalts eines Produktes gegenüber einer zentralen Verwaltungsstelle in Form einer Art Datenbank
- Expositionsregistrierung für den jeweiligen Arbeitsplatz
  - Analog zur Registrierung von krebserregenden Stoffen für Nanofasern und CMRS-Nanomaterialien
  - Analog zur Registrierung von fortpflanzungsgefährdenden Stoffen für andere nicht lösliche Nanomaterialien
- Transparente Gefahrenmitteilung
  - Informationen auf Datenblättern für Materialicherheit (MSDS) über bekannte Nanorisiken, den Umgang damit und Wissenslücken
  - Anforderung eines Stoffsicherheitsberichts (REACH) für Stoffe > 1 Tonne/Jahr/Unternehmen
- Abweichung von Nano-OELs oder Nanoreferenzwerten
  - Für Nanopartikel sollte dies ggf. auf der Baustelle festgelegt werden

Weitere Komplikationen für eine ordnungsgemäße Risikobeurteilung birgt die Tatsache, dass in vielen Fällen dem Rohstoffhersteller bereitgestellte nanospezifische Informationen im Laufe der Benutzerkette verloren gehen und nur ein geringer Teil dieser Informationen tatsächlich beim Bauarbeiter auf der Baustelle ankommt. Diese Situation kann sich für

Bauarbeiter, die (zum Beispiel) an einem Renovierungsprojekt eines Bauwerks arbeiten, das Nanoprodukte enthält (auf Grund des Unwissens des Eigentümers dieses Gebäudes) als noch schlimmer erweisen. Hier haben die Behörden und Lieferanten der Nanomaterialien zur Verbesserung der Lage beizutragen.

Da es - insbesondere für KMU im Baugewerbe - einen hohen Aufwand darstellt, diese Vorsichtsmaßnahmen auf individueller Basis umzusetzen, wird dazu geraten, die Schaffung bewährter Arbeitspraktiken für eine ausgewählte Anzahl hoch prioritärer Aktivitäten zu unterstützen, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass es beim Arbeiten mit Nanobeschichtungen und Nanozement/-beton zu einer Exposition kommt. Beispiele sind das Aufsprühen von Nanobeschichtungen, der Umgang mit mauerspeisehaltigen Nanopartikeln, das Bearbeiten von Nanoprodukten (z. B. Schleifen oder Bohren) bzw. das Reinigen oder Warten von in diesem Kontext verwendeten Ausrüstungen. Ein Instrument, das bei der Entwicklung dieser bewährten Praktiken möglicherweise hilfreich zum Einsatz käme, ist das Control-Banding-Instrument. Dieses generiert eine Risikoeinstufung auf der Grundlage des Kenntnisstandes über das jeweilige Nanopartikel, dessen Ausgangsmaterial (makroskopische Form), die Arbeitspraktiken und die tatsächlichen Arbeitsbedingungen. Der Schweregrad der potenziellen Gefahr und die Wahrscheinlichkeit der Exposition am Arbeitsplatz werden geschätzt und mit einer Risikoskala von 1 bis 4 verknüpft. Je nach Risikolevel wird eine allgemeine Risikomanagementstrategie vorgeschlagen, die von *'Lüften'* bis hin zu *'Persönliche Schutzausrüstung tragen'* oder *'Arbeiten in einem geschlossenen Raum verrichten'* reichen kann.

Es gibt Messgeräte zum Ermitteln der Nanopartikelexposition am Arbeitsplatz in Echtzeit, die jedoch im Allgemeinen kostspielig und nicht einfach zu bedienen sind. Es wurden tragbare und benutzerfreundlichere Geräte entwickelt und günstigere Modelle werden in den nächsten Jahren auf den Markt gebracht, so dass diese Geräte einem breiteren Publikum zugänglich werden. Persönliche Expositionsmessungen gegenüber Nanopartikeln im Baugewerbe sind nach wie vor äußerst begrenzt. Erste Messungen beim Abrieb von mit Nanofarbe angestrichenen Oberflächen ergaben keinerlei Exposition gegenüber konstruierten Nanopartikeln, sind jedoch zu begrenzt, als dass allgemeine Schlussfolgerungen für die Exposition gegenüber auf der Baustelle erzeugten Nanopartikeln gezogen werden könnten.