

Nanomaterialien in der Bauwirtschaft

Dipl.-Ing. Corinne Ziegler, BG BAU, Zentralreferat Gefahrstoffe

Die Nanotechnologie gilt als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Sie bietet neue Anwendungen in fast allen Branchen wie im Automobilbereich, der Informationstechnik, der Medizin und nicht zuletzt im Bauwesen. Nano-Produkte kamen vor ca. zehn Jahren und verstärkt in den letzten fünf Jahren auf den Markt.

Nanotechnologie ist keine Erfindung der Menschen, in der Natur gibt es sie schon immer. Besonders bekannt geworden sind in diesem Zusammenhang Geckos. Diese „Kletterkünstler“ können z.B. an Decken und Wänden laufen, weil sie unter ihren Füßen Millionen feinsten Härchen haben, mit denen sie sich auf kleinsten Unebenheiten festkrallen können. Zusätzlich haften sie auch elektrostatisch auf der Oberfläche.

Warum sieht das Lotus-Blatt immer sauber und trocken aus? Nicht weil es eine besonders glatte Oberfläche hat, sondern weil es im Gegenteil eine hügelige Mikrostruktur mit Nanowachskristallen aufweist. Schmutzpartikel finden kaum Kontaktflächen und liegen nur lose auf dem Blatt, Wassertropfen perlen ab und reißen gleichzeitig die Schmutzpartikel mit.

Was sind Nanoobjekte, Nanopartikel und Nanomaterialien?

Nanoobjekte sind Materialien, die in mindestens einer äußeren Dimension - also Länge, Breite und Höhe - nanoskalig sind [1].

Nanoskalig ist der Größenbereich von etwa 1 bis 100 nm (Nanometer).

Nanoobjekte können in verschiedenen Formen auftreten: als Nanopartikel, Nanofaser oder Nanoplättchen.

Ein Nanometer ist der milliardste Teil eines Meters, er verhält sich zu einem Meter wie der Durchmesser eines Fußballs zum Durchmesser der Erde. Es handelt sich also um sehr, sehr winzige Teilchen.

Im Vergleich dazu hat das menschliche Haar einen Durchmesser von etwa 100.000 nm; die durchschnittliche Größe von roten Blutkörperchen liegt bei ungefähr 8.000 nm und die von Bakterien bei etwa 1.000 bis 10.000 nm. Nanoskalig ist mit 2 nm die Breite eines DNA-Stranges, und Viren können unter 100 nm groß sein. Kleiner sind nur einzelne Atome und Moleküle.

Wie groß sind die Gecko-Härchen? Sie sind 100 µm lang, haben einen Durchmesser von 200 nm und enden mit einer sogenannten Terminalplatte von ungefähr 10 nm Dicke.

Nanoobjekte können aus vielen Materialien hergestellt werden, wie:

- Metalle: Goldnanopartikel werden bereits in Standard-Diagnoseverfahren angewandt (z.B. bei Schwangerschaftstests).
- Metalloxide: Titandioxid und Zinkoxid reflektieren UV-Strahlungen, sie kommen dadurch seit ca. 10 Jahren in Sonnenschutzcremes zum Einsatz.
- Kohlenstoffhaltige Nanoobjekte: Nanoröhrchen (Carbon Nanotubes) werden z.B. in Sportartikeln wie Tennisschläger, Skistöcke oder Fahrradrahmen eingesetzt. Industrieruß (Carbon Black) wird schon seit über 100 Jahren bei der Autoreifenherstellung genutzt und Fullerene werden in Anti-Aging-Cremes eingesetzt.

Es gibt zwei Wege, um so winzige Teilchen herzustellen: durch Zerkleinerung von Materialien oder ihren Aufbau aus einzelnen Atomen oder Molekülen.

Nanoobjekte zeigen untereinander eine starke Tendenz zum Zusammenballen. Sie bilden dabei Aggregate (feste Verbindungen) oder Agglomerate (lockere Verbindungen). Lediglich Agglomerate können wieder in Einzelteilchen zerkleinert werden. Durch gezielte Oberflächenbehandlung (wie z.B. Ladungen, Beschichtung) kann man das Agglomerationsverhalten beeinflussen.

Was ist an Nanoobjekte so besonders?

Im Verhältnis zur Masse und Volumen haben sie eine viel größere Oberfläche als größere Partikel. Teilt man einen Würfel mit einer Kantenlänge von 1 cm und einer Oberfläche von 6 cm² in Würfel mit 1 nm Kantenlänge auf, so erhält man 10²¹ Würfel mit einer Gesamtoberfläche von 6.000 m². Masse und Volumen haben sich dabei jedoch nicht geändert [2].

Dieses Würfelbeispiel zeigt, dass die Bestimmung von Massenkonzentrationen, die bei Staubmessungen in der Luft am Arbeitsplatz wird standardmäßig erfolgt, bei Nanoobjekten nur bedingt aussagekräftig ist. Aussagekräftiger ist die Bestimmung der Partikelzahl und deren Oberflächen.

Wenn die Oberfläche zunimmt, wird das Teilchen reaktiver. Es befinden sich mehr Atome an der Oberfläche, die mit der Umgebung in Wechselwirkung treten können. Nanoteilchen weisen dadurch im Vergleich zu größeren Partikeln des gleichen Materials völlig neue Eigenschaften auf, z.B.:

- Nanogoldpartikel schimmern rot.

Das wussten schon die Glasmacher im Mittelalter. Wenn kleine Goldmengen in das Glas eingeschmolzen werden, bekommt das Glas eine rubinrote Farbe.

Nanotechnologie steckt also schon in alten Kirchenfenstern.

- Nano-Keramiken sind biegsam wie Gummi.

- Titandioxid ist das neunthäufigste Mineral der Erdkruste. Dieser Stoff ist inert, das heißt er reagiert nicht mit anderen Stoffen und ist das wichtigste Weißpigment (Titanweiß). Nanoskalige Titandioxid-Partikel sind nicht mehr weiß, sondern durchsichtig und wirken photokatalytisch.

In der Nanotechnologie spricht man auch von Nanomaterialien. Dies ist ein Überbegriff. Unter Nanomaterialien werden entweder Nanoobjekte – die eben diskutiert wurden - oder nanostrukturierte Materialien verstanden. Nanostrukturierte Materialien haben eine nanoskalige Struktur.

Unter nanostrukturierte Materialien fallen auch die Aggregate und Agglomerate sowie Nanokomposite, die später erklärt werden.

Neben den Nanoobjekten, die bewusst erzeugt werden, gibt es auch unabsichtlich entstandene Teilchen, die kleiner 100 nm sind. Man nennt sie ultra feine Stäube. Sie kommen ganz normal in der Natur vor; bei Vulkanausbrüchen oder Waldbränden werden Unmengen an ultra feinen Stäuben in Form von Rußpartikeln freigesetzt. Sie werden auch durch Menschen verursachte thermische Prozesse freigesetzt wie Schweißrauch, Industriefeuerung, Hausfeuerung, Zigarettenrauch, Kerzenlicht, Motorabgase. Auch beim Abtragen von Oberflächen (z. B. beim Schneiden, Schleifen von Beton oder Holz) werden solche kleine Teilchen frei.

In Räumen können bis zu 10.000 Partikel/cm³ als Hintergrundbelastung vorkommen. An stark befahrenen Straßen können bis zu 100.000 Partikel/cm³ gemessen werden und 1.000.000 Partikel/cm³ in Raucherräumen.

Die ultrafeinen Stäube neigen wie die Nanoobjekte auch dazu sich zusammen zu ballen.

Bei Messungen sind ultra feine Stäube und Nanoobjekte nicht unterscheidbar. Die Hintergrundbelastung und andere möglichen Quellen müssen bei Nanoobjekt-Messungen berücksichtigt werden. Es existieren derzeit Grenzwerte weder für Nanopartikel noch für ultra feine Stäube.

Anwendungen in Baustoffen [5], [6]:

Die Hersteller von Baustoffen geben viele Anwendungen von Nanomaterialien an. Ob die neuartigen Eigenschaften immer auch das halten, was die Hersteller versprechen, wird die Zukunft zeigen. Die meisten Anwendungen findet man in der Farben- und Lackindustrie.

Selbstreinigende Oberflächen (Lotus- und photokatalytischer Effekt):

Das wohl bekannteste Beispiel für neuartige Eigenschaften ist die selbstreinigende Oberfläche durch den Lotus-Effekt. Dieser Effekt wurde dem Lotusblatt nachgeahmt. Durch die Kombination von stark wasserabweisenden Rohstoffen mit anorganischen Füllstoffen, die eine raue Oberfläche erzeugen, konnte dieser Effekt für Fassadenfarben und Putze „nachgebaut“ werden.

Selbstreinigende Oberflächen werden auch durch den photokatalytischen Effekt erreicht. Nanopartikel aus Titandioxid werden dabei durch Sonnenlicht aktiviert und zersetzen organische Schmutzpartikel (z.B. Ruß) und Luftschadstoffe, die sich an der Oberfläche befinden. Die Abbauprodukte können dann durch das nächste Regenwasser abgewaschen werden. Die Oberflächen bleiben sauber und das Wachstum von Bakterien kann zusätzlich gehemmt werden.

Es gibt mittlerweile viele Anwendungen wie z.B. Fassadenbeschichtungen, Pflastersteine, Dachziegel, Fensterscheiben, Glasoberflächen, Fensterrahmen mit photokatalytischem Effekt.



Foto: © Heiner Witthake - Fotolia.com



Fotos: links+rechts: © Otmar Smit, Mitte: © Alexej Khromushin - Fotolia.com

Reinigung der Innenraumluft:

Auch Innenwandfarben, Putze sowie Wand- und Bodenfliesen werden mit diesem Effekt ausgestattet. Sie bauen mit Hilfe des Lichts die organischen Luftschadstoffe und Gerüche in Räumen ab. Das wird jedoch nicht das regelmäßige Lüften ersetzen.



Foto: © TM-Design - Fotolia.com

Nanokomposite: Elastisch und doch hart

Fassadenbeschichtungen mit Nanokompositen sind länger haltbar und sauber. Nanokomposite sind anorganische Nanopartikel - in der Regel Siliziumdioxid-, die in organische Bestandteile eingearbeitet werden. Diese bilden ein dreidimensionales Gitter und vereinen die Vorteile von beiden Bestandteilen: die Elastizität der organischen Stoffen mit der Härte der anorganischen Nanopartikel. Sie weisen dadurch eine längere Haltbarkeit auf und sind schmutzabweisend.

Antibakterielle Lacke:

Nanoskalige Silber- oder Zinkpartikel haben die Eigenschaft Bakterien und Pilze abzutöten, ohne sich dabei zu verbrauchen. Innenwandfarben und Holzlacke mit dieser Wirkung bieten sich für Oberflächen an, bei denen Hygiene eine besonders wichtige Rolle spielt: z.B. in Arztpraxen, Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen.

UV-Schutz und Kratzbeständigkeit:

Nanoskaliges Eisenoxid, Zinkoxid oder Titandioxid in Holzlasuren oder Klarlacken schützen das Holz vor UV-Licht.

Einen kratzbeständigen Holzlack erreicht man durch Einstaz nanoskaliger Siliziumdioxid-Nanopartikel.

Seit Ende 2003 setzt die Automobilbranche kratzfeste Autolacke serienmäßig mit nanoskaligen Keramikpartikeln ein.

Easy-to-clean-Effekt

Leicht zu reinigende („easy-to-clean“-Effekt) Glas- oder Keramikoberflächen im Bad sind schon länger bekannt. Ein dünner wasser- und fettabweisender Film, der aus

anorganischen und organischen Bestandteilen besteht, wird entweder werkseitig aufgebracht oder auch nachträglich als Versiegelung. Die Schmutzpartikel auf solchen Oberflächen werden mit dem ablaufenden Wasser stückweise abtransportiert.

Keramiktapete

Flexible Keramiktapeten, die aus einer keramischen Nanopartikel-Schicht auf einem flexiblen Trägersubstrat bestehen, sind chemikalienbeständig, kratzfest und wasserabweisend. Sie können Anwendungen z.B. als Fliesentapete im Sanitär- und Küchenbereich finden.

Entspiegelte Glasoberflächen

Werkseitig aufgebraute und mit dem Glas gehärtete nanoporöse Siliziumdioxid-Schichten entspiegeln Glasoberflächen. Der Wirkungsgrad von Photovoltaikanlagen oder Sonnenkollektoren wird durch die Minderung der Reflektion des Lichts erhöht. Es kann mehr Licht in Energie umgewandelt werden.

Ultrahochfestem Beton

Durch den Zusatz von Nanosilica (Partikelgröße: ca. 5 – 100 nm) und Mikrosilika (Partikelgröße: ca. 50 – 1000 nm) wird das Gefüge des erhärteten Betons besonders dicht und fest. Diese Zusatzstoffe füllen die kleinsten Hohlräume. Bei dem ultrahochfesten Beton wurde dies soweit optimiert, dass er über stahlähnliche Druckfestigkeit von ca. 200 N/mm² verfügt. Man kann dadurch filigranere Bauwerke mit hoher Tragfähigkeit, Dauerhaftigkeit und Korrosionsbeständigkeit erstellen.

Ein Beispiel ist die Gärtnerplatz-Brücke Fulda in Kassel. Diese Brücke hat eine Länge von 140 m und Deckplatten von nur 8 bis 12 cm Dicke. Sie wurde als erstes größeres Bauwerk in Europa aus ultra hochfestem Beton gebaut (siehe Foto).



Gärtnerplatzbrücke in Kassel aus ultrahochfestem Beton (Foto: Gunreben)

Zementhaltige Produkte mit erhöhter Festigkeit

Es gibt zudem zementhaltige Produkte wie z.B. Fliesenkleber, Fugenmörtel, Ausgleichsmassen mit einer hohen Festigkeit und Klebekraft. Diese Eigenschaften werden nicht durch den Zusatz von Nanopartikeln erzeugt. Die Aushärtung des Mörtels wird so beeinflusst, dass sich Nanostrukturen bilden und somit die Festigkeit

verbessert wird. Diese zementhaltigen Produkte sind ein Beispiel für nanostrukturierte Materialien.

Brandschutz

Durch Nano-Tonplättchen in Kabelverkleidungen entwickelt sich bei Hitzeeinwirkung eine formstabile Kruste, die das Abtropfen schmelzenden Materials verhindert und somit die Brandgefahr in der Umgebung eindämmt.

Aufgrund des ständig wachsenden Marktes ist mit einem weiteren Anstieg der Zahl der Anwendungen zu rechnen - insbesondere bei Dämmstoffen, Brandschutzmaterialien oder Korrosionsschutzbeschichtungen.

Gesundheitsgefahren und Schutzmaßnahmen

Sind Nanomaterialien gefährlich oder nicht? Eine abschließende Beurteilung der Gefährdungen ist derzeit noch nicht möglich. Die möglichen Gefahren für Mensch und Umwelt beim Umgang mit Nanomaterialien werden noch erforscht. Auch das Umweltbundesamt hat im Oktober 2009 darauf hingewiesen, dass bei Nanomaterialien nicht nur die technischen Vorteile zu beachten sind, sondern auch mögliche Gefährdungen für Menschen und Umwelt. [7]

Daher sind die Aktivitäten wie Hessen-Nanotech (www.hessen-nanotech.de) sehr zu begrüßen. Hier wird von allen Beteiligten sehr offen über mögliche Risiken diskutiert und es werden entsprechende Untersuchungen angestoßen.

Auch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit berufene Nanokommission hat die Aufgabe, Nutzen und Risiko im Sinne des Vorsorgeprinzips zu betrachten. Sie sieht laut ihres Berichtes von 2008 das höchste Risikopotenzial beim Einatmen von Nanopartikeln. Es besteht jedoch ein geringes Risiko, wenn die Nanopartikel in einer Matrix (z.B. Beschichtung) gebunden sind. [3]

Verallgemeinernde Aussagen, ob Nanomaterialien prinzipiell gefährlich sind oder nicht, werden sich nicht treffen lassen. Aufgrund der Vielzahl der Materialien und ihrer verschiedenen Anwendungen, müssen Nanomaterialien immer im Einzelfall bewertet werden.

Stoffe können grundsätzlich durch das Einatmen, durch die Haut oder durch Verschlucken in den Körper gelangen.

Die Aufnahme über die Haut wird als weniger problematisch eingeschätzt. Gesunde Haut bietet einen guten Schutz. Weniger untersucht sind mögliche Effekte bei Aufnahme durch Verschlucken. Auch die Auswirkungen von Nanomaterialien auf die Umwelt können derzeit noch nicht ausreichend bewertet werden. [3]

Die möglichen Gefahren beim Einatmen von Nanoteilchen können am Beispiel eines Holzlacks betrachtet werden, der Zinkoxid-Nanopartikel als UV-Schutz enthält. Wird dieser Lack auf einem Parkettboden aufgetragen, ist eine Aufnahme durch Einatmen nicht gegeben, da die Nanopartikel fest in dem Lack gebunden sind.

Gibt es später für die Nutzer, zum Beispiel durch das Laufen mit sandigen Schuhen auf dem Parkettboden, eine Gefährdung? Untersuchungen der technischen

Universität Dresden zur Freisetzung von Zinkoxid-Nanopartikeln aus Beschichtungen (Parkettlack, Möbellack) zeigen, dass während der normalen Nutzung Nanopartikel nicht freigesetzt werden. Sie bleiben fest in dem dabei entstehenden Abrieb eingebunden und werden nicht aus der Matrix herausgelöst (siehe Abbildung 1)[4].



Abbildung 1: Nanopartikel in Abriebteilchen gebunden
(Quelle: M. Stintz, Technische Universität Dresden)

Nach ein paar Jahren, wenn der Parkettboden renovierungsbedürftig geworden ist, muss er abgeschliffen werden. Ob hierbei freie Zinkoxid-Nanopartikel auftreten, wird derzeit in Dresden untersucht. Grundsätzlich sollten aber auch im Schleifstaub die Nanopartikel in der Matrix gebunden sein.

Weitere Untersuchungen sind bei verwitterten Oberflächen und beim Spritzen von Beschichtungen geplant. Insbesondere beim Schleifen verwitterter Oberflächen könnte es zum Zersetzen der Matrix und damit zum Freisetzen von freien Nanopartikeln kommen.

Beim Schleifen von Beschichtungen sind aber ohnehin wegen der hohen Holzstaubbelastung, abgesaugte Geräte einzusetzen, ggf. auch Atemschutz (Partikelfilter) zu tragen.

Schützen Partikelfilter eigentlich auch gegen Nanopartikel oder ultrafeine Partikel? Aufgrund ihrer Größe sollten diese grundsätzlich in der Lage sein durch die Zwischenräume des Filtermaterials zu „schlüpfen“. Allerdings gelten andere physikalische Gesetze für die winzigen Nanopartikel.

Größere Partikel über 300 nm werden u.a. dadurch abgeschieden, dass sie gegen die Filterfaser prallen und dort haften bleiben (Impaktion). Partikel unter 300 nm haben durch ihre Zusammenstöße mit den Luftmolekülen eine unregelmäßige zuckende Bewegung (Brownsche Molekularbewegung) die das Zusammenstoßen mit dem Filtermaterial (Diffusion) wahrscheinlicher macht (siehe Abbildung 2).

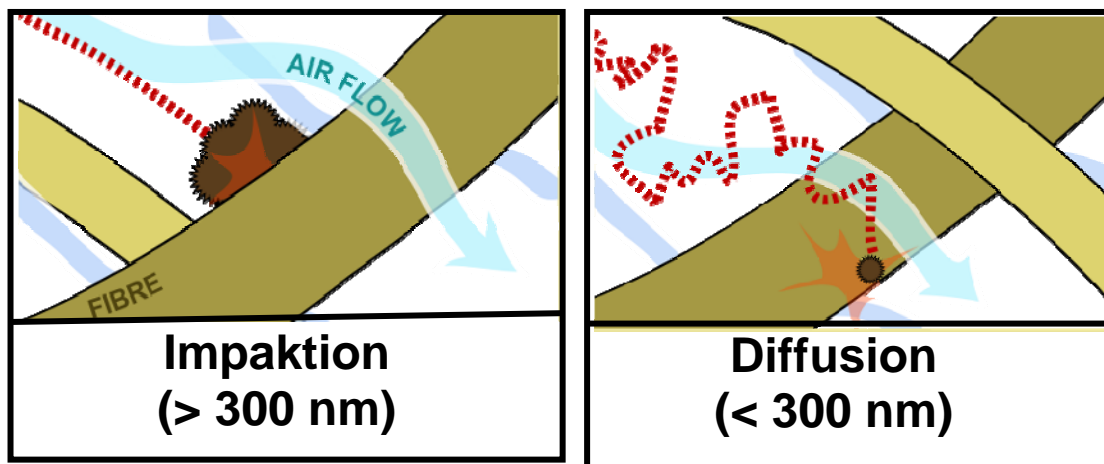


Abbildung 2: Vorgang der Partikelabscheidung

Die bisher durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die gegen Stäube üblichen Schutzmaßnahmen auch gegenüber Teilchen unter 100 nm wirksam sind [2].

Zusammenfassung:

Es werden bereits viele Nano-Produkte für die Bauwirtschaft angeboten, insbesondere von der Lack- und Farbenindustrie. Die Zahl der Anwendungen wird noch zunehmen. Die Gefährdungen der Nanomaterialien für Mensch und Umwelt sind noch nicht abschließend bekannt. Es muss noch weiter geforscht werden.

Es besteht jedoch vermutlich ein geringes Risiko wenn die Nanopartikel in einer Matrix (z.B. Beschichtung) gebunden sind. Die üblichen Atemschutzfilter bieten einen effektiven Schutz auch gegen Nanopartikel und ultra feine Partikel.

[1] CEN ISO/TS 27687:2008, Nanotechnologien – Terminologie und Begriffe für Nanoobjekte – Nanopartikel, Nanofaser und Nanoplättchen (ISO/TS 27687:2008)

[2] BGIA: "Nanotechnologie am Arbeitsplatz":
<http://www.dguv.de/bgia/de/fac/nanopartikel/index.jsp>

[3] NanoKommission, Bericht und Empfehlungen der NanoKommission der deutschen Bundesregierung 2008, „Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien“, Bonn, Berlin, November 2008

[4] Vorbau M., et al. Method for the characterization of the abrasion induced nanoparticle release into air from surface coatings. *Journal of Aerosol Science* (2008), doi: 10.1016/j.jaerosci.2008.10.006

[5] Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Band 7 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech, „Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen“, Wiesbaden, Januar 2008

[6] Deutsches Lackinstitut GmbH, Ratgeber Farbe „Neue Lacke und Farben Innovationsmotor Nanotechnologie – Potenziale und Perspektiven“, 2007

[7] Umweltbundesamt, „Nanotechnik für Mensch und Umwelt – Chancen fördern und Risiken mindern“, Oktober 2009