

Nano-Materialien in der Bauwirtschaft

Dipl.-Ing. Corinne Ziegler, Karlsruhe

Die Nano-Technologie 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. 10 Jahren und verstärkt in den letzten 5 Jahren auf den Markt.

Nano-Technologie 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 Nano-Wachskristallen aufweist. Schmutzpartikel finden kaum Kontaktflächen und liegen nur lose auf dem Blatt, Wassertropfen perlen ab und reißen gleichzeitig die Schmutzpartikel mit.

Was sind Nano-Objekte, Nano-Partikel und Nano-Materialien?

Nano-Objekte sind Materialien, die in mindestens einer äußeren Dimension, also Länge, Breite und Höhe, nano-skaliert sind [1]. Nano-skaliert ist der Größenbereich von etwa 1–100 nm (Nanometer). Nano-Objekte können in verschiedenen Formen auftreten: als Nano-Partikel, Nano-Faser oder Nano-Plättchen. 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. Nano-skaliert 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 sog. Terminalplatte von ungefähr 10 nm Dicke.

Nano-Objekte können aus vielen Materialien hergestellt werden, wie:

- Metalle: Nano-Goldpartikel 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 Nano-Objekte: Nano-Röhrchen (Carbon Nanotubes) werden z.B. in Sportartikeln wie Tennisschläger, Ski-stöcke 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 2 Wege, um so winzige Teilchen herzustellen: durch Zerkleinerung von Materialien oder ihren Aufbau aus einzelnen Atomen oder Molekülen.

Nano-Objekte 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 oder Beschichtung, kann man das Agglomerationsverhalten beeinflussen.

Im Verhältnis zur Masse und Volumen haben Nano-Objekte 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 standardmäßig erfolgt, bei Nano-Objekten 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. Nano-Teilchen weisen dadurch im Vergleich zu größeren Partikeln des gleichen Materials völlig neue Eigenschaften auf, z.B.:

- Nano-Goldpartikel schimmern rot. Das wussten schon die Glasmacher im Mittel-

alter. Wenn kleine Goldmengen in das Glas eingeschmolzen werden, bekommt das Glas eine rubinrote Farbe.

Nano-Technologie steckt also schon in alten Kirchenfenstern.

- Nano-Keramiken sind biegsam wie Gummi.
- Titandioxid ist das neunthäufigste Mineral der Erdkruste. Dieser Stoff ist inert, d.h. er reagiert nicht mit anderen Stoffen und ist das wichtigste Weißpigment (Titanweiß). Nano-skalierte Titandioxid-Partikel sind nicht mehr weiß, sondern durchsichtig und wirken photokatalytisch.

In der Nano-Technologie spricht man auch von Nano-Materialien – dies ist ein Überbegriff. Unter Nano-Materialien werden entweder Nano-Objekte, die eben diskutiert wurden, oder nano-strukturierte Materialien verstanden. Nano-strukturierte Materialien haben eine nano-skalierte Struktur. Unter nano-strukturierte Materialien fallen auch die Aggregate und Agglomerate sowie Nano-Komposite, die später erklärt werden.

Neben den Nano-Objekten, die bewusst erzeugt werden, gibt es auch unabsichtlich entstandene Teilchen, die kleiner 100 nm sind. Man nennt sie ultrafeine Stäube. Sie kommen ganz normal in der Natur vor. Bei Vulkanausbrüchen oder Waldbränden werden Unmengen an ultrafeinen 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 Nano-Objekte auch dazu, sich zusammenzuballen.

Bei Messungen sind ultrafeine Stäube und Nano-Objekte nicht unterscheidbar. Die Hintergrundbelastung und andere möglichen Quellen müssen bei Nano-Objekte-Messungen berücksichtigt werden. Es existieren derzeit Grenzwerte weder für Nano-Partikel noch für ultrafeine Stäube.

Vortrag auf der Jahrestagung des Arbeitskreises Baufachpresse, 1.–3.10.2009 in Dresden

Anwendungen in Baustoffen [5, 6]

Die Hersteller von Baustoffen geben viele Anwendungen von Nano-Materialien 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. Nano-Partikel 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.

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.

Nano-Komposite: Elastisch und doch hart

Fassadenbeschichtungen mit Nano-Kompositen sind länger haltbar und sauber. Nano-Komposite sind anorganische Nano-Partikel, i.d.R. Siliziumdioxid, die in organische Bestandteile eingearbeitet werden. Diese bilden ein 3-dimensionales Gitter und vereinen die Vorteile von beiden Bestandteilen: die Elastizität der organischen Stoffe mit der Härte der anorganischen Nano-Partikel. Sie weisen dadurch eine längere Haltbarkeit auf und sind schmutzabweisend.

Antibakterielle Lacke

Nano-skalige Silber- oder Zinkpartikel haben die Eigenschaft Bakterien und Pilze abzutöten, ohne sich dabei zu verbrauchen. Innen-



Abb. 1: Fassadenbeschichtung
(Foto: Heiner Witthake, www.Fotolia.com)



Abb. 2: Pflastersteine
(Foto: Otmar Smit, www.Fotolia.com)



Abb. 3: Fensterscheiben
(Foto: Alexej Khromushin, www.Fotolia.com)

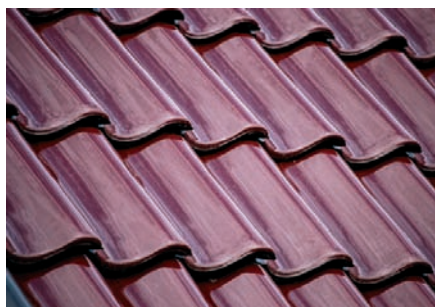
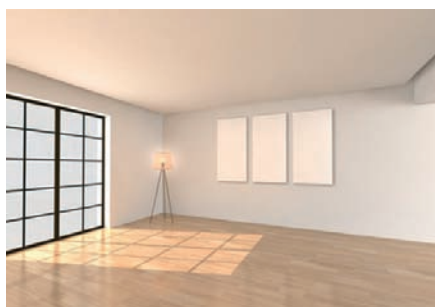


Abb. 4: Dachziegel
(Foto: Otmar Smit, www.Fotolia.com)

Abb. 5: Innenwandfarbe
(Foto: TM-Design, www.Fotolia.com)



wandfarben 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

Nano-skalgiges Eisenoxid, Zinkoxid oder Titandioxid in Holzlasuren oder Klarlacken schützen das Holz vor UV-Licht. Einen kratzbeständigen Holzlack erreicht man durch Einsatz nano-skalgiger Siliziumdioxid-Nano-Partikel.

Seit Ende 2003 setzt die Automobilbranche kratzfeste Autolacke serienmäßig mit nano-skalgigen 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 Nano-Partikelschicht 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 aufgebrachte und mit dem Glas gehärtete nano-poröse 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.

Ultrahochfester Beton

Durch den Zusatz von Nanosilica (Partikelgröße: ca. 5–100 nm) und Mikrosilika (Partikelgröße: ca. 50–1.000 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 Ultrahochfestem Beton gebaut (Abb. 6).



Abb. 6: Gärtnerplatzbrücke in Kassel aus Ultrahochfestem Beton (Foto: Gunreben)

Zementhaltige Produkte mit erhöhter Festigkeit

Es gibt zementhaltige Produkte wie z.B. Fliesenkleber, Fugenmörtel, Ausgleichsmasse mit einer hohen Festigkeit und Klebekraft. Diese Eigenschaften werden nicht durch den Zusatz von Nano-Partikeln erzeugt. Die Aushärtung des Mörtels wird so beeinflusst, dass sich Nano-Strukturen 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.

Wegen des ständig wachsenden Marktes ist mit dem weiteren Anstieg der Zahl der Anwendungen zu rechnen, besonders bei Dämmstoffen, Brandschutzmaterialien oder Korrosionsschutzbeschichtungen.

Gesundheitsgefahren und Schutzmaßnahmen

Sind Nano-Materialien gefährlich oder nicht? Eine abschließende Beurteilung der Gefährdungen ist derzeit noch nicht möglich. Die möglichen Gefahren für Mensch und Umwelt beim Umgang mit Nano-Materialien werden noch erforscht. Verallgemeinernde Aussagen, ob Nano-Materialien gefährlich sind, werden sich nicht treffen lassen. Auf Grund der Vielzahl der Materialien und ihrer verschiedenen Anwendungen, müssen Nano-Materialien immer im Einzelfall bewertet werden. Stoffe können grundsätzlich durch das Einatmen, durch die Haut oder durch Verschlucken in den Körper gelangen.

Die durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit berufene Nano-Kommission 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 Nano-Partikeln. Es

besteht jedoch ein geringes Risiko, wenn die Nano-Partikel in einer Matrix (z.B. Beschichtung) gebunden sind. [3]

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 Nano-Materialien auf die Umwelt können derzeit noch nicht ausreichend bewertet werden. [3]

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

Gibt es später für die Nutzer, z.B. durch das Laufen mit sandigen Schuhen auf dem Parkettboden, eine Gefährdung? Untersuchungen der technischen Universität Dresden zur Freisetzung von zugesetzten Nano-Partikeln aus Beschichtungen (Parkettlack, Möbellack) zeigen, dass während der normalen Nutzung die zugesetzten Nano-Partikel nicht freigesetzt werden. Sie bleiben fest in dem entstehenden Abrieb eingebunden und werden nicht aus der Matrix herausgelöst [4].

Nach ein paar Jahren, wenn der Parkettboden renovierungsbedürftig geworden ist, muss er abgeschliffen werden. Ob hierbei die zugesetzten Nano-Partikel freigesetzt werden, wurde in einem zweiten Schritt von der TU Dresden untersucht. Auch das Ergebnis des zweiten Studienteils zeigt, dass die zugesetzten Nano-Partikel im Abrieb in der Lackmatrix fest eingebunden vorliegen.

Weitere Untersuchungen sind bei gealterten und verwitterten Oberflächen sowie beim Spritzen von Beschichtungen geplant. Insbesondere beim Schleifen verwitterter Oberflächen könnte es zum Zersetzen der Matrix und damit zum Freisetzen von freien Nano-Partikeln kommen. Beim Schleifen von Beschichtungen sind aber ohnehin wegen der hohen Holzstaubbelastung, absaugende Geräte einzusetzen, ggf. auch Atemschutz (Partikelfilter) zu tragen.

Schützen Partikelfilter eigentlich auch gegen Nano-Partikel oder ultrafeine Partikel? Auf Grund ihrer Größe sollten diese grundsätz-

Abb. 7: Nano-Partikel in Abriebteilchen gebunden (Quelle: M. Stintz, TU Dresden)

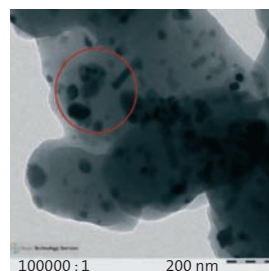
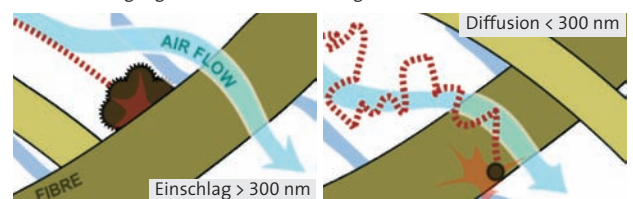


Abb. 8a, b: Vorgang der Partikelabscheidung



lich in der Lage sein durch die Zwischenräume des Filtermaterials zu „schlüpfen“. Allerdings gelten andere physikalische Gesetze für die winzigen Nano-Partikel. 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 (Brownische Molekularbewegung) die das Zusammenstoßen mit dem Filtermaterial (Diffusion) wahrscheinlicher macht (Abb. 8a, b).

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 Nano-Materialien für Mensch und Umwelt sind noch nicht abschließend bekannt. Es muss noch weiter geforscht werden. Es besteht jedoch vermutlich ein geringes Risiko, wenn die Nano-Partikel in einer Matrix (z.B. Beschichtung) gebunden sind. Die üblichen Atemschutzfilter bieten einen effektiven Schutz auch gegen Nano-Partikel und ultrafeine Partikel.

Literatur

- [1] CEN ISO/TS 27687:2008, Nano-Technologien – Terminologie und Begriffe für Nano-Objekte – Nano-Partikel, Nano-Faser und Nano-Plättchen (ISO/TS 27687:2008)
- [2] BGIA: „Nano-Technologie am Arbeitsplatz“: www.dguv.de/bgia/de/fac/nanopartikel/index.jsp
- [3] Nano-Kommission, Bericht und Empfehlungen der Nano-Kommission der deutschen Bundesregierung 2008, „Verantwortlicher Umgang mit Nano-Technologien“, 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 Nano-Technologien in Architektur und Bauwesen“, Wiesbaden, Januar 2008
- [6] Deutsches Lackinstitut GmbH, Ratgeber Farbe „Neue Lacke und Farben, Innovationsmotor Nano-Technologie – Potenziale und Perspektiven“, 2007

Autorin:
BG BAU, Prävention – Zentralreferat Gefahrstoffe