

# Nanotechnologie in Fassadenfarben

Text und Bilder **Andrea Ulrich\*** (Empa), Ralf Kägi (Eawag),  
**Michael Burkhardt** (Eawag), Roger Vonbank (Empa)

Wissenschaftlerin  
Andrea Ulrich: «Es  
ist wichtig zu wissen,  
welche Menge von  
Partikeln freigesetzt wird und wie sie sich  
in der Umwelt verhalten.»



**Ein Fassadenanstrich, der niemals verschmutzt und auch nie von Algen oder Pilzen befallen wird, wäre der Traum eines jeden Hausbesitzers. Auch Garantieleistungen wären bei solchen Materialien kein Thema mehr. Nachdem Biozide an Fassaden in letzter Zeit vermehrt kritisiert werden, stellt sich die Frage, ob die Nanotechnologie gute Alternativen bietet.**

Höhere Anforderungen bei der Wärmedämmung von Gebäuden (die beispielsweise durch Wärmeverbundsysteme erzielt werden) und der Trend zu hydrophoben (wasserabweisenden) Farbanstrichen können den Wasserhaushalt der Fassade verändern. Es kommt vermehrt zur Kondensation von Wasser. Feuchtigkeit bleibt länger auf der Fassadenoberfläche. Verstärkt wird dieses Phänomen durch ungünstige Standortbedingungen (feuchte Böden, Abschattung durch Bäume, Nordfassaden). Wird aus ästhetisch-architektonischen

Gründen auf geeignete bautechnische Massnahmen zum Feuchteschutz verzichtet, beispielsweise auf ausreichende Dachüberstände, sind die Fassaden zusätzlich unzureichend gegen Schlagregen geschützt. Die Gefahr für einen biogenen Aufwuchs an diesen Fassaden ist besonders hoch, denn Algen und Pilze finden hier ideale Bedingungen. Das Risiko eines Befalls ist in feuchten Sommern besonders hoch.

## Massnahme Nummer eins: Biozide

Hersteller reagieren mit einem vermehrten Zusatz von Bioziden in Putzen und Farben, um die Bildungstendenz des Algen- und Pilzbewuchses zu minimieren. Eingesetzt werden organische Verbindungen, wie sie auch aus der Landwirtschaft oder bei Antifouling-Anstrichen von Schiffen bekannt sind. Zum Einsatz kommen typische Algizide und Fungizide oder sowohl gegen Pilze und Algen wirksame Verbindungen. Dabei wird zwischen den so genannten Topfkonservierungsmitteln (Schutz der Produkte im Lagergefäss) und den Beschichtungsschutzmitteln (Schutz nach der Aufbringung der Beschichtung) unterschieden.

Meist werden nicht Einzelstoffe, sondern Gemische aus verschiedenen Bioziden zugesetzt, um so eine möglichst breite Wirkung gegen verschiedene Pilze, Algen und Bakterien zu gewährleisten. Man geht davon aus, dass von den rund 7 bis 14 Mio. m<sup>2</sup> in der Schweiz jährlich neu erstellten und mit

\* Die Hauptautorin ist promovierte Chemikerin und Gruppenleiterin des Plasmaspektrometrie-Teams in der Abteilung Analytische Chemie der Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt in Dübendorf. andrea.ulrich@empa.ch



Sehen die wenigsten Immobilienbesitzer gerne an ihren Fassaden: Algen und Pilze.

Putz und Farbe ausgestatteten Fassadenflächen die Mehrheit mit biozidhaltigen Farbanstrichen versehen wird (siehe dazu auch Michael Burkhardts Beitrag «Einsatz von Bioziden in Fassaden» in applica 12/2006). Ein weiterer steigender Einsatz von Bioziden wird erwartet.

Der erhöhte Biozideinsatz an Gebäuden birgt aber auch Risiken für die Umwelt. Da Biozide meist wasserlöslich sind, können sie vom Regen leicht ausgewaschen werden und so in die Umwelt gelangen. Der breite Einsatz von Bioziden in Fassadenbeschichtungsmaterialien stellt damit ein erhöhtes Risiko für die Gewässer dar. Gemeinsame Studien der Empa (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt) und Eawag (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz) zeigen, dass einige Biozide besonders schnell ausgewaschen werden.

In Simulationskammer- und in Freilandexperimenten haben die beiden Forschungsinstitutionen das Auswaschverhalten der Biozide für verschiedene Putze und Fassadenmaterialien unter kontrollierten Bedingungen untersucht. Untersuchungen des Restgehalts in Farben und Putzen haben gezeigt, dass einige Biozide bereits nach kurzer Zeit gänzlich aus den Fassaden verschwinden. Dies erklärt auch Beobachtungen aus der Baupraxis, dass trotz Biozid-ausstattung Fassaden nach einiger Zeit von Algen oder Pilzen befallen werden.

#### Die Alternative: Nanotechnologie

Um ihre Produkte umweltverträglicher zu machen und einen verbesserten, länger anhaltenden Schutz der aufgetragenen Fassadenanstriche gegen bio-



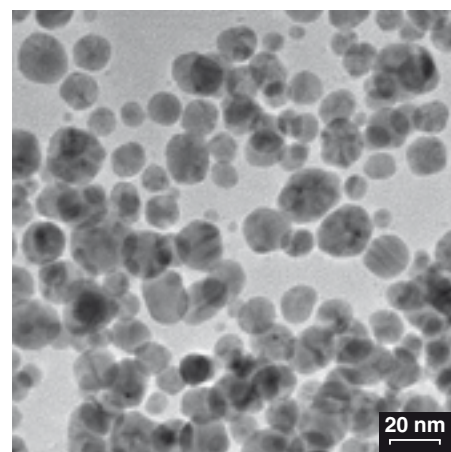
Dieses Modellhaus steht auf dem Empa-Gelände in Dübendorf. Daran sind Fassadenelemente mit ausgewählten Putzen und Farbanstrichen montiert. Eine der Beschichtungen wurde mit nanopartikulärem Silber aufgebaut.

logischen Aufwuchs zu bieten, prüfen Hersteller die Nanotechnologie als Alternative zum Einsatz von Bioziden. Erste mit Nanopartikeln ausgerüstete Produkte sind sogar schon auf dem Markt.

Nanopartikel versprechen aufgrund ihrer aussergewöhnlichen Eigenschaften grosses Potenzial für technische Innovationen. Auch für Farben möchte man sich die Nanotechnologie zu Nutze machen. Im Wesentlichen werden zwei verschiedene Nanopartikelarten für Farben eingesetzt. Zum einen ist es das nanopartikuläre Silber, welches sehr klein (10 bis 15 nm) sein kann. Das Silber weist eine antimikrobielle Wirkung auf und ist deshalb für die Produkteentwickler als Biozidersatz interessant. Zum anderen kommt Nano-Titandioxid in Frage, das durch die photokatalytische Aktivität Schmutz abbauen kann. Nanopartikuläres Titandioxid kann bis zu einer Kleinheit von 5 bis 20 nm hergestellt werden. Auf den sich mit Nano-Titandioxid beschichteten selbstreinigenden Fassaden fehlen die Lebensgrundlagen für Algen und Pilze.

#### Nanopartikuläres Silber

Von der antimikrobiellen Wirkung des Silbers erhofft man sich einen dauerhaften und wirksamen Schutz gegen



Nanopartikuläres Silber (Aufnahme mit einem Transmissionselektronenmikroskop TEM).

mikrobiellen Befall durch Schimmelpilze, Bakterien, Keime, Algen und Moos. Erweisen sich die Nanopartikel als wirksamer und beständiger als Biozide in der Farbe, könnte in Zukunft vielleicht sogar ganz auf Biozide verzichtet werden. Zusätze für Farben in Form von mikro- oder nanopartikulärem Silber sind in der technischen Verwendung allerdings nicht ganz unproblematisch, weil elementares Silber beispielsweise beim Vorhandensein von Sauerstoff und Sulfid (beispielsweise als Schwefelwasserstoff in Spuren in der Luft) Silberoxid und -sulfid bildet und sich schwarz verfärben kann. Es gibt bereits Innen- und Aussenfarben mit partikulärem Silber auf dem Markt. Laut Herstellerangaben sind die zugesetzten Silberpartikel fest in einer Polymermatrix eingebunden und können deshalb nicht freigesetzt werden. Aufgrund der Biozidfreiheit dieser Farben werden sie als besonders umweltverträglich angepriesen.

#### Nanopartikuläres Titandioxid

Gleichermassen möchte man den hohen selbstreinigenden Effekt des photokatalytisch aktiven Nano-Titandioxids für Fassadenanstriche ausnutzen (Anm. der Red.: Photokatalyse ist eine durch Licht ausgelöste chemische Reaktion). Die Verwendung von Nano-Titandioxid für Farbrezepturen ist in der technischen Umsetzung ebenfalls nicht frei von Schwierigkeiten. Das Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ), das beim Vorhandensein von Licht seine zersetzende Wirkung entfaltet und damit gewünschte Prozesse wie die Selbstreinigung oder die Geruchsneutralisierung in Gang setzt, ist leider nicht intelligent. Das heisst, dass die Zersetzungsprozesse auch dort nicht



Das Innenleben des Modellhauses wird von einer Vielzahl von Messapparaturen bestimmt. Auf dem Bild sichtbar sind die Rückseiten der Fassadenelemente mit Oberflächentemperatur- und Feuchtesensoren.

haltmachen, wo sie eigentlich unerwünscht sind, nämlich bei Bestandteilen der Farbe. Gewisse Hersteller scheinen dieses Problem allerdings in den Griff bekommen zu haben, sind doch schon einige Innen- und Aussenfarben mit Nano-Titandioxid kommerziell erhältlich.

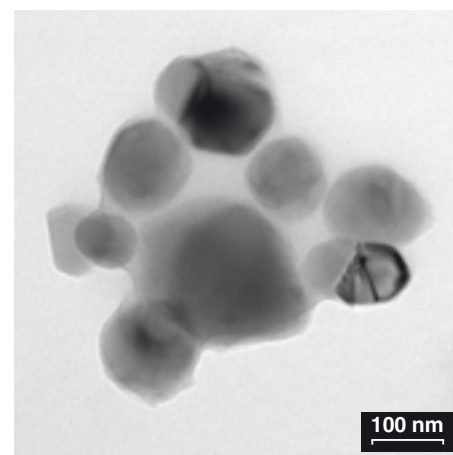
#### Untersuchungen zur Freisetzung von Nanopartikeln aus Fassadenfarben

Neben der Wirksamkeit von Nanopartikeln in Beschichtungstoffen interessiert natürlich deren Umweltverträglichkeit. In einer gross angelegten Studie untersuchen derzeit Empa und Eawag gemeinsam die Freisetzung von Bioziden, Additiven und Nanopartikeln aus Baumaterialien. Im Vordergrund stehen Dachabdeckungen aus Bitumen und Kunststoff sowie Putze und Farben für Aussenfassaden. Die Untersuchungen werden in drei verschiedenen Versuchsanordnungen durchgeführt, in einer Simulationskammer, an einem Modellhaus im Freiland und an realen Immobilien.

Die Simulationskammer hat den grossen Vorteil, dass Parameter wie Feuchtigkeit, UV-Einstrahlung, Temperatur, Wassermenge für Beregnung ge-

zielt variiert werden können. Die Versuche laufen also unter kontrollierten Bedingungen für verschiedene Materialien bei definierten Testzyklen ab. Getestet werden sowohl markt- als auch praxisnahe Richtrezepturen für Farben und Putze.

Gleichzeitig werden ausgewählte Rezepturen in der Freilandbewitterung geprüft. Hierzu wurde auf dem Empa-Gelände ein Modellhaus mit Fassadenelementen mit ausgewählten Putzen und Farbanstrichen, darunter auch ei-



Titandioxid-Partikel im Fassadenablaufwasser der Modellfassade (Aufnahme mit einem Transmissionselektronenmikroskop TEM).



In der Simulationskammer werden Fassadenelemente künstlich beregnet und das Fassadenablaufwasser aufgefangen. Roger Vonbank von der Empa öffnet den Deckel eines so genannten Autosamplers mit dem das Fassadenablaufwasser zeitaufgelöst gesammelt werden kann. Später wird das Fassadenablaufwasser auf Biozide und Nanopartikel untersucht.

ner mit nanopartikulärem Silber, aufgebaut. Das Modellhaus befindet sich in unmittelbarer Nähe der Luftmessstation Dübendorf, die zum 16 Stationen umfassenden schweizweiten Nationalen Beobachtungsmessnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) gehört. Diese Nähe erlaubt die genaue Aufzeichnung der klimatischen Aussenbedingungen (Temperatur, Regenmenge, Windrichtung), zu denen noch die exakte Beobachtung spezifischer Versuchsparameter wie die Oberflächentemperatur auf dem Fassadenelement oder die Feuchtigkeit in der Wand und die die Wand benetzende Regenablaufmenge kommen. Während in der Simulationskammer eine beschleunigte Bewitterung simuliert wird, können am Modellhaus reale Bewitterungseffekte studiert werden.

In der dritten Versuchsanordnung werden auch Messungen an realen Gebäuden in einer Überbauung in Volketswil durchgeführt. Dies erlaubt zusätzlich zum Studium des Auswaschverhaltens direkt an der Fassade auch eine Weiterverfolgung der freigesetzten Komponenten im Entwässerungstunnel und bis zur Einleitung in den nahe gelegenen Chimlibach.

Erste Ergebnisse der aufwendigen Versuche liegen bereits vor.

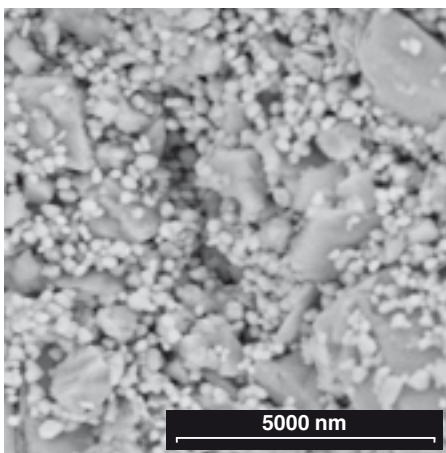
### Erste Ergebnisse beim Nanosilber

In der Simulationskammer wurde unter anderem auch ein mit Nanosilberfarbe ausgestattetes Fassadenelement auf das Auswaschverhalten untersucht. Im Ablaufwasser konnten, trotz polymerer Einbettung, also trotz der Einbindung der Nanosilberpartikel in makromolekulare Ketten, aus der Farbe stammende 10 bis 15 nm grosse Nanosilberpartikel einwandfrei nachgewiesen werden. Das Ergebnis überrascht insofern, als dass Silber hauptsächlich in gelöster Form erwartet wurde, da sich immer kleinste Mengen an Silber lösen, wenn es mit Wasser in Kontakt kommt. Das Verhalten der freigesetzten Partikel in der Umwelt ist noch weitgehend ungeklärt. Die Partikel verhalten sich aber vermutlich anders als das gelöste Silber. Gelöstes Silber absorbiert leicht an Partikel und bildet leicht Silbersulfid und -oxid oder auch Silberchlorid, das sich dann absetzen kann. Der Hauptanteil des Silbers in der Umwelt liegt gebunden, beispielsweise als Silbersulfid vor.

Die Annahme der Hersteller, dass die polymer eingebetteten Nanopartikel überhaupt nicht freigesetzt werden können, scheint so also nicht zu stimmen. Allerdings scheint die freigesetzte Silbermenge relativ gering zu sein.

### Erste Ergebnisse beim Titandioxid

In Bezug auf Titandioxid sollen Vergleichsuntersuchungen durchgeführt werden. Zum einen werden Fassadenelemente unter die Lupe genommen, welche mit einer Farbe beschichtet wurden, die konventionelle  $\text{TiO}_2$ -Weisspigmente enthält. (Es gibt unterschiedliche Weisspigmente für verschiedene Anwendungsbereiche mit Grössen im  $\mu\text{m}$ -



Die weissen Kügelchen sind Titandioxid-Partikel (Weisspigment) an einer neu beschichteten Fassade (Aufnahme mit einem Rasterelektronenmikroskop).



Mit Nanosilber-haltiger Farbe renovierte Hausfassade. An diesem Standort wurde der Fassadenabfluss auf  $\text{TiO}_2$ -Weisspigmente und Nanosilber untersucht.



Einleitung des Oberflächenabflusses in den Chimlibach, über die Fassaden und Parkplätze entwässert werden. Im Wasser wurden Aggregate und Einzelpartikel der  $\text{TiO}_2$ -Weisspigmente nachgewiesen.

Bereich, z.B. 1–2,5  $\mu\text{m}$ , aber auch kleinere Partikelgrössen < 500 nm.)

Zum andern geht es um Farben, die zusätzlich die photokatalytisch deutlich wirksamere, nanopartikuläre  $\text{TiO}_2$ -Form (< 100 nm) enthält. Das Vorliegen beider Titandioxid-Formen im zweiten Fassadenanstrich erschwert die Untersuchungen erheblich, da auch das Weisspigment einen gewissen Anteil sehr kleiner Partikel im Grössenbereich unter 100 nm enthalten kann.

Für das Weisspigment, dessen kleinste Partikel ebenfalls Nanodimensionen aufweisen, wurden bereits erste Untersuchungen an den Fassaden direkt und in den Ablaufwässern durchgeführt. Um Nanopartikel im Ablaufwasser nachweisen zu können, ist ein aufwendiges Aufbereitungsverfahren notwendig, damit die nanopartikuläre Fraktion von grösseren Bestandteilen abgetrennt werden kann. Die Nanopartikel können dann mit einem Rasterelektronenmikroskop oder Transmissionselektronenmikroskop sichtbar gemacht werden. Sowohl im Fassadenablaufwasser der Modellfassade als auch in demjenigen an der um zwei Jahre gealterten Fassade in Volketswil konnten Titandioxidpartikel nachgewiesen werden. Die im Ablaufwasser gefundenen Titandioxidpartikel, die eine Einzelgrösse von ungefähr 20 bis 100 nm aufwiesen, lagen vorwiegend in aggregierter Form vor (als Partikelklumpen)

und wurden von einem vermutlich organischen Bindemittel zusammengehalten. Die Grössen der Aggregate bewegten sich in einem Bereich von 100 bis 500 nm. Solche Aggregate, aber vereinzelt auch Einzelpartikel, konnten auch noch in den Ablaufkanälen der Überbauung Volketswil und bei der Einleitung in den Chimlibach nachgewiesen werden.

#### Schlussfolgerungen

Die durch die Empa und die Eawag durchgeführten, gross angelegten Untersuchungen zur Freisetzung von Bioziden, Additiven und Nanopartikeln aus Baumaterialien haben bisher unter anderem ergeben, dass sowohl die in Nanosilber-Farben enthaltenen Nanosilber-Partikel als auch nanopartikuläre Anteile des Titandioxids aus Weisspigmenten freigesetzt werden können, wobei Letzteres vorwiegend in aggregierter Form. Bei den noch laufenden Versuchen mit nanopartikulärem Titandioxid wird vermutet, dass sich die nanopartikulären  $\text{TiO}_2$ -Partikel ähnlich verhalten und ebenfalls zu grösseren Partikelaggregaten zusammengelagert werden. Allerdings könnte die im Vergleich zu Weisspigment höhere photokatalytische Aktivität der nanopartikulären  $\text{TiO}_2$ -Partikel auch bewirken, dass sich das organische Bindemittel zersetzt und sich deshalb keine Aggregate bilden können. In diesem Fall könnten

dann eventuell vermehrt Einzelpartikel freigesetzt werden.

Erforscht werden müssen noch die tatsächlich freigesetzten Mengen und das Verhalten der freigesetzten Partikel in der Umwelt. Beides ist wichtig, weil nur so eine wissenschaftlich gesicherte Gefahrenabschätzung für Mensch und Umwelt vorgenommen werden kann.

Dass die Untersuchungen nicht nur von wissenschaftlichem, sondern auch von gesellschaftlichem Interesse sind, beweisen die Mittel, die gesprochen wurden. Die Empa und Eawag werden durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU), das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft im Kanton Zürich (AWEL) und Novatlantis (eine Nachhaltigkeits-Initiative im ETH-Bereich) bei den Untersuchungen an den Baumaterialien unterstützt. Zusätzlich beteiligt sich der Schweizerische Nationalfond an der Beschaffung eines neuen Gerätes für ein von Empa und Eawag gemeinsam betriebenes Labor für Nanoanalytik (dem sogenannte NanoLab). In diesem Labor werden Methoden entwickelt, die eine noch genauere Untersuchung von Nanopartikeln zulassen und so die bereits bestehenden elektronenmikroskopischen Verfahren und die sehr empfindliche Plasmamassenspektrometrie ergänzen. ■