

## Glanz und Schutz mit Nano

**Viele Materialien zeigen im Nanometer-Maßstab völlig neue physikalische Eigenschaften. Als Nanopartikel entfalten sie ihre Wirkung z. B. durch schillernde Farbeffekte in Lacken oder als wirkungsvoller UV-Schutz in Sonnencremes.**

Das Wörtchen „nano“, von dem griechischen Wort „nanos“ für „Zwerg“, hat im letzten Jahrzehnt ei-



Ob in Sonnencreme oder sogar eingewoben in die Kleidung, Nanopartikel aus Titandioxid bewähren sich



als gute UV-Absorber und schützen vor dem unangenehmen Sonnenbrand. (Fotos: mg technologies, BASF)

ne beachtliche Karriere hingelegt. Es ist mittlerweile viel mehr als nur ein bescheidener Einheitenvorsatz für ein Milliardenstel und fungiert längst als Symbol für eine Technologie, die immer wieder als Schlüsseltechnologie der Zukunft genannt wird, ja mehr noch: „Nano“ ist das Synonym für moderne Wissenschaft schlechthin geworden. In der Tat ist es nicht nur immer wieder beeindruckend, wie klein ein Nanometer eigentlich ist – ein Meter verhält sich zu einem Nanometer wie der Durchmesser der Erde zu dem einer Haselnuss –, sondern auch, welche Möglichkeiten es gibt, in dieser physikalischen „Zwergenwelt“ wissenschaftlich und industriell zu operieren. Die Miniaturisierung ist ohne Zweifel ein Haupttrend gegenwärtiger Technologieentwicklung. Längst ist der industrielle Präzisionsmaßstab etwa in der Halbleiterherstellung vom Mikrometer hin zum Nanometer verschoben.

Viele Dinge der schönen neuen Nanowelt existieren zwar vorerst nur in Forscherköpfen oder Computersimulationen, an vielen Stellen finden wir aber schon „nano“ in unserem Alltag, ohne dass uns das bewusst wäre. Nanopartikel beispielsweise sind durchaus weit verbreitet. Wir finden sie als Verdickungsmittel in Kosmetikprodukten und Farben, als Füllstoff in Medikamenten und Zahnfüllungen, Reifen und Papier, als Pigmente in hochwertigen Farben und Lacken

oder als UV-absorbierende Substanz in Sonnenschutzmitteln.

Steigt man die Leiter der Größenordnung von oben herab, dann ändert sich beim Übergang von der normalen Welt in die Nanowelt dramatisch das Verhältnis der Anzahl von Oberflächenatomen zur Gesamtzahl der beteiligten Atome. Nanoteilchen haben also eine große spezifische Oberfläche. Dadurch ändern sich etliche physikalische und

chemische Eigenschaften der Nanopartikel, obwohl die Substanzen, aus denen sie sich zusammensetzen, dieselben sind wie beim Ausgangsmaterial. Ein weiterer Unterschied zu großen Atomagglomeraten mit hoher Teilchenzahl: Der Abstand zwischen den einzelnen Energieniveaus erhöht sich, sodass man nicht mehr wie sonst beim Festkörper von einem quasi-kontinuierlichen Zustand sprechen kann, sondern diskrete Niveaus betrachten muss. Auf diesem Effekt beruhen vor allem optoelektronische und magnetische Eigenschaften von Nanopartikeln.

### Lack mit Effekt

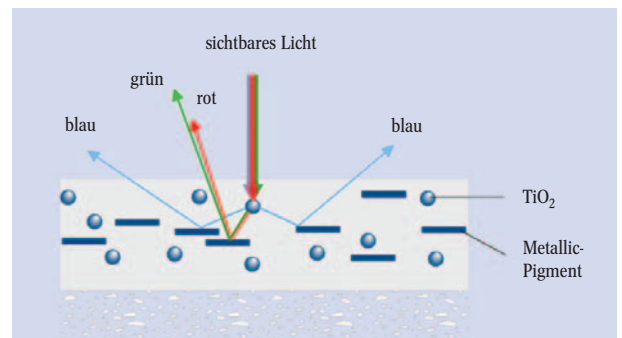
Ein – an der Fortschrittsgeschwindigkeit der Wissenschaft gemessen – schon relativ altes Anwendungsgebiet der Nanopartikel ist ihre Verwendung als Pigmente und Füllstoffe in der Lackindustrie. Viele Kleinstteilchen, von anor-

ganischen Buntpigmenten über transparente Eisenoxide bis hin zu pyrogenen Kieselsäuren, sind seit Jahrzehnten Bestandteile von Lacken und Farben. Eher neu sind hingegen nanokleine Bariumsulfat- und Titandioxid-Teilchen, die gegenüber ihren größeren Brüdern einige interessante abweichende Eigenschaften aufweisen. Titandioxid (TiO<sub>2</sub>) kommt in der Natur in den drei Kristallmodifikationen Rutil, Anatas (diese beiden sind von technischer Bedeutung) und Brookit vor und wird auch Titanweiß genannt, was auf seine bisherige Karriere hinweist: Wegen seiner hohen Brechzahl (2,8), seinem hohen Farbe- und Deckvermögen und seiner Ungiftigkeit (es ist sogar als Lebensmittelzusatzstoff E171 zugelassen) ist es zum bedeutendsten Weißpigment in der Farberstellung avanciert. In dieser klassischen Titandioxidanwendung ist die Teilchengröße so eingestellt, dass eine optimale Streuung von sichtbarem Licht, also Wellenlängen zwischen 380 und 700 nm, auftritt: Hohes Streuvermögen bedeutet hohes Deckvermögen.

Verkleinert man nun die Titandioxid-Partikel bis auf Nanogröße, verschwindet das Streuvermögen für sichtbares Licht nahezu völlig. Völlig? Nein, eine selektive Reststreuung für blaues Licht bleibt bestehen, die man zu schönen Farbeffekten etwa bei Metallic-Lackierungen nutzen kann. In solchen Lackierungen sind die Nanopartikel in eine metallische Basisschicht eingebettet und erzeugen eine vom Beobachtungswinkel abhängige Farbwahrnehmung. Schaut man frontal auf die Fläche, sieht die Lackierung eher gelblich aus, schaut man von der Seite, eher bläulich. Ursache dieses sog. Frost-Effekts: Die roten und grünen Anteile des eingestrahnten Lichts werden von den kleinen Nanopartikel kaum gestreut und mehr oder weniger mit dem Eingangswinkel von den Me-

Dr. Ulrich Kilian,  
science & more  
redaktionsbüro,  
uk@science-and-  
more.de

Der „Frost-Effekt“ beruht darauf, dass die verschiedenen Farbanteile des eingestrahnten Lichts an den TiO<sub>2</sub>-Partikeln in der Lackschicht unterschiedlich reflektiert werden. Je nach Blickwinkel ergibt sich so ein anderer Farbeindruck.

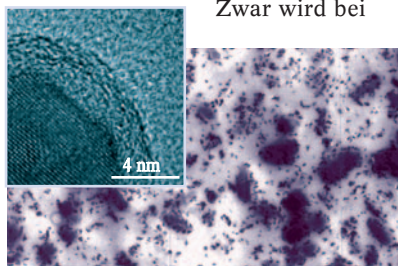


tallic-Pigmenten in der Lackschicht wieder reflektiert. Der blaue Anteil hingegen wird zunächst gestreut und anschließend mit einem flachen Winkel reflektiert. Ein zweiter Farbeffekt, die Farbtonverschiebung, ist im Gegensatz dazu nicht vom Betrachtungswinkel abhängig: Kombiniert man ein weiteres Buntpigment mit den Nano-Titandioxid, wird dessen Farbe zum Blauen hin verschoben. Aus Rot wird Magenta, aus Schwarz Dunkelblau. Zusätzlich sind die kleinen  $\text{TiO}_2$ -Teilchen in der Lage, an den Oberflächen der Buntpigmente zu adsorbieren und sie dadurch gegen Verflockung zu stabilisieren. Das verleiht der Oberfläche zusätzlichen Glanz. Die Blaulichtstreuung bringt übrigens auch einen Vorteil für Holzschutzmittel, einem zentralen Verwerter für Nano-Titandioxid, mit sich, denn gerade die kurzwelligen Lichtanteile verfärben das Holz ziemlich rasch.

### Nano-Sonnenschutz

Nanokristallines Titandioxid ist also im Wesentlichen transparent, im UV-Bereich aber nach wie vor ein guter Absorber, wie herkömmliche Titandioxid-Pigmente auch.

Zwar wird bei



TEM-Aufnahme von kristallinen  $\text{TiO}_2$ -Teilchen (dunkel) mit einem Diketopyrrolopyrrol-Pigment (hell, größer) in einem Bindemittel. In höherer Vergrößerung (Inset) lässt sich sogar die Kristallstruktur und die Beschichtung eines  $\text{TiO}_2$ -Nanopartikels erkennen. (Foto: Sachtleben)

einer Verkleinerung der Teilchengröße die Absorptionskante zum Kurzwelligen verschoben, was der Anatas-Modifikation die Effizienz im UV-A-Bereich nimmt; die Rutil-Modifikation ist aber mit einer Absorptionskante von 395 nm bei 0,01 Mikrometer Teilchengröße immer noch ein guter UV-Filter.

Die beiden Eigenschaften Transparenz und UV-Schutz prädestinieren Nano-Titandioxid geradezu für die Verwendung als Sonnenschutz, denn der Badegast am Baggersee hat weder Lust, mit einer milchigen Glasur noch mit krebserregender Haut umherzulaufen. Ein weiterer Vorteil der Nanopartikel: Sie verteilen

sich gleichmäßiger auf der Haut als große Teilchen und „rutschen“ nicht in Hautvertiefungen hinein. Titandioxid lässt sich über ein spezielles Verfahren sogar in Polyamidfasern einarbeiten. Leichte Sommerstoffe können auf diese Weise einen Lichtschutzfaktor von bis zu 60 bieten.

Eine Kehrseite der Photoabsorption ist, dass die Titandioxide in angeregte Zustände versetzt werden, wodurch Exzitonen entstehen, also Elektron-Loch-Paare, die auf ihre Umgebung sowohl reduzierend (Elektronen) als auch oxidierend (Löcher) und damit zerstörend wirken können. Bei Anwesenheit von Wasser und Sauerstoff baut sich die Matrix um die  $\text{TiO}_2$ -Teilchen ab, und das möchte man natürlich sowohl bei Sonnencremes als auch bei Farben vermeiden (im Falle von Anstrichen spricht man dann von „Auskreiden“).

Um dieses unerwünschte Verhalten zu unterbinden, dotiert man das Kristallgitter mit Fremdionen, beispielsweise Aluminiumionen  $\text{Al}^{3+}$ , die im Gitter als Zentren fungieren, in denen die Exzitonen rekombinieren und ihre Umgebung verschonen. Zusätzlich kann man die Oberfläche noch anorganisch oder organisch behandeln, was eindeutig die Photoaktivität reduziert, obwohl bislang nicht klar ist, wieso eigentlich. Diese Maßnahmen betreffen sowohl „große“ Titandioxid-Teilchen als auch die Nanopartikel; Letztere müssen allerdings eine wesentlich intensivere Oberflächenbehandlung erfahren.

### Klären und Klarsicht

Die Photoabsorption von Titandioxid kann man natürlich auch nutzen und die Substanz als Photokatalysator einsetzen, etwa in der Wasseraufbereitung. Dazu muss das Titandioxid die Substanzen, die abgebaut werden sollen, adsorbieren können, darf also nicht vollständig von der Bindemittelmatrix umhüllt sein. Hier die richtige Balance zwischen Photoaktivität und Stabilität zu finden, ist aktueller Forschungsgegenstand. Auch an der Entwicklung transparenter photoaktiver Titandioxidschichten wird stark gearbeitet. Solche Schichten weisen beim Bestrahlen mit UV-Licht „Superhydrophilie“ auf, was dazu führt, dass kondensierende Feuchtigkeit nicht zu Tröpfchen zusammenläuft. Außenspiegel, die nicht anlaufen, sind hier eine nützliche Anwendung.

ULRICH KILIAN