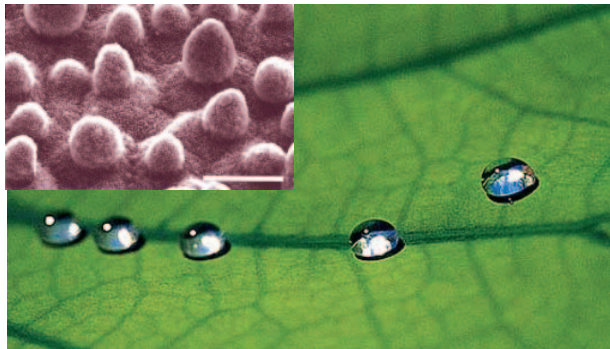


## Glasklar ohne Schrubben

*Fenster, die sich selbst reinigen, Kleidung, von der Schmutz einfach abperlt, wer wünscht sich das nicht? Winzige Oberflächenstrukturen machen bereits in einigen Fällen lästiges Putzen unnötig bzw. weniger aufwändig.*

Wer sich mit Elan in den Frühjahrsputz stürzt, der wird sich anschließend sicherlich über den klaren Blick durch die Fenster freuen. Doch oft zeigen sich schon nach dem nächsten Regenschauer wieder hässliche Schlieren auf den vormals



Regentropfen perlen vom Blatt der Lotuspflanze (*Nelumbo nucifera*) einfach ab. Das liegt an der mikrofeinen Noppenstruktur auf der Blattoberfläche, die erst unter dem Rasterelektronenmikroskop (Inset) zu erkennen ist. (Quelle: W. Barthlott, Uni Bonn)

blitzblanken Fenstern. Wäre es nicht schön, wenn der Regen den Schmutz gleich mitnähme? Und sich z. B. auch Kacheln im Bad ohne aggressive Putzmittel und festes Scheuern reinigen ließen?

### Die Natur als Vorbild

Wie so oft ist es ein Beispiel aus der Natur, das die Phantasie der Forscher beflügelt: Wenn es regnet, bilden sich auf den Blättern der Lotuspflanze, aber auch der heimischen Kapuzinerkresse, Wassertropfen, die bei der geringsten Neigung vom Blatt abperlen und dabei den Schmutz, aber auch Pilzsporen und Bakterien, mit sich reißen.<sup>1)</sup> Das Ergebnis: Das Blatt ist immer trocken und sauber. Dies ist natürlich auch eine verlockende Aussicht für den Alltag: Autoscheiben, die nicht mehr beschlagen, Fensterscheiben, die sich während eines Regenschauers selbst reinigen, und Kleidung, bei der sich Verschmutzung einfach mit klarem Wasser abspülen lässt.

Betrachtet man die Oberfläche des Lotusblattes unter dem Rasterelektronenmikroskop, so erkennt man, dass diese wider Erwarten nicht glatt ist, sondern aus fünf bis zehn Mikrometer hohen Noppen besteht (Abb. oben), die ihrerseits

mit einer feinen Nanostruktur aus hydrophoben, also wasserabstoßenden Wackskristallen überzogen sind. Zwischen den Mikrostrukturen und dem Regenwasser wird Luft eingeschlossen und damit die Kontaktfläche zwischen Tropfen und Blatt minimiert: Der Wassertropfen kann sich auf der mikrorauen hydrophoben Oberfläche nicht ausbreiten und zieht sich aufgrund seiner Oberflächenspannung zu einer Kugel zusammen, welche – ähnlich einem Fakir auf einem Nagelbrett – die Blattoberfläche nur an sehr wenigen Stellen berührt. Dadurch verringern sich die Adhäsionskräfte, die den Tropfen auf dem Blatt halten, und dieser rollt bei der geringsten Neigung vom Blatt und reißt dabei den darauf liegenden Schmutz mit.

Eine Fassadenfarbe, die den Lotus-Effekt imitiert und die Selbstreinigung von Hausfassaden verspricht, ist schon seit einigen Jahren im Handel erhältlich. Sprays, mit denen Textilien und andere Oberflächen dauerhaft behandelt werden können, befinden sich noch in der Entwicklung, sollen aber demnächst auf den Markt kommen.

Und Forscher der Firma CREAVIS in Marl und des Fraunhofer Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE arbeiten an selbstreinigenden Kunststoffoberflächen, bei denen ein Wasserstrahl genügen soll, um selbst hartnäckigen Schmutz wie Ruß rückstandsfrei zu entfernen. Die Schwierigkeit steckt allerdings in der technischen Umsetzung, d. h. in der kostengünstigen Herstellung von großen Oberflächen mit winzigen Strukturen. In einem ersten Schritt werden von einer Masterstruktur Replikationen aus Metallfolien hergestellt, die als Prägestempel für Kunststoffteile dienen. Mit Laserlicht wird ein periodisches Lichtmuster erzeugt, das einen photoempfindlichen Lack auf einer Trägerplatte belichtet. Bei dessen Entwicklung entsteht als Bild

der Laserlichtverteilung die entsprechende periodische Mikrostruktur und damit neben der Hydrophobie die für die Antischmutzbeschichtung notwendige Mikrostrukturierung der Oberfläche.

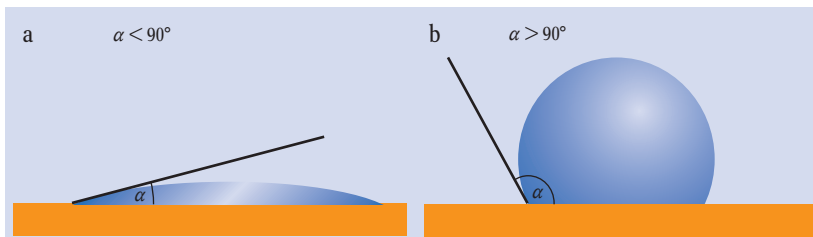
### Leichter reinigen

Da selbstreinigende Oberflächen bewegtes Wasser für ihre Reinigung benötigen, sind solche Beschichtungen etwa für Möbel oder Teppiche ungeeignet. In diesem Fall bieten sich sog. easy-to-clean-Beschichtungen an, die wegen ihrer hydrophoben Eigenschaften deutlich langsamer verschmutzen und sich mit wesentlich weniger Aufwand und Reinigungsmittel putzen lassen.

Ob sich auf einer Oberfläche Tropfen oder ein dünner Wasserfilm bildet, hängt von der Wechselwirkung zwischen dem Wasser und der Grenzfläche ab und ist durch die Adhäsionsarbeit charakterisiert. Diese bestimmt den Kontakt- bzw. Randwinkel eines Wassertropfens auf einer Oberfläche: Eine kleine Adhäsionsarbeit bedingt einen großen Randwinkel, sodass sich das Wasser zu einem Tropfen zusammenzieht (hydrophob). Wie stark ein (schmutziger) Wassertropfen auf einer Oberfläche haftet, hängt von der Oberflächenenergie des Substrats ab: je niedriger sie ist, desto stärker zieht sich der Tropfen zusammen. Die Folge ist eine kleinere Kontaktfläche, sodass der Tropfen leichter abgewischt werden oder durch Neigung der Fläche abrollen kann. Bei kleinen Randwinkeln breitet sich das Wasser aus und die Oberfläche besitzt hydrophile Eigenschaften.

Teflon besitzt z. B. sowohl hydrophobe als auch oleophobe (fettabweisende) Eigenschaften, allerdings kommt es als easy-to-clean-Beschichtung nicht in Frage, da es schlecht auf dem Untergrund haftet und weder hart noch transparent ist. Aus diesem Grund werden geeignete mikrostrukturierte

1) Nicht ohne Grund wird die Lotuspflanze im Hinduismus und Buddhismus als heilige Blume und Symbol der Reinheit verehrt. Entdeckt wurde der Selbstreinigungsmechanismus des Lotus-Blattes übrigens vom Bonner Botaniker Wilhelm Barthlott, der dafür die Bezeichnung Lotus-Effekt prägte.



Bei Randwinkeln unterhalb von  $90^\circ$  (a) gilt eine Oberfläche als hydrophil und das Wasser breitet sich aus. Ist der Randwinkel dagegen größer als  $90^\circ$  (b), so spricht

man von hydrophoben Oberflächen, auf denen sich das Wasser zu Tropfen zusammenzieht und leichter abperlen kann.

Beschichtungen gesucht, die nicht nur hydrophob (und wenn möglich oleophob), sondern auch abriebfest sind.

### Sol-Gel-Verfahren

Um großflächig Produkte mit geeigneten hydrophoben Beschichtungen zu versiegeln, bietet sich das Sol-Gel-Verfahren an, das u. a. schon seit geraumer Zeit zur Herstellung hochreiner Gläser benutzt wird. Seine Vorteile sind niedrige Prozesstemperaturen und eine hohe Reinheit und Homogenität der Produkte.

Als Ausgangsmaterialien werden hydrolysierbare anorganische Verbindungen eingesetzt. Große technische Bedeutung besitzen hierbei Alkoxyverbindungen verschiedener Elemente wie z. B. Silizium. Die Alkoxide des Siliziums werden i. A. als Silane bezeichnet. In einem ersten Reaktionsschritt werden die Silanverbindungen hydrolysiert, d. h. in Gegenwart von Katalysatoren mit Wasser umgesetzt. In der Lösung bilden sich dann aus den Alkoholaten durch Hydrolyse- und Kondensationsreaktionen kleine Partikel. Diese Hydrolyse führt zu einem reaktiven Zwischenprodukt, dem Sol,<sup>2)</sup> in dem die hydrolysierten Silanverbindungen als kolloidale Teilchen vorliegen und das im Wesentlichen durch die elektrische Wechselwirkung zwischen den Teilchen und ihrem Raumbedarf stabilisiert wird. Das Sol ist eine dünnflüssige und farblose Flüssigkeit, mit der das Produkt nun beschichtet werden kann.

Bringt man dieses Sol nun auf eine Oberfläche auf, so verdampft das Lösungsmittel und das Sol wird in ein Gel überführt. In diesem zweiten Reaktionsschritt, der Kondensationsreaktion, wird das Sol zu Polysiloxanen umgesetzt (Gel-Zustand). Die Vernetzungsreaktion und damit die Aushärtung des Bindemittels erfolgt bei manchen Systemen bei Raumtemperatur, meistens allerdings durch Einbrennen. Hierbei geht das Bindemittel vom Sol-Zustand in ein festes Gel über, und nach dem Aushärten hat sich auf der Oberfläche ein dreidimensionales Polymernetzwerk gebildet, das sehr gut auf metallischen und mineralischen Untergründen und auch auf Polymeren haftet.

Durch geschicktes Beimischen von fluorhaltigen Silanen und Nanopartikeln lassen sich so harte und transparente Schichten herstellen, die über die gewünschten hydro- und oleophoben Eigenschaften verfügen und Schmutz abweisen. Die Silane reichern sich während der Gelierung an der Grenzfläche Beschichtung/Luft an und bewirken eine starke Hydrophobierung der Oberfläche, während die gezielt in die Polymer-Matrix eingebauten Nanopartikel die schmutzabweisende Schicht besonders abriebfest machen.

Mit hydrophilen Oberflächen lassen sich aber durchaus auch Selbstreinigungseffekte erzielen. „Photokatalytische“ Beschichtungen, die im Wesentlichen aus Titan-dioxid bestehen, sind heute schon bei einigen Fenstertypen zu finden. In einer ersten Stufe reagiert die

Beschichtung dabei mit der ultravioletten Strahlung des Tageslichts und zersetzt auf diese Weise organische Verschmutzungen (etwa Bakterien), die im Idealfall in Wasser und Kohlendioxid zerlegt werden. Trifft



Mit einem Wisch ist alle weg. Was die Werbung von Reinigungstüchern verspricht, lässt sich erst mit easy-to-clean-Oberflächen so richtig einlösen. (Foto: Nanogate GmbH).

nun Wasser oder Regen auf die hydrophile Fensteroberfläche, so bilden sich keine Tropfen, sondern das Wasser verteilt sich in einem gleichmäßigen Film auf der Oberfläche und nimmt den gelösten Schmutz beim Abfließen mit.

Trotz all dieser Entwicklungen werden wir wohl aber auch in Zukunft Fensterscheiben und ähnliche Oberflächen putzen müssen, wenn auch mit weniger Aufwand. Immerhin sind schon zahlreiche Produkte auf dem Markt, mit denen sich mittelgroße Oberflächen wie z. B. Frontscheiben von Autos in easy-to-clean-Oberflächen verwandeln lassen.

KATJA BAMMEL

2) Als Sole bezeichnet man Dispersionen fester Partikel im Größenbereich von etwa 1 bis 100 Nanometer.

Dr. Katja Bammel,  
science & more  
redaktionsbüro,  
E-Mail: kb@science-  
and-more.de