

SUPERAMPHIPHOBES BESCHICHTUNGEN

Superamphiphobe Beschichtungen

Wenn selbst Öl abperlt

DORIS VOLLMER | PERIKLIS PAPADOPOULOS | HANS-JÜRGEN BUTT

Selbstreinigende Oberflächen nutzt die Natur schon lange. Auf Lotusblättern sorgen Mikrostrukturen dafür, dass Wasser abperlt und Schmutz mitnimmt. Wesentlich schwieriger ist dieser Effekt bei öligen Substanzen erreichbar. Im Labor gelingen neuerdings Oberflächen, die zugleich wässrige und ölige Flüssigkeiten abweisen. Beschichtet man damit Membranen für Herz-Lungen-Maschinen, werden diese nicht mehr vom Blut verstopft.

Wasserabweisende Oberflächen bezeichnet man als hydrophob [1]. Geht die Antipathie so weit, dass Wassertropfen eine nahezu sphärische Gestalt auf der Oberfläche annehmen und leicht abperlen, spricht man von superhydrophoben Oberflächen. Das bekannteste Beispiel bildet die Oberfläche des Lotusblatts (Abbildung 1) [2]. Schon vor über zweitausend Jahren wurden in Asien die selbstreinigenden Eigenschaften von Lotusblättern beschrieben. Intuitiv erwarten viele Menschen, dass superhydrophobe Oberflächen extrem glatt sind. Bei genauer Betrachtung ist das Lotusblatt aber genau das Gegenteil: Auf der Mikrometer-Skala ist es sehr rau (Abbildung 2) [3].



Abb. 1 Superhydrophobes Verhalten eines Lotusblatts. Der Wassertropfen perlt ab und nimmt dabei auch Schmutz von der Oberfläche des Blatts mit.

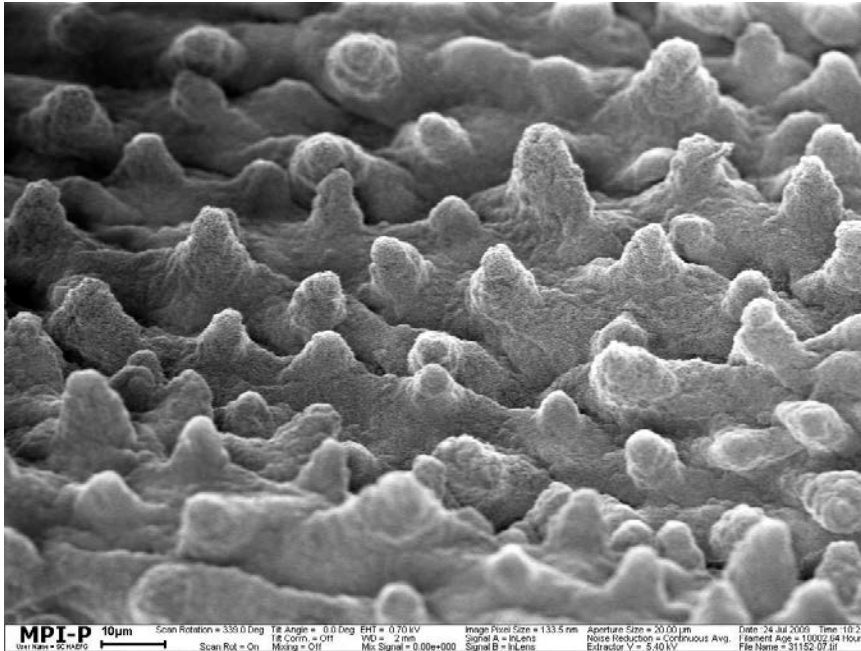


ABB. 2 Die Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme zeigt die Mikrostruktur auf der Oberfläche eines Lotusblatts.

Den Lotuseffekt kann man veranschaulichen, indem man einen Tropfen stark vergrößert betrachtet. Er entspräche dann einer im Vergleich zur Mikrostruktur auf dem Lotusblatt riesigen Kugel. Diese Wasserkugel sitzt auf Mikrostruktur wie ein Fakir auf seinem Nagelkissen, und die Mikrospitzen bieten ihr kaum Möglichkeiten, haften zu bleiben. Daher rollt ein in Bewegung geratener Tropfen nahezu ungebremst weiter. Die Mikrostruktur ist allerdings nur eine Voraussetzung für den Lotuseffekt. Das Material, aus dem die Oberfläche beschaffen ist, muss bereits in seinen chemischen Eigenschaften wasserabweisend, also hydrophob, sein. Erst beide Faktoren zusammen führen zur Superhydrophobizität. Doch wie sitzt der Tropfen genau auf der Struktur?

Mikroskopische Untersuchungsmethode

Um detaillierter zu untersuchen, wie die Kontaktfläche des Wassertropfens auf einer superhydrophoben Oberfläche aussieht, setzen wir in Mainz konfokale Laser-Rasterelektronenmikroskopie (LSCM, Laser Scanning Confocal Microscope) ein. Allerdings muss das Substrat dafür transparent sein, weil der Laser von unten durch die Struktur leuchten muss, um die Kontaktfläche sehr genau abzubilden. Ein echtes Lotusblatt scheidet daher aus. Als Modelloberflächen verwenden wir stattdessen transparente Säulenarrays. Diese Felder aus Mikrosäulen stellen wir lithographisch aus Kunstharz her. Höhe, Breite und Abstand der Säulen können wir gezielt einstellen (Abbildung 3a) [4].

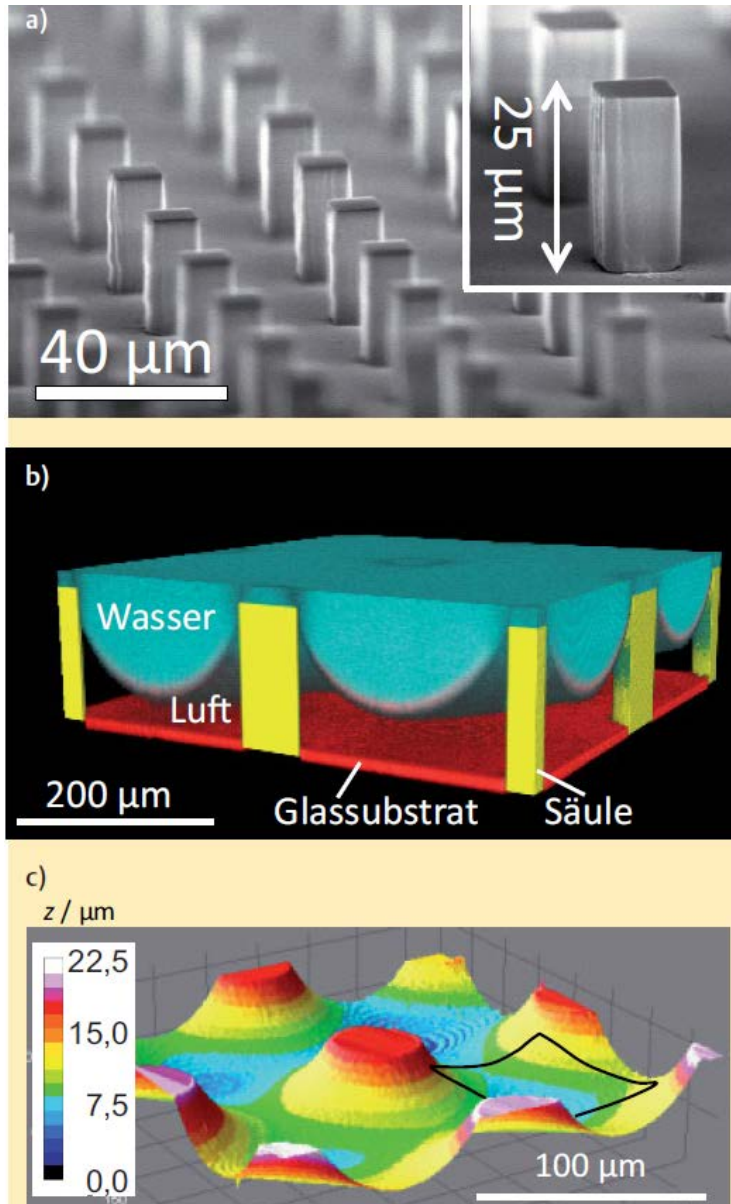


ABB. 3 Die Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme (a) zeigt das Säulenarray als Modelloberfläche für ein Lotusblatt. Die Höhe und Abstände der Säulen lassen sich beliebig variieren. b) Wassertropfen auf einem Säulenarray, Wasser und Säulen sind mit blauen und gelb fluoreszierenden Molekülen markiert, um sie unterscheiden zu können. Die rote Farbe zeigt hier die Reflexion von Licht an den Glas-Luft- und Luft-Wasser-Grenzflächen; die Luft ist schwarz dargestellt. c) Dreidimensionale Rekonstruktion des Wasser-Luft-Meniskus. Die Farben entsprechen den Höhenlinien. Im Idealfall sollte die Form und Höhe des Meniskus invariant bei Verschiebungen um einen Säulenabstand d sein. Kleinste Unterschiede in Form und Oberfläche benachbarter Säulen ergeben minimale Unterschiede im Höhenprofil.

Um die Kontaktfläche des Wassertropfens mit den Mikrometer großen Säulen mittels LSCM detailliert abzubilden, geben wir etwas fluoreszierenden Farbstoff ins Wasser (blau in Abbildung 3b) und – falls möglich – einen zweiten Farbstoff ins Substrat (gelb). Durch Anregen mit dem Laser vermessen wir dann die Emission der Moleküle [5]. Die konfokale Mikroskopie erzeugt dabei einen sehr begrenzten Lichtfleck und ermöglicht es so, gezielt nur Moleküle auf einer wohldefinierten Höhe anzuregen. Das LSCM erreicht dabei eine vertikale Auflösung von etwa $1 \mu\text{m}$ und eine horizontale von circa $0,3 \mu\text{m}$ [5]. Falls das Mikroskop über mehrere Detektoren verfügt, kann es neben der Fluoreszenz gleichzeitig die Reflexion des Lichts an der Wasser-Luft-Grenzfläche (Meniskus) vermessen (rot in Abbildung 3b). Das ermöglicht ein direktes Abbilden des Meniskus für Einfallswinkel, die das Licht in Richtung der Detektoren reflektieren.

Um die Kontaktfläche des Wassertropfens mit den Mikrometer großen Säulen mittels LSCM detailliert abzubilden, geben wir etwas fluoreszierenden Farbstoff ins Wasser (blau in Abbildung 3b) und – falls möglich – einen zweiten Farbstoff ins Substrat (gelb). Durch Anregen mit dem Laser vermessen wir dann die Emission der Moleküle [5]. Die konfokale Mikroskopie erzeugt dabei einen sehr begrenzten Lichtfleck und ermöglicht es so, gezielt nur Moleküle auf einer wohldefinierten Höhe anzuregen. Das LSCM erreicht dabei eine vertikale Auflösung von etwa 1 μm und eine horizontale von circa 0,3 μm [5]. Falls das Mikroskop über mehrere Detektoren verfügt, kann es neben der Fluoreszenz gleichzeitig die Reflexion des Lichts an der Wasser-Luft-Grenzfläche (Meniskus) vermessen (rot in Abbildung 3b). Das ermöglicht ein direktes Abbilden des Meniskus für Einfallswinkel, die das Licht in Richtung der Detektoren reflektieren.

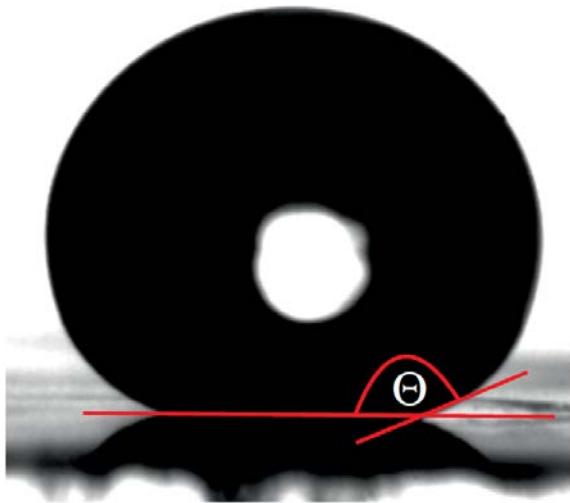


Abb. 4 Lichtmikroskopische Aufnahme eines Wassertropfens auf einem Lotusblatt mit eingezeichnetem makroskopischen Kontaktwinkel.

Eine so detaillierte Abbildung von Tropfen und Meniskus ist aber nur für eine Gesamthöhe von weniger als einem halben Millimeter möglich, da auch in der LSCM Beiträge der Streuung von Molekülen aus tiefer liegenden Schichten nicht völlig verhindert werden können. Sie bewirken eine Abnahme der Bildschärfe mit zunehmender Höhe. Da Tropfen in der Regel deutlich größer sind, ist es deshalb geschickt, sie von unten abzubilden. Wir rastern den Wasser-Luft-Meniskus und insbesondere die Kontaktfläche scheinbarweise ab und fügen die Daten anschließend zu einem dreidimensionalen Bild zusammen (Abbildung 3b). Die konfokale Laser-Rastermikroskopie liefert somit die Koordinaten eines jeden Punktes auf der Oberfläche der Flüssigkeit. Abbildung 3c zeigt eine dreidimensionale Rekonstruktion des Meniskus.

Tropfenform und Kontaktwinkel

Im Allgemeinen hängt die Tropfenform in der Nähe der Kontaktfläche ab von der Topographie der Oberfläche, deren chemischen Eigenschaften, dem angelegten externen Druck und dem durch die Oberflächenspannung hervorgerufenen Kapillardruck. Die chemischen Eigenschaften

der Oberfläche lassen sich durch gezielte Beschichtung der Oberfläche kontrollieren. Besonders geeignet sind fluorierte Moleküle, da diese sehr hydrophob sind. Der externe Druck P_e lässt sich zum Beispiel durch die Höhe einer Flüssigkeitssäule einstellen. Dann entspricht er dem hydrostatischen Druck

$$P_e = \rho g h,$$

hierbei ist g die Erdbeschleunigung, ρ die Dichte der Flüssigkeit und h die Höhe der Flüssigkeitssäule. Der Kapillardruck wird durch die Krümmung der Flüssigkeitsoberfläche bestimmt. Für einen kugelförmigen Tropfen ist der Kapillardruck

$$P_k = 2 \gamma_{FS} / R,$$

mit der Grenzflächenspannung γ_{FS} und dem Tropfenradius R . Je höher die Summe beider Drücke ist, desto stärker hängt der Tropfen am Säulenrand durch, bis er oberhalb eines kritischen Drucks in die Struktur eindringt und diese benetzt.

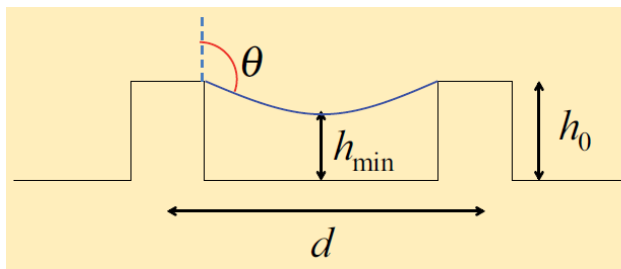


ABB. 5 Vertikaler Schnitt durch den Tropfen mit den charakteristischen Größen: Säulenhöhe h_0 , Säulenabstand d , minimale Höhe der Luftschicht h_{\min} und Kontaktwinkel θ .

Wie ein Flüssigkeitstropfen eine Oberfläche benetzt, das beschreibt der sogenannte Kontaktwinkel. Wenn wir einen Wassertropfen auf der Oberfläche eines Lotusblatts betrachten, dann erhalten wir zunächst den makroskopischen Kontaktwinkel Θ (Abbildung 4). Entscheidend sind jedoch die Vorgänge auf der Mikroskala. Da unsere LCSM-Aufnahmen ein präzises Bild des Meniskus liefern, können wir daraus zusätzlich den lokalen Kontaktwinkel θ bestimmen, den die Flüssigkeitsoberfläche und der Säulenrand bilden (Abbildung 5) [6]. Wie aber hängt dieser lokale Kontaktwinkel mit der Tropfenform und dem auf mikrorauen Oberflächen viel größeren makroskopischen Kontaktwinkel zusammen?

Der Tropfen strebt eine Kugelform an, da diese die Oberfläche zur Luft minimiert. Diese Topologie würde bei gegebenem Volumen die niedrigste freie Energie aufweisen, zum Beispiel bei einem schwerelos schwebenden Tropfen. Bei unserem System aber müsste der Tropfen dazu von den jeweils äußersten Säulen, auf denen er aufsitzt, „abreißen“.

Es lässt sich zeigen, dass die aktuelle Tropfenform und damit der makroskopische Kontaktwinkel θ aus den Kräften folgen, die auf die einzelnen Säulen wirken. Wesentlich sind die horizontalen Komponenten der Kräfte, da diese bestimmen ob sich die Kontaktfläche bewegt. Ein Tropfen rollt damit umso einfacher von der Oberfläche ab, umso geringer die Adhäsionskraft ist. Diese Kraft hängt vom Durchmesser der Säulen ab [4]. Im Fall einer superhydrophoben Oberfläche sollte der prozentuale Anteil der Wasser-Substrat-Kontaktlinie möglichst klein sein im Vergleich zum prozentualen Anteil der Wasser-Luft-Kontaktlinie [7]. Der Tropfen sollte also wie ein Fakir möglichst nur auf den Spitzen der Struktur sitzen.

Bei unregelmäßigen Strukturen wie auf einem Lotusblatt ist die Länge der Kontaktlinie nur schwer zu quantifizieren. Einfacher vermessen kann man den Fortschreitkontaktwinkel und den Rückzugskontaktwinkel als Maße für die Länge der Kontaktlinie oder Adhäsion. Der Fortschreitkontaktwinkel misst den makroskopischen Winkel zwischen Tropfen und Substrat gerade bevor sich der Tropfen weiter ausbreitet. Der Rückzugskontaktwinkel charakterisiert den Tropfen kurz vor dem Rückzug der Kontaktlinie. Er gibt an, wie viel Kraft benötigt wird, dass der Tropfen von einer Säule oder allgemeiner gesprochen, von einer Ausstülpung des Substrats, abreißt. Der Rückzugskontaktwinkel steigt mit dem Säulendurchmesser, der Dichte der Säulen und der Grenzflächenspannung des Tropfens.

Die Differenz zwischen beiden Werten wird auch „Kontaktwinkelhysterese“ oder kurz „Hysterese“ genannt [6, 7]. Je größer die Hysterese, desto schwerer lässt sich ein Tropfen auf der Oberfläche verschieben. Damit ein Tropfen leicht abperlt, muss daher die Hysterese klein sein. Bei superhydrophoben Oberflächen erreicht man dies dadurch, dass man die Anzahl und Größe möglicher Haftstellen minimiert. Damit werden der fortschreitende und der sich zurückziehende Kontaktwinkel nahezu identisch.

Superamphiphobe Oberflächen

In vielen technischen Anwendungen ist es unzureichend, dass eine Oberfläche allein wasserabweisend ist. Superhydrophobe Oberflächen wären beispielsweise nicht abweisend für Tensidlösungen, Alkohole oder Öle. Daher sind Oberflächen erstrebenswert, die gleichzeitig fett- und wasserabweisend sind. An solchen superamphiphoben Oberflächen perlen nicht nur Wassertropfen ab, sondern auch Öl-, Seifen- oder gar Blutstropfen, auf die wir noch zurückkommen. Doch aus dem Alltag weiß man, dass Öle nicht nur Glasscheiben benetzen sondern auch in einer Teflonpfanne eine flache Kugelkappe bilden – im Unterschied zu den nahezu perfekten Halbkugeln der Wassertropfen.

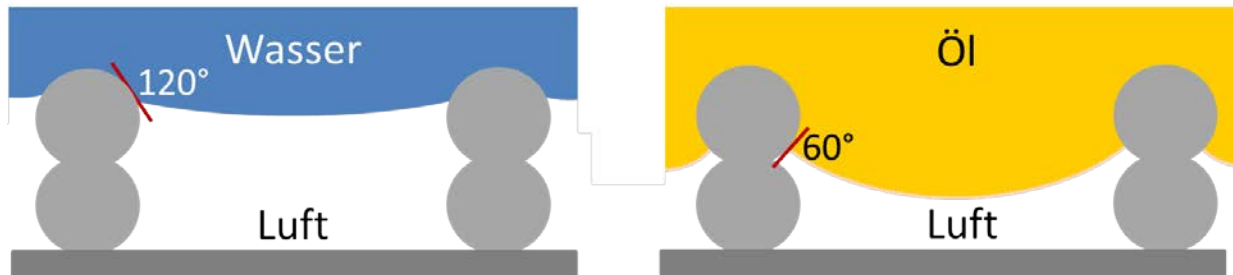


ABB. 6 Schematische Darstellung der Form eines Wassertropfens (links) und Öltropfens (rechts) auf einer wasser- und ölabweisenden superamphiphoben Oberfläche. Die Überhänge der Teilchen-säulen halten Öltropfen in einem metastabilen Zustand.

Wie schon erwähnt, hängt die Tropfenform auch von den chemischen Eigenschaften der Oberfläche ab, die sich in der Grenzflächenspannung widerspiegeln. Diese ist ein Maß für die Anziehung zwischen den Molekülen der Oberfläche und denen im Inneren. Wasser weist mit 0,072 N/m eine hohe Grenzflächenspannung auf [1]. Viele kommerzielle Öle und Seifenlösungen haben eine Grenzflächenspannungen zwischen 0,03 und 0,035 N/m, während sie für kurzkettige Alkane nur 0,02 N/m betragen kann (Alkane sind Kohlenwasserstoffe). Wie Thomas Young schon vor 200 Jahren zeigte, lässt sich die Tropfenform auf einer *glatten* homogenen Oberfläche durch den Kontaktwinkel θ_Y beschreiben, der durch die Grenzflächenspannung Flüssigkeit-Luft γ_{FL} , Flüssigkeit-Substrat γ_{FS} und Substrat-Luft γ_{SL} gegeben ist [8]:

$$\gamma_{FL} \cos \theta_Y = \gamma_{SL} - \gamma_{FS}.$$

Diesen Winkel möchte der Tropfen auch lokal auf einer rauen Oberfläche annehmen. Zur Veranschaulichung der Tropfenform auf einer Oberfläche mit wohldefinierter Rauigkeit haben wir erneut Teilchensäulen verwendet (Abbildung 6). Ein Wassertropfen nimmt auf einer fluorinierten Oberfläche einen lokalen Kontaktwinkel θ von bis zu 120° an (s.a. Abbildung 5), ein Öltropfen aber nur ein θ von circa 60°. Das heißt also, dass die glatte Oberfläche oleophil ist – also das Gegenteil unseres gesuchten Selbstreinigungseffekts.

Folglich gibt es nur einen Weg zum Design einer funktionierenden superamphiphoben Oberfläche: Sie braucht eine Mikrostruktur mit Überhängen, die das Eindringen von Öl in die Struktur verhindern. Der Öltropfen muss auf der Struktur aufliegen und gleichzeitig einfach „abreißen“. Erschwerend kommt allerdings hinzu, dass die geringe Grenzflächenspannung von Ölen bewirkt, dass der Öl-Luft-Meniskus stärker durchhängt als der Wasser-Luft-Meniskus. Die

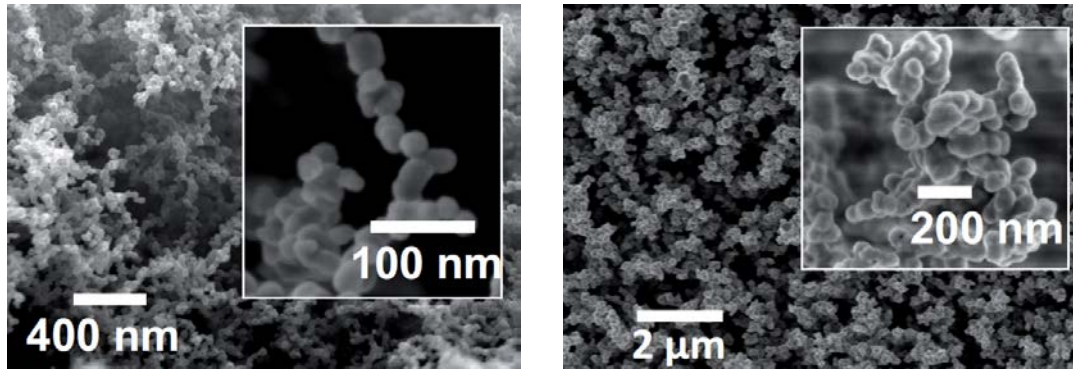


ABB. 7 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Kerzenruß (links), rechts mit einer Silikaschale ummantelt mechanisch stabilisiert.

Energiebarriere gegen eine unerwünschte vollständige Benetzung der Oberfläche ist somit gering. Deshalb war lange unklar, ob die Herstellung superamphiphober Oberflächen experimentell realisierbar ist.

Mainzer Modellsystem

2007 gelang es einer Forschungsgruppe von Chemieingenieuren um Robert Cohen am Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, USA), erstmals eine superamphiphobe Beschichtung herzustellen. Sie bestand aus „Mikropilzen“, deren semifluorierte Oberfläche ausgedehnte Überhänge aufwies, die Luft einschlossen [9]. Die Krümmung an den Rändern der Überhänge bewirkt eine hinreichende Energiebarriere gegen das Eindringen von Flüssigkeitstropfen in die Hohlräume [10].

Unsere Gruppe in Mainz konnte kürzlich zeigen, dass man auch Kerzenruß als Templat einsetzen kann, um superamphiphobe Oberflächen herzustellen [10]. Dazu halten wir einfach ein Glas über eine Kerze. Der dort abgelagerte Ruß setzt sich aus etwa fünfzig Nanometer großen Partikeln zusammen, die sich in einem lockeren, fraktalähnlichen Netzwerk anordnen (Abbildung 8 links). Da die Rußteilchen jedoch nur über schwache Van-der-Waals-Kräfte miteinander verbunden sind, ist die Oberfläche instabil. Schon ein abrollender Wassertropfen zerstört die Beschichtung.

Um die mechanische Stabilität zu erhöhen, ummanteln wir den Ruß mit einer durchgängigen Schale aus Silika, also Siliziumdioxidglas. Dazu dampfen wir eine flüchtige organische Silicium-Verbindung und Ammoniak auf die Rußablagerung auf. Danach erhitzen wir diese Beschichtung auf 500 °C, was den Ruß verbrennt. Zurück bleibt eine Struktur aus miteinander verbundenen, hohlen Silicakugeln, die sich fast nicht von der ursprünglichen Rußstruktur unterscheidet. Die

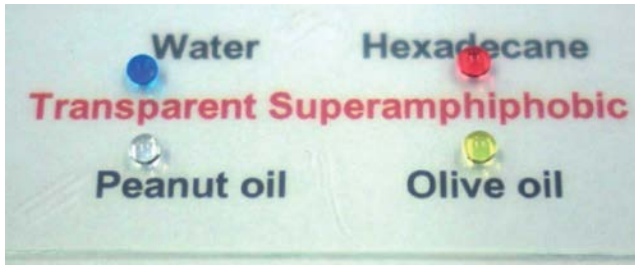


Abb. 8 Nach dem Ausbrennen des Rußes ist die superamphiphobe Oberfläche aus Silicahohlkugeln transparent. Dieses Beispiel demonstriert, dass Wasser, Hexadecan, Erdnuss- und Olivenöl kugelige Tropfen formen, die alle leicht abperlen.

Silikawände sind porös und haben einen so geringen Durchmesser, dass die Schicht durchsichtig ist (Abbildung 8).

Anschließend beschichten wir das Siliziumoxid über Gasphasenbeschichtung mit Fluorsilan, das sie hydrophobisiert. Danach sind die Oberflächen nicht nur superhydrophob, sondern sogar superamphiphob. Abbildung 9 zeigt den statischen Kontaktwinkel und den Abrollwinkel für verschiedene Flüssigkeiten auf unserem Modellsystem. Je größer der statische Kontaktwinkel und je kleiner der Abrollwinkel sind, desto leichter perlen sie ab. Selbst das dünnflüssige Hexadecan (Abbildung 10 Mitte), das sogar eine Teflonschicht benetzt, bildet auf der Oberfläche einen kugelförmigen Tropfen und rollt bereits bei einem Neigungswinkel von weniger als 5° von der Oberfläche herunter.

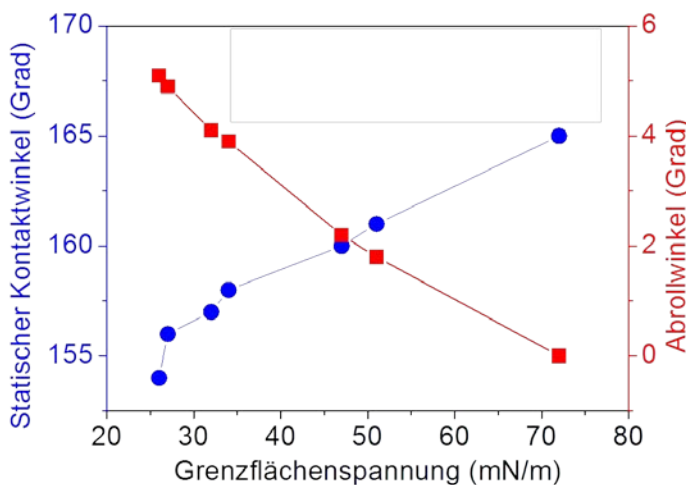


ABB. 9 Statischer Kontaktwinkel (blau) und Abrollwinkel (rot) von Flüssigkeiten unterschiedlicher Grenzflächen-spannung unserer superamphi-phoben Oberfläche. Messpunkte von links nach rechts: Tetradekan, Hexadecan, Olivenöl, Erdnussöl, Ethyleneglykol, Diiodomethan, Wasser.

Wie gut ölabweisend diese Beschichtung funktioniert, zeigt ein Experiment mit einem aus knapp 10 cm Höhe fallenden Öltropfen (Abbildung 10). Der Tropfen haftet nicht an, sondern verhält sich wie Ball, er prallt ab und hüpfet mehrfach, bis er liegen bleibt. Beim Aufprall wird die kinetische Energie in Grenzflächenenergie transformiert, die sich im Abflachen des Tropfens widerspiegelt. Wie ein Ball nach einem Aufprall zieht sich der Tropfen danach wieder zusammen. Seine Oberfläche wird kleiner und setzt die im deformierten Tropfen frei gesetzte Grenzflächenenergie wieder in kinetische Energie um. Wegen der geringen Adhäsion verliert der

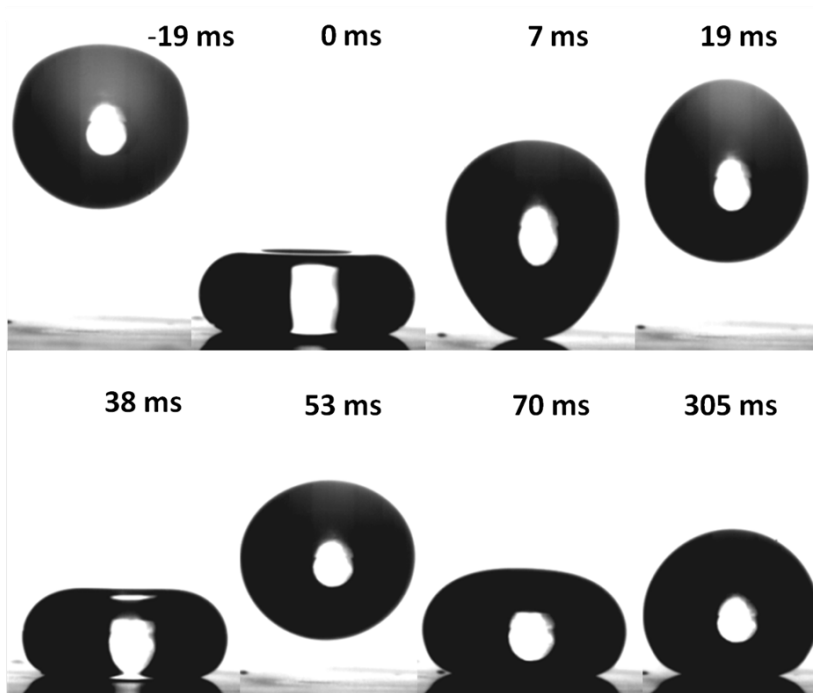


ABB. 10 Aufnahme links eines Tropfens aus Wasser mit einem Kontaktwinkel von 165° und in der Mitte eines Hexadekantropfens mit immer noch beeindruckenden 156° auf der superamphiphoben Beschichtung. Rechts: Ein fallender Hexadekantropfen springt wie ein Ball auf dieser Oberfläche und belegt so ihre exzellent ölabweisenden Eigenschaften.

Tropfen beim Spreizen und Zusammenziehen so wenig Energie, dass danach die kinetische Energie noch reicht, um den Tropfen wieder hoch springen zu lassen.

Diese superamphiphoben Schichten sind robust gegen Defekte. Selbst wenn der obere Teil der Glasstruktur abgetragen ist, bleibt die Glasstruktur superamphiphob, denn sie ist in ihrem Inneren genauso aufgebaut wie an ihrer Oberfläche. Erst wenn die Beschichtung dünner als ein Mikrometer wird, verliert sie ihre selbstreinigenden Eigenschaften. Die Verbesserung der mechanischen Stabilität bildet jedoch eine der Herausforderungen, um die Beschichtung für industrielle Anwendungen nutzbar zu machen. Selbst aufrieselnder Sand führt zu einer sukzessiven Abnutzung der filigranen Glasstruktur [10].

Membrane für Herz-Lungenmaschine

Allerdings gibt es eine Vielzahl Anwendungen, wo die Oberfläche nur geringen mechanischen Belastungen ausgesetzt ist. Ein Beispiel sind Membranen für einen Gasaustausch. Gasmembranen werden zum Beispiel für die Oxygenierung von Blut in Herz-Lungenmaschinen eingesetzt. Dabei strömt das Blut auf der einen Seite der Membran und das Gas auf der anderen Seite (Abbildung 13) [11]. Die gezielte Oxygenierung von Blut bildet immer noch eine große Herausforderung, da schon geringe Scherströmungen und Kontakt zu blutfremden Materialien bewirken können, dass das Blut zu gerinnen anfängt. Klassische Membranen verstopfen oder

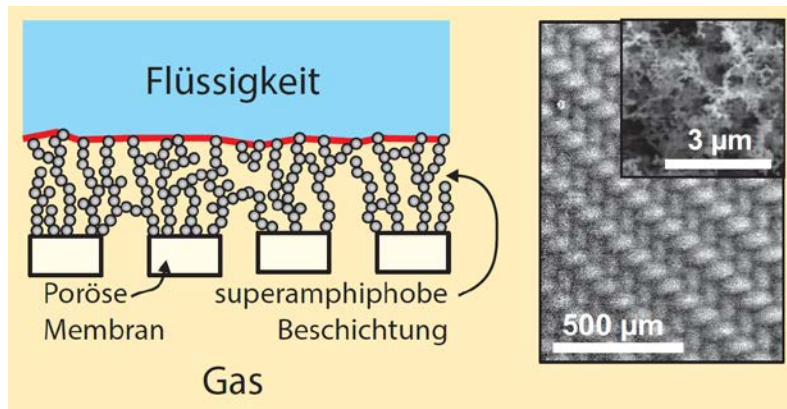


ABB. 11 Links: Bei einer superamphiphoben Membran ruht die Flüssigkeit primär auf einer Luftschicht. Mitte: elektronenmikroskopische Aufnahme einer Membran, die hier aus einem beschichteten Metallnetz besteht, Inset: vergrößerte Aufnahme der Struktur. Rechts: Diese superamphiphobe Membran war mehrere Stunden mit Blut in Kontakt, ohne zu benetzen und verstopfen.

benetzen zumindest bei längerer Anwendung. Beim Benetzen füllt die Flüssigkeit die Membranporen, was die Austauschfläche für den Sauerstoff dramatisch reduziert.

Superamphiphob beschichtete Membranen ermöglichen einen effizienten Gasaustausch bei geringer Kontaktfläche. Die blutabweisende Wirkung der Membran reduziert das Verstopfen und Benetzen der Membran. Wir haben solche superamphiphoben Membranen durch ein feines Metallnetz realisiert, das wir mit unserem schon vorgestellten Verfahren beschichtet haben (Abbildung 11 links). Zuerst überziehen wir das Metallnetz mit Ruß, dann folgen Silanisierung, Verbrennen des Rußes und anschließende Fluorierung des Rußabdrucks (Abbildung 11 Mitte).

Die blutabweisende Wirkung zeigt sich nach Kontakt der Membran mit Blut [12]. Die Membran bleibt blutfrei, während die benachbarten Oberflächen von Blut benetzt wurden (Abbildung 11 rechts). Wir konnten nachweisen, dass diese Membrane das Blut sehr effizient oxygeniert. Damit könnten superamphiphobe Beschichtungen als neuartige Membran mit verbesserten Eigenschaften in Herz-Lungenmaschinen eingesetzt werden. Superamphiphobe Membranen eignen sich aber nicht nur für den Gasaustausch in Blut. Analog können sie für die Gasreinigung, zur CO₂-Abtrennung und -Anreicherung oder ganz allgemein für Gaswäsche eingesetzt werden [12].

Zusammenfassung

Selbstreinigende Oberflächen und Membranen, die nicht mehr verstopfen, sind für viele Anwendungen interessant. Für wässrige Substanzen gibt es schon gut funktionierende Beschichtungen, aber nicht aber für organische Flüssigkeiten. Ganz selten sind solche

Beschichtungen gleichzeitig abweisend für Öle, Wasser, Seifen- und Proteinlösungen. Nicht nur Öle, sondern auch Blut oder Rotwein würden von diesen Oberflächen abperlen, ohne Flecken zu hinterlassen. Dank neuer Einsichten in die Physik der mikroskopischen Benetzung gelang es, erste superamphiphobe Beschichtungen zu entwickeln. Sie ermöglichen zudem neuartige Membranen, die besonders effizient und robust in Herz-Lungenmaschinen Blut oxygenieren oder in Kraftwerken CO₂ abtrennen können.

Stichworte

Lotuseffekt, superhydrophob, superamphiphob, Mikrostruktur, Kontaktwinkel, Kontaktfläche, Herz-Lungenmaschine, CO₂-Abtrennung.

Literatur

- [1] H.-J. Butt, K. Graf, M. Kappl, *Physics and Chemistry of Interfaces*. Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2013.
- [2] W. Barthlott, C. Neinhuis, *Planta* **1997**, 202 (1), 1.
- [3] B. Bhushan, *Biomimetics*, *Philos. Trans. R. Soc. A* **2009**, 367 (1893), 1445.
- [4] P. Papadopoulos et al., *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* **2013**, 110 (9), 3254-8.
- [5] C. Cremer, *Phys. Unserer Zeit*, **2011**, 42, 21.
- [6] D. Quere, *Rep. Prog. Phys.* **2005**, 68 (11), 2495.
- [7] C. W. Extrand, *Langmuir* **2002**, 18 (21), 7991.
- [8] Young, T., *Philos. Trans. R. Soc. London* **1805**, 95, 65.
- [9] A. Tuteja et al., *Science* **2007**, 318 (5856), 1618.
- [10] X. Deng et al., *Science* **2012**, 335 (6064), 67.
- [11] J. Arens et al., *Artif. Organs* **2010**, 34 (9), 707.
- [12] M. Paven et al., *Nature Comm.* **2013**, 4, 2512 (Open Access).

Physics and Chemistry of Interfaces. H.-J. Butt, K. Graf, M. Kappl, 2013. 495 Seiten, 222 Abb., 3. Aufl., Softcover. Wiley-VCH, Berlin 2013. 59,90 € ISBN 3-527-41216-7.

Anschrift

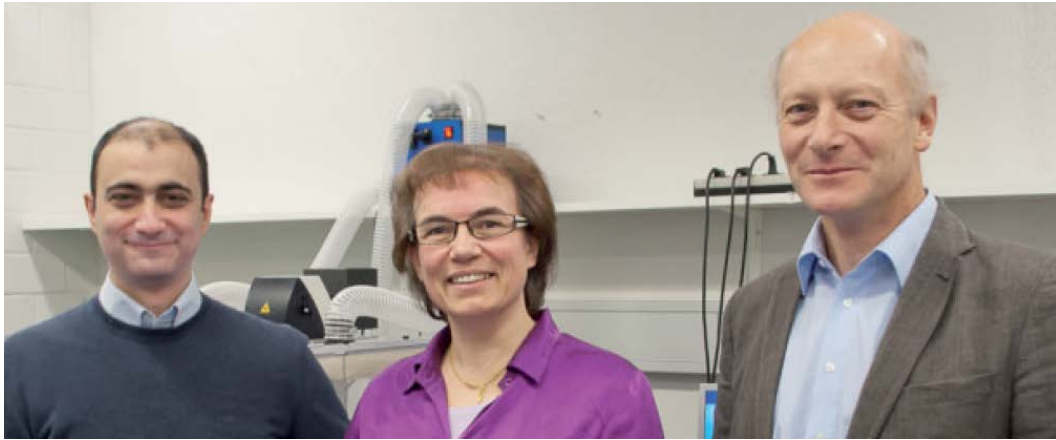
Prof. Dr. Doris Vollmer, Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Ackermannweg 10, D-55118 Mainz.

butt@mpip-mainz.mpg.de,

vollmerd@mpip-mainz.mpg.de,

periklis.papadopoulos@mpip-mainz.mpg.de

<http://projects.mpip-mainz.mpg.de/vollmerd/index.php?page=home>



Die Autoren

Doris Vollmer ist seit 2003 Projektleiterin am Max Planck Institut für Polymerforschung. Nach ihrem Physikstudium in Bielfeld und Utrecht hat sich in der physikalischen Chemie promoviert und habilitiert. Seit 2009 untersucht sie in Mainz das Benetzungsverhalten superhydrophober Oberflächen. **Periklis Papadopoulos** hat Physik in Griechenland studiert und ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe von H.-J. Butt. Er untersucht superhydrophobe Oberflächen vor allem mit konfokaler Laser-Rastermikroskopie. **Hans-Jürgen Butt** hat in Hamburg und Göttingen Physik studiert. Nach seiner Promotion und Habilitation in der Biophysik wandte er sich der Grenzflächenphysik zu. Im Rahmen des European Research Councils (ERC Advanced Grant) entwickelt, charakterisiert und modelliert er superhydrophobe und superamphiphobe Oberflächen.