

®

Bildungsplattform zur Mikro- und Nanotechnologie für
Berufsfach- und Mittelschulen sowie Höhere Fachschulen

Der Lotus-Effekt[®]

Theorie und Versuchsanleitungen



Juni 2011

Stephan Knébel, Marianne Dietiker, Christoph Meili

Kontakt:

Die Innovationsgesellschaft St. Gallen

Lerchenfeldstrasse 5, 9014 St. Gallen

Tel. +41 (0) 71 274 72 66

Mail: info@innovationsgesellschaft.ch

www.swissnanocube.ch

Version Juni 2011

Dieses Modul wurde von der Innovationsgesellschaft St. Gallen im Rahmen des Projektes Swiss Nano-Cube realisiert. Autoren: Stephan Knébel, Marianne Dietiker, Christoph Meili.

Bild Titelseite: Lotusblatt (Bild: Swiss Nano-Cube)

Inhalt

1. Theoretische Grundlagen	2
1.1. Chemische und physikalische Eigenschaften von Flüssigkeiten	2
1.2. Das Lotusblatt	3
1.3. Der künstliche Lotus-Effekt®	5
2. Verschiedene Versuche zum Lotus-Effekt®	9
2.1. Natürlicher Lotus-Effekt® bei Lotuspflanzen und Kapuzinerkresse	9
2.2. Künstlicher Lotus-Effekt® auf Glas.....	10
2.3. Künstlicher Lotus-Effekt® auf Textilien.....	11
2.4. Künstlicher Lotus-Effekt® auf Holz.....	13
2.5. Künstlicher Lotus-Effekt® auf einer CD.....	15
3. Anhang 1: Literaturnachweis	17
4. Anhang 2: Chemikalien/Sicherheit/Entsorgung	18
4.1. Allgemeine Hinweise.....	18
4.2. Links zu den Sicherheitsdatenblättern.....	18
4.3. Rechtsgrundlagen/Haftung	18
4.4. Details zu den verwendeten Chemikalien.....	19

1. Theoretische Grundlagen

1.1. Chemische und physikalische Eigenschaften von Flüssigkeiten

1.1.1. Intermolekulare Bindungen

Moleküle können untereinander auf verschiedene Arten Bindungen eingehen. Man spricht von intermolekularen oder zwischenmolekularen Bindungen. Diese Bindungen sind verantwortlich dafür, dass sich Flüssigkeiten und Feststoffe bilden können. Zwischen den Molekülen in Gasen existieren keine intermolekularen Bindungen. Zu den intermolekularen Bindungen gehören beispielsweise die Ionenbindungen und die Van-der-Waals-Bindungen. Letztere sind schwache elektrostatische Wechselwirkungen, die in verschiedene Stärkeklassen unterteilt werden: Die stärkeren Van-der-Waals-Bindungen sind Dipol-Dipol-Bindungen (u.a. Wasserstoff-Brücken), die sich beispielsweise zwischen Wassermolekülen bilden. Die schwächsten intermolekularen Bindungen bestehen zwischen unpolaren Molekülen wie Kohlenwasserstoff-Verbindungen. Sie werden als Londonsche Dispersionskräfte bezeichnet. Mit zunehmender Molekülgrösse nimmt die Stärke der Londonschen Dispersionskräfte zu [1, 2].

1.1.2. Oberflächenspannung

In Flüssigkeiten werden die einzelnen Moleküle durch schwache intermolekulare Kräfte zusammengehalten. Moleküle, die sich an der Oberfläche der Flüssigkeit befinden, können gleichzeitig intermolekulare Bindungen mit andersartigen Molekülen aus der Umgebung oder mit gleichartigen Molekülen aus der Flüssigkeit eingehen. Die einzelnen Moleküle tendieren dazu, den energetisch günstigsten Zustand zu erlangen. Mit anderen Worten: Sie wollen die stärkste mögliche Bindung mit anderen Molekülen eingehen. Wenn die stärksten möglichen Bindungspartner gleichartige Atome aus der Flüssigkeit sind, führt dies zu einer nach innen gerichteten Spannung der Flüssigkeit, der sogenannten Oberflächenspannung (Abb. 1).

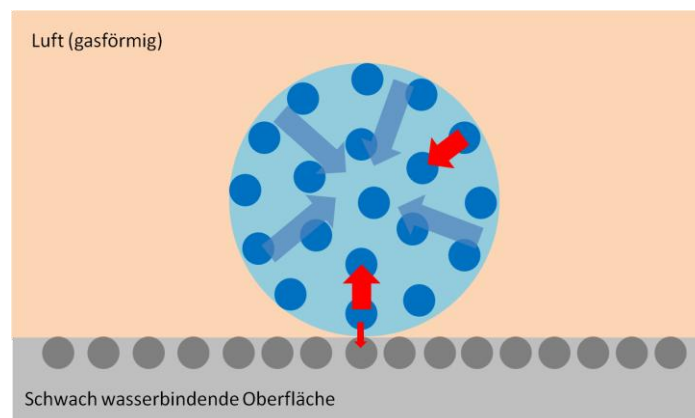


Abbildung 1: Illustration der Oberflächenspannung. Die Wassermoleküle (blau) im Inneren des Tropfens stellen verglichen mit den Molekülen der Umgebung (grau) energetisch günstigere Bindungspartner für die Wassermoleküle an der Oberfläche des Tropfens dar. Es entsteht eine nach innen gerichtete „Bindungsspannung“, die sogenannte Oberflächenspannung. Die Moleküle der Luft stehen nicht als Bindungspartner zur Verfügung, da sie im gasförmigen Zustand sind. (Darstellung: Swiss Nano-Cube)

Aus energetischen Gründen wollen sich möglichst viele Atome im Inneren der Flüssigkeit befinden. Die Oberfläche soll so klein wie möglich sein (Oberflächenminimierung). Die Form mit der kleinsten Oberfläche ist eine Kugel. Flüssigkeiten mit hoher Oberflächenspannung bilden aus diesem Grund Tropfen. Je schwächer zudem die intermolekularen Bindungen zu den

Molekülen der Umgebung sind, desto stärker ausgeprägt ist die Tropfenform. Das Abperlen (Tropfenbildung) von Flüssigkeiten auf bestimmten Oberflächen ist somit eine Folge von sehr schwachen intermolekularen Bindungen zwischen Flüssigkeits- und Oberflächenmolekülen [1], [2].

1.1.3. Hydrophobie und hydrophober Effekt

Der Begriff *hydrophob* stammt aus dem Griechischen und steht für wassermeidend oder wasserabstossend. Das Gegenteil von hydrophob ist hydrophil oder wasserliebend. In der Naturwissenschaft werden Moleküle und Atome nach ihrer Neigung, Wasser zu mögen oder Wasser nicht zu mögen, als hydrophil oder hydrophob eingestuft. Dabei sollte beachtet werden, dass hydrophob in der Naturwissenschaft nicht wasserabweisend bedeutet. Hydrophobe Moleküle stossen Wasser nicht ab, sie bilden mit Wassermolekülen lediglich sehr schwache intermolekulare Bindungen. Hydrophobe Moleküle sind unpolar (apolar) und können keine Dipol-Dipol-Bindungen mit anderen Molekülen eingehen. Hydrophoben Molekülen stehen lediglich die schwachen Londonschen Dispersionskräfte zur Bildung von intermolekularen Bindungen zur Verfügung. Wenn sich nun hydrophobe Moleküle im Wasser befinden (z.B. bei einem Gemisch aus Wasser und Olivenöl), bedeutet dies für die Wassermoleküle, dass sie zwei unterschiedlich starke mögliche Bindungspartner haben. Einerseits die anderen Wassermoleküle, mit welchen sie starke Dipol-Dipol-Bindungen bilden können, andererseits die hydrophoben Moleküle der Umgebung, mit denen sie lediglich schwache Bindungen eingehen können. Die Gesamtheit der Moleküle im Gemisch versucht nun, den energetisch günstigsten Zustand zu erreichen. Das heisst, sie wollen möglichst viele starke und möglichst wenige schwache Bindungen eingehen (siehe auch 1.1.2). Die energetisch günstigste Zustandsform wird dann erreicht, wenn die Kontaktfläche der Wassermoleküle zu den hydrophoben Umgebungsmolekülen minimal ist. Dieses Phänomen wird als hydrophober Effekt bezeichnet und kann beispielsweise bei der Bildung von Fett-Emulsionen in wässriger Umgebung beobachtet werden (Öltropfen im Wasser).

1.2. Das Lotusblatt

Die äusserste Schicht des Lotusblattes (Lateinsischer Name: *Nelumbo nucifera* [3]) ist so aufgebaut, dass sie dank der oben beschriebenen chemisch-physikalischen Phänomene (Oberflächenspannung und hydrophober Effekt) „selbstreinigende“ Eigenschaften besitzt. „Selbstreinigung“ ist in diesem Zusammenhang eigentlich ein irreführender Begriff, weil die Pflanze sich natürlich nicht selbst reinigen kann, aber zusammen mit Wasser (z.B. in Form von Regen) kann die Oberfläche leicht sauber gehalten werden.

Die äusserste Zellschicht von Pflanzenblättern wird durch sogenannte Epidermiszellen gebildet. Direkt oberhalb der Epidermiszellen befindet sich eine mikrostrukturierte Schicht, die *Cuticula*. Sie besteht aus hydrophoben Molekülen und verhindert einerseits, dass die Pflanze von innen her Wasser verliert, und andererseits, dass Schmutzpartikel und Wasser an der Oberfläche der Blätter haften können. Das besondere an der Lotuspflanzenoberfläche ist jedoch nicht ihre hydrophobe Cuticula, denn eine solche besitzen nahezu alle Pflanzen. Die Lotuspflanze zeigt eine besonders strukturierte Cuticula, welche es ermöglicht, dass die Kontaktfläche zu Schmutzpartikeln oder Wasser stark verkleinert wird. Die Verkleinerung der Kontaktfläche geht mit der Vergrösserung des sogenannten „Kontaktwinkels“ zwischen Wasser und Oberfläche einher. Die Kombination aus hydrophober Oberfläche und grossem Kontaktwinkel wird als Superhydrophobie bezeichnet. Wassertropfen perlen von superhydrophoben Oberflächen als nahezu perfekte Tropfen ab und können dabei allfällig vorhandene Schmutzpartikel von der Pflanzenoberfläche mitreissen (Abb. 2 und 3). Sogar hydrophobe Schmutzpartikel werden aufgrund ihrer minimalen Kontaktfläche zur Blattoberfläche von den Wassertropfen mitgeschwemmt.



Abbildung 2: Selbstreinigende Oberfläche eines getrockneten Lotusblattes. Feine Schmutzpartikel (Tonpulver) werden vom abperlenden Wasser mitgeschwemmt. (Bilder: Swiss Nano-Cube)

Die mikrostrukturierte Cuticula der Lotuspflanze besitzt einzelne, ca. 20 μm hohe Ausstülpungen, sogenannte Papillae. Darauf aufgelagert befindet sich eine Schicht aus nanostrukturierten Wachskristallen [4]. Die Form und Struktur der Wachskristalle ist abhängig von der chemischen Zusammensetzung der Wachse. Wachse sind chemisch gesehen Ester von Fettsäuren mit langkettigen Alkoholen [3]. Die Wachse an der Blattoberfläche werden als epicuticulare Wachse bezeichnet. Neben der Lotuspflanze besitzen auch andere Pflanzen selbstreinigende Oberflächen dank der speziellen Zusammensetzung ihrer epicuticularen Wachse: Zum Beispiel die Kapuzinerkresse, der Frauenmantel oder der Kohlrabi.

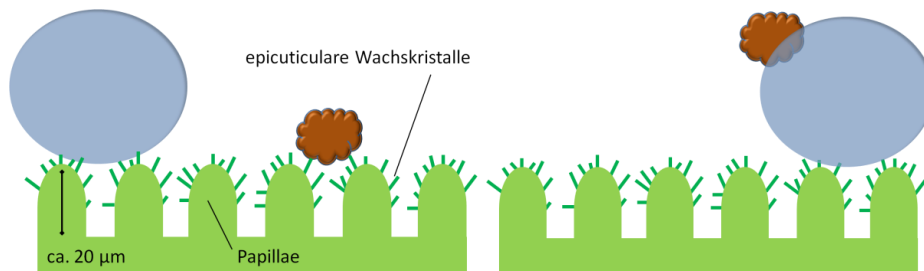


Abbildung 3: Superhydrophobe Mikro- und Nanostruktur der Cuticula einer Lotuspflanze. Die Schmutzpartikel haben aufgrund der Wachskristalle (dunkelgrün) eine minimale Kontaktfläche zur Oberfläche des Lotusblattes. Sogar hydrophobe Schmutzpartikel werden stärker an der Oberfläche des Wassertropfens gebunden als an die Oberfläche des Lotusblattes. (Darstellung: Swiss Nano-Cube)

Die Struktur der epicuticularen Wachskristalle ist entscheidend für die Benetzbarkeit der Blattoberfläche. Die Benetzbarkeit wird anhand des Kontaktwinkels zwischen Wassertropfen und Oberfläche bestimmt. Eine totale Benetzung ist bei einem Kontaktwinkel von 0 Grad vorhanden, bei 180 Grad spricht man von vollkommener Unbenetzbarkeit, was allerdings in der Natur nicht möglich ist (Abb. 4) [3]. Je rauer (auf Mikroebene!) und hydrophober die Oberfläche, desto grösser ist der Kontaktwinkel des Wassertropfens. Zwischen den einzelnen hydrophoben Wachskristallen sind Luftpockets vorhanden, wodurch die Kontaktfläche verringert wird. Aufgrund der hohen Oberflächenspannung des Wassers, das möglichst die Kugelform beibehalten möchte, sowie der geringen Interaktion zwischen Wasser und Oberfläche, ist es für das System energetisch am günstigsten, wenn der Wassertropfen Luft unter sich einschliesst und eine Brücke von Oberflächenrauigkeitsspitze zu Oberflächenrauigkeitsspitze bildet. Das Wasser kann seinen optimalen energetischen Zustand nur erreichen, wenn es den Kontaktwinkel maximiert (Abb. 5).

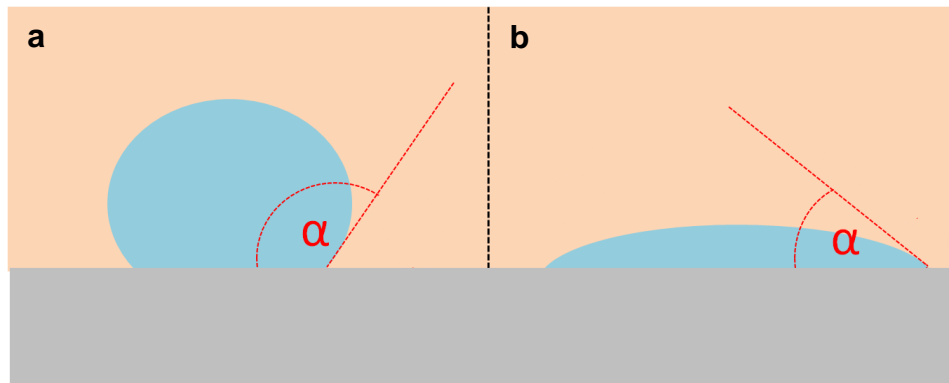


Abbildung 4: Kontaktwinkel α an der Grenzfläche zwischen einer Flüssigkeit (blau) und einem Festkörper (grau). **a)** Grosser Kontaktwinkel, geringe Benetzbarkeit. **b)** Geringer Kontaktwinkel, hohe Benetzbarkeit. Minimaler Kontaktwinkel 0 Grad, maximaler Kontaktwinkel 180 Grad. (Darstellung: Swiss Nano-Cube)

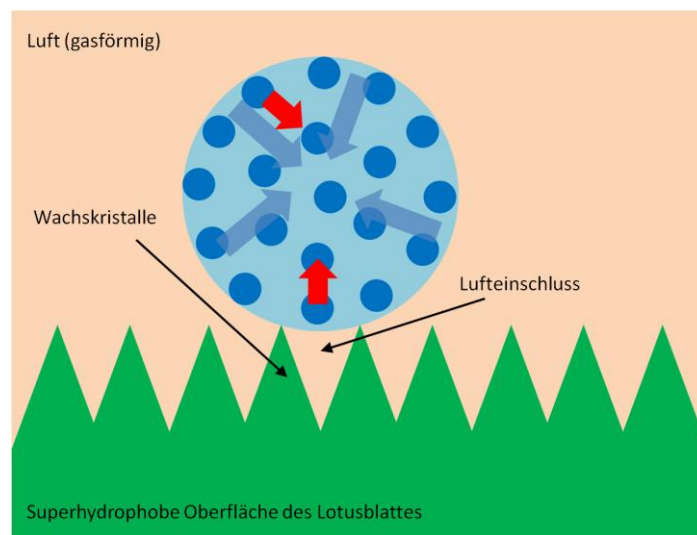


Abbildung 5: Minimierung der Kontaktfläche zwischen einer superhydrophoben Oberfläche und Wasser. Zwischen den Wachskristallen und dem Wassertropfen befinden sich Lufteinschlüsse, wodurch die Kontaktfläche des Wassertropfens mit der Blattoberfläche minimiert wird. (Darstellung: Swiss Nano-Cube)

Hydrophobe Schmutzpartikel haben ebenfalls eine minimale Kontaktfläche zur Blattoberfläche und werden daher sogar von hydrophilen Wassertropfen besser gebunden als von der hydrophoben Blattoberfläche.

1.3. Der künstliche Lotus-Effekt®

Der Lotus-Effekt® bezeichnet die selbstreinigende Eigenschaft einer Oberfläche. Selbstreinigend bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Oberfläche durch Wasser ohne den Einsatz weiterer Substanzen gereinigt werden kann. Der Effekt ist nicht auf die Lotuspflanze beschränkt und kann auch künstlich erzeugt werden [3,5]. Dabei werden die zu behandelnden Oberflächen künstlich rau gemacht, so dass ihre äusserste Schicht, ähnlich wie die Blätter der Lotuspflanze, eine im oberen Nanometer bis Mikrometerbereich „hügelige“ Struktur aufweist. Diese nanodimensionierte Oberflächenstruktur verhindert, wie oben beschrieben, dass Schmutzpartikel an der Oberfläche haften können. Die Nanotechnologie hinter dem vielgepriesenen Effekt steckt also in der Struktur der Oberfläche.

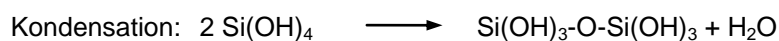
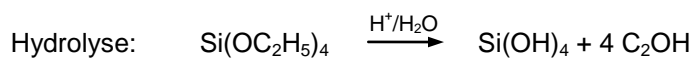
Entdeckt wurde der der Effekt in den 90er Jahren von Wilhelm Barthlott, Professor an der Universität Bonn. Der Lotus-Effekt® ist heute sogar eine Handelsmarke [5,6]. Der Lotus-Effekt® ist die wohl am häufigsten genannte Anwendung der Nanotechnologie. Dies liegt möglicherweise daran, dass der Begriff „Lotus-Effekt®“ seit seiner Entdeckung in den 90er Jahren immer wieder zur Vermarktung von Produkten zur Oberflächenbehandlung verwendet wird. Wer auf Google® nach Nanotechnologie sucht, findet als erstes Links zu Unternehmen, welche Produkte vertreiben, die sich den Lotus-Effekt® zu Nutze machen. Heute sind verschiedenste Patente im Zusammenhang mit dem Lotus-Effekt® auf dem Markt, wie zum Beispiel Lotusan®, eine Farbe, die Hausfassaden selbstreinigend macht. Des Weiteren existieren verschiedenste Anwendungen, welche sich auf Autoscheiben, Textilien oder auch Holz auftragen lassen, um diese zumindest vorübergehend selbstreinigend zu machen. Manche superhydrophoben Oberflächen sind sogar so aufgebaut, dass sie nicht nur Wasser abperlen lassen, sondern auch viskose Flüssigkeiten wie Leim oder Honig. Der Lotus-Effekt® versagt jedoch bei stark benetzenden Lösungsmitteln wie beispielsweise Graffiti-Farbe, welche eine zu geringe Oberflächenspannung besitzt [3].

1.3.1. Technische Herstellung superhydrophober Oberflächenbeschichtungen

Eines der wichtigsten Verfahren zur Herstellung von nanotechnologischen superhydrophoben Oberflächenbeschichtungen ist das Sol-Gel-Verfahren. Bei diesem Verfahren werden stabile Dispersionen von Nanopartikeln durch allmähliches Verdampfen des Lösungsmittels zu einem Gel verdichtet. Beim Sol-Gel-Verfahren sind zwei grundlegende Schritte zu unterscheiden: Die Herstellung des Sols und die Oberflächenbeschichtung im Tauchbeschichtungsverfahren.

1.3.1.1. Herstellung eines Sols

Der Ausgangsstoff beim Sol-Gel-Verfahren ist das sogenannte Sol. Ein Sol ist eine kolloidale Lösung, in der Nanopartikel oder Makromoleküle stabil dispergiert sind. Stabil bedeutet in diesem Fall, dass die Partikel nur schwach miteinander wechselwirken [7]. Für Oberflächenbeschichtungen häufig verwendete Sole sind Dispersionen aus speziell modifizierten Siliziumdioxid-Nanopartikeln (SiO_2). Zur Herstellung der Siliziumdioxid-Nanopartikel werden Silane durch Hydrolyse und anschliessende Kondensation zu Nanopartikeln „aggregiert“. Silane sind chemische Verbindungen mit einem Silizium-Grundgerüst. Die einfachste Form von Siliziumdioxid-Nanopartikeln entsteht, wenn als Ausgangsstoff Tetraethoxysilan (TEOS, $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$) verwendet wird. Bei tiefem pH-Wert werden die Ethoxy-Gruppen des TEOS zu reaktiven Hydroxy-Gruppen hydrolysiert, welche anschliessend durch chemische Kondensation agglomerieren [8].



Durch die Kondensation entstehen Siliziumdioxid-Agglomerate, welche zu Nanopartikeln heranwachsen. Entscheidend für die Bildung der Nanopartikel ist der pH-Wert. Bei tiefem pH findet vorwiegend Hydrolyse statt, während bei hohem pH die Kondensationsreaktion bevorzugt ist. Entsprechend stellt sich also bei einem gewissen pH ein Gleichgewicht zwischen den beiden Reaktionen ein, welches eine weitere Agglomeration stoppt, wodurch die Partikel ab einer gewissen Grösse (5-50 nm) stabilisiert werden [8].

Soll das hergestellte Sol anschliessend zur Herstellung einer superhydrophoben Oberflächenbeschichtung verwendet werden, müssen neben den einfachen Siliziumdioxid-Nanopartikeln auch noch Nanopartikel mit hydrophober Oberflächenmodifikation im Sol vorhanden sein. Dazu werden zur Herstellung des Sols neben TEOS zusätzlich Silane mit

hydrophoben Seitenketten verwendet [7,8]. So entstehen Siliziumdioxid-Nanopartikel, welche an ihren Oberflächen hydrophobe Strukturen aufweisen.

1.3.1.2. Oberflächenbeschichtung im Tauchbeschichtungsverfahren

Ziel des Tauchbeschichtungsverfahrens ist es, die hydrophoben Nanopartikel in einer möglichst dünnen Schicht an eine Substratoberfläche zu binden, so dass diese superhydrophobe Eigenschaften annimmt.

Dem Tauchschichtverfahren liegt ein einfaches Prinzip zu Grunde: Die zu beschichtende Substratoberfläche (z. B. eine Glasscheibe) wird in ein Sol mit hydrophob modifizierten Siliziumdioxid-Nanopartikeln getaucht und langsam wieder herausgezogen. Beim und nach dem Herausziehen verdampft das Lösungsmittel allmählich und es bildet sich ein Hydrogel auf der Oberfläche des Substrates (Abb. 6).

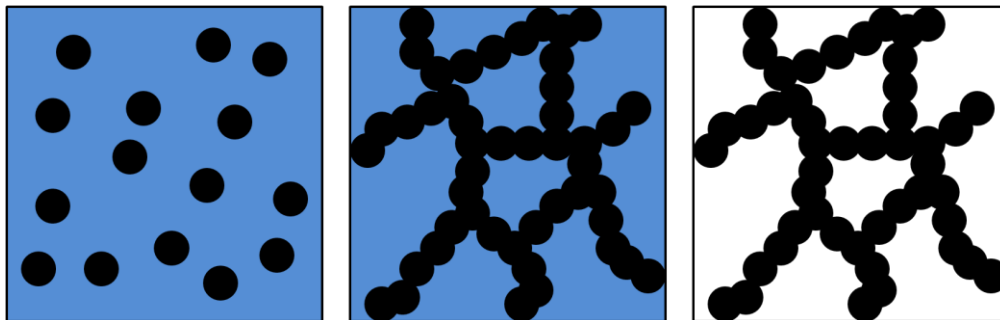


Abbildung 6: Entstehungsphasen einer superhydrophoben Oberflächenbeschichtung mit dem Sol-Gel-Verfahren. **Links:** Sol: Stabil dispergierte Nanopartikel mit hydrophober Oberflächenmodifizierung. **Mitte:** Durch allmähliches Verdampfen des Lösungsmittels (blau) aggregieren die Sol-Partikel zu einem Netzwerk. Sobald das Lösungsmittel vollständig vom Netzwerk adsorbiert ist, bildet sich ein Hydrogel. **Rechts:** Durch weiteres Verdampfen des Lösungsmittels bleibt das aus Nanopartikeln bestehende, hydrophobe Netzwerk auf der Oberfläche zurück. (Darstellung: Swiss Nano-Cube)

Hydrogele sind von ihrer Struktur her zweiphasig und bestehen aus einer festen Phase (Netzwerk der Nanopartikel) und einer flüssigen Phase (Lösungsmittel, welches die Zwischenräume des Netzwerks füllt) [7]. Sie entstehen durch Kondensationsreaktionen zwischen den Oberflächenmolekülen der einzelnen Nanopartikeln eines Sols, begünstigt durch das Verdampfen des Lösungsmittels. Durch das Verdampfen des Lösungsmittels können sich die einzelnen Partikel besser annähern und stärker wechselwirken. Durch weiteres Verdampfen des Lösungsmittels und anschließendes Erhitzen bleibt nur noch das hydrophobe Netzwerk auf der Substratoberfläche zurück (Abb.7).

Industrielle Beschichtungsverfahren erlauben es, die Schichten derart dünn aufzutragen, dass diese durchsichtig sind, weil Schichten unter 100 nm keine Lichtstreuung aufweisen und deshalb nahezu transparent sind [8]. Mancherlei industrielle Verfahren (u.a. verschiedene Imprägnier-Sprays) geben jedoch lediglich vor, auf dem Lotuseffekt zu basieren, da sie nur Chemikalien verwenden, um die Oberfläche hydrophob zu beschichten. Allerdings darf nur vom Lotuseffekt gesprochen werden, wenn sowohl die Struktur, als auch die Hydrophobie der Oberfläche gegeben ist.

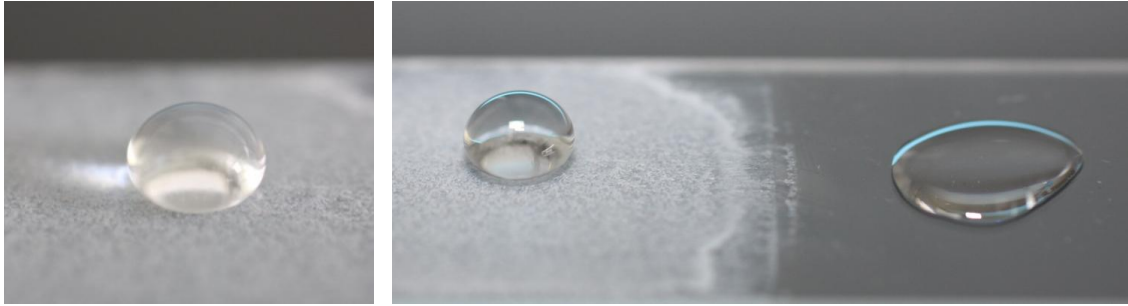


Abbildung 7: Links: Wassertropfen mit grossem Kontaktwinkel auf einem mit dem Sol-Gel-Verfahren hydrophob beschichteten gläsernen Objektträger. **Rechts:** Vergleich beschichtet/unbeschichtet. *Die Beschichtung wurde anhand einer Anleitung aus dem „Experimentierkasten zur Chemischen Nanotechnologie“ hergestellt [9].* (Bilder: Swiss Nano-Cube)

2. Verschiedene Versuche zum Lotus-Effekt®

2.1. Natürlicher Lotus-Effekt® bei Lotuspflanzen und Kapuzinerkresse

2.1.1. Versuchsanordnung/Materialien/Chemikalien (pro Schüler/-in oder Team)



Abbildung 8: Versuchsanordnung/Materialien Versuch 2.1. (Bild: Swiss Nano-Cube)

- 1 getrocknetes, unbehandeltes Lotusblatt (auch mit frischen Lotusblättern möglich)
- 1 unbehandeltes Blatt der Kapuzinerkresse (kann auch durch unbehandeltes Kohlrabi-Blatt ersetzt werden)
- Fein zermahlene Tonerde (auch mit feiner Erde, Asche, etc. möglich)
- 1 graduierte Plastik-Pasteurpipette (ca. 5 ml)
- 1 Becherglas mit Leitungswasser
- Papiertaschentücher oder alte Zeitungen als Unterlage

2.1.2. Versuchsdurchführung/Resultate

Dauer ca. 2 min

2.1.2.1. Versuchsdurchführung

1. Die fein zermahlene Tonerde mit dem Salzstreuer auf das Blatt streuen.
2. Mit der Plastik-Pasteurpipette einzelne Wassertropfen auf das schmutzige Blatt geben und beobachten, was geschieht.
3. Die Blätter können danach vollständig mit Wasser gereinigt und mehrmals verwendet werden. Wichtig: Die Blätter dürfen nicht behandelt oder mit Seife gewaschen werden.

2.1.2.2. Resultate

Unabhängig davon, ob die Blätter der Pflanzen getrocknet sind oder nicht, kann der Lotus-Effekt® bei beiden Pflanzen gut beobachtet werden. Das Wasser perlt an der Blattoberfläche ab und bildet nahezu perfekte Tropfen mit sehr grossem Kontaktwinkel. Die Schmutzpartikel (fein zermahlener Ton) werden von den Wassertropfen mitgerissen und das Blatt erscheint wieder völlig sauber (Abb. 9).



Abbildung 9: Getrocknetes Lotusblatt mit feinzermahlenem Ton und einem Wassertropfen. (Bild: Swiss Nano-Cube)

Die Versuchsanordnung kann ausgebaut werden, indem weitere Blätter oder Oberflächen auf ihre „selbstreinigenden“ Eigenschaften hin untersucht werden (Papier, Kunststoff, Glas, Metall, etc.) Die Schüler/innen können versuchen, die Materialien nach dem Kontaktwinkel zu ordnen.

2.2. Künstlicher Lotus-Effekt® auf Glas

2.2.1. Versuchsanordnung/Materialien/Chemikalien (pro Schüler/-in oder Team)

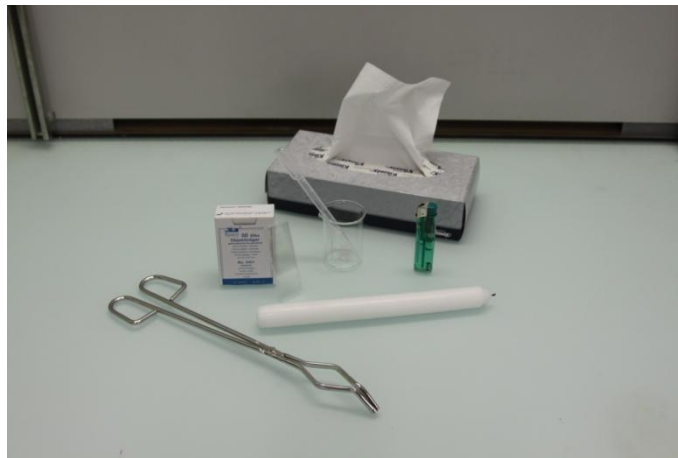


Abbildung 10: Versuchsanordnung/Materialien Versuch 2.2. (Bild: Swiss Nano-Cube)

- 1 Objektträger aus Glas (ca. 76 x 26 mm)
- 1 Kerze inkl. Feuerzeug
- 1 Tiegelfzange
- 1 graduierte Plastik-Pasteurpipette (ca. 5 ml)
- 1 Becherglas mit Leitungswasser
- Papiertaschentücher als Unterlage

2.2.2. Versuchsdurchführung/Resultate

Dauer ca. 4 min

2.2.2.1. Versuchsdurchführung

1. Den Objektträger mit der Tiegelfzange ca. 1-2 cm über der brennenden Kerze halten, bis die eine Hälfte des Objektträgers vollständig mit schwarzem Russ bedeckt ist.
2. Mit der Plastik-Pasteurpipette einzelne Wassertropfen auf die saubere und auf die verrusste Seite des Objektträgers geben und die Form der Tropfen vergleichen.
3. Der Objektträger kann nach dem Versuch problemlos gereinigt und wiederverwendet werden.

2.2.2.2. Resultate

Auf der verrussten Seite des Objektträgers bilden sich nahezu perfekte Tropfen mit grossem Kontaktwinkel (Abb. 11). Die saubere Seite weist eine deutlich bessere Benetzbarkeit auf. Russ bildet eine stark hydrophobe Oberflächenbeschichtung (Kohlenwasserstoffketten) und ermöglicht so das Abperlen des Wassers [10].

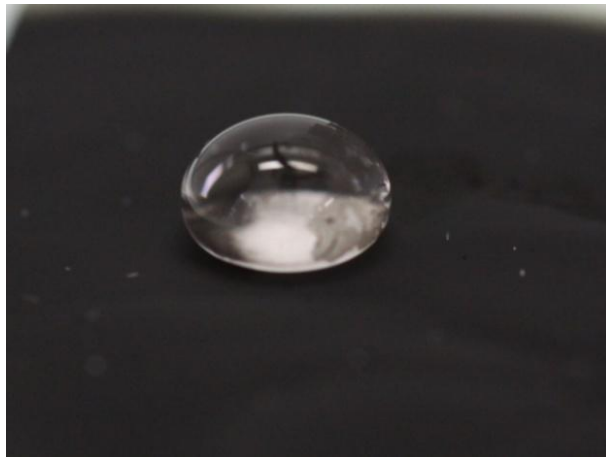


Abbildung 11: Wassertropfen auf einer mit Russ beschichteten Glasoberfläche. (Bild: Swiss Nano-Cube)

2.3. Künstlicher Lotus-Effekt® auf Textilien

2.3.1. Materialien/Chemikalien (pro Schüler/-in oder Team)

- Textilimprägnierungs-Spray auf nanotechnologischer Basis (z.B. Nano-Tex, NanoSys GmbH)
- 2 Stücke Stoff (ca. 10 x 10 cm)
- Cola oder Sirup
- Tomatenketchup
- 1 graduierte Plastik-Pasteurpipette (ca. 5 ml)
- Papiertaschentücher als Unterlage

2.3.2. Versuchsdurchführung/Resultate

Dauer ca. 5 min (Imprägnierung muss ca. 1 Stunde trocknen)

2.3.2.1. Versuchsdurchführung

Sicherheitshinweis: Hinweise auf dem Produkt beachten!

1. Eines der beiden Stoffstücke mit dem Imprägnier-Spray behandeln und trocknen lassen. Das zweite Stück bleibt unbehandelt und dient als Vergleich. Beide Stücke vorher entsprechend kennzeichnen. (Bei der Verwendung von Textimprägnierungen auf nanotechnologischer Basis immer zuerst die Sicherheitshinweise auf dem Produkt beachten!)
2. Am folgenden Tag beide Stücke mit Wasser, Cola und Ketchup beflecken und die Unterschiede zwischen behandeltem und unbehandeltem Stoff beobachten.

2.3.2.2. Resultate

Wasser und Cola perlen auf behandelten Textilien ab, ohne Flecken zu hinterlassen. Ketchup kann mit einem Papiertaschentuch nahezu ohne Rückstände weggewischt werden. Unbehandelte Textilien saugen Flüssigkeiten auf und Ketchup-Flecken können nur mit Hilfe von Seife entfernt werden (Abb. 12, 13).

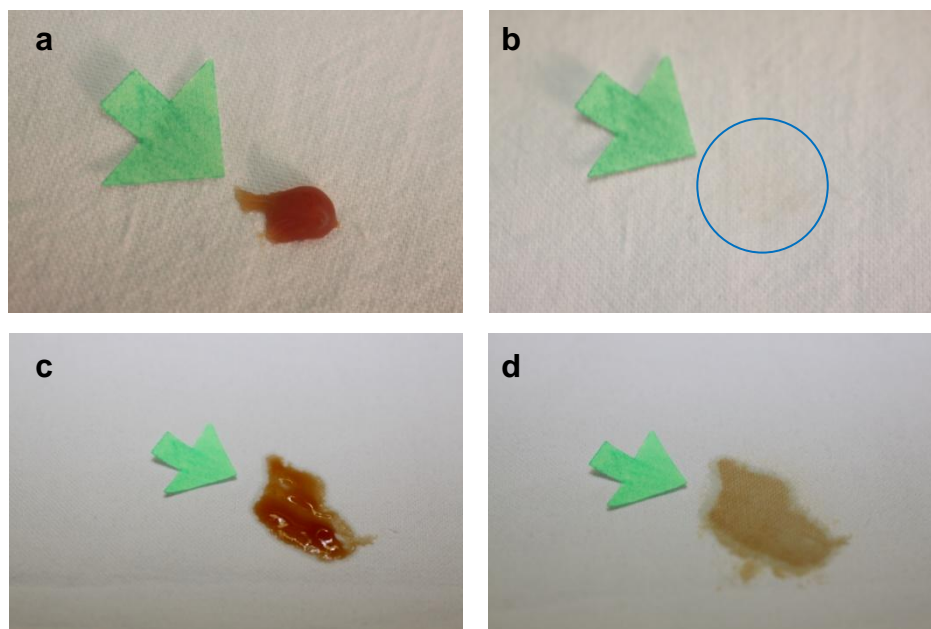


Abbildung 12: Wirkung der Nano-Textilimprägnierung: Ketchup kann mit einem Taschentuch nahezu rückstandslos weggewischt werden. **a)** Imprägniert. **b)** Imprägniert, Ketchup weggewischt. **c)** Unbehandelt. **d)** Unbehandelt, Ketchup weggewischt. (Bilder: Swiss Nano-Cube)

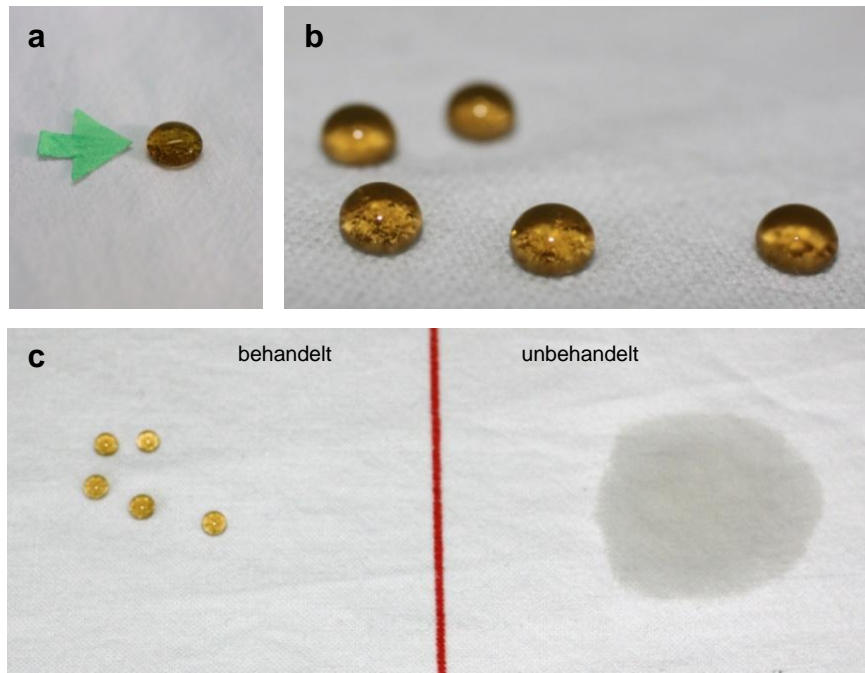


Abbildung 13: Wirkung der Nano- Textilimpregnierung: Cola perlt ab. Es bleiben keine Flecken zurück. **A und b)** Abperlende Cola-Tropfen mit grossem Kontaktwinkel. **c) Links:** imprägniert. **Rechts:** Unbehandelt, Cola wird vom Stoff aufgesaugt. (Bilder: Swiss Nano-Cube)

2.4. Künstlicher Lotus-Effekt® auf Holz

2.4.1. Versuchsanordnung/Materialien/Chemikalien (pro Experiment)

- Holzimpregnierungs-Spray auf nanotechnologischer Basis (z.B. Nano-Perl 118 F, NanoSys GmbH)
- 2 unbehandelte Holzstücke (ca. 6 x 12 cm)
- 1 graduierte Plastik-Pasteurpipette (ca. 5 ml)
- 1 Becherglas mit Leitungswasser
- 1 kleiner Massstab
- Papiertaschentücher als Unterlage
- Optional: Fein zermahlene Tonerde (oder feine Erde, Asche, etc.)

Hinweis: Anstelle von Holz oder zusätzlich zu Holz können auch kleine Tontöpfe oder Tonscherben zum Experimentieren verwendet werden.

2.4.2. Versuchsdurchführung/Resultate

Dauer ca. 5 min (Impregnierung muss ca. 1 Stunde trocknen!)

2.4.2.1. Versuchsdurchführung

Sicherheitshinweis: Hinweise auf dem Produkt beachten!

1. Eines der beiden Holzstücke mit dem Imprägnierungs-Spray behandeln und trocknen lassen. Das zweite Stück bleibt unbehandelt und dient als Vergleich. Beide Stücke vorher

entsprechend kennzeichnen. (Bei der Verwendung von Nano-Perl® oder ähnlichen Produkten müssen die Sicherheitshinweise auf der Dose beachtet werden!)

2. Am folgenden Tag auf beide Stücke mit der Plastik-Pasteurpipette ca. 0.5 ml Wasser auftragen und anschliessend mit dem Massstab den Durchmesser der Tropfen messen.
3. Beim Auftragen von fein zermahlener Tonerde kann ein ähnlicher selbstreinigender Effekt wie bei Versuch 2.1 beobachtet werden.

2.4.2.2. Resultate

Durch die Imprägnierung perlt Wasser unter einem grösseren Kontaktwinkel ab als auf unbehandelten Holzstücken (Abb. 14).

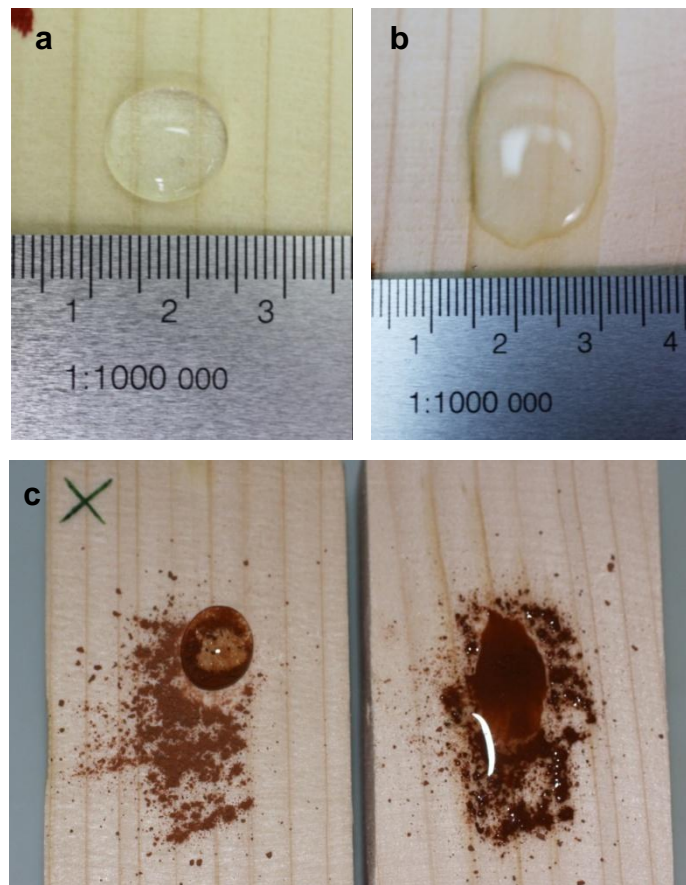


Abbildung 14: Wirkung der Nano-Holzimprägnierung: Der Kontaktwinkel des Wassers wird vergrössert, die Kontaktfläche verringert. **a)** Imprägniert. **b)** Unbehandelt. **c) Links:** Imprägniert mit „Verschmutzung“. **Rechts:** Unbehandelt mit „Verschmutzung“. (Bilder: Swiss Nano-Cube)

In der Regel funktionieren Nanoimprägnierungs-Sprays auf verschiedenen Untergründen recht gut, auch wenn sie – laut Herstellerangaben – nur für ein bestimmtes Material geeignet sind. Wir empfehlen, zuerst einmal ein einziges Produkt (z.B. eines für Holz) zu beschaffen und dann auszuprobieren, ob sich dieses auch für Textilien, Ton, Papier, etc. eignet.

2.5. Künstlicher Lotus-Effekt® auf einer CD

2.5.1. Versuchsanordnung/Materialien/Chemikalien (pro Experiment)

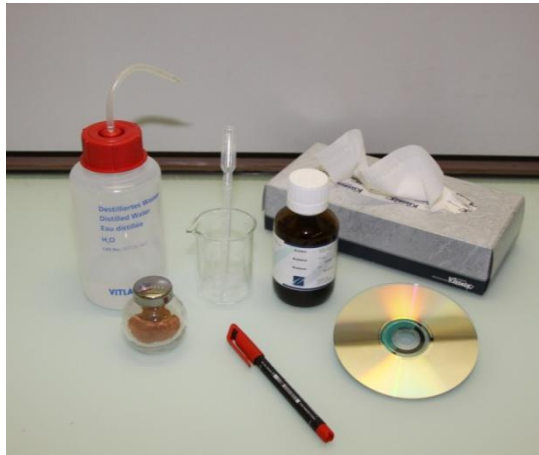


Abbildung 15: Versuchsanordnung/Materialien Versuch 2.5. (Bild: Swiss Nano-Cube)

- Aceton/C₃H₆O (Carl Roth GmbH)
- 1 alte CD
- 1 graduierte Plastik-Pasteurpipette (ca. 5 ml)
- 1 Becherglas
- Destilliertes Wasser in einer Spritzflasche
- Papiertaschentücher als Unterlage
- Optional: Fein zermahlene Tonerde (oder feine Erde, Asche, ...)

2.5.2. Versuchsdurchführung/Resultate

Dauer ca. 40 min

2.5.2.1. Versuchsdurchführung

Sicherheitshinweis: Schutzbrille, Handschuhe!

1. Ca. einen Viertel der CD- mit einer Plastik-Pasteurpipette zügig mit Aceton bedecken.
2. Aceton ca. 10 min verdunsten lassen.
3. Schritte 1 und 2 zwei weitere Male wiederholen.
4. Die zuvor mit Aceton bedeckte Schicht mit dest. Wasser aus der Spritzflaschebedecken.
5. Das dest. Wasser 10 bis 20 min verdunsten lassen. Wichtig: Die behandelte CD-Fläche muss vollständig getrocknet sein, damit der Lotus-Effekt® beobachtet werden kann.
6. Zum Schluss einzelne Wassertropfen auf die behandelte und die unbehandelte Fläche der CD aufgetragen und die Tropfenform verglichen. Optional kann auch hier fein zermahlene Tonerde aufgetragen werden, um die Selbstreinigung zu beobachten.

2.5.2.2. Resultate

Das Aceton ermöglicht die Bildung von teilkristallinen Strukturen der hydrophoben Bestandteile des CD- Kunststoffes. Durch die Kristallbildung wird eine raue und hydrophobe Oberfläche im Nano-/Mikro-meterbereich erzeugt, die für den Lotus-Effekt verantwortlich ist (Abb. 16) [11].



Abbildung 16: Lotus-Effekt auf einer CD. **Links:** Unbehandelt. **Rechts:** Mit Aceton behandelte raue Fläche (weisser Fleck). (Bild: Swiss Nano-Cube)

3. Anhang 1: Literaturnachweis

- [1] *Atkins P.W., Beran J.A., Chemie: einfach alles, 2. korrigierte Auflage, Wiley-VCH, 1998*
- [2] *Tipler P.A., Mosca G., Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, 2. deutsche Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, 2004*
- [3] *Fürstner R., Neinhuis C., Barthlott W., Der Lotus-Effekt: Selbstreinigung mikrostrukturierter Oberflächen, Nachrichten aus der Chemie 48, 2000*
- [4] *Koch, K., Bhushan, B. and Barthlott, W. Diversity of structure, morphology and wetting of plant surfaces. Soft Matter, 4, 2008, S. 1943-1963.*
- [5] *Spaeth M., Barthlott W., Lotus-Effect: Biomimetic super-hydrophobic surfaces an their application, Advances in Science and Technology 60, 2008, 38-46*
- [6] *Barthlott W., Germany Patent No. Patent, EP 0772514 B1 (25.07.1995 1998)*
- [7] *Schmidt H. K., Anorganische Synthesemethoden: Das Sol-Gel-Verfahren, Chemie in unserer Zeit 35, 2001, 176-184*
- [8] *Sepour S., Nanotechnologie: Grundlagen und Anwendungen, Hannover: Vincentz Network, 2008*
- [9] *Experimentierkasten zur Chemischen Nanotechnologie, INM Leibniz-Institut für Neue Materialien (www.cc-nanochem.de)*
- [10] www.nanoforschools.ch
- [11] *Fonds der Chemischen Industrie, Versuchsanleitungen NanoBoX, <http://fonds.vci.de/>*

4. Anhang 2: Chemikalien/Sicherheit/Entsorgung

4.1. Allgemeine Hinweise

Vor der Verwendung der Chemikalien müssen in allen Fällen die Sicherheitsdatenblätter studiert werden!

Diese werden vom Hersteller mit den Chemikalien mitgeliefert oder können auf den Webpages der Hersteller kostenlos heruntergeladen werden. Die Links zu den Sicherheitsdatenblättern sind im Abschnitt 4.2 zu finden.

Weitere Informationen zu den Chemikalien können auch in der [GESTIS-Stoffdatenbank](#) abgerufen werden. Die gesuchten Chemikalien lassen sich in Datenbanken am besten finden, wenn nach der CAS Nummer gesucht wird. Die jeweiligen Nummern sind in diesem Dokument vermerkt.

Alle R- & S-Sätze sind auf der [Webpage des Bundesamtes für Gesundheit \(BAG\)](#) zu finden.

Weitere Hinweise zum Umgang mit Chemikalien finden Sie auf der [Infowebsite des Bundes](#).

4.2. Links zu den Sicherheitsdatenblättern

- [Nano-Tex](#) (NanoSys GmbH)
- [Nano-Perl 118 F](#) (NanoSys GmbH)
- [Aceton](#) (Carl Roth GmbH)

4.3. Rechtsgrundlagen/Haftung

Als verbindlich gelten ausschliesslich die Informationen aus den Sicherheitsdatenblättern der Chemikalien-Hersteller.

Die Sicherheitsdaten für die verwendeten Chemikalien sowie die Sicherheitshinweise zur Durchführung der Experimente wurden sorgfältig recherchiert. **Trotzdem wird keine Haftung für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Informationen übernommen.**

4.4. Details zu den verwendeten Chemikalien

4.4.1. Nano-Tex

[Link zum Sicherheitsdatenblatt](#)

Hersteller [NanoSys GmbH](#)

Fluorcarbonpolymer in Isoalkanen. Farblose Flüssigkeit, mild bis geruchslos.

Gefahrensymbole



Xn gesundheitsschädlich

- | | |
|------|---|
| R 10 | Entzündlich. |
| R 65 | Gesundheitsschädlich: Kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen. |
| R 66 | Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen. |
| R 67 | Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen. |

Hinweise zur Entsorgung

Nie im Abguss, in der Toilette oder im Haushaltsabfall entsorgen! Hinweise im [Sicherheitsdatenblatt](#) des Herstellers beachten. Lokale Vorschriften beachten.

Quellen

- [NanoSys GmbH](#)

4.4.2. Nano-Perl 118 F

[Link zum Sicherheitsdatenblatt](#)

Hersteller [NanoSys GmbH](#)

Die Zubereitung enthält 20% organische, brennbare Lösemittel und nanoskaliges Silber.

Hinweise zur Entsorgung

Nie im Abguss, in der Toilette oder im Haushaltsabfall entsorgen! Hinweise im [Sicherheitsdatenblatt](#) des Herstellers beachten. Lokale Vorschriften beachten.

Quellen

- [NanoSys GmbH](#)

4.4.3. Aceton/ C_3H_6O /58.08 $g \cdot mol^{-1}$

[Link zum Sicherheitsdatenblatt](#)

Hersteller [Carl Roth GmbH](#) (Art.-Nr. 5025.1)

CAS-Nummer 67-64-1

Bei Raumtemperatur leicht flüchtige und leicht entzündliche, farblose süsslich riechende Flüssigkeit . Mit Wasser gut mischbar.

Von der Substanz gehen akute oder chronische Gesundheitsgefahren aus!

Gefahrensymbole

F leichtentzündlich



Xi reizend

Warnsymbole

Vorsicht entzündlich

Gebotszeichen

Schutzbrille tragen



Schutzhandschuhe tragen

R 11 Leichtentzündlich.

R 36 Reizt die Augen.

R 66/67 Wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen. Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.

Hinweise zur Entsorgung

Bei der Giftsammelstelle entsorgen. Nie im Abguss, in der Toilette oder im Haushaltsabfall entsorgen! Hinweise im [Sicherheitsdatenblatt](#) des Herstellers beachten. Lokale Vorschriften beachten.

Quellen

- [GESTIS-Stoffdatenbank](#)
- [Carl Roth GmbH](#)