

FORSCHEN UND ENTWICKELN

Natur und Technik aus
interdisziplinärer Sicht

Januar 2016
© VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2016
All rights reserved.
Printed in Germany.

Unterrichtsentwurf 6: Einführung in die Bionik anhand des Lotos-Effekts

Zum Thema

Der Lotos-Effekt

Zur Sache

Viele technische Produkte haben Vorbilder in der Natur. Als Beispiel seien hier die Saugtentakeln der Tintenfische genannt, deren Prinzip sich heute in Wandhaken z. B. für das Badezimmer wiederfindet. Die Umsetzung natürlicher Phänomene in einer technischen Anwendung wird disziplintechnisch im Bereich Bionik verortet, die die Biologie und Technik verknüpft.

Der Lotos-Effekt als klassisches Beispiel der Bionik tritt bei Blättern diverser Pflanzenarten aufgrund einer veränderten Oberflächenstruktur auf (Lotos, Kohl, Kapuzinerkresse, etc.): Unter einem Mikroskop lassen sich Erhöhungen auf der Blattoberfläche entdecken, die zusätzlich von einer Wachsschicht überzogen sind. Auf diese Art wird die Oberfläche superhydrophob. Wasser, welches auf derartige Oberflächen trifft, verbleibt aufgrund der Oberflächenspannung in Tropfenform und benetzt die Oberfläche nicht. Dadurch beträgt die Kontaktfläche der Tropfenoberfläche mit der Pflanze unter 1 %, sodass der Wassertropfen einfach abperlen kann. Die Selbstreinigung kommt zustande, indem Schmutz- und andere Partikel an den Wassertropfen haften und mit ihnen vom Blatt abperlen. Hierin liegt auch die biologische Funktion des Lotos-Effekts: Die Pflanze schützt sich auf diese Weise nicht nur vor Schmutz, der die Photosynthese beeinträchtigen könnte, sondern auch vor Krankheits-erregern, Pilzsporen oder dem Bewuchs durch Algen.

Der Effekt der selbstreinigenden Blätter ist in Asien schon seit langer Zeit bekannt, untersucht wurde das Phänomen aber erst in den 70er Jahren durch den Botaniker W. Barthlott mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops. Die Technik macht sich den Lotos-

Effekt bei verschiedenen Oberflächen zu nutze. So erhalten Fensterscheiben, Brillengläser, Regenjacken, Zelte etc. durch eine Beschichtung den Lotos-Effekt, um weniger schmutzanfällig zu sein. Aktuelle Forschungen beschäftigen sich mit der Entwicklung einer langanhaltenden Beschichtung für Autos.

In der Industrie hergestellte Sprays, die den Lotos-Effekt für beliebige Flächen versprechen, funktionieren beispielweise über eine Beschichtung in zwei Phasen: Die erste Schicht haftet auf fast allen Materialien, während die zweite sich beim Aufsprühen mit der ersten verbindet und die Oberfläche fein strukturiert, sodass auf nanoskopischer Ebene ähnliche Formen entstehen wie bei der Lotospflanze.

Der den obigen Erkenntnissen zugrunde liegende Denk- und Handlungsprozess der Bionik verläuft nach einem Schema. Von einem biologischen Vorbild wird durch Abstraktion und Analyse ein Prinzip erkannt, welches wiederum durch Synthese und Konstruktion zu einer technischen Umsetzung führt.

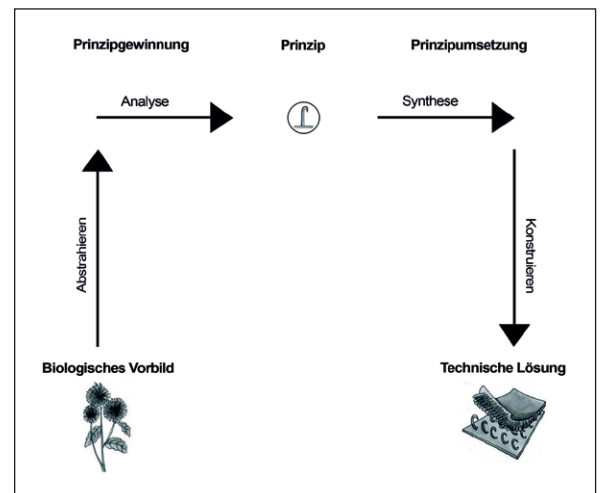


Abb. 1: Bionischer Denk- und Handlungsprozess

Für den vorliegenden Unterrichtsentwurf bedeutet dies:

Abstraktion und Analyse:

- Untersuchungen verschiedener Oberflächen auf ihre Reaktion auf (Schmutz-)Wasser und andere Flüssigkeiten (in Gruppenarbeit)
- Experimente zur Selbstreinigung, Oberflächenzerstörung, mikroskopische Untersuchungen, Informationen zur Oberflächenspannung und Hydrophobie (in Gruppenarbeit, dieser Arbeitsschritt kann auch als Stationenlernen aufgebaut werden)

Prinzipgewinnung:

- Hypothesen aufstellen, hinsichtlich des Zustandekommens des Effekts: Wie muss eine Oberfläche aufgebaut sein? (Präsentation eines Mikroskopbildes von der Oberfläche der Lotospflanze)

Synthese und Konstruktion:

- Experiment zur Erstellung des Lotos-Effekts auf Glas mit Hilfe von Ruß und Wachs.
- Gedankenexperiment zum Einsatz des Lotos-Effekts in der Industrie.

Zur Interdisziplinarität

Die Thematik des Lotos-Effekts kann mit Hilfe des Denk- und Handlungsprozesses der Bionik erarbeitet werden. Dabei lernen die Schülerinnen und Schüler zunächst ein natürliches Phänomen kennen, abstrahieren dann davon, um ein Prinzip zu erkennen und übertragen dies auf technische Anwendungen. Durch die Verbindung von Biologie und Technik ist eine Interdisziplinarität darin enthalten.

Zum Handlungsprinzip

Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten sich die Thematik des Lotos-Effekts anhand des Denk- und Handlungsprozesses der Bionik. Ein biologisches Vorbild oder Phänomen wird abstrahiert, sodass ein Prinzip gewonnen werden kann. In der Bionik wird dieses Prinzip dann in eine technische Lösung umgesetzt. Daher wird zunächst naturwissenschaftsorientiert erforscht, um dann den Entwicklungsprozess einzuleiten.

Zum Unterricht

In der Unterrichtseinheit sollen sich die Schülerinnen und Schüler mit dem grundsätzlichen Arbeitsprozess der Bionik anhand des Prinzips des Lotos-Effekts auseinandersetzen und diesen verstehen.

Der Einstieg in den Unterricht erfolgt problemorientiert, indem die Lehrkraft die Situation eines großen Unwetters schildert, bei dem nicht mehr genug Zeit blieb, Spielzeuge der Kinder (Fahrräder, Skateboards, Rollschuhe etc.) unterzustellen oder ins Haus zu holen. In Folge des Regens und der aufgeschwemmten Wiese sind diese Gegenstände nun durch Erde und Dreck verschmutzt. Über die Problematik der mühseligen Reinigung wird das Thema auf Oberflächen und die Frage gelenkt, ob es einen Zusammenhang zwischen der Oberfläche eines Gegenstands und der Tatsache, wie schnell er dreckig wird, bzw. wie stark der Dreck haftet, gibt.

Im Folgenden werden verschiedene Oberflächen darauf untersucht, wie sie auf Flüssigkeiten wie Wasser oder Honig reagieren und wie leicht Erde oder Lehmstaub abgespült werden kann. Werden Oberflächen gefunden, die auffällig reagieren, werden diese zu weiteren Experimenten genutzt.

Das Phänomen des Lotos-Effekts kann so durch die Vielzahl an möglichen Experimenten die verschiedenen Aspekte des Effekts sichtbar und verständlich machen, erforscht werden.

Durch den Aufbau der Stunde werden die Schülerinnen und Schüler dazu angeleitet, den Weg des Denk- und Handlungsprozesses der Bionik nachzuvollziehen, also von einem biologischen Vorbild durch Abstraktion und Analyse zu einem Prinzip zu kommen, welches wiederum durch Synthese und Konstruktion zu einer technischen Umsetzung führt.

Zum Kompetenzzuwachs

Sachwissen, Beobachten, Untersuchen, Hypothesen aufstellen, Analysieren, Bewerten.

Zum Material

- Lupen
- Arbeitsblätter
- Pflanzenblätter: Kohl, Frauenmantel, Kapuzinerkresse, Rotbuche, Löwenzahn etc.
- Glas, unbehandeltes Holz, Plastik, Papier, Stoff etc.
- Kerze oder Teelichter
- Objektträger und Zange
- Flüssigkleber (lösungsmittelfrei)
- Honig oder Sirup
- Wasser
- Mehl oder Lehmstaub
- Petrischale
- Pipetten

Zum methodischen Zugang

Problemlösend, forschend

Zur Problemstellung

Wie funktioniert der Lotos-Effekt?

Themen der notwendigen Unterrichtssequenzen

- I. Zur Schmutzanfälligkeit von Materialien (ca. 45 min.)
- II. Experimente und Erarbeitung des Phänomens „Lotos-Effekt“ über Stationenlernen (ca. 90 min.)
- III. Überprüfung und Überarbeitung der Hypothesen durch neu gewonnene Erkenntnisse. Herstellung des Lotos-Effekts, Ideensammlung für Nutzen des Effekts in der Technik (ca. 90 min.)

Unterrichtssequenz I

Erfassen des Problems der Schmutzanfälligkeit vieler Materialien

Zum Kompetenzzuwachs

Untersuchen, Bewerten, Hypothesen aufstellen

Zum Material

- Verschiedene Materialien wie: Kohlblatt, Rotbuchenblatt, Glas, Plastik, Holz, Papier, Stoff
- Schmutzwasser
- Klebstoff (lösungsmittelfrei)
- Honig oder Sirup
- Petrischale
- Pipetten

Zum methodischer Zugang

Erforschend

Zur Problemstellung

Wie reagieren verschiedene Untergründe auf eine Benetzung durch Wasser oder andere Flüssigkeiten? Gibt es Oberflächen, auf denen keine Rückstände zurück bleiben?

Unterrichtsgeschehen

t	Geplanter Unterrichtsverlauf	Arbeits-, Sozial-, Aktionsform	Medien, Material	Didaktisch-methodischer Kommentar	Weiterführender Impuls
5	L beschreibt Situation, durch die Gegenstände verschmutzt wurden und erläutert erschwerte Reinigung. SuS formulieren Problem: Viele Oberflächen verschmutzen schnell und lassen sich nur mühsam reinigen.	UG		Problem erkennen	„Wäre es nicht gut, wenn es Gegenstände gäbe, die eine Oberfläche besitzen, die nicht so schnell dreckig wird oder die sich sogar selbst reinigt?“ „Welche Dinge verschmutzen besonders schnell?“
10	SuS stellen Hypothesen auf, an welchen Oberflächen Schmutzwasser besonders haftet.	UG	Tafel oder OHP		„Welche Oberflächen könnte man untersuchen?“
20	Experiment: Schmutzwasser auf verschiedene Materialien träufeln	GA	Blätter, Glas, Plastik, Papier, Stoff, Wasser, Klebstoff, Honig, Petrischale, Pipette	Problem analysieren	„Wie unterscheiden sich die Oberflächen?“
10	SuS tragen Ergebnisse der Gruppen in einer Tabelle zusammen und sammeln Hypothesen, wieso Oberflächen unterschiedlich reagieren.	UG	Tafel oder OHP	Hypothesen finden	

Unterrichtssequenz II

Experimente und Erarbeitung des Phänomens „Lotos-Effekt“ über Stationenlernen.

Zum methodischer Zugang

Erforschend

Zum Kompetenzzuwachs

Experimentieren, Analysieren, Bewerten

Zur Problemstellung

Wie funktioniert der Lotos-Effekt?

Zum Material

- Lehmstaub oder Mehl
- Wasser
- Blätter mit Lotos-Effekt (Kapuzinerkresse, Kohl etc.)
- Laubblätter ohne Effekt
- Petrischale
- Lupe

Unterrichtsgeschehen

t	Geplanter Unterrichtsverlauf	Arbeits-, Sozial-, Aktionsform	Medien, Material	Didaktisch-methodischer Kommentar	Weiterführender Impuls
10	L wiederholt Ergebnisse aus vorheriger Stunde und sammelt Ideen, wie der Lotos-Effekt entsteht.	UG	Tafel oder OHP		„Wie funktioniert der Lotos-Effekt genau?“
60	<p>SuS untersuchen die Eigenschaften des Lotos-Effekts</p> <p>a) Selbstreinigung: Die SuS bestäuben die Blätter mit Mehl/Lehmstaub und lassen Wasser darüber laufen.</p> <p>b) Oberflächenzerstörung: Die SuS reiben eine Stelle eines Blattes 20 Sek. zwischen den Fingern und lassen dann Wasser über diese Stelle laufen.</p> <p>c) Untersuchung der Oberfläche bzw. der Wassertropfenform mit einer Lupe</p> <p>d) AB zu Oberflächenspannung und Hydrophobie</p>	GA (Stationenlernen)	Lehmstaub oder Mehl, Wasser, Pflanzenblätter, Petrischale, Lupe, AB, Laufzettel für das Stationenlernen	Experimentieren	„Stellt eure Ergebnisse vor.“
10	SuS vergleichen die Ergebnisse im Plenum.	UG	OHP		„Unterstützen die Erkenntnisse aus den Versuchen die in der letzten Stunde aufgestellten Hypothesen?“
10	SuS überprüfen eigene Hypothesen	UG	OHP	Verifizieren/ Falsifizieren der eigenen Hypothese	

Laufzettel Stationenlernen „Lotos-Effekt“

A) Selbstreinigung

Untersuchte Blätter:

Ablauf des Versuchs (in Stichpunkten):

Eigene Hypothesen:

Beobachtungen:

Erklärung:

B) Oberflächenzerstörung

Untersuchtes Blatt:

Ablauf des Versuchs (in Stichpunkten):

Beobachtungen:

Erklärungen:

C) Vergleich der Wassertropfen

Untersuchte Oberflächen:

Ablauf des Versuchs (in Stichpunkten):

Beobachtungen (auch Skizzen sind möglich):

Erklärung:

D) Oberflächenspannung

Definiere in Stichpunkten die Fachbegriffe „Adhäsionskraft“, „Hydrophobie“, „Hydrophilie“ und „Oberflächenspannung“.

Versuch A: Verschmutzung

Benötigte Materialien

- Lehmstaub oder Mehl
- Wasser
- Verschiedene Pflanzenblätter (z. B. Kapuzinerkresse, Rotbuche, Eiche, Kohl etc.)
- Petrischale
- Pipette

Ablauf

- Bestäubt verschiedene Pflanzenblätter mit einer dünnen Schicht aus Mehl bzw. Lehmstaub.
- Haltet das Blatt leicht schräg über die Petrischale und nehmt mit einer Pipette etwas Wasser auf. Lasst nun wenige Tropfen auf das Blatt tropfen und herunter in die Petrischale laufen.

Beobachtung

Notiert eure Beobachtungen auf eurem Laufzettel.

Versuch B: Oberflächenzerstörung

Benötigte Materialien

- Blätter mit Lotos-Effekt (Kapuzinerkresse, Frauenmantel, Kohl etc.)
- Wasser
- Pipette
- Petrischale

Ablauf

- Sucht euch ein Blatt heraus und reibt eine Stelle des Blattes etwa 15–20 Sekunden zwischen euren Fingern.
- Lasst anschließend mit Hilfe einer Pipette Wasser über das Blatt laufen (sowohl über die geriebene Stelle als auch über den Bereich, den ihr nicht bearbeitet habt).

Beobachtung

Notiert eure Beobachtungen auf eurem Laufzettel.

Versuch C: Untersuchungen der Wassertropfenform

Benötigte Materialien

- Verschiedene Pflanzenblätter
- Pipette
- Wasser
- Lupe

Ablauf

- Tropft auf unterschiedliche Pflanzenblätter wenige Tropfen Wasser.
- Beobachtet die Form der Wassertropfen mit einer Lupe, indem ihr von der Seite (nicht von oben) auf das Blatt schaut.

Beobachtung

Beschreibt oder skizziert die beobachteten Unterschiede auf eurem Laufzettel.

Arbeitsblatt I

Thema D: Oberflächenspannung und Hydrophobie

Wasser besteht aus kleinen Teilchen, den sogenannten Molekülen, die sich gegenseitig anziehen. Während die Moleküle innerhalb eines Glases oder eines Tropfens Wechselwirkungen in alle Richtungen haben, also sich gegenseitig anziehen, fehlt an der Oberfläche die Anziehungskraft von oben. Dies führt dazu, dass sich die Wassermoleküle an der Wasseroberfläche stärker anziehen und so eine Art Schicht bilden, auf welcher beispielsweise manche Insekten laufen können. Dies wird Oberflächenspannung genannt.

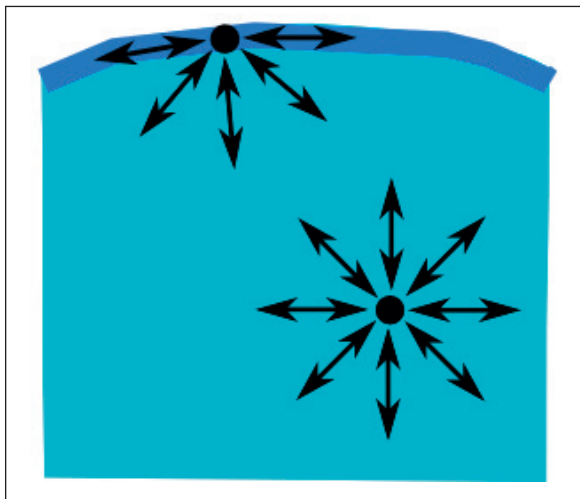


Abb. 2: Anziehungskräfte in einem Wassertropfen. Von Roland.chem [Public domain], via Wikimedia Commons

Auch die Tropfenform von Wasser entsteht auf diese Weise. Wenn Wasser nun auf eine Fläche tropft, wirken jedoch auch andere Kräfte auf den Wassertropfen. Die sogenannten Adhäsionskräfte, also die Anziehungskräfte des Gegenstandes, auf den der Wassertropfen trifft, ziehen den Wassertropfen an die Oberfläche heran und sorgen so dafür, dass das Wasser die Tropfenform verliert und die Fläche benetzt. Wie stark diese Benetzung stattfindet, hängt mit den Eigenschaften des Untergrundes zusammen. Es gibt Stoffe, welche man als hydrophil bezeichnet, dies bedeutet „wasserliebend“. Sie ziehen Wasser also stark an, zum Beispiel Glasflächen und viele Metalle. Andere Stoffe, wie z. B. Fette, sind hingegen hydrophob, also „wassermeidend“ und stoßen Wasser ab. Tritt dieser Effekt besonders stark auf, spricht man von Superhydrophobie. In diesem Fall wirken so geringe Adhäsionskräfte (Anziehungskräfte) auf das Wasser, dass die Oberflächenspannung, also die Festigkeit der Wasseroberfläche, überwiegt und sich Tropfen auf dem Gegenstand bilden.

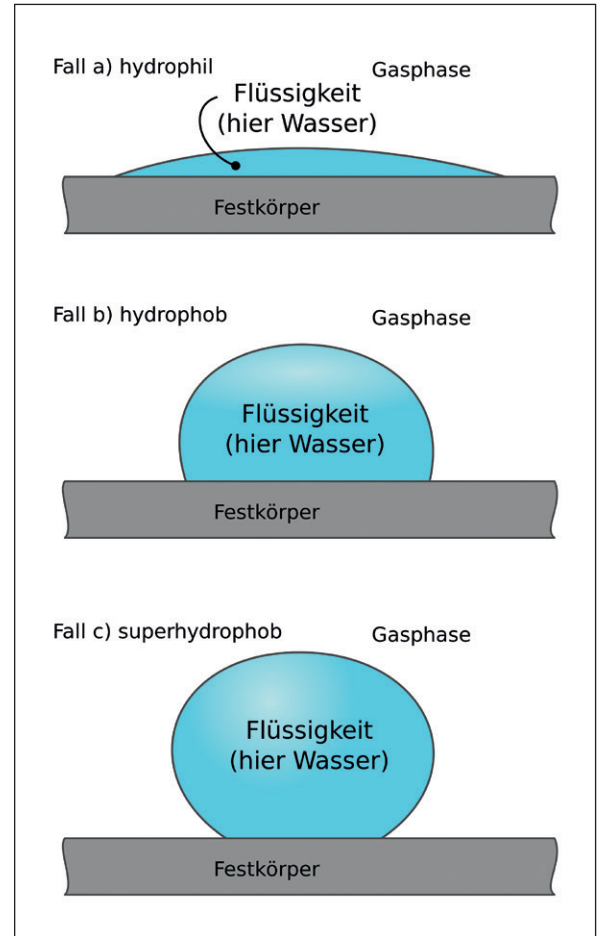


Abb. 3: Hydrophilie, Hydrophobie und Superhydrophobie. Von Cepheiden (Own work) [Public domain], via Wikimedia Commons

Aufgabe: Definiere in Stichpunkten die Fachbegriffe „Adhäsionskraft“, „Hydrophobie“, „Hydrophilie“ und „Oberflächenspannung“.

Unterrichtssequenz III: Überprüfung und Überarbeitung der Hypothesen

Herstellung des Lotos-Effekts; Ideensammlung für Nutzen des Effekts in der Technik

Zum Methodischer Zugang

Erzeugend – Die SuS erstellen selber den Lotos-Effekt auf Glas und Stoff/Papier (Synthese) und finden Ideen für die Umsetzung in der Technik

Zum Kompetenzzuwachs

Verifizierung/Falsifizierung eigener Hypothesen, Experimentieren

Zur Problemstellung

Wie kann der Lotos-Effekt erzeugt werden?

Zum Material

- Objektträger und Halterung/Zange
- Kerze
- Papier, Stoff oder Rotbuchenblatt
- Pipette, Wasser, Petrischale
- Lotosspray
- Graphische Darstellung des Lotos-Effekts

Unterrichtsgeschehen

t	Geplanter Unterrichtsverlauf	Arbeits-, Sozial-, Aktionsform	Medien, Material	Didaktisch-methodischer Kommentar	Weiterführender Impuls
5–10	SuS überarbeiten Hypothesen aus der vorherigen Stunde.	UG	OHP mit Hypothesen der SuS aus letzter Stunde		„Auf der Oberfläche scheint etwas aufgelagert zu sein, was dazu führt, dass Wasser abperlt.“
10	SuS beschreiben den Aufbau des Lotosblatts mithilfe von REM-Aufnahmen.	UG	OHP, Bilder von Lotos und Kohl		„Können wir den Effekt auch selber herstellen?“
45	SuS stellen den Effekt mit Hilfe von Ruß und Wachs her. a) Objektträger verrußen b) Wachs auf Papier, Stoff, Rotbuchenblätter träufeln. Im Folgenden Wasser darüber laufen lassen.	GA	Objektträger, Zange oder Halterung, Kerze, Papier, Stoff, Laubblatt, Wasser, Pipette, Petrischale AB mit Versuchsanleitungen		
10–15	Die SuS stellen Überlegungen an, wie die Industrie diesen Effekt nutzen kann und welche Bestandteile ein Lotos-Spray haben muss.	UG			„Wie wirkt so ein Spray auf Materialien, die eigentlich keinen Lotos-Effekt besitzen?“
15	L demonstriert Lotosspray auf einem der untersuchten Gegenstände	Frontal	Lotosspray, Laubblatt ohne Lotos-Effekt oder Papier/Stoff etc.		

Abbildungen



Abbildung 4: Weißkohl von Rajeevvadakkedath (Eigenes Werk) [CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons (Quelle: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/CABBAGE.JPG?uselang=de>)

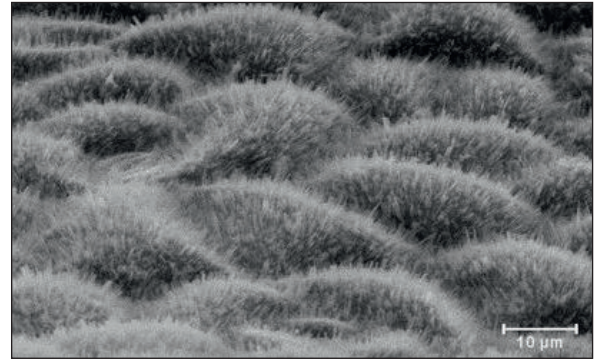


Abbildung 5: Rasterelektronenmikroskopisches Bild der Blattoberfläche (Quelle: Interdisziplinäres Zentrum für Materialwissenschaften, Universität Halle. <http://www.cmat.uni-halle.de/ziele/Heyroth2b.jpg>)



Abbildung 6: Lospflanze von Jon Sullivan [Public domain], via Wikimedia Commons (Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/Lotus_flowers_%281%29.jpg)

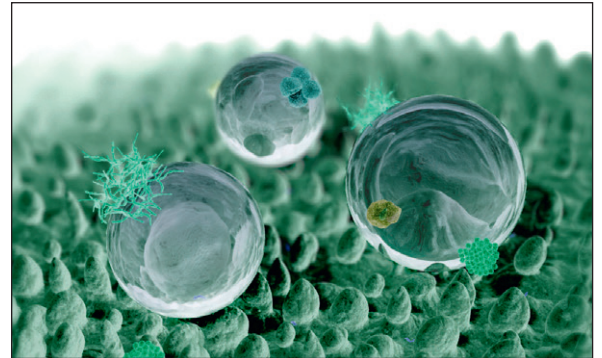


Abbildung 7: „Computergrafik der Oberfläche des Lotosblatts“ von William Thielicke – Eigenes Werk. Lizenziert unter CC BY-SA 4.0 über Wikimedia Commons (Quelle: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/13/Lotus3.jpg>)

Arbeitsblatt II: Erzeugung des Lotos-Effekts

Versuch A:

Zum Material

- Kerze
- Objektträger
- Zange
- Pipette
- Wasser
- Petrischale

Zum Ablauf

- Haltet den Objektträger mit Hilfe der Zange kurze Zeit in die Flamme, sodass sich eine Rußschicht auf der Hälfte des Glases bildet.
- Träufelt etwas Wasser über den Objektträger, sodass es sowohl über die neue Rußschicht als auch über das saubere Glas läuft.
- Fangt das Wasser mit der Petrischale auf.

Beobachtung

Verhält sich das Wasser unterschiedlich? Notiert eure Beobachtungen!

Versuch B:

Zum Material

- Stoff, Papier, Pflanzenblätter ohne Lotos-Effekt
- Kerze
- Wasser
- Pipette
- Petrischale

Zum Ablauf

- Zündet die Kerze an und wartet, bis etwas Wachs geschmolzen ist.
- Lasst das Wachs auf euren gewählten Untergrund tropfen und antrocknen, sodass eine kleine Fläche entsteht, die komplett mit Wachs versiegelt ist.
- Lasst mit Hilfe der Pipette Wasser über den Untergrund laufen.

Beobachtung

Vergleicht das Verhalten des Wassers auf der Wachs-schicht im Unterschied zum restlichen Untergrund, auf dem kein Wachs aufgetragen wurde. Notiert eure Beobachtungen!