

# Lotus-Effekt

Franziska Wilhelm, WS 14/15

## Gliederung

1	Demonstrationen .....	1
2	Lotus-Effekt auf physikalischer Ebene .....	2
3	Der Reinigungseffekt.....	3

**Einstieg:** Winter-Zeit ist Grippe-Zeit. Ein gesundes Immun-System ist daher sehr von Vorteil, um sich vor Krankheitserregern zu schützen. Das gilt allerdings nicht nur für uns Menschen, sondern auch für Tiere und Pflanzen. Pflanzen können aber im Gegensatz zu Menschen keine Hände waschen. Aber auch ihnen können vor allem Pilz-Sporen und Bakterien schaden. Pflanzen haben im Lauf der Evolution die verschiedensten Mechanismen entwickelt, sich gegen diese Pathogene zu schützen. Einer davon, der so genannte Lotus-Effekt, ist sogar so effektiv, dass er in vielen Teilen Asiens als Symbol der Reinheit verehrt wird. Warum dieser Effekt so besonders ist, werde ich nun im Folgenden erläutern.

## 1 Demonstrationen

- Etwas Erde wird auf das Lotus-Blatt gegeben und dieses danach mit Wasser betropft
- Blätter scheinen nicht nass zu werden, Wasser und Schmutz perlen einfach ab. Gleiches passiert auch mit z. B. Pilz-Sporen und anderen Pathogenen.



Abb. 1: Wasser perlt auf Lotus-Blatt ab [2]

- Wenn man über das Blatt streicht, fühlt es sich wachsartig und glatt an
- Das klingt logisch denn, wenn man etwas abdichten will, kommt einem zuerst eine ganz dünne und glatte Wachs-Schicht in den Sinn

Um diese Vermutung zu überprüfen, muss man sich anschauen, wie es physikalisch mit der Benetzung von Oberflächen aussieht.

## 2 Lotus-Effekt auf physikalischer Ebene

Benetzbarkeit einer Oberfläche hängt von verschiedenen Faktoren ab:

Young'sche Gleichung.

Diese leitet sich ab von der Änderung der freien Enthalpie als Funktion der Temperatur, des Druckes und der Ober- und Grenzflächen-Spannung.

$$\cos(\theta) = \frac{(y_s - y_{ls})}{y}$$

- $\cos(\theta)$  = Benetzungswinkel
- $y_s$  = Oberflächen-Energie des zu benetzenden Festkörpers, also ein Maß für Energie, die aufgebracht werden muss, um eine neue Oberfläche eines Festkörpers zu erzeugen. Thermodynamisch am stabilsten ist der Zustand von geringer Oberflächen-Energie (OE). Das heißt, dass Oberflächen mit hoher OE lassen sich gut von Flüssigkeiten mit geringer OE benetzen lassen. Demnach kann die Oberflächen-Energie beschrieben werden als Vektor zwischen Festkörper und Luft.
- $y_{ls}$  = Grenzflächen-Spannung zwischen Festkörper und Flüssigkeit, also die Kraft zwischen den beiden Phasen über molekulare Wechselwirkungen. Ein Beispiel hierfür wären zwei nicht-mischbare Flüssigkeiten wie Essig und Öl. Je schneller die beiden Phasen sich trennen, desto größer ist die Grenzflächen-Spannung. Deswegen kann die Grenzflächen-Spannung als Vektor zwischen Festkörper und Flüssigkeit beschrieben werden.
- $y$  = Oberflächen-Spannung der Flüssigkeit, also die Eigenschaft der Ober- bzw. Grenzflächen, zwischen einer Flüssigkeit und einem Gas (z. B. Luft). Flüssigkeiten haben das Bestreben, eine kleinstmögliche Oberfläche zu bilden, was der Form einer Kugel entspricht. Die Spannung kommt zustande über Kohäsion der Moleküle der Flüssigkeit. Die Moleküle wechselwirken untereinander, dabei besitzen Moleküle an der Oberfläche aber weniger Nachbarn als Moleküle in tieferen Schichten und haben demnach einen anderen Energie-Zustand. In tieferen Schichten kompensieren sich Wechselwirkungen vektorieell, an der Oberfläche nicht. Daher entsteht eine Zug-Spannung senkrecht zur Oberfläche. So lässt sich auch eben genannte Kugel-Bildung erklären.

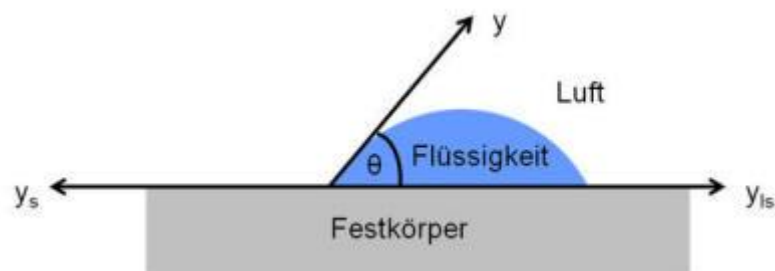


Abb. 2: Abbildung zur Verdeutlichung der Young'schen Gleichung

Über das hier gezeigte Kräfte-Parallelogramm lassen sich die Beziehungen in der Young'schen Gleichung ableiten, wobei:

- $\theta = 0^\circ$  bedeutet hydrophil bzw. eine vollständige Benetzung (das Wort „hydrophil“ ist hier auf die Benetzung zu beziehen)
- $\theta = 180^\circ$  wäre eine totale Abstoßung. Dies ist nicht möglich, weil die London-Kräfte immer als Wechselwirkung zwischen den Molekülen wirken
- $\theta = 90^\circ$  bedeutet hydrophob bzw. teilweise benetzt

- $\theta = 160^\circ$  bedeutet superhydrophob bzw. kaum bis gar nicht benetzt

Allerdings ist zu beachten, dass die Young'sche Gleichung nur für glatte Oberflächen gilt, da sich bei rauen Oberflächen der Kontakt-Winkel ändert.

Das Lotus-Blatt kann also keine glatte Wachs-Schicht haben, sonst würde es sich viel besser benetzen lassen. Deutlicher wird an einem weiteren Experiment, was eigentlich für den Lotus-Effekt verantwortlich ist.

### 3 Der Reinigungseffekt

**Experiment:** Benetzung der Oberfläche eines Objekt-Trägers mit Wasser

**Material:**

- Objekt-Träger
- Kerze
- Streichhölzer
- Pipette
- Leitungswasser

**Durchführung:** Der Objekt-Träger wird über die Kerze gehalten, bis eine Hälfte der Oberfläche komplett mit Ruß bedeckt ist. Anschließend wird auf beide Seiten ein Tropfen Leitungswasser aus der Pipette gegeben.

**Beobachtung:** Auf der mit Ruß bedeckten Seite perlt der Wasser-Tropfen ab, die freie Oberfläche des Objekt-Trägers benetzt sich mit Wasser.

**Interpretation:** Die Wachs-Schicht auf dem Lotus-Blatt kann also nicht glatt sein. Sondern muss eine gewisse Oberflächen-Struktur besitzen.

Auf der Oberfläche des Lotus-Blattes sitzen viel kleine Wachs-Papillen:

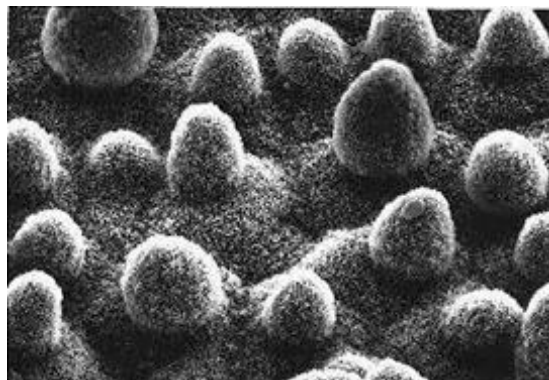


Abb. 3: Wachs-Papillen eines Lotus-Blattes (wenige  $\mu\text{m}$  groß) [1]

Schmutz-Partikel und Pilz-Sporen liegen auf der Oberfläche auf, können aber aufgrund geringer Kontakt-Flächen nur leicht gebunden werden.

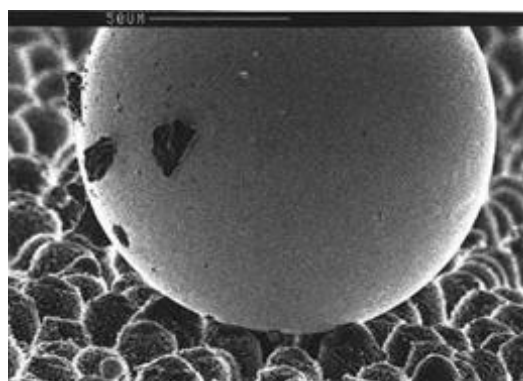


Abb. 4: Lotus-Blatt mit Wasser-Tropfen und Schmutz-Partikeln [1]

**Zusammenfassung:** Wasser hat das Bestreben, Tröpfchen zu bilden, da so die kleinstmögliche Oberfläche entsteht. Je höher der Benetzungswinkel ist, desto eher wird diese Kugel-Form erreicht. Beim Lotus-Blatt beträgt der Benetzungswinkel etwa  $170^\circ$ , das heißt, das Wasser liegt tropfenförmig vor und kann Schmutz und Sporen gut aufnehmen und wegspülen.

**Abschluss:** Pflanzen mit Lotus-Effekt können sich also über bestimmte Oberflächen-Strukturen selbst reinigen. Dabei werden Schmutz, gefährliche Pilz-Sporen und andere Pathogene abgewaschen und können der Pflanze nicht mehr schaden. Dies machen sie, indem sie winzige Wachs-Kristalle auf ihre Oberfläche auflagern und somit den Kontakt-Winkel so erhöhen, damit eine Benetzung mit Wasser- oder Schmutz-Partikeln nicht mehr möglich ist. Die Berechnung dieses Kontakt-Winkels, der Aussage darüber gibt, wie gut sich eine Oberfläche mit Flüssigkeit benetzen lässt, ist über die Young-Gleichung möglich. In ihr werden die Wechselwirkungen zwischen Oberfläche und Flüssigkeit betrachtet. Inzwischen gibt es viele Bereiche der modernen Technik, die versuchen, die diesen Effekt für sich nutzen, wie z. B. Autoscheiben, Brillengläser oder Fassaden-Farbe (allerdings noch in der Entwicklung). Pflanzen mit Lotus-Effekt müssen sich also gar nicht die Hände waschen, um sich vor Pathogenen zu schützen, ihre Oberfläche reinigt sich mithilfe von Flüssigkeit/Wasser nämlich selbst. Das ist auch der Grund, weswegen die Lotus-Pflanze, von der der Effekt seinen Namen erhalten hat, in vielen Teilen Asiens als Symbol der Reinheit verehrt. Andere Pflanzen hingegen haben dafür andere Mechanismen entwickelt, zum Beispiel Wachs (anstatt in Form von Papillen aufgelagert) in die abschließende Zell-Schicht eingelagert. Es gibt also in der Natur für ein Problem (Pilz-Sporen und Pathogene), nicht nur eine Lösung, sondern viele verschiedene, von der sich auch die Industrie noch sehr viel abschauen kann.

#### Quellen:

1. [https://s10.lite.msu.edu/res/msu/botonl/b\\_online/lotus/bionik.htm](https://s10.lite.msu.edu/res/msu/botonl/b_online/lotus/bionik.htm); (12.12.14)
2. Lotus-Blatt: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LotusEffect1.jpg?uselang=de>; Urheber: Ralf Pfeifer; Lizenz: „Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 nicht portiert“; 12.11.2020
3. <http://www.unimeter.net/interim/Oberflaechenspannung/ZurOberflaechenspannung1.htm>; (10.12.14)
4. <http://www.chemie.de/lexikon/Oberfl%C3%A4chenenergie.html>; (10.12.14)
5. <http://www.chemie.de/lexikon/Grenzfl%C3%A4chenspannung.html>; (10.12.14)
6. <http://www.chemie.de/lexikon/Oberfl%C3%A4chenspannung.html>; (10.12.14)
7. <http://www.uni-saarland.de/fak7/hartmann/de/teaching/lectures.htm>; (10.08.15)
8. <https://ratgeber.misterspex.de/lotuseffekt-ein-trick-aus-der-natur/>; (12.12.14)
9. [http://www.plasma.de/de/plasma\\_wissenswertes/plasma\\_technik\\_3.html](http://www.plasma.de/de/plasma_wissenswertes/plasma_technik_3.html); (12.12.14) (Quelle verschollen, 12.11.2020)