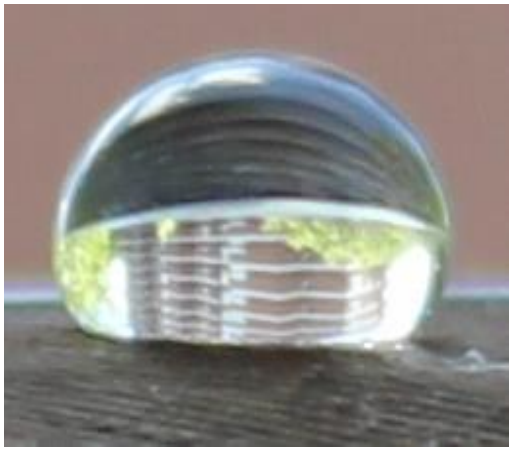
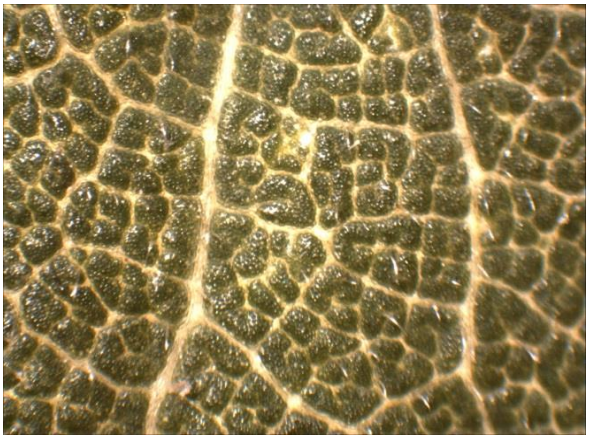
Landeshauptstadt Hannover

Hannover

Schulbiologiezentrum



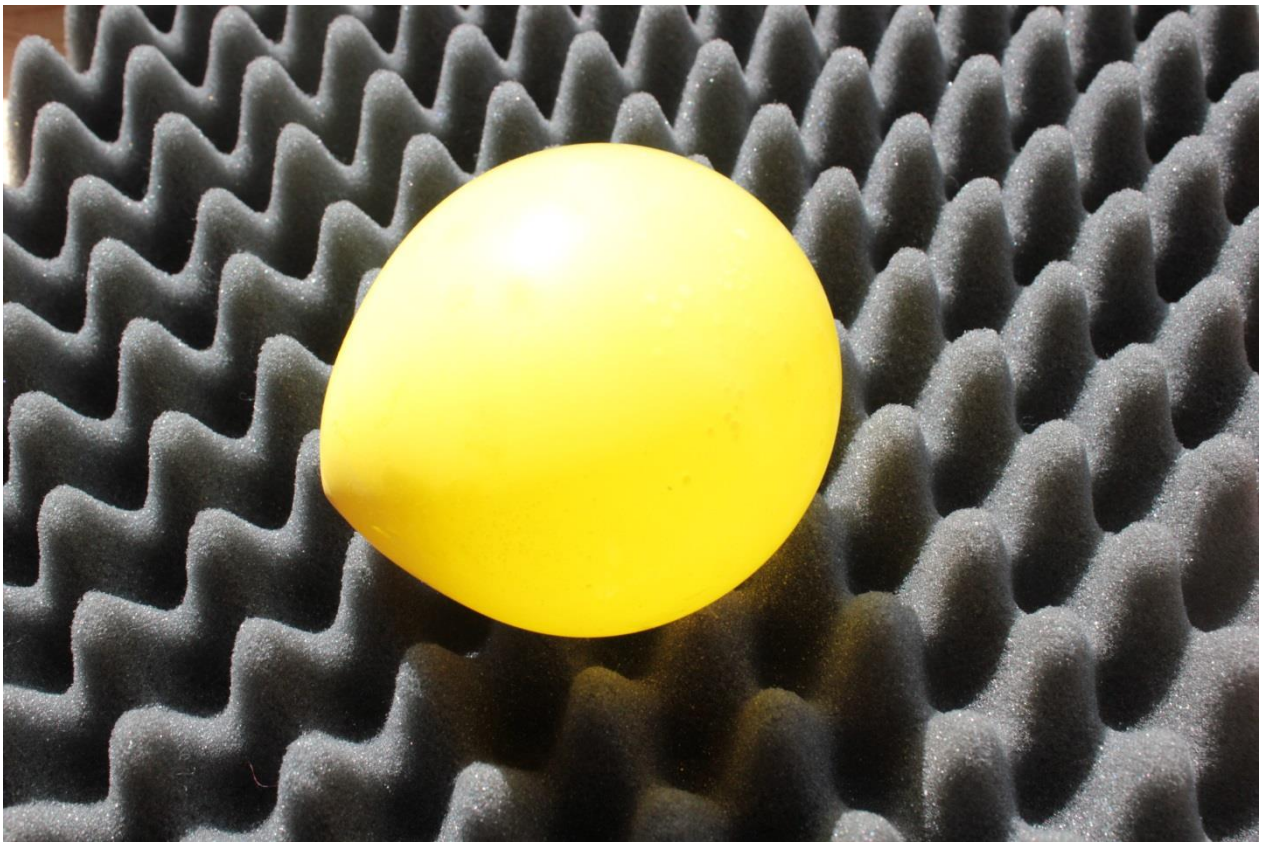


19.89

Bionik in der Schule:

Der "Kullertropfen-Effekt" bei Pflanzen und in der Technik

August 2016



Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Schulbiologiezentrum Hannover

Titel: Bionik in der Schule
Der "Kullertropfen-Effekt" bei Pflanzen und in der Technik

Arbeitshilfe 19.89

Verfasser: Ingo Mennerich

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Fachbereich Bibliothek und Schule
Schulbiologiezentrum
Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover
Tel: 0511/168-47665
Fax: 0511/168-47352
E-Mail: schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de
Internet: www.schulbiologiezentrum.info

Inhalt

Vorwort 1

Ein "Kullertropfen"-Spaziergang an einem Regentag 2

Der "Kullertropfen-" oder "Lotos-Effekt" 3

"Kullertropfen" auf Vogelfedern 4

Stoffe, die Wasser mögen und nicht mögen 6

Kapuzinerkresseblätter als "grüne" Spielfelder 7

Andere Pflanzen mit "Kullertropfen-Effekt" 8

"Nano", was ist das? 8

Größen messen 9

Ideen für eine "Wassertropfen-Werkstatt" 9
"Wassertropfenlupen" selbst hergestellt 11

Mehr wissen: Warum Wasser Tropfen bildet 11

Wir spielen "Wassertropfen" oder: Warum ist ein Tropfen nicht würfelförmig? 13

Der "Kontaktwinkel" als Hinweis der Stärke des "Kullertropfen-Effektes" 13

"Kullertropfen-Effekt" bei Pflanzen: Wie funktioniert das? 14

Eine künstliche Schutzschicht für den Benjamini? 15

Selbstreinigung 16

Der "Kullertropfen-Effekt" mit anderen Flüssigkeiten 19

Was macht Spülmittel mit dem "Kullertropfen-Effekt"? 21

CD-Hüllen, rau und glatt, Fett, der "Lotos-Effekt" und die Elektrizität 21

Aufgeladene und entladene CD-Hüllen 22

Kann man wasserabweisende Nano-Oberflächen selbst herstellen? 23

Pflanzen aus dem Schulbiologiezentrum, die den "Kullertropfen-Effekt" zeigen 25

- Azolla
- Salvinia
- Pistia

Philosophen-Ecke: Salvinia und ein wenig Nachdenken über diese Welt 30

Rückenschwimmer: Schnell durch Luftpolster 31

Ausblick: Technische Anwendungen als Themen in der Schule 31

Imprägniermittel im Schüler-Test 33

Kursbeispiel "Kullertropfen-Effekt" 35

Vorwort

Nach einem Regenschauer sitzen Tropfen auf den Blättern einiger, aber nicht aller Pflanzen. Bei einigen Rosenarten ist das der Fall, bei der Rotbuche hingegen überhaupt nicht. Tickt man die Blätter kurz an rollen die Tropfen meistens an den entlang Kanten zur Blattspitze wo sie dann herabfallen.

Die wohl häufigste aller Zimmerpflanzen, dem Benjamini zeigen diesen Effekt sehr schön, besonders deshalb, weil die lang ausgezogene und leicht gebogene Blattspitze das Abtropfen erleichtert.

Der tropische Taro, die Indische Lotosblume, aber auch viele Kohlarten lassen Regentropfen "herunterkullern" und sind dadurch schnell wieder trocken.

Wenn man von der Prämisse ausgeht, dass alles in der Natur Sinn und Zweck hat muss man sich fragen, wozu dieser "Kullertropfen"-Effekt dient.

Nachdem jüngere Schüler einige Zeit mit Wassertropfen auf Kapuzinerkresse gespielt hatten führte ein Brainstorming zu diesen Vermutungen:

- Die Pflanzen möchten nicht nass werden, weil die Blätter sonst frieren.
- Die Pflanzen möchten nicht nass werden, weil die Blätter sonst zu schwer werden
- Die Pflanzen lassen das Wasser dorthin fallen wo die Wurzeln sind.

Etwas ältere Schüler fügen vielleicht hinzu:

- Wassertropfen auf den Blättern wirken wie "Brenngläser", deshalb müssen sie herabrollen bevor wieder die Sonne scheint.
- Pflanzen atmen Kohlenstoffdioxid ein und Sauerstoff aus. Werden die Blätter nass, ertrinken sie möglicherweise.

Ob und wie eine Pflanze atmet ist erst Thema der Sekundarstufe. Warum sollte aber diese Vermutung nicht dazu führen, dass man gemeinsam herausfindet, wo die "Atemlöcher" der Pflanzen sitzen?

Schickt man Schüler mit einem Hand-Drucksprüher zum "Regen machen" in die Natur, werden sie schnell finden, auf welchen Pflanzen das Wasser abperlt und auf welchen nicht.

Das könnte zu weitergehenden Hypothesen führen:

- "Kullertropfen" entstehen auf Pflanzen die oft in der Sonne stehen
  (Reagieren Blätter auf der Sonnenseite anders als auf der Schattenseite? Lassen Wüstenpflanzen das Wasser abperlen?)
- "Kullertropfen" entstehen auf Pflanzen, die oft im Regen stehen
  (Zeigen Pflanzen aus feuchten Gebieten diesen Effekt häufiger als Pflanzen in Trockenbieten?)
- "Kullertropfen" entstehen möglicherweise auf Pflanzen mit eher waagerecht liegenden Blättern von denen das Wasser nicht so gut abfließen kann.

Bei Wasserpflanzen mit Schwimmblättern könnte der "Kullertropfen-Effekt" vielleicht zum notwendigen Auftrieb führen. Beim Wasserfarn Salvinia und beim Wassersalat Pistia ist im untergetauchten Zustand eine silbrige "Lufthaut" rund um die Blätter zu erkennen. See- und Teichrosenblätter zeigen das nicht, besitzen dafür aber ein Gewebe mit vielen lufthaltigen Räumen.

Gibt man als Impuls die Frage in die Gruppe, warum viele Autobesitzer die teuerste Version einer Autowäsche wählen und das das Regenwasser dann vom Lack abperlt werden vielleicht noch weitere Annahmen folgen

- Das aufgesprühte Wachs lässt das Wasser abperlen
- Das Auto wird dann schneller wieder trocken und sieht schöner aus.
- Das Auto bleibt länger sauber weil die Wassertropfen auf ihrem Weg den Staub mitnehmen.

Und in der Tat ist es vor allem der mit den herabkullernden Tropfen verbundene Selbstreinigungseffekt.

Die Blattoberfläche von Pflanzen ist allerdings nur bedingt mit der lackierten Oberfläche von Autos zu vergleichen. Pflanzen sind Lebewesen, sie müssen selbst Energie "tanken" (in Form von Sonnenlicht) und dabei atmen. Das geschieht vor allem durch die Spaltöffnungen, die bei Landpflanzen auf der Blattunterseite, bei vielen auf der Oberfläche schwimmenden Teichpflanzen auf der Oberseite befinden. Die Energieumwandlung durch Photosynthese setzt voraus, dass das Blatt sauber bleibt und es die Atemluft ungehindert aufnehmen kann. Grundschulkinder begreifen Pflanzen im Gegensatz zu Tieren noch selten als Lebewesen und selbst wenn haben sie in der Regel noch keine Vorstellung davon, was ein Lebewesen ausmacht.

Das erschwert die Einsicht, dass es bei Pflanzen mit einer einfachen, nicht atmungsaktiven Wachsschicht nicht getan ist.

Die Zusammenhänge zwischen Bau und Funktion werden erst in höheren Klassen thematisiert und da der "Kullertropfen"-Effekt ein kompliziertes Zusammenspiel von Chemie, Physik und Biologie ist muss man sich fragen, ob im Sachunterricht forschendes Lernen zu diesem Aspekt überhaupt sinnvoll ist.

Wir sind der Meinung, die auf einer Blattoberfläche wie Murmeln hin und her rollenden Wassertropfen Anlass und Motivation zu neugierigem Nachfragen geben kann und dass man mit älteren Grundschülern, Lupen, Binokulare und vielleicht auch schon das Mikroskop zu Hilfe nehmend schon gemeinsam planen kann auf welche Weise man herausfinden kann wie und zu welchem Zwecke diese "Kullertropfen" entstehen.

Wer einmal die komplizierten Strukturen auf den Blättern des Wasserfarns (Salvinia) gesehen hat und beobachtet hat wie diese Pflanze mit Wasser umgeht wird vielleicht auch staunen können:

Wie kann es sein, dass eine ja offenbar nicht denkende Pflanze so etwas "ausdenken" kann? Oder ist dieses "Wunder" auf ganz andere Weise zustande gekommen?

Ein "Kullertropfen"-Spaziergang an einem Regentag

Gehen wir einmal nach einem Regen nach draußen und schauen, auf welchen Pflanzen "Kullertropfen" sitzen die vom Blatt herunterrollen und keine Spur hinterlassen. Wir werden überrascht sein: Um den "Lotoseffekt" zeigen zu können bedarf es keines großen Aufwands: Schon rund ums Haus findet man Cotoneaster-Hecken oder den Weißen Gänsefuß, der als häufiges Unkraut in vielen verwilderten Ecken wächst.

Für den Fall, dass der Regen ausbleibt kann man auch eine Pipette und etwas Wasser oder eine Sprühflasche mitnehmen, eigentlich reicht es auch, die Hände ins Wasser zu tauchen und sie dann über den Pflanzen zu schütteln.

Der "Kullertropfen-" oder "Lotos-Effekt"

Der Lotos-Effekt ist ein bekanntes Paradebeispiel der Bionik, der technischen Umsetzung von Naturvorbildern. Als "Lotus-Effekt®" ist es sogar eingetragenes Warenzeichen.

Letzteres beruht allerdings auf einem sprachlichen Missverständnis, denn es muss "Lotos" und nicht "Lotus" heißen! Lotus ist eine Gattung aus der Familie der Schmetterlingsblütler (z.B. Lotus corniculatus, der Gemeine Hornklee) und zeigt den "Lotus-Effekt®" überhaupt nicht…

Wir werden daher auf das "®" verzichten dürfen und im Folgenden von "Lotos-Effekt" sprechen.

Die Indische Lotosblume (Nelumbo nucifera) ist eine unseren See- und Teichrosen ähnliche, aber mit ihnen nicht verwandte Teichpflanze deren große schildförmige Blätter Wasser einfach und ohne Spuren zu hinterlassen abperlen lassen. Dies verhindert, dass sich Schmutz auf den Blättern ablagert mit der Folge dass sich Bakterien, Pilze und Algen auf der Oberfläche ansiedeln. Der Lotos-Effekt ist damit eine Form der "Selbstreinigung", womit die Lotosblume in Religionen wie dem Buddhismus zum Sinnbild der höchsten Reinheit wurde, weil die Blume "in höchster Reinheit" aus oft schlammigen und übel riechenden Stillgewässern erhebt.

Lotospflanzen in Shanghai
(Wikimedia)

Lotosblüte
(Wikimedia)

Der Lotos-Effekt im Sinne der "Selbstreinigung" wurde zum Vorbild vieler technischer Anwendungen:

- Antihaftbeschichtungen (z.B. Teflon)
- Antibeschlagbeschichtungen (z.B. Autoscheiben)
- Farben (z.B. Fassadenschutz)
- Textilimprägnierung (Regenschutz, Zelte)

Lotos ist in Europa auf Botanische Gärten beschränkt was die schulische Nutzung natürlich sehr einschränkt. Eine Reihe hier heimischer und häufiger Pflanzen wie die Kapuzinerkresse, der Frauenmantel oder Kohlrabi zeigen den Effekt fast ebenso gut wie Lotos. Auf Bestellung kann das Schulbiologiezentrum im Sommerhalbjahr frisches Schnittmaterial bereitstellen.

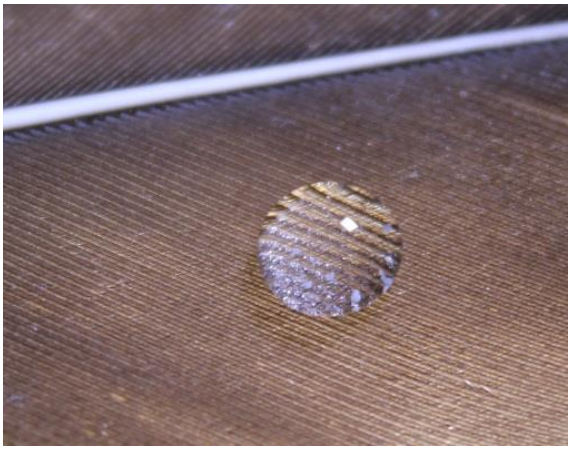
Des Weiteren können wir Ihnen den Wassersalat (Pistia), den Algenfarn (Azolla) und den Wasserfarn (Salvinia) zum Beobachten und Experimentieren anbieten.

Wir möchten uns hier von dem Begriff Lotos-Effekt lösen, weil sich die hinter dem Abperlen von Wasser stehende "Technik" von Pflanzenart zu Pflanzenart unterscheiden kann. Beim Wasserfarn spricht man bereits vom Salvinia-Effekt. Der Begriff "Lotos-Effekt" wird heute als ein Beispiel für die technische Anwendung von Naturvorbildern ("Bionik" oder "Biomimese") benutzt greift aber in der Regel zu kurz, weil er sich meistens nur auf das Abperlen von Wasser die Selbstreinigung bezieht seltener aber auf die Atmungsaktiven Eigenschaften.

Wir werden ihn im Folgenden, für Kinder einsichtiger, den " Kullertropfen-Effekt" nennen.

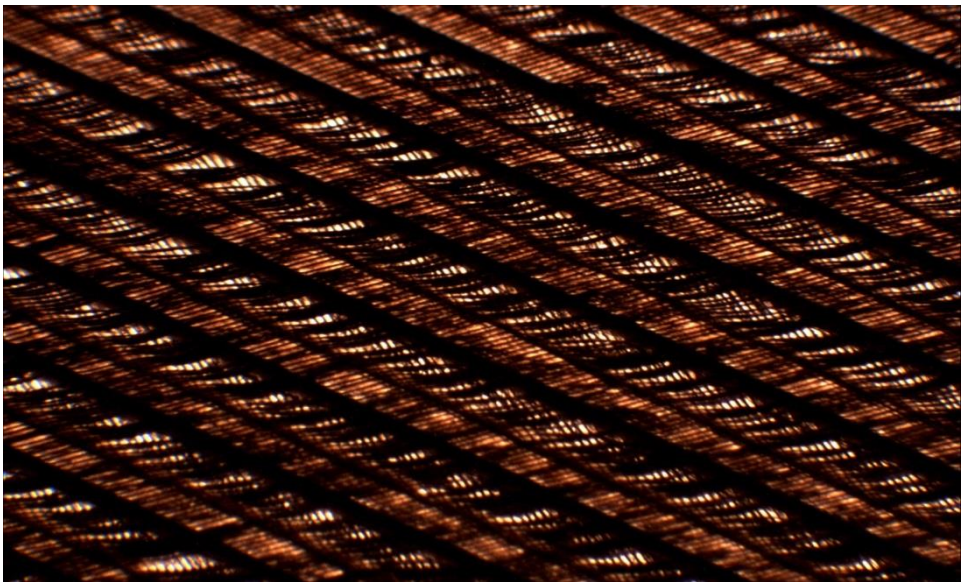
"Kullertropfen" auf Vogelfedern

Auf und am Wasser lebende Vögel sind darauf angewiesen, dass ihr Federkleid nicht nass wird. Nur wenn die Federn trocken bleiben können sie ein Luftpolster zwischen dem warmen Vogel und dem ihm Wärme entziehenden Wasser vorhalten. Das Luftpolster erhöht zugleich den Auftrieb und macht schwimmende Vögel so "leichter" im Wasser.



Auf einer leicht bewegten Gänsefeder kullert ein Wassertropfen hin und her ohne eine Spur zu hinterlassen.
Wer Wasservögel länger beobachtet wird sehen, wie viel Zeit und Sorgfalt sie darauf verwenden, ihr Gefieder mit dem Schnabel zu ordnen und glattzustreichen. Immer wieder geht der Schnabel zur "Bürzeldrüse" um dort Fett aufzunehmen dass dann dünn über die Federn gestrichen wird.

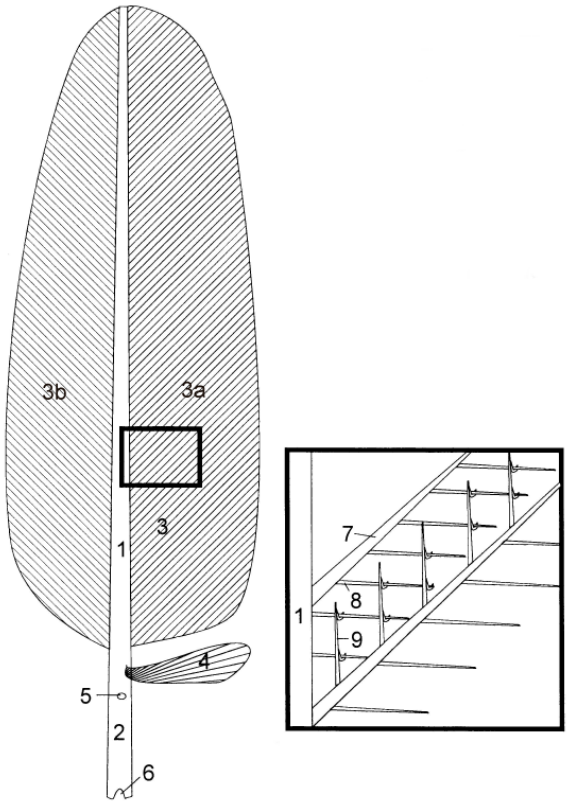
Eine Vogelfeder durch die das Licht der Sonne fällt, schimmert in den Farben eines Regenbogens, ähnlich wie man es auch bei einer CD sehen kann. Beide, Feder und CD setzen sich aus winzigen Strukturen zusammen, hier die Bogen- und darin hineingreifenden Hakenstrahlen, dort die Datenspur, die so winzig ist, dass das Mikroskop sie nicht aufzulösen vermag.



Gänsefeder unter dem Binokular mit Beleuchtung von unten

Bilder: Ingo Mennerich

Gänsefeder unter dem Binokular: Winzige Strukturen und Fett, das ist der "Kullertropfen-Trick" bei den Vogelfedern.



Schematischer Bau der Konturfeder:

- **1** Schaft,
- **2** Spule,
- **3** Fahne (**3b** Außen-, **3a** Innenfahne),
- **4** Nebenfeder,
- **5** oberer Nabel,
- **6** unterer Nabel,
- **7** Federast,
- **8** Bogenstrahl,
- **9** Hakenstrahl

Bild: Wikipedia

Die Beobachtung dass Wasser von einer Vogelfeder abperlt führt zur "Forscherfragen" die schon im Sachunterricht der Grundschule durch eigenes Experimentieren und genaues Hinschauen beantwortet werden können.

- Wozu dient der "Kullertropfen-Effekt" auf der Vogelfeder?
- Wie könnte das funktionieren?
- Lassen alle oder nur bestimmte Federn das Wasser abperlen?
- Wodurch unterscheiden sie sich?
- Was wäre, wenn das Wasser nicht abperlen würde?
- Was wäre schädlich für diesen Effekt
- Muss der Vogel etwas dafür tun?

Der Tropfen auf der Feder hat die Form einer Lupe und lässt sich auch so benutzen. Schon mit der einfachen "Wassertropfenlupe" kann man die feinen ineinandergreifenden Elemente der Vogelfeder erkennen. Wenn man mit dem Binokular auf den Tropfen schaut wird das natürlich noch viel deutlicher.

Mögliche "Hypothesen":

- Die Lücken zwischen den Ästen und Strahlen der Federn sind so winzig, dass das Wasser nicht hindurchrinnen kann.
- Die Federn fühlen sich etwas fettig an und Fett lässt Wasser abperlen.

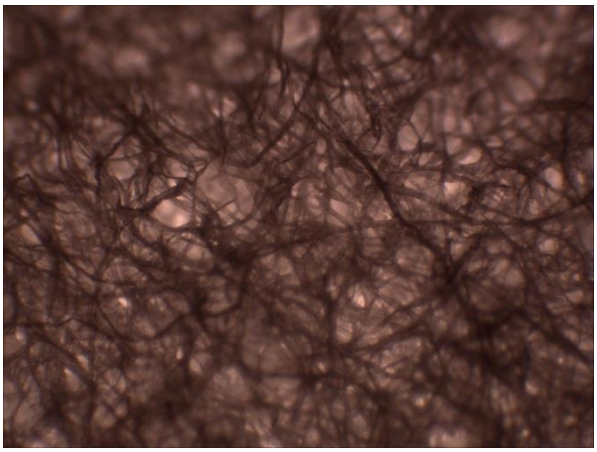
Stoffe, die Wasser mögen und nicht mögen

Eine schlecht abgespülte Bratpfanne erkennt man daran, dass das Wasser von ihr abperlt. Ihre offenbar noch fettige Oberfläche "mag" das Wasser nicht. Fachleute nennen das "hydrophob", von "hydro" = Wasser und "phob" = feindlich. Fette, Öle und Wachse sind hydrophob.

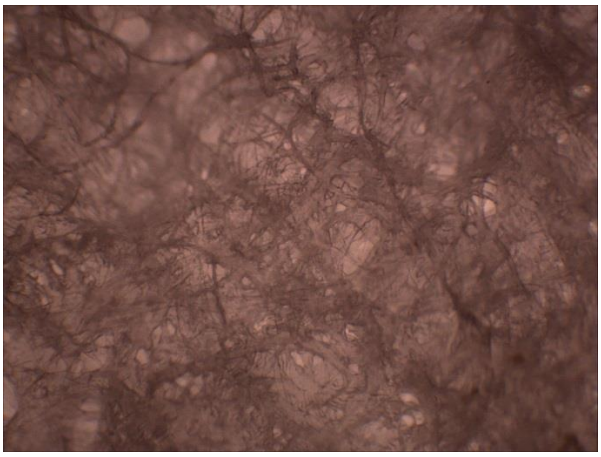
Hydrophil bedeutet im Gegensatz dazu "wasserliebend" ("phil" = liebend)

Küchen- oder Haushaltspapier ist extrem hydrophil und nimmt Fett gut auf, es soll ja auch viel Wasser und den darin enthaltenden Schmutz aufsaugen.

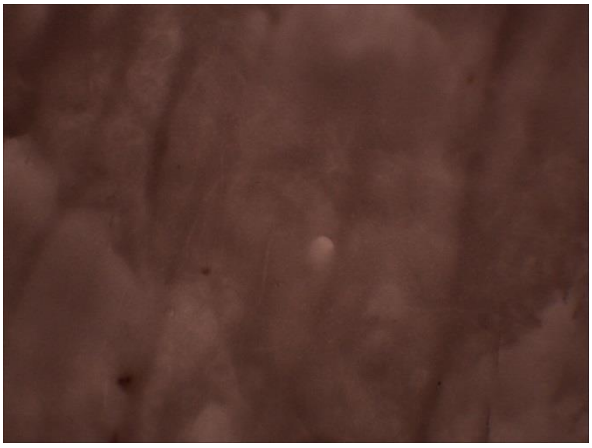
Wie reagiert es auf Wasser, wenn man es mit Fett, z.B. einer Hautcreme einreibt?



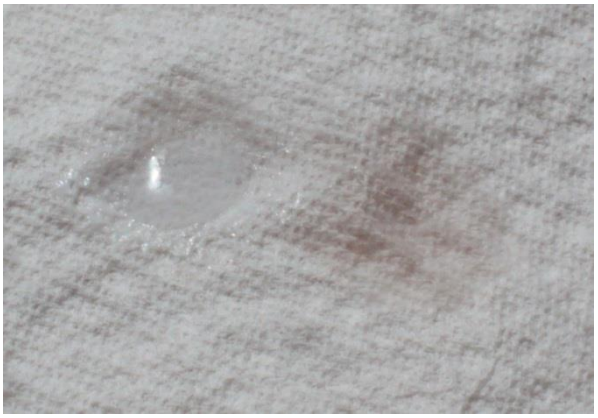
Papierfasern trocken



Papierfasern nass



Papierfasern eingefettet und trocken, Fett erfüllt die Zwischenräume und die Strukturen verkleben



Der auf das eingefettete Papier aufgesetzte Wassertropfen (links) dringt nicht ein, ein zweiter in die unbehandelte Fläche (rechts) schon.

Fotos: Ingo Mennerich

Kapuzinerkresseblätter als "grünes" Spielfeld

Wikimedia

In einigen Ländern Asiens, wo Kinder sich ihr Spielzeug noch selbst erschaffen müssen und können spielt man, zum Beispiel mit Taroblättern, "Rolling Droplets", auf Deutsch etwa "Kullertropfen".

Hier eine mögliche von uns erdachte europäische Variante:

Ein etwas größeres und frisch abgepflücktes Blatt der Kapuzinerkresse ist das grüne "Spielfeld" für hin- und herkullernde Wassertropfen.

Spielregel für ein Kind mit einem Blatt

- Setze einen Wassertropfen auf das Blatt und lasse ihn so schnell kreisen wie du kannst.

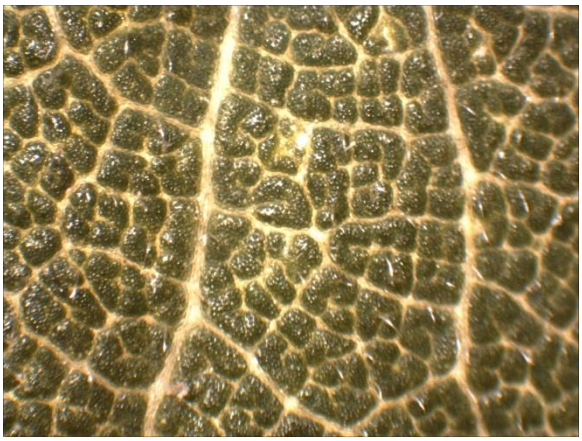
Spielregel zwei Kinder mit zwei Blättern

- Setzt zwei Tropfen auf jedes Blatt
- Lasst die Tropfen kreisen und passt auf, dass sie nicht zusammenstoßen.
- Wer die beiden Tropfen am längsten am Leben hält gewinnt.

Spielregel für zwei Kinder mit einem Blatt

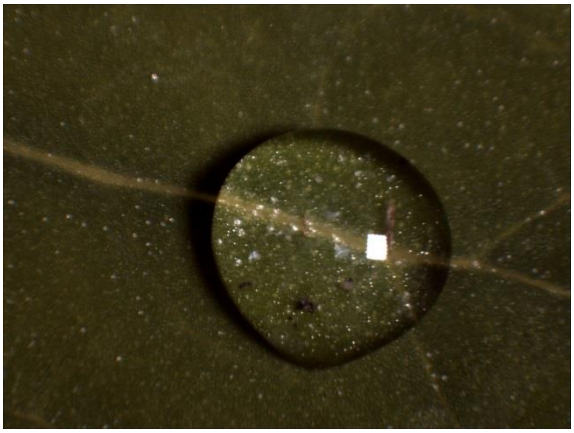
- Fasst das Blatt an zwei gegenüberliegenden Seiten an und haltet es waagerecht.
- Setzt je einen Tropfen in die eigene "Spielhälfte".
- Versucht die Tropfen in die andere Spielhälfte und zurück zu bringen.
- Jede "Kuller"-Runde bringt einen Punkt.
- Verhindert dass die beiden Tropfen zusammenstoßen, denn dann gibt es nur noch einen Tropfen und dann habt ihr beide verloren.

Andere Pflanzen mit "Kullertropfen-Effekt"


Zwergmispel (Cotoneaster)

- Frauenmantel
- Kapuzinerkresse
- Kohlrabi
- Zwergmispel (Cotoneaster)
- Weißer Gänsefuß
- Taro*
- Wassersalat (Pistia)*
- Wasserfarn (Salvinia)*
- Wasserfarn (Azolla)*

*) Gewächshaus


Weißer Gänsefuß (Chenopodium album)

Pflanzen mit "Kullertropfen-Effekt" nutzen ganz unterschiedliche Techniken

Der Weiße Gänsefuß z.B. ist mehlig bestäubt (daher auch der Name "Melde") wobei sich der Überzug leicht abbürsten lässt. Andere Pflanzen verfügen über feste komplizierte Oberflächenstrukturen.

Entsprechend unterschiedlich ausgeprägt ist der Effekt. Bei alten Blättern des Frauenmantels geht der Effekt nahezu vollständig verloren.

"Nano", was ist das?

"Lotos-Effekt" beruht auf winzigen Nano-Strukturen. Die technische Umsetzung des Lotos-Effekts ist "Nano-Technologie".

- Dezi
- Centi
- Milli
- Mikro
- Nano

Ein Millimeter lässt sich mit einem Lineal oder Millimeterpapier noch recht anschaulich darstellen.

Ein Millimeter ist der tausendste Teil eines Meters.

Stellen wir uns mal vor, aus einer ein Millimeter dicken Scheibe Jagdwurst oder Schinken sollen 1000 (hauch)dünne Scheiben geschnitten werden, jede 1/1000 mm dick. Dann wäre jede Scheibe 1 Mikrometer stark. Das schafft beim Schlachter keine Maschine.

Stellen wir uns jetzt vor, jede einzelne dieser schon hauchdünnen Scheiben sollten für 1000 Kunden noch weiter aufgeschnitten werden, also 1/1000 Mikrometer dick. Das ist gleichbedeutend mit Scheiben, die ein millionstel so dick wären wie die ursprünglichen, ein Millimeter starken.

Jetzt erst wäre ihre Stärke im "Nano"-Bereich.

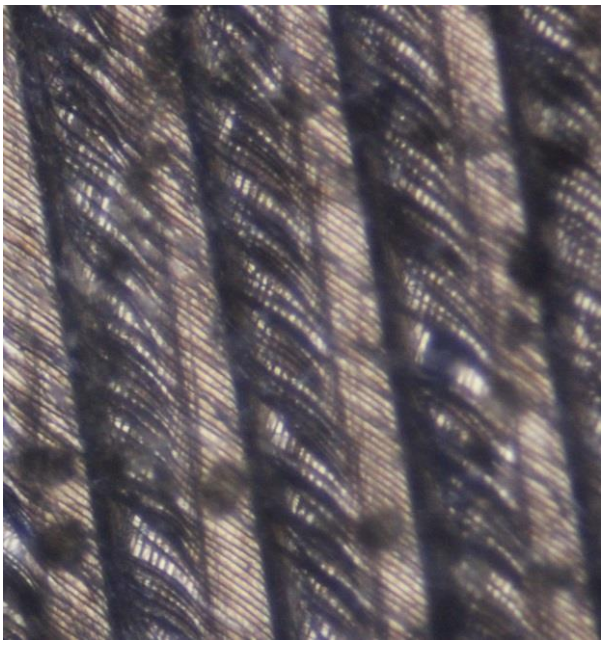
1 Nanometer (nm) ist also der millionste Teil eines Millimeters oder der milliardste Teil eines Meters.

Wenn wir von "Nano-Strukturen" sprechen geht es also um winzige, mit dem bloßen Auge nicht und mit nur mit speziellen Mikroskopen auflösbaren Größen.

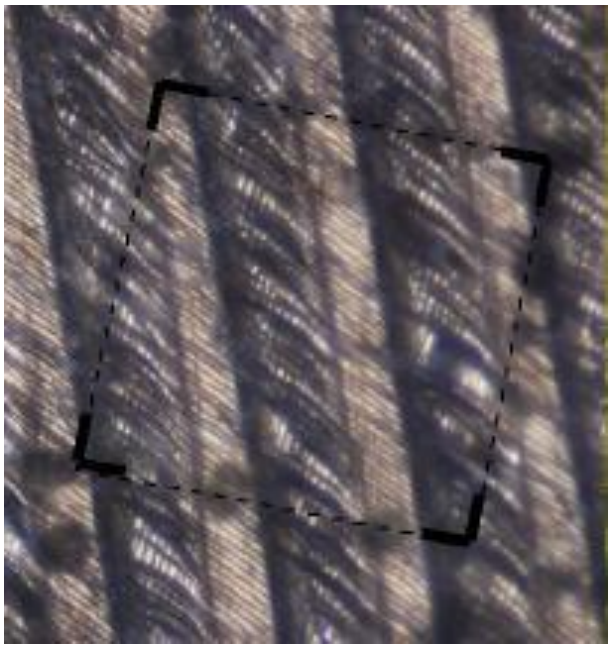
Größen messen

Wie groß sind die unter der Lupe, dem Binokular oder dem Mikroskop zu beobachtenden Strukturen?

Ein für unsere Zwecke ideales "Messinstrument" ist Millimeterpapier, im Verhältnis 1:1 auf Overhead-Folie kopiert und mit der Schere in kleine "Deckgläschen" von 10 x 10 mm geschnitten.



Gänsefeder mit darübergelegtem Millimeterraster.
In dieser Vergrößerung erscheinen die Linien als Punkte.



1 Quadratmillimeter Gänsfeder
Die Bögen und Haken haben demnach einen Abstand von etwa 10 Mikrometer.

Ideen für eine "Wassertropfen-Werkstatt"

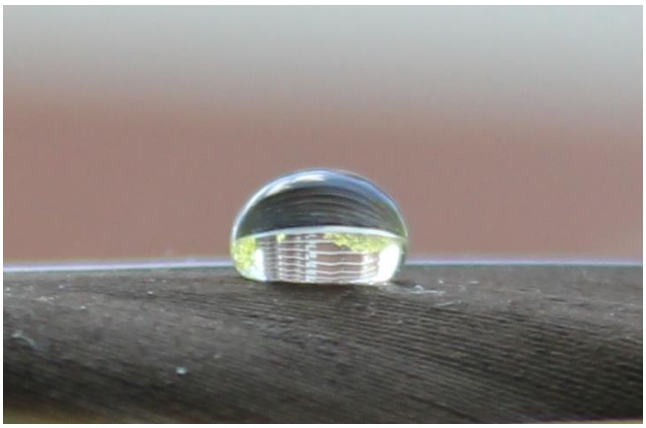
Wassertropfen sind rund und es gelingt uns nicht, einen runden in einen Tropfen zu verwandeln.

Wassertropfen kann man nicht wie eine Knetmassekugel durchschneiden

Wenn man aber zwei Tropfen ganz nahe zusammenbringt, vereinigen sie sich zu einem größeren Tropfen. Sie zerfallen aber nicht zu kleineren Tropfen.

Tropfen können an Gegenständen hängen, an Nasen, Wasserhähnen oder am Finger. So kann man Wasser übrigens auch transportieren, z.B. bei einer "Wassertropfen-Rallye" bei der es darum geht, so viel Wasser wie möglich mit den Fingerspitzen aus einem Glas in ein zweites, entfernt davon stehendes Glas zu bringen.

Wassertropfen fallen nicht über eine Kante. Das kann man mit kleinen Glasscheiben (z.B. Objektträgern) oder mit den Blätter des Benjamini (Ficus benjamina) ausprobieren, deren Träufelspitzen vielleicht als biologische Vorlage für die "Schnaupen" von Tee- und Kaffeekannen gedient haben.

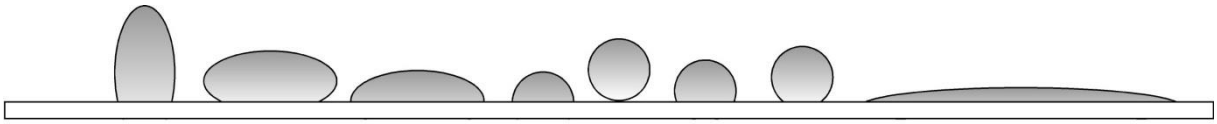


Der Wassertropfen auf der Gänsefeder ist runder als eine Halbkugel. Der auf der Feder liegende Teil ist platt. Der Tropfen erzeugt das seitenverkehrte und auf dem Kopf stehende Bild eines dahinter liegenden Gegenstandes hier eines Hauses.

Zum Ausprobieren:

Könnte man auch ganz runde kugelförmige Tropfen auf eine Unterlage bringen?

Welche Tropfenform kannst du auf einer Glasplatte herstellen?



Kannst du erklären, warum Deine Tropfen so aussehen wie sie sind?

Material zum Forschen:

- Leitungswasser
- Pipette
- Glasscheiben, Objektträger
- Wachs
- Fett
- Öl
- Küchenkrepp
- Spülmittel
- Millimeterpapier (auf Overheadfolie kopiert) zum Messen der Tropfengröße

Versuche möglichst große und möglichst kleine Tropfen auf eine Glasscheibe zu bringen!

Wie groß ist der größte, wie klein der kleinste von dir selbst hergestellte Wassertropfen?

"Wassertropfenlupen" selbst hergestellt

Tropfen kann man als kleine "Lupen" benutzen mit denen man zum Beispiel auf kleine Insekten oder auf die aus vielen Punkten zusammengesetzten Bilder in einer Zeitung schauen kann.

- Wovon hängt die Vergrößerung eines solchen "Wassertropfenmikroskops" ab? Kannst du "Je…desto"-Sätze bilden?
- Wie groß ist der größte, wie klein der kleinste deiner Tropfen?
- Welche Tricks fallen dir ein, um Wassertropfen auf dem Glas abzusetzen?
- Kann man die Glasoberfläche mit verschiedenen Stoffen so verändern, dass besonders runde oder große Tropfen entstehen?
- Kann man auch mit anderen Flüssigkeiten Tropfen erzeugen?

Mehr wissen: Warum Wasser Tropfen bildet

Auch wenn Regen oder Tränen meist so gezeichnet werden wie links abgebildet, fallende Wassertropfen sind kugelrund, sieht man von einer durch die Luftreibung verursachten leichten Abplattung einmal ab.
Auf einer waagerechten Oberfläche liegend ist ein Wassertropfen nur eine mehr oder weniger gut ausgebildete Halbkugel

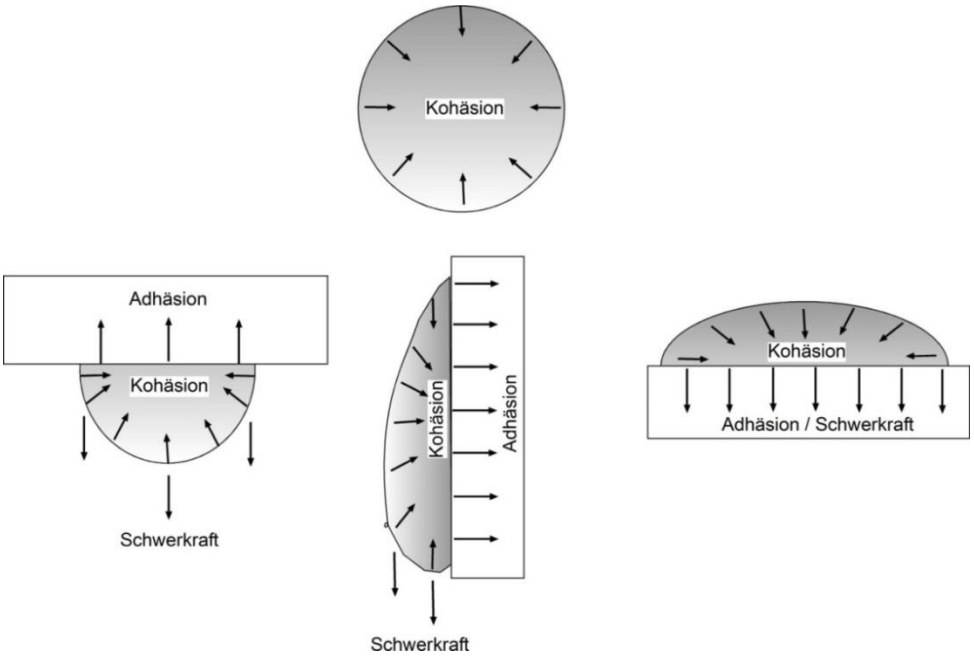
Warum ist das so?

Auf einen auf einer Oberfläche liegenden Wassertropfen wirken mehrere Kräfte ein,

- Die Kohäsion der sich untereinander anziehenden Wassermoleküle
- Die Schwerkraft die den Wassertropfen nach unten zieht
- Die Adhäsion durch die Fläche auf der der Wassertropfen ruht

Wirkt nur die Kohäsion, bildet der Tropfen eine Kugel. Das ist nur möglich, wenn der Tropfen weder der Schwerkraft ("freier Fall") noch der Adhäsion an Flächen ausgesetzt ist. Liegt der Tropfen auf einer Oberfläche konkurriert die Kohäsion mit der Schwerkraft, der Tropfen breitet sich auf der Unterlage aus und bildet eine Halbkugel oder eine Pfütze. Welche Form der Tropfen annimmt hängt ab von den von der Größe und der Unterlage:

Kleine Tropfen sind der Schwerkraft weniger ausgesetzt als große. Es ist also leichter, kleine halbkugelige Tropfen auf einer Glasplatte zu erzeigen als große. Ist die Adhäsion der Unterlage klein überwiegt die Kohäsion. Ist sie groß werden nur "Pfützen" entstehen.



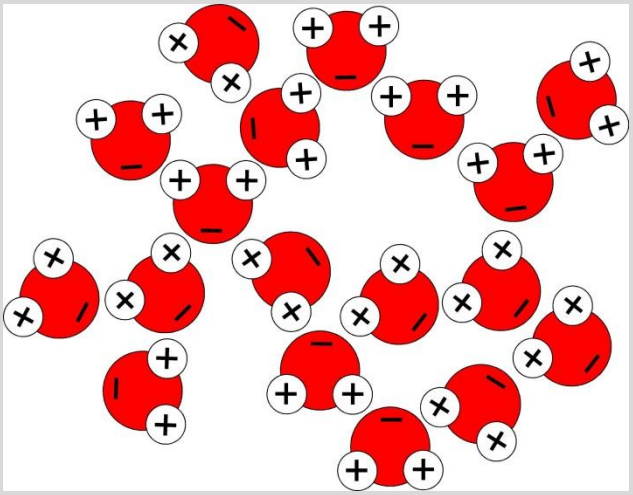
Auf den Tropfen wirken

- **Kohäsion**
  Sie hält den Tropfen zusammen
- **Adhäsion**
  Dadurch haftet der Tropfen an Oberflächen
- **Schwerkraft**
  Sie zieht den Tropfen zum Erdmittelpunkt

Je nachdem welche Kraft besonders stark ist erhält der Tropfen eine andere Form.

Grafik: Ingo Mennerich

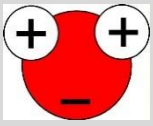
Welche Kräfte halten einen Tropfen zusammen?



Wassermoleküle bestehen aus zwei Wasserstoffatomen (H) und einem Sauerstoffatom (O).
Die chemische Formel kennst du vielleicht:

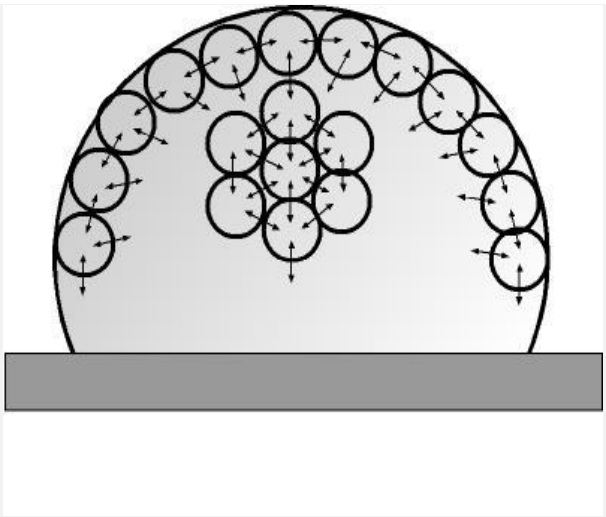
$$H_2O$$

Wassermoleküle besitzen elektrische Kräfte mit denen sie sich untereinander anziehen.
Jedes Molekül hat eine positive (+) und eine negative (-) Seite.



Gegensätze ziehen sich an: Die negative Seite eines Moleküls zieht die positiven Seiten anderer Moleküle an.

So schließen sich viele Wassermoleküle zu Wasser zusammen.
Gäbe es diese Kräfte nicht, würde Wasser in winzig kleine Moleküle zerfallen.



Warum sind Tropfen rund?

Wassermoleküle ziehen sich gegenseitig an.
Die Moleküle im Zentrum des Tropfens ziehen die die äußeren, sich auch gegenseitig anziehenden Moleküle an.
Die Moleküle am Tropfenrand haben keine äußeren Partner. Sie vernetzen sich mit den anderen "Randmolekülen" die von den darunter liegenden angezogen werden.
In der Summe werden alle Moleküle zum Zentrum gezogen.

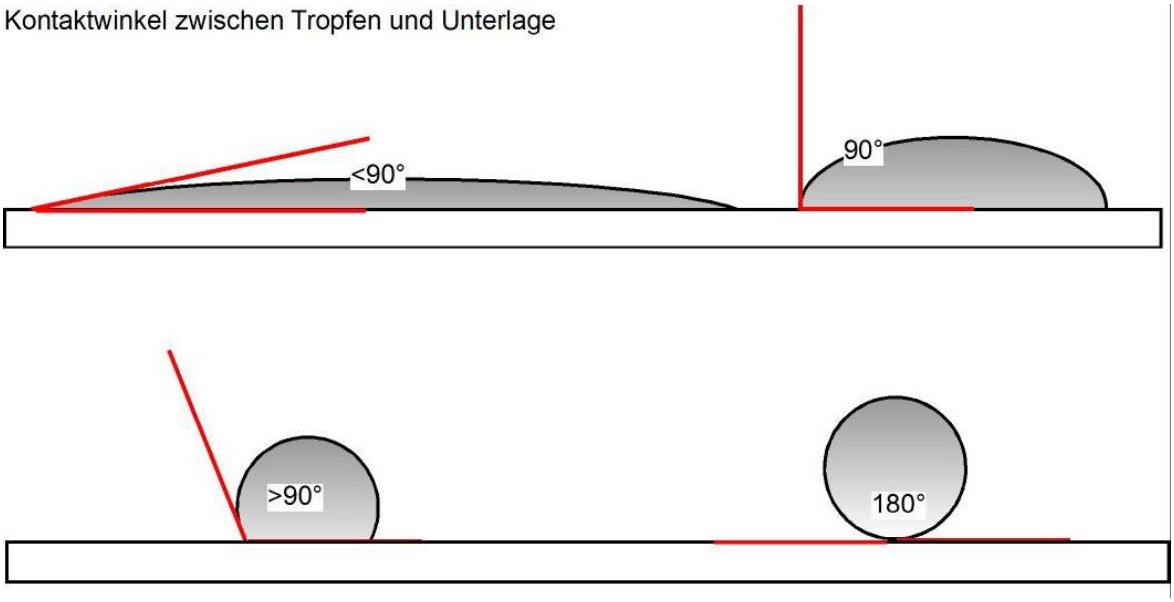
Grafik: Ingo Mennerich

Wir spielen "Wassertropfen" oder: Warum ist ein Tropfen nicht würfelförmig?

Stellt euch im Abstand von einem Meter im Viereck auf und fasst euch an Händen. Zieht eure Nachbarn zu euch her. Aus dem Viereck wird ein Kreis…

Der "Kontaktwinkel" als Hinweis der Stärke des "Kullertropfen-Effektes"

Ein "Kullertropfen" hat nur wenig Kontakt mit der darunter liegenden, waagerechten Oberfläche. Bildet sich nur eine flache "Pfütze" ist die Kontaktfläche groß.



Grafik: Ingo Mennerich

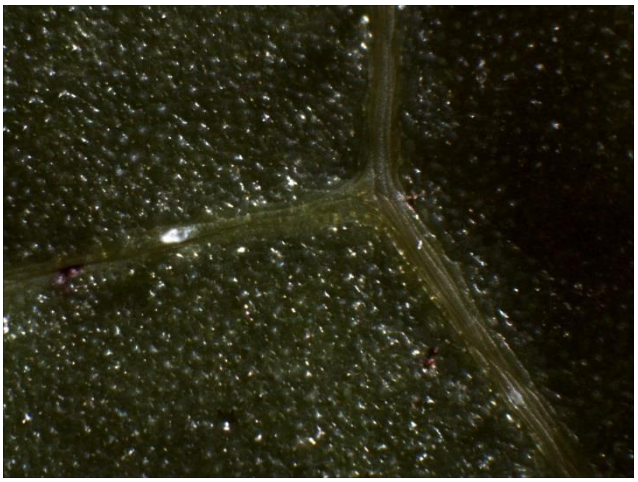
"Kullertropfen-Effekt" bei Pflanzen: Wie funktioniert das?

Blätter der Kapuzinerkresse unter dem Binokular

Begießt oder besprüht man das Blatt der Kapuzinerkresse mit Wasser so zeigt sich, dass es praktisch nicht benetzbar ist.

Die Blattoberseite lässt Wassertropfen einfach und ohne Spuren zu hinterlassen abrollen.

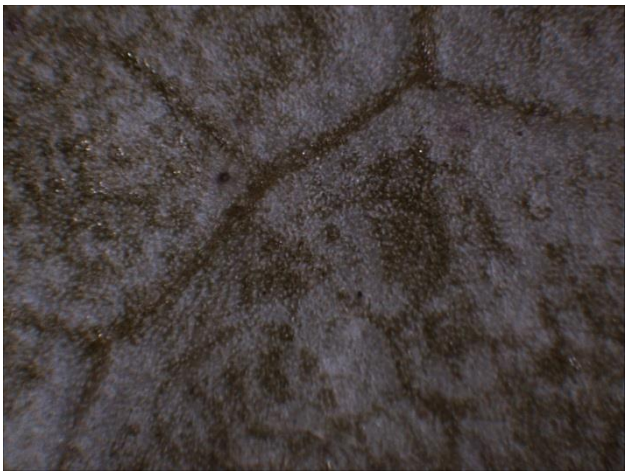
Der Tropfen ist fast kugelförmig, liegt also nur mit geringer Auflagefläche auf dem Blatt. Dadurch wirkt er wie eine die darunter liegende Oberfläche stark vergrößernde Linse. Unter dem Binokular kann man so bereits bei geringerer Gesamtvergrößerung erkennen, dass das Blatt sehr fein "genoppt" ist.



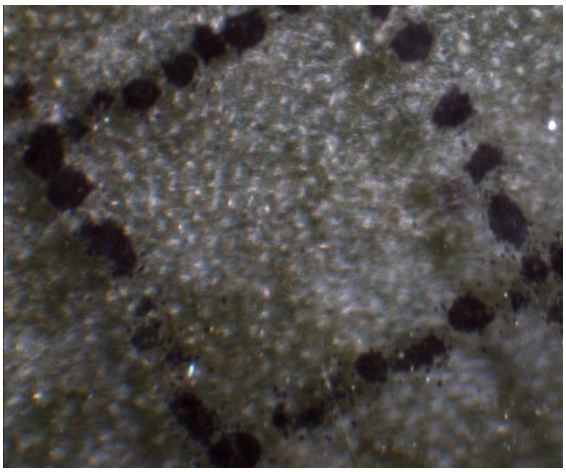
Winzige "Knubbel" oder "Noppen" (besser: Papillen) auf der Blattoberseite der Kapuzinerkresse, aufgenommen unter dem Mikroskop bei seitlicher LED-Beleuchtung.

Die "Noppen" kann man mit den Fingern von der Blattoberfläche wischen. Dann funktioniert der "Kullertropfen-Effekt" nicht mehr.
Man kann auch eine saubere Glasscheibe mit dem Kapuzinerkresseblatt einreiben.
Wie sieht die aufgetragene Schicht aus? Wie fühlt sie sich an?

Eine ganz ähnliche Oberfläche zeigen Kohlrabiblätter die das Wasser fast ebenso gut abperlen lassen:



Blattoberseite des Kohlrabis unter dem Binokular



"Noppenstruktur" mit aufgelegtem Millimeter-Raster

Fotos: Ingo Mennerich

Lässt sich der "Kullertropfen-Effekt" auf die Glasscheibe übertragen?

Woraus könnten die "Noppen" bestehen?

Die "Noppen" bestehen aus Wachs. Wachs und Fett mögen kein Wasser und lassen es abperlen.

Das kann man ausprobieren indem wir Glasscheiben (z.B. Objektträger) mit verschiedenen Stoffen einreiben, etwa mit Butter, Nivea, Kerzenwachs. Wenn wir die Glasscheibe schräg halten und etwas Wasser mit der Pipette darauf träufeln wird der Tropfen anders herablaufen als auf der unbehandelten Scheibe.

Warum hat die Kapuzinerkresse "Noppen"? Warum ist sie nicht einfach mit einer Wachsschicht bedeckt?

Pflanzen ernähren sich von Sonnenlicht (Photosynthese). Ihre Blätter, die aus vielen Zellen bestehenden grünen "Solarmodule" brauchen eine "atmungsaktive Oberfläche" um Kohlenstoffdioxid aufnehmen sowie Wasserdampf und Sauerstoff abgeben zu können.

Die das Wasser abstoßende Schicht muss also eine netzartige oder punktförmige Struktur mit Zwischenräumen aufweisen.

Zum Weiterdenken:

Warum sind die "Noppen" so winzig sein? Hätten nicht größere und weiter auseinander liegende Noppen den gleichen Effekt?

Eine künstliche Schutzschicht für den Benjamini?

Ältere Blätter der Zimmerfeige (Ficus benjamini) lassen aufgesprühtes Wasser meistens nicht mehr abrollen. Kann man ihnen helfen und die Pflanze dadurch vielleicht zu neuem Glanz verhelfen?

Wie reagiert das Blatt auf so eine Behandlung?

Wir haben ein Blatt, auf dem keine Kullertropfen abrollen auf der Ober- und Unterseite mit Bienenwachssalbe eingerieben und mit einem kleinen Schleifchen am Blattstiel markiert. Das Wasser rollte jetzt wie geplant als Tropfen zur Blattspitze herunter.

Ob die Wachsschicht dem Blatt allerdings gut tut oder es zumindest keinen Schaden nimmt kann nur durch Langzeitbeobachtung überprüft werden. Der Ficus muss also für einige Wochen eine Reihe bunter Schleifchen tragen…

Das Ergebnis: Das Blatt wird gelb, welk und trocken. Warum?

- Vielleicht ist das Wachs giftig für das Blatt?
  (Wir haben ein hautfreundliches Naturprodukt verwendet)
- Vielleicht lässt das Wachs das Sonnenlicht nicht so gut hindurch?
  (Die dünne Wachsschicht scheint aber durchsichtig zu sein)
- Vielleicht kann das Blatt unter der Wachsschicht nicht mehr atmen?

Die beiden letzten Vermutungen werden in der Grundschule und frühen Sekundarstufe eher untypisch sein, fehlt es doch noch an Kenntnissen zum Stoffwechsel, der Photosynthese und Atmung der Pflanzen.

Dass Pflanzen "schlechte" Luft erneuern und uns die Luft zum Atmen "geben" ist vielen Kindern dieser Altersstufe wenigstens ansatzweise bekannt. Dass der Luftaustausch über winzige "Löcher" in den Blättern (Spaltöffnungen) erfolgt muss als Zusatzinformation hineingegeben werden.

Mit etwas mehr Zeit können Schüler die Spaltöffnungen unter dem Binokular auch selbst entdecken und dabei feststellen, dass sie sich, z.B. beim Ficus benjamina nur auf der Blattunterseite befinden. Das könnte natürlich zu weiteren Versuchen führen bei denen alternativ die Blattober- und Blattunterseiten eingefettet werden.

Die Spaltöffnungen der Indischen Lotosblume befinden sich dagegen, wie die der See- und Teichrosen auch, auf der Blattoberseite da die Blattunterseite zumeist im Wasser liegt.

Selbstreinigung

Pflanzen ernähren sich von Sonnenlicht. Wie bei Solarmodulen auf dem Dach sinkt die Photosyntheseleistung, wenn die Oberfläche verschmutzt ist. Auf nährstoffhaltigem Schmutz können sich, sofern die Oberfläche feucht ist, Bakterien, Pilze oder Algen ansiedeln.

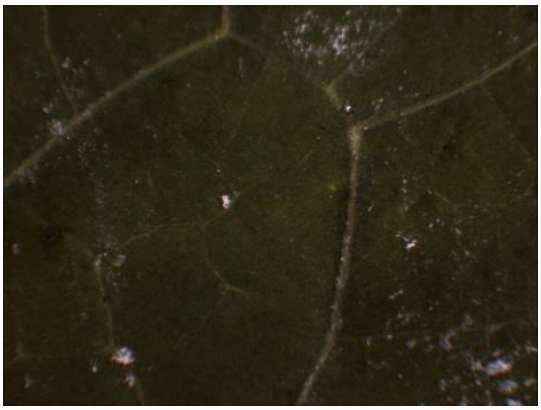
Dies wird vermieden, wenn die Oberfläche sauber und trocken bleibt.

Was geschieht, wenn eine Blattoberfläche mit dem "Kullertropfen-Effekt" mit Staub überzogen wird und es regnet?

Die Blattoberseite der Kapuzinerkresse wird mit Zementpulver bestreut

Binokular: Aufnahmen Ingo Mennerich

Dann wird mit der Pipette ein Tropfen aufgesetzt.

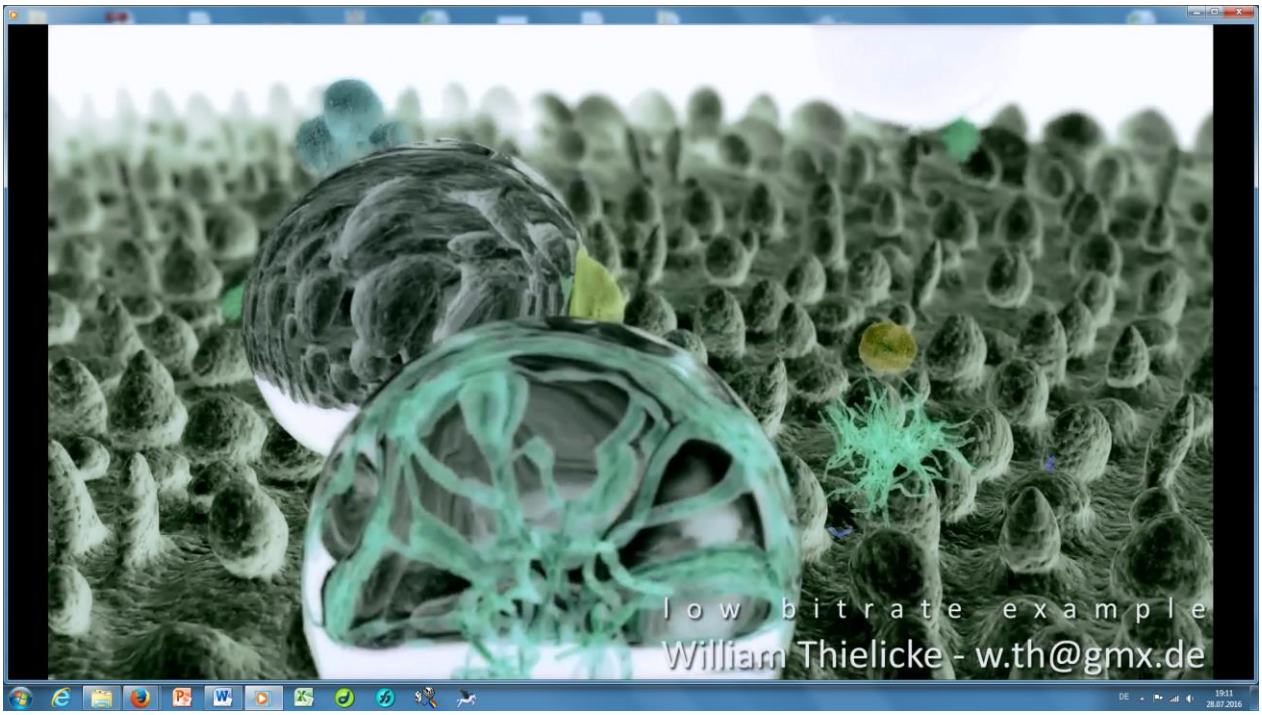


Lässt man den Tropfen durch Neigen des Blattes über die verschmutzte Fläche kullern sammelt er den Staub vollständig auf

Fällt der Tropfen dann vom Blatt ist das Wasser zementhaltig und grau, das Blatt dagegen fast rückstandsfrei sauber!

Bei diesem Experiment war das am Vortag abgepflückte und im verschlossenen Glas feucht gehaltene Blatt schon nicht mehr ganz zur Selbstreinigung in der Lage…

Sehr sehenswerte Videos dazu hat Dr. William Thielicke (Bremen) veröffentlicht. Sie sind unter "http://william.thielicke.org" im Internet zu finden.

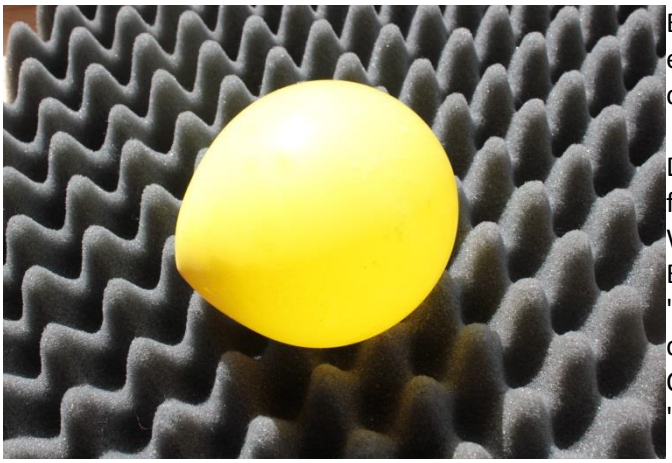


Hier wird in einer Animation gezeigt, wie Tropfen über eine "genoppte" Oberfläche rollen und dabei Schmutzpartikel aufnehmen und entfernen (Screenshot aus dem Video "lotani3").

Spannend ist es, mit unterschiedlichen Schmutzstoffen zu experimentieren: Werden wasserunlösliche Stoffe genauso gut von den herabkullernden Tropfen entfernt wie wasserlösliche?

- Puderzucker (wasserlöslich)
- Mehl (wasserunlöslich)
- Hausstaub
- Grafitstaub, abgerieben von Bleistiftminen (wasserunlöslich)
- Bentonit (aus Vulkanasche)
- Zementstaub

Tatsächlich werden alle, wasserlösliche wie wasserunlösliche Stoffe entfernt. Alle Stoffe haften kaum an der Blattoberfläche (geringe Ahäsion aufgrund der geringen "noppigen" Kontaktfläche).



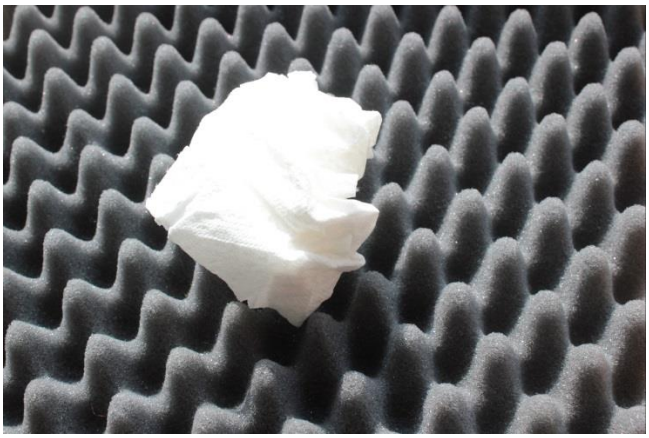
Eine anschauliche modellhafte Experimentierfläche erhält man mit Noppenschaumstoff der auch unter der Bezeichnung Akustikschaum verkauft wird.

Die genoppte Oberfläche steht hier stellvertretend für das Blatt und der mit Wasser gefüllte Ballon den Wassertropfen.
Einen so großen Wasserstropfen wie diese "Wasserbombe" gibt es natürlich nicht daher steht die Gummihülle des Ballons für die durch die Oberflächenspannung des Wassers hervorgerufene "Haut" eines Tropfens.

Der "Tropfen" wird, so wie ein wirklicher Tropfen, durch die Schwerkraft verformt.
Er liegt auf der genoppten im Vergleich zur flachen Oberfläche aber nur an wenigen Stellen auf dem "Blatt".

Das gleiche gilt für ein "Schmutzteilchen" dessen Kontaktfläche mit der genoppten Seite natürlich viel kleiner ist als mit der rückwärtigen glatten.

Fotos: Ingo Mennerich
Danke an Mareike Hartmann für die Anregung!



Wenn man eine ein bis zwei Meter lange Bahn aus Noppenschaumstoff zur Verfügung hat kann man sie etwas neigen und dann ein Wettrennen mit "Wasserbomben", kleinen Bällen, zerknüllten Taschentüchern oder Wattebäuschen veranstalten. Sicher werden Ihre Schüler zunächst vermuten, dass "Tropfen" und "Schmutzteilchen" auf der genoppten "Holperstrecke" langsamer vorankommen als auf der glatten Strecke. Doch das wäre erst einmal zu beweisen und könnte je nach Material, Größe und Form durchaus zu Überraschungen führen.

Der "Kullertropfen-Effekt" mit anderen Flüssigkeiten

Perlt nur Wasser ab? Oder auch andre Flüssigkeiten?

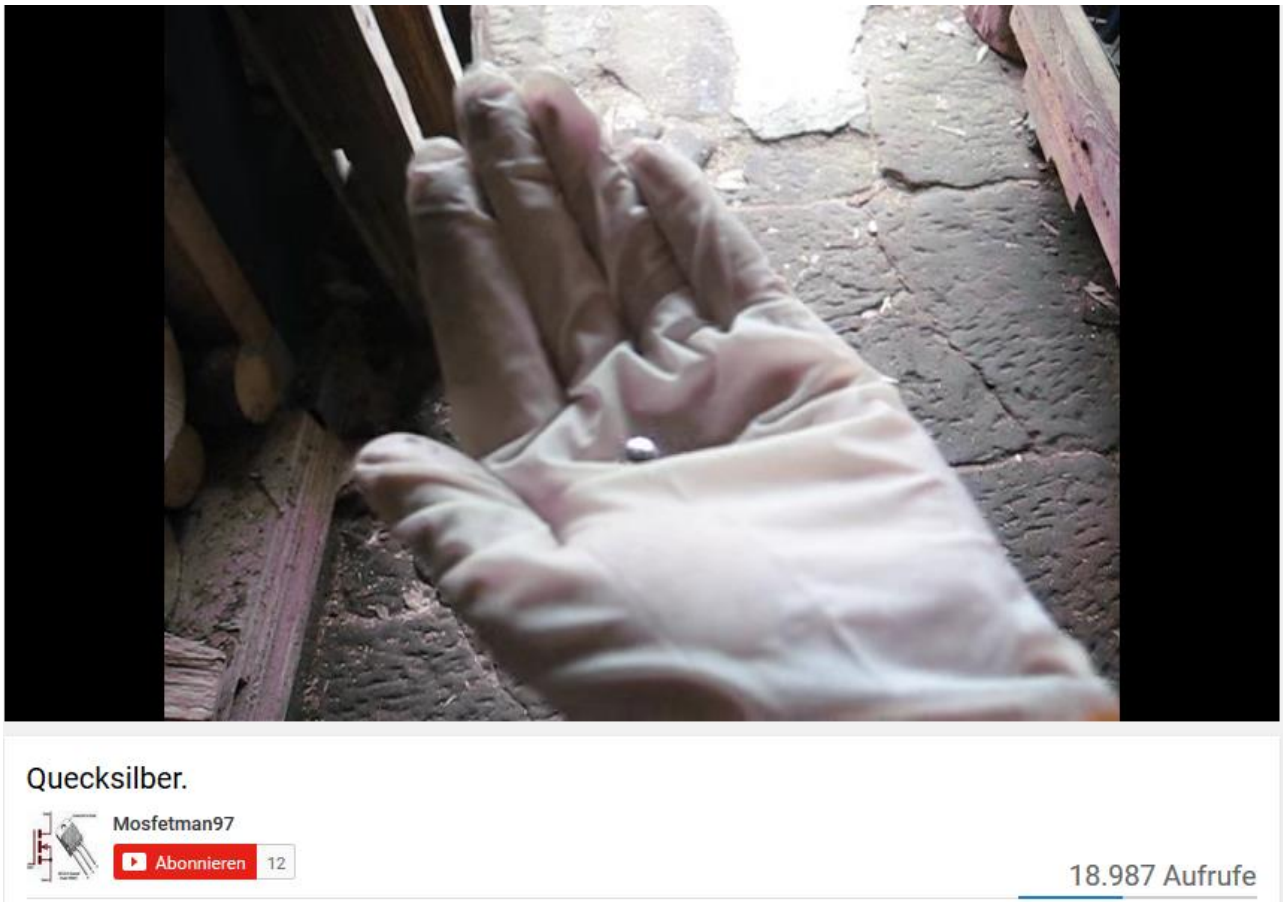
Wie ist es zum Beispiel mit Speiseöl? Oder Glycerin?

Zum Experimentieren sollten im Sachunterricht nur ungiftige Flüssigkeiten verwendet werden.

Wir möchten aber trotzdem auf folgende Stoffe hinweisen:

Quecksilber:

Quecksilber bildet aufgrund seiner hohen, das Sechsfache des Wassers übersteigenden Oberflächenspannung auf fast allen Unterlagen kugelförmige Tropfen. Allerdings ist es hochgiftig! Im Sachunterricht wird man in jedem Fall auf Filme zurückgreifen müssen (z.B. Youtube):



Das Youtube-Video "Quecksilber" von Mosfetman (https://www.youtube.com/watch?v=yl83aEi4Fng) zeigt die "Kullertropfen"-Eigenschaften des flüssigen Metalls auf sehr faszinierende Weise. Der Autor des Films drückt zum Beispiel auf den Tropfen der danach spontan wieder die Kugelform annimmt und nach dem Abperlen keine Spur auf dem Handschuh hinterlässt. Hier ist die Anziehungskraft unter den Quecksilbermolekülen (Kohäsion) viel großer als die Wechselwirkung mit den umgebenden Stoffen (Adhäsion).

Heute gibt es im Alltagsgebrauch keine Quecksilberthermometer mehr. Gingen diese beim Herunterfallen zu Bruch war die Familie in der Regel damit beschäftigt die silbrigen "Bälle" auf dem Teppich

aufzusammeln was für Kinder bei der damals wohl noch nicht so präsenten Gefährlichkeit ein faszinierendes Spiel war das zu vielen Fragen führte…

Alkohol

Die Oberflächenspannung von Alkohol (Ethanol) beträgt nur ein Drittel der des Wassers, entsprechend geringer ist die Bereitschaft runde Tropfen zu bilden. Wer Brennspiritus und Wasser miteinander vergleicht wird feststellen, dass der Alkohol breit flächig an Glaswänden herabläuft, wogegen Wasser Rinnen und Nasen bildet. Beim Experimentieren nur geringe Mengen einsetzen und wegen der Dämpfe im Freien arbeiten!

Benzin

Die Alkan-Moleküle im Wasch- oder Feuerzeugbenzin ziehen sich gegenseitig noch geringer an als Ethanol-Moleküle. Beim Experimentieren gelten die gleichen Regeln wie beim Ethanol.

Speiseöl

Öl-, Fett- und Wachsmoleküle ziehen sich untereinander in viel geringerem Maße an als Wassermoleküle.

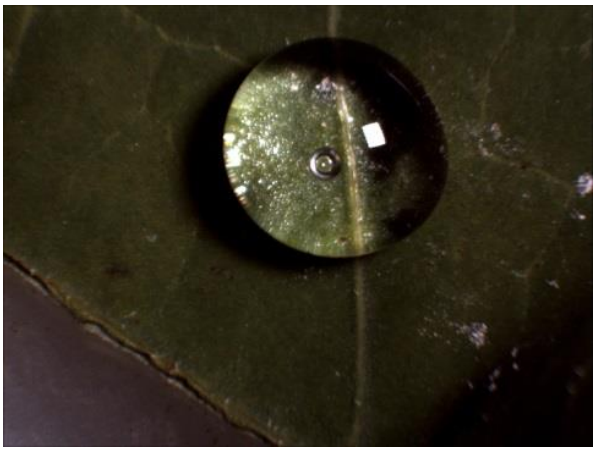
Spülmittel:

Spülmittel unterdrückt die Bindung der Wassertropfen untereinander mit der Folge, dass sich Tropfen nicht bilden können.

Untersucht werden kann:

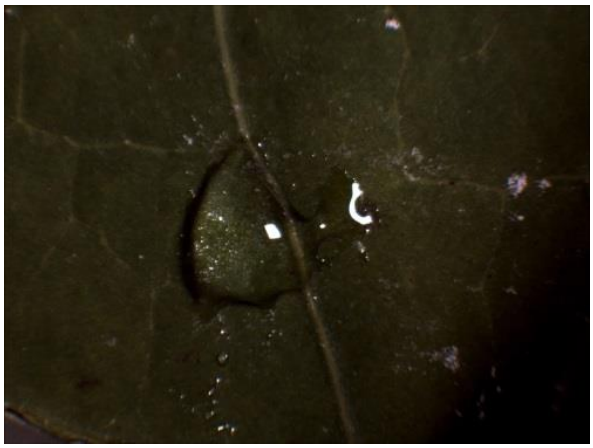
- die Bereitschaft auf ebenen Flächen runde Tropfen zu bilden
- die Art und Weise, wie die Flüssigkeit an senkrechten Flächen (z.B. Fensterscheiben) herabrinnt.

Ungiftige Stoffe sind Speiseöle, Glycerin (Bestandteil von Salben) und Klebstoffe auf Wasserbasis.



Kein Wasser sondern UHU-Alleskleber. Allerdings der "grüne" ohne Lösungsmittel…

Fotos: Ingo Mennerich



Der Tropfen rollt mühsam aber bis auf eine feine Tröpfchenspur rückstandsfrei über das senkrecht gehaltene Blatt. Am Ursprung bleibt allerdings noch eine flache "Pfütze"

Was macht Spülmittel mit dem "Kullertropfen-Effekt"?

Winzige Mengen Spülmittel verderben den "Lotos-Effekt". Im Spülmittel enthaltene Stoffe (Tenside) sorgen dafür, dass sich die Wassermoleküle nicht mehr so gut vernetzen können. Wasser, das Spülmittel enthält wird auf Unterlagen (z.B. Objektträgern) keine runden Tropfen sondern nur flache "Pfützen" bilden können.

Wasser und Fett "mögen" sich nicht. Deshalb kann man das auf Tellern und Tassen sitzende Fett nicht einfach mit Wasser abspülen. Die Tenside im Spülmittel haben zwei Enden, eins das Wasser und eins das Fett "mag". So sorgt das Spülmittel dafür, dass das Fett vom Spülwasser abgelöst und weggetragen werden kann.

Die Kapuzinerkresse braucht kein Spülmittel: Sie wird durch den "Kullertropfen-Effekt" erst gar nicht schmutzig und Spülmittel würde diesen Effekt zerstören!

Überlege, welche Auswirkungen Wasch- und Spülmittel auf im Wasser schwimmende Vögel haben könnte!

CD-Hüllen, rau und glatt, Fett, der Lotos-Effekt und die Elektrizität

In der "Tropfen-Werkstatt" werden Kinder beim Experimentieren schnell entdecken, dass ein auf die schwarze Rückseite einer CD-Hülle aufgesetzter Wassertropfen schnell und "spurlos" herunterläuft. Nicht ganz so eindrucksvoll wie auf einem Kapuzinerkresseblatt, aber immerhin. Auf der durchsichtigen Vorderseite klappt das nicht. Woran könnte das liegen?

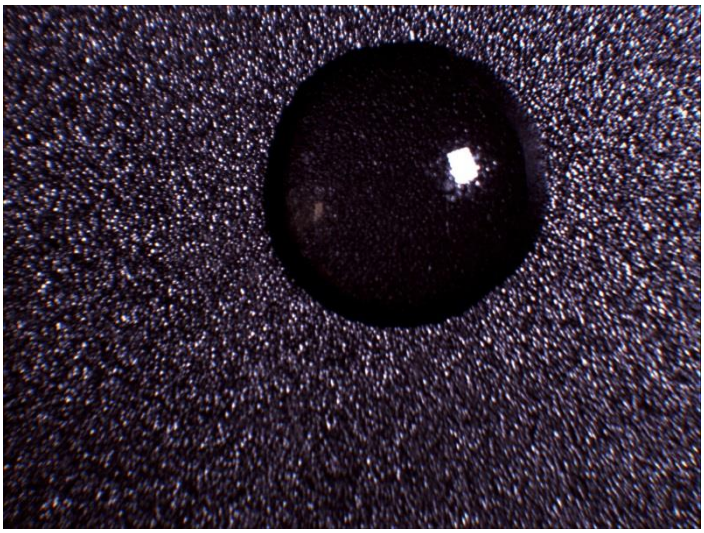


Foto: Ingo Mennerich

Die meist schwarzen Plastikrückseiten von CD-Hüllen haben in der Regel eine matte Oberfläche.
Unter dem Binokular wird deutlich, warum sie nicht glänzen: Sie sind nicht glatt sondern fein genoppt.

Der Tropfen auf der Abbildung links hat einen Durchmesser von etwa 5 mm.

Die Größe der Noppen liegt also im Bereich von Tausendstel-Millimetern (Mikrometern)

Raue Oberflächen scheinen die Tropfen besser abrollen zu lassen als glatte.
Aber hängt der "Kullertropfen-Effekt" auch mit dem Material der Unterlage zusammen? Wirkt Plastik anders als Glas?
Beim Experimentieren muss man darauf achten, dass die verwendeten Glas- und Plastikoberflächen gleich glatt bzw. gleich rau sind.

Kann man den "Kullertropfen-Effekt" verbessern, wenn man eine Fettschicht auf die Oberfläche bringt? Der Versuch mit gut in die "Noppen" geriebenem Exsikkatorfett = (Schifffett zum Abdichten) zeigt, dass der Tropfen erheblich rückstandsfreier abrollt als auf der unbehandelten Oberfläche.

Aufgeladene und entladene CD-Hüllen

Diese Entdeckung kann man nur zufällig machen. Oder man wird dort hingeführt.
Die "genoppten" Rückseiten der CD-Hüllen verlieren den "Lotos-Effekt" wenn man sie an Baumwolltextilien reibt. Plastik und Reibung, gab es da nicht etwas?
Auf Kindergeburtstagen (oder vielleicht in der Schule) erfahren Kinder, dass Luftballons, die man an Hosenbeinen reibt, an der Zimmerdecke "kleben" bleiben. Mit Luftballons kann man auch Haare "zu Berge stehen" lassen. Vielleicht hat der eine oder andere auch sich am Plastik-Handlauf eines metallenen Geländers einen "Schlag" geholt als er schnell die Treppe herunterrannte. Und wer seinen Synthetik-Pullover im Dunkeln auszieht kann manchmal, nicht immer, Blitze sehen! Alles das hat mit Elektrizität zu tun.
Die CD-Hülle wird beim Reiben elektrisch aufgeladen. Keine Angst, das ist nicht gefährlich. Es entstehen zwar hohe Spannungen aber der Strom der bei der späteren Entladung fließt reicht nicht aus um uns zu schaden.
Der physikalische Hintergrund: Reibt man eine CD-Hülle (PVC) am Hosenbein (Wolle) "klaut" das PVC der Wolle Elektronen. Die CD-Hülle lädt sich dabei auf (sie wird negativer), die Wolle wird positiver.
Wie wird man die Elektronen auf der CD-Hülle wieder los? Man muss die aufgeladene Hülle mit etwas in Kontakt bringen das noch größeren "Hunger" auf Elektronen hat, z.B. mit einem Antistatiktuch.

Die "Elektrostatische oder Triboelektrische Spannungsreihe" gibt wieder, welchen Stoff man an welchem reiben muss um ihn positiv oder negativ aufzuladen.

Leder	+
Glas	
Haare	
Wolle	
Fell	
Seide	
Papier	↕
Baumwolle	
Hartgummi	
Polypropylen (PP)	
Polyester	
PVC	-

Dabei ist es in unserem Fall egal, ob in Bezug auf ein zweites Objekt ein Elektronenmangel oder ein Elektronenüberschuss besteht. "Aufladen" bedeutet nur das ein Ladungsunterschied besteht, dabei spielt es keine Rolle ob die Ladung positiv ist (Elektronenmangel) oder negativ (Elektronenüberschuss).

Beispiele:
Wird eine CD-Hülle (Polypropylen, PP)) mit großem "Elektronenhunger" an einem weniger elektronenhungrigen Hosenbein (Baumwolle) oder an einem Fensterleder gerieben lädt sich die "elektronenhungrige" CD elektrisch auf, der Baumwollstoff bzw. das Leder verlieren Elektronen.

Die elektrische Anziehung wird deutlich wenn man eine durch Reibung aufgeladene CD-Hülle neben den dünnen (!) aus dem Wasserhahn fallenden Strahl hält. Der Strahl wird von der CD-Hülle angezogen. Der Grund: Die positiven Seiten der Wassermoleküle drehen sich zur negativ geladenen CD-Hülle und werden von ihr angezogen.

Bohre ein kleines Loch in eine große Plastikflasche, etwa 1 cm über dem Boden.

Fülle sie mit Wasser und verschließe sie mit dem Deckel.

Stelle die Flasche an den Rand eines Tisches, stelle eine Schale darunter und öffne den Deckel.

Reibe die CD-Hülle an deiner Hose oder deinem T-Shirt und halte sie in die Nähe des Wasserstrahls.

Der Wasserstrahl wird von der aufgeladenen CD-Hülle angezogen.

Der Grund:
Die CD-Hülle ist durch das Reiben negativ geladen. Die Wassermoleküle richten sich mit ihrer positiven Seite zur CD-Hülle aus und bewegen sich auch dort hin.

Technisch wird der Effekt des Aufladens und Entladens von Plastik übrigens zum Beispiel beim **Fotokopierer** genutzt.

Kann man wasser- und schmutzabweisende Nano-Oberflächen selbst herstellen?

Eine dünn mit Fett oder Wachs bestrichene Fläche weist Wasser ab ist aber nicht "atmungsaktiv". Es gilt also, viele kleine Fett- oder Wachsnoppen in geringem Abstand auf die Oberfläche zu bringen.

Durch die Verkleinerung der mit dem Wasser und Schmutzteichen in Kontakt tretenden Fläche wird die Haftung (Adhäsion) verringert so dass die Anziehung der Wassermoleküle untereinander (Kohäsion) die stärkste wirksame Kraft wird.

Das gelingt schon recht gut indem man mit einem leicht (!) eingefetteten Finger so lange ganz sanft (!) auf eine Glasscheibe tupft bis diese vollständig mit Fingerabdrücken bedeckt ist. Der Abstand zwischen den Papillarleisten der Fingerkuppe liegt zwar noch lange nicht im Nanobereich zeigt aber, worauf es ankommt
Mit Exsikkator- oder Schifffett, das zum Abdichten von Laborgeräten in der Chemie dient, funktioniert das ausgezeichnet, mit Bienenwachssalbe etwas weniger gut.

Wirklich überzeugende Nano-Oberflächen mit "Kullertropfen-Effekt" lassen sich mit Ruß und Wachsdampf herstellen.

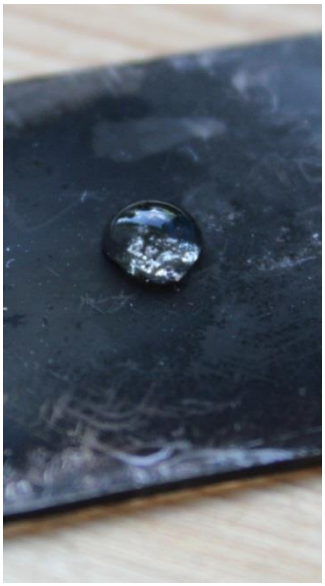


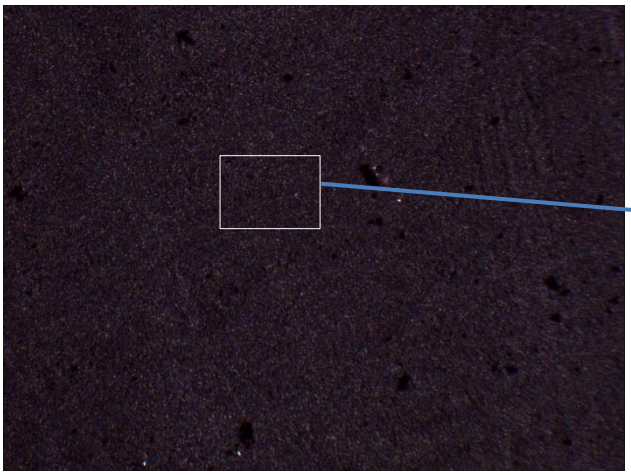
Foto: Ingo Mennerich

Eine halbe "nackte" Erdnuss wird, aufgespießt auf einer Nadel, über der Flamme eines Teelichts entzündet. Achtung: Das in Erdnüsse enthaltene Öl ist sehr energiereich und brennt recht stark. Wenn man einen Objektträger so dicht über die Flamme hält, dass die Sauerstoffzufuhr eingeschränkt ist verbrennt das Öl unvollständig. Ein Teil schlägt sich auf der (kühleren) Glasfläche nieder. Es bildet sich nicht nur ein Wachsfilm sondern es kommt es zu einem vielleicht entscheidenderen Effekt: Die mit dem Fett verbundenen Rußteilchen bilden eine feine, aus Myriaden bestehende Nanostruktur die die Oberfläche erheblich vergrößert.
Der schräg nach unten gehaltene rußige Objektträger lässt die auf ihn fallenden Tropfen geradezu abspringen. Sie hinterlassen keine Spuren.

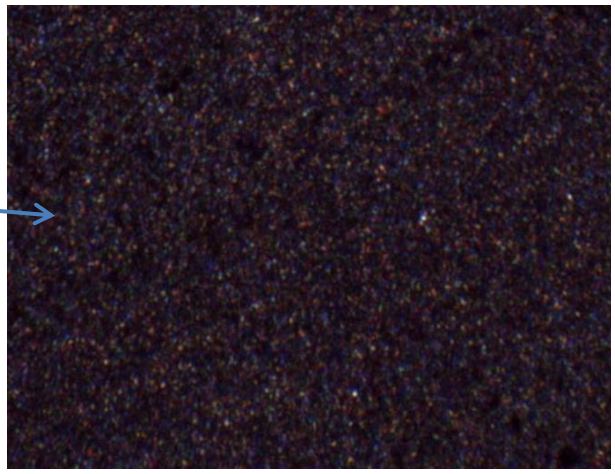
Wer den Geruch brennender Erdnüsse scheut und das Risiko sich zu verbrennen reduzieren möchte kann es auch einfacher haben:

Hält man einen Objektträger dicht über die Flamme eines Teelichts lässt der mit kondensiertem Wachsdampf imprägnierte Ruß die Tropfen fast genauso gut abspringen.

Unter dem Binokular zeigt sich die feine Struktur der aufgetragenen Rußpartikel



Rußpartikel einer brennenden Erdnuss, abgesetzt auf einem über die Flamme gehaltenen Objektträger. Die Bildfläche ist etwa 1 mm^2 groß.



Ausschnittvergrößerung
(ca. 1/36 der Bildfläche links)

Fotos: Ingo Mennerich

Pflanzen aus dem Schulbiologiezentrum, die den "Kullertropfen-Effekt" zeigen

Azolla unter dem Binokular

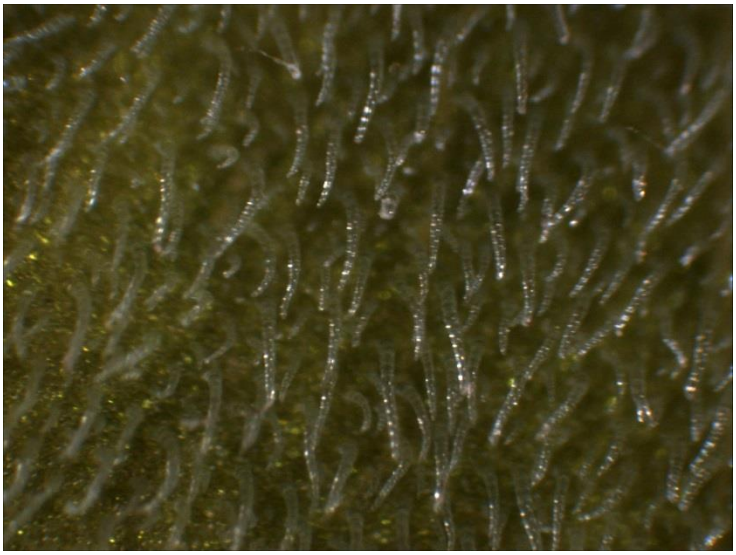
Azolla

Azolla filiculoides, der Große Algenfarn ist eine ursprünglich aus Amerika stammende Pflanze aus der Familie der Schwimmfarne (Salviniaceae).
Azolla schwimmt frei auf der Oberfläche stehender Gewässer. Die schuppenartigen und wie Dachziegel angeordneten Blättchen sind aufgrund feiner wasserabweisender Papillen unbenetzbar. Nach dem Untertauchen steigt Azolla völlig trocken an die Oberfläche.

Fotos: Ingo Mennerich

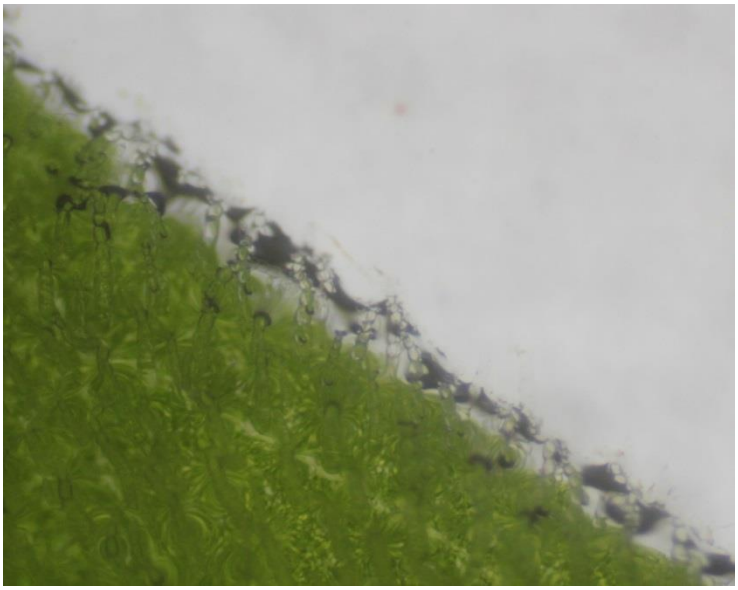
Pistia

Pistia stratoides, der Wassersalat ist eine subtropische und tropische Schwimmpflanze aus der Familie der Aronstabgewächse.
Ihre Nichtbenetzbarkeit beruht nicht auf dem Lotos- sondern auf dem Salvinia-Effekt (siehe Salvinia).
Bereits mit bloßem Auge ist ein feiner Flaum auf der Blattoberfläche zu erkennen.



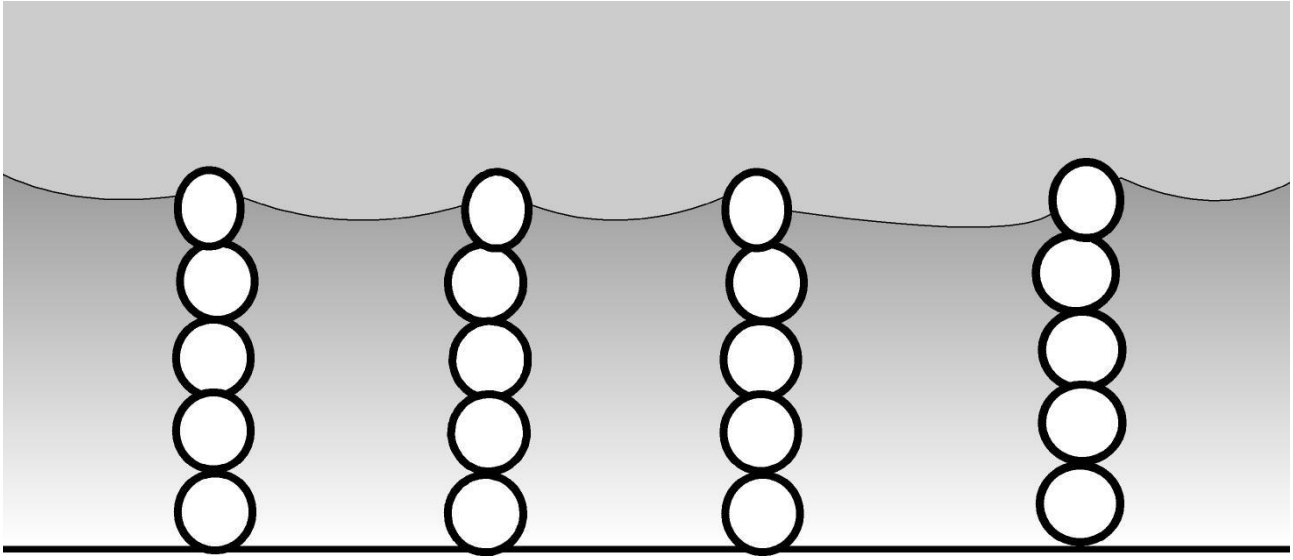
Pistia ist ober- und unterseits dicht mit gegliederten durchsichtigen Härchen besetzt die sich offenbar nicht benetzen lassen. Die Haare sind recht empfindlich, wird das Blatt zu unsanft angefasst wird der Haarfilz und damit der "Kullertropfen-Effekt" zerstört.

Spülmittel macht den Effekt ebenfalls unwirksam.



Wie Pistia mit Wasser umgeht zeigt sich besonders dann, wenn man den Rand eines untergetauchten Blattes mit dem Binokular betrachtet. Dann entsteht ein silbriger Schimmer und im Idealfall kann man sehen, dass Pistia zwischen Härchen Luft einschließt, die Spitzen der Härchen allerdings ins Wasser hineinragen.
Das könnte die These stützen, dass die Härchen wasserabweisend, ihre Spitzen allerdings hydrophil sind. Vergleichbares wird auch für Salvinia angenommen.

Die Nichtbenetzbarkeit erklärt warum Pistia schwimmt und nach dem Untertauchen schnell wieder an die Oberfläche steigt. Wird sie unter Wasser gehalten glänz sie aufgrund der eingeschlossenen Lufthülle silbrig.



Grafik: Ingo Mennerich

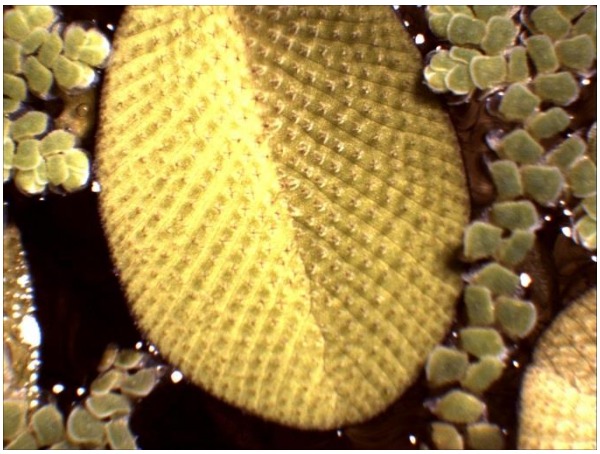
Pistia wächst schwimmend auf der Wasseroberfläche und untergetaucht oft in mehreren Lagen übereinander und erreicht, ähnlich Salvinia (s.u.) bei geeigneten Temperaturen in kurzer Zeit enorme Zuwächse. Dies könnte mit der Luftschicht zusammenhängen die die Pflanze um sich herum aufbaut.

Salvinia

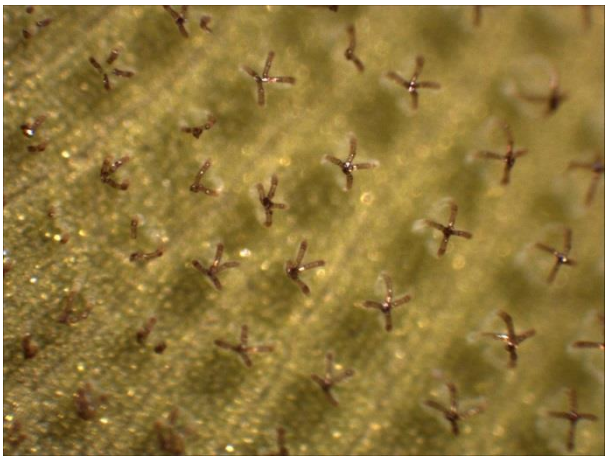
Salvinia natans, der Gewöhnliche Schwimmfarn gehört wie Azolla zur Familie der Schwimmfarngewächse und ist in den warmen Regionen Europas und Asiens beheimatet.
Wie Azolla treibt Salvina mit langen ins Wasser herabhängenden "Wurzeln" auf Stillgewässern. Luftgefüllte Aerenchyme in den etwa 1 cm langen ovalen Blättern sorgen für Auftrieb.
Auch Salvinia ist nicht benetzbar. Die dafür verantwortlichen Strukturen sind aber viel komplizierter als bei Azolla. Unter dem Binokular zeigt die Blattoberseite einen dichten Besatz aufrecht stehender "Schneebesen". Dazwischen ist die Oberfläche genoppt wie bei Azolla.

Lässt man Salvinia unter Wasser getaucht glänzt ihre Oberfläche silbrig. Beim Auftauchen scheint sie vollkommen trocken zu sein.

Salvinia unter dem Binokular:

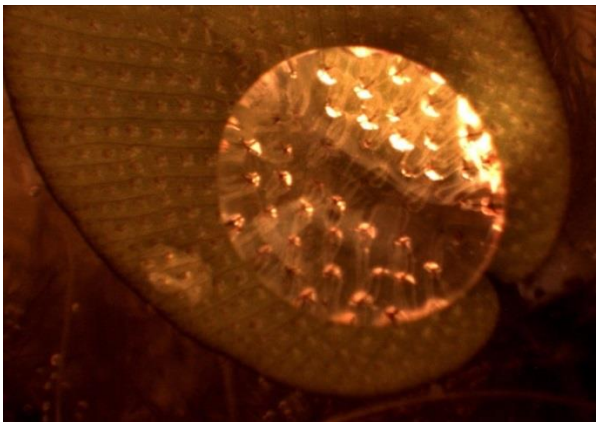


Die Blattoberseite ist mit feinen "Schneebesen"-artigen Strukturen besetzt

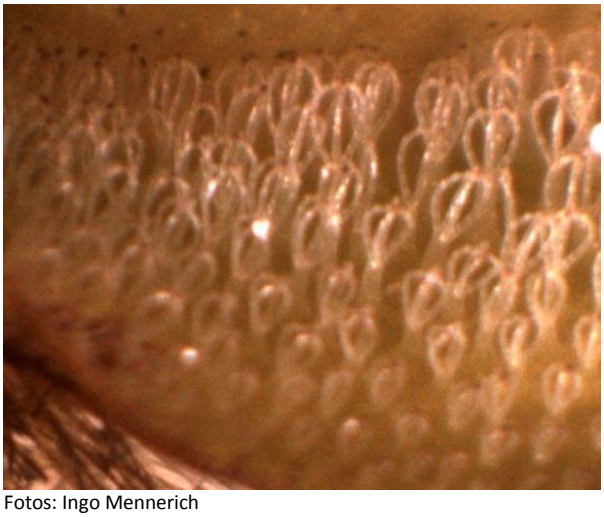


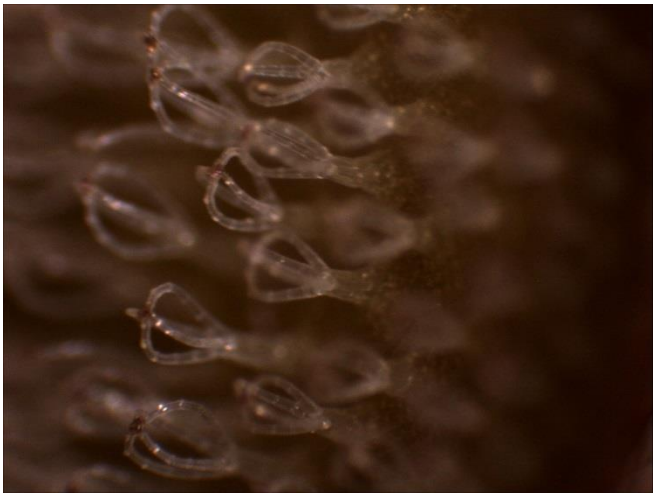
Salvinia bei starker Vergrößerung: "Schneebesen" auf der Blattoberfläche

Fotos: Ingo Mennerich



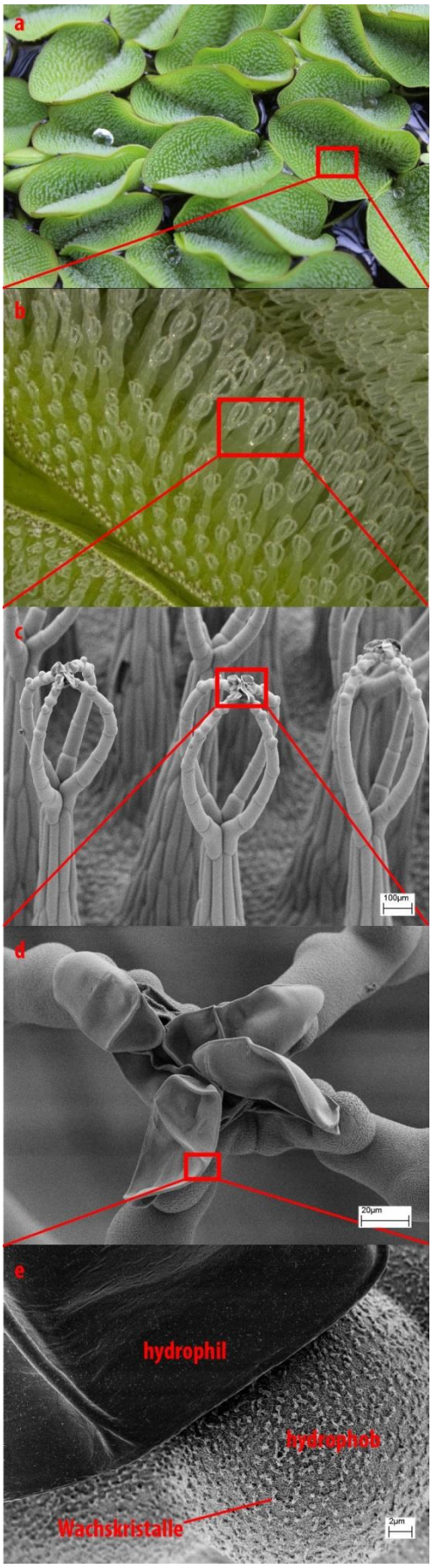
Der Blick durch einen fast kugelförmigen und stark vergrößernden Wassertropfen auf die durch die "Lupe" stark verzerrten "Schneebesen".





Fotos: Ingo Mennerich

Die "Schneebesen" sind besonders gut in seitlicher Perspektive zu erkennen. Das gelingt unter dem Binokular wenn man die Blätter ein einer Petrischale schräg stellt und mit seitlich einfallendem Licht beleuchtet.



Wikipedia: Salvinia Zoom in,
Autor: Issempa

Bei Wikipedia ist unter dem Stichwort "Salvinia-Effekt" die hier links wiedergegebene hervorragende Bildreihe zu finden. Sie zeigt die unter Binokular weitestgehend nicht mehr erkennbaren Strukturen und Substrukturen.

Der rot markierte Kasten zeigt jeweils den nachfolgenden Bildausschnitt.

Anders als die homogen hydrophobe, das Wasser einfach nur abweisende Oberfläche beispielsweise der Kapuzinerkresse wird durch die "Schneebesen"-Struktur ein Luftpolster zwischen dem Wasser und der Blattoberfläche geschaffen.

Das gelingt dadurch, dass die Spitzen der "Schneebesen" hydrophil, sonst aber hydrophob sind.

Das heißt, Wassermoleküle wird geradezu "eingeladen" sich auf den Spitzen niederzulassen und sich dazwischen zu vernetzen. In die Zwischenräume vermögen sie hingegen nicht einzudringen.

Taucht man Salvinia beispielsweise durch Auflegen eines Objektträgers unter Wasser zeigt sich der silbrige Schimmer der Luftschicht:

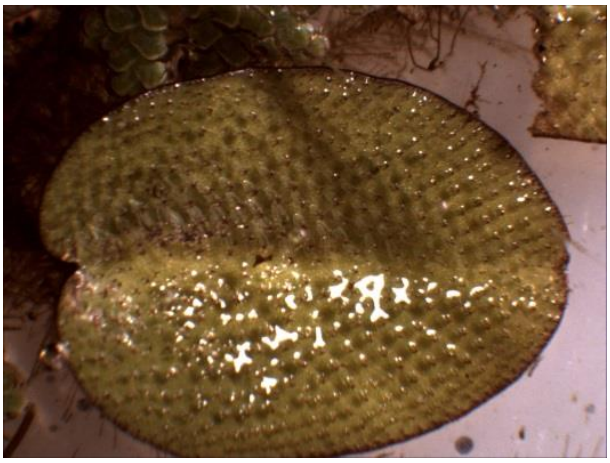


Foto: Ingo Mennerich

Silbriges Glänzen durch Totalreflexion des Lichtes an der Grenzschicht Wasser/Luft

(Foto: Wikipedia, Salvina-Effekt)

Philosophen-Ecke: Salvinia und ein wenig Nachdenken über diese Welt

- Salvinias "Trick" nicht nass zu werden scheint ziemlich "schlau" zu sein.
- Manche Leute sagen, sie hat sich gut an ihre Umwelt "angepasst".
- Was hat sie eigentlich davon wenn sie nicht nass wird?
- Aber hat sie sich die kleinen "Schneebesen" selbst ausgedacht?
- Gibt es weniger "schlaue" Salvinias die das nicht können und deshalb Nachteile haben?
- Reden die Pflanzen miteinander? Teilen sie sich ihre "Entdeckungen" gegenseitig mit?
- Wer stellt die kleinen "Schneebesen" her und woraus werden sie gemacht?

Rückenschwimmer: Schnell durch Luftpolster

Foto: Wikipedia

Der in heimischen Stillgewässern häufige Rückenschwimmer ist ein schneller Unterwasserjäger.
Zwischendurch hängt er an mit seinen Beinen und seiner behaarten Hinterleibsspitze unter der Wasseroberfläche um zu atmen. Die Atemöffnung befindet sich an der Hinterleibsspitze.
Hierbei spielt die Oberflächenspannung des Wassers eine ganz entscheidende Rolle.
Von unten betrachtet glänzt der Rückenschwimmer silbrig hell, was ihm Gegenlicht eine gute Tarnung verleiht.

Der silbrige Schimmer kommt dadurch zustande, dass der Rückenschwimmer in ein dünnes Luftpolster eingehüllt ist. Dieses reduziert die Reibung beim Schwimmen und ermöglicht ihm hohe Geschwindigkeiten.

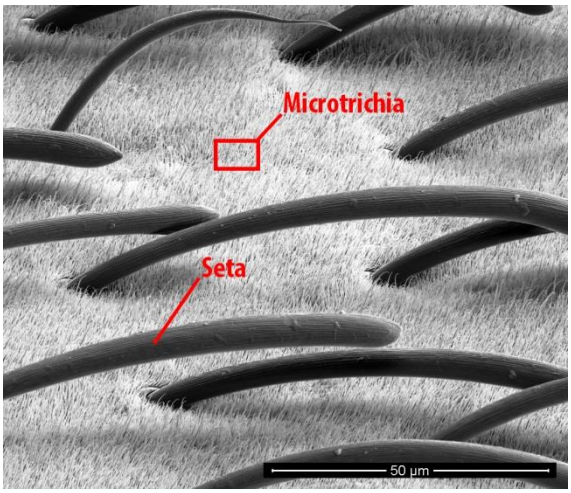


Foto: Wikipedia

Die Oberfläche der Flügeldecken ist mit Haaren (Setae) und einem Flaum von winzigen Mikrotrichae überzogen. Die wasserabweisenden Eigenschaften der Haare verhindern, wie bei Salvinia und Pistia, dass das umgebene Wasser bis zur Körperoberfläche gelangen kann. Damit eine Lufthaut entstehen kann, muss es zusätzlich wasseranziehende Elemente auf den Haarspitzen geben.

Dünne Luftschichten könnten auf Schiffsrümpfen die Algenbildung vermindern (Antifouling) und die Reibung herabsetzen. Das könnte umweltschädliche kupferhaltige Antifouling-Anstriche überflüssig machen und Treibstoff einsparen.

Ausblick: Technische Anwendungen als Themen in der Schule

Alle bisherigen Beobachtungen und Experimente lagen im Bereich des bis Sicht- und Begreifbaren.

Dass Imprägniersprays und Nanowachse ähnliche Abperl-Effekte haben kann man wie häufig auf Marktständen zu sehen mit einfachen Mitteln testen: Ein Teil eines Kleidungsstücks, eines Schuhs oder einer Metallfläche wird nach Anwendungsvorschrift behandelt, ein anderer Teil nicht.

Jetzt geht es nur noch darum, wie wirksam das Mittel ist, ob es hält was es verspricht und wie lange die Wirkung anhält.

Das dahinter stehende Funktionsprinzip ist in der Schule nicht zu ermitteln. Die Inhaltsstoffe und ihre Konzentrationen sind, wenn überhaupt, meistens auch nur soweit deklariert wie gesetzlich vorgeschrieben.

Eines können wir aber bereits durch "forschendes Lernen" in der Schule erkennen:

- Stets sind winzige Strukturen oder Teilchen im Spiel ("Nano")
- Immer geht es um wasserabstoßende Stoffe ("hydrophobe Stoffe")
- Und immer spielen elektrische, die Tropfenbildung fördernde Oberflächen-Eigenschaften eine Rolle

Beispiele für den "Lotos"-Effekt in der Technik:

- Selbstreinigende oder leicht abwaschbare Farbanstriche auf Nano-Basis
- Lackschutz bei Fahrzeugen
- Selbstreinigende Dachziegel: Verhinderung von Korrosion, Schmutz und Algenbildung
- Nano-Versiegelung von Brillengläsern, Fenster- und Autoscheiben
- Fensterschutzfolien mit Lotos-Effekt
- Imprägnierung von Textilien und Schuhen

Lackschutz bei Fahrzeugen

Selbstreinigende Dachziegel: Verhinderung von Korrosion, Schmutz und Algenbildung

Selbstreinigende oder leicht abwaschbare Farbanstriche auf Nano-Basis

Autobild.de

Fensterschutzfolien mit Lotos-Effekt

Imprägnierung von Textilien und Schuhen

Imprägniermittel im Schüler-Test:

Gefahrenhinweis:

Viele Imprägniersprays enthalten Fluorcarbonharze die sich als winzige Tröpfchen auf die behandelte Oberfläche setzen. Fluorcarbonharze weisen sowohl Wasser als auch Öl ab und eignen sich daher optimal zur Nachbehandlung von Outdoor-Bekleidung. Der Sprühnebel kann bei falscher Handhabung tief in die Lunge eindringen, das gilt vor allem für Treibgas basierte Mittel.
Es gibt zwar auch Fluorcarbonharz-freie Mittel, die dann allein nur Wasser abweisen, dennoch gilt grundsätzlich:
Besprühen nur im Freien und nicht durch die Kinder. Danach im Freien das Lösungsmittel gut abdampfen lassen.

Wir haben Objektträger und Petrischalen im Freien mit verschiedenen Imprägniermitteln besprüht, die Flächen markiert und nach dem Verdampfen der Lösungsmittel unter dem Mikroskop betrachtet. Stets ist eine feine Noppenstruktur auf dem Glas zu erkennen.

Auf eine senkrecht gehaltene Glasscheibe gebrachte Testfelder lassen Wassertropfen mehr oder weniger gut abrollen was auf den unbehandelten natürlich nicht gelingt.

Überzeugend ist auch der "Mitnahmeeffekt" von Schmutzteilchen. So nahmen die "Kullertropfen" Mehlstaub rückstandsfrei mit wogegen das Mehl außerhalb der Testfelder einen Schmutzfilm bildete.

Spannend ist es zu untersuchen, in wie weit man, beispielsweise durch Auftupfen von Wachs oder Absetzen von fettigen Fingerabdrücken ähnliche Effekte erzielen kann.

Der "Test-Regenschirm"

Ein aufgespannter 3-Euro-Regenschirm aus einer großen Drogeriekette wird Testfeld für verschiedene selbst ausgedachte und gekaufte Imprägniermittel die auf markierte "Testfelder" gebracht werden. Das Ziel soll sein, dass Wasser abperlt und der Schirm nach dem Regen sofort wieder trocken ist.

Oft werden Produkte und Dienstleistungen mit dem Begriff "Lotus-Effekt®" beworben. Abgesehen davon, dass es aus dem vorgenannten Grund "Lotos" und nicht "Lotus" heißen muss gilt es genau hinzuschauen:

Nur dort wo winzige und dauerhafte Oberflächenstrukturen für eine Verringerung der Haftung (Ädhäsion) von Schmutzteilchen und Wasser sorgen kann man von "Lotos-Effekt" sprechen.

Eine Hartwachsbehandlung in der Autowaschanlage führt zwar zu einem mehr oder weniger guten Abperleffekt, von einer superhydrophoben Fläche mit wirklichen Kullertropfen kann man deshalb noch lange nicht sprechen. Eine wirklich gute, dem Nahmen "Lotos" Ehre machende "Nano-Versiegelung" ist erheblich aufwändiger und entsprechend auch viel teurer als eine Autowäsche.

Kursbeispiel "Kullertropfen-Effekt" (Bionik/Lotos-Effekt)

- Gemeinsame "Kullertropfen"-Spielrunde mit Taro-, Frauenmantel und Kapuzinerkresseblättern
- "Forschungs-Expedition" in die Umgebung: Bei welchen Pflanzen funktioniert das auch noch? (Sammelschale, Wasser und Pipette mitnehmen)

Pflanzen "Kullertropfen-Effekt"

- Untersuchung mit Lupen, Binokular und Mikroskop
- Einführung "Wassertropfenlupe"
- Größenvergleich mit Millimeterraster

Je 3 x	
Kohlrabi und Frauenmantel	Binokular, Wasser, Pipetten
Kapuzinerkresse und Wassersalat (Pistia)	Binokular, Wasser, Pipetten
Azolla und Salvinia	Binokular, Wasser, Pipetten
ggf. beim Rundgang gefundene Pflanzen	Binokular, Wasser, Pipetten

Zusammentragen von Beobachtungsergebnissen

Brainstorming (Hypothesenbildung)

- Wozu dient der "Kullertropfen-Effekt"?
- Wie könnte er funktionieren?

Entdeckung winziger Strukturen:

Vogelfedern und "Kullertropfen"	Binokular (Struktur der Feder), Millimeterraster (Folie) zur Größenmessung

Selbstreinigung durch "Kullertropfen"

5 Stationen in Rotation (Frauenmantel - Pistia - Kapuzinerkresse - Azolla - Kohlrabi)

Selbstreinigung (verschiedene Pflanze)	Verschiedene Blätter, verschiedene staubförmige Stoffe, Binokular

Tropfenwerkstätten

Wassertropfen-Werkstatt	Erzeuge einen runden Tropfen auf einer Glasscheibe (Objektträger, Glasscheiben) Varianten • Trockene Glasscheibe mit Fingerabdrücken • Mit Spülmittel entfettete trockene Glasscheibe • Feuchte Glasscheibe • Eingefettete Glasscheibe • Staubige Glasscheibe

Welche Kräfte wirken auf Wassertropfen ein?	• Fallende tropfen • Liegende Wassertropfen • Hängende Wassertropfen • Herabrollende Tropfen
Forscherlupen aus Wassertropfen	Herstellen von "Forscherlupen" • Starke und schwache Lupen • Wovon hängt die Vergrößerung ab? Pflanzen mit Kullertropfen unter der "Wassertropfen-Lupe"
Tropfen aus Wasser und anderen Flüssigkeiten	Herstellen von Tropfen aus • Wasser • Speiseöl • Klebstoff (UHU auf Wasserbasis) • Tapetenkleister • Alkohol (Brennspiritus)

Hintergrund:

- Warum ist ein Tropfen rund?
- Welche Kräfte halten ihn zusammen?
- Welche Kräfte wirken auf ihn ein?
- "Tropfen-Spiele"

Experimente zum "Kullertropfen-Effekt"

5 Stationen in Rotation

"Wasserfreunde" und "Wasserfeinde"	Küchenkrepp, Wasser und Fett
CD-Hülle, Wassertropfen, Selbstreinigung	Binokular, Fett, Aufladen und entladen
Selbstreinigung (Technik)	Glasscheibe, Metallfläche Verschiedene Imprägniermittel und Stoffe zum Auftragen, Selbstreinigung
Nano-Oberflächen selbst herstellen	Kerzenflamme, Objektträger, Holzklammer, Sprühflasche
Regenschirm-Test	Regenschirm, Imprägniermittel und Stoffe zum Auftragen, "Kullertropfen-Test"

"Philosophen-Ecke":	Wer hat sich solche komplizierten Dinge bloß ausgedacht?

"Zukunfts-Werkstatt"	Wozu und wie könnte man den "Kullertropfen-Effekt" im Alltag nutzen?

Abschlussrunde