

„Untersuchung hydrophober Oberflächen nach dem Vorbild des Schwimmfarns *Salvinia molesta*“

Enrichment-Kursteilnehmer:

Frei, Lukas
Gercke, Jarik
Neder, Marietta
Zitoun, Hiam
Helfrich, Lilly-Marie
Heyne, Tino
Hahnlein, Mia
Lieb, Jule
Back, Nils
Bauer, Nathalie
Metz, Franziska
Pusch, Hannah
Tulper, Miriam
Meyer, Julia
Keul, Anabel
Schubert, Rebecca
Spies, Lea
Degel, Lucy

Betreuende Lehrkraft : Dr. Frank Orlik, Jack-Steinberger-Gymnasium, Steinstraße 18, 97688 Bad Kissingen; E-Mail: dr.orlik@online.de

*Zusammenarbeit und Unterstützung durch das Unternehmen Kissel und Wolf GmbH
Ziegelwiesen 6 · 69168 Wiesloch · Germany, Anwendungstechnik von Beflockungsklebstoffen*

Inhaltsverzeichnis

<i>Wer wir sind:</i>	3
<i>Projektidee:</i>	3
<i>1. Der Wasserfarn Salvinia molesta</i>	6
<i>2. Untersuchung der superhydrophober Oberfläche von Salvinia Blättern</i>	6
<i>3. Bau eines Modells eines Salvinia Blattes</i>	7
<i>4. Experimente mit Kunststofffasern</i>	8
<i>5. Experimente mit Haushaltsschwämmen</i>	11
<i>6. Experimente mit Bärlappsporen</i>	15
<i>Fazit und Zusammenfassung</i>	15
<i>Quellenverzeichnis</i>	16
<i>Anlagen</i>	17

Wer wir sind:

Unser Enrichment-Kurs „Von der Natur lernen...“ besteht aus 18 Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufen sechs und sieben und unserem Kursleiter Dr. Frank Orlik vom Jack-Steinberger-Gymnasium in Bad Kissingen. Das Enrichment-Programm ist gedacht für besonders begabte und interessierte Schüler, die aus einem vielfältigen Angebot an Kursen auswählen dürfen. Wir kommen aus unterschiedlichen Gymnasien des Landkreises und haben uns sieben Mal im Schuljahr an jeweils zwei Tagen am Jack-Steinberger-Gymnasium getroffen, um gemeinsam zu experimentieren und auch an unserem Projekt zu bearbeiten.



Projektidee:

In unserem Enrichment-Kurs haben wir uns die Blattoberflächen des Wasserfarns *Salvinia molestes* genauer angeschaut und untersucht. Unser Lehrer erzählte uns, dass man versucht, Oberflächen mit lufthaltenden Schichten nach dem Salvinia-Prinzip herzustellen, um zum Beispiel Schiffsrümpfe damit zu beschichten. In der Schifffahrt geht ein großer Teil der Antriebsenergie durch die Reibung des Wassers am Schiffsrumpf verloren. Diese Reibung könnte man um bis zu 10 % reduzieren, indem man Rumpf und Wasser durch eine Luftschicht voneinander trennt. Die Ersparnis für die Reedereien wäre sehr groß und bei einer großflächigen Nutzung könnte man 1% des weltweiten Rohölverbrauchs einsparen (1).

1. Der Wasserfarn *Salvinia molesta*

Die Wasserfarn *Salvinia molesta* gehört zu den Schwimmpflanzengewächsen und kommt in den Tropen Mittel- und Südamerikas in stehenden oder langsam fließenden Gewässern vor. Die Blätter des Schwimmpfarns können unter Wasser eine stabile Luftschicht halten [1]. Für diesen „Salvinia-Effekt“ sind die superhydrophoben (wasserabstoßenden) Pflanzenhaare verantwortlich, welche hydrophile (wasserliebende) Spitzen (siehe Abb. 1 und 4) aufweisen. Zwischen den Spitzen spannt sich beim untergetauchten Blatt die Luft-Wasser-Grenzfläche auf. Die darunter befindliche Luft wird stabil eingeschlossen.

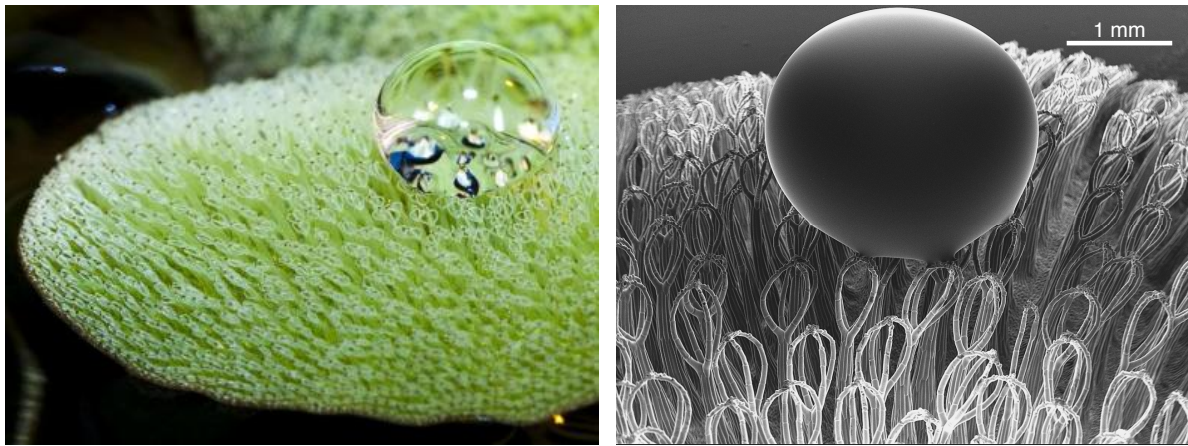


Abb. 1: Ein Wassertropfen auf den schneebesenartigen Haaren von *Salvinia molesta* (links) und unter dem Elektronenmikroskop (rechts). Die Wassergrenzschicht wird durch die hydrophilen Spitzen der Haare festgehalten. [Quelle: Barthlot, Schimmel et al. (2010) *Adv. Mat.*]

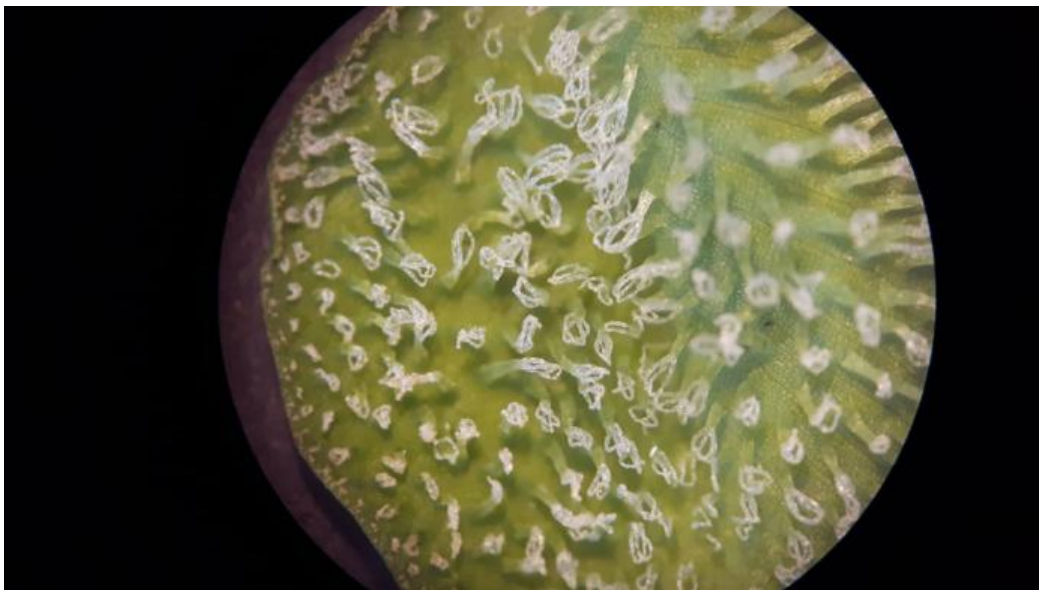


Foto 1: Blattoberfläche *Salvinia molesta* unter dem Lichtmikroskop (40x), eigene Aufnahme

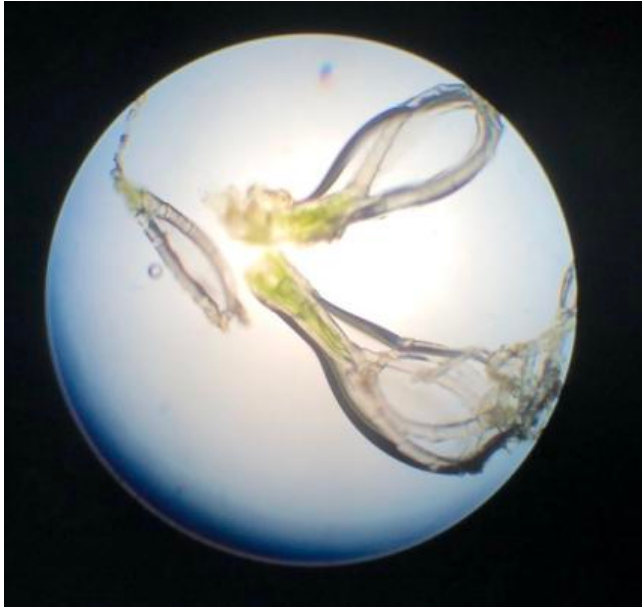


Foto 2: „Quirl“ der Salvinia Härchen unter dem Mikroskop (200x), eigene Aufnahme

Von superhydrophob (wasserabstoßend) spricht man, wenn Flüssigkeitstropfen einen Kontaktwinkel größer als 150° bilden. Den Kontaktwinkel hat unser Lehrer mit dem Programm *PixelStick* gemessen.

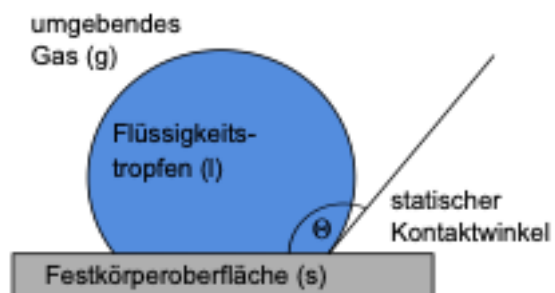


Abb.1 Bestimmung des Kontaktwinkels (entnommen aus 2)

superhydrophile Oberflächen:	$0^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$	
hydrophile Oberflächen:	$20^\circ < \theta < 90^\circ$	
indifferente Oberflächen:	$90^\circ < \theta = 90^\circ$	
hydrophobe Oberflächen:	$90^\circ < \theta \leq 150^\circ$	
superhydrophobe Oberflächen:	$150^\circ < \theta \leq 180^\circ$	

Abb.2: Hydrophobe und hydrophile Oberflächen und ihre Kontaktwinkel (entnommen aus 2)

2. Untersuchung der superhydrophober Oberfläche von Salvinia Blättern

Um die superhydrophoben Eigenschaften der Salvinia Blätter zu untersuchen, haben wir Wasser mit blauer Lebensmittelfarbe angefärbt und Speiseöl mit Paprikapulver. Beide Flüssigkeiten haben wir auf die Blätter getropft.

Material: destilliertes Wasser, blaue Lebensmittelfarbe, Paprikapulver, Pipetten

Durchführung: Man gibt mit einer Pipette einen Tropfen des angefärbten Wassers oder Speiseöls auf ein Salvinia-Blatt.

Beobachtung:

Man kann beobachten, dass der Wassertropfen kugelförmig bleibt und vom Blatt abperlt, während der Öltropfen zerläuft und das Blatt bedeckt.



Foto 3: Öltropfen (links) und Wassertropfen (rechts) auf einem Salvinia-Blatt (Quelle: selbst erstellt)

Erklärung:

Die Blätter von Salvinia sind nicht nur superhydrophob (wasserabstoßend) sondern auch oleophil (öllibend). Der Öltropfen wird von den hydrophoben Stilen angezogen (siehe Abb.3) und so vom Wasser getrennt. Man könnte diese Strukturen also auch nutzen um eine Ölschicht von Wasseroberflächen zu entfernen.

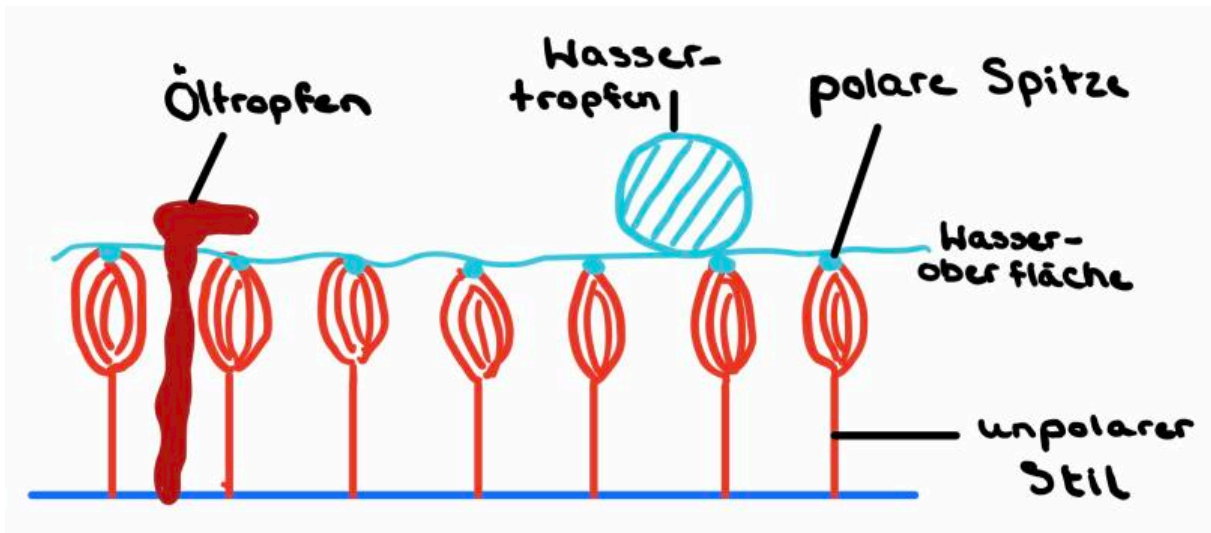


Abb.3: Öltropfen und Wassertropfen auf einem Salvinia-Blatt (Quelle: selbst erstellt)

3. Bau eines Modells eines Salvinia Blattes

Die Härchen von Salvinia nennt man Trichome. Sie sind bis zu 2 mm lang und haben einen Abstand von 200 μm . An ihrer Spitze besitzen Sie eine hydrophile Spitze.

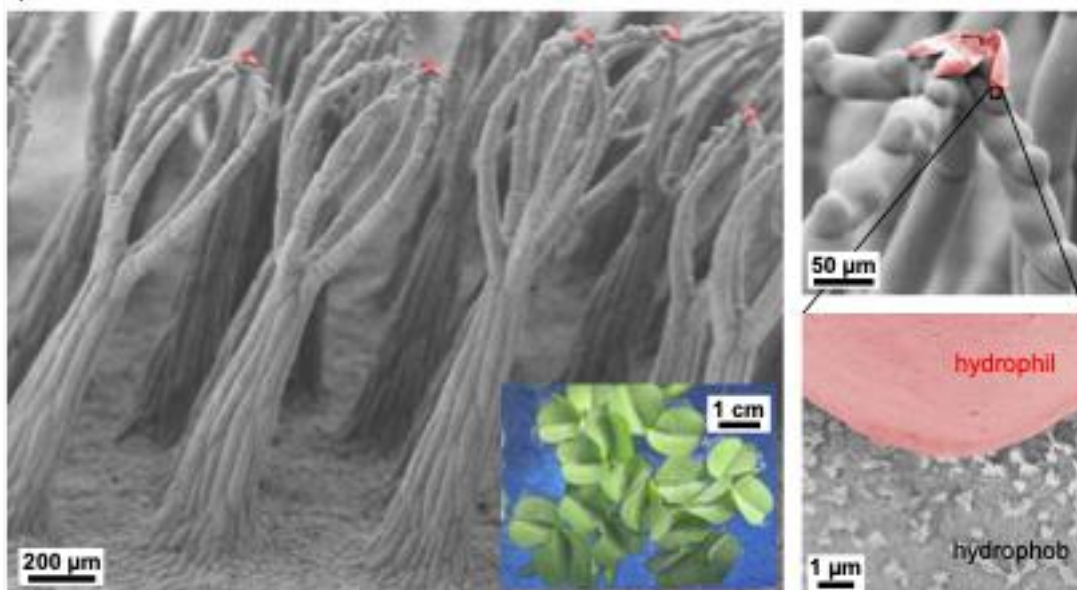


Abb.4 Trichome eines Salvinia-Blattes aufgenommen mit einem Rasterelektronenmikroskop (Quelle: 2)

Aus Draht, Styropor, roter Knete und Frischhaltefolie haben wir ein Modell des Salvinia Blattes gebaut. Die Folie soll die Wasseroberfläche darstellen.



Foto 4: Modell eines Salvinia-Blattes (Quelle: selbst erstellt)

4. Experimente mit Kunststofffasern

Um eine wasserabweisende und lufthaltende Schicht zu entwickeln, haben wir von der Firma Kissel und Wolf (69168 Wiesloch) mit Polyamidfäden beflochtene Kunststoffplatten (Prüfplatten) bekommen (Foto 5). Die Fasern aus Polyamid wurden mit einem wasserfesten Klebstoff befestigt. Polyamid ist ein relativ polarer Kunststoff mit guter Witterungsbeständigkeit und gegen Kraftstoffe und Alkohole beständig (3). Die Fasern hatten eine Länge von 2 (grau) und 4,5 mm (grün und blau) und zwei unterschiedliche Dicken 22 dtex (grau und blau) und 44 dtex (grün) siehe Anlage A1. Im international gebräuchlichen Tex-System gibt die Nummer das Gewicht in Gramm je 10 000 m Lauflänge (dtex, Abkürzung für decitex) an. Je höher die tex-Zahl, desto gröber und dicker ist das Garn.

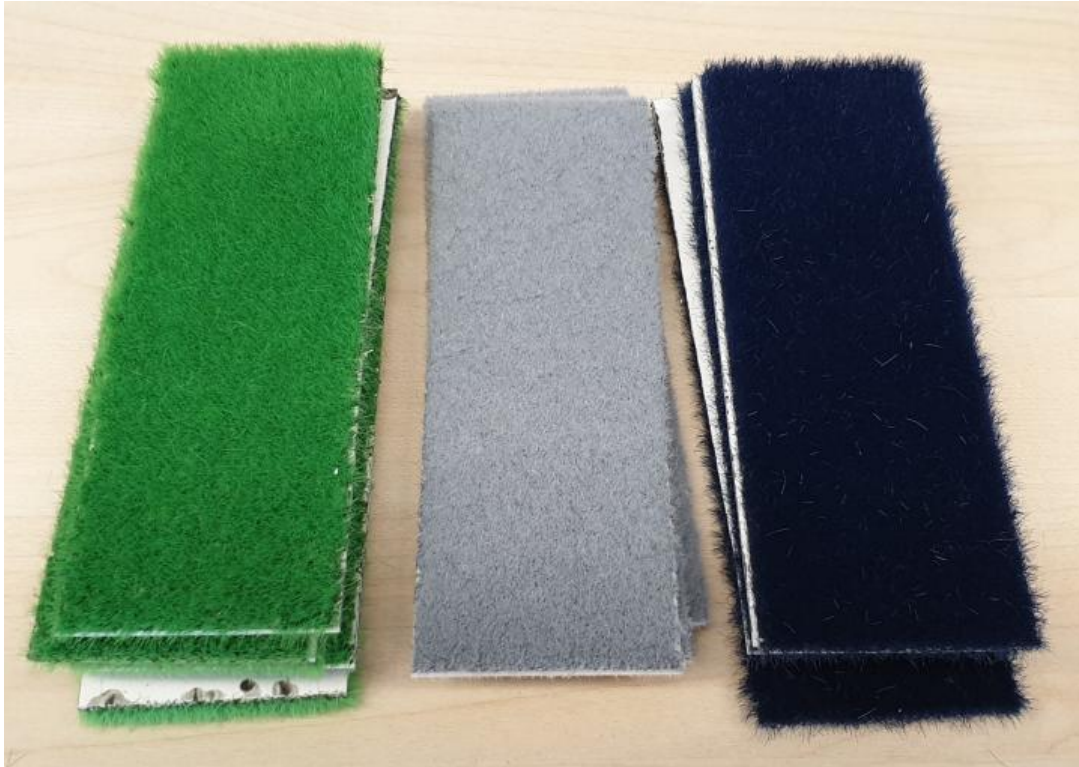


Foto 5: Kunststoffplatten mit Polyamidfasern beflockt (Quelle: selbst erstellt)

Unsere Idee war, den unteren Teil der Fasern mit einer Siliconemulsion hydrophob zu beschichten und die oberen Spitzen der Fasern frei und damit hydrophil zu belassen. So wollten wir den Aufbau der Trichome auf der Blattoberfläche von *Salvinia* nachbauen.

Silicone sind Kunststoffe aus langen Ketten mit einer polaren und einer unpolaren Seite. Mit der polaren Seite können sie sich am Polyamid anlagern und mit ihrer unpolaren Seite so wasserabweisend wirken.

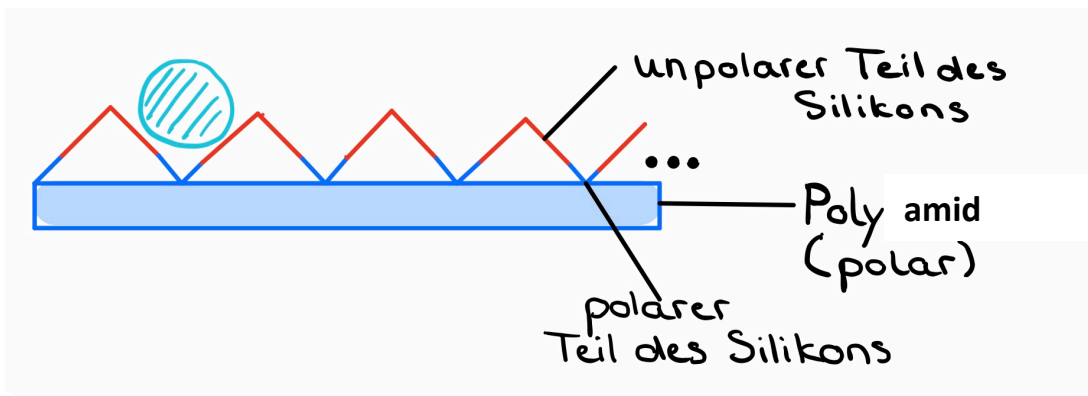
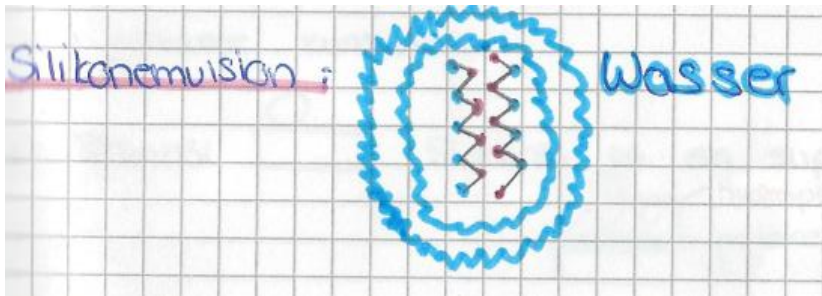


Abb.5: Mit Silicon beschichtetes Polyamid (Quelle: selbst erstellt)

Experiment: Hydrophobierung der Kunststofffasern

Material: destilliertes Wasser, WACKER-Siliconemulsion SILRES® BS 4004, blaue Lebensmittelfarbe, Pipetten, Petrischale

Durchführung: Zunächst stellt man eine verdünnte Siliconemulsion her (siehe Abb. 6).



Anschließend legt man die beflochten Prüfplatten in eine große Petrischale und füllt ein wenig Siliconemulsion in die Petrischale bis die unteren Polyamid-Fasern eintauchen, die Spitzen sollten aber frei bleiben.

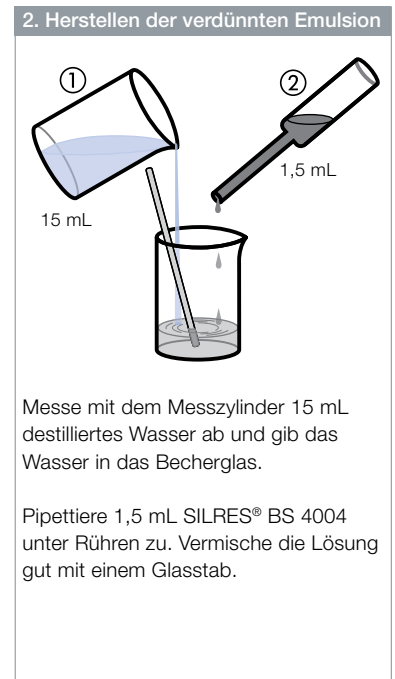
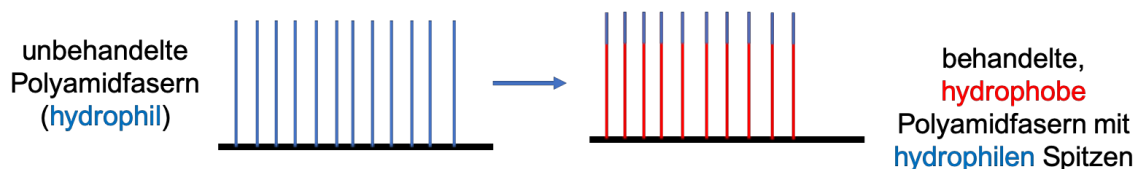


Abb. 6 Herstellung einer Siliconemulsion (Quelle: Wacker Chem₂Do)

Anschließend stellt man die Prüfplatten ein einen Wärmeschrank und lässt sie bei 50 °C für 30 Minuten trocknen.



Nach dem Trocknen gibt man einen angefärbten Wassertropfen auf die Prüfplatten oder taucht die Platten unter Wasser.

Beobachtung:

Man kann beobachten, dass der Wassertropfen sofort zerfließt und komplett aufgesogen wird. Eine lufthaltende Schicht konnten wir nicht herstellen.

Erklärung:

Wir konnten auf diese Weise leider keine wasserabweisende oder lufthaltende Schicht erzeugen. Gründe dafür könnten sein, dass das Silicon nicht auf den Fasern gebunden hat oder die Fasern nicht wie bei den Trichomen alle gleichmäßig nach oben zeigten. Auch der Abstand der Fasern entspricht nicht exakt dem natürlichen Vorbild. Das Polyamid ist so polar, dass das Wasser sofort aufgenommen wurde.

5. Experimente mit Haushaltsschwämmen

Da wir mit den Kunststofffasern keinen Erfolg hatten, suchten wir nach anderen Oberflächen, mit denen sich Luft unter Wasser halten lassen könnte. Haushaltsschwämme aus dem polaren Kunststoff Polyurethan sollten eigentlich Wasser gut aufsaugen. Sie sind jedoch nach der Herstellung noch mit einem hydrophoben Trennmittel beschichtet, das sich erst nach mehrmaligen Gebrauch abwäscht. Unterstützt durch die natürliche Oberflächenspannung des Wassers dringt ein Wassertropfen in die feinen Hohlräume eines neuen Haushaltsschwamms daher nicht oder nur sehr langsam ein. Ein Öltropfen hingegen wird von dem Schwamm nach kurzer Zeit aufgesaugt. Zusätzlich haben wir die Schwämme mit einer Siliconemulsion, einem Nässeblocker und Nano-Imprägnierspray behandelt.

Experiment: Haushaltsschwämme

Material: destilliertes Wasser, blaue Lebensmittelfarbe, Paprikapulver, Pipetten, Speiseöl, Dirt-Blocker, Nano-Nässe-Blocker, WACKER-Siliconemulsion SILRES® BS 4004

Durchführung: Wir haben Stücke von Haushaltsschwämmen mit verschiedenen Nässe- und Schmutzblockern behandelt und untersucht, wie gut, sie Wasser, Öl abweisen bzw. Luft unter Wasser halten können. Dafür gibt man mit einer Pipette jeweils einen Tropfen des angefärbten Wassers oder Speiseöls auf einen Haushaltsschwamm.

Beobachtung:

Man kann beobachten, dass der Wassertropfen fast kugelförmig bleibt und nicht in den Schwamm eindringt. Am Glitzern kann man erkennen, dass in den Hohlräumen Luft eingeschlossen ist. Der Öltropfen dagegen zerläuft und sickert langsam in den Schwamm ein.

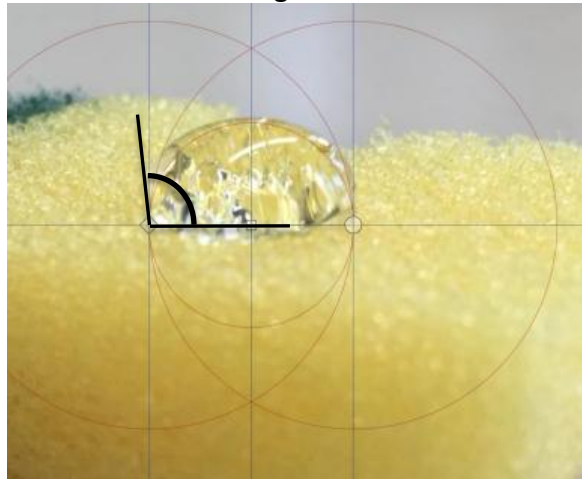


Foto 6: Unbenutzter Polyurethanschwamm mit Wassertropfen. Kontaktwinkel beträgt ca. 93° (Quelle: selbst erstellt)

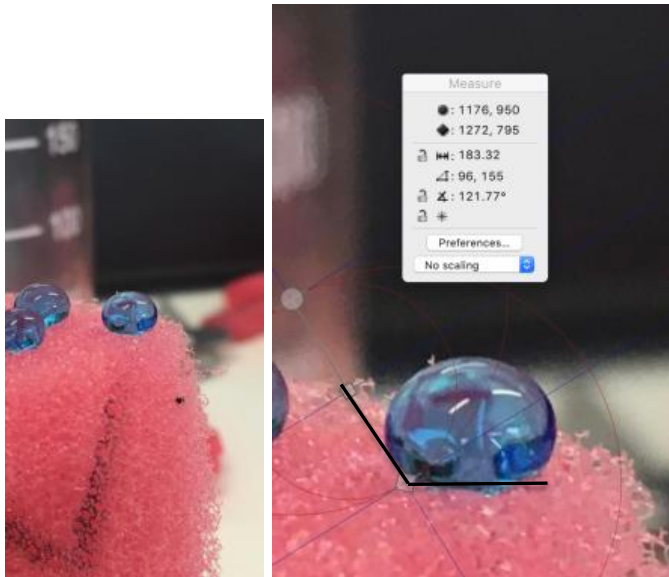


Foto 7: mit Siliconemulsion behandelter Polyurethanschwamm mit Wassertropfen. Kontaktwinkel beträgt ca. 122 ° (Quelle: selbst erstellt)

Neben der Siliconemulsion testeten wir weitere Nano-Produkte aus dem Alltag um eine wasserabweisende Schicht zu erzeugen: einen Nässeblocker, ein Imprägnierspray und einen Regenabweiser. Beim Nässeblocker und dem Regenabweiser verschwand der gefärbte Öltropfen sehr schnell im Schwamm, während der Wassertropfen sich auf der Oberfläche abkugelte. Beim Nässeblocker war der Kontaktwinkel des Wassertropfens am größten. Das Imprägnierspray *Dirt-Blocker* verhinderte, dass der Öl- und Wassertropfen in den Schwamm einsickerte.



Foto 8: Öl- und Wassertropfen auf einem Haushaltsschwamm mit Imprägnierspray, Nässeblocker und Regenabweiser (Rainx) behandelt (Quelle: selbst erstellt)

6. Experimente mit Bärlappsporen

Bärlappsporen sind die Sporen mehrerer Bärlapp-Arten, besonders aus *Lycopodium clavatum*. Sie haben eine Größe von 30 μm und bestehen zu 50 % aus Ölen und Proteinen. Bärlappsporen haben ein sehr spezielles Aussehen: Sie sind kugelförmig mit einer wabenartigen Oberfläche, die man nur unter dem Mikroskop erkennen kann.

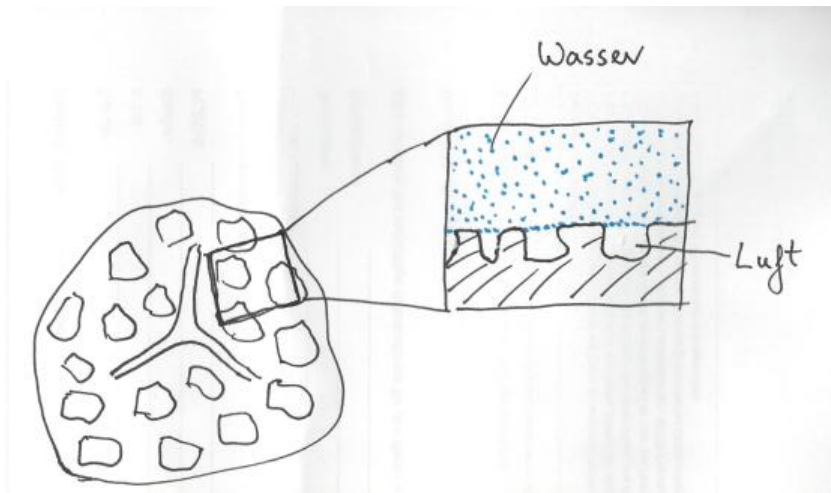


Abb. 7 Bärlappspore unter dem Lichtmikroskop (Quelle: selbst erstellt)

Diese spezielle Oberfläche führt dazu, dass beim Untertauchen auch Luft eingeschlossen wird. Diese Luftschicht bewirkt dann den silbrigen Glanz, weil an der Grenzfläche zwischen der eingeschlossenen Luft und dem Wasser Licht reflektiert wird. Streut man Bärlappsporen auf eine Wasseroberfläche und taucht mit seinem Finger ein, so bleibt der Finger trocken und eine glänzende Luftschicht ist sehr gut zu erkennen (siehe Foto 9).

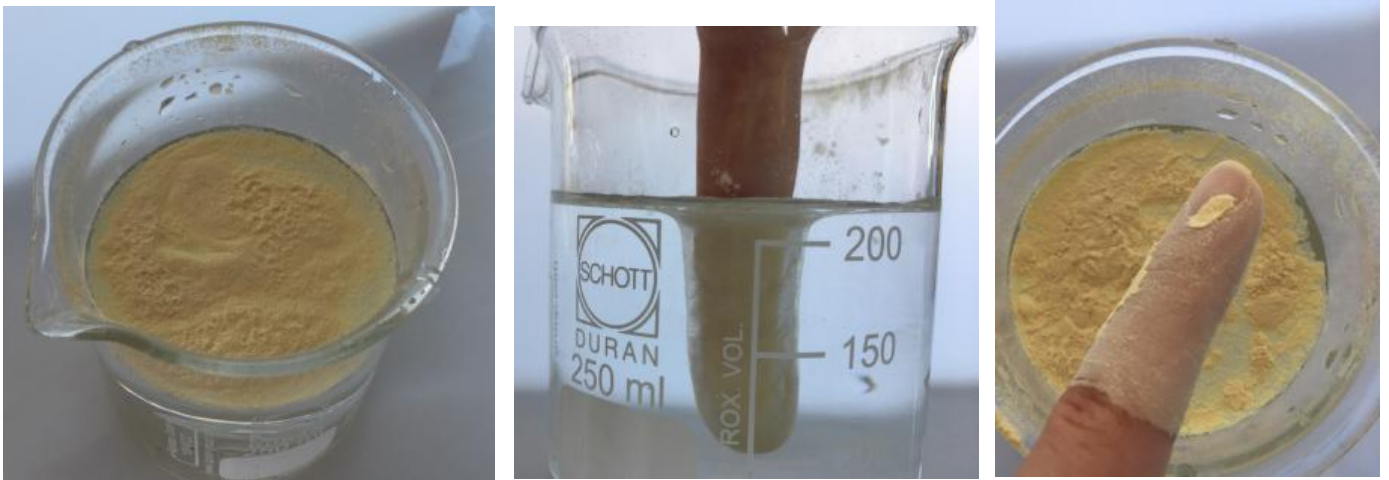


Foto 9: Bärlappsporen haben superhydrophobe Eigenschaften (Quelle: selbst erstellt)

Drückt man ein Stück Tesafilm auf eine Schicht Bärlappsporen, so haftern diese daran und man erhält eine fast superhydrophobe Oberfläche.

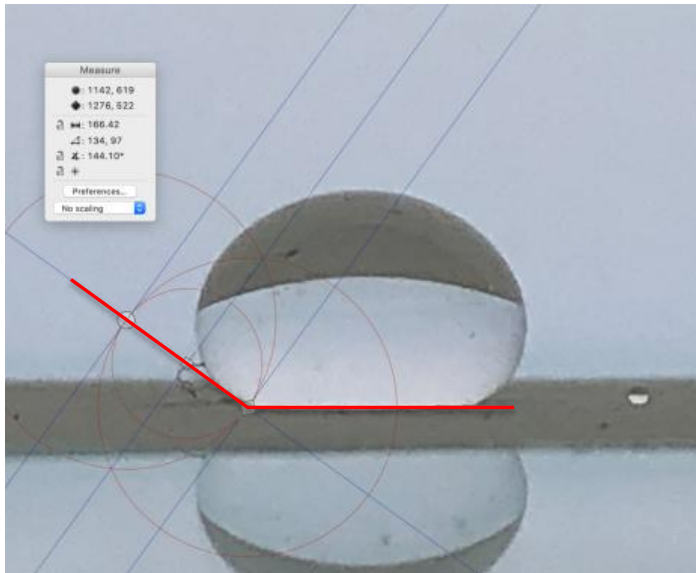


Foto 10: Ein Wassertropfen auf einem Stück Klebeband mit Bärlappsporen zeigt einen Kontaktwinkel von 144°. (Quelle: selbst erstellt)

Nach etwa 4 Tagen im Wasser verlieren Bärlappsporen allerdings ihre hydrophoben Eigenschaften, verkleben und sinken zu Boden.

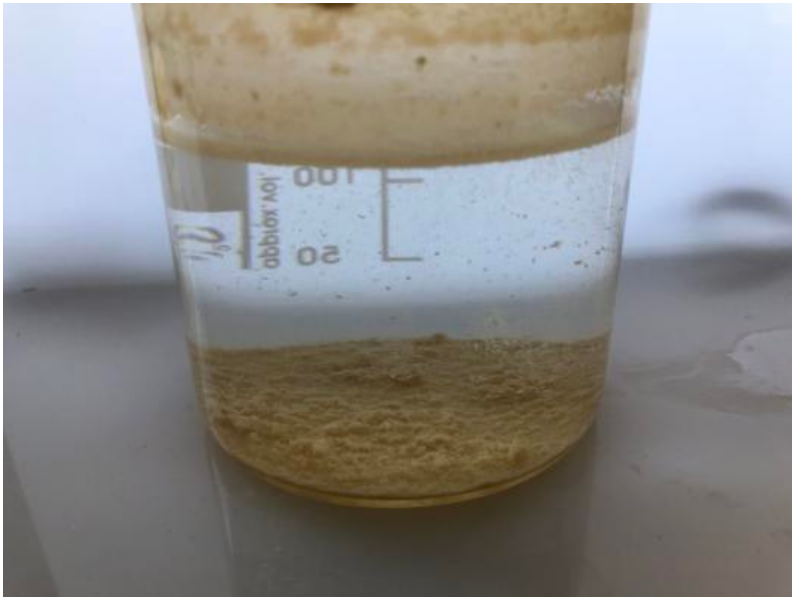


Foto 11: Nach 4 Tagen sinken die Bärlappsporen zu Boden (Quelle: selbst erstellt)

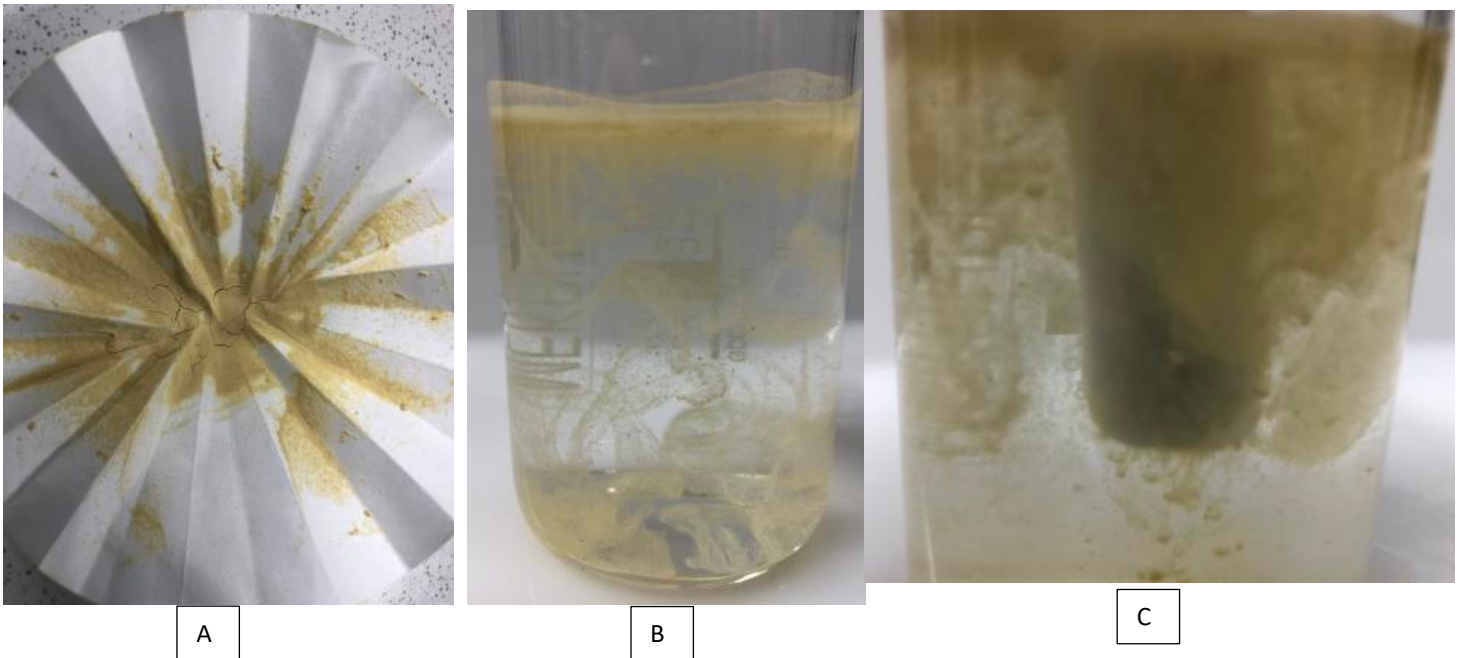


Foto 12: Getrocknete Bärlappsporen besitzen sie keine lufthaltenden und hydrophoben Eigenschaften mehr (Quelle: selbst erstellt)

Filtert man die nun nassen Bärlappsporen ab und trocknet sie im Wärmeschrank für einen Tag bei 50 °C (Foto 11 A), so besitzen sie danach keine lufthaltenden und hydrophoben Eigenschaften mehr (siehe Foto 11 B). Sie sinken zu Boden und vermischen sich mit dem Wasser. An eingetauchten Gegenständen haftet keine Luftschicht mehr (11 C).

Fazit und Zusammenfassung

- Es ist uns leider nicht gelungen, eine lufthaltende Schicht nach dem Vorbild des Wasserfarns *Salvinia* herzustellen.
- Wir konnten zeigen, dass hydrophobisierte schwammartige Strukturen für einige Zeit Luft unter Wasser halten können.
- Mit Bärlappsporen bedeckte Gegenstände besitzen unter den untersuchten Oberflächen die stärksten hydrophoben Eigenschaften und die größte Fähigkeit Luft unter Wasser zu halten.
- Leider verlieren sie diese Eigenschaften nach 4 Tagen Wasserkontakt und werden feucht, wodurch sie als eine Beschichtung für z. B. Schiffe ungeeignet sind.
- Eine künstliche Beschichtung nach dem Vorbild der Bärlappsporen wäre aber sicherlich ein möglicher Weg auf der Suche nach einer technischen Lösung für dieses Problem,

Quellenverzeichnis

1. „http://www.bionische-innovationen.de/download/Projektblatt_luft.pdf
2. Der Salvinia-Effekt: Lufthaltung an biologischen und biomimetischen Oberflächen,
Dissertation, Dipl.-Phys. Daniel Gandyra
3. <https://www.kunststoffe.de/themen/basics/technische-kunststoffe/polyamide-pa/artikel/polyamide-pa-651963>

Anlagen

A1



Bearbeitungsbericht / Application Report: AT-KL – Flock	Datum/ Date:	03.04.2019
----------------------------------------------------------------	-----------------	------------

Aufgabe/Task:		Beflocken von ABS-Prüfplatten für ein Jugend forscht - Projekt	
Kunde/Customer:	Dr. Orlik	Bearbeiter/Processor:	JK/AT-KL.2
Bauteile/Parts:	ABS - Prüfplatten	Projektnummer/Project No.	19-018 AT-KL

Durchführung / Implementation :		
Material/Substrate:	ABS-Prüfplatten	σ [mN/m]
Vorbehandlung/ Pretreatment:	Entfällt	σ [mN/m]
Klebstoff/ Adhesive:	MECOFLOCK L 860 + 40% MECODUR L 5560	
Klebstoffauftrag/ Adhesive Application:	Spritzen, 1,5 mm Drehstrahldüse – Walther-Pilot Premium K Druckbecher 0,5 bar	
Flock/Flockfibre:	1.) PA 2,0mm/22 dtex – Grau 2.) PA 4,5 mm/44 dtex – Grün 3.) PA 4,5 mm/22 dtex – Marine	
Beflockung/Flocking:	Elektrostatisch mit 70 kV	
Trocknung/Drying	Ca. 30 min/70° C	
Ergebnis/Result:		
Gute Substrat- und Flockhaftung.		

Beurteilungsmuster für Kunden erstellt / Customer Samples have been done:	<input checked="" type="checkbox"/>	Bemusterung bereits veranlasst / Samples are already on the way:	<input type="checkbox"/>
Sonstige Anmerkungen/Further Remarks:			
Verteiler/CC:		Datum/Zeichen: Date/Sign.:	03.04.2019/JK