Landeshauptstadt Hannover

Hannover

Schulbiologiezentrum

19.90

"Nebelfängerpflanzen"

Von Naturvorbildern zu technischen Lösungen (Bionik)

Ein experimentelles "Inquire"-Projekt mit Pflanzen aus dem Schulbiologiezentrum Hannover

August 2016

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Schulbiologiezentrum Hannover

Titel: "Nebelfängerpflanzen"
Von Naturvorbildern zu technischen Lösungen (Bionik)
Ein experimentelles "Inquire"-Projekt mit Pflanzen aus dem Schulbiologiezentrum Hannover

Titelbild: Ingo Mennerich

Arbeitshilfe 19.90

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

Trockenheit trotz feuchter Luft? 1
Globale Verbreitung von Nebelgebieten. 2
Ein Fächerübergreifendes Projekt mit Bionik-Anteilen 3
Ein kleines und einfaches Experiment an einem Sommertag 3
Was ist Nebel? 4
Echeveria setosa 5
Warum sollte Echeveria einen "Pullover" tragen? 5
"Kullertropfen": Selbstreinigung wie beim Wassersalat? 6
Wo ist Echeveria setosa zu Hause? 7
"Inquire": Forschendes Lernen durch Beobachtung, Versuch und Irrtum 8
Biologie trifft Technik 8
Forschung ist "Versuch und Irrtum" 9
Wie ist der "Kullertropfen-Effekt" bei Echeveria zu erklären? 9
Neue Hypothesen 10
Wolken und Nebel: Kondensation von Wasserdampf 12
Echeveria in der "Nebelkammer" 13
CAM: Ein Stoffwechseltrick in trockener Hitze 14
Wasseraufnahme durch die Blätter? 13
Mögliche Schlussfolgerungen aus unseren Experimenten 16

Andere "Nebelfänger-"Pflanzen
Die wurzellose Tillandsia usneoides 16
Warum wird Tillandsia grün wenn sie nass wird? 18
Tillandsia in trockener und feuchter Luft 18
Tillandsia usneoides in der "Nebelkammer" 19
Warum trägt Pinus ponderosa Nadelstreifen? 19
Kann das Polster-Kissenmoos Wasserdampf einfangen? 20
Nebelkammer mit Nebeldüsen aus der Bewässerungstechnik 22
"Nebelfänger" nach Naturvorbildern 23
"Nebelkondensation" bei Wikipedia 23
Pflanzen aus dem Schulbiologiezentrum Hannover 24

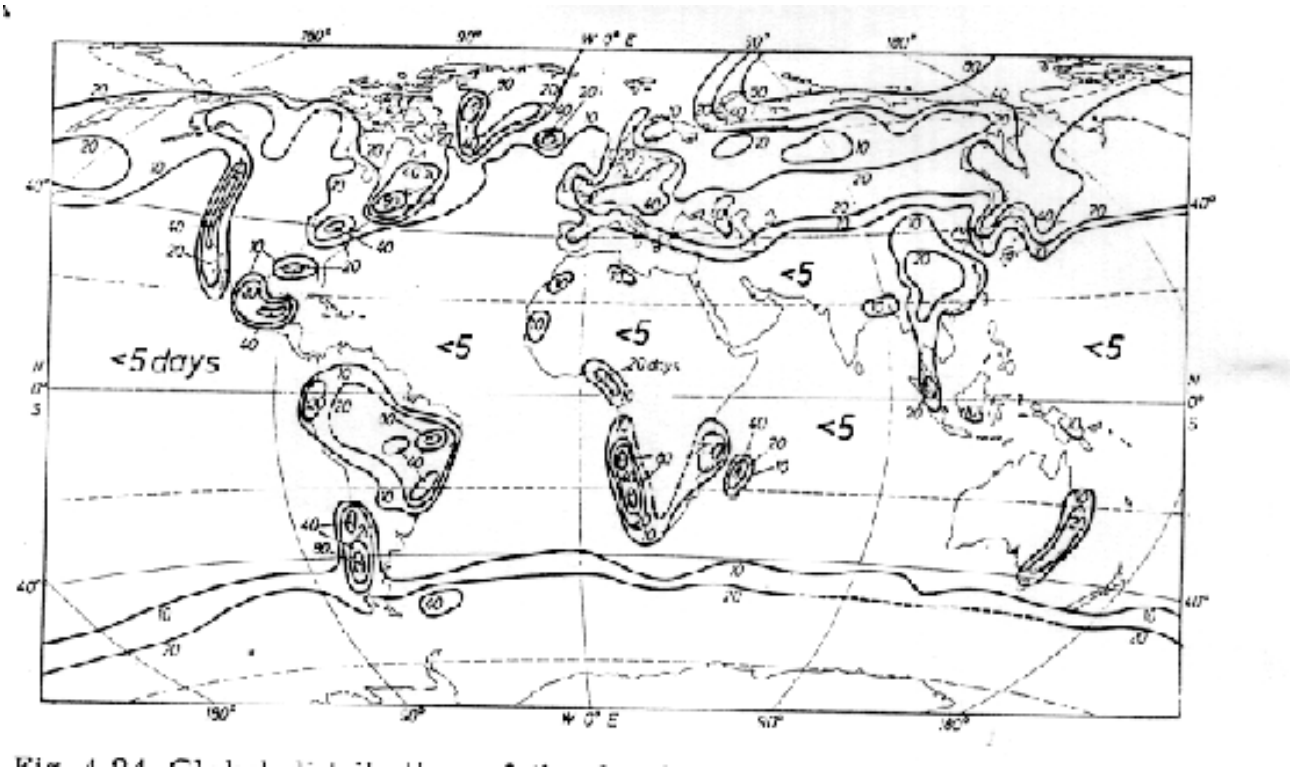
Trockenheit trotz feuchter Luft?

Wikipedia: San Francisco in fog (Ausschnitt)

Es gibt wüstenhafte Regionen auf dieser Welt in denen die Luft erfüllt ist von Wasser das nicht herabregnen kann weil die Tröpfchen so fein sind dass sie in der Luft schweben.
Solche niederschlagsarmen Zonen finden sich beispielsweise an den Westseiten des amerikanischen Doppelkontinents und Afrikas. Küstennahe Wüsten wie die südamerikanische Atacama oder die afrikanische Namib sind oft von Nebel eingehüllt.

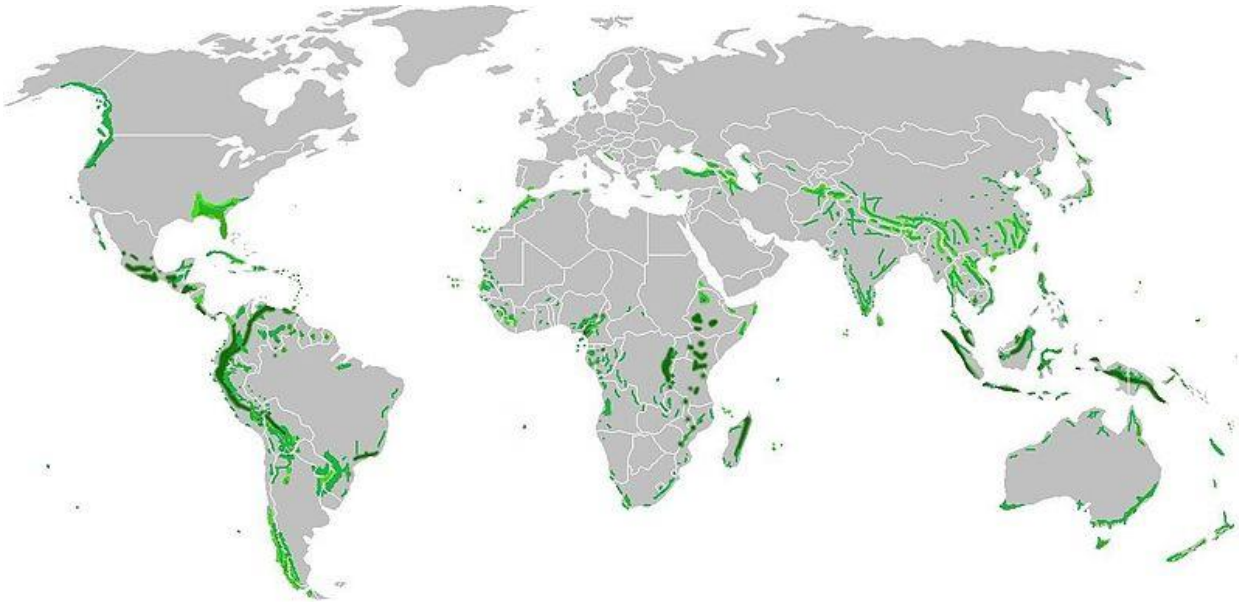
Auch an der Westküste Kaliforniens tritt das Phänomen auf. Dann ragen nur die Spitzen der Golden Gate Bridge aus der vom Ozean heranrollenden "Watte" während die auf der Brücke fahrenden Autos mit Nebelleuchten Schritttempo fahren.
In diesen Gebieten stößt tief über das Meer streichendende kalte Meeresluft auf warme kontinentale Luft deren Feuchtegehalt kondensiert. Regen gibt es kaum, nur abgesetzter Niederschlag in Form von Tau. Solche Nebelwüsten sind typisch für Küsten wo ablandige, also von der Küste wegstreichende Meeresströmungen kaltes Tiefenwasser an die Oberfläche bringen.
Andere Nebelwüsten entstehen in Hochlagen wo sich die Feuchtigkeit schon weitgehend abgeregnet hat und es nur noch zur Bildung von Wolken reicht aus denen kein Regen mehr fällt. Das ist in Mittelamerika und in Zentralasien der Fall. Ein typisches Beispiel sind die Nebelwälder der höher aufragenden Kanarischen Inseln oder Madeiras. Bekannt sind auch uralte, der nächtlichen Tauabsatz nutzende Weinbautechniken in Lanzarote.
Die dortige Vegetation ist darauf eingestellt, die schwebenden Nebeltröpfchen einzufangen und / oder den gasförmigen Wasserdampf auf ihrer Oberfläche kondensieren zu lassen. Die kalifornischen Redwoods nehmen 30 - 40% ihres Wasserbedarfs in Form von "Fog drip" auf.
Die bei diesen "Nebelfänger-Pflanzen " zu beobachtenden Strukturen können als Vorlage für technische Lösungen diesen. Nebelfänger in Form von großen Netzen werden heute in regenarmen aber wolkenreichen Regionen eingesetzt. Es gibt zahlreiche Pflanzen die "bionische" Naturvorbilder liefern können. Einige davon, alle im Schulbiologiezentrum Hannover verfügbar wollen wir hier vorstellen und dabei Wege aufzeigen wie man sich ihren Fähigkeiten "wissenschaftlich" und experimentell kann.

Globale Verbreitung von Nebelgebieten.



Anzahl der Nebeltage
(Quelle: Global distribution of fogs (http://www-das.uwyo.edu)

Diese Karte stammt aus einem Script der University of Wyoming in den USA und stammt aus den 1980er Jahren. Neuere Verbreitungskarten sind schwer zu finden.



Die grün eingefärbten Flächen zeigen die Verbreitung von Nebelwäldern und -wüsten
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ac/Cloud_forest_Bosque_Nuboso_world_distribution.jpg/800px-Cloud_forest_Bosque_Nuboso_world_distribution.jpg

Ein Fächerübergreifendes Projekt mit Bionik-Anteilen

Das Thema "Nebelfänger" geht zunächst aus von Pflanzen zunächst unbekannter Herkunft.
Deren auffällige Eigenschaften werden, und das steht zunächst im Vordergrund, durch Hypothesenbildung und Experimente auf den biologischen Nutzen untersucht. Mit den so gewonnen Erkenntnisse können weitere mögliche Pflanzen gleicher und ähnlicher ökologischer Milieus identifiziert werden.
Beim Thema "Nebelfänger" trifft sich die Biologie und die Physik: Um experimentellen Nebel zu erzeugen müssen wir uns mit den Bedingungen auseinandersetzen unter denen Wasserdampf kondensieren kann. Die Einrichtung kleiner "Nebelkammern" und ihre Wirkung auf Pflanzen und Pflanzenteile kann schrittweise optimiert werden. In kühlen und Nebelreicheren Jahreszeiten sollten das Experimente mit der Beobachtung der Phänomene vor der Haustür einhergehen, wie etwa der Tau- und Reifbildung auf bestimmten Oberflächen. Im Winter kann ein Wechsel zwischen warmem Gewächshaus und kalter Außenluft sehr erkenntnisreich sein. Als "bionisches" Teilprojekt kann der Bau und die Optimierung kleiner "Nebelfänger-Anlagen" und vielleicht eine Partnerschaft mit Schulen aus Nebelwüsten und -wäldern folgen.

Ein kleines und einfaches Experiment an einem warmen Sommertag…

- Lassen sie ein großes trockenes Marmeladenglas eine kleine Weile offen stehen.
- Schließen Sie den Deckel dann fest zu.
- Stellen Sie das Glas einige Zeit in den Kühlschrank.
- Holen Sie es heraus und beobachten Sie, wie es beschlägt.
- Wischen Sie den Beschlag gut ab. Wie sieht die Innenseite aus?
- Öffnen Sie das Glas und gießen Sie die kalte Luft heraus (Handprobe)
- Lassen Sie das Glas wieder eine kleine Weile offen stehen.
- Schließen Sie es und geben es wieder in den Kühlschrank.
- Wiederholen Sie das mehrere Male.

Das Glas beschlägt nicht nur von außen sondern auch von innen. Die warme eingeschlossene Luft muss also unsichtbares Wasser enthalten haben das sich in der Kälte zu Wassertropfen verwandelt.
Mehrere solcher Zyklen liefern tatsächlich ein wenig Wasser!

Was ist Nebel?

Nebel in der Gifhorner Heide
(Fotos Ingo Mennerich)

Taubildung im Nebel (Silbergras)

Ob man von Nebel oder Wolken spricht ist nur eine Frage der Perspektive: Physikalisch gesehen unterscheiden sie sich nur darin dass sich der Nebel am Boden und die Wolken am Himmel bilden. Nebel ist, einfach gesagt, eine Wolke mit Bodenkontakt.

Luft kann je nach Temperatur eine bestimmte Menge unsichtbaren Wasserdampf enthalten. Bei 21°C pro Kubikmeter ungefähr 18g (= 1 Mol H_2O). Das entspricht etwa 24 Liter oder etwa 2,5% dieses Luftvolumens.

Bei 10% Lufttemperatur beträgt der maximale Wasserdampfgehalt nur noch die Hälfte, also 9,5g/m^3.

Nebel und Wolken bestehen aus winzigen und mit bloßem Auge nicht mehr wahrnehmbaren Wassertröpfchen in der Größenordnung zwischen 1 und 50 Mikrometern (µm). Typischerweise sind sie etwa 10 µm oder 1/100 mm groß. In einem Liter Nebel sind zwischen einer Million und Tausend Tröpfchen enthalten.

Je kleiner der Tropfen, desto geringer die Sinkgeschwindigkeit. Sie steigt nach dem Stokes´schen Gesetz mit dem Quadrat des Durchmessers. Bei 20mm Tropfengröße beträgt sie etwa 10 mm pro Sekunde. Wind und eventueller Auftrieb lassen die Nebeltröpfchen in der Luft schweben oder sich horizontal bewegen.

Wolken und Nebel entstehen, wenn wärmere, gasförmigen und unsichtbaren Wasserdampf enthaltende Luft abgekühlt wird. Dann kondensiert ein Teil des Wasserdampfes zu flüssigem Wasser. Winzige hygroskopische (wasseranziehende) Kondensationskeime wie Staub, Ascheteilchen, Salz oder besonders wasserliebende Oberflächenstrukturen beschleunigen diesen Vorgang.

In einem Kubikmeter Nebelluft sind je nach Temperatur 0,05 bis 0,5 Gramm oder Milliliter flüssiges Wasser enthalten. Um einen Liter Wasser einzufangen bedarf es also 20000 bis 2000 Kubikmeter Nebel!

Das im Nebel enthaltene Wasser würde aufgrund der geringen Tropfengröße den Boden nur im Kontaktbereich benetzen

Der Übergang von Wolken und Nebel zu Niederschlag ist fließend. Von "Nebelfängern" ausgekämmter, sonst den Boden kaum erreichender Sprühregen kann einen großen Beitrag zur Wasserversorgung der Pflanzen leisten.

Echeveria setosa

Echeveria setosa, die Borstige Echeverie, ist eine sukkulente, rosettenförmig wachsende Pflanze aus der Familie der Dickblattgewächse. Sie ist im relativ trockenen mexikanischen Süden (Oaxaca, Puebla, San Luis Atolotitlán, Cerro de la Yerba) beheimatet und wächst dort in mittleren Gebirgslagen.
Echeveria setosa ist Bestandteil unserer Pflanzensortimente "Sukkulente Pflanzen" und "Pflanze und Klima". Sie ist - nach Absprache - auch außerhalb dieser Angebote erhältlich.

Echeveria setosa (Foto Ingo Mennerich)

Der Habitus der Borstigen Echeverie lässt mit einiger Erfahrung und im Vergleich mit anderen Pflanzen viele Schlüsse auf das ursprüngliche Habitat und die dort wirkenden abiotischen Faktoren zu.

Auf der Ideenexpo 2015 haben wir das im Projekt "Pflanze und Klima" vorgestellt und in der gleichnamigen Unterrichtshilfe dokumentiert.

Warum sollte man als Lehrer sein Wissen über die Schüler ausschütten? Möglicherweise sind sie - mit kleinen Hilfestellungen - selbst beobachtend in der Lage das zur Pflanze passende Klima herauszufinden. Vielleicht sind sie auch in der Lage ihre Vermutungen experimentell zu überprüfen.

Die Blätter der Echeveria sind dick, fleischig aber im Gegensatz zu vielen anderen Sukkulenten nicht lederartig. Wenn man ein Blatt aufbricht spritzt einem Wasser entgegen. Woher stammt das Wasser?

Die Blätter sind beidseitig mit einem dichten Rasen weißer etwa 2 - 3 mm langer Haare überzogen. Was macht eine Pflanze mit einem Fell?

Warum sollte Echeveria einen "Pullover" tragen?

Im trockenen Hochland Mexikos kühlt es nachts zwar stark ab, "wärmen" könnten die Haare die Pflanze aber natürlich nicht, weil Pflanzen ja keine Eigenwärme produzieren. Von der Illusion der "warmen Kleindung" kann man sich leicht befreien, wenn man eine Tiefkühlpizza in einen Pullover wickelt und dabei feststellt, dass er wie ein "Kühlschrank" wirkt. Uns Menschen wärmt der Pullover weil er unsere Körperwärme durch das zwischen den Maschen gehaltene Luftpolster gegen die Umgebungsluft abschirmt.

Um herauszufinden dass Pflanzen keine Körperwärme produzieren braucht man nur die Finger, ein Thermometer oder, etwas professioneller, eine Wärmebildkamera die man im Schulbiologiezentrum entleihen kann.

Könnte der "Pullover" die Pflanze vor Nachtfrost schützen? Abgesehen davon, dass wir im Internet herausfinden könnten, ob es in Echeverias gebirgiger aber tropischer Heimat überhaupt dazu kommt könnte man ausprobieren, ob ein "unrasiertes" Blatt nach kurzem Aufenthalt im Kühlschrank genauso kalt ist wie ein gleich großes, aber enthaartes Blatt.

Die Hypothese eines "wärmenden Fells" scheidet also aus, die Isolationswirkung bleibt zu prüfen.

"Kullertropfen": Selbstreinigung wie beim Wassersalat?

Der Wassersalat, eine auf der Oberfläche subtropischer und tropischer Seen schwimmende, mit unserem Aronstab verwandte Pflanze ist auf eine sehr ähnliche Weise einem kurzen Rasen gleich behaart. Für Kinder und Erwachsene immer wieder faszinierend: Er wird nicht nass, so oft man ihn auch untertaucht. Stattdessen lässt er, ähnlich wie bei der Indischen Lotosblume, das Wasser in Form von "Kullertropfen" von den schräg nach oben abstehenden Blättern ablaufen.

Dieser Effekt, nach dem ebenfalls, allerdings auf eine besondere Weise behaarten Wasserfarn "Salvinia-Effekt" genannt dient wie bei Lotos der Selbstreinigung. Der "Trick": Herunterkullernde Tropfen nehmen Schmutzpartikel auf und halten das Blatt dadurch sauber.

Solche "Kullertropfen" entstehen auch auf der Echeveria setosa was wir gut bei der Anzucht unserer Echeverien im Schulbiologiezentrum beobachten können: Wenn die Pflanzen in der letzten Phase vor der Auslieferung in Frühbeetkästen stehen sind sie nach kühlen und feuchten Nächten oft von feinen Tautropfen überzogen. Schüttelt man die Pflanze, fallen einige als "Kullertropfen" herunter und auf den ersten Blick scheinen die Blätter danach trocken zu sein.

Gehört Echeveria setosa auch zu den sich selbst reinigenden Pflanzen "Kullertropfen-Effekt"? Oder sollten wir noch etwas genauer hinsehen? Geht es, wie so oft in der Natur, um etwas ganz anderes?

Ähnlich wie beim ebenfalls behaarten Wassersalat kann man bei einer "Regensimulation" mit einem Wassersprüher oder einer Pipette fast kugelförmige Tropfen auf den Blättern erzeugen, die bei größerem Gefälle oder beim Schütteln des Blattes nahezu spurlos von der Oberfläche abrollen. Wer genau hinschaut wird aber feststellen: Viele der Tropfen bleiben auch auf und zwischen den Haaren der Pflanze hängen.

Echeveria setosa aus dem Schulbiologiezentrum Mit einem mit der Pipette aufgesetzten Wassertropfen. (Fotos Ingo Mennerich)

Dieselbe Pflanze mit der Wassersprüher eingenebelt. Die entstehenden Tropfen bleiben lange Zeit erhalten.

Bei jungen, im Zentrum der Rosette stehenden und noch dichter behaarten Blättern sind die Tropfen deutlich besser ausgeprägt als bei älteren was bedeuten könnte, dass die Haare dabei eine wichtige Rolle spielen.

Auf den ersten Blick könnte man tatsächlich auf den "Salvinia-Effekt" schließen. Der dicht mit "schneebesenförmigen" Haaren ausgestatte Wasserfarn Salvinia molesta lässt das Wasser ebenfalls in Tropfenform abperlen. Zu diesem Phänomen haben wir 2016 eine Unterrichtsidee mit dem Titel "Kullertropfen-Effekt" veröffentlicht.

Echeveria zeigt im experimentellen Vergleich aber so wesentliche Unterschiede zu Salvinia und Pistia, dass bei ihr eine ganz andere "Absicht" dahinter vermutet werden kann als die Selbstreinigung.

Wo ist Echeveria setosa zu Hause?

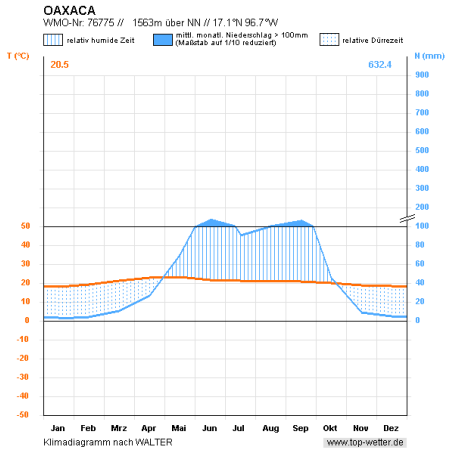
Unsere Echeverien sind durch jahrzehntelange Stecklingsvermehrung entstandene Klone. Sie sind hier nicht zuhause und brauchen, da sie mit Frost schlecht umgehen können das temperierte Gewächshaus oder die Fensterbank. Sehr hilfreich bei der Lösung aller Fragen bezüglich möglicher Anpassungen ist die ursprüngliche Heimat und die abiotischen Faktoren die ihren Lebensraum bestimmen, Licht, Temperatur, Feuchtigkeit und Mineralstoffzusammensetzung des Bodens.

Echeveria hat im Gegensatz zu vielen anderen, weltweit verbreiteten Pflanzen einen relativ gut definierten Ursprung, nämlich den Süden Mexikos und hier besonders die Region Oaxaca.

Bereits ohne die Herkunft vorwegzunehmen lässt der Habitus der Pflanze Rückschlüsse auf die Umgebungsverhältnisse ihrer Heimat zu:

- Die Pflanze wächst am Boden
- Ältere Pflanzen erheben sich an relativ kurzen Stängeln nur wenig über den Boden
- Ihre Blätter sind kreis- oder spiral förmig angeordnet (Rosette)
- Die Blätter sind ober- und unterseits dicht weiß behaart
- Die dicken und fleischigen Blätter sind "sukkulent" (sie enthalten Wasser)
- Sie stammt aus dem Gewächshaus oder muss vor Frost geschützt werden.

Dieses deutet auf eine Herkunft aus warmen zumindest saisonal trockenen Gebieten.

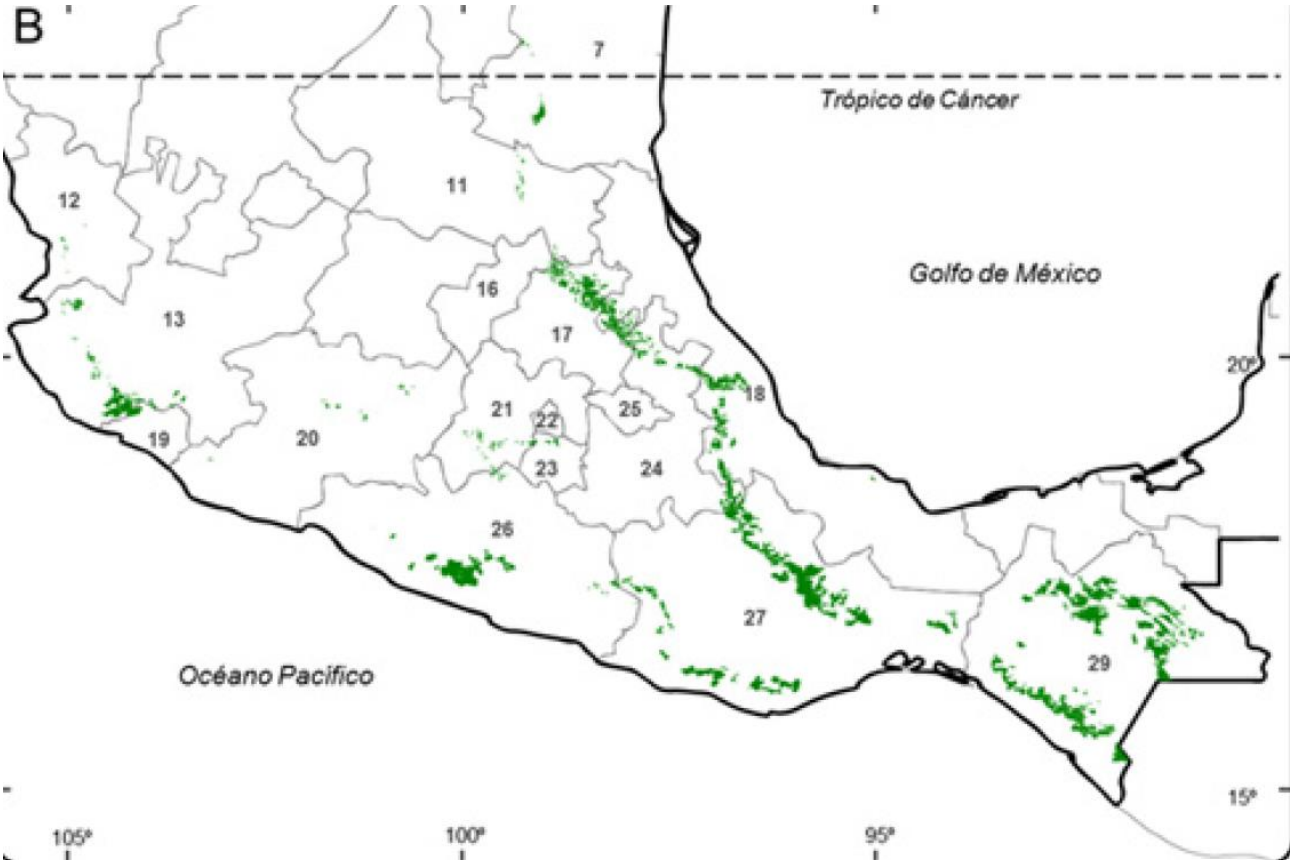


Oaxaca ist eine hochgelegene Bergregion im Einflussbereich des NO-Passats der in den Sommermonaten feuchte Luft aus dem Golf von Mexiko bringt.
Aber auch dann beträgt die Niederschlagssumme mit etwa 100mm nur etwa 1/6 des Wertes in Hannover.
Im Winter ist es trocken.
Die Temperaturen liegen ganzjährig um 20°C.
Was aus dem Klimadiagramm nicht hervorgeht:
In den Hoch- und Kammlagen der Sierra Madre herrscht Nebel der sich oft tage- und wochenlang halten kann.

http://old.nvinoticias.com/sites/default/files/fotos/2015/05/01/01_copia.jpg

Oaxaca wird zu großen Teilen von Nebelwäldern eingenommen.

Hier hat sich unter Einheimischen eine "Pfeifsprache" entwickelt, das "Chinanteco silbado" das im der "akustischen Watte" des Nebels eine erstaunliche Reichweite hat.
Bei Youtube gibt es ein Video dazu.



Verteilung der Nebelwälder (grüne Flächen) in Mexiko, 27 = Oaxaca
Quelle: www.revistaecosistemas.net,
Los bosques de niebla de México: conservación y restauración de su componente arbóreo

"Inquire": Forschendes Lernen durch Beobachtung, Versuch und Irrtum

Den Sinn der Behaarung zu hinterfragen kann eine spannende schulische Forschungsaufgabe werden die Beobachtungen, Hypothesenbildungen, selbst erdachte Experimente, Ergebnisdiskussion, Fehleranalyse und natürlich auch Irrwege einschließt.

Ein solcher Unterricht sollte den Prinzipien der "Inquiry based scientific education" folgen. Mit dieser Methode beschäftigt sich das Schulbiologiezentrum seit mehreren Jahren. Forschungsbasiertes Lernen bedeutet, dass die Schüler auf der Basis eines motivierenden und tragenden Forschungsgegenstandes eigene Lösungsstrategien entwickeln, arbeitsteilig selbst erdachte Experimente durchführen und notwendiges Zusatzwissen selbst aus allgemein zugänglichen Medien ziehen.

Biologie trifft Technik

Echeveria ist möglicherweise auch ein Thema der "Bionik" bei der es um technische Umsetzungen biologischer Naturvorbilder geht, in diesem Falle um die Wassergewinnung in Trockengebieten.

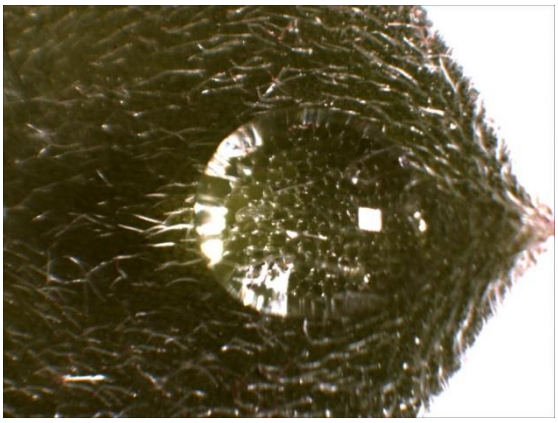
Forschung ist "Versuch und Irrtum"

Wenn man Echeveria setosa im Anschluss an den "Lotos-" bzw. "Salvinia-Effekt" einführt wird der Verdacht der Schüler zunächst sicher auf die "Selbstreinigung" fallen, so wie es bei der Kapuzinerkresse oder beim Wassersalat zu beobachten ist.

Für die "Selbstreinigung" könnte sprechen, dass es in Trockengebieten Staubstürme gibt und dass kurzzeitige Schauer die der Photosynthese abträglichen Ablagerungen fortspülen könnten.

Das lässt sich mit bloßem Auge und später unter dem Binokular mit Feinmaterialien wie Zementpulver, Bentonit (Vulkanasche), Mehl oder Puderzucker oder einfach mit "Dreck" überprüfen. Das Ergebnis spricht allerdings eher gegen die Selbstreinigungs-Hypothese: Der Staub bleibt zwischen den Haaren hängen als dass er von den Tropfen mitgenommen wird.

Ein weiteres Indiz gegen die Selbstreinigung: Die Haare der Echeveria sind anders als bei Pistia und Salvinia nicht Wasser abweisend. Es bildet sich beim Untertauchen im Wasser also keine silbrig glänzende Luftschicht.



Unter dem Binokular ist gut zu sehen, dass ein aufgesetzter Tropfen die meisten Härchen zwar zur Seite drückt, einige aber deutlich in ihn hineinragen.

Zwischen die Härchen gefallener Wasser anziehender Staub (z.B. Zementpulver) lässt an der Basis der Härchen einen "See" entstehen den die Haarspitzen ohne Verformung der Wasseroberfläche durchstoßen.

(Foto Ingo Mennerich)

Beim völligen Untertauchen zu sehen, dass das Wasser (übrigens anders als der Tropfen!) problemlos zwischen den Haaren zur Blattoberfläche dringt.

Echeveria ist im Gegensatz zu Pistia und Salvinia eine Landpflanze die von seltenen Starkregenereignissen abgesehen praktisch nie vom Wasser bedeckt wird. Sie braucht infolgedessen kein Luftpolster.

Wie ist der "Kullertropfen-Effekt" bei Echeveria zu erklären?

In der Wassertropfen-Werkstatt erfahren die Schüler, dass ein Tropfen aufgrund mehrerer unterschiedlich ausgeprägter Kräfte zustande kommt. Vorrangig ist die Kohäsion, d.h. das Bestreben der Wassermoleküle sich untereinander zu vernetzen. Das führt zum Phänomen der Oberflächenspannung die dem Tropfen eine runde Form gibt.

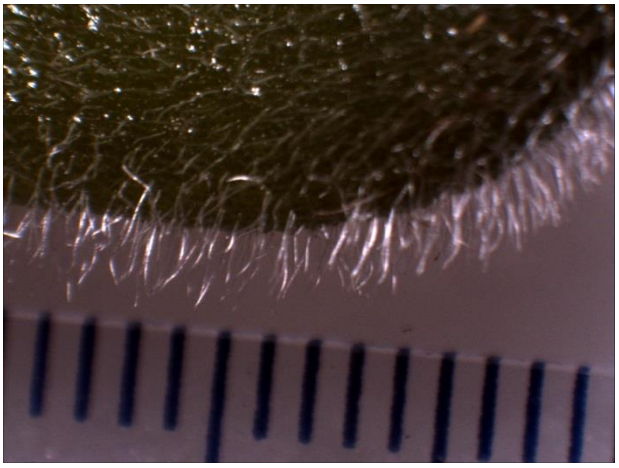
Eine weitere Kraft ist die Gravitation. Sie zieht den Tropfen in Richtung auf den Erdmittelpunkt, also nach unten. Die dritte Kraft ist die Adhäsion, hier die Haftung am Blatt. Ihre Wirkung ist gut zu sehen wenn man ein einzelnes Blatt mit der Unterseite ins Wasser dippt: Dann hängt ein halbrunder Tropfen, der in diesem Falle schwächeren Schwerkraft trotzend am Blatt.

Was hindert einen Tropfen an der Blattoberfläche, der Schwerkraft und der offensichtlich vorhandenen Adhäsion folgend sich aufzulösen und zwischen die Haare zu laufen?

Eine Hypothese: Könnte es sein dass die Kohäsion stärker ist als die Gravitation und die Kohäsion und dass der Tropfen einfach nicht zwischen die engstehenden Härchen passt. Wasser hat eine "Haut" von der auch der Tropfen umgeben ist. Wenn man sich in Analogie einen Wassertropfen als einen mit Wasser gefüllten Ballon vorstellt und diesen auf eine Haarbürste legt wird er nur auf den Spitzen der Borsten liegen.

Leider kann man Tropfen nicht durchschneiden. Würden die sonst immer kleineren Tröpfchen in die Zwischenräume fallen?

.



Auf den jungen Blättern der Echeveria stehen 5 - 6 Haare auf einem Quadratmillimeter. Das kann man unter dem Binokular mit einem Lineal messen und berechnen.

Wie erzeugt man so kleine Tropfen, dass sie zwischen die Haare rutschen?
Mit einer dünneren Pipette, mit einer Nadelspitze oder mit einem feinen Sprühnebel?
Und: Wie klein kann ein Tropfen eigentlich sein? Gibt es eine Grenzgröße?

(Foto Ingo Mennerich)

Der "Kullertropfen-Effekt" ist bei Echeveria nicht perfekt: Letztlich dringt immer etwas Wasser bis zur Blattoberfläche durch. Übrigens auch, wenn man die Haare mit einer feinen Nadel auseinanderkämmt.

Neue Hypothesen

Wenn nicht die Selbstreinigung der Zweck der Haare ist, wozu dienen sie dann?

Drei mögliche Hypothesen:

- Die Haare, obwohl einzeln durchsichtig und nur durch Lichtbrechung weiß, könnten durch Reflektion der Sonnenstrahlung einer Überhitzung entgegenwirken. (Gegenargument: Dazu bedarf es keiner Haare, eine weißer Wachsüberzug hätte eine ähnliche Wirkung.)
- Zwischen den Haaren entsteht ein windgeschütztes Mikroklima, möglicherweise kühler und feuchter als darüber. (Hier könnte man das isolierende Fell des Eisbären anführen.)
- Die Haare "kämmen" bei niedrigeren Nachttemperaturen Feuchtigkeit aus der Luft und halten diese fest. In Verbindung mit der den beiden anderen Hypothesen würde so eine kühlere und feuchte und "Schutzhülle" entstehen.

Die Blätter der Echeveria sind sukkulent (succus = Saft). Sie enthalten Wasser. Eine schützende "Atmosphäre" rund um das Blatt würde die Verdunstung mindern.

Zur Überprüfung der Hypothesen bieten sich mehrere Experimente an:

"cooles" Weiß und "heißes" Schwarz?

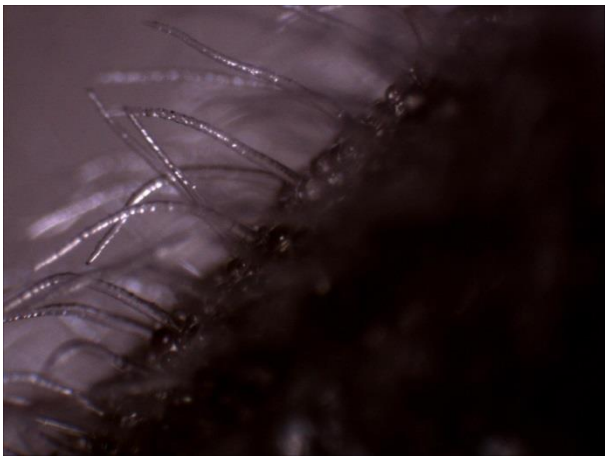
- Ob weiße Flächen mehr Sonnenlicht reflektieren und daher weniger Wärme aufnehmen als schwarze kann man mit gleichen aber verschieden gefärbten Objekten ausprobieren. Oder sich eine zehn Minuten lang mit einem hellen und dann zehn Minuten lang mit einem dunklen T-Shirt in die Sonne setzen…

Verminderte Verdunstung durch Haare?

- Zwei gleich große, frisch abgepflückte Blätter der Echeveria werden gewogen und der Sonne ausgesetzt. Das eine Blatt ist zuvor "rasiert" worden. Dabei wird die Ober- und Unterseite vorsichtig mit Küchenkrepp abgerieben (Kontrolle unter dem Binokular). Das Blatt mit der höheren Verdunstungsrate müsste prozentual mehr Gewicht verlieren als das andere.
- Mit einer Schalenwaage wird dies Experiment besonders anschaulich: Die beiden Blätter werden in je eine Schale gelegt, eventuell vorhandene Gewichtsunterschiede werden mit trockenen Papierschnitzeln ausgeglichen. Zu Beginn muss "Gleichstand" herrschen.

Taubildung an den Haaren?

- Ein trockenes Blatt der Echeveria wird in ein kurz vorher heiß ausgespültes und gut abgeschütteltes Schraubdeckelglas gelegt. Das verschlossene Gefäß wird in den Kühlschrank gestellt. Die Temperatur der vorher feuchtwarmen Luft fällt unter den Taupunkt so dass der darin enthaltene Wasserdampf kondensiert. Bei der Auswertung sollte aber geprüft werden, ob es sich wirklich um an den Härchen auskondensierte "Tautropfen" handelt oder Tropfwasser als "Regen" auf das Blatt gefallen ist.
- Eine andere Methode: Ein Blatt wird im Kühlschrank auf etwa +5° C abgekühlt und dann in den (bereits abgekühlten) Dampf eines Wasserkochers gehalten. Der Dampf ist bereits ein Tröpfchennebel. Werden ihn die Härchen "auskämmen" können?



Unter dem Binokular bietet sich bei sehr starker Vergrößerung dieses Bild:

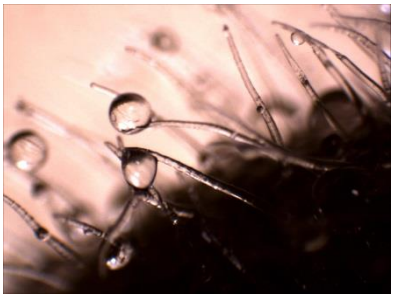
An der Basis der Härchen sammeln sich winzige Tröpfchen die dicht an dicht liegend die Blattoberfläche bedecken.

Ein zur Kontrolle trocken gehaltenes zweites Blatt zeigt dieses Phänomen nicht.

(Foto Ingo Mennerich)

Nach einiger Zeit sind die Tröpfchen wieder verschwunden.
Sind sie verdunstet? Ihre in Bezug auf das Volumen riesige Oberfläche spräche dafür.
Oder hat die Blattoberfläche das Wasser aufgesogen? Was kann man selbst beobachten?

In einem zweiten Versuch wurde ein Echeveria-Blatt mit Wasser besprüht:



Tautropfen zwischen den Härchen, im Laufe von 30 Minuten kleiner werdende und verschwindende Tropfen (Verdunstung oder Wasseraufnahme?)
(Foto Ingo Mennerich)

Hier scheint das im "Miniformat" zu geschehen, was Fichten, Kiefern und Tannen in den Hochlagen unserer Mittelgebirge tun. Sie kämmen mit ihren Nadeln die Feuchtigkeit aus den Wolken in dem sie "Kondensationsflächen" bilden.

Warum die Tropfen sich an der Basis bilden und nur selten an den Härchen selbst zu beobachten sind kommt ist mit unseren Mitteln noch nicht zu klären. Auch nicht, auf welche Weise sich die Tröpfchen wieder auflösen. Und wenn es auch so scheint, dass eine der Hypothesen eine Bestätigung gefunden hätte so bleiben noch Anlässe zum Weiterforschen.

Wolken und Nebel: Kondensation von Wasserdampf

Um zu verstehen was geschieht wenn sich Wolken oder Nebel bildet bietet sich als Impuls ein einfaches Experiment an bei dem nur warme Luft, ein etwas größeres, sauberes und trocken ausgewischtes Schraubdeckelglas und ein Kühlschrank nötig ist. Das gelingt an einem warmen Sommertag besonders gut.

In einem ersten Schritt wird warme Luft in das ebenso warme Glas gesperrt. Nach einigen Minuten Aufenthalt im Kühlschrank stellen wir beim Herausnehmen fest, dass es beschlägt.

Der in der warmen Umgebungsluft unsichtbare Wasserdampf (man sollte eigentlich "Wassergas" sagen) kondensiert an der kalten Oberfläche und bildet kleine Tröpfchen.

Wenn wir die Außenseite trocken abwischen ist zu erkennen, dass die Innenseite auch beschlagen ist.

Auch *im* Glas war also Wasserdampf enthalten.

Wenn das mehrfach wiederholt wird und das offene kalte Glas eine kurze Weile in der warmen Luft stehen lässt kann man durchaus eine kleine Menge Wasser zusammensammeln.

Um "Nebel" oder "Wolken" zu erzeugen bedarf es zusätzlich noch kleiner in der Luft schwebender Teilchen an denen der Wasserdampf kondensieren kann (Kondensationskeime).

Echeveria in der "Nebelkammer"

"Nebelkammer":
Einmachglas, Eiswürfel , warmes Wasser, Rauchteilchen
(Foto Ingo Mennerich)

Aus einem passenden Glasgefäß mit Deckel kann man eine einfache Nebelkammer machen. Dazu füllen wir eine Daumenbreite warmes Wasser in das Gefäß, stellen die Pflanze etwas erhöht auf einem Podest (z.B. ein leeres Marmeladenglas) auf den Boden und fügen Kondensationskeime hinzu. Diese entstehen, wenn ein brennendes Streichholz in das Becken gehalten und dann ausgepustet wird. Der unsichtbare Wasserdampf kondensiert an den in der Luft schwebenden Rauchpartikeln und schnell ist das Gefäß mit Nebel gefüllt. Noch besser gelingt das, wenn man zusätzlich Eiswürfel in eine Tüte gibt und diese zwischen Deckel und Beckenrand hängt.
Da die Glasscheiben schnell mit Wassertröpfchen überzogen sind und undurchsichtig werden empfehlen wir, immer wieder warmes Wasser nachzugießen und dieses über eine der Scheiben herunterlaufen zu lassen. Dabei kühlt es sich zwar etwas ab, sorgt aber für gute Sicht und mit Hilfe der Eiswürfel und den noch stets im Becken zirkulierenden Rauchteilchen entsteht immer wieder Nebel.

Echeverias Haare stellen sich in der feuchten Umgebung auf. Sie erscheint noch "bärtiger" als im "Normalzustand". Es macht Sinn, bei diesem Experiment eine trockene Echeveria zum Vergleich in der Nähe zu haben.

Fotos: Ingo Mennerich

Die Blätter fühlen sich nach dieser "Nebelbehandlung" feucht an und glänzen im Sonnenlicht. Unter dem Binokular sind viele winzige Tropfen an und zwischen den Haaren zu erkennen.

CAM: Ein Stoffwechseltrick in trockener Hitze

Die zur Familie der Dickblattgewächse (Crassulaceae) gehörenden Gattung Echeveria umfasst CAM-Pflanzen (CAM= crassulacean acid metabolism). Diese vor allem in heißen und trockenen Regionen beheimateten Pflanzen zeichnen sich durch eine besondere Art der CO_2-Aufnahme und Fixierung aus. CAM-Pflanzen halten tagsüber ihre Spaltöffnungen geschlossen um die Verdunstung zu minimieren. Das in der Nacht bei geöffneten Stomata aufgenommene CO_2 wird chemisch gebunden zwischengespeichert und bei Tageslicht in den Photosynthese-Prozess abgegeben.

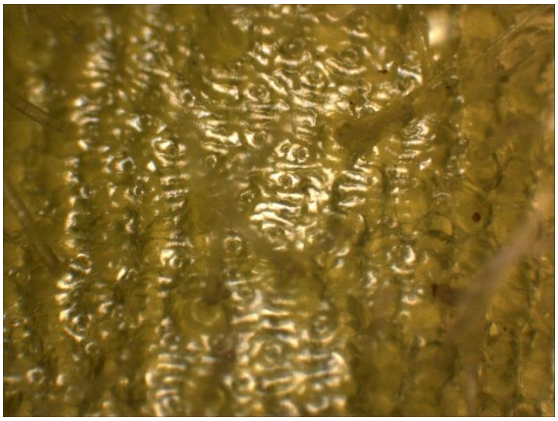
Nächtlicher Absatz von Tau bei Nebel und Wolken würde durch eine feuchte Umgebung der Stomata die nächtliche Verdunstungsrate senken und bei noch vorhandener Restfeuchtigkeit auch tagsüber die Öffnung der Spaltöffnungen ermöglichen. Das wäre weiter zu untersuchen.

Wasseraufnahme durch die Blätter?

Der abgesetzte Tau könnte auch direkt von der Blattoberfläche aufgenommen werden (Wasseraufnahme durch die Cuticula?). Dies erscheint bei sukkulenten Pflanzen zunächst paradox, denn eine Wasseraufnahme über die Blattoberfläche würde zugleich eine erhöhte und unkontrollierte Transpiration bedeuten. Die Cuticula sollte ja, das lernt man in der Schule, wasserundurchlässig sein.

Im Experiment wird schnell deutlich, dass Echeveria einen Verdunstungsschutz besitzt: Wenn man Buchen- und Echeverienblätter mit der Schalenwaage ins Gleichgewicht bringt, werden die Buchenblätter durch Wasserverlust schnell leichter und die Waage kommt im Schieflage.

Andererseits könnte man sich bei einer nicht 100%igen Wasserundurchlässigkeit denken, dass eine stark dehydrierte Pflanze einen höheren Gehalt an osmotisch wirksamen Stoffen enthält und das mineralstofffreie Regen- und Tauwasser in sich hineinsaugt.



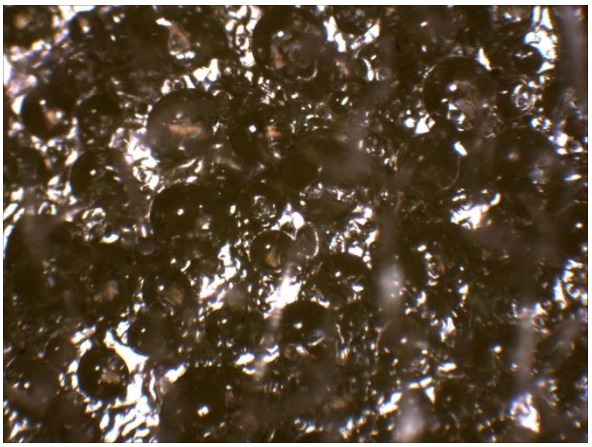
Blattoberseite mit Spaltöffnungen.
Die weißen Areale sind Reflektionen der feuchten Oberfläche.
(Foto Ingo Mennerich)

Echeveria setosa
Spaltöffnungen bei
(Ausschnittvergrößerung)

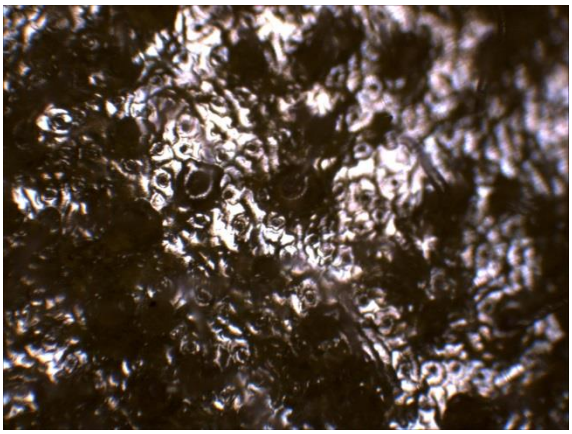
Unter dem Binokular erkennt man unter bestimmten Bedingungen, nämlich dann wenn größere Tropfen der Blattoberfläche bis auf eine "Restfeuchte" verschwunden sind, Spaltöffnungen.
Diese liegen sich sowohl auf der Unterseite als auch auf der Oberseite (!) des Blattes.

Könnten die Spaltöffnungen die Aufnahmeorte für das Tauwasser sein?

Oder hilft das Tauwasser nur die Verdunstung herabzusetzen?



Die Blattunterseite nach dem Einsprühen mit winzigen Tropfen überzogen.
Die vielen kleinen Tropfen mit ihrer großen Oberfläche könnten allein durch Verdunstung die relative Feuchte zwischen den Spaltöffnungen und der unmittelbaren Umgebung erhöhen und damit die Verdunstung deutlich herabsetzen.



Dieselbe Oberfläche einige Zeit danach.
Die Tropfen sind verdunstet (?) und geben den Blick frei auf die Spaltöffnungen.

(Fotos Ingo Mennerich)

Eine Wasseraufnahme durch die Blätter wiederspricht der in der Schule verbreiteten Lehrmeinung, dass allein die Wurzeln dafür zuständig sind.

Doch scheinen viele Pflanzenfamilien über einen Mechanismus des "Foliar Water Uptake" (FWU) zu verfügen. Der in vielen Fachaufsätzen diskutierte FWU ist allerdings noch nicht aufgeklärt.

Sollte es ihn geben könnten hydrophile Trichome nicht nur als Kondensationspunkte wirken sondern auch Leitungsfunktion haben.

Als Experiment in der Schule könnte man ein abgepflücktes Blatt der Echeveria setosa einen Tag lang in trockener Umgebung liegen lassen und dann wiegen. Verändert sich das Gewicht, wenn es anschließend für einige Stunden in "Regenwasser" (demineralisiertes oder destilliertes Wasser) legt?

(Foto Ingo Mennerich)

Auch hier ist die Schalenwaage hilfreich: Zwei abgetrennte Blätter werden durch Zusatzgewichte ins "Gleichgewicht" gebracht. Eines der Blätter wird herausgenommen, für eine Stunde in Wasser getaucht, gut mit Küchenkrepp abgetrocknet und dann erneut in die Waagschale gelegt.
Das Ergebnis: Es ist schwerer!

Dieses Ungleichgewicht bleibt, auch nachdem eventuell noch verbliebene Feuchtigkeitsreste abgetrocknet sein dürften, noch tagelang bestehen.

Kritische "Forscher" werden einwenden, dass die Pflanze das Wasser möglicherweise über die Bruchstelle, also den Blattstiel aufgenommen haben könnte und nicht über die Blattoberfläche.

Dies lässt sich leicht überprüfen in dem man ein weiteres Blatt so ins Wasser legt, dass die Schnittstelle darüber hinausragt.

Mit der Schalenwaage kann man natürlich auch überprüfen ob die Pflanze in der Nebelkammer Wasser aufnimmt.

Als weiterführende Versuche bieten sich Untersuchungen zum FWU an anderen Pflanzen aus Trockengebieten an.

Mögliche Schlussfolgerungen aus unseren Experimenten

Die Experimente mit Echeveria setosa weisen in mehrere Richtungen.

Bestimmte Hypothesen können durch schultaugliche Versuche ausgeschlossen werden:

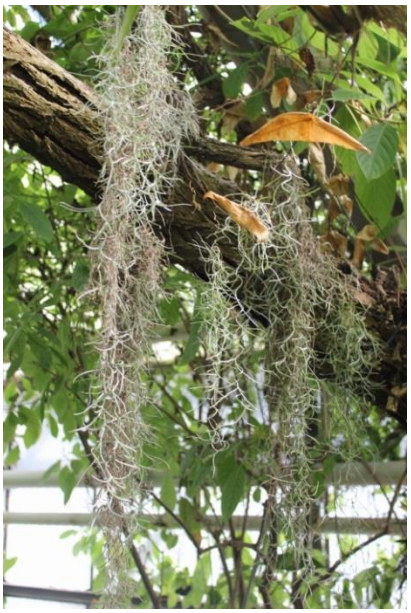
- Die Haare dienen nicht als "wärmender Pullover
- Sie dienen auch nicht der "Selbstreinigung"

Andere lassen sich bestätigen und führen zu weiteren Hypothesen

- Die Haare haben eine (geringe!) Isolationswirkung in kalter Umgebung
- Die Haare reflektieren viel Sonnenlicht und wirken als Hitzeschutz
- An den Haaren bleiben Regen- und Nebeltropfen hängen
- In der "Nebelkammer" kondensiert Wasserdampf an den Haaren.
- Die Haare wirken also als "Nebelfänger"
- Im Nebel ist die Blattoberfläche mit vielen kleinen Tröpfchen besetzt.
- Echeveria hat Spaltöffnungen auf beiden Blattseiten.
- Die Verdunstung der Wassertröpfchen schafft eine Schutzhülle zwischen Pflanze und der trockenen Umgebungsluft. Dadurch könnte die Verdunstung herabgesetzt werden.
- Als CAM-Pflanze könnte dies nachts von Vorteil sein oder ihr auch zeitweise tagsüber die Öffnung der Spaltöffnungen ermöglichen.
- Ein in Wasser gelegtes Blatt wird schwerer: Das spricht für eine Wasseraufnahme durch die Blattoberfläche.

Die wurzellose Tillandsia usneoides

Die nach ihrer Wuchsform Bartflechten-Bromelie genannte Tillandsia usneoides wird auch als "Spanisches Moos" bezeichnet was allerdings völlig falsch ist. Sie wächst weder in Spanien noch ist sie ein Moos. Trotz ihrer Ähnlichkeit mit der in Mitteleuropa als Luftgüteindikator nutzbaren und daher seltener gewordenen Bartflechte Usnea ist Tillandsia usneoides eine Blütenpflanze. Ihre Blüten sind allerdings, wenn sie überhaupt einmal blüht, sehr unscheinbar. Tillandsia usneoides ist, und das mag überraschen, mit der so ganz anders aussehenden Ananas verwandt.



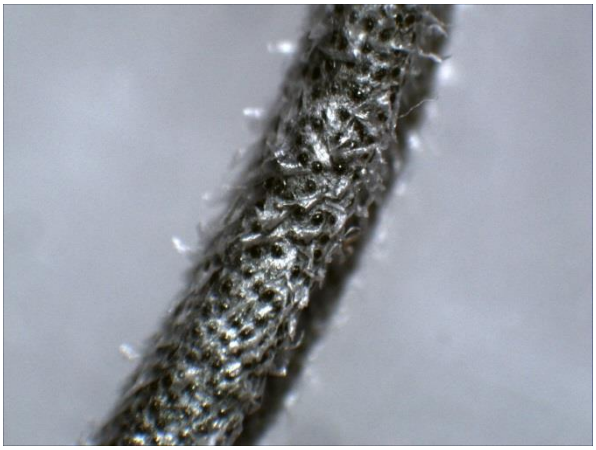
Tillandsia usneoides im "Tropenhaus" des Schulbiologiezentrums
(Foto Ingo Mennerich)

Die Tillandsien bilden eine große, in ihrer Wuchsform der Ananaspflanze ähnelnde Gattung. Tillandsia usneoides entspricht auf den ersten Blick überhaupt nicht unseren Vorstellungen von einer Pflanze:
Die Bartflechten-Bromelie hat keine Wurzeln, keinen Stiel oder Stamm, keine Blätter und, wenn überhaupt einmal, nur kleine und unauffällige Blüten.

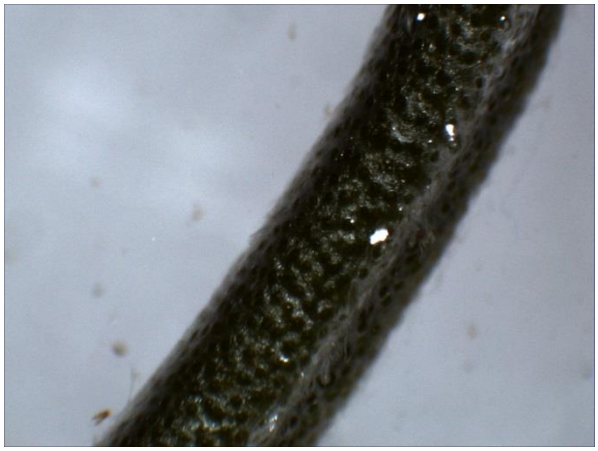
Tillandsia hängt in den wärmeren und feuchteren Teilen Nord-, Mittel- und Südamerikas wie lange grün-grauer Bärte von anderen Pflanzen oder anderen Objekten herab, so wie unsere Bartflechten in den wenigen, von Luftverschmutzung noch wenig betroffenen Bergwäldern.
Und dort ist Tillandsia usneoides hervorragend an die Umgebung angepasst.

Im Gewächshaus zeigt Tillandsia usneoides mit ihrer Farbe die Luftfeuchte an. Ist es nass, ist sie grün, ist es feucht, ist sie grau-grün, ist es trocken, ist sie grau. Wenn sie weiß ist, ist es entweder sehr trocken oder sie ist bereits tot.

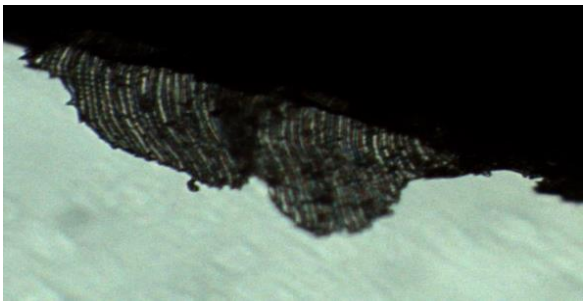
Unter dem Binokular oder unter dem Mikroskop zeigt sie warum das so ist:



Im trockenen Zustand ist Tillandsia von abstehenden durchsichtigen Schuppen umhüllt. Sie reflektieren das Licht der Umgebung und verdecken das darunter liegende grüne Gewebe.



Im feuchten oder nassen Zustand liegen die Schuppen dem grünen Spross eng an.
Legt man Tillandsia danach zum Trocknen richten sich die Schuppen wieder auf.
(Foto Ingo Mennerich)



Abstehende Schuppen unter dem Mikroskop

Warum wird Tillandsia grün wenn sie nass wird?

Mit dieser grünen Tasse zeigen wir seit vielen Jahren, wie es zu dem Farnwechsel kommt: Wir stecken einen weißen Kaffeefilter hinein und gießen dann Wasser darauf.

Trockener Filter reflektiert weißes Sonnenlicht
(Fotos Ingo Mennerich)

Nasser Filter wird durchsichtig

Tillandsia in trockener und feuchter Luft

(Foto Ingo Mennerich)

Wenn man ein Schraubdeckelglas mit etwas warmem Wasser befüllt, ein trockenes Tillandsia mit Hilfe des nur locker aufliegenden Deckels in das Glas hängt und das Glas in die Sonne stellt sollte man beobachten können wie sie grüner wird. Der außen hängende Abschnitt dagegen sollte graufilzig bleiben.
Leider ist das Versuchsergebnis nicht immer ganz eindeutig. Auch das Herabkühlen des Glases im Kühlschrank bringt nicht immer Klarheit.
Das führt zur Frage, ob Tillandsia wirklich in der Lage ist Wasserdampf in Wassertropfen zu verwandeln.
In einer feuchten "Biosphäre" erhält Tillandsia usneoides zwar ausreichend Wasser geht aber im Laufe der Zeit ein:

Das Kondenswasser enthält keine Mineralstoffe. Um Tillandsia dauerhafter zu halten sollte sie hin und wieder mit schwach konzentrierter Düngelösung eingesprüht werden.

Tillandsia usneoides in der "Nebelkammer"

(Foto Ingo Mennerich)

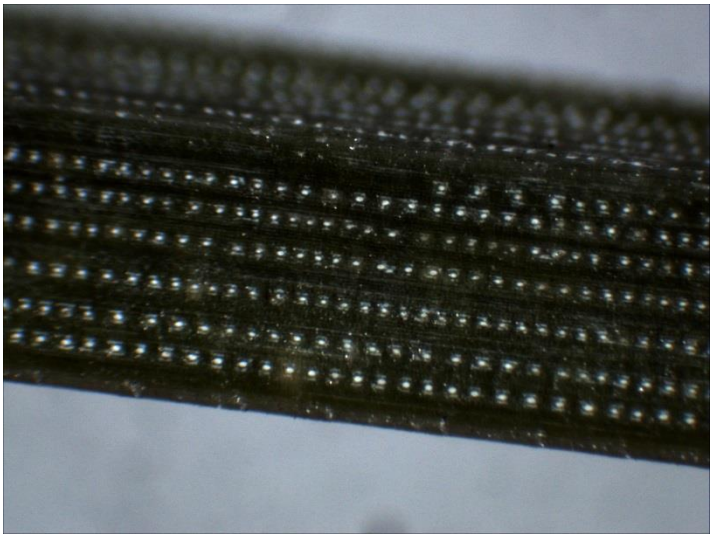
Hängt man eine trockene weißfilzige Tillandsia in die "Nebelkammer" wird sie schnell grün. Der Unterschied trocken / feucht wird besonders deutlich wenn ein Teil eines solchen "Bartes" außerhalb bleibt.

Ein kleiner Hinweis: Die Frontscheibe vorher mit einem nassen Lappen abwischen oder beim Befüllen das warme Wasser breit daran herablaufen lassen.

Wer die Effizienz dieser "Nebelfängers" bestimmen möchte sollte die beiden Abschnitte vorher mit einer Feinwaage auswiegen.

Warum trägt Pinus ponderosa Nadelstreifen?

Die nordamerikanische Gelb-Kiefer (Pinus ponderosa) trägt lange dünne Nadeln. Mit der Lupe erkennt man dass sie helle "Nadelstreifen" trägt.



Die Oberfläche der bis zu 30 cm langen und 1 - 2 mm dicken Nadeln der Gelb-Kiefer sind von parallelen Längsrillen durchzogen. Die dazwischen liegenden Leisten tragen Reihen feiner wachsartiger Noppen.
(Foto Ingo Mennerich)

Die in den Nebelwäldern Teneriffas und Gran Canarias beheimatete Kanarische Kiefer (Pinus canariensis) ist dafür bekannt mit der gesammelten Oberfläche ihrer bis 27 cm langen Nadeln mit jährlich 2030 mm/qm das Vierfache (!) der normalen, auf entwaldete Flächen fallenden Niederschlag von 510mm/qm einsammeln kann (R. M. M. Crawford, Plants at the Margin: Ecological Limits and Climate Change).

https://treshabarger.files.wordpress.com/2014/01/fog-droplets.jpg?w=493

Im Nebel sammeln die Nadeln die winzigen Wassertröpfchen die sich beim Herabgleiten vereinigen, zunächst noch an den Nadelspitzen hängen um dann herabzufallen.

Sind die Noppen Kondensationspunkte an denen Wasserdampf zu Tröpfchen kondensiert?

Fangen die Noppenreihen die Nebeltröpfchen ein? Begünstigen die Rinnen das Herunterlaufen an der Nadel?

http://static.panoramio.com/photos/large/100924935.jpg

Minustemperaturen und Nebel führen zu Reif an den Nadeln.

Beim späteren Abtauen führt das dem Wurzelraum zusätzlich Wasser hinzu.

Welche Rolle spielen dabei die Noppen und Rillen?

Um zu untersuchen ob die Noppen in luftfeuchter Umgebung die Taubildung unterstützen haben wir Nadeln und nasses Küchenkrepp nebeneinander in verdeckelten Petrischalen gehalten. Dabei war festzustellen, dass sich am Deckel der Petrischale deutlich mehr Kondensat niederschlug als an den Nadeln .

An kalten Wintertagen kann man junge Zweige verschiedener Nadelbäume über einen dampfenden Topf mit heißem Wasser halten und das Absetzen von Nebeltröpfchen beobachten.

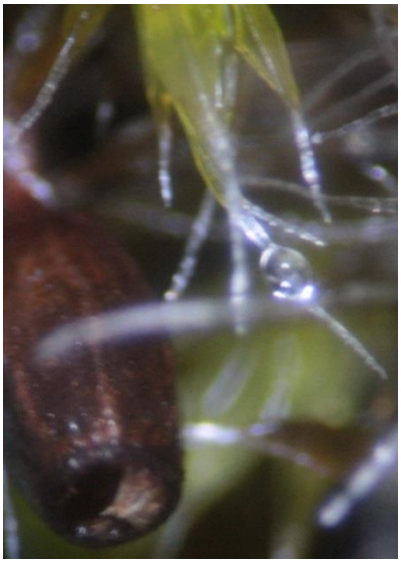
Kann das Polster-Kissenmoos Wasserdampf einfangen?

Forscher der Utah State University haben bei dem in den Wüsten Nordamerikas wachsenden Moos Syntrichia caninervis beobachtet wie die Pflanze mit Hilfe ihrer an den Spitzen sitzenden Glashaare Wasserdampf in flüssiges Wasser verwandelt. Syntrichia caninervis nutzt diese Glashaare, die auch eine Reihe anderer Funktionen haben könnten als Kondensationspunkte. Diese Entdeckung im Jahre 2016 wurde von einer Reihe von Fachzeitschriften dokumentiert.

Quelle: This Desert Moss Has Developed the Ultimate Water Collection Toolkit www.usu.edu

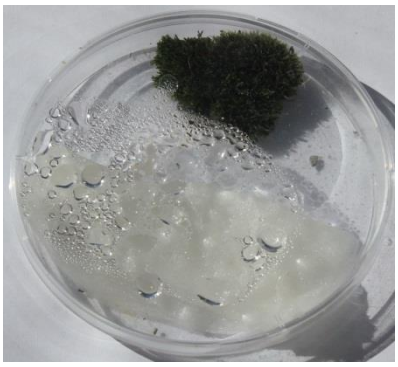
Quelle: https://www.youtube.com/watch?v=wwEE4fqYq7A

Syntrichia caninervis (oder Tortula caninervis) ist auch in der Schweiz heimisch in Deutschland aber offensichtlich nicht. Einem bei uns häufigen nahen Verwandten, dem Mauermoos (Tortula muralis) sagen DÜLL und DÜLL-WUNDER die Fähigkeit der "Tau- und Nebelkondensation" nach. Das gilt auch für Grimmia pulvinata, das Poster-Kissenmoos (s.u.).
Wissenschaftler der Brigham Young University in Utah haben ein Video ins Netz gestellt bei dem zu beobachten ist wie künstlicher Nebel zum Absetzen von Tröpfchen auf den Glashaaren und zur schnellen Weiterleitung des Wassers zur Blattbasis erfolgt.


Kissenmoos, Glashaar mit Wassertropfen
Foto: Ingo Mennerich

Das in Deutschland weit verbreitete und aufgrund seiner polster-artigen Wachstums und seiner silbrig glänzenden Haare leicht zu erkennende Kissenmoos (Grimmia pulvinata) wächst oft konkurrenzlos auf leicht austrocknenden Substraten, im Schulbiologie-zentrum z.B. auf den Waschbetonkanten unserer Frühbeete. Möglicherweise handelt es sich auch um das kalktolerantere Grimmia orbicularis? Grimmia erträgt völliges und langandauerndes Austrocknen, sieht dann tot aus und ergrünt bei Befeuchtung so schnell dass dieser Prozess mit bloßem Auge zu beobachten ist. Setzt man ein ausgetrocknetes Polster in eine nebelige Umgebung, beispielsweise in eine Duschkabine in die bei geöffnetem Fenster kalte Luft einströmt fangen die Glashaare viele der in der Luft schwebenden Tröpfchen ein. Man kann es natürlich auch vorsichtig über einen Topf mit kochenden Spaghetti halten wobei es sich empfiehlt, das Moos vorher auf Kühlschranktemperatur zu bringen. Nicht in erster Linie weil es sonst durch die Hitze Schaden nehmen würde sondern weil sich Nebel an kalten Oberflächen bekanntlich am leichtesten niederschlägt.

Ist das Kissenmoos aber auch in der Lage gasförmiges Wasser kondensieren zu lassen, also zur Taubildung geeignet? Ein einfaches Experiment gibt Antwort darauf:



Ein Stück Moospolster wird auf die eine Seite einer Petrischale gegeben. Auf der anderen Seite liegt ein Stück zusammengefaltetes und stark angefeuchtetes Stück Küchenkrepp. Dabei ist darauf zu achten, dass der Schalenboden rund um das Moos trocken bleibt und dass sich das über dem Küchenkrepp am Deckel niederschlagende Kondensat nicht auf den Bereich über dem Moospolster ausweitet. Nach einiger Zeit öffnen sich die Moosblättchen, das Polster wird grün und unter dem Binokular ist zu sehen dass sich die kleinen Kelche mit Wasser gefüllt haben. Mit etwas Glück sieht man auch Tröpfchen an den Glashaaren.

Nebelkammer mit Nebeldüsen aus der Bewässerungstechnik

http://www.tgb-kevelaer.de/assets/galleries/55/Benebelung-in-Betrieb.jpg

Die oben dargestellte "Nebelkammer" zeigt besonders anschaulich wie Wolken entstehen. In Bezeug auf die Anzahl der Tröpfchen ist sie aber sehr effektiv.
Glücklicherweise gibt es zum Kühlen und Feuchthalten von Gewächshäusern Nebeldüsen die Wasser unter Druck in Mikrometergroße Tröpfchen zerteilen und diese fein versprühen.

Im Gartenbau verwendete Anlagen werden in der Regel mit hohem Druck gefahren was in der Schule nicht möglich ist. Es gibt für den Hobbybereich aber auch Nebelsprüher die mit dem in unseren Haushalt üblichen Drücken arbeiten.

(Fotos: Gardena)

Die Komponenten einer solchen Anlage kann man für relativ wenig Geld käuflich erwerben und auf sehr einfache pflanzliche, tierische und technische "Nebelfänger" auf ihre Funktion und Effizienz testen.

Mit einer motivierten Gruppe kann man eine solche "Nebelkammer" aus Gartentechnikkomponenten selbst bauen.

Nebeldüse (Gardena)

Foto: Lerch-Raumklima

Eine einfache Lösung wäre auch ein Ultraschall-vernebler, hier ein Gerät für die Reise bei dem nur eine Plastikflasche hineinzuschrauben ist.

"Nebelfänger" nach Naturvorbildern

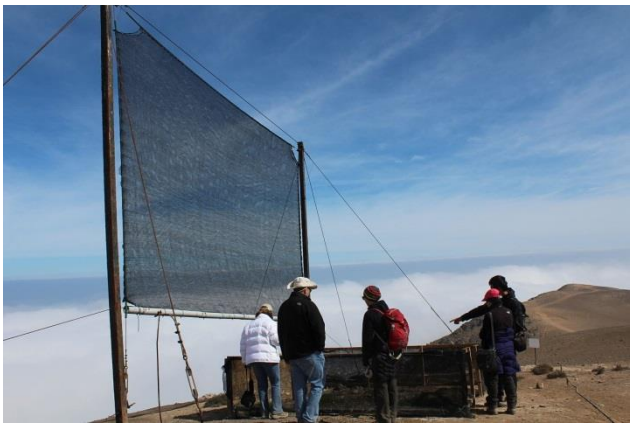
Eine mögliche technische ("bionische") Umsetzung besteht darin, mit speziellen Netzen in trockenen Gebieten in der Nacht Kondenswasser aus der Luft zu gewinnen und es als Trinkwasser nutzbar zu machen. Auch hier eröffnet sich ein weiteres großes Feld zum Forschen…

Damit das Einfangen von Nebel funktioniert sollten die Kondensationsflächen eine große Oberfläche haben, wasserabweisend und so gestaltet sein, dass das herablaufende Kondenswasser in Behältern gesammelt werden kann.

Dies erfüllen große, engmaschige Netze aus hygroskopischem Kunststoff, z.B. Polypropylen.

Bau eines Nebelfängers als Entwicklungsprojekt
http://www.stiftung-muenchen.org/fileadmin/files/projekte/enactus/enactus-Nebelfaengerbau-in-Werkstatt.jpg

Nebelfänger eines Dorfes in Kolumbien
Quelle: Fundacion Un Alto en el Desierto



Nebelfänger in den chilenischen Anden
https://de.wikipedia.org/wiki/Atrapaniebla#/media/File:Atrapanieblas_en_Alto_Patache.jpg

Die Anzahl der Nebeltage in Hannover ist wohl zu gering um daraus ein im Unterricht vorführbares großes Bionik-Projekt zu machen.

In einer selbstgebauten Nebelkammer kann man aber testen in wie weit sich die das Material und die Maschenweiten dieser Netze auf den Ertrag auswirken.

"Nebelkondensation" bei Wikipedia

Hinweis: Der Begriff "Nebelkondensation" ist widersprüchlich, handelt es bei Nebel doch bereits um auskondensiertes tropfenförmiges Wasser. Das englische "Fog Drip" trifft den Sachverhalt besser!

In den küstennahen Bergregionen von Chile und Peru ist die Technologie des Nebelfängers (spanisch Atrapaniebla, zusammengesetzt aus *atrapar/fangen* und *niebla/Nebel*) akzeptiert und findet entsprechende Anwendung.

In dem chilenischen Fischerdorf Chungungo der Atacama-Wüste deckten die Bewohner seit 1992 fast ihren gesamten Wasserbedarf nach dem Prinzip des Nebelfängers. Forscher hatten dort in eine Erprobungszeit

von 5 Jahren auf ca. 750 Meter über dem Meeresspiegel 75 Netze aus Polypropylen von je 2 Meter Länge und 4 Meter Breite aufgespannt. Je nach Nebellage wurden zwischen 10 und 100 m³ Wasser in guter Qualität am Tag aufgefangen, das über Rohrleitungen zum Dorf geführt wurde. Jedem der 330 Einwohner stand damit eine durchschnittliche Wassermenge von 35 Litern zur Verfügung. Die Kosten für die Nebelwasseranlage betrugen 65.000 Dollar. Vor dieser Zeit musste das Wasser per Lastwagen zum Dorf gebracht werden, wobei ein Einwohner mit 14 Litern am Tag auskommen musste (in Deutschland liegt der Verbrauch von Trinkwasser bei 122 Liter Wasser pro Person und Tag, Stand 2011). Seit 2002 wird das Dorf wieder mit Tankwagen versorgt.[18][19]

Pflanzen aus dem Schulbiologiezentrum Hannover

Das Schulbiologiezentrum kann Ihnen zu diesem Thema unter vielen anderen folgende Pflanzen zur Verfügung stellen:

Kalanchoe daigremontianum	Brutblatt
Kalanchoe beharensis	Elefantenohr
Peperomia spec.	Verschiedene sukkulente Zwergpfeffer-Arten
Tillandsia usneoides	Bartflechten-Bromelie
Pinus ponderosa oder Pinus jeffreyi	Gelb- / Jeffrey-Kiefer
Verschiedene Moose, z.B. Grimmia pulvinata	Polster-Kissenmoos

Ingo Mennerich, Schulbiologiezentrum Hannover, August 2016