



## Schulbiologiezentrum Hannover

Vinnhorster Weg 2, 30419 Hannover

Tel: 0511-16847665/7

Fax: 0511-16847352

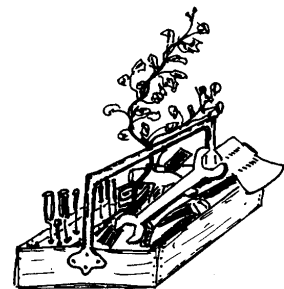
email: schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de

Hannover

### Unterrichtsprojekte Natur und Technik

#### 19.58

Zur Nachahmung bei Führungen  
in botanischen Gärten



### Botanische Physik aus dem Rucksack: Ein Führer durch die Physik eines Tropenhauses

Physik im Botanischen Garten? Muss das denn jetzt auch noch sein?

Physik, das klingt in den Ohren vieler nach komplizierten formelhaften abgehobenen Systemen die außerhalb der belebten Welt der Biologie angesiedelt sind und die man eben deshalb tunlichst den Physikern überlässt. Umgekehrt sind für manche der in der Biologie beheimateten Betrachter Pflanzen und Tiere eine in sich geschlossene und sich selbst erklärende Welt. Die wenigsten Biologen sind im Nebenfach Physiker oder umgekehrt obwohl es natürlich auch Biophysiker gibt. Braucht die Biologie also die Physik? Braucht die Physik die Biologie? Kann sie in der Botanik nur hilfreich sein oder ist das Hinüberschauen über den fachlichen Tellerrand ein absolutes Muss?

Fundamentalisten in der Physik wird das Argument einfallen, dass sich lebende Systeme nach stofflichen physikalischen Gesetzmäßigkeiten organisieren und das die Biologie nur beschreibt wofür die Physik die Voraussetzung liefert, kurz, dass die Biologie nur eine äußere Erscheinungsform der physikalischen Welt ist. So weit wollen wir nicht gehen. Aber es ist notwendig, Phänomene und sich daraus ergebene Fragestellungen fachübergreifend anzugehen.

Eins ist klar: Bei einem Besuch des Botanischen Gartens beginnt die Physik spätestens beim Eintritt in das Tropenhaus. Da beschlägt die Brille oder es wird einem ganz anders warm als zu Hause an der Heizung. Da hilft der reichlich abgegebene Schweiß nicht. Ein Griff in ein Wasserbecken mag die Hände kühlen, überraschend ist aber, dass es genau so warm ist wie die Umgebung. Regen kühlt, aber sind die Tropfen wirklich kühl...?

Einfache, fast selbstverständliche Dinge, die beim näheren Nachdenken so leicht gar nicht zu erklären sind. Zusammenhänge die, wenn man sie lehrt, leicht in Vergessenheit geraten, die aber, sobald sie durch eigenes Tun ausprobiert, zu nachhaltigen Erfahrungen werden. Es geht dabei um das spielerische Einüben einer wissenschaftlichen Methode die, ausgehend von als Problem empfundenen Fragen über das gezielte Ausprobieren zu Ergebnissen kommt.

Die hier vorgestellten „Stehgreifexperimente“ zeigen einige physikalisch-biologische Zusammenhänge und bieten Erfahrungen, die sich auf die Alltagswelt übertragen lassen. Als Beispiel sei die nasse richtig aufgehängte und nicht zerknüllt im Waschkorb liegende Wäsche genannt. Der Kaktus „wusste“ schon um das Oberflächen-Volumen-Verhältnis lange bevor es Wäscheklammern gab. Das Tropenhaus wird mit geringen Mitteln zum „Experimentarium“, dass Spiel- und Spaßbezogenen Möglichkeiten zum unkomplizierten Ausprobieren schafft, noch fern von jeglicher Theorielastigkeit.

Das vorgeschlagene Experimentiermaterial füllt einen leichten Rucksack, ist leicht beschaffbar und einfach zu verwenden.

Bitte verstehen Sie diese Anregungen nicht so, dass Sie alle angesprochenen Dinge in einem Durchlauf „abhaken“. Greifen Sie aus den Vorschlägen heraus, was Ihnen nützlich, machbar und sinnvoll erscheint und lassen alles andere weg. Und verstehen Sie den „Rucksack“ als Anregung, eigene Ideen zu entwickeln und auszuprobieren. Ihr Rucksack wird sich im Laufe der Zeit zu Ihrem ganz unnachahmlichen Begleiter entwickeln. Er muss der Situation und den Bedürfnissen angemessen sein und – wie ein richtiger Rucksack – zu Ihnen selbst passen.

Wir – das Schulbiologiezentrum Hannover – wäre Ihnen dankbar, wenn Sie uns Ihre Erfahrungen und Ideen mitteilen würden denn...

...der Rucksack bleibt offen für Neues! Das gilt auch für uns.

### **Beschlagene Brillen...**

Eine häufige erste Erfahrung im Warmhaus eines botanischen Gartens ist dass die Brillen beschlagen. Bitte, nicht gleich abwischen! Die **Lupe** zeigt, dass der Beschlag aus winzigen Wassertropfen besteht. Mit dem **Infrarotthermometer**, das berührungsloses Messen ermöglicht lässt sich leicht feststellen, dass die Brille kälter ist als die Umgebung. Sie hat gewissermaßen die Kälte von draußen „hineingeholt“. Der Beschlag verschwindet sobald die Brille die Umgebungstemperatur angenommen hat.

Beschlagene Brillen führen uns auf eine unsichtbare, für die Pflanzen aber über Leben und Tod entscheidende Tatsache: Luft enthält Wasser (Wasserdampf).

Ein **Marmeladenglas** mit Schraubdeckel, mit Wasser gefüllt und vorher draußen vor der Tür „geparkt“ macht den Effekt noch deutlicher. Das Glas scheint zur Verblüffung (fast) aller Wasser „auszuschwitzen“. Ist das Glas undicht geworden? Sinkt der Wasserstand im Glas? Natürlich nicht, aber das kalte Wasser im Glas führt zur Kondensation des im Warmhaus enthaltenen Wasserdampfs. Wenn wir den Temperaturunterschied genau erfassen wollen, brauchen wir ein **Thermometer**.

Mit einem **Marmeladenglas** und einem **Thermometer** lässt sich genau feststellen, wie viel Wasserdampf in der Luft enthalten ist. Dazu bedarf es **Eis**, dass sich in einer gut isolierenden **Thermoskanne** gut hält. Füllen Sie ein Glasgefäß mit Wasser das etwa Umgebungstemperatur haben sollte. Geben Sie nach und nach Eis hinzu und messen Sie gleichzeitig die Temperatur. Irgendwann, meist ziemlich plötzlich, beschlägt das Glas.

Die jetzt gemessene Temperatur ist der Taupunkt, ein Schlüsselbegriff in der Meteorologie: Bei großer Temperaturdifferenz zwischen Taupunkt und Umgebungstemperatur ist die relative Luftfeuchtigkeit niedrig, andernfalls natürlich hoch. Der Wert kann 100% erreichen, dann ist die Luft mit Wasserdampf gesättigt und es „nebelt“ (Kondensation, Tröpfchenbildung).

### **Regenwaldklima...**

Puh, ist das warm hier, das ist ja wie im Treibhaus! Wärme mit hoher Luftfeuchtigkeit verbunden wird als unangenehm empfunden, anders als „trockene“ Wärme. Warum ist das so? Abgesehen davon, dass der hohe Wasserdampfgehalt der Luft das Atmen erschwert kann der Schweiß auf der Haut nicht verdunsten und seine Funktion, durch Verdunstungskälte Körperwärme abzuführen nicht erfüllen.

Eine **Plastiktüte** mit einem **Gummiband** über eine Hand gezogen zeigt nach kurzer Zeit, dass der Schweiß auf der Haut „kleben“ bleibt. Die andere Hand bleibt relativ trocken.

Überlassen wir einen Wassertropfen, mit einer **Pipette** oder am Finger hängend auf einen **Objektträger** oder ein übertragen, eine gewisse Zeit sich selbst. Selbst wenn der Tropfen flach auf der Unterlage ausgestrichen wurde wird es bei hoher Luftfeuchtigkeit lange Zeit brauchen, bis der verdunstet ist. Die Temperatur allein verwandelt Wasser nicht in Wasserdampf, entscheidend ist, welche Mengen Wasser die Luft überhaupt aufnehmen kann. Das hängt natürlich mit der Temperatur der Luft zusammen. Je wärmer die Luft, desto größer ihre Wasserdampfkapazität. Und entscheidend ist natürlich, wie „satt“ die Luft schon ist.

### **Wo bleibt das verdunstete Wasser?**

Das **Marmeladenglas** wird mit etwas heißem Wasser gefüllt. Mit einem kleinen **Metallbecher** und einer **Kerze (Streichhölzer nicht vergessen!)** gelingt das Erhitzen auch im Stehgreif. Stellen wir das verschlossene Glas ins Freie. Nach einiger Zeit ist die Innenseite beschlagen und am Deckel hängen Tropfen die, groß genug geworden, in den See am Boden zurückfallen.

Damit ist mit wenigen Hilfsmitteln der Wasserkreislauf in der Atmosphäre geklärt: Wasser: Wärme führt zur Verdunstung, Kälte lässt den entstandenen Wasserdampf kondensieren. Da das heiße Wasser selbst erzeugt wurde und das – nachher – kalte Glas befühlt werden kann wird dieser Zusammenhang schnell begreiflich.

Das verdunstete Wasser ist also nicht weg. Es ist nur – vorübergehend – anders. Und es wird dann zurück in ganz normales Wasser verwandelt.

### **Noch einmal Verdunstung:**

Tauchen Sie zwei trockene und sonst identische **T-Shirts** ganz ins Wasser. Sind beide gleich voll gesogen und gleich schwer? Lassen Sie das eine – ohne Wasser heraus zu drücken! - zu einem Ball formen. Das andere wird mit **Wäscheklammern** an einer schnell gespannten **Wäscheleine** aufgehängt. Jeder, der schon einmal mit Wäsche zu tun gehabt hat weiß, das nasse Hemden aufgehängt werden müssen. Nur so kann das Wasser verdunsten. Die Oberfläche des zusammengeknüllten T-Shirts lässt das nicht zu („Da kommt keine Luft dran“). Mit zwei gleich großen und saugfähigen Blättern **Papier** kommen wir zum selben Ergebnis.

Botanisch gesehen haben wir den Grund dafür gefunden, dass der klassische Kaktus rund ist. Durch Reduktion der Oberfläche wird die Verdunstung stark reduziert. In der heiß-trockenen trockenen Luft mit ihrem großen Aufnahmevermögen für Wasserdampf ist das eine Überlebensstrategie.

Ein ganz einfacher Versuch demonstriert den Zusammenhang noch einmal: Geben Sie zwei am Finger hängende Wassertropfen in zwei offene **Petrischalen**. Die Tropfen sollten gleich groß sein. Streichen Sie den einen der beiden Tropfen flach auf dem Boden der Schale aus. Nach kurzer Zeit ist das ausgebreitete Wasser verdunstet während der Tropfen kaum kleiner geworden ist.

### **Verdunstung schafft Kälte**

Etwas **Aceton** mit der **Pipette** auf die Haut gebracht führt zu einem merklichen Kältegefühl. Tauchen Sie den Messfühler des **Digitalthermometers** in das Acetonfläschchen und ziehen sie ihn schnell heraus. Die Temperatur fällt um mehrere Grad unter die Umgebungstemperatur und steigt dann langsam wieder an. Das Aceton am Messfühler ist verschwunden.

Auch ein mit Wasser getränkter **Tafelschwamm** zeigt das Phänomen der Verdunstungskälte, unter der Voraussetzung natürlich, dass die Luft nicht gesättigt ist und Verdunstung möglich ist. Der auf den Schwamm gelegte Messfühler macht deutlich, dass sich die unmittelbare Umgebung stark abkühlt.

Blätter haben eine – unfreiwillige - ähnliche Funktion. Sie lassen Wasser verdunsten und kühlen den Wald.

### **Blätter verdunsten Wasser**

Tradescantia, eine krautige, den Boden südamerikanischer Regenwälder bedeckende Pflanze, eignet sich unter besonders gut um die Verdunstung durch die Blätter zu untersuchen.

Geben Sie einige Blätter in das trockene Marmeladenglas. Nach kurzer Zeit beschlägt die Innenseite des Glases. Die Blätter enthalten also Wasser. Aber auf welche Weise dringt es nach außen?

Ein einfaches „Mikroskop“, im Stehgreif hergestellt aus einem **Objektträger** und einem mit der **Pipette** aufgetragenen Wassertropfen zeigt die Spaltöffnungen auf der Unterseite des Blattes. Das gelingt besonders gut mit einem Klebstoffabzug der folgendermaßen hergestellt wird: Streichen Sie mit dem Finger etwas Klebstoff (UHU-hart, UHU) auf der Blattunter- und Blattoberseite aus und warten Sie, bis er trocken ist. Der transparente Klebstofffilm lässt sich leicht mit dem Fingernagel vom Blatt lösen und zeigt die Zellgrenzen und – nur auf der Blattunterseite – die von Schließzellen umgebenen Spaltöffnungen.

Ein Modellversuch zeigt den Mechanismus des Wassertransports in Leitbündeln: Dazu brauchen Sie ein mit Wasser gefülltes **Reagenzglas**, ein langes **Pipettenröhrchen** und ein saugfähiges **Papierhandtuch**. Drehen Sie eine Ecke des Papierhandtuchs zu einem Docht zusammen, der möglichst tief in das Pipettenröhrchen gesteckt werden kann. Tauchen Sie das Röhrchen vollständig ins Wasser ein und stecken Sie das Tuch – so dass nur der Docht nass wird - in das Röhrchen. Das Tuch wird das Wasser aus dem Röhrchen saugen. Deutlich wird das durch auf dem Tuch voranschreitende „Wasserfront“ . Nach einiger Zeit sinkt auch der Wasserpegel im Reagenzglas.

Je größer die Oberfläche des Tuchs, desto schneller verdunstet das Wasser. Anknüpfend an die Überlegungen zum korrekt aufgehängten, nassen T-Shirt, kann parallel ein zweiter Versuch angesetzt werden, bei dem ein großer Teil des Papiers abgerissen wird. Oberflächenreduktion ist eben ein guter Verdunstungsschutz.

Ein **Reagenzgashalter** ist nützlich, wenn mehrere Besucher „ihren“ Versuch ansetzen wollen. Ersatzweise kann man auch mehrere Löcher von der Breite eines Reagenzglases in ein passendes Stück **Kantholz** bohren.

Ohne Verdunstung steigt das Wasser kaum bis in die Baumkronen der das Tropenhaus bevölkernden Gummibäume, Bejamins oder Palmen die meist nur kleine „Schwestern“ der im Freiland nach oben unbegrenzt wachsenden Verwandten sind. Wenn es ihnen gelingt, statt des Pipettenröhrchens einen transparenten **Aquarienschlauch** zum „Leitbündel“ zu machen kann jeder sehen, welche Höhen eine Wassersäule erreichen kann, ohne abzureißen. Binden Sie den ganz mit Wasser gefüllten, in einem mit Wasser gefüllten Gefäß stehenden und mit dem „Handtuchpapierblatt“ versehenen Schlauch an einem Baum fest. Das Wasser stiege bis auf 11 m Höhe, es darf nur keine Luft eindringen.

### **Träufelspitzen**

Die Spitze an der Tülle einer Teekanne ist eine Erfindung der Natur, milliardenfach vorgemacht durch die Blätter im Regenwald. Reißen sie einige Träufelspitzen ab und beregnen Sie die Blätter. Das Wasser staut sich oft am Rand des Blattes und bildet einen Wulst. Lassen Sie die Besucher mit viereckigen Platten aus Plastik spielen die kurz ins Wasser getaucht werden. In flachem Winkel gehalten, läuft das Wasser nur über die Ecken ab und zieht die Wülste an den Rändern hinter sich her. Wasser ist anders als Sand, das zeigt schon der am Finger hängende Tropfen.

### **Treibhauseffekt**

Autofahren soll dem Klima schlecht bekommen und der Begriff des CO<sub>2</sub>-bedingten Treibhauseffekts ist in aller Munde. CO<sub>2</sub> ist der Stoff, aus dem die grüne Pflanze im Sonnenlicht Zucker und Stärke herstellt und der über die Nahrungskette weitergegeben im Fleisch und daher auch in uns steckt. Insofern ist CO<sub>2</sub> nichts böses. CO<sub>2</sub> ist, einer Glasscheibe gleich, kein Hindernis für Sonnenlicht, soll aber dadurch, das es von langwelliger Wärmestrahlung getroffen, in Schwingungen gerät, verantwortlich dafür sein, dass die Gegenstrahlung der Erde die Atmosphäre nicht verlassen kann. Demnach könnte es wärmer werden auf unserem Planeten. Ob das aber tatsächlich so ist und welche Konsequenzen ein steigender CO<sub>2</sub>-Spiegel für das globale Klima hat ist nicht unumstritten.

Der Vorschlag, CO<sub>2</sub>-haltige (beispielsweise ausgeatmete) Luft in ein geschlossenes Glasgefäß zu geben, dieses in die Sonne zu stellen und zu schauen ob es sich im Vergleich zu einem mit „normaler“ Luft gefüllten Gefäß stärker erwärmt führt zu keinem messbaren Unterschied. Und dass, obwohl der CO<sub>2</sub>-Konzentration um ein Vielfaches höher ist als die der Atmosphäre und im zweiten Glas. Eins lässt sich aber leicht feststellen: In beiden Gläsern wird es warm, das Glas selbst führt zum „Treibhauseffekt“. Glas lässt langwellige Wärmestrahlung nur schlecht passieren. Die Wärme im Treibhaus ist – und dass ist anders als in der Lufthülle - in erster Linie ein Ergebnis der unterbundenen Luftzirkulation. Macht man den Deckel auf sinkt die Temperatur auf das Normalmaß zurück.

Für den folgenden Versuch brauchen Sie mindestens zwei große **Einmachgläser** mit **Glasdeckel**, schwarz eingefärbte **Getränkedosen** (sofern Sie noch welche finden!) und **Thermometer**. Stellen Sie die Dose in das Glas, legen Sie den Deckel darauf und bringen das ganze in die Sonne. Nach einiger Zeit wird die Dose richtig heiß. Die Temperatur, mit dem **Infrarotthermometer** gemessen, kann dabei über 60 °C liegen. Wenn Sie die Dose ins Glas stellen und dieses in ein größeres Glas kann die Temperatur noch höher liegen.

## Wasser auf unserem Planeten

Wird es auf der Erde so heiß? Wenn ja, dann fernab der Meere in Wüstengebieten und nur dort, wo die Sonne mehr oder weniger senkrecht einstrahlt. Über dreiviertel unseres Planeten ist mit Wasser bedeckt. Man kann den aufblasbaren **Globus** so drehen, dass man fast nur Wasser sieht. Wasser ist aber auch in der Luft, im Boden, in Pflanzen und auch in uns. Und Wasser hat eine Reihe ganz besonderer physikalischer Eigenschaften ohne die das Leben auf der Erde gar nicht entstranden wäre. Dazu gehört seine große Wärmekapazität. Um Wasser zu erwärmen bedarf es fast der sechsfachen Energie die nötig ist um ein gleiches Volumen Luft um den gleichen Betrag zu erwärmen (4187 J für Wasser und 715 J für Luft bei konstantem Volumen).

Füllen Sie eine der von zwei schwarz gefärbten **Getränkedosen** mit Wasser und stellen Sie sie in die Sonne. Sie wird lange nicht so heiß wie ihr leerer „Bruder“ der genau so viel Sonne abbekommt. Wasser braucht länger um warm zu werden und „kühlt“ so die Dose. Die leere heiße Dose wird allerdings schnell kalt sobald man sie aus der Sonne nimmt. Wasser dagegen bleibt lange warm.

Der kleine Stehgreifversuch macht deutlich, warum man in der Sahara erfrieren kann und im Regenwald auch Nachts kaum Luft bekommt. Er zeigt, warum es auf Helgoland eigentlich keine Eishockeymannschaft geben sollte der deutsche Kältepol eher im Süden liegt. Er zeigt aber auch, dass eine Erde ohne Wasser unerträglich heiß wäre.

## Temperatur ist nicht gleich Temperatur...

Sollte jemandem zu warm werden, kann er die Hände in einen mit Wasser gefüllten **Eimer** tauchen. Das kühlt, werden alle übereinstimmend sagen. Überraschend fällt die Messung der Temperatur aus: Das Wasser hat nach längerem Stehen die Umgebungstemperatur angenommen, ist also genau so warm wie die Luft. Es wird aber kälter empfunden. Wer badet schon bei 15° Wassertemperatur? Bei 15°C Lufttemperatur werden die T-Shirts aus dem Schrank geholt.

Ein kleines Experiment hilft weiter: Füllen Sie mehrere **Filmdosen** mit heißem Wasser aus einer mitgebrachten Thermoskanne. Geben Sie einige davon in den **Wassereimer** und stellen Sie die anderen daneben. Die Filmdosen sind „Stellvertreter“ für Menschen die sich im Wasser oder an der Luft aufhalten. Das kleine Wasservolumen bei relativ großer Oberfläche führt zum schnellen Temperatúraustausch so dass sich das Ergebnis schnell einstellt. Im Wassereimer haben sich die Filmdosen stärker abgekühlt als an der Luft. Wasser entzieht uns viel mehr Wärme als es die Luft tut. Physikalisch formuliert: Die Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit des Wassers ist viel größer als die der Luft. Die in der Filmdose enthaltene Wärme wird so lange an die kühlere Umgebung abgegeben bis ein Ausgleich hergestellt ist. Das heiße Wasser in der Filmdose ist also bestrebt, die Umgebung aufzuheizen. Das ist im Falle des Wassers mit einer höheren Energieinvestition verbunden, weil das Wasser viel Wärme „wegsteckt“. Diese Energie geht der die Umgebung „heizenden“ Filmdose natürlich verloren. Jetzt wird hoffentlich auch klar warum der nachmittägliche Regenguss, typisch für den tropischen Regenwald, einen kühlenden Effekt hat. Die heiße Luft des Vormittags überträgt ihre Wärme auf eine Unzahl Regentropfen die zusammen genommen eine riesige Oberfläche bilden. Ein Teil der Tropfen verdunstet in der Luft oder an den Blättern und schafft Verdunstungskälte. Andere entziehen der wärmeren Luft Energie während sie sich aufheizen. Wir, im Regen nass geworden, werden von einem Wasserfilm überzogen, der uns Wärme entzieht.

## Jahreszeiten und keine Jahreszeiten

Mit einigen gleich großen und schwarz gefärbten **Metallplatten**, einem **Papprohr** und dem aufblasbaren **Globus** lässt sich leicht begreiflich machen, warum es Jahreszeiten gibt. Es liegt – obwohl oft vermutet – nicht daran, dass wir im Sommer der Sonne näher wären. Denn dann wäre sie größer, was sie – verhältnismäßig leicht feststellbar – nicht ist. Wäre es so dann erlebten wir überall auf der Erde gleichzeitig Sommer oder Winter. Die Australier aber feiern Weihnachten mit Grillpartys am Strand.

Im Sommer steht die Sonne hoch und lange am Himmel, im Winter ist es umgekehrt. Das führt zu unterschiedlichen Einstrahlungswinkeln und unterschiedlicher Strahlungsabsorption.

Stellen Sie die **Metallplatten** in unterschiedlichen Winkeln zur Sonne auf. Die Platte die quer zur Einfallrichtung des Sonnenlichts ausgerichtet ist, wird am wärmsten. Das ist der Grund dafür, dass man den Wein in Deutschland am besten in Hanglage anbaut. Der Rebfläche wird auf diese Weise von mehr Sonnenstrahlen erwärmt als die billigen Lagen in der Ebene.

Wie zählt man Sonnenstrahlen? Sonnenstrahlen lassen sich nicht zählen, physikalisch gesehen gibt es sie auch nicht. Aber mit einem **Papprohr** lässt sich die Querschnittsfläche der Strahlung eingrenzen und zeigen, dass – je nach Ausrichtung – die durch das Rohr fallenden Strahlen eine mehr oder minder große Fläche ausleuchten. Ein hypothetischer einzelner Sonnenstrahl heizt also eine mehr oder weniger große Fläche auf. Eine flach über dem Horizont stehende Wintersonne bringt keine Wärme.

Befestigen Sie zwei der Metallplatten mit etwas Knetmasse auf dem Globus, eine auf der „Nord-“, und eine auf der Südhemisphäre“ der Kugel, im gleichen Abstand vom Äquator. Die Metallplatten stellen zwei Kontinente dar, Nordmetallica und Südmetallica. Stellen Sie den Globus so auf einen Eimer stellen, dass sein „Nordpol“ zum Polarstern zeigt. Der Polarstern steht – auch am Tag – im Norden, der Mittagssonne gegenüber und so viele Winkelgrade über dem Horizont wie die geographische Breite ihres Standorts lautet (Hannover etwa 52°).

Drehen Sie den Globus so, dass die beiden Metallicas der Sonne zugewandt sind. Im Winter wird bei tief stehender Sonne Südmetallica wärmer werden als Nordmetallica, dass das Licht nur aus einem flachen Winkel empfängt. Im Sommer sind die Verhältnisse natürlich umgekehrt, während in den „Übergangsjahreszeiten“ Herbst und Frühjahr beide „Kontinente“ gleich warm werden.

Als Ausgangspunkt für solche Fragen empfiehlt sich eine Pflanze mit senkrecht nach oben zeigenden, dem Sonnenlicht wenig Angriffsfläche bietenden Blättern. *Peperomia dolabriformis* ist eine sukkulente Pflanze südamerikanischer Trockengebiete. Sie hat ein ausgeprägtes „Fensterblatt“ bei dem das bei anderen Vertretern der Gattung flächig ausgebreitete „normale“ Blatt so zusammengewachsen ist, dass die Blattoberseite das Innere und die Blattunterseite das Äußere eines an den Seiten geschlossenen „Sandwichs“ Die „Füllung“ dieses „Hamburgers“ ist eine saftige, glasartig durchscheinende weiche Masse. Der erstaunlich hohe Wassergehalt ist durch Aufreißen eines Blatts leicht zu demonstrieren.

Dass die „Füllung“ erhalten bleibt hat zwei Gründe: Einmal die Blattstellung, die der oft senkrecht stehenden Sonne nur wenig Querschnittsfläche bietet und dann die Blattoberfläche, die fühlbar mit einer wachsähnlichen Haut überzogen ist.

Wenn Sie einen Besucher bitten, ein kleines Blatt **Papier** dick mit einer **Kerze** einzuwachsen und dann aus dem Papier ein nahtloses Gefäß zu formen, können Sie dieses als Trinkbecher benutzen.

### Warum sind Blätter grün?

Im Tropenhaus ist grün die dominierende Farbe. Mit einer **Reibschale**, einem **Mörser**, etwas **Sand**, einem **Kaffeefilter**, etwas Wasser und einer **Küvette** (ersatzweise auch das Marmeladenglas) stellen Sie leicht eine Chlorophylllösung die Sie auf ihre Absorptionseigenschaften untersuchen können. Zunächst aber zum Sonnenlicht: Eine mitgebrachte **CD** zeigt, dass im Licht der Sonne alle Farben des Spektrums enthalten sind. Wenn Sie große **Pappscheibe**, mit einem schmalen, nicht zu langen und saubere ausgeschnittenen **Spalt** vor die CD halten spreizen Sie das weiße Licht der Sonne zu einem Farbspektrum auf. Der Spalt muss dabei senkrecht zu zum Rand der CD stehen. Mit dieser wohl billigsten Form eines Spektroskops lässt sich zeigen, dass der rote und blaue Anteil unter dem grünen Blätterdach deutlich schwächer als draußen im Sonnenlicht ist. Tatsächlich absorbiert das Chlorophyll vorwiegend im roten und blauen Bereich, am Boden ist das Licht nach dem Durchgang durch viele Blätter dieser Anteile beraubt. Mit Grün kann die Pflanze nichts anfangen, es wird ungenutzt reflektiert.

Legen Sie dicke **Farbfilter** oder mehrere **farbige Folien** auf ein nicht zu dickes Blatt und schauen Sie damit auf die Sonne (Achtung: Auf keinen Fall ohne diesen Schutz in die Sonne blicken!) oder auf eine starke Lampe mit möglichst weißem Licht. Ein Rot- bzw. Blaufilter und das Blatt wird kaum Licht hindurchtreten lassen, das Grünfilter schon.

Damit der Versuch klappt sollten Sie kontrollieren, dass die Filter farbecht sind und nur für den entsprechenden Bereich durchlässig sind.

Zerreiben Sie ein Blatt mit dem Mörser und benutzen Sie die mit der Chlorophylllösung gefüllte Küvette als Grünfilter. Das „Grünfilter“ lässt zusammen mit dem Blau- und/oder Rotfilter kaum Licht hindurch.

### Warum sind Pflanzen in Trockengebieten oft grau?

Graue oder weiße Oberflächen, gebildet aus Haaren oder einer Wachsschicht sind typische Merkmale sukkulenter, um jeden Tropfen Wasser geizender Pflanzen. Helle Oberflächen reflektieren und streuen einen Großteil des einfallenden Sonnenlichts das andernfalls absorbiert („geschluckt“) und in Wärme umgewandelt werden würde. Die Gefahr einer starken Aufheizung wird zusätzlich gemindert, dass unter dem Haarpolster ein eigenes Mikroklima entsteht. In diesem kann der Wasserdampfgehalt höher sein als in der trockenen Umgebung. Ein höherer Wasserdampfgehalt verringert die Verdunstung weil die Luft möglicherweise schon fast „satt“ ist.

Der Zusammenhang zwischen der Oberflächenfarbe und der Aufheizung durch das Sonnenlicht ist mit **unterschiedlich gefärbten Metallplatten** oder **Metaldosen** leicht zu zeigen. Eine weiße Dose wird überhaupt nicht warm. Eine schwarze dagegen ist einige Zeit der Sonne ausgesetzt nur noch mit spitzen Fingern anzufassen. Der Einwand, dass Pflanzen nicht aus Metall bestehen ist berechtigt.

Metall heizt sich aufgrund der geringen Wärmekapazität und dem guten Wärmeleitvermögen schneller auf als pflanzliche Strukturen, von dunklen Rinden einmal abgesehen, weshalb Birken ja auch eine weiße Rinde haben. Sie wären durch die flach stehende, im Sommer rund um die Uhr scheinende subpolare Sonne sonst überhitzungsgefährdet.

Der Effekt eines abgeschlossenen Raumes mit eigenem Mikroklima zeigt sich, wenn Sie zwei Petrischalen mit einem dünnen Wasserfilm benetzen. Aus der offenen Schale verdunstet das Wasser relativ schnell (was natürlich abhängig vom aktuellen Wasserdampfgehalt des Gewächshauses ist!), im geschlossenen Gefäß bleibt der Wasserfilm vollständig erhalten, sofern sich nicht Kondenswasser am Deckel bildet.



## Was „fressen“ die Pflanzen eigentlich?

Unter „fressenden“ Pflanzen verstehen die meisten die so genannten Fleisch fressenden Pflanzen, die die eingefangenen Insekten (daher besser Insektivoren) aber in erster Linie zur Deckung ihres Stickstoffbedarfs brauchen. Stickstoff ist an Standorten wie Hochmooren (Venusfliegenfalle, Sonnentau) oder mitunter auch auf Bäumen (Epiphytische Kannenpflanzen) Mangelware.

Der „Trick“ der grünen Pflanze ist, sich ihr „Essen“ aus Sonnenlicht,  $\text{CO}_2$  und Wasser selbst herstellen zu können. Der Vorgang der Photosynthese, der zum Aufbau von Zucker und Stärke führt und als „Abfallprodukt“ Sauerstoff produziert lässt sich nur unter wenigen Einzelaspekten darstellen.

Zwei wichtige Punkte seien herausgegriffen, die Aufspaltung des Wassers und der Energiegehalt der aufgebauten Substanzen (Stärke).

Mit einem aus mehreren **Solarzellen** bestehenden **Solarmodul**, zwei **Elektroden** aus Draht und einem mit Wasser gefüllten **Glasgefäß** lässt sich zeigen, dass Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) mit der im Sonnenlicht enthaltenen Energie in seine Komponenten Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird. Das Solarmodul sollte mindestens 10 Volt Spannung erzeugen können. Schließen Sie an den positiven (+) und an den negativen (-) Anschluss je einen isolierten Draht an. Die Isolationsschicht des Drahts muss an beiden Enden entfernt werden. Tauchen Sie die beiden freien Drahtenden so ins Wasser ein, dass sie sich fast, aber auf keinen Fall wirklich berühren. Wenn Sonne auf das Solarmodul fällt bilden sich nach einiger Zeit Blasen an den Drahtenden, über der negativen Elektrode weniger als über der positiven. Dass es sich um Wasserstoff und Sauerstoff handelt, lässt sich im Stehgreifversuch nicht nachweisen, hier müssen Sie auf die Kraft Ihre Worte vertrauen. Die Formel  $\text{H}_2\text{O}$  sagt aus, dass das Wassermolekül doppelt so viele Wasserstoff- wie Sauerstoffatome enthält. Über der negativen Elektrode (-) entsteht daher das doppelte Gasvolumen. Es braucht Energie (Sonnenlicht) um die Partner voneinander zu trennen. Diese Energie wird, wenn Wasserstoff und Sauerstoff im 2:1 Verhältnis zusammengegeben und entzündet wird in Form eines lauten Knalls frei (daher „Knallgas“).

Das Ergebnis der Photosynthese ist ein „Sprengstoff“, dem wir den bedeutungsvoll klingenden Namen „SolEnergix<sup>®</sup>“ gegeben haben: Ein zunächst namenloses weißes Pulver, das plötzlich das Interesse aller Besucher auf sich zieht, sobald man es mit einigem „Brimborium“ mit einer Rasierklinge auf einer **Glasscheibe** ausstreicht. Mit einem **Strohalm** in eine **Kerzenflamme** (oder besser in die Flamme eines **Camping-Gaskochers**) geblasen wallt eine kurze Stichflamme auf, die bei geschickter Handhabung durchaus einen Meter hoch werden kann. Das Geheimnis um „SolEnergix<sup>®</sup>“ lüftet sich schnell, wenn sich jemand daran erinnert, dass es beim Pizzabacken oder Brötchen tosten genauso richt. „SolEnergix<sup>®</sup>“ ist eben nichts anderes als **Mehl** (Weizenmehl oder Stärke), möglichst fein ausgemahlen und vorher auf einem Backblech gut verteilt bei etwa  $50^\circ\text{C}$  getrocknet. Auch mit Puderzucker klappt der Versuch. Zucker ist der selbsterzeugte Treibstoff der Pflanzen und, über die Nahrungskette, der Stoff der auch uns am Leben erhält. Stärke ist die polymerisierte Form des Zuckers, so als wären Eisenbahnwaggons (Zucker) zu einem Zug (Stärke) zusammen gekoppelt.

## Wasseraufnahme aus der Luft?

Tillandsia usneoides, ein als „Bartbromelie“ bekanntes Gewächs aus der Familie der Ananasgewächse ist ein typischer Bewohner feucht-tropischer Schauhäuser.

Untypisch aber insofern, als dass diese Pflanze nicht den typischen von Wurzel, Spross und Blättern gekennzeichneten Habitus zeigt. Sie hängt wie ein dichter Bart epiphytisch von Bäumen herab, mit denen sie im Gegensatz etwa zu den Misteln, keinerlei Verbindung aufnimmt. Wurzeln hat die Bartbromelie nicht.

Die Wasseraufnahme erfolgt durch die über die gesamte Pflanze verteilten Saugschuppen, die ihr im trockenen Zustand ein graufilziges Aussehen verleihen. Wird die Bartbromelie mit Wasser begossen geht ihre Farbe augenblicklich in ein saftiges Grün über und ihre Oberfläche wird glatt. Wird sie trockener Luft ausgesetzt (wedeln!) geht sie bald in den ursprünglichen grauen, filzigen Zustand über.

Das „**Wassertropfenmikroskop**“ zeigt deutlich, dass die Blättchen mit den Saugschuppen im trockenen Zustand vom „Spross“ abgespreizt sind und dadurch die löschblattartige Oberfläche vergrößern. Sobald die Blättchen benetzt werden legen sie sich eng an den Spross an. Die nassen Saugschuppen lassen die grünen Blättchen durchscheinen.

Mit einem **grünen Becher**, einem **Kaffeefilter** und etwas **Wasser** können Sie einen Teil des Wasseraufnahmemechanismus verdeutlichen. Legen Sie den Filter in den Becher. Von oben betrachtet ist nicht zu sehen dass der Becher grün ist. Das ändert sich sobald Sie den Filter mit Wasser beregnen. Er wird lichtdurchlässig und die Farbe des Bechers ist so lange gut zu sehen bis der Filter trocken ist.

### **Warum wird der Wassersalat nicht nass?**

Der Wassersalat *Pista stratioides* gehört zu den Aronstabgewächsen. Er schwimmt ähnlich unserer Wasser- und Teichlinsen auf der Wasseroberfläche ohne unter zu gehen.

Ein für die Besucher faszinierendes Phänomen ist, dass er, völlig untergetaucht nicht nass wird.

Auch hier leistet das „**Wassertropfenmikroskop**“ gute Dienste. Leicht zu sehen ist, dass die Blätter des Wassersalats dicht behaart sind. Bei stärkerer Vergrößerung ist zu erkennen, dass die feinen Haare ein Luftpolster einschließen.

Die Oberflächenspannung des Wassers bildet eine „Haut“ um die Haare und das Luftpolster was dazu führt, dass das Wasser nicht unter die Haarschicht dringen kann. Mit etwas **Spülmittel** wird die lockere Bindung der Wassermoleküle an der Oberfläche zerstört mit der Folge, dass das Wasser jetzt die Luftschicht verdrängen kann. Da Waschmittel dafür sorgt, dass das Lösungsmittel Wasser „tiefenrein“ und „porentief“ bis zum Schmutz vordringen kann ist dieser Stehgreifversuch mit einem Blatt Wassersalat sicherlich ein haushaltspraktischer Beitrag zur physikalischen Erklärung alltäglicher Dinge.

### **Warum fallen Pflanzen nicht um?**

Ein Matjesfilet, Kartoffelchips oder – das gilt nur für die Großen – ein Glas zuviel macht Durst. Die Insassen eines Rettungsbootes verdursten unter schlechten Umständen obwohl sie zu viel Wasser umgibt.

Ein Salatblatt wird schlapp und unappetitlich, wenn es zu lange in der Salatsauce gelegen hat und ein Baum ganz krank, wenn man ihn im Winter mit Streusalz „gepökelt“ hat.

Das sind die negativen Seiten der Osmose. Positiv wirkt sich aus, dass die Pflanzen dadurch ihre Stabilität erhalten. Der osmotisch bedingte Turgor drückt so auf die der Zellwand anliegende Zellhaut, dass sich die Zelle „aufbläht“ und der Zellverband etwa so stabil steht, wie eine eng gepackte Menschenmenge in der Straßenbahn, die auch nicht umfallen kann, weil ja jeder den anderen drückt.

Wenn Sie dann etwas **Spülmittel** in ein mit wenig wassere gefülltes **Glasgefäß** geben und mit dem **Strohalm** hineinblasen führt das zu einem Haufen zusammenhängender Blasen, der der Struktur eines Zellverbands schon recht nahe kommt.

Das Phänomen „Osmose“ lässt sich als Sehgreifversuch leider kaum zeigen. Wir haben versucht, eine semipermeable Membran wasserdicht über eine mit Wasser und etwas gelöstem Zucker gefülltes **Filmdose** zu ziehen und haben sie dann in „normales“ Wasser gelegt, vergebens. Als Semipermeable Membran, die Idealerweise nur Wassermoleküle passieren lässt, die im Verhältnis dazu großen Zuckermoleküle aber nicht, haben wir **Cellophan** verwendet. Man sollte auch ein Stück einer gut gewässerten Schweinsblase nehmen können. Eigentlich sollte, wenn die Membran wirklich wasserdicht ist, Wasser in die Filmdose mit der hohen Zuckerkonzentration strömen. So lange, bis die Konzentration der Zuckermoleküle auf beiden Seiten der Membran gleich ist. Dann müsste sich die Membran nach außen wölben und dem Druck Fingers schon etwas Widerstand entgegen setzen. So steht es im Lehrbuch.

In der Praxis gelingt das nur mit einigem Aufwand und erst beim x-ten Anlauf. Schade eigentlich, denn die Osmose muss man erlebt haben, damit man sie begreifen kann. Vielleicht haben Sie mehr Glück dabei!

Als – allerdings unvollständigen - Ersatz sollten Sie einen **Luftballon** in den Rucksack legen. Füllen Sie ihn mit Wasser („Wasserbombe“) dann ist seine Haut auch gespannt.

Wie gesagt, der „Rucksack“ ist offen für Neues, Besseres und vielleicht auch Einfacheres.

Ingo Mennerich  
Schulbiologiezentrum Hannover  
Sylt/Januar 2004

Nachsatz 2011:

Seit Erscheinen dieser Arbeitshilfe 2004 (im Papierformat) haben wir uns auf der Grundlage unseres reichhaltigen Spektrums von im Schulbiologiezentrum kultivierten und frei wachsenden Pflanzen intensiv mit dem Thema „Pflanzen und Klima“ befasst zu dem heute (2011) viel – allerdings noch unveröffentlichtes - Arbeitsmaterial (Pflanzenmonografien, Klimatabellen, Arbeitsmaterial) zusammengetragen worden ist.

Ingo Mennerich  
Schulbiologiezentrum Hannover  
Mai 2011