

LEBEN AUF DEM TROCKENEN

IN DEN TROPENGEWÄCHSHÄUSERN
IN PLANTEN UND BLOMEN

Walter Krohn

Inhalt

DIE TROPENGEWÄCHSHÄUSER IN PFLANZEN UND BLOMEN	5
Die Tropengewächshäuser Plan und Anisichten	8
Leben auf dem Trockenen – Übersicht eines Unterrichtsverlaufs	10
Lebensformen von Wüstenpflanzen	12
Der Extremlebensraum Wüste – Anpassungen an Trockenheit – in Pflanzen und Blumen	13
UNTERRICHT IM SUKKULENTENHAUS	17
Das Sukkulentenhaus – Plan	18
Pflanz enportraits:	
Die Opuntie – <i>Opuntia ficus indica</i>	20
Der Köcherbaum – <i>Aloe dichotoma</i>	23
Der Drachenbaum – <i>Dracaena draco</i>	25
Der Grasbaum – <i>Xanthorrhoea sp.</i>	27
Die Sisal Agave – <i>Agava sisalana</i>	29
Der Goldkugelhaktus – <i>Echinocactus grusonii</i>	31
Die Lebenden Steine – <i>Lithops sp.</i>	32
Das Eiskraut – <i>Mesembryanthemum crystallinum</i>	36
UNTERRICHT MIT DEN PFLANZEN AUS DEM PFLANZENABHOLPROGRAMM	39
Pflanzen aus dem Pflanzenabholprogramm	40
Arbeiten mit den Pflanzen	
Leben auf dem Trockenen – Hypothesenbildung	44
Die Pflanzen für die Unterrichtspraxis	46
Mikroskopieren an der Oberfläche – die Spaltöffnungen	47
Leben auf dem Trockenen – Hypothesenbildung	
Arbeitsauftrag	50
Arbeitsergebnis	51
Haben Pflanzen Spaltöffnungen?	52
Hinweise für das Anfertigen von Zeichnungen	53
Konzept eines Unterrichtsdganges	54
Pflanzengeographie mit Knetmasse – Ein Unterrichtsgang für Klasse 4 - 7	55
Pflanzengeographie mit Knetmasse – Ein Unterrichtsgang für die Overstufe	57
Pflanzenfassung mit Malerei	58
ANPASSUNGEN VON BLÄTTERN AN DAS LEBEN AUF DEM TROCKENEN	61
Wie kann eine Pflanze ohne Wurzeln überleben?	62
Vermutungen über eine unbekannt Pflanze	63
Über <i>Tillandsia usneoides</i>	64
Der Blattaufbau eines Xerophyten	67
Das Eiskraut <i>Mesembryanthemum crystallinum</i>	68
Der Efeu <i>Hedera helix</i>	70
Der Efeu <i>Hedera helix</i> , Schülerinformation	72
Der Efeu <i>Hedera helix</i> , Lehrerinformation	73
Eine Präsentation als „advance organizer“	74

TRANSPARATION	75
Transpiration – Versuche für den Unterricht. Eine Auswahl	76
Die „Analysespinne“ zur Auswahl von Modellversuchen	81
Demonstration und Modellversuche zur Transpiration – eine Auswahl	82
Modellversuch zur Isolierung von Variablen	83
Modellversuch zu Wassertransport und Transpirationssog	84
Der Aufbau eines Modellversuchs zu Wassertransport und Transpirationssog	85
DIE TEUFELSKRALLE	86
Leben auf dem Trockenen – Biodiversität, Biopiraterie und Vorteilsausgleich – Beispiele aus Südafrika	87
„Teufelskralle goes public“	88
Materialien	91

ANHANG AUF CD

Impressum:

Herausgeber: Grüne Schule
im Botanischen Garten
der Universität Hamburg,
Behörde für Schule
und Berufsbildung,
Landesinstitut für Lehrerbildung
und Schulentwicklung
Referat Mathematisch-natur-
wissenschaftlich-technischer
Unterricht (LIF 16)

Alle Rechte vorbehalten.
Jegliche Verwertung dieses
Druckwerkes bedarf –
soweit das Urheberrechtsgesetz
nicht ausdrücklich Ausnahmen
zulässt – der vorherigen
schriftlichen Einwilligung
des Herausgebers.
Behörde für Schule
und Berufsbildung,
Amt für Bildung, Hamburg

Gestaltung:
Ingrid Lempp
Kultur-Dokumentation, Hamburg

Druck:
Hans Steffens
Graphischer Betrieb GmbH
Hamburg

Die Tropengewächshäuser in Pflanzen und Blumen



Die Tropengewächshäuser in Pflanzen un Blumen

Die Tropengewächshäuser in Pflanzen un Blumen stehen an einem historisch und aktuell ganz besonderen Ort. Schon 1821 stellte der Hamburger Senat am Dammtor eine Fläche der militärtechnisch überflüssig gewordenen Befestigungs- und Wallanlagen für einen Botanischen Garten zur Verfügung.

Gründer war der damalige Botaniker und Professor am Akademischen Gymnasium Johann Georg Christian Lehmann (1792 -1860) Sein botanisches Autorenkürzel ist „LEHM.“ Er pflanzte am 6. November 1821 eine Platane zum Gedenken an die Gründung des Botanischen Gartens. Und dieser Baum ist noch heute hinter den Tropengewächshäusern Richtung Eingang Dammtor zu sehen.

Die wechselhafte Geschichte des Geländes an den Wallanlagen ist eng verknüpft mit einer Reihe von Gartenbauausstellungen. Mit der Niederdeutschen Gartenschau 1934/1935 ließ der Gartenarchitekt Karl Plomin die Parkanlage am Dammtor neu gestalten. Damals bekam die Ausstellung der betont deutschen Pflanzenwelt den Namen „Pflanzen un Blumen“. Auch die folgenden Gartenschauen von 1953 und 1963 gestaltete dieser Gartenarchitekt.

Die Tropengewächshäuser entstanden für die Internationale Gartenbauausstellung 1963. Sie beruhen auf dem Entwurf des Architekten Bernhard Hermkes (1903-1995), der so berühmte Gebäude wie die Grindel-Hochhäuser, die Großmarkthalle, das HEW-Kraftwerk in Wedel und das Audi-Max gestaltet hat. Die ebenfalls 1963 fertig gestellte Johan-van-Valckenburgh-Brücke, benannt nach dem Baumeister der Festungsanlagen des 17. Jahrhunderts, überspannt den letzten Rest des Befestigungsgrabens und wurde auch von Hermkes entworfen. Sie verstellt zwar den Blick hinunter zum Gänsemarkt, ermöglicht aber auch einen Ausblick von der Brücke auf die Mittelmeerrassen mit den Tropengewächshäusern. Die aufrechten Akzente setzen Scheinzypressen; echte Zypressen würden das Hamburger Klima dann doch nicht ertragen. Der schwarze Schiefer speichert die Sonnenstrahlen, das Sukkulentehaus bekommt die volle Sonne. Die „Strahlensessel“ laden zum Ausruhen und Schauen ein. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden große Teile des Wallgrabens mit Schutt verfüllt. Der See vor den Mittelmeerrassen ist der letzte Rest.

Die fünf miteinander verbundenen und rollstuhlgerechten Gewächshäuser besitzen eine Grundfläche von insgesamt 2800 m², einen Rauminhalt von 18.500 m³ und eine maximale Höhe im eigentlichen Tropenhaus von 13 m. Eine technische Besonderheit der Anlage ist die hängende Glaskonstruktion mit außen liegenden Hohlkastenprofilen. Die Innenräume sind daher frei von Säulen, Pfeilern oder anderen tragenden Elementen. Heute stehen die Gewächshäuser und die Mittelmeer-Terrassen davor unter Denkmalschutz. Sie gehören seit 2005 der ZEIT-Stiftung und werden nach wie vor von der Universität Hamburg betrieben.

Der Gewächshauskomplex gliedert sich in fünf Teilbereiche, die unterschiedlichen Pflanzengruppen bzw. Lebensräumen gewidmet sind. Temperaturen und Luftfeuchtigkeit in den einzelnen Häusern lassen sich unabhängig steuern.

Tropenhaus

Das Tropenhaus ist mit etwa 800 m² Grundfläche und einer maximalen Höhe von 13 m das größte der fünf Häuser. Hier herrschen ganzjährig feucht-tropische Bedingungen, d.h. hohe mittlere Tagestemperaturen von 20 bis 25° C, Nachttemperaturen nicht unter 16°C und eine relative Luftfeuchte zwischen 70 bis 90%.

Subtropenhaus

Das Subtropenhaus ist in erster Linie den Pflanzen aus den sog. Winterregengebieten der Erde vorbehalten. Klimatisch zeichnen sich diese Regionen durch mediterrane Bedingungen, also warm-trockene Sommer- und feucht-kühle Wintermonate aus. Dementsprechend wird das Subtropenhaus als Kalthaus klimatisiert, mit Sommertemperaturen von 15-30°C und Wintertemperaturen, die nachts bis auf 5-10°C absinken können.

Sukkulentehaus

Das Sukkulentehaus enthält Pflanzen aus den Trockenregionen der Erde, insbesondere den Halbwüsten und Wüsten Amerikas und Afrikas. Klimatisch handelt es sich um ein Kalthaus, das sich ganzjährig durch hohe Tages- und relativ niedrige Nachttemperaturen (im Winter 5 -10°C) bei geringer Luftfeuchte von etwa 30% auszeichnet.

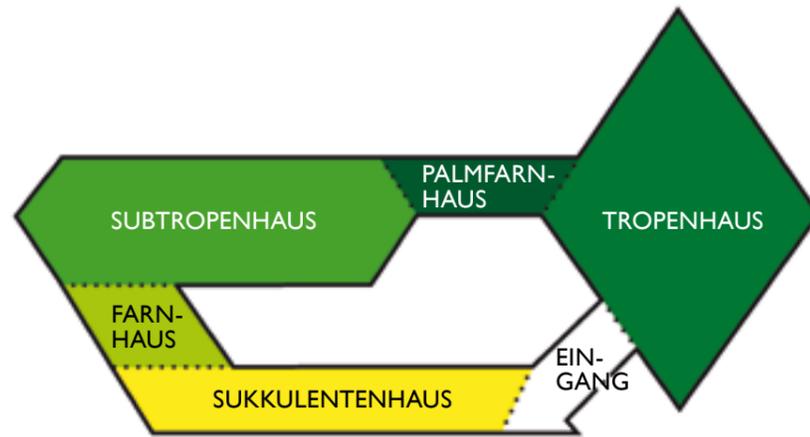
Cycadeenhaus

Das Palmfarnhaus ist eine Besonderheit des Botanischen Gartens Hamburg. Die Palmfarne (*Cycadeae*) sind weder Palmen noch Farne; Cycadeen sind eine sehr altertümliche Pflanzengruppe von Nacktsamern, die heute konzentriert auf der Südhalbkugel auf meist extremen Standorten in weit zerstreuten und kleinen Vorkommen erscheinen. In diesem Haus steht ein lebendes Belegexemplar, also jene Pflanze, die erstmals als Typusexemplar für diese Art vom Gründer des Botanischen Gartens beschrieben wurde, von Professor Lehmann selbst und zwar im Jahre 1834. Altensteins Brotfarn *Encephalartos altensteinii* hat seinen Namen nach Karl Freiherr vom Stein zum Altenstein (1770-1840), Kultusminister in Preußen, Reformator des preußischen Schul- und Bildungswesens, Wegbereiter des modernen humanistischen Gymnasiums und Gründer der Universität Bonn im Jahre 1818. Eine ähnlich alte Pflanze steht noch im Botanischen Garten Zürich.

Farnhaus

Im Farnhaus herrschen ganz ähnliche klimatische Bedingungen wie im Tropenhaus. Ganzjährig gleichbleibend hohe Temperaturen zwischen 18 bis 25°C und eine sehr hohe relative Luftfeuchtigkeit von etwa 80-100% sind nötig, um Farnpflanzen aus allen tropischen Regionen der Welt zu kultivieren. Sogar kletternde Farne sind hier zu sehen und ein riesiger Schachtelhalm breitet sich unter dem Zugangsweg hindurch an der Glaswand zum Sukkulentehaus aus.

Die Tropengewächshäuser Plan und Ansichten



Öffnungszeiten:

März bis Oktober	werktags	09:00 - 16:45 Uhr
	Sa., So., feiertags	10:00 - 17:45 Uhr
November bis Februar	werktags	09:00 - 15:45 Uhr
	Sa., So., feiertags	10:00 - 15:45 Uhr

Letzter Einlass eine halbe Stunde vor Schließung

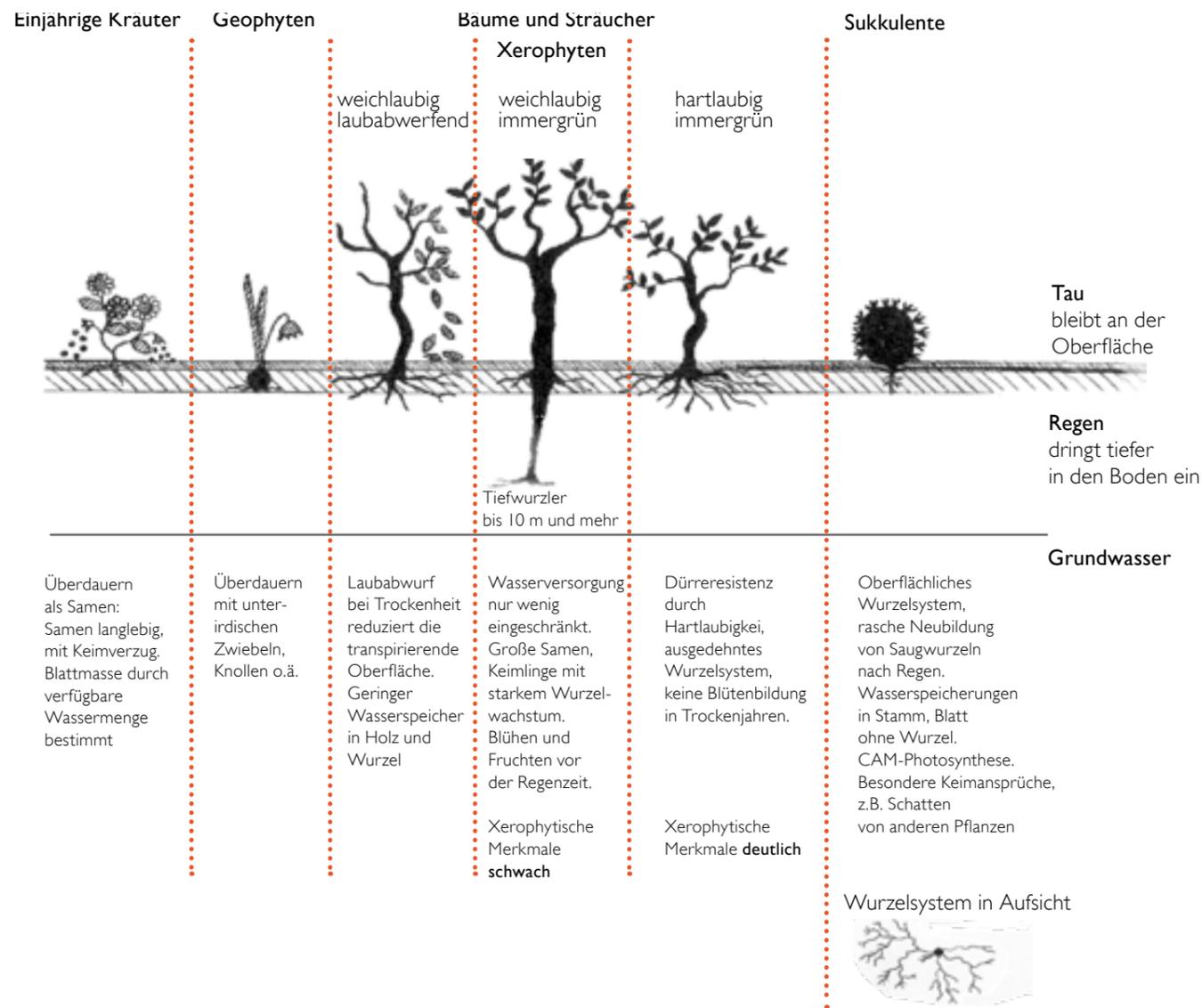
Eingang



Die Agave wächst durch das Dach



Lebensformen von Wüstenpflanzen



© Dr. H.-H. Poppendieck

Der Extremlbensraum Wüste – Anpassungen an Trockenheit – in den Tropengewächshäusern in Pflanzen und Blumen

Das Sukkulentenhaus versucht nicht, einen bestimmten Wüsten-typ nachzubilden. Wüstenarten könnte man zum Beispiel nach dem Boden unterscheiden, ob es nun Sand- oder Geröllwüsten sind.

Die Wendekreiswüsten Südafrikas wie die Karoo und die Küstenwüsten der Namib sind hier nebeneinander durch Pflanzen repräsentiert.

Sie finden hier auch aus der extrem vielfältigen Vegetation Madagaskars Pflanzen aus dem Didiereaceen-Euphorbien-Busch, der sich über einen schmalen Küstenstreifen im Süden des Landes erstreckt. Dies ist die trockenste Region der Insel mit einer fast elfmonatigen Trockenperiode und jährlichen Niederschlägen von ca. 350 mm. In diesem Gebiet sind allein 70 endemische Aloe-Arten und Kalanchoe zu finden. Auf Madagaskar bilden die *Didiereaceae* ganze Wälder. Es ist keine Wüste, sondern eine Dornbuschsavanne. Insofern wäre es auch richtig, von einem Aridhaus und nicht von einem Wüstenhaus zu sprechen.

Eine Eigenschaft verbindet die Vielfalt der Pflanzen aus aller Welt im Sukkulentenhaus: Ihr spezielles Speichergewebe für Wasser

Auf jeden Fall ist es richtig, von einem Sukkulentenhaus zu sprechen, denn fast alle Pflanzen verfügen über Speichereinrichtungen für Wasser in der Form, dass Stamm, Blätter oder Bereiche im Übergang von Sproß zu Wurzel oder die Wurzel selbst „Saft“ (lat. *succus*) enthalten und für die Wasserspeicherung spezielle Speichergewebe ausgebildet haben.

Strategien der Anpassung

Wie Pflanzen in Wüsten und in trockenen Gebieten überleben, zeigt das Schaubild (siehe Seite 14) im Überblick. **Das Schaubild und die folgenden Fotos zeigen Strategien der Anpassung angesichts von Trockenheit, die Sie durch einen Unterrichtsgang, durch die Arbeit mit einer Pflanzenlieferung von Sukkulente und durch Mikroskopieren mit den Schülerinnen und Schülern erschließen können.**



Die „falsche“ Rose von Jericho, *Selaginella lepidophylla*



Mexikanischer Stachelmohn *Argemone mexicana*

Pflanzen, die völlige Austrocknung vertragen und bei Befeuchtung wieder zu wachsen beginnen, werden auf den Unterrichtsgängen gezeigt: Die „falsche“ Rose von Jericho ist ein Moosfarngewächs (*Selaginella lepidophylla*) aus den Wüsten und Halbwüsten Mexikos bis nach Arizona. Die „echte“ Rose von Jericho ist dagegen ein Kreuzblütler aus dem Nahen Osten, *Anastatica hierochuntia*, dessen vertrockneter Fruchtstand sich kugelig zusammenrollt und ablöst. Damit ist die Ausbreitung gesichert. Moosfarne finden Sie in großer Vielfalt im benachbarten Farnhaus, aber dort eben in typischer Anpassung an tropisch-feuchte Standorte.

Pflanzen, die als **kurzlebige Kräuter** möglichst schnell Samen bilden, sind auf die Zeit der wenigen Niederschläge angewiesen. Außer in ihrem Lebensrhythmus und ihrer Kurzlebigkeit zeigen sie keine speziellen Anpassungen. Ein Beispiel dafür ist ein fast das ganze Jahr über gelb blühendes Mohngewächs, das als Kraut sofort ins Auge fällt: *Argemone mexicana*, der Mexikanische Stachelmohn. (Bei Aussaat im Freiland blüht er bei uns von Juli bis September).

Geophyten

Die **Geophyten** haben unterirdische Speicherorgane wie Knollen, Zwiebeln und Wurzeln ausgebildet, mit deren Hilfe sie Trockenheit überstehen. Die oberirdischen Teile ziehen ein, vertrocknen.

Xerophyten

In den Subtropen wie z. B. im Mittelmeerraum kommen ebenfalls an Trockenheit angepasste Pflanzen vor, die bei der mikroskopischen Untersuchung der Spaltöffnungen (s. Kapitel...) vorkommen. Auch heimische, wintergrüne Pflanzen zeigen Merkmale der Anpassung an Frosttrocknis wie Efeu und Stechpalme; dazu unten mehr. Diese **Xerophyten** sind Pflanzen, die das ganze Jahr über, auch während der Dürrezeit, am Leben bleiben und mit dem Wasser auskommen müssen, das als Regen auf die Bodenoberfläche fällt und versickert. Unter den Xerophyten gibt es **weichblättrige** Pflanzen mit oft behaarten Blättern, die sie dann bei andauernder Trockenheit abwerfen. **Hartblättrige** Xerophyten besitzen stark ausgesteifte Blätter oder assimilierende Sprossachsen, die auch bei Trockenheit nicht abgeworfen werden.

Tamarisken zum Beispiel sind **Tiefwurzler** und reduzieren ihre Verdunstung kaum, weil sie mit ihren Wurzeln bis an das Grundwasser reichen. Aber die meisten anderen Pflanzen zeigen im Blattaufbau typische Anpassungen. Zu den sklerophyllen Trockenpflanzen mit ihren meist kleinen, harten, immergrünen Blättern gehören die **Hartlaubgewächse** frostfreier, sommerwarmer Gebiete: Lorbeerbaum, Ölbaum, Myrte, Johannisbrotbaum, Erica-Arten und zahlreiche Nadelhölzer. Sie können diese Gruppe sehr gut im **Subtropenhaus** finden.



Oleander (*Nerium oleander*)

Sukkulente verfügen über spezialisierte wasserspeichernde Gewebe

Schutz vor Verdunstung

Bei der Untersuchung von Blattquerschnitten fallen die Reduktion des Schwammparenchyms auf, mehrschichtige Epidermen, eine oft besonders dicke Cuticula, Wachs-, Haar-, Harz- oder Kalküberzüge. Die Blätter selbst sind oft eingerollt, gefaltet oder können sich senkrecht zum Lichteinfall stellen. Das hier aufgegriffene Beispiel ist der Oleander, *Nerium oleander*.

Die **Sukkulente** sind „Saftpflanzen“ (von *succus*; lat.: Saft), Pflanzen, die über spezialisierte wasserspeichernde Gewebe verfügen, mit deren Hilfe sie längere Trockenperioden überstehen. Der Begriff Sukkulente bezeichnet nicht etwa eine systematische Einheit, sondern eine Lebensform. Sukkulente überstehen Trockenzeiten, sind aber entgegen einer weit verbreiteten Meinung auf regelmäßige Niederschläge angewiesen. Es genügt, wenn für wenige Wochen im Jahr feuchte Bedingungen mit ausreichender Wasserversorgung herrschen. Spezialisten unter den Sukkulente können sich allein aus dem Nebel versorgen, der in Küstenwüsten wie der bekannten Namib des südlichen Afrikas kilometerweit ins Land zieht oder sogar in Wüsten leben, in denen es nur mit jahrelangen Unterbrechungen regnet.

Um das wasserspeichernde Gewebe vor Verdunstungsverlusten zu schützen, gibt es mehrere Möglichkeiten. Dazu gehört die Bildung einer weitestgehend wasserundurchlässigen zähen, verdickten Oberhaut, der Epidermis, die Bedeckung mit Wachsschichten, Haar- und Stachelüberzügen, die Verlagerung der Spaltöffnungen in beschattete Bereiche wie die Furchen zwischen den Rippen von Kakteen usw. Viele Sukkulente sind wie Zwetschgen bereift. Bei diesem Reif handelt es sich um eine feine Schicht von mehlartigem Wachs, das von den jungen Epidermiszellen durch die Außenwand der Zelle hindurch abgesondert wird. Solche Strukturen lassen sich in Abdrücken der Pflanzenoberflächen mit Nagellack oder Uhu-hart sehr gut sichtbar machen (s. Kapitel ...).

Die Besonderheit der Dornen

Konvergenzen (Ähnlichkeiten, durch gleich gerichtete Anpassung)

Bekannteste Formen der Sukkulente

Mittagsblumengewächse (Aizoaceae)

Lichtfenster

Lithops

Fensterblätter mit Lichtfenstern

Keineswegs alle Sukkulente haben Epidermisverdickungen. Vor allem bei den *Crassulaceae*, den Dickblattgewächsen wie dem Geldbaum *Crassula ovata* finden sie sich nur bei wenigen Arten. Treten dichte Behaarungen auf, so bilden sie eine Zone mit mehr oder weniger ruhender Luft, was die Verdunstung weiter herabsetzt. Die Dornen vieler Sukkulente werden meistens als Fraßschutz gedeutet. Doch finden sich am gleichen Standort Sukkulente, die keineswegs bedornt sind. Daher wird auch die Reduktion der intensiven Strahlung durch Reflexion eine wichtige Rolle für die Ausbildung von Dornen gespielt haben. Dornen sind übrigens von ganzen Sproßteilen (oder Nebenblättern) abgeleitet und sind keine Struktur der Rinde wie die Stacheln der Rosen.

Konvergenzen sind ein herausragendes Thema bei einem Rundgang durch das Gewächshaus. Die Ähnlichkeit von Agave und Aloe ist in manchen Exemplaren frappierend; die Säulen der Wolfsmilchgewächse aus Madagaskar werden meistens als „Kakteen“ angesprochen, doch schon der oberflächliche Blick deckt in der Bestachelung deutliche Unterschiede auf. Bei Euphorbien sind es überwiegend nur zwei Stacheln, die auch nicht wie bei den Kakteen von einem Hof kleinerer Dornen umgeben sind.

Zu den bekanntesten Formen von Sukkulente gehören die Kakteen, als Kugel- oder Säulenkakteen, die Opuntien und die Agaven. Die Pflanzenlieferung stellt die ganze Breite von Stamm- oder Sproß-, Blatt- und Blattstielsukkulenz vor. Sie finden bei der Auflistung der Pflanzen aus der Lieferung eine detaillierte Beschreibung. Einzelne extrem ungewöhnliche Gestalten wie den Grasbaum finden Sie ebenfalls weiter unten ausführlich beschrieben.

Eine Spezialität der Sammlung sind die Mittagsblumengewächse, die *Aizoaceae*. Innerhalb dieser Gruppe gibt es ebenfalls Konvergenzen, also unabhängig voneinander entwickelte Anpassungen. Das sind die Lichtfenster.

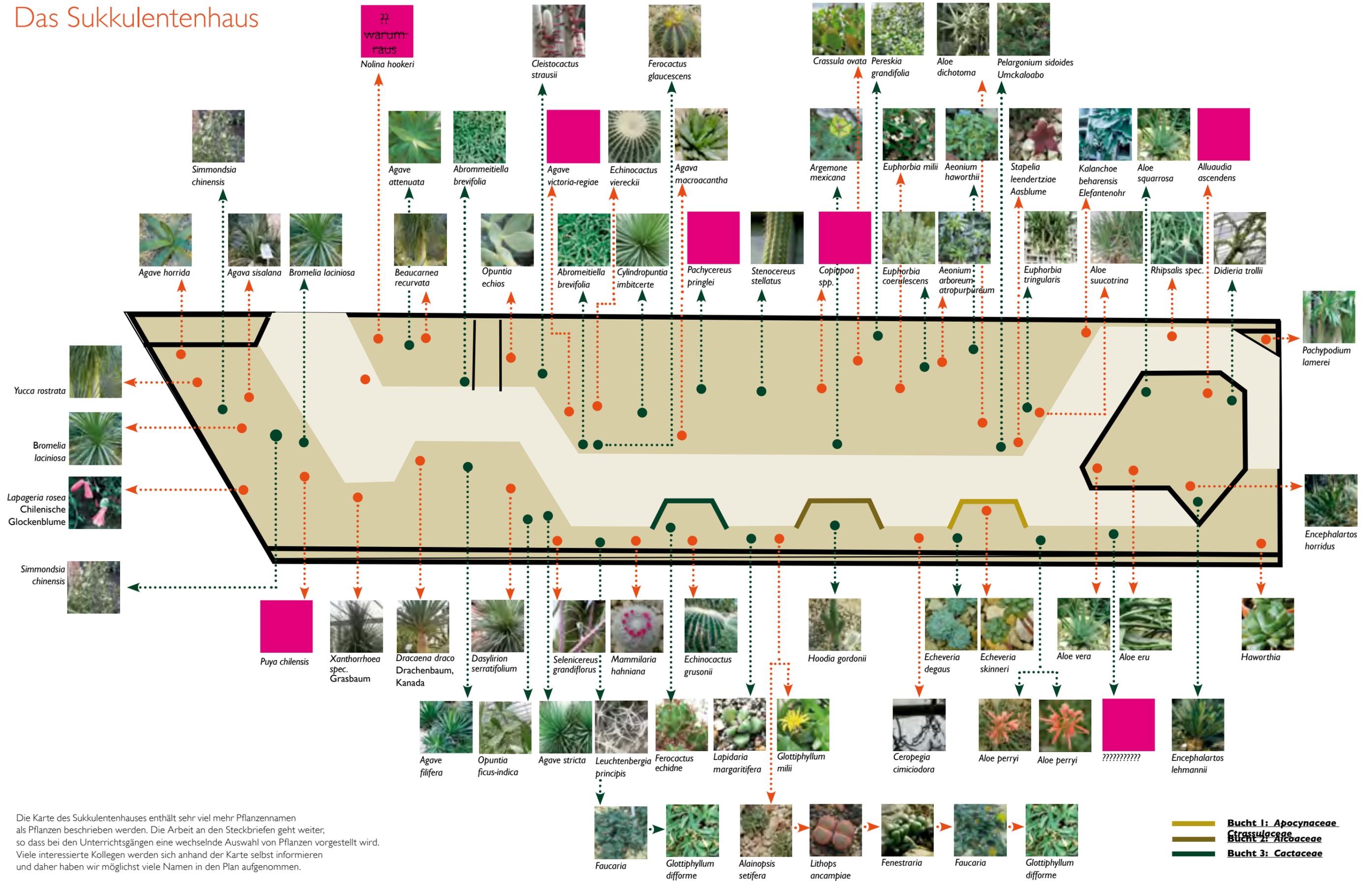
Im Pflanzenporträt **und im Anhang** finden Sie eine ausführliche Beschreibung der Gattung *Lithops*. Hier nur so viel: Pflanzen, die sich in den Boden zurückziehen und nur noch eine platte Blattfläche an der Oberfläche erscheinen lassen, die zudem skulpturiert und farbig gemustert ist, bekommen ein Ernährungsproblem. Die Fläche für die Ausbreitung der photosynthetisch aktiven Farbpigmente wird zu klein. Daher ist die Blattoberfläche opak, durchsichtig. Das Licht fällt in das klare, wasserspeichernde Gewebe, streut und gelangt an die schräg in die Tiefe ragenden Wände, wo das chlorophyllhaltige Gewebe liegt. Bei Unterrichtsgängen werden immer wieder einzelne Pflanzen „geköpft“, so dass dieses Phänomen sichtbar wird, wenn man die durchsichtige Kappe gegen das Licht hält. Die dafür verwendeten Pflanzen werden dafür gekauft, d.h. sie stammen nicht aus unserer Nachzucht. Dafür sind die meist am ursprünglichen Standort gesammelten Pflanzen, deren Saat und Nachkommen viel zu wertvoll.

Fensterblätter finden sich noch bei *Fenestraria*, *Haworthia* und *Senecio*. Innerhalb der Greiskräuter (*Senecio*) haben die Lichtfenster Streifenform wie bei der „Erbse am Band“ und ihren Verwandten.

Unterricht
im
Sukkulente-
haus



Das Sukkulentenhaus



Die Karte des Sukkulentenhauses enthält sehr viel mehr Pflanzennamen als Pflanzen beschrieben werden. Die Arbeit an den Steckbriefen geht weiter, so dass bei den Unterrichtsgängen eine wechselnde Auswahl von Pflanzen vorgestellt wird. Viele interessierte Kollegen werden sich anhand der Karte selbst informieren und daher haben wir möglichst viele Namen in den Plan aufgenommen.

Pflanzenportraits

Die Opuntie – *Opuntia ficus indica*

Vorkommen

Der echte Feigenkaktus (*Opuntia ficus indica*) stammt wie alle Kakteen (*Cactaceae*) ursprünglich aus Amerika.



Opuntia ficus-indica im Skkulentenhaus



Eine Opuntie von der Galapagos-Insel Sante Fe (auch Barrington genannt). Diese Insel hat die größten Opuntien.



Aus der Erstbeschreibung von John Henslow 1837, *Opuntia galapageia*. Zeichnung von Charles Darwin

Der Feigenkaktus war – lange vor der spanischen Eroberung – bereits eine Kulturpflanze der Azteken im heutigen Mexiko. Kaktusstrauch und Früchte – die Kaktusfeigen – sind stachelig und haben gemeine, unsichtbare Widerhaken. Deswegen hat die einheimische indianische Bevölkerung schon vor Jahrhunderten Sorten mit weniger Dornen gezüchtet. Denn die grünen Sprossen und die Kaktusfeigen werden immer noch gern als Gemüse bzw. Obst gegessen. Der Feigenkaktus war auch eine traditionelle Heilpflanze der Indianer.

Die Kaktusfeigen, sind saftig und süß. Es sind botanisch Beerenfrüchte. Ihr Fruchtfleisch ist gelb, orange bis rot und die eingeschlossenen Samen sind auch essbar. Man isst sie sehr vorsichtig, denn außen sitzen die unangenehmen Dornen.

Von Kakteen und ihren Läusen

Auf Opuntien leben Läuse. Die haben einen runden Panzer und heißen daher Schildläuse. Wenn man sie trocknet, zerreibt und in Wasser oder Alkohol gibt, entsteht ein roter Farbstoff, der im Tageslicht nicht zerfällt. Das macht den Farbstoff „Karmin“ so wertvoll. Selbst heutige künstliche Farbstoffe ertragen Licht und Wärme weniger gut. Für ein Pfund Karmin braucht man etwa 70.000 Tiere.

Um sie von den Kakteen zu sammeln, nimmt man einen Pinsel oder einen kleinen Besen. Echtes Karmin heißt auch Cochenille-Rot.

Echtes Karmin ist ein natürlicher Lebensmittelfarbstoff. Mit dem Farbstoff hat man auch einen Bitter-Likör gefärbt, nämlich Campari. Und Lippenstift. Aber das ist

Farbstoff „Karmin“
bzw. Cochenille-Rot

Lieferanten
von natürlichem Cochenille

Opuntien können auch
zur Plage werden

Nur in einigen Ländern
vernichtet die Cochenille-Laus
Opuntien

Verschiedene Opuntienarten

heute selten geworden. Campari enthält seit 2006 nur noch künstlichen Farbstoff. Unter der Nummer E 120 darf Karmin auch andere Lebensmittel färben. Ganz selten reagieren Menschen darauf allergisch.

Cochenillerot A mit der Nummer E 124 ist ein künstlicher Azofarbstoff und hat außer dem ähnlichen Namen und der Farbe nichts mit dem Naturstoff zu tun.

Die Opuntie und die Cochenille-Laus

Die Opuntien wurden von Mexiko auch auf die Kanarischen Inseln gebracht. Neben Gold und Silber wurde Cochenille für Spanien das wichtigste Handelsprodukt. Peru ist heute außer den Kanarischen Inseln wie Lanzarote oder Fuerteventura der wichtigste Lieferant von natürlichem Cochenille.

Die Cochenille-Schildlaus kommt in Amerika in Argentinien, Peru und weiter nördlich in Mexiko vor. Zuerst lebten die Läuse nur in Südamerika. Dann wurden sie auf Handelswegen bis nach Mexiko gebracht – lange vor der Eroberung Amerikas durch die Europäer. Von Südamerika aus gelangten sie auch auf die Kanarischen Inseln, nach Madagaskar und nach Südafrika.

Auf den Kanarischen Inseln sind die Opuntien inzwischen heimisch geworden und haben sich zu einem Problem entwickelt. Sie wachsen dort besser als manche einheimische Pflanze.

Die Cochenille-Läuse aus verschiedenen Herkunftsländern richten unterschiedlich großen Schaden an. Läuse aus Südafrika können z. B. in Mexiko nicht erfolgreich gegen Opuntien eingesetzt werden.

Auf Madagaskar entwickelten die fast stachellosen Formen der Opuntien, die auch als Viehfutter genutzt wurden, wieder invasive, bestachelte Formen. Die Kulturformen wurden von der eingeführten Cochenille-Laus fast ausgerottet.

Auch nach Madagaskar wurden Anfang des 20. Jahrhunderts nach einer langanhaltenden Trockenheit Feigenkakteen (Opuntien) eingeführt, um dem Vieh eine neue Futtermöglichkeit zu bieten. Die Kaktusart breitete sich sehr rasch aus und wurde zur Plage, sodass man 1923 die Cochenille-Laus einführte, worauf die Opuntien weitgehend zerstört wurden, was aber ein Massensterben unter dem Vieh zur Folge hatte, worauf eine Hungersnot ausbrach. Daraufhin führte man eine langsamer wachsende Opuntienart ein, auf madagassisch „raketa“ genannt, die heutzutage mit ihren tellergrossen, stachelversehene Sprossen das Landschaftsbild weiter Teile Südmadagaskars beherrscht. Die roten, birnenförmigen Früchte bilden in Notzeiten die einzige Nahrung der hungernden Bevölkerung, verursachen aber bei Kindern Durchfall. Es wurden mehrere Opuntienarten eingeführt, als Zäune genutzt und nun sind einige dabei, sich weiter auszubreiten.

Die Opuntie wurde auch in Südafrika, in Australien und in Europa, z. B. in Griechenland zur Plage und meistens durch Insekten bekämpft wie z. B. durch eine Motte, deren Raupe in der Opuntie frisst.

Charles Darwin und die Opuntien

oder: Wie Pflanzen zu ihrem Namen kommen

Auf seiner fünfjährigen Reise um die Welt (1831-1836) mit dem Schiff Beagle unter Kapitän FitzRoy entdeckte Charles Darwin auf den Galapagos-Inseln ganz

Charles Darwin
entdeckte die Opuntie zuerst

John Henslow
gab der Opuntie ihren Namen

Wie hoch
reckt eine Schildkröte
ihren Hals?

Lonesome George

Weltumseglung Charles Darwin
mit der HMS Beagle

Quellen und Links:

http://www.darwinfoundation.org/english/_upload/bio_vision_galapagos_eng.pdf
http://www.worldwildlife.org/wildworld/profiles/terrestrial/nt/nt1307_full.html
http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Opuntia_galapageia_Henslow_1837.jpg
http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Charles_Darwins_Weltumseglung_mit_der_HMS_Beagle_1831-1836.png

ungewöhnliche einheimische Tiere. Unter den Pflanzen, die er sammelte, waren auch Opuntien. Nach seiner Rückkehr schickte er das gesammelte Material an Experten, die dann feststellten, dass es größtenteils noch nie vorher entdeckte und beschriebene Arten waren. Zu den Beschreibungen gehörten immer Zeichnungen. Eine davon ist auf Seite 27 oben zu sehen. Der Pfarrer John Henslow hatte Darwin in der Universität von Cambridge unterrichtet und kannte sich mit Kakteen gut aus. Er wurde dort Professor für Botanik und gründete den Botanischen Garten in Cambridge. Er gab dieser Opuntie ihren Namen *Opuntia galapageia*, die Opuntie von den Galapagos. Heute werden die Pflanzennamen vollständig mit dem Namen des ersten Beschreibers und dem Datum versehen: *Opuntia galapageia* Henslow, 1837. Damit ist diese Pflanzenart eindeutig bestimmt. Spätere Forscher haben dann die Verwandtschaftsverhältnisse der Opuntien auf den Inseln genauer untersucht und teilweise neue Namen vergeben. Denn zwischen den Tieren und Pflanzen der verschiedenen Inseln der Galapagos bestehen mehr oder weniger deutliche Unterschiede. Einige Opuntien auf den Inseln haben sehr kräftige Stämme und die flachen weichen Sprossen sitzen weit oben. Genau auf diesen Inseln gibt es auch Riesenschildkröten, deren Panzer vorn so ausgebeult ist, dass sie ihren Hals weit nach oben recken können. So weit sie reichen können, haben die Opuntien einen kahlen Stamm. Die Riesenschildkröten zerbeißen mit ihren harten Kiefern sogar Opuntientriebe. Die Stämme schaffen sie nicht.

Auf Santa Fe sind die Riesenschildkröten ausgerottet worden. Die vom Menschen mitgebrachten Ziegen wurden eine große Gefahr für die einheimische Pflanzenwelt. Sie konnten nämlich die dornenlosen Stämme der Opuntien aufbeißen. Auf Santa Fe hat man alle Ziegen beseitigt und nun erholen sich die Pflanzen. Auf der Insel Pinta lebten auch Riesenschildkröten und nur ein einziges Tier hat überlebt: „Lonesome George“. 1972 wurde dieses Tier in einen Zoo gebracht. Die unterschiedlichen Grade der Verwandtschaft der Tiere und Pflanzen dieser Inseln fiel Darwin erst auf, als er sein Material von den verschiedensten Experten hatte untersuchen lassen und er musste dann bei den später nach ihm benannten, weltberühmten Darwin-Finken feststellen, dass er sie nicht genau genug beschriftet, etikettiert hatte, so dass er nicht mehr genau wusste, von welchen Inseln sie stammten.



Aloe dichotoma im Sukkulentenhause



Ungefähres Verbreitungsgebiet von Aloe dichotoma

Der Köcherbaum
ist das Wahrzeichen von Namibia und
auf einer 50-Cent-Münze zu sehen.

*© Thomas Schoch

Der Köcherbaum – *Aloe dichotoma*

Englisch: Quiver tree; von den niederländischen Einwanderern „Kokerboom“ genannt.



„Kokerboom“-wald“ in Keetmanshoop, Namibia*

Beschreibung

Diese Aloe wird bis zu 10 m hoch. Sie verzweigt sich meistens nur einmal. Dadurch entstehen merkwürdig verzweigte Gebilde. Die Rinde blättert in großen Stücken ab. Die Ränder solcher Stücke sind messerscharf. Es ist eine der wenigen großen Wüstenpflanzen, die über 100 Jahre alt werden können, vielleicht sogar 400 Jahre. Sie wächst auf felsigem Untergrund, eher an Hängen als in der Ebene. Die Blätter stehen an den Enden der Zweige in Rosetten. In den ersten Lebensjahren sieht diese Aloe wie alle anderen aus und bildet erst nach Jahrzehnten ihren Stamm. An den gelben Blüten voller Nektar saugen Vögel und auch Paviane essen sie gern.

Zwei berühmte „Wälder“ gibt es in Südafrika: Im Richtersveld-Nationalpark mit einer Schleife eines großen Flusses, dem Orange River, und im Süden von Namibia, in der Nähe des Ortes Keetmanshoop. Auf einer Hochfläche stehen dort etwa 200 solcher großen Pflanzen. Es sind keine Wälder, wie wir sie kennen. Es gibt wenig Unterwuchs aus Gebüsch, immer sind nackte Felsbrocken und Geröll zu sehen.



Aloe dichotoma, Namibia



Aloe pillansii, Richtersveld, Namibia



Aloe pillansii, Blüte, Richtersveld, Namibia

Eine Geschichte zu diesem Baum

Es sind keine richtigen Bäume.
Im Inneren ist kein Holz, sondern ein lockeres Gewebe, vielleicht wie Styropor. Einen 4-Meter-Stamm könnte man auf die Schulter nehmen. Ein Köcherbaumstamm wird tatsächlich zu einem Behälter für Pfeile: Wenn man weiß, wie es geht. Das wissen die Ureinwohner von Namibia, die San und Khoikhoi. Sie leben in der Wüste oft als Nomaden, als wanderndes Volk und brauchen für die Jagd noch heute Pfeil und Bogen.

Verwandte

Erst um 1920 fiel einem Pflanzenkundler in Namibia auf, dass es ganz ähnliche Pflanzen gibt, die aber anders blühten. Sein Name war Neville Pillans. Die Aloe pillansii sieht recht ähnlich aus, hat aber herunter hängende Blüten und blüht im afrikanischen Frühling. An den Hängen des Orange River im Norden Namibias, im Richtersveld, stehen knapp hundert Bäume und es gibt keine Nachkommen.

Gefährdung:

Nur noch wenige hundert Pflanzen existieren. Dort, wo sie stehen, gibt es keine Jungpflanzen. Sie werden aussterben. Wahrscheinlich wird es ihnen dort zu heiß, wo sie wachsen. Das Klima hat sich verändert.

Quellen und Links:

www.kokerboom.net/botanik.html
www.kokerboom.net/pillansii.html
Karte: <http://redlist.sanbi.org/species.php?species=2206-769>
Literaturhinweis: Pakenham, Thomas. Magische Bäume in Afrika. Christian Verlag München 2008
Abb. Kokerboom, S.17: <http://www.retas.de/thomas/travel/page.php?album=namibia2003&chapter=fkg&page=2&lang=de>
Abb. Aloe dichotoma, links oben: © Hilton Taylor
Abb. Aloe pillansii, 2 Bilder links unten: © Roland Berger, Britta Dietel und Alexander Dietel

Der Drachenbaum – *Dracaena draco*

Vorkommen

Dieser Drachenbaum wächst auf den Kanarischen Inseln.



Ein Drachenbaum im Sukkulentenhaus



Dracaena draco, Drachenbaum, Kanarische Inseln*

Beschreibung

Der Drachenbaum *Dracaena draco* gehört zur Familie der Agavengewächse (*Agavaceae*) und wird mit bis zu 20 m Höhe ein recht großes Gewächs.

Beschädigte bzw. abgebrochene Triebe treiben in den allermeisten Fällen erneut aus. Mindestens zwei neue Triebe bilden sich. Daher rührt auch der Name Drachenbaum: Der Sage nach wachsen einem Drachen ebenfalls mehrere Köpfe nach, wenn man einen abschlägt.

Das rote Harz

Verletzt man den Drachenbaum, kommt ein Harz zum Vorschein, das an der Luft schnell rot wird wie Drachenblut. Drachenblut wurde bis in das 19. Jahrhundert im Mittelmeerraum und bis nach Arabien gehandelt.

Mehrere Pflanzen liefern roten Saft, wie z.B. *Dracaena cinnabari* auf der Insel Sokotra. Diese Insel liegt am Ostausgang des Golfs von Aden rund 250 km vom Horn von Afrika entfernt etwa 350 km südlich der Arabischen Halbinsel. Über die Drachenbäume (*Dracaena cinnabari*) auf der Insel Sokotra wurde schon vor Christi Geburt geschrieben. Diese Insel hat die größte Artenvielfalt dieser Region und gehört seit 2008 zum UNESCO-Welterbe.



Kanarische Inseln



Die Insel Sokotra



Drachenbaum auf der Insel Sokotra

„Drachenblut“ heute

Auf dieser Insel sollten Drachen leben, so glaubte man damals, und das rote Harz wurde teuer gehandelt. Heute noch wird auf der Insel das Harz geerntet und benutzt, um Wolle zu färben, Häuser anzustreichen und Lippen zu bemalen, Lacke und Polituren herzustellen. Es wird für medizinische Zwecke verwendet; es soll zum Beispiel bei Durchfall helfen.

Im Internet kann man „Drachenblut“ bekommen zum Beispiel zum Räuchern. Man verbrennt Substanzen, die angenehm duften. Aber es stammt nicht mehr von diesen seltenen Pflanzen und die Zusammensetzung ist unsicher.

Wie alt werden Drachenbäume

Auf den Kanarischen Inseln gibt es einen sehr berühmten und alten Drachenbaum, der auf über 1000 Jahre geschätzt wird. Das ist das Wahrzeichen von Teneriffa, der Drachenbaum in Icod de los Vinos. Dieser „tausendjährige Drachenbaum“ ist aber nach neuesten Schätzungen „nur“ um die 400 Jahre alt. Die Pflanzenkundler der damaligen Zeit (um 1400) schätzten einen fast 20 Meter hohen Drachenbaum auf Teneriffa auf 6000 Jahre. Er stürzte 1867 durch einen starken Sturm um.

Eine Geschichte zu der Pflanze

Zuerst wurden diese Drachenbäume von den Kanaren (*Dracaena draco*) um 1402 schriftlich erwähnt. Das ist das Jahr, in dem die Eroberung der Inseln durch die Spanier begann. Fast 90 Jahre später war sie vollendet und die Guanchen, die Ureinwohner, waren erschlagen, an eingeschleppten Krankheiten gestorben, versklavt oder vertrieben. Sie hatten ihre Toten in Höhlen niedergelegt, wo sie mit dem roten Harz der Drachenbäume einbalsamiert wurden.

Gefährdung

Dracaena tamaranae, der Drachenbaum von Gran Canaria, wurde erst vor etwa 20 Jahren als eigene Art erkannt. Es gibt nur noch wenige Exemplare im Südwesten von Gran Canaria. Diese Art ist besonders gefährdet; es wachsen kaum junge Pflanzen nach und Haustiere fressen sie ab. Noch gibt es richtige Drachenbaumwälder, doch in den nächsten 50 Jahren werden sie wohl zerfallen und verschwinden.

Hinweis

Drachenbäume gibt es für die Schulen im Pflanzenabholprogramm. Sie haben kein rotes Harz. Es handelt sich um Sorten einer tropischen Art mit unterschiedlichen hellen Streifen am Blattrand: *Dracaena reflexa* var. *angustifolia*; im Handel unter *Dracaena marginata*.

Quellen und Links:

http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Kanarischer_Drachenbaum_in_Icod_de_los_Vinos.jpg; Steffen M. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Socotra_dragon_tree.JPG
Historische Aufnahmen: <http://biodiversitylibrary.org/page/24884196#page/48/mode/lup>



Der Grasbaum im Sukkulentenhaus



Grasbaum-Gebiete auf Tasmanien

Ohne Feuer können sie sich nicht vermehren

Der Grasbaum – *Xanthorrhoea* sp.

Vorkommen

Es gibt sie nur in Australien.



Ein Grasbaum in Australien

Der Name

Der wissenschaftliche Gattungsname der Grasbäume lautet *Xanthorrhoea*, zusammengesetzt aus griechisch xanthos = gelb und rhoie = das Fließen, das Ausfließende. Sie bilden nämlich Harz, das am Stamm austritt.

Beschreibung

Grasbäume werden höchstens 600 Jahre alt. Sie stehen aufrecht, werden bis zu 8m hoch und sind durch die Feuer meistens außen schwarz. Feuer überstehen sie gut. Es sind keine Bäume, sondern Stauden. Sie haben also keinen Stamm aus Holz. Der Stamm besteht aus den alten Blattstielen! Sie halten durch Harz zusammen.

Sie wachsen langsam. Eine Pflanze hat man 27 Jahre lang gemessen – sie ist in der Zeit nur 30 Zentimeter größer geworden.

Die Blüten sitzen an einem langen Stiel – und der kann dann 2-3 cm am Tag wachsen.

Ohne Feuer können sie sich nicht vermehren. Auf Englisch heißen die Pflanzen auch „black boy“. Die Knospe ist vor Feuer geschützt tief versteckt in der Spitze des Stammes. Dort entstehen die neuen, dünnen Blätter.

Grasbäume bilden den Unterwuchs der australischen Eucalyptuswälder. (Eucalyptusbäume stehen im Subtropenhaus, zwei Häuser weiter.)

Das Harz der *Xanthorrhoea* dient vielfältigen Klebstoffzwecken



Die erste Abbildung eines Grasbaums 1789

Weitere Merkmale

Der lateinische Name der ganzen Pflanzengruppe bezieht sich auf ein angenehm riechendes, rot, braun oder gelb gefärbtes Harz, das tropfenweise von der Pflanze ausgeschieden wird und am Stamm abgesammelt werden kann. Es wurde in früheren Zeiten vielfältig verwendet. Die Ureinwohner Australiens, die Aborigines, benutzten es, um Speerspitzen an ihren Schaft zu kleben. Die Europäer, die nach Australien kamen, beobachteten dies und nutzten das Harz ebenfalls als Klebstoff: Zum Leimen von Papier, zur Herstellung von Lacken, Firnissen und Seifen. Grasbaumharz wurde auch bei der Herstellung von Schallplatten fürs Grammophon (altertümliche Plattenspieler) verwendet und in Kirchen wurde das Harz verbrannt, um den Raum mit Wohlgeruch zu füllen.

Eine Geschichte zu dieser Pflanze

1788 landet eine Flotte von elf Schiffen in der „Botany Bay“. England suchte nach einem Ort für Strafgefangene. **Zwischen 1788 und 1850 sandte England über 162.000 Sträflinge in 806 Schiffen nach Australien.** Die „First Fleet“ („Die erste Flotte“) unter Kapitän Phillip landete in Australien in dieser Bucht, die „Botany Bay“ (Pflanzenkunde-Bucht; Botanik-Bucht) genannt wurde. In dem Bericht über diese Reise findet man die erste Abbildung eines Grasbaumes. Bei der Entdeckung Australiens war James Cook 1770 hier schon gelandet und er hatte zwei Forscher dabei, die von der Pflanzenwelt so begeistert waren. Daher kommt der Name dieser Bucht, die heute im Stadtgebiet von Sydney liegt.

Gefährdung

Es gibt insgesamt nur 28 Arten von Grasbäumen. Besonders gefährdet sind zwei Arten auf Tasmanien, einer Insel südlich von Australien.

Quellen und Links:

Australian Native Plant Society: <http://anpsa.org.au/x-aus.html>

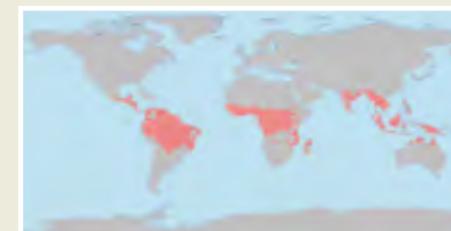
Ein im Gewächshaus blühender Grasbaum in einem Botanischen Garten:
http://www.botmuc.de/de/garten/2011/03-25_xanthorrhoea_hastilis.html

http://www.environment.gov.au/cgi-bin/sprat/public/publicspecies.pl?taxon_id=7950

Bericht von Kapitän Phillip: http://en.wikisource.org/wiki/The_Voyage_of_Governor_Phillip_to_Botany_Bay (mit dem Bild vom Grasbaum)



Sisal-Agave im Sukkulentenhaus



Die Sisalagave wird weltweit in den Tropen angebaut; (Tropengürtel, rote Farbe)

Die Sisal-Agave – *Agava sisalana*

Vorkommen

Ursprünglich im Hochland von Mexiko, heute jedoch weltweit in den Tropen angebaut.



Agava sisalana, geschnittene Blätter im Vordergrund zur Weiterverarbeitung der Fasern*

Beschreibung

Die Sisal-Agave bildet einen bis zu 1 Meter hohen Stamm, der in eine mächtige Blattrosette und langen Blütenschaft übergeht. Die sukkulenten stachelspitzigen, starren Blätter erreichen eine Länge von 120 cm, sind bis zu 15 cm breit und gruppieren sich dicht und quirlartig um den Stamm. Jedes Jahr können 15-20 neue Blätter wachsen, so dass sich oft über 100 Blätter an einem Stamm befinden. Nach zwei bis vier Jahren sind die neuen Blätter erntereif. In ihnen stecken die harten Fasern.

Agava sisalana wird bis zu 12 Jahre alt. In ihrem letzten Lebensjahr blüht sie. Ihre Blüten stehen an einem sehr langen Stiel, der bis an die Decke des Gewächshauses reichen kann. Vorher sind schon unten an der Pflanze neue Jungpflanzen gewachsen. Die alte Pflanze stirbt nach der Blüte.

Der Ursprung der Pflanze ist unklar; so lange wird sie schon von Menschen angebaut. Wahrscheinlich ist es eine Kreuzung aus zwei anderen Agaven-Arten. Sie selbst setzt kaum Früchte an, wird also durch Ableger vermehrt und nicht durch Saat.

Erst in ihrem letzten Lebensjahr blüht sie und stirbt danach

Verwendung

Aus den Fasern macht man Bindegarn, Schiffstau, Seile, Netze, Hängematten, Möbelstoffe und Teppiche.

Eine Geschichte über die Pflanze

Sisal wurde bereits von den Maya und Inka zur Fertigung von Seilen, Netzen, Lassos und für Kleidung verwendet. Als die Spanier von den nützlichen Fasern hörten, nannten sie sie Sosquil, eine Abänderung des Maya-Wortes Tsootquij. Jahre später änderten die Spanier den Namen in Sisal. Dieser Name geht auf einen alten Maya-Hafen zurück, der auf der Halbinsel Yukatan am Golf von Mexiko liegt und zur Verschiffung von Salz diente. Nun wurde er jedoch für den weltweiten Export von Sisal genutzt. Oft ist zu lesen, die Sisal-Agave stamme aus Yucatan, doch wächst sie im Nachbarstaat Chiapas und wurde nur über den Hafen Sisal ausgeführt.

Heute wird die Pflanze in vielen tropischen und subtropischen Ländern wie Brasilien, Kenia, Tansania und Madagaskar angebaut.

Zu den Agaven gehören etwa 136 verschiedene Pflanzenarten.



Sisal-Ernte in Deutsch-Ostafrika, 1906/1918

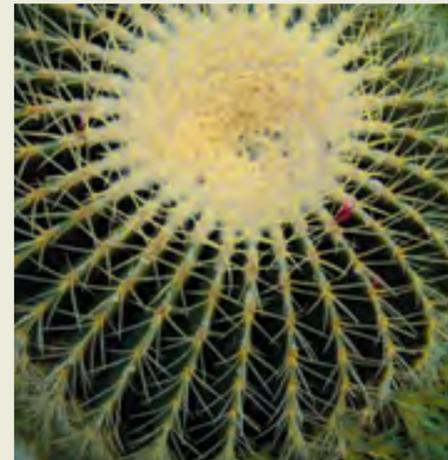
Links

* www.inmagine.com/register.php (Seite 23)
<http://www.nachwachsende-rohstoffe.biz/glossar/sisal-agave-agave-sisalana-perrine-sisalfaser-sisalhanf-sisalagave/>
<http://www.se-eppc.org/wildlandweeds/pdf/Summer2002-Brown-pp18-21.pdf>
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Agave_sisalana_MS4043.JPG
http://commons.wikimedia.org/wiki/User:Marco_Schmidt

Der Goldkugelkaktus – *Echinocactus grusonii*

Vorkommen

Zentralmexiko, in einem kleinen Gebiet an den Hängen vulkanischer Felsen.



Ein Goldkugelkaktus im Sukkulentenhaus



Goldkugelkaktus, *Echinocactus grusonii*, Mexiko*



Zentralmexiko

Der wissenschaftliche Name *Echinocactus grusonii* erinnert an einen Industriellen und Erfinder aus Magdeburg: Hermann August Jacques Gruson (13. 03. 1821 – 30. 01. 1895), der die zu seiner Zeit größte Kakteensammlung Europas besaß.

Beschreibung

Die Kakteen im Sukkulentenhaus sind schon über 50 Jahre alt! Die größten Goldkugelkakteen sind bis 1,30 m hoch.

Die Pflanzenkundler nennen die „Stacheln“ des Kaktus Dornen. So ein Dorn ist eigentlich ein ganzes Blatt oder Seitenzweig und nicht nur ein Stück Rinde wie bei der Rose. Über 30 Rippen hat ein Goldkugelkaktus. Oben auf den Rippen sitzen in sogenannten Dornpolstern 11-13 kleine Dornen außen herum und etwa 4 große Dornen in der Mitte.

Oben in der Mitte der Kaktuskugel wächst der Kaktus. Dort schützen viele dichte Haare besonders gut vor Sonnenbrand. Dort erscheinen auch die Blüten. Sie sind gelb, glockenförmig und nur 5 cm groß. Die Samen, die später an der Stelle der Blüten entstehen, sind nur noch 2 Millimeter groß.

Gefährdung

In Mexiko gibt es vielleicht noch 250 Stück. Alle anderen wurden gestohlen, verschwanden in einem Stausee oder wurden zerstört. Heute darf niemand mehr diese Kakteen pflücken und verkaufen. Wenn man sie in einem Laden findet, stammen sie aus Gewächshäusern, aus Zuchten. 2003 wurden in 550 km Entfernung wieder einige Exemplare gefunden. Vielleicht gibt es doch noch mehr von ihnen.

Quellen und Links:

*<http://www.thelovelyplants.com/tag/landscape-plants/>
<http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/40962/0>; http://www.mnh.si.edu/exhibits/losing_paradise/EchinocactusGrusonii.html
http://www.dkg.eu/cms/cs/index.pl?navid=Kaktus_des_idex.pl?navid=Kaktus_des_Jahres_1022&id=16&sid=de

Lebende Steine – *Lithops* sp.

Familie der Mittagsblumengewächse (*Aizoaceae*)

Vorkommen

Lebende Steine gibt es nur in den Trockengebieten des südlichen Afrika – in Namibia, Botswana und Teilen von Südafrika.



Lebende Steine in der Anzucht für das Pflanzenabholprogramm



Die Pflanze kann in der Natur, hier Knersvlakte, Karroo, Südafrika, kaum von ihrer Umgebung unterschieden werden. Hier mit einer gelben Blüte, die die ganze Pflanze bedeckt.

Sie kommen in Gebirgen bis in Höhen von 2500 m vor. Bis auf wenige Ausnahmen kommen sie aus Gebieten mit sommerlichen Niederschlägen. Einige Arten sind kontinuierlich über Kilometer hinweg verbreitet, *Lithops weneri* aber existiert nur auf einer Fläche von 30 m² und ist in der Roten Liste der IUCN als gefährdet gelistet, da immer noch Pflanzen vom Naturstandort entnommen werden, obwohl sie inzwischen gut nachgezogen werden können.

Beschreibung

Die ersten Lebenden Steine (*Lithops*) wurden 1811 von dem englischen Botaniker William J. Burchell entdeckt. 2006 wurde zuletzt eine weitere neue Art gefunden.

Diese Pflanzen bestehen aus nur zwei miteinander verbundenen dickfleischigen Blättern, in denen sie Wasser speichern. Sie sitzen so tief in der Erde, dass ihre Oberfläche auf der gleichen Höhe liegt wie die Oberfläche des Bodens. Sie fühlen sich leicht wellig und strukturiert an. Wenn Kinder im Sukkulentenhaus ihnen Namen geben sollen, so sagen sie z.B. „Gehirnpflanze“, weil es auch noch Muster auf den gewölbten Oberflächen gibt. Die Muster werden als Anpassung an den Standort interpretiert. Viele *Lithops* sind aufgrund ihrer Tarnung extrem schwer zu finden, wie es D. und S. Cole in ihrem Buch „Lithops. Flowering Stones“ sehr anschaulich beschreiben.

Quellen und Links:
*<http://www.lithops.de/map.gif>
/landscape-plants/



□ weiße Blüten □ gelbe Blüten
□ gelbe und weiße Blüten

Die Gestalt

Die Größe der einzelnen Pflanzenkörper ist unterschiedlich, sogar innerhalb ein und derselben Art gibt es beträchtliche Unterschiede. Ist die Pflanze groß genug, teilen sich die Köpfe. Mit zunehmendem Alter entsteht so ein Polster. *Lithops* können in Kultur ein Alter von mehreren Jahrzehnten erreichen.

Die Anpassung

Nur eine Pflanze aus den Wüsten und Halbwüsten Südafrikas kann es sich „leisten“, dort, wo das Licht für die Photosynthese einfallen soll, Runzeln zu zeigen, farbige Linien und sogar opake Flächen. Schneidet man die Oberfläche der Blätter ab und hält sie gegen Licht, wird der Sinn deutlich. Die „Kappe“ ist durchsichtig. Dies ist ein „Lichtfenster“.

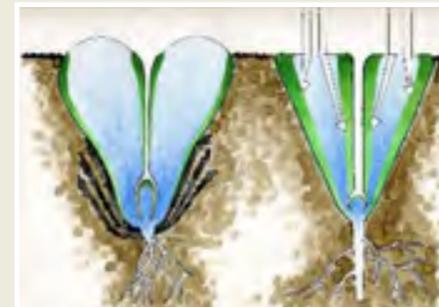


Abb. 1: Längsschnitte durch *Lithops* (links) und *Fenestria* (rechts)
Blau: Wasserspeicher.
Grün: Blattgrün an der Wand.
Pfeile: Einfall und Streuung des Lichtes.

Die Fläche, die Licht aufnehmen kann, ist klein. Wie kann eine Pflanze mit so wenig Licht leben? Das ist nur zu verstehen, wenn man die Pflanze nun auch noch der Länge nach durchschneidet. Vor allem der Rand des kegelförmigen Pflanzenkörpers enthält Chlorophyll – bis tief unter der Erde! Eine dunkelgrüne Schicht kleidet die Innenwand der Pflanze aus, (Abb. 1). Das wasserhaltige Gewebe im Körper der Blätter zerstreut das einfallende Licht und versorgt damit das grüne Gewebe am Außenrand der Blätter von innen mit Licht.

Neue Blätter entstehen jedes Jahr aus einer Knospe tief unten zwischen den dicken Blättern. Die alten Blätter trocknen nach der Blüte ein und bleiben als geschrumpfte Reste sichtbar. Sobald wieder gegossen wird, nehmen die neuen Blätter Wasser auf und erscheinen. So können Lebende Steine bei Trockenheit im Boden verschwinden, von Staub und Sand zugedeckt werden, bis sie wieder bei Niederschlägen erscheinen. Eine Pfahlwurzel ermöglicht eine Wasseraufnahme aus tieferen Erdschichten und Felsspalten. (Abb. 2)



Abb. 2: *Lithops* mit Blüte und Bestäuber; vorne rechts ein Längsschnitt.
Nach einem Gemälde von Marloth.

Ausbreitung durch Regenschleudern

Bestäubt werden die Lebenden Steine von Bienen. Die Blüten sind manchmal größer als die ganze Pflanze. Ihre Früchte sind besonders ungewöhnlich. (Abb. 3) Die rundlichen Früchte öffnen sich, wenn sie nass werden, also nur bei einem der seltenen Regenschauer. Ein Regenschauer genügt nicht, damit aus den Samen eine neue Pflanze wächst. Also hält die Frucht die Samen noch fest. Erst der nächste Schauer schlägt mit seinen Tropfen die Samen aus den Kammern und verstreut sie.

Ökologie

Viele Lebende Steine wachsen auf Quarzflächen, wo das Licht von den Steinen reflektiert wird, so dass sie sich nicht so stark aufheizen. Sie vertragen Temperaturen von über +40 Grad Celsius und bis zu -5 Grad Celsius. Direkt an der Oberfläche sind in den Wüsten Temperaturen um 50 Grad Celsius keine Seltenheit. Quarzflächen bestehen aus verwittertem Gestein, das als Quarzader an die Oberfläche tritt. Daher kann so eine Fläche von anderem Boden mit anderer



Abb. 3 Samenkapseln



Abb. 4: Blühende Lebende Steine, ein Gemälde von einem Zeitgenossen und Freund von Charles Darwin, J. D. Hooker



Abb.5: William John Burchell, 1781-1863. Diese Skizze entstand im August 1812 und ist eins der ersten Bilder von einem Lebenden Stein überhaupt.

Vegetation umgeben sein. Es gibt Regionen in Südafrika, wo auf solchen Quarzflächen endemische Arten von Lithops charakteristisch sind. In einer Ausstellung 2011 in den „Pyramiden“ im Botanischen Garten, Klein Flottbek, wurden noch seltenere Arten der Gattung *Argyroderma* vorgestellt, deren zwei Blätter deutlicher zu erkennen sind.

Gefährdung

Eine Heuschrecke ist der gefährlichste Fressfeind für die „Lebenden Steine“, da sie die Blüten abfrisst und mit dem abgefressenen Blütenstiel eine Wunde hinterlässt. Fanatische Sammler, Viehzucht und die Zerstörung der Flächen durch Bebauung sind die wichtigsten Ursachen der Existenzbedrohung vieler Arten. Der Flugplatz von Johannesburg wurde auf Flächen voller Lithops gebaut. Obwohl Lithops auf landwirtschaftlich wenig nutzbaren Flächen wachsen, führt eine zu hohe Dichte z.B. von Ziegen zu ihrem Verschwinden.

In der Roten Liste gefährdeter Arten der IUCN sind 7 Arten mit unterschiedlichem Bedrohungsstatus aufgeführt. Drei Arten, *Lithops francisci*, *Lithops hermetica*, *Lithops wernerii*, gelten als bedroht.

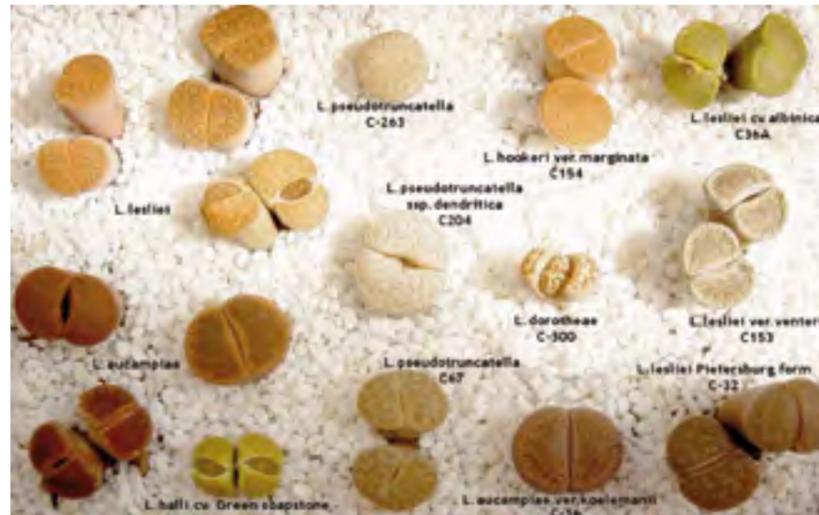


Abb.6 Eine private Sammlung von Lithops

Abb.1 und 2 mit freundlicher Genehmigung des Botanischen Gartens in Bonn, Herrn Barthlott

Quellen und Links

Wer einen schnellen Überblick über die Arten gewinnen will, findet eine Liste unter www.mesembs.com/lithops und kann mit einem Klick 416 Arten und Unterarten mit Fotos und Verbreitungskarten aufrufen.

Abb. 1: mit freundlicher Genehmigung des Botanischen Gartens in Bonn, Herrn Barthlott www.botgart.uni-bonn.de/o_haus/sukku/lithops.php

Abb. 2: www.imagefree.org/freeimage/ViewImage.aspx?imgId=40254
Painting of Rudolf Marloth (1855-1931) of Lithops from his ‚Flora of South Africa‘, 1929. Reproduction in ‚Lithops the Flowering Stones‘ by D. Cole and N. Cole, 2005.

Abb. 3: Grüne Schule, Botanischer Garten Hamburg

Abb. 4: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hooker-Lithops-drawing.jpg>
J.D. Hooker's painting of Lithops in Curtis Bot. Mag. 6077 (1874) with N.E. Brown's annotations at bottom. Reproduction in ‚Lithops the Flowering Stones‘ by D. Cole and N. Cole, 2005.

Abb. 5: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c2/Burchell-Lithops-notes.jpg>

Abb. 6: <http://seedrevolver.com/stoneface/category/pictures/>

Unbedingt ansehen:

http://mesemb.ru/map/lithops.en#lat_-26.391869671769022_lng_30.5859375_zoom_5
Eine interaktive Karte der Vorkommen von "Lithops" auch unter <http://mesemb.ru/map/index.en>
<http://www.iucnredlist.org/about/publications-links#Plants>

Cole, Desmond T- und Naureen A. Cole (2005) Lithops. Flowering Stones. Cactus & Co.
<http://www.lithops.de/>
<http://www.lithops.info/de/botanik/gattung.html>
<http://www.mesembs.com/lithops/>

Dies ist eine Seite für andere Sukkulente; unter „Karteikarten“ finden sich Kulturhinweise zu sehr vielen Sukkulente.

www.fgas-sukkulente.de

Das „Eiskraut“ *Mesembryanthemum crystallinum*



Eiskraut *Mesembryanthemum crystallinum* zur Abholung bereit im Gewächshaus im Botanischen Garten



Eiskraut *Mesembryanthemum crystallinum** in freier Natur

Namen

Sodapflanze; Kristallkraut

Der Gattungsname *Mesembryanthemum* leitet sich von Mesembria (griechisch) = Mittag und anthemion (griechisch) = Blüte ab. Der Familiennamen „Aizoaceae“, von griechischen Wort „aizoon“ = ewig lebend, bezeichnet die Robustheit der Pflanzen.

Beschreibung

Das Eiskraut *Mesembryanthemum crystallinum* ist eine einjährige Pflanze. Die Pflanze ist bis 20 cm groß, verzweigt sich stark, wächst bodennah und neigt bei intensiver UV-Strahlung durch die Bildung von Betacyanen zur Rotfärbung der Blätter. Die Blätter sind fleischig, am Rande leicht gewellt und mit charakteristischen 1 bis 2 mm großen Bläschen überzogen. Ihren Namen verdankt sie diesen perlenartigen, hell-durchsichtig schimmernden Bläschen, die über das gesamte Blatt und die Stängel verteilt sind. Die Blätter sind essbar und schmecken leicht salzig. Die Pflanze sollte keinesfalls mit dem Neuseeland-Spinat, auch Neuseeländeispflanze genannt, verwechselt werden. Die feinen, weißen oder rosa Blüten besitzen einen angeschwollenen Kelch, der ebenfalls mit Bläschen besetzt ist. Die Samen sind sehr klein und glänzend-schwarz gefärbt.

Vorkommen und Verbreitung

Eiskraut stammt ursprünglich aus Südafrika. An den Küsten des Mittelmeeres und der Kanarischen Inseln, in Südastralien, an den Küsten Japans, in Kalifornien und Mexiko wächst es durch den Menschen eingeschleppt mittlerweile verwildert. Dort kommt es zumeist in Massenbeständen vor. Auf den Kanarischen Inseln wurde die Mittagsblume früher zur Gewinnung von Soda (Natriumcarbonat) genutzt, das reichlich in der Asche zu finden ist. Daher rührt auch ihr Name Sodapflanze.

Sehr robust und nicht fördernd für das Wachstum anderer Pflanzen

Hoher Gehalt an osmotisch aktiven Substanzen

Gut für die Haut

Übersteht sehr extreme Dürreperioden

Ökologie

Das Eiskraut kommt zunehmend als invasive Pflanze auch auf der Nord-Hemisphere vor. So gibt es bereits wild-wachsende Bestände am Mittelmeer, wo es sich massenweise vermehrt, in Australien, Kalifornien. Durch ihre enorme Fähigkeit, Feuchtigkeit aus dem Boden zu ziehen, „stiehlt“ die Pflanze anderen Pflanzen das Wasser sehr schnell und effektiv. Sie gehen schnell zugrunde.

Durch den hohen Salzgehalt hinterlässt diese Mittagsblume versalzten Erde, wo immer sie wächst.

Seltsamerweise steigt unter dem Eiskraut der Nitratgehalt des Bodens an. Auch dies verringert das Wachstum von konkurrierenden Pflanzen, vor allem von Gräsern.

Es verfügt zudem über einen erstaunlichen Salz-Haushalt und kann je nach Bedarf Salze aufnehmen und abgeben. Dabei helfen Drüsen unter den Bläschen an den Blättern. Sie können Salze abgeben. Das erklärt den leicht salzigen Geschmack der Blätter. Diese Mittagsblume holt sich in Küstennähe sogar Salz aus der Luft, wenn der Boden nicht salzhaltig genug ist.

Inhaltsstoffe

Bemerkenswert ist der hohe Gehalt an osmotisch aktiven, hydrophilen Substanzen wie Zuckeralkoholen (wie Ononitol, Pinitol), Fruchtsäuren wie Zitronen-, Äpfel-, Oxal- und Weinsäure, Mineralstoffen (vor allem Natrium, Magnesium) und Aminosäuren wie Prolin. Sie alle tragen dazu bei, dass die Pflanze auch unter sehr trockenen Bedingungen überleben kann, da sie Wasser osmotisch in der Zelle binden und so auch bei geringer Umgebungsfeuchte den Wasserverlust minimieren. Selbst nach der Ernte bleiben die Pflanzen noch über Wochen feucht und lebensfähig.

Diese Inhaltsstoffe sind sehr ähnlich denen, die in der menschlichen Haut für die Bewahrung der Feuchtigkeit sorgen. Die Wirksamkeit des Zellsaftes auf den Feuchtigkeitshaushalt der menschlichen Haut ist belegt (s. Quelle, Pharmazeutische Zeitung). Die Firma Wala nutzt diese Inhaltsstoffe gezielt als Bestandteil von Cremes.

Physiologie

Nicht nur gegen Salzstress hat die Mittagsblume Strategien entwickelt, auch extreme Dürreperioden übersteht sie mithilfe eines speziellen Photosynthesemodus: Die Pflanze ist in der Lage, vom „normalen“ C3-Metabolismus auf den sogenannten CAM-Metabolismus (= Crassulaceen Acid Metabolism, den Crassulaceen-Säure-Zyklus) umzustellen. Die Spaltöffnungen werden nur nachts geöffnet, um CO₂ zu fixieren. Da in der Nacht die Temperatur niedriger und die Luftfeuchtigkeit höher ist, minimiert die Pflanze so Wasserverluste. Tagsüber baut sie aus C4-Dicarbonsäuren durch die Photosynthese Kohlenhydrate auf, die Spaltöffnungen können geschlossen bleiben. Insgesamt wird der Wasserverlust im Vergleich zu C3-Pflanzen um bis zu 90 Prozent gesenkt. Da die Umstellung vom C3-Metabolismus auf den CAM-Zyklus mit dem Alter der Pflanze und mit den Umweltbedingungen erfolgt, ist diese Pflanze ein Modellorganismus für die Erforschung von Genaktivität.



Südafrika, Richtersveld an der Grenze zu Namibia (rot)*

Die Blätter sind essbar

Eiskraut stammt ursprünglich aus Südafrika

*Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b1/Mesembryanthemum_crystallinum.jpg



Unterricht
mit den Pflanzen
aus dem
Pflanzen-
abholprogramm

Pflanzen aus dem Pflanzenabholprogramm

Name und Herkunft	Sukkulenz	Besonderheiten und Hinweise
 <p><i>Oxalis herrerae</i> Oxalidaceae Sauerkleegevächse Chile, Peru</p>	<p>Blattstielsukkulenz Eine besonders seltene Form von Sukkulenz</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Blätter und Stängel durch eine Wachsschicht bereift; • Blattepidermis mit wasser-speichernden Zellen. • Wie beim heimischen Sauerklee erlauben Blattgelenke unterschiedliche Blattstellungen je nach Belichtung. • Wenn die Pflanzen im Winter kaum gegossen werden, sind die Blattstiele besonders dick. • Bei Trockenheit wird die Blattspreite abgeworfen; • die Blätter sind nicht sukkulent.
 <p><i>Senecio citriformis</i> Asteraceae Korbblütler Südafrika, Kap-Provinz</p>	<p>Blattsukkulenz</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bei der Untersuchung mit Uhu-hart- oder Nagellackabdrücken ergeben die vielen Wachsschollen ein sehr unklares Bild. • Bei Versuch, einen Flächenschnitt zu machen, stören Öltropfen sehr, die aus den Zellen austreten.
 <p><i>Senecio herreianus</i> Asteraceae Korbblütler Süd-Namibia, Namaqualand</p>	<p>Stamm- und Blattsukkulenz Fensterblätter (Lichtfenster)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr interessante Strukturen der Cuticula! • Blattquerschnitte mit Details zu den Lichtfenstern sind in der Handreichung des Schulbiologiezentrums Hannover zu finden.
 <p><i>Senecio rowleyanus</i> „Erbse am Band“ Asteraceae; Korbblütler Süd-Namibia</p>	<p>Blattsukkulenz Fensterblätter (Lichtfenster)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Angeblich ist über Lichtfenstern die Zahl der Spaltöffnungen verringert oder sie fehlen sogar ganz. Das ließ sich bei Untersuchungen nicht bestätigen. Bitte nachprüfen!!

Name und Herkunft	Sukkulenz	Besonderheiten und Hinweise
 <p><i>Senecio articulatus</i> Asteraceae Korbblütler Südafrika, Kap-Provinz</p>	<p>Blatt- und Stammsukkulenz</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Blätter sind deutlich bifazial, d.h. auf der Oberepidermis fehlen die Spaltöffnungen, die auf der Unterseite sehr zahlreich sind. • Am Spross fehlen Spaltöffnungen. • Abdrücke ergeben ein sehr klares, deutliches Bild!
 <p><i>Crassula lycopodooides</i> Schnürsenkel Crassulaceae Dickblattgewächse Südafrika</p>	<p>Blattsukkulenz, die Stammsukkulenz vortäuscht</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kleiner Strauch, in vier Reihen angeordnete, dachziegelartig deckende Blättchen an einem nicht sukkulenten Stängel. • An den sehr kleinen Blättern ergeben Abdrücke keine guten Ergebnisse.
 <p><i>Crassula ovata</i> Geldbaum, Jadebaum Crassulaceae Dickblattgewächse Südafrika, Natal, Kap-Provinz</p>	<p>Blatt- und Stammsukkulenz</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Blätter sind äquifazial, d.h. es gibt keine Unterschiede in Anzahl und Verteilung der Stomata auf der Ober- und Unterseite der Blätter. • Löst man die Wachsschicht mit einem Lösungsmittel, bekommt man klarere Abdrücke mit deutlichen Zellgrenzen. • Die Wachsschichten erscheinen wie Schollen, die Spaltöffnungen sind eingesenkt.
 <p><i>Aeonium canariense</i> Crassulaceae Dickblattgewächse Kanarische Inseln</p>	<p>Blattsukkulenz</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ein Abdruck zeigt sehr deutlich Wachsstrukturen, Pflanzenhaare UND Spaltöffnungen zugleich. <p>siehe Schülerarbeitsblatt</p>



Name und Herkunft
Cotyledon spec.
Cotyledon undulata
 Silberkrone
 Crassulaceae
 Dickblattgewächse
 Südafrika

Sukkulenz
 Blatt- und Stamm-
 sukkulenz

Besonderheiten und Hinweise

- Die schollenartige Struktur des Wachses ist in Abdrücken sehr gut zu erkennen und verdeckt die Abdrücke der Zellgrenzen. Auch hier kann man versuchen, das Wachs mit Lösemittel zu entfernen und erneut Abdrücke nehmen.



Name und Herkunft
Cotyledon papillaris
 Crassulaceae
 Dickblattgewächse
 Kapverden

Sukkulenz
 Blatt- und Stamm-
 sukkulenz

- siehe oben



Name und Herkunft
Echeveria derenbergii,
Echeveria setosa
 Crassulaceae
 Dickblattgewächse
 Mexiko

Sukkulenz
 Blattsukkulenz

- Die sehr deutliche und dichte Behaarung macht Abdrücke fast unmöglich.
- Flächenschnitte sind für geübtere Schüler zu empfehlen.



Name und Herkunft
Sedum pachyphyllum
 Schnapsnase
 Crassulaceae
 Dickblattgewächse
 Mexiko

Sukkulenz
 Blattsukkulenz

- Der kleine Strauch hat rundliche Blätter, die sich bei guter Belichtung an der Spitze dunkelrot verfärben. Daher der Name!
- Die Cuticula ist sehr deutlich ausgeprägt, das rundliche Blatt lässt keine Ober- und Unterseite an der Verteilung der Spaltöffnungen erkennen.
- Abgefallene Blätter wachsen sehr gut wieder an.

???



Wechselnde Pflanzenarten

Name und Herkunft
Haworthia cymbiformis
 oder
Haworthia x cuspidata
 Liliaceae

Sukkulenz
 Blattsukkulenz
 Fensterblätter
 (Lichtfenster)

Besonderheiten und Hinweise

- Es ist ein erstaunlicher Fall von paralleler Evolution, dass in dieser Pflanzengruppe ebenfalls Lichtfenster vorkommen.
- In der Pflanzenlieferung gibt es immer wieder panaschierte Formen, bei denen im Blatt weiße Streifen oder Flecken auftreten.

Diverse
 Kakteengewächse
 Cactaceae
 Amerika

Sukkulenz
 Stammsukkulenz

- Die Kakteen sind nicht immer verfügbar und es sind nicht immer die gleichen Arten.
- Oft ist zu lesen, dass die Zahl der Spaltöffnungen in den Winkeln zwischen den Rippen höher ist als auf den Rippen selbst. Das trifft nicht immer zu! Dies lässt sich an den Pflanzen aus der Pflanzenlieferung gut überprüfen.



Name und Herkunft
Mesembryanthemum crystallinum
 Eiskraut
 Aizoaceae
 Südafrika

Sukkulenz
 Blattsukkulenz

- Kristall- oder Blasenzellen

Leben auf dem Trockenen

– Übersicht eines Unterrichtsverlaufs

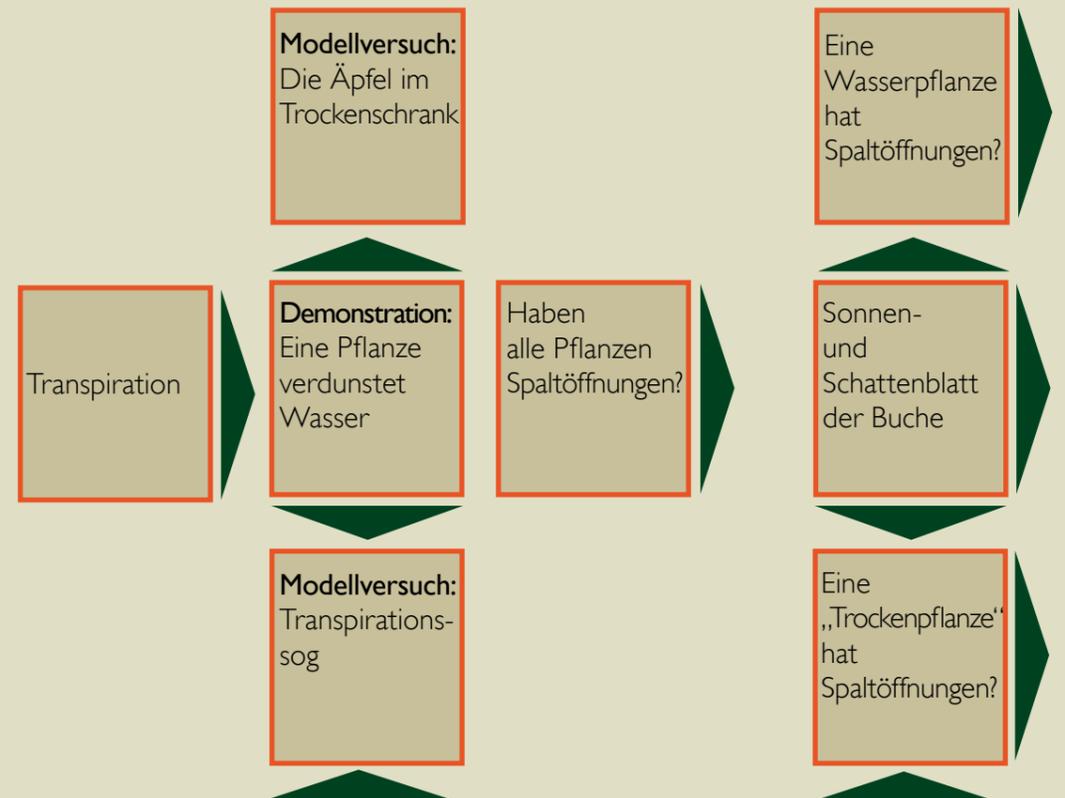
Experimentieren:
Das Isolieren einer Variablen

Experimentieren:
Mikroskopieren mit Blattabdrücken

Hypothesenbildung
Welche Mittel setzen Pflanzen ein, um das Maß der Verdunstung zu reduzieren?

Überprüfung und Planung
einer Untersuchung:
Efeu – eine Pflanze im Trockenstress?

Unterrichtsgang



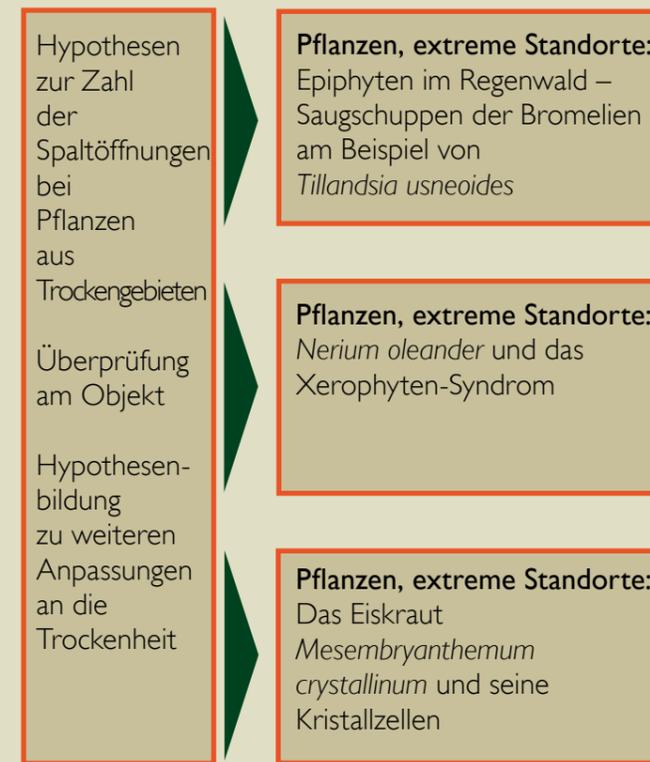
Angebote aus der Grünen Schule: Exkursion, Pflanzenabholprogramm

Ein Besuch im Tropengewächshaus:
Anpassungen in Trockengebieten
Eine Weltreise

Pflanzenabholprogramm:
Vergleich von Sukkulente mit Blick auf ihre Blattoberflächen • Anpflanzen eines Wüsten(flaschen)gartens • Lieferung von Wasserpflanzen

Mindestanforderungen

STS: E1 Werkzeuge sachgerecht nutzen; **E2** Ordnen und kategorisieren; **E3** Experimentieren; **K3** Informationen darstellen mithilfe von Texten und Grafiken; **B2** Fachliche Bewertungskompetenz
Gym: SuS mikroskopieren geeignete Präparate, Zellen verschiedener Organismen und stellen sie in Zeichnungen dar



Nach der Untersuchung von Spaltöffnungen bei verschiedenen Pflanzen aus Trockengebieten bietet die Untersuchung von heimischen Pflanzen eine Möglichkeit der Erfolgskontrolle in Form einer Klausur oder Präsentation

Pflanzenabholprogramm:
Tillandsia usneoides,
Eiskraut *Mesembryanthemum crystallinum*
(Mai - September)

STS: B2 SuS entscheiden und begründen, inwieweit der Ausgang einer Untersuchung bzw. eines Experimentes einer aufgestellten Vermutung entspricht
Gym: SuS wenden einen naturwissenschaftlichen (hypothetisch-deduktiven) Erkenntnisweg an

Leben auf dem Trockenen

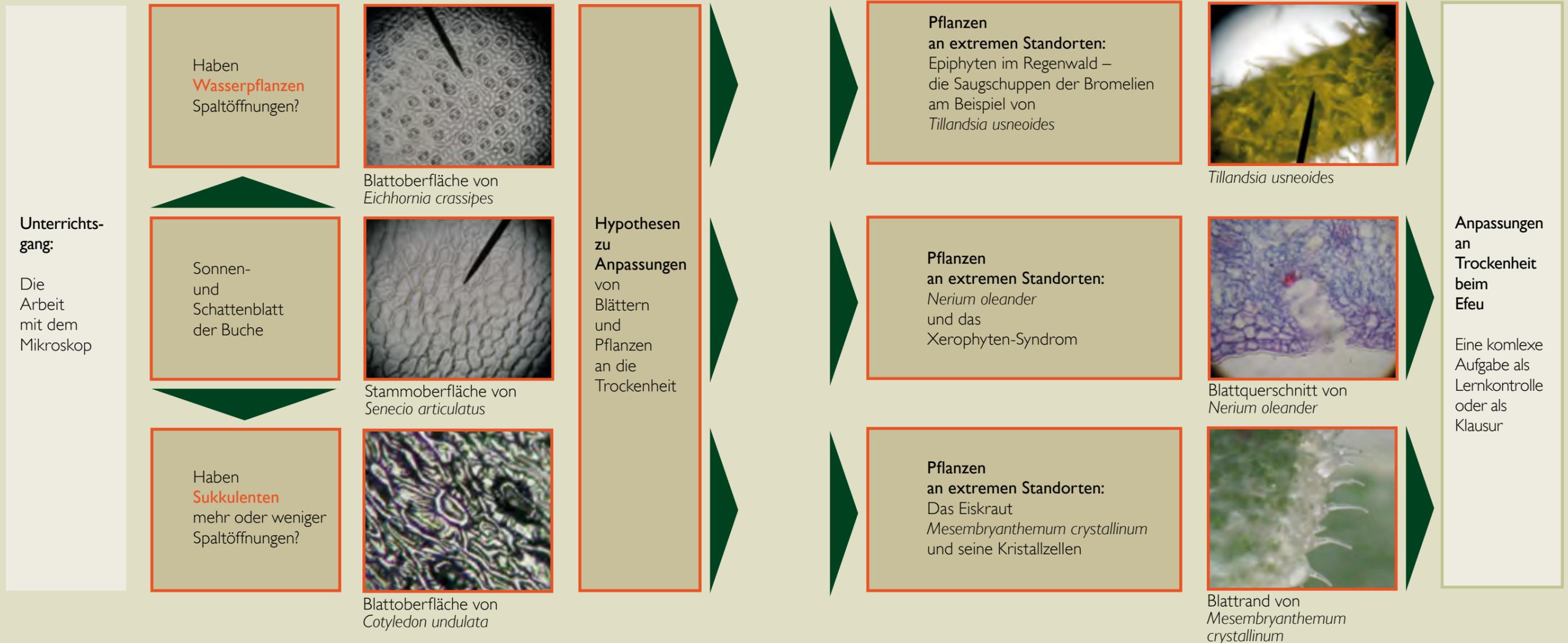
– Hypothesenbildung

Hypothesenbildung:

Die Ausbildung und Anzahl von Spaltöffnungen bei Pflanzen unterschiedlicher Standorte, besonders bei Sukkulente

Hypothesenbildung

zu Anpassungen von Pflanzen an extremen Standorten



Mindestanforderungen
STS: E1, Werkzeuge sachgerecht nutzen; E2 Ordnen und kategorisieren; E3 Experimentieren; K3 Informationen darstellen mithilfe von Texten und Grafiken; B2 Fachliche Bewertungskompetenz
Gym: SuS mikroskopieren geeignete Präparate, Zellen verschiedener Organismen und stellen sie in Zeichnungen dar

STS: SuS entscheiden und begründen, inwieweit der Ausgang einer Untersuchung bzw. eines Experimentes einer aufgestellten Vermutung entspricht
Gym: SuS wenden einen naturwissenschaftlichen (hypothetisch-deduktiven) Erkenntnisweg an
Gym: SuS mikroskopieren geeignete Präparate, Zellen verschiedener Organismen und stellen sie in Zeichnungen dar

Die Pflanzen für die Unterrichtspraxis

In den Untersuchungen werden diese Pflanzen verwendet:



Aeonium canariense (S.42, 43)



Cotyledon undulata (S.41)



Cotyledon papillaris (S.41)



Crassula ovata (S. 43)



Eichhornia crassipes (S.40)



Echeveria setosa (S.37)



Mesembryanthemum crystallinum (S.46)



Nerium oleander (S.46)



Hedera helix (S. 38)



Sedum pachyphyllum (S. 43)



Senecio articulatus (S.42, 47)



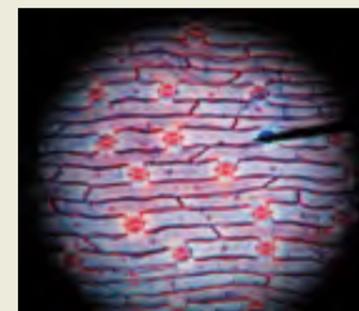
Tillandsia usneoides (S.46)

Mikroskopieren an der Oberfläche – die Spaltöffnungen

Die Methode

Die Untersuchung der Blattoberflächen durch Abdrücke mit Uhu-hart oder Nagellack liefert hauchdünne Objekte, die problemlos zu mikroskopieren sind. Die Schülerinnen und Schüler sollten vorher gelernt haben, auf die Oberfläche des Objektisches bzw. des Objektträgers scharf zu stellen.

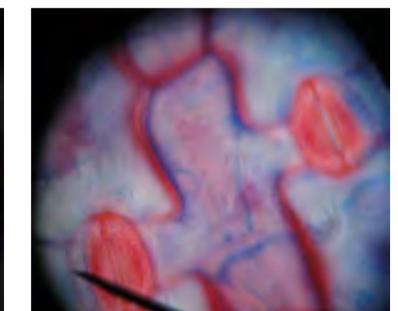
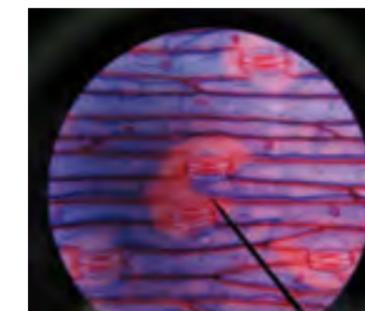
Um das zu üben, eignet sich ein Stück Millimeterpapier, das im Durchlicht des Mikroskops noch genügend Kontrast bietet und eine Vorstellung von der Größe des Bildausschnittes vermittelt. Das ist für die späteren Überlegungen zur Anzahl der Spaltöffnungen pro Fläche wichtig.



Oben:
Dauerpräparat der Epidermis von der Tulpe

Mitte:
Gut von den anderen Epidermiszellen zu unterscheiden:
Die Bohnenform der Schließzelle

Von links nach rechts:
Epidermis der Tulpe, Dauerpräparat;
links 40x, Mitte 100x, rechts 400x;
Schülerfotos



Die oberen Abbildungen zeigen Schülerfotos eines Dauerpräparates der Epidermis von der Tulpe. Die Zellkerne sind sichtbar, die Schließzellen lassen sich noch Reste des Zellplasmas mit den Chloroplasten erkennen. Der Unterschied zu den Abdrücken liegt auf der Hand, bei denen nur die Zellgrenzen sehr deutlich abgebildet werden. Die Schließzellen sind an der Bohnenform gut von den anderen Epidermiszellen zu unterscheiden. Beim Mikroskopieren der Epidermisabdrücke von Sukkulenten kommt hinzu, dass die Oberflächen von Haaren und Wachsstrukturen bedeckt sein können und die Spaltöffnungen so eingesenkt sind, dass nur noch Öffnungen zu sehen sind, die man von den Öffnungen zwischen den Schließzellen unterscheiden können muss. Auf die verschiedenen Spaltöffnungstypen wird hier nicht näher eingegangen; ein Vergleich mit dem Sedum-Typ (unten) bietet sich allerdings an.

Nebstehend:
Blattabdruck von Echeveria; Sedum-Typ



Diese Abbildung links zeigt einen Abdruck von der Unterseite einer Echeveria, die zu den Crassulaceae gehört.

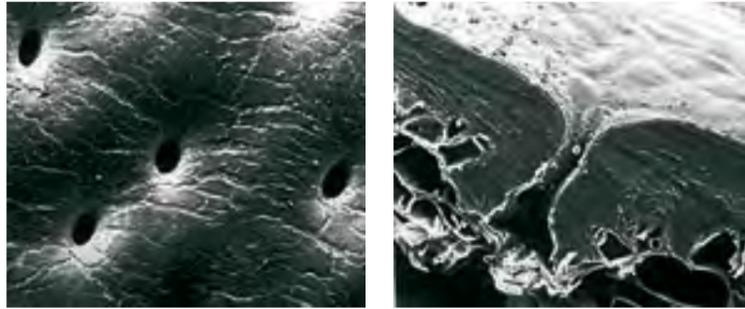
Man sieht diesem Bild sogar die Reihenfolge der Zellteilungen an, die zur Spaltöffnung führen. Solche Bilder gewinnt man auch durch Abdrücke mit Uhu-hart bei *Aeonium canariense* und *Sedum pachyphyllum*.

Spaltöffnungen vom Sedum-Typ kommen auch bei anderen Gattungen vor.

Bild links: Oberepidermis einer Kaktee, *Rhipsalis dissimilis*

Bild rechts: Oberepidermis im Querschnitt, ebenfalls *Rhipsalis*

Quelle: www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d05/r07.htm dissimilis



Versenkte Spaltöffnungen

Dafür ein extremes Beispiel: Die beiden oberen Abbildungen zeigen die Epidermis einer xeromorphen Kaktee, *Rhipsalis dissimilis*, links in der Aufsicht, rechts im Querschnitt. Links ist zu sehen, dass am Grund der kraterförmigen Einsenkung eine Spaltöffnung liegt. Rechts im Querschnitt sind die extrem verdickte Kutikula und der Kanal zu erkennen, an dessen Grund die tief eingesenkte Spaltöffnung ist. Diese rasterelektronischen Aufnahmen verdeutlichen, was man wissen muss, um Uhu-hart-Abdrücke oder Abdrücke mit Nagellack interpretieren zu können. Die Strukturen der Wachsschichten verdecken oft die Zellgrenzen, so dass im Abdruck nur mehr oder weniger unregelmäßige Wülste zu erkennen sind. Die Öffnungen, unter denen eingesenkt die Spaltöffnungen liegen, sind meistens oval, so dass sie leicht mit den eigentlichen Spaltöffnungen zu verwechseln sind.; auch der heimische Efeu zeigt solchen eingesenkten Stomata.

Ergebnisse

Betrachtet man Abdrücke von *Crassula ovata*, so stellt man schnell fest, dass die Zellgrenzen auch hier nur schwer zu erkennen sind. Nimmt man Benzin oder ein anderes Lösemittel, wischt die Wachsschicht ab und nimmt wieder einen Abdruck, so erkennt man die Zellgrenzen sehr viel besser. Die Dicke der Wachsschichten fällt auf, wenn man über die Blätter von *Cotyledon* oder *Aeonium* wischt. Sie sind nur nicht so mächtig wie bei *Rhipsalis* (siehe oben).



Quelle: www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d05/r07.htm dissimilis

Die Zahl der Spaltöffnungen bei Pflanzen ist höchst unterschiedlich. Die Abbildung oben zeigt die Epidermis eines tropischen Baumfarnes. So eine Dichte findet sich höchstens noch bei Wasserpflanzen *Eichhornia crassipes*, der Wasserhyazinthen. (Siehe S.

Haben alle Blätter Spaltöffnungen?

Die unterschiedliche Anzahl von Spaltöffnungen fordert zu Fragen heraus. Die einfachste Leitfrage ist die, ob tatsächlich alle Pflanzen Spaltöffnungen haben. Das Ziel wäre eine Fotodokumentation.

Ein Vergleich

Eine Vertiefung bestünde darin, die Standorte der Pflanzen aufzuklären und Zusammenhänge mit dem Lebensraum aufzudecken. Eine weiterführende Frage ist, ob Sukkulente deutlich mehr oder weniger Spaltöffnungen als andere Pflanzen wie z. B. die (*mesophylle*) Buche haben. Es wird überraschen, dass Sukkulente erstaunlich viele Spaltöffnungen haben, da sie in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit am Morgen und am Abend, wo sie zwischen Vertrocknen und Verhungern eine erträgliche Balance finden, maximalen Stoffaustausch betreiben müssen.

Wenn es sich um C 4-Pflanzen handelt, können sie die Spaltöffnungen tagsüber geschlossen lassen, da sie nachts das nötige Kohlendioxid aufnehmen, in Äpfelsäure binden und tagsüber im Tageslicht umsetzen.

Das folgende Aufgabenblatt fordert dazu auf, die Abdrücke von der Oberfläche einer Wasserpflanze, der Wasserhyazinthe *Eichhornia crassipes* zu vergleichen mit einer ausgewählten Sukkulente oder einer anderen Pflanze.

Die Fotos auf den folgenden Seiten können als Maßstab für die Qualität der eigenen Arbeit gelten. Es kann gern versucht werden, bessere Fotos von Abdrücken der *Eichhornia* zu gewinnen.

Was ist zu sehen?

Beschreibung des mikroskopischen Bildes

Eine Cuticula fehlt fast völlig, die Zellgrenzen sind sehr gut zu erkennen, die Zahl der Spaltöffnungen ist sehr hoch. Die Wasserpflanze „tut alles“, um Wasser zu verdunsten, damit die gelösten Mineralstoffe aufgenommen werden können. Auf der Epidermis von *Aeonium canariense* tauchen plötzlich Haare auf, die gar nicht so einfach scharf abzubilden sind. Bei *Senecio articulatus* haben sich Schüler gefragt, ob nicht auch auf den sukkulenten Sprossen Spaltöffnungen zu finden sind. Hier sind zusätzlich auch Bilder von der Epidermis der Blattoberseite gezeigt, die keine Spaltöffnungen besitzt. *Cotyledon papillaris* schließlich hat sehr dicke Wachsschichten, so dass die oben beschriebenen Öffnungen über den eigentlichen Spaltöffnungen wie kleine Krater erscheinen. *Cotyledon undulata* zeigt eine sehr stark skulpturierte Oberfläche, wulstige Wachleisten, zwischen denen wiederum die Einsenkungen zu erkennen sind, unter denen die Spaltöffnungen liegen.

Eichhornia crassipes
Wasserhyazinthe
wächst im Auto



Arbeitsauftrag

Die linke Reihe zeigt Fotos der Blattoberfläche einer Wasserpflanze: *Eichhornia crassipes*, die Wasserhyazinthe.

Wähle unter den Pflanzen, die aus Trockengebieten kommen, eine aus!

- Wirst du auf allen Seiten der Blätter Spaltöffnungen vorfinden?
Notiere deine Vermutung.
- Wirst du mehr oder weniger Spaltöffnungen als bei der Wasserpflanze vorfinden?
Notiere deine Vermutung und begründe sie!
- Fertige vergleichbare Aufnahmen von ausgewählten Sukkulente(n)!
Skizziere rechts neben die Fotos das Ergebnis deiner Arbeit.

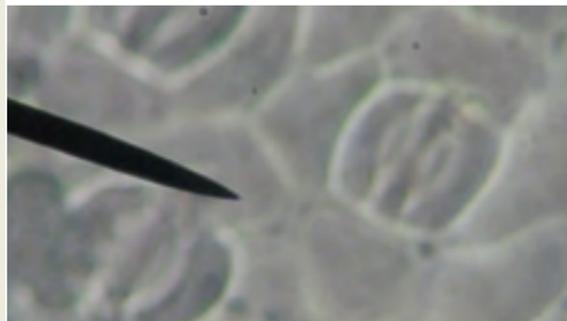
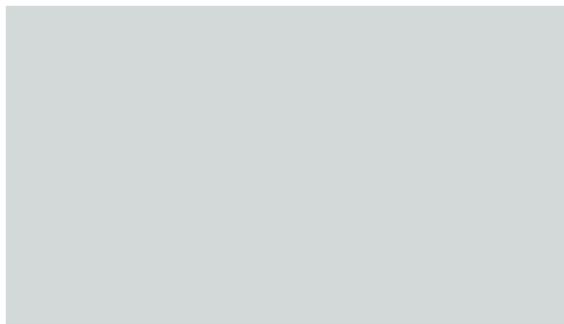
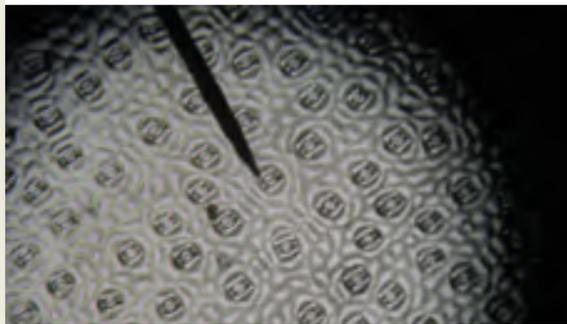
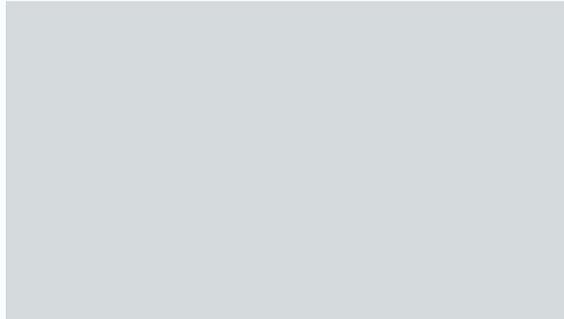


Abb. von der Blattoberfläche von *Eichhornia crassipes*

Skizzen von der Blattoberfläche einer Sukkulente

Arbeitsergebnis

Epidermisstrukturen von Sukkulente(n) aus der Pflanzenlieferung.

Abdrücke mit Nagellack, Schülerarbeiten

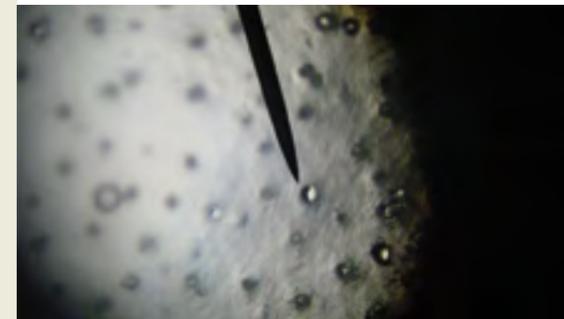


Abb. 1 *Cotyledon papillaris*, Unterseite, 40 x



Abb. 2 *Cotyledon papillaris*, Unterseite, 400 x

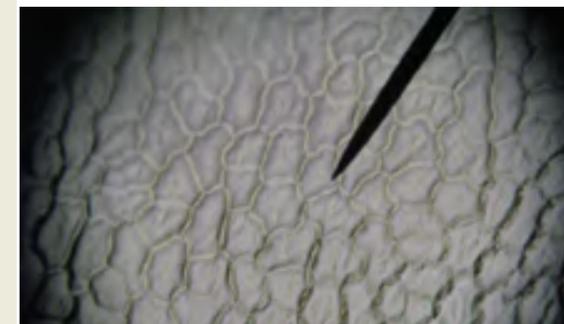


Abb. 3 *Senecio articulatus*, Oberseite, 100 x

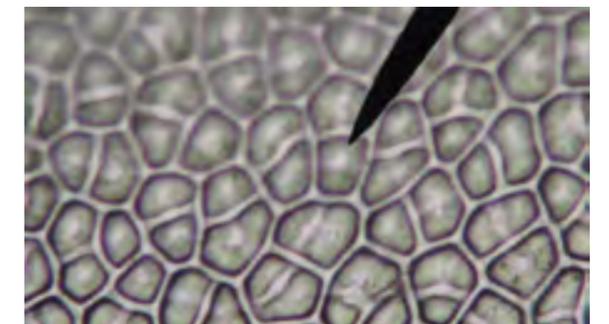


Abb. 4 *Senecio articulatus*, Stamm, 400 x

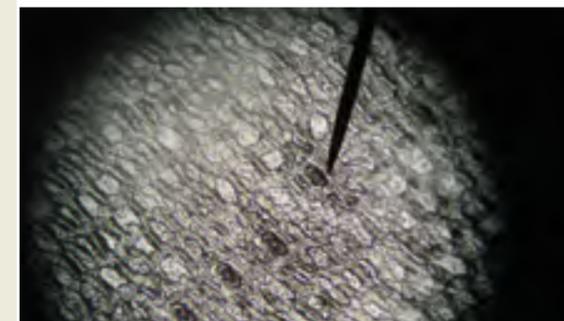


Abb. 5 *Cotyledon undulata*, Unterseite, 100 x

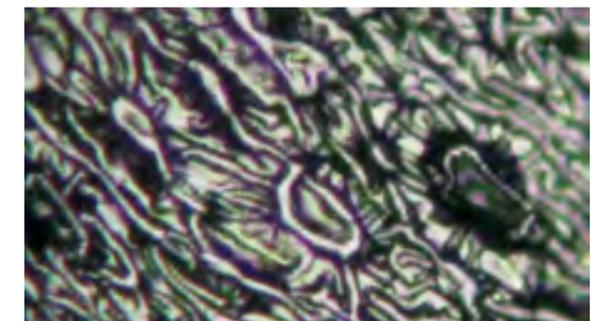


Abb. 5 *Cotyledon undulata*, Unterseite, 400 x

Haben Pflanzen Spaltöffnungen?

Epidermisstrukturen von Sukkulente n aus der Pflanzenlieferung.
Schülerarbeiten, Fotos von Blattoberflächen (Uhu-hart-Abdrücke)

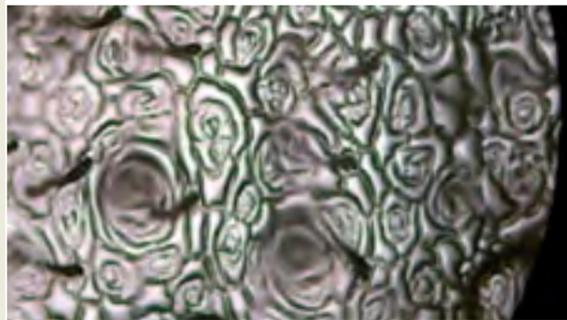


Abb. 1 *Aeonium canariense*, Blattoberseite, 100 x

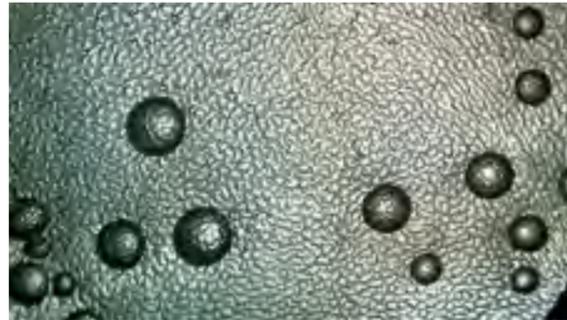


Abb. 2: *Senecio articulatus*, Blattoberseite, 40 x
Die Luftblasen sind für Uhu-hart typisch

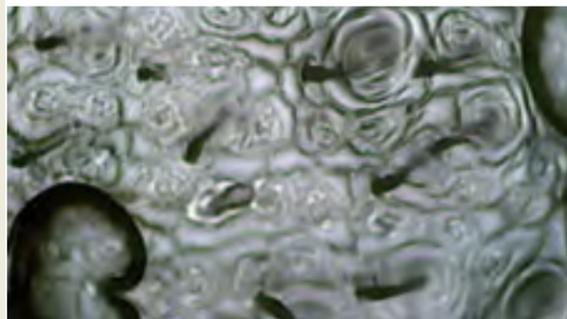


Abb. 3 *Aeonium canariense*, Blattoberseite, 100 x

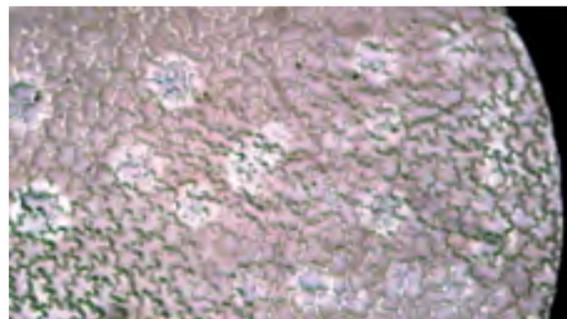


Abb. 4 *Senecio articulatus* – Blattoberseite, 100 x



Abb. 5 *Aeonium canariense*, Blattoberseite, 100 x

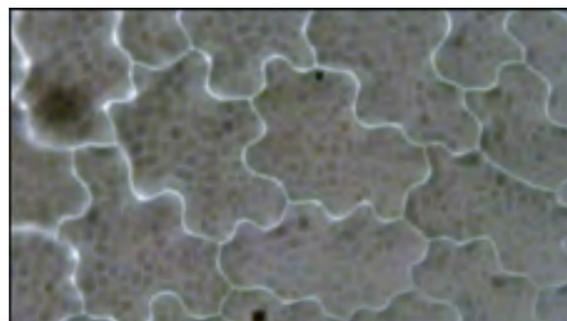


Abb. 5 *Senecio articulatus*, Blattoberseite, 400 x

Hinweise für das Anfertigen von Zeichnungen

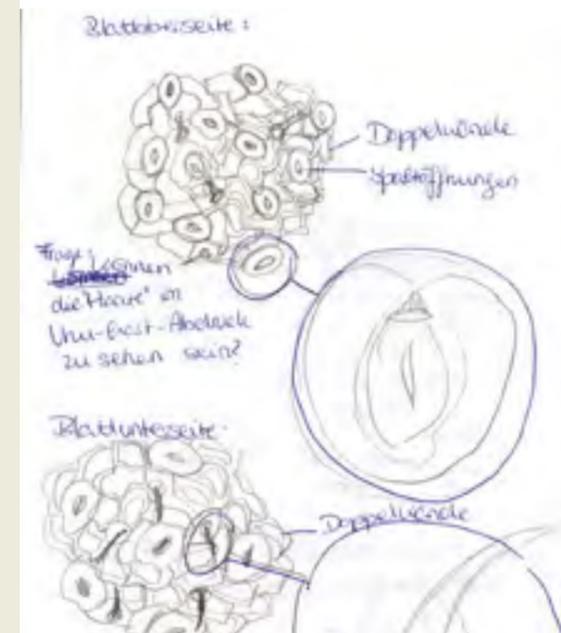


Abb. 1 Schülerzeichnung zum Abdruck von *Aeonium canariense*, siehe Seite 46

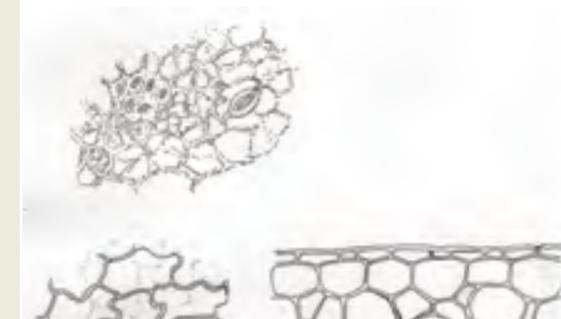


Abb. 2 Oberfläche von *Crassula ovata*, Geldbaum

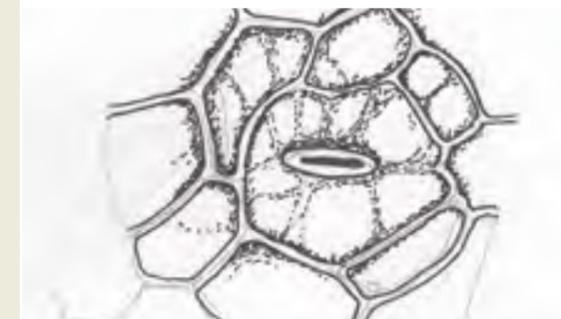


Abb. 3 Spaltöffnung von *Sedum pachyphyllum*, der „Schnapsnase“

- Die Zeichnung soll die Zellwände, bzw. deren Abdrücke erfassen.
- Alle Zellwände werden in Doppellinien angelegt. Der Verlauf der Zellwand wird vorher als feine Linie angedeutet.
- Übersichtsskizzen ermöglichen Orientierung.
- Details werden größer heraus gezeichnet.
- Der gezeichnete Ausschnitt wird markiert.
- Das Zeichnen von Schatten und Strukturen ist verlockend. Im Mittelpunkt stehen aber die Zellformen und -grenzen.
- Ebenso sind Schattierungen zu vermeiden, da sie mit dem Zelleninhalt verwechselt werden könnten.

Konzept eines Unterrichtsganges

Klassenstufe 4-7	Phase Einstieg	Zeit 5'	Arbeitsauftrag/Aktivität/Hinweise für Lehrkräfte „Stellt euch vor eine Pflanze, deren Gestalt ganz besonders ist.“ „...deren Gestalt verrät, wo sie Wasser speichert“ „...deren Gestalt verrät, dass sie in einer Wüste gut überleben kann.“ Merkt euch den ersten Namen auf dem Schild und das Land, wo die Pflanze eigentlich wächst.“
	Erarbeitung	15'	Die Schülerinnen und Schüler benötigen erfahrungsgemäß eine ganze Weile, bis die Objekte zur Zufriedenheit gelungen sind. Teilt man Borsten oder Holzspieße zur Nachahmung von Dornen mit aus, wird man sehr viel Zeit für das Aufräumen benötigen. Geschickt werden auch Dornen aus Knete modelliert und aufgesetzt.
	Zuordnung	5'	Weltkarten liegen im Gang vor den Aquarien bereit. Die SuS ordnen ihre Pflanzen den Erdteilen zu und setzen sie auf die Weltkarte. Können Pflanzen nicht klar zugeordnet werden, stehen sie „im Meer“.
	Präsentation	10'	Die Schüler beschreiben ihre Pflanze, sagen, woher sie kommt und setzen sie auf die Weltkarte. (Wer nicht mehr weiß, wie sie heißt, wartet, bis alle ihre Pflanze beschrieben haben. Wissen es viele nicht mehr, gehen alle noch einmal mit ihren Modellen vor die Pflanzen und schauen nach, ob sie es richtig erinnern.)
	Auswertung: Sammlung der Merkmale von Wüstenpflanzen	5' - 10'	Im Gespräch vor den Pflanzen oder um die Karten herum stehend werden Blatt – und Stammsukkulenz beschrieben, die Zahl und Anordnung der Dornen bei Kakteen und Wolfsmilchgewächsen wird unterschieden, die Wasserspeicherung z.B. beim Elefantenfuß betont, die oft deutlich ausgeprägten Haarfilze hervorgehoben und von Wachsüberzügen unterschieden.
	Übung Schüler lehren Schüler		Zu diesem Zeitpunkt kommen die Schüler aus dem Unterrichtsgang durch die „feuchten Tropen“ zurück und werden von den Schülern mit ihren Modellen vor die Pflanzen geführt. Schüler erklären Schülern die Merkmale von Wüstenpflanzen. Variante: Die Schüler, die auf dem Unterrichtsgang durch die „feuchten Tropen“ waren, suchen anhand der Modelle die Originale und werden von den Herstellern der Modelle ohne Hinweise zu geben begleitet. Danach erklären die Hersteller der Modelle die wichtigen Merkmale von Wüstenpflanzen.

Wechsel der Gruppen

	Vertiefung Story telling	20' -30'	Die Gruppe, die aus der Führung kommt, erhält einzelne Pflanzenporträts (z.B. Kannenpflanze, Vanille, Kakao, Kautschuk; Köcherbaum, Sisal-Agave, Lithops). Sie werden später einen Kurzvortrag über „ihre“ Pflanze halten. Es kann sich um Wüstenpflanzen handeln oder um Pflanzen aus der Führung durch die „feuchten Tropen“ oder um beide.
	Pause	10'	Ein Zeitpuffer ist nötig. Die Gruppe aus der Führung kann eine Pause einlegen.
	Erarbeitung		Manche Schüler haben große Probleme mit freien Vorträgen. Als Anregung und Hilfe können die „Steckbriefe“ der Pflanzen mit Stichworten kombiniert werden, die z.B. auf der Rückseite des Porträts zu finden sind. (Siehe Anhang)

Pflanzengeographie mit Knetmasse

Ein Unterrichtselement für das Sukkulentenhaus



Modelle kneten
in allen Alterstufen



Die Auswahl der Vorlagen für die Knetmodelle kann unterstützt werden



Die Schulklassen werden für die Unterrichtsgänge in Gruppen geteilt. Eine Gruppe geht geführt durch das Tropenhaus, parallel dazu bearbeitet die andere Teilgruppe Aufgaben im Sukkulentenhaus, so dass beim Wechsel der beiden Teilgruppen ein Austausch über Anpassungen an so verschiedene Lebensräume stattfinden kann. Auswertende Gespräche sind im Gang des Sukkulentenhauses auch mit Teilgruppen nur sehr begrenzt möglich. Im Eingangsbereich, wo die Großgruppe gesammelt werden kann, gibt es keine Pflanzen.

Es bietet sich an, Notwendigkeit und Pädagogik zu verbinden: Die Schüler, die im Sukkulentenhaus arbeiten, stellen nach einer kurzen Sachinformation über Sukkulenz Knetmodelle der unterschiedlichen Formen von Sukkulente vor den von ihnen ausgewählten Pflanzen her, ordnen ihnen geographische Herkünfte zu, so weit es die Beschilderung erlaubt und stellen ihre Modelle auf eine Weltkarte, die vor den Aquarien im Eingangsbereich ausgebreitet ist. Im Rahmen des Unterrichtsganges zur Evolution werden auch Oberstufenschüler angeleitet, so zu verfahren.

Die Pflanzensammlung im Sukkulentenhaus (siehe Plan, S xx) ist auch nach geographischen Gesichtspunkten geordnet. Das ist für die Besucher auf den ersten Blick nicht erkennbar. Mit Hilfe der Beschilderung und der Knetfiguren lässt sich aufdecken, welche Pflanzengruppen und Einzelexemplare auf welchen Kontinent gehören. Erst dadurch ist die Einsicht möglich, dass zum Beispiel die „klassischen“ Gestalten von Aloe und Agave, von Säulenkaktus und großer Euphorbie konvergente Entwicklungen sind. Ähnlichkeit ist hier nicht gleichbedeutend mit Verwandtschaft.

Arbeitsauftrag für Klasse 4 - 7

Finde Pflanzen, denen du ansiehst, wo sie Wasser verbergen!

- Knete vor der Pflanze stehend ihre Figur in klein aus Knetmasse.
- Finde das Schild für die Pflanze. Merke Dir den ersten Namen auf dem Schild oder den deutschen Namen, wenn es einen gibt. (Einfach ist es bei der Aloe, da sind beide Namen gleich.)
- Merke Dir nun auch das Land, wo diese Pflanze wächst. Manchmal steht es leider nicht auf dem Namenschild.
- Gehe in den Vorraum zurück. Setze Deine Pflanze auf die Weltkarte vor den Aquarien an die richtige Stelle. War auf dem Schild kein Land angegeben, setze die Pflanze ins Leere, ins Meer. Hast Du das Land vergessen, gehst du bitte wieder zurück ins Sukkulentenhaus.
- Lies Dir das Pflanzenporträt durch. Übe mit einem Mitschüler einen kurzen Vortrag über die Pflanze, über die du nachher vor der ganzen Gruppe deinen Vortrag hältst.
- Du findest Stichwörter als Gedächtnisstütze vor. Nutze sie, wenn du den Text gelesen hast und deinen Vortrag hältst. Übe!

Modelle von Sukkulente
wie auch Kakteen aus Knetmasse



Die Farben passen nicht,
aber es sieht so fast noch besser
aus als das Original



Links: Südafrikanische Sukkulente,
Haworthia, *Lithops* sind dabei

Rechts: Oberstufenschüler
vor ihren Knetmodellen



Links: Die Modelle werden
auf die Weltkarte gesetzt.

Rechts: Die Modelle werden
mit den Vorbildern verglichen



Sukkulenz verschiedener Pflanzen
im Vergleich -Konvergenzen!



Pflanzengeographie mit Knetmasse

Der Unterrichtsgang für die Oberstufe

Das Nachformen der Pflanzengestalten in Knetmasse vor Ort im Gewächshaus im Angesicht des Objektes ist auch für die Oberstufe sinnvoll.

Mit dieser Methode ist es möglich, eine ganze „Evolutionsreihe“ darzustellen: Das ist die Vorstellung eines morphologischen Übergangs zwischen typischen Pflanzengestalten. Es ist selbstverständlich keine reale Abfolge von Evolutionsgeschichte.

Morphologischer
Übergang zwischen
typischen Pflanzengestalten

Anpassungen
und Konvergenzen

Die Anpassungen und Konvergenzen können im Vorraum mit den Knetmodellen sehr plastisch zusammengestellt werden. Aloe und Agave gehören in verschiedene Erdteile, sind aber in ihrer Gestalt deutlich konvergent.

Die säulenförmigen Sukkulente bei Kakteen und Wolfsmilchgewächsen, die Blattstellungen bei den verschiedenen Mittagsblumengewächsen – die Fülle der Themen ist ungeheuer.

„Wie kommt eine Pflanze
auf die Bäume?“

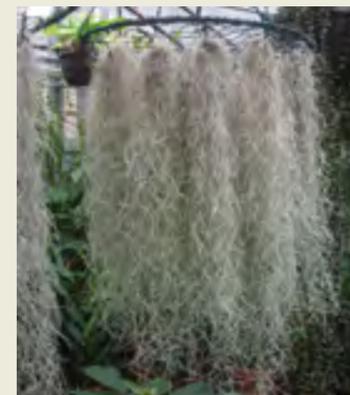
Auf dem parallelen Unterrichtsgang durch die „feuchten Tropen“ werden unter anderem die Bromelien vorgestellt. Die Epiphyten unter ihnen sind eine Herausforderung für das Vorstellungsvermögen der Schülerinnen und Schüler: Wie „kommt eine Pflanze auf die Bäume?“

Unter den Bromelien gibt es Formen, die an trockene Standorte auf Felsen angepasst sind und schon fast ohne Wurzeln auf nacktem Gestein existieren können. Im Sukkulentehaus steht z.B. *Puya chilensis*, eine stark bestachelte Bromelie aus Chile, über einen Meter groß. Auch die Vorstellung möglicher Größen muss sich bilden.



Tillandsien im Gewächshaus
im Botanischen Garten

Eine „Endstufe“ ist *Tillandsia usneoides*, das Louisiana-Moos, das ganz ohne Wurzeln auf Telegrafendrähten und Bäumen wächst. Die Bromelien mit ihren „Blattümpeln“, die durch die wirtelig stehenden Blätter entstehen, sind auf dem Epiphytenstamm im Tropenhaus zu sehen. Diese Bromelien zeigen auch immer Einrichtungen zum Schutz gegen die intensive Tropen Sonne. Sie sind mit mehrzelligen Saugschuppen bedeckt, die gleichzeitig als UV-Schutz dienen. Bei *Tillandsia usneoides* dienen sie gleichzeitig dem Festhalten des Regenwassers, das sie dann in Speichergewebe im Inneren aufnehmen. Streng genommen ist *Tillandsia usneoides* also eine Sukkulente, obwohl sie ganz und gar nicht so aussieht.



Tillandsia usneoides im Gewächshaus
im Botanischen Garten

Der Vergleich mit den Pelzüberzügen einiger Kakteen liegt auf der Hand. Zum Vergleich lassen sich Bromelien aus Wüstengebieten vorzeigen.

Auch hier ist es wichtig, eine Vorstellung von Konvergenz aufzubauen, wie es bei Agave und Aloe, bei den Kugel- und Säulenkakteen im Vergleich zu den Wolfsmilchgewächsen, bei Bromelienverwandten und den Mittagsblumengewächsen möglich ist.

Das Pflanzenporträt von Lithops im ist durchaus für die Oberstufe geeignet und leitet über zur konvergenten Entwicklung der Lichtfenster.

Pflanzenerfassung mit Malerei
Ein Unterrichtselement für das Sukkulentenhaus





Anpassungen
von Blättern
an das Leben
im Trockenen

Wie kann eine Pflanze ohne Wurzeln überleben? (Klasse 7 - 10, Oberstufe)

Die Funktion der Saugschuppen bei *Tillandsia usneoides**

BILDUNGSPLAN FÜR GYMNASIEN SEK I

	Mindestanforderungen am Ende der Jahrgangsstufe 8 – mit Blick auf den Übergang in die Studienstufe	Mindestanforderungen für den Übergang in die Studienstufe
	ERKENNTNISGEWINNUNG	
ZELLEN	<p>S u S</p> <ul style="list-style-type: none"> • mikroskopieren geeignete Präparate, • mikroskopieren Zellen verschiedener Organismen • und stellen sie in Zeichnungen dar, • präparieren ausgewählte Objekte, • zeichnen lichtmikroskopische Präparate unter Einhaltung von Zeichenregeln, • beschreiben die im Lichtmikroskop sichtbaren Bestandteile der Zelle. 	<ul style="list-style-type: none"> • nutzen das Mikroskop sachgerecht
	UMGANG MIT FACHWISSEN	
LEBENS-RÄUME	<p>S u S</p> <ul style="list-style-type: none"> • nennen typische Tier- und Pflanzenarten in Lebensräumen, • beschreiben die wesentlichen Bestandteile eines Ökosystems, 	<ul style="list-style-type: none"> • erklären die Wechselwirkungen zwischen biotischen und abiotischen Faktoren, • beschreiben und erklären Wechselwirkungen zwischen Organismen sowie zwischen Organismen und unbelebter Materie,
STAMMES-GESCHICHTE		<ul style="list-style-type: none"> • beschreiben und erklären die Anpasstheit ausgewählter Organismen an die Umwelt, • stellen strukturelle und funktionelle Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Organismen und Organismengruppen dar.

* Vgl. Bildungsstandards vom 16.12.2004, Aufgabe Seite 33-36, Klasse 10. Die dort vorgelegte Aufgabe ist ohne direkt vorangegangene Mikroskopierfahrung unlösbar. Die Interpretation der Abbildungen setzt die Originalbegegnung voraus.

RAHMENPLAN FÜR DIE GYMNASIALE OBERSTUFE

<p>Kompetenzbereich Fachkenntnisse Struktur von Ökosystemen an einem Beispiel Epiphyten im Ökosystem Regenwald Geschichte und Verwandtschaft</p>	<p>Geschichte und Verwandtschaft Ähnlichkeit und Vielfalt von Lebewesen sind das Ergebnis stammesgeschichtlicher Entwicklungsprozesse. Bromelien in verschiedenen Ökosystemen</p>
<p>Kompetenzbereich Fachmethoden Biologische Phänomene beobachten, beschreiben, quantitativ erfassen, vergleichen und erklären, Erklärung der Funktion der Saugschuppen Variabilität und Anpasstheit</p>	<p>Variabilität und Anpasstheit Lebewesen sind bezüglich Bau und Funktion an ihre Umwelt angepasst. Anpasstheit wird durch Variabilität ermöglicht. Schuppen, Haare und Saugschuppen bei Bromelien</p>
<p>Kompetenzbereich Bewertung Einfluss des Menschen auf ein Ökosystem Veränderungen des Ökosystems Regenwald</p>	<p>Struktur und Funktion Lebewesen und Lebensvorgänge sind an Strukturen gebunden; es gibt einen Zusammenhang von Struktur und Funktion. Wasserhaushalt bei Bromelien in den Etagen des Regenwaldes und in der Wüste</p>

Vermutungen über eine unbekannte Pflanze

Auftrag – Oberstufe

Arbeiten Sie den Text über **Epiphyten, die Aufsitzerpflanzen im Regenwald** durch. Sehen Sie sich dann ein Stück des „Louisiana-Mooses“ genauer an.

(Es ist **kein** Moos, sondern eine Blütenpflanze.)

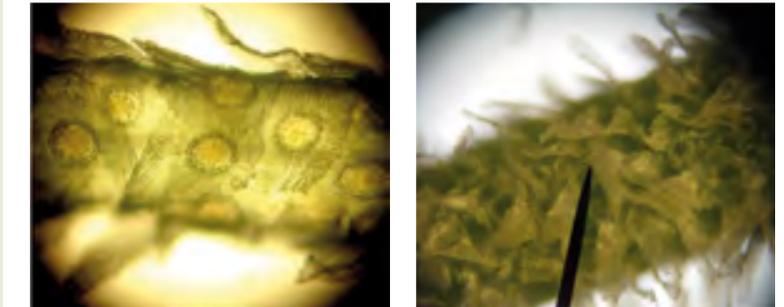
Formulieren Sie Vermutungen zur Funktion der Härchen von *Tillandsia usneoides*!

Siehe Anhang

Abb. links und rechts:

Fotos von *Tillandsia usneoides* mit einer auf das Mikroskop aufgesetzten Digitalkamera.

Schülerarbeiten



1. Überprüfen Sie Ihre Vermutungen mit einer einfachen Untersuchung mittels Stereolupe und Mikroskop.
2. Dokumentieren Sie Ihr Vorgehen schrittweise.
3. Reflektieren Sie Vermutung und Vorgehen. Halten Sie fest, wenn Sie Vermutungen verwerfen oder überarbeiten.
4. Dokumentieren Sie ihre Arbeitsergebnisse durch Digitalfotos.

Ein für Ihre Zwecke bearbeitetes WORD-Dokument befindet sich im Anhang.

Abb. links und rechts:

Fotos von *Tillandsia usneoides* im Sukkulentehaus in Pflanzen und Blumen



Über *Tillandsia usneoides*

Tillandsien sind Ananasgewächse

Tillandsien wachsen auf Steinen, auf Pflanzen, auf Telegrafendrähten

Epiphytismus ist eine Lebensweise

Epiphytismustendenz ist nicht genetisch festgelegt

Die Tillandsien

Mit rund 550 Arten sind die Tillandsien die weitaus größte Gattung unter den Ananasgewächsen. 1753 nahm Linné Bromelien und Tillandsien als Gattung in sein Werk "Species Plantarum" auf.

Die Gattung *Tillandsia* wurde zu Ehren des schwedischen Professors Dr. Tillands so benannt. Dr. Tillands war als extrem wasserscheu bekannt. Durch das Fehlen von Wurzeln und das Vorkommen von Tillandsien in Trockengebieten hielt man diese Pflanzen ebenfalls für "wasserscheu" und assoziierte sie daher mit Dr. Tillands. Doch diese Assoziation ist irreführend; viele Tillandsien sind an feuchte Umgebung angepasst.

Manche Tillandsien wachsen als Epiphyten auf Steinen, auf Pflanzen, sogar auf Telegrafendrähten wie *Tillandsia usneoides*. Ihre Verbreitung ist keineswegs auf Regenwälder beschränkt; einige Tillandsien kommen in den Anden auf Fels in Höhen bis zu 3000 m vor. Tillandsien sind Ende der 80er Jahre intensiv im Blumenhandel vertrieben worden und haben sich in dem Wüstenklima unserer zentral geheizten Wohnräume oft sehr lange gehalten bzw. sind langsam abgestorben, ohne dass man es ihnen angesehen hat. Einige Arten sind so gefährdet, dass sie nach dem Washingtoner Artenschutzabkommen (CITES) nicht gehandelt werden dürfen: *T. harrisii*, *T. kammii*, *T. kautskyi*, *T. mauryana*, *T. sprengeliana*, *T. sucrei* und *T. xerographica*.

Epiphytismus

Epiphyten oder Aufsitzerpflanzen benutzen die Trägerpflanzen nur als Wuchsort und entziehen ihnen weder Nährstoffe noch Mineralien und Wasser.

20 000 bis 30 000 Arten leben als epiphytische Kormophyten; in manchen tropisch-montanen Wäldern machen Epiphyten 50% der Pflanzensubstanz aus.

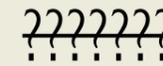
Nach der Definition der Projektgruppe "Epiphyten" am Botanischen Institut der Bonner Universität ist Epiphytismus eine Lebensweise (engl. habit), die man den Eigenschaften terrestrisch, aquatisch und lithophil gegenüberstellen kann.

Ein echter Epiphyt (Holoepiphyt) verbringt seinen gesamten Lebenszyklus von der Keimung über die Etablierung und reproduktive Phase bis zur Seneszenz ohne Kontakt zum Boden. Hemiepiphyten dagegen haben mindestens in einer Phase Kontakt zum Boden. Primäre Hemiepiphyten beginnen ihr Wachstum rein epiphytisch, nehmen aber später über adventive Luftwurzeln Wasser und Nährsalze aus dem Boden auf. Sekundäre Hemiepiphyten entwickeln sich am Boden, klettern mit Hilfe ihres Sprosses auf einen Phorophyten und verlieren dann erst die Verbindung zum Boden.

Viele Arten sind fakultative Epiphyten; die Epiphytismustendenz ist nicht genetisch festgelegt, sondern von abiotischen Faktoren abhängig und lässt sich für eine Art nur für ein bestimmtes Verbreitungsgebiet angeben.

Weil die Epiphyten sich Wasser und Nährsalze ohne Kontakt zur Erde beschaffen müssen, finden sie in Gebieten mit hoher Luftfeuchtigkeit und häufigen Regenfällen besonders günstige Lebensbedingungen. Je trockener die Luft, in der sie

Epiphyten in Mitteleuropa



Die Würgfeige ist ein Epiphyt

Zisternenbildung zum Auffangen von Wasser

Saugschuppen und Schuppenhaare

wachsen, um so xeromorpher ist ihr Bau. In den gemäßigten Zonen sind Gefäßpflanzen als Epiphyten eher die Ausnahme. Aber es ist ein Irrtum zu glauben, es gäbe in unseren temperaten Wäldern keine Gefäßpflanzen als Epiphyten.

So hat Gerhard Zotz in der Schweiz insgesamt 132 Bäume in ca. 1300 Metern Höhe untersucht und dort zusammen mit dicken Moosbedeckungen 67 Individuen des Tüpfelfarnes (*Polypodium vulgare*) gefunden. Fast alle größeren Ahornbäume waren von diesem Farn besiedelt, der dichteste Bestand von 7 Individuen war auf dem größten Baum zu finden.

Zu den bekannteren tropischen Epiphyten gehören die Würgfeigen des tropischen Regenwaldes. Als primärer Hemiepiphyt gelangen ihre Samen von Vögeln oder Kleinsäugetern verschleppt auf Äste größerer Urwaldbäume, bilden sehr flexible Luftwurzeln aus, die sich im Boden verankern und kontrahieren. Später verzweigen sie sich und umgeben den Trägerbaum mit einem immer dichter werdenden Netzwerk.

So eine Würgfeige steht im Nutzpflanzenmuseum, dem Loki-Schmidt Haus.

Tillandsia usneoides ist ein echter Epiphyt (Holoepiphyt) mit einer Verbreitung in Südamerika bis ins südliche Nordamerika ("Louisianamoos").

Morphologische Besonderheiten bei *Tillandsia usneoides*

Die größeren, kormophytisch organisierten Epiphyten müssen sich Wasser und Nährsalze ohne Kontakt zur Erde beschaffen. Deshalb finden sich bei ihnen spezielle Einrichtungen zur Aufnahme von Wasser. Bei epiphytischen Farnen wie dem Geweihfarn dienen spezielle Mantel- oder Nischenblätter zum Auffangen von Wasser und Humus (Heterophyllie).

Viele Ananasgewächse (*Guzmania*, *Bilbergia*, *Vriesia*, *Tillandsia*) bilden mit in Rosettenform angeordnete Blättern Zisternen, in denen sie Wasser auffangen.

An der Basis der Blätter finden sich Saugschuppen, die das Wasser aufnehmen. Bei *Tillandsia usneoides* bedecken diese Saugschuppen die ganze Pflanze; die Wurzeln sind völlig reduziert. So ein Schuppenhaar besteht aus lebenden Stielzellen und toten, flächig ausgebreiteten Zellen, die sich bei Trockenheit von der Oberfläche der Pflanze abheben. Befeuchtet man die Pflanze unter der Stereolupe, kann man beobachten, wie sich die Schuppenhaare anlegen. Das Wasser dringt unter die toten Haare, verdrängt die Luft und das Grün der Pflanze wird sichtbar. Beim Ansprühen ist dieser Vorgang mit bloßem Auge sehr gut zu sehen.

Bei vielen epiphytischen Orchideen ist die Oberfläche der Luftwurzeln ebenfalls silbrig. Wieder sind es tote Zellen, die über spezielle Öffnungen Regenwasser aufnehmen können. Orchideen sind mittlerweile recht günstig im Blumenhandel zu bekommen. Wenn man darauf achtet, nur in Deutschland vermehrte Pflanzen zu beziehen, kann man mit einem Tropfen Wasser, den man auf die Luftwurzel gibt, einen ganz ähnlichen Effekt beobachten wie beim Ansprühen von *Tillandsia*.

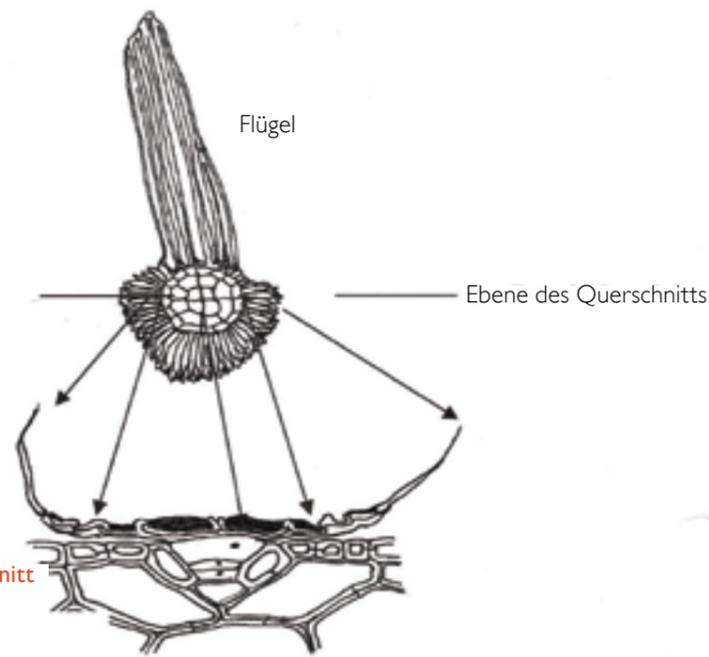
Epiphytismustendenz
ist von
abiotischen Faktoren abhängig

Tillandsia ist eine CAM*-Pflanze!

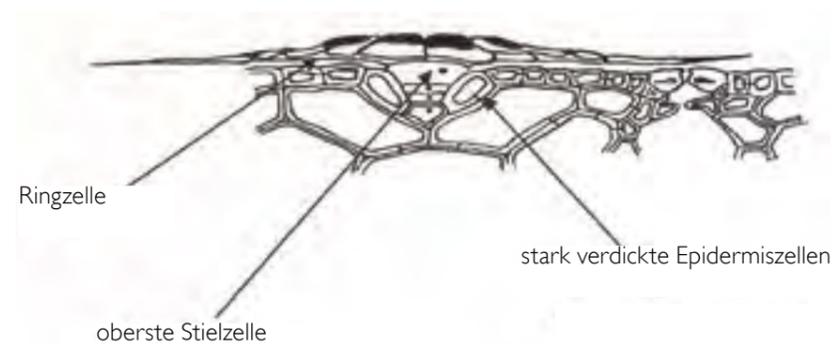
Sie zeigt den typischen Verlauf des Anstiegs des Säuregrades in den Vakuolen durch Bildung von Apfelsäure in der Dunkelheit. Im Lichtmikroskop sind keine Spaltöffnungen nachweisbar. Man kann versuchen, mit Klebeband die störenden trockenen Zellen der Saugschuppen zu entfernen, doch auch dann sind keine Spaltöffnungen aufzufinden!

Ein Schuppenhaar von *Tillandsia crocata*

Aufsicht



Querschnitt nach Wasseraufnahme



*CAM „crassulacean acid metabolism“, deutsch „Crassulaceen-Säure-Stoffwechsel“

Quelle:
Verändert nach Isley, Paul T. Tillandsia.
The World's Most Unusual Air Plants.
Botanical Press Garden,
California 90249, 1987.

Der Blattaufbau eines Xerophyten
Merkmale des Blattes eines Xerophyten –
der Oleander (*Nerium oleander*)



Links: Oleander (*Nerium oleander*)

Abb. links:
Querschnitt *Nerium oleander*,
Blattader
Abb. rechts:
Querschnitt *Nerium oleander*,
Übergang zur Blattspreite

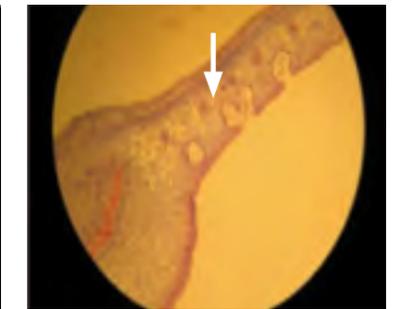
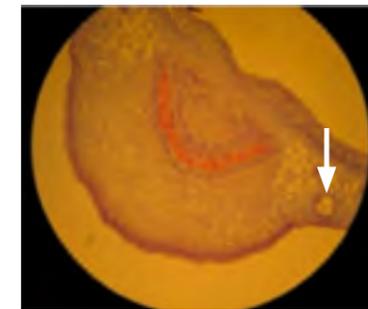
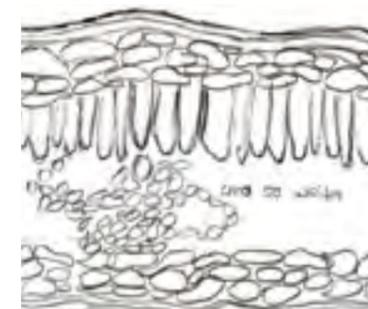


Abb. links:
Detail aus der Unterepidermis
Abb. rechts:
Querschnitt *Nerium oleander*,
Blattspreite



Abb. links:
Zeichnung und Wirklichkeit



Schülerzeichnung aus einem Test in Klasse 7
Die Zeichnung zeigt sogar eine zweischichtige Wachsschicht. Tatsächlich ist die Wachsschicht lichtbrechend. Viele Epidermiszellen ähneln „Kartoffeln“. Die Oberepidermis hat aber so gut wie keine Interzellularen; in der Zeichnung sind große Lücken zu sehen. Die Epidermis ist dreischichtig, das ist richtig erkannt. Die Zweischichtigkeit des Palisadenparenchyms ist nicht wiedergegeben. Die Öffnungen auf der Unterseite wurden nicht als Besonderheit erkannt. Es ist sinnvoll, nicht allen Raum mit Zellen zu füllen: „Und so weiter“ ist genau richtig.

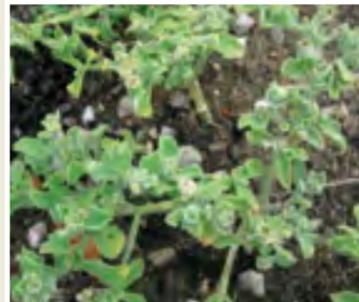
Abb. oben links: Eine dicke Hauptader ist zu sehen. Die Gefäße sind teilweise verholzt und daher rot angefärbt.

Abb. oben rechts: Nun sind die interessanten „Löcher“ (Pfeil) der Unterseite zu sehen. Zu erkennen sind von oben nach unten die dicke Cuticula, drei Schichten Oberepidermis, ein zweischichtiges Palisadengewebe, ein lockeres Schwammgewebe, eine zwei- bis dreischichtige Unterepidermis mit den Öffnungen in der Unterseite.

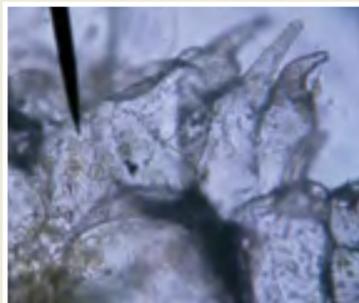
Abb. Mitte links: Diese „Löcher“ sind nach außen offene Räume voller Pflanzenhaare, die die wasserdampf-haltige Luft festhalten. In der Innenwand der „Löcher“ sitzen dann extrem gut geschützt die Spaltöffnungen. Normalerweise ist die Form der Spaltöffnungen bei Dauerpräparaten nicht zu erkennen.

Abb. Mitte rechts: Nun sind bei stärkerer Vergrößerung Einzelheiten (vgl. Abb. oben rechts) besser zu erkennen.

Das Eiskraut *Mesembryanthemum crystallinum* Eine spezielle Anpassung an Trockenheit



Eiskraut *Mesembryanthemum crystallinum* im Schulgarten am Marion Dönhoff Gymnasium



Der Zeiger des Zeigerokulars zeigt auf eine Reihe von Spaltöffnungen zwischen den glasklaren, kugeligen Zellen auf der Oberfläche von *Mesembryanthemum crystallinum*.

Die Pflanze entwickelt diese Art von Photosynthese erst bei Trockenheit

Eiskraut ist ein Halophyt

Schüler dokumentieren ihre Arbeit mit Fotos, wenn sie die Kristallzellen auf der Oberfläche des Eiskrautes erforschen und ihre Beobachtungen mitteilen.

Eine Digitalkamera wird auf das Okular aufgesetzt, mehr nicht. Das Objekt ist ein Flächenschnitt mit Rasierklunge (oder Schere). Der Zeiger des Zeigerokulars zeigt auf eine Reihe von Spaltöffnungen zwischen den glasklaren, kugeligen Zellen auf der Oberfläche von *Mesembryanthemum crystallinum*. Diese Kugeln gaben der Pflanze ihren Namen; es sind Idioblasten (Kristallzellen, Kugelzellen, Blasenzellen; Idioblasten allgemein sind in einem Gewebe gleichartiger Zellen abweichende Zellen mit besonderer Funktion). Der Größenunterschied der „Kugelzellen“ zu den Spaltöffnungen wird sehr deutlich. Schüler können oft nicht einordnen, wie groß Spaltöffnungen sind.

Im Schulbiologiezentrum Hannover wird das Eiskraut auf unterschiedlich stark versalzten Böden kultiviert, um Modifikationen zu zeigen. Sobald dies auch im Botanischen Garten oder in einem Schulgarten ebenfalls durchgeführt wird, werden wir die Ergebnisse veröffentlichen.

Ein ausführliches Pflanzenporträt findet sich im Anhang.

Ursprünglich in der Namib Südafrikas heimisch, kommt das Eiskraut *Mesembryanthemum crystallinum* nun auch in Australien, Kalifornien und am Mittelmeer vor. Dort hat es sich an den Küsten ausgebreitet, denn es ist eine salztolerante Pflanze. Sie ist in diesen Ländern ein invasiver Neophyt. Sie versalzt den Boden und lässt keine anderen Pflanzen aufkommen. Sie ist einjährig; bei uns erfriert sie und ist daher nicht invasiv. Es gibt sie manchmal als Salat zu kaufen. Die Blätter von Jungpflanzen sind deutlich größer und zeigen noch wenige Kristallzellen. Ältere Pflanzen zeigen im Trockenstress einen speziellen Typ von Photosynthese. Wie bei anderen CAM-Pflanzen kann man zu verschiedenen Tageszeiten schmecken, wie sie ohne offene Spaltöffnungen Photosynthese betreiben. Der Säuregrad ändert sich. Die Pflanze entwickelt diese Art von Photosynthese erst bei Trockenheit. Damit wurde sie zu einem Modellorganismus für Genexpression.

Dass diese Pflanze Wasser in Zellen speichert, die auf der Blattoberfläche liegen, macht sie so besonders. Die Zellen enthalten auch noch Calciumoxalat-Kristalle. Wahrscheinlich handelt es sich um einen Fraßschutz und um eine Möglichkeit, die osmotische Wirksamkeit von Salzen zu reduzieren, indem sie auskristallisieren. Diese Pflanze ist zudem ein Halophyt; sie verträgt salzhaltigen Boden. Die Zellen auf der Oberfläche heißen Kristallzellen.

Auftrag

1. Beschreibe die „Blasenzellen“ verschiedener Pflanzenteile und belege deine Beschreibung durch Fotos (vergleiche die Fotos unten; ohne Angabe der Vergrößerung).
2. Bestimme den Inhalt der „Blasenzellen“ vom Eiskraut und beweise deine Antwort mit einer von dir gewählten geeigneten Methode!
3. Miss bzw. errechne die Längen von Blasenzellen und Spaltöffnungen.
4. Probiere die Blätter zu verschiedenen Tageszeiten. Achte darauf, wie intensiv der Salzgeschmack ist und wie säuerlich die Blätter schmecken.

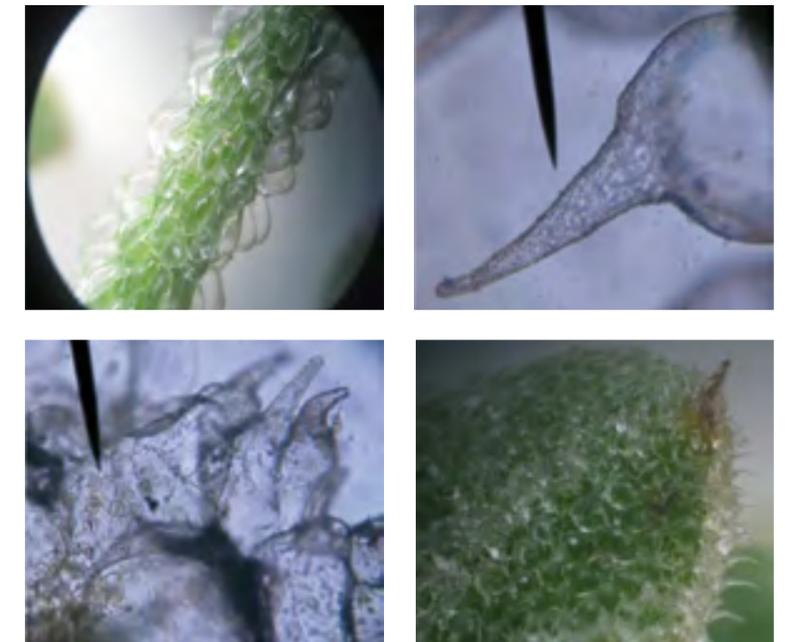
Blattstrukturen vom Eiskraut unter Lupe und Mikroskop

Abb. oben links: Blasenzellen am Spross

Abb. oben rechts: Pflanzenhaar am Blattrand

Abb. unten links: Spaltöffnungen zwischen den Pflanzemhaaren

Abb. unten rechts: Blattspitze beim Eiskraut



Der Efeu – *Hedera helix*

Eine Untersuchung zu Anpassungen
einer heimischen Pflanze in der Oberstufe



Efeu, *Hedera helix*
Die Form der jungen Blätter zeigen
mehrere Spitzen.
Die älteren Blätter sind eher rund

Efeu ist eine wintergrüne Pflanze, die an Bäumen hochklettert. Es ist kein Parasit, die Pflanze sitzt der Borke auf und schädigt den Baum nicht. Im Spätwinter und Frühjahr verträgt sie sowohl Frost als auch die kräftige Märzsonne. Sie muss mit Wasser sparsam umgehen und Licht vertragen.
Im Sommer ist der Efeu durch das Laub der Bäume gut geschützt. Das Licht unter dem Laub reicht für die Ernährung offensichtlich aus. Das intensive Licht im Frühjahr vor dem Laubaustrieb und sogar das Winterlicht werden von der Pflanze genutzt! Die Form der Blätter ist bei jungen und alten Pflanzen unterschiedlich; auch unterscheiden sich die Blätter je nach Belichtung. Es gibt Sonnen- und Schattenblätter

Materialien:

Mikroskop, Uhu-hart oder Nagellack, Efeublätter, vorbereitete Querschnitte.
Zum Vergleich und als Qualitätsmaßstab liegt ein Objekt vorn unter einem Mikroskop aus. Eigene Schnitte werden mit Abbildungen verglichen;
Lernbuch Natura 7-10.

Aufträge:

Betrachten Sie zunächst einen Trieb von Efeu mit verschiedenen Blattformen.
Tauschen Sie Vermutungen aus. Planen Sie dann Ihre Arbeit:

- Formulieren Sie eine Hypothese zum Blattaufbau verschiedener Blätter des Efeus.
- Überprüfen Sie Ihre Hypothese mit einer einfachen Untersuchung. Dokumentieren Sie Ihr Vorgehen.
- Reflektieren Sie Hypothese und bisheriges Vorgehen.
- Nutzen Sie für die Untersuchung Stereolupe, Mikroskop und Digitalkamera.
- Planen Sie das weitere Vorgehen. Brauchen Sie eventuell eine neue Hypothese? Bedenken Sie die Zeit!

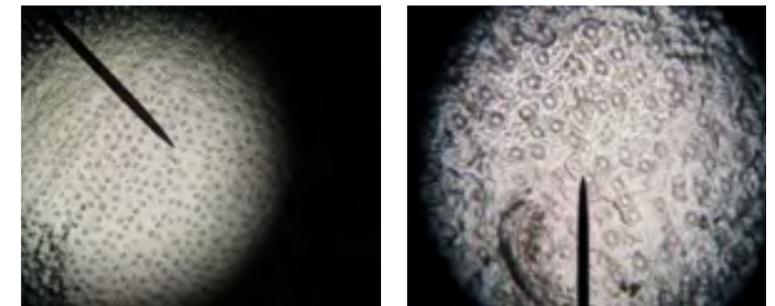
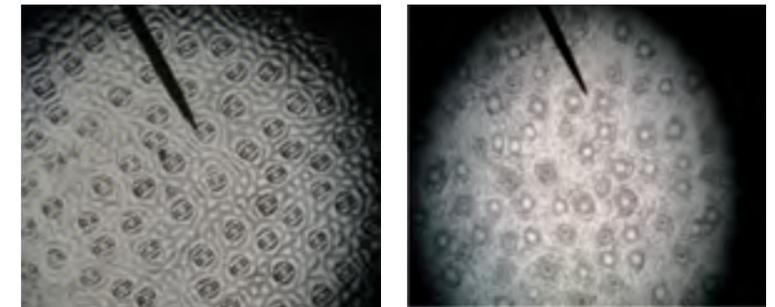
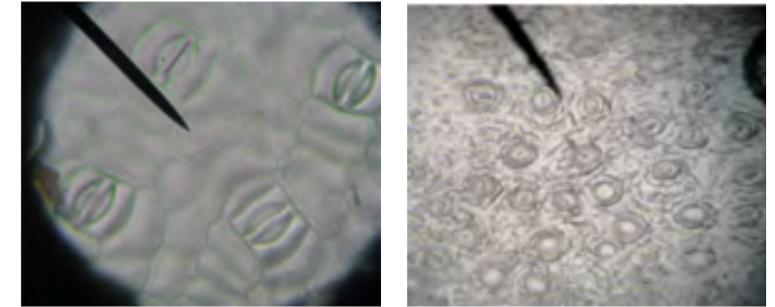
Formulieren Sie Ihre Ergebnisse gemeinsam, legen Sie sie als Einzelarbeit vor.

Links von oben nach unten:

Eine tropische Wasserpflanze
Eichhornia crassipes,
die Wasserhyazinthe

Rechts von oben nach unten:

Efeu, *Hedera helix*
Blattoberflächen im Abdruck



Auftrag

Inwieweit ist Efeu, *Hedera helix*, eine an Trockenheit angepasste Pflanze?

1. Recherchieren Sie die Merkmale des Blattes des Efeus.
2. Untersuchen Sie die Oberflächenstrukturen mit Abdrücken von Nagellack oder Uhu-hart.
Vergleichen Sie mit den Oberflächenstrukturen einer Wasserpflanze (links oben).
Beachten Sie das Fehlen von Angaben von Vergrößerungen und Ausschnitten!
3. Interpretieren Sie Ihre Ergebnisse und präsentieren Sie sie in geeigneter Form.

Efeu klettert mit typischen Haftwurzeln

Es dauert 7 - 10 Jahre bis Altersblätter entstehen

Efeu ist immergrün und trockenresistent

Efeu hat die Fähigkeit, auch im Schatten des Laubes eines Laubbaumes Photosynthese zu betreiben

Immergrüne Pflanzen sind gegen das Gefrieren des Wassers in ihren Zellen gut geschützt

Efeu kann starke Temperaturschwankungen ertragen

Efeu *Hedera helix*, Schülerinformation

Efeu ist eine Kletterpflanze, die im Schatten zu wachsen beginnt und in hellem Sonnenlicht weiter existieren kann. Die junge Pflanze klettert mit typischen Haftwurzeln. Alte Triebe ragen ohne solche Haftwurzeln in den Luftraum.

Nach 7 - 10 Jahren bildet die Pflanze Altersblätter, die recht groß und oval sind. Die kleinen Jugendblätter, die in der Regel im Schatten wachsen, sind die für typisch gehaltenen fünfzackigen Blätter. Bleibt die Pflanze dauerhaft im Schatten, bildet sie nie „Altersblätter“ aus! Auch im vollen Sonnenlicht dauert es 7-10 Jahre, bis Altersblätter entstehen.

Efeu ist immergrün. Diese Pflanzen nutzen das Sonnenlicht bei Temperaturen über Null. Daher muss die Pflanze auch sehr trockenresistent sein. Im Winter können die z.B. im März schon recht kräftigen Sonnenstrahlen das Blatt stark erwärmen, während im Boden noch das Wasser gefroren ist. Mit Sicherheit hat das Efeublatt Einrichtungen, die die Verdunstung reduzieren. Gleichzeitig können Immergrüne bereits im Frühjahr vor dem Laubaustrieb der anderen Pflanzen Photosynthese betreiben. Efeu, der an einem Laubbaum empor klettert, hat also die Fähigkeit, auch im Schatten des Laubes noch Photosynthese zu betreiben und kann gleichzeitig die größeren, ovalen Altersblätter in der Höhe sogar über die Blätter des Wirtes erheben.

Ein kleiner Versuch für den Winter: Drückt man bei Frost ein Efeu-Blatt zwischen Daumen und Zeigefinger, entsteht ein dunkler Abdruck. Das Blatt wird in diesem Bereich erfrieren.

Eigentlich müsste Wasser in Zellen ohnehin gefrieren, Kristalle bilden, das Plasma zerstören und die Zellen sprengen! Dagegen sind immergrüne Pflanzen aber gut geschützt. Das Wasser wird aus den Zellen in die Zellwände transportiert und dort zwischen feinen Lamellen aus Zellulose gespeichert. (Die Zelle ist weniger prall, Blatt und Stängel verlieren an Stabilität. Ein Schneeglöckchen im Frost liegt fast am Boden.) Der Zellsaft ist dann so hoch mit Mineralsalzen, Fetten, Eiweißen, Zuckern konzentriert, dass er nicht gefriert. Es scheint, als würden die roten Farbstoffe, die Anthocyane, die viele Efeublätter färben, zur Frosthärte beitragen. Es sind wasserlösliche Farbstoffe. – Erwärmt man nun das Blatt mit den Fingern, wandert das Wasser in die Zellen zurück. Nimmt man die Finger wieder weg, gefriert das Wasser in den Zellen und zerstört sie. Ein Abdruck bleibt.

Efeu muss also mit grünen Blättern den Winter überstehen. Weil das Wasser im Boden oft genug gefroren ist, steht es nicht zur Verfügung. Im Frühjahr nutzt die Pflanze das Licht für die Photosynthese und muss starke Temperaturschwankungen ertragen. Es fehlt ja das schützende Blätterdach.

Efeu *Hedera helix*, Lehrerinformation

Der Efeu kombiniert einige der Merkmale der bisher vorgestellten Pflanzen. Die Untersuchung von *Nerium oleander* macht auf die unterschiedliche Ausprägung der Blattgewebe aufmerksam und überrascht durch das „Versenken“ der Spaltöffnungen. Beim Efeu sind die Spaltöffnungen tief eingesenkt, an der Oberfläche erscheinen nur die Abdrücke der Zugänge in der Wachsschicht. Das erfordert allerdings ein sehr scharfes Auge und ein gutes Vorstellungsvermögen.

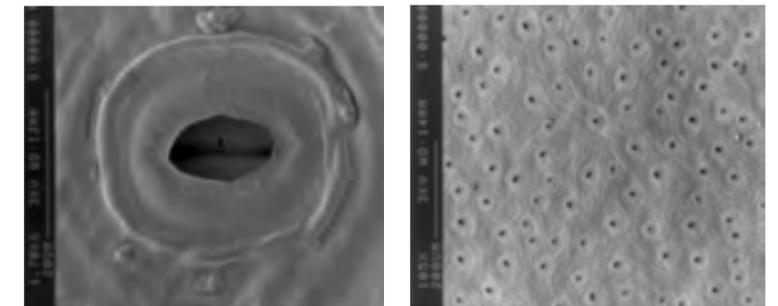


Abb. links oben:
Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Öffnung in der Wachsschicht über der Spaltöffnung, die in der Tiefe zu sehen ist.

Abb. rechts oben:
Elektronenmikroskopische Aufnahme der Unterepidermis

Abb. links unten:
Querschnitt durch eine Spaltöffnung.
Innenraum des Blattes oben.



Cy ist der Zellraum der Schließzelle, **Cu** ist die Cuticula und **W** die dicke Wand der Schließzelle mit der Wachsauflage. **r** verweist auf den Rand der Öffnung.

Quelle: Aphalo, Pedro José. Interactions in stomatal function. Dissertation Edinburgh 1991, Seite 44- 48; Abdruck mit Zustimmung des Autors

Die Unterschiede von Sonnen- und Schattenblatt sind nicht immer deutlich; das hängt von der verfügbaren Efeupflanze ab. Die Zahl der Spaltöffnungen schwankt laut Literaturangaben nur wenig. Sehr alte Pflanzen haben die großen rautenförmigen Blätter, die jungen Triebe tragen Blätter mit der typisch drei-bis fünf-eckigen Form.

Die Blätter haben eine deutliche Wachsschicht, sie sind bifazial, besitzen also nur auf der Unterseite Spaltöffnungen. Die Epidermis ist einschichtig. Die Mehrschichtigkeit des Palisadenparenchyms ist für Schüler schwer zu deuten.

Efeu ist eine Pflanze, die mit geringen Lichtintensitäten auskommt, jedoch auch starke Belichtung sehr gut nutzen kann und dafür ausgestattet ist. Sonnenblätter haben diese Mehrschichtigkeit, Schattenblätter meistens nicht.

Die Deutung der Haare auf der Oberfläche ist etwas schwieriger: Vor allem junge Blätter sind dicht behaart, die dunklen Neutriebe sind es auch.

Sie würden sich im Sonnenlicht stark erwärmen. Die Funktion der Haare als Verdunstungsschutz und als Schutz gegen das starke Licht im Frühling ist durch die Parallele zu *Tillandsia* sehr gut verständlich.

Eine Präsentation als „advance organizer“

Die beigefügte CD gibt Zusatzinformationen z. B. zur Zahl der Spaltöffnungen und zum Vorgehen. Die Präsentation kann teilweise oder ganz vorher gezeigt werden, so dass die Arbeit an der Aufgabe für die Schüler besser planbar wird.

Durch den vorher gegebenen Überblick können Hypothesen besser hergeleitet und die Arbeitsschritte besser vorausgeplant werden.

Das Eiskraut ist allerdings unvergleichlich.

Die Physiologie dieser Pflanze ist interessant, ihre Ausbreitungsfähigkeit als Neophyt auch. Es bietet sich zudem an, von dieser Pflanze ausgehend Sukkulenz bei Salzpflanzen anzusprechen.

Im Anhang finden Sie ein ausführliches Porträt???

Schüler vor der Tafel



Transpiration



Transpiration – Versuche für den Unterricht. Eine Auswahl

Das Thema „Transpiration“ ist elementar für das Verständnis weit reichender Zusammenhänge! Die Funktion der Spaltöffnungen hängt direkt zusammen mit dem Gasaustausch und der Ernährung der Pflanzen, mit der Rolle von Bäumen für das Stadtklima, mit dem Verständnis von Immissionsschäden durch Ozon oder durch die Bodenversauerung. Transpiration und Wassertransport in der Pflanze hängen untrennbar zusammen.

Modellversuche
betonen besondere Aspekte
der Transpiration

Einige Modellversuche sollen diese Einsichten vorbereiten. Die „Analysespinnen“ helfen bei der Auswahl der Versuche. Hier wurden jene ausgewählt, die für die Kontrolle der Transpiration der Sukkulenten bedeutsam sind.

I. Die Tatsache der Transpiration

I. Transpiration über Blätter an lebenden Zweigen

Ein reich belaubter Zweig, ein wenig belaubter und ein kahler Zweig werden in 100 ml Messgläser mit Wasser gestellt. Einige Tropfen Speiseöl auf die Wasseroberfläche gegeben verhindern die Verdunstung über diese Fläche.

Da die Verdunstung über alle Wasserflächen etwa gleich ist, könnte man die Ölschicht vernachlässigen. Aber die Überlegung, ob nicht auch über die Wasseroberfläche Wasser verdunstet, sollte man mit den Schülern anstellen (siehe 2. Versuch, Nachweis der Verdunstung).

Pappelzweige sind recht gut geeignet. Zitterpappeln erhöhen die Verdunstung durch das Zittern der Blätter, die an einem senkrecht zur Blattfläche stehenden, seitlich zusammen gedrückten Blattstiel sitzen. Mit einem Fön lässt sich der Versuch beschleunigen und zeigen, wie die Blätter im Luftzug zittern.

Ermittlung der verdunsteten
Wassermenge

Eine grobe Berechnung der aufgenommenen und dann verdunsteten Wassermenge pro Quadratzentimeter ist mit Hilfe von Millimeterpapier möglich. Ein durchschnittlich großes Blatt wird auf Millimeterpapier umfahren, die Kästchen werden ausgezählt, angeschnittene Kästchen geschätzt. Die gesamte Blattfläche wird über die Zahl der Blätter ermittelt. Über 24 Stunden lässt sich so die verdunstete Wassermenge ermitteln. Damit lassen sich Zahlenangaben aus der Literatur über die von Bäumen verdunsteten Wassermengen überprüfen. In Schulbüchern finden sich Angaben wie diese: Eine frei stehende Buche verdunstet am Tag 300 Liter oder: Eine Birke verdunstet 3 - 400 Liter.

2. Nachweis der Verdunstung

Ein gut gegossener Blumentopf lässt unter einem Glassturz oder einer Plastikfolie das Glas beschlagen. Hier müssten Topf und Erde mit Folie abgedeckt werden, um zu beweisen, dass das Wasser aus den Blättern stammt. Diese Überlegungen sollten mit den Schülerinnen und Schülern besprochen werden. Werden nun zwei Pflanzen von unterschiedlichen Standorten verglichen, z.B. eine sukkulente Pflanze mit einer „normalen“, so entstehen sehr viele Fragen, die sich zu einer Hypothese verarbeiten lassen.

Stammt das verdunstete
Wasser aus den Blättern?

Welche Blätter
geben mehr Wasser ab
und unter welchen Bedingungen?

Herleitung von Bedingungen
für exakte Versuche

Kontrolle von Variablen

Welche Variablen
beeinflussen das Ergebnis?

Wie kann man Transpiration
sichtbar machen?

Die Ablesung
und die Einschätzung
der Geschwindigkeit

3. Qualitativer Vergleich der Transpiration zweier Pflanzen unterschiedlicher Standorte

Ein Geldbaum oder eine andere Sukkulente und eine Buntnessel etwa gleicher Größe bekommen eine Plastiktüte übergestülpt. Es wird vermutet, welche mehr Wasser abgibt.

„So ein einfacher Versuch!“ Es scheint tatsächlich so. Aber man kann eine Menge falsch machen!

- Darf die eine Pflanze vor kurzer Zeit gegossen worden sein, die andere nicht?
- Dürfen die Töpfe ungleich groß sein?
- Dürfen die Blätter verschieden groß sein?
- Dürfen die Erden in den Töpfen verschieden sein?

Solche Fragen können nach der ersten Fragerunde den Schülerinnen und Schülern vorgelegt werden. Es wird eine Vermutung bzw. eine Hypothese abgeleitet. Um sie zu überprüfen, bedarf es einer sorgfältigen Kontrolle der Variablen. „Wir müssen herausbekommen, ob es einzig und allein an den Unterschieden ansonsten genau gleich großer Blätter liegt, wenn die eine Pflanze mehr und die andere weniger verdunstet.“

Alle anderen Einflüsse müssten wir ausschalten: Feuchtigkeit der Erde, Wassergehalt der Erde, Verdunstung über die Erde, unterschiedliche Fläche der Blätter, unterschiedlicher Wassergehalt der Blätter. Je nach Kompetenz der Schüler werden hier unterschiedlich viele Variablen genannt. Eine exakte Hypothese und einen exakten Nachweis ihrer Richtigkeit wird es nicht geben. Zu viele Variablen beeinflussen das Ergebnis.

Eine Hypothese wäre: „Der Geldbaum verdunstet wegen seiner dicken Wachsschicht auf der Blattoberfläche weniger Wasser als eine in allen anderen Merkmalen gleiche Pflanze.“

4. Modellversuch zum Wassertransport in Kapillaren

Mit zwei Erlenmeyerkolben, zwei doppelt durchbohrten Stopfen und einer zweimal gewinkelten Kapillarröhre, ersatzweise einem Glasrohr, Wasser, Eosin, einem Pappelzweig und evtl. einem Fön lässt sich Transpiration sichtbar machen. Der Zweig muss möglichst passend in die eine Bohrung des Stopfens eingepasst werden und wird ggf. mit Kaugummi abgedichtet, das Kapillar- oder Glasrohr muss in die andere Öffnung passen. Das Wasser wird bis an den Zweig bzw. das Glasrohr eingefüllt.

Das Glasrohr, die Verbindung zum anderen Kolben, wird so mit Wasser befüllt, dass eine Luftblase eingeschlossen ist und reicht bis in das Wasser des zweiten Kolbens. Der durch die Transpiration entstehende Unterdruck lässt die Luftblase in Richtung des Kolbens mit dem Zweig wandern. Ein Fön beschleunigt den Prozess. Eine Millimeterskala hinter der Luftblase erleichtert die Ablesung und die Einschätzung der Geschwindigkeit.

Versuche,
deren Ergebnisse
angreifbar sein werden

5. Modellversuch zur Reduktion der Verdunstung durch Wachsschichten – Äpfel im Trockenschrank

Nimmt man einen geschälten und einen ungeschälten Apfel etwa gleicher Größe und legt sie über Nacht in den Wärmeschrank oder lässt sie nach genauem Wiegen bis zur nächsten Stunde an der Luft liegen, so zeigt sich, wer stärker schrumpft. Im Wärmeschrank bei ca. 50 Grad Celsius genügt schon eine Doppelstunde für eine kurze Messreihe. Das Auswertungsgespräch klärt, ob ein unterschiedlicher Wassergehalt in den Äpfeln eine Rolle spielt, was eigentlich die Oberfläche eines Apfels so „wasserdicht“ macht, wie dieses Wachs dort auf die Oberfläche kommt und vieles mehr.

6. Herleitung eines Modellversuches

Versuche, die mit abgeschnittenen Blättern von Sukkulente und Xerophyten einerseits und Pflanzen ohne spezielle Anpassungen an Trockenheit andererseits vergleichende Aussagen treffen wollen, sind angreifbar. Erstens wird man die Schnittstellen nicht optimal verschließen können, zweitens wird man selten exakt gleiche Blattflächen erreichen können und drittens bestehen Anpassungsunterschiede zwischen Xerophyten, Sukkulente und anderen Pflanzen nicht nur im Blattaufbau.

Es kann trotzdem sehr reizvoll sein, ganze Pflanzen von *Sedum acre* (Mauerpfeffer) oder *Sempervivum* (Dach-Hauswurz) der Trockenheit auszusetzen und so zu zeigen, dass es Pflanzen gibt, die über sehr effektive Mechanismen zur Senkung der Transpiration verfügen.

Ob man dazu Pflanzenteile an der Luft eintrocknen lässt oder im Wärmeschrank erhöhten Temperaturen aussetzt, ob man Töpfe mit verschiedenen Pflanzen wiegt und dann Trockenheit aussetzt, das sollte der Leser selbst entscheiden.

Hier ein Beispiel aus einer Handreichung des Schulbiologiezentrums Hannover:

Verdunstung einer abgeschnittenen Triebspitze des Säulenkaktus *Cereus moravetzia doelzina*:

Gewicht am:	27. 10.	334,0 g	9. 12.	314,3 g - 1,7 g	16. 2.	300,6 g - 1,8 g
	3. 11.	326,0 g - 8,0 g	15. 12.	312,6 g - 1,7 g	24. 2.	299,4 g - 1,2 g
	10. 11.	322,1 g - 3,9 g	22. 12.	310,9 g - 1,7 g	14. 3.	296,7 g - 2,7 g
	18. 11.	319,2 g - 2,9 g	16. 1.	07,0 g - 3,9 g	31. 3.	292,5 g - 5,2 g
	24. 11.	317,6 g - 1,6 g	1. 2.	304,3 g - 2,7 g	13. 4.	287,6 g - 3,9 g
	2. 12.	316,0 g - 1,6 g	10. 2.	302,4 g - 1,9 g	27. 4.	280,5 g - 7,1 g
Gesamt						- 53,5 g

In sechs Monaten nur 16,7%

7. Modellversuch zu Wassertransport und zum Transpirationssog (siehe S. ...)

Material: Zwei Standzylinder, eine Haarpipette, ein Bierdeckel, gefärbtes Wasser und ein Pinsel genügen für ein sehr eindrückliches Experiment.

Der untere Zylinder wird bis über die Hälfte mit gefärbtem Wasser gefüllt. Ein Bierdeckel wird mittig durchbohrt und eine Haarpipette lückenlos eingepasst. Die Ränder beider Glaszylinder werden mit einem Pinsel angefeuchtet. Dann wird die Haarpipette in ihrem Bierdeckel in die gefärbte Flüssigkeit eingetaucht, so dass sich nur durch die Kapillarkräfte die Spitze füllt.



Luftblasen aus den
Spaltöffnungen auf der
Oberseite des Blattes

Ein Stängel ist kein
Strohalm

Efeu im Frost

Der zweite Glaszylinder wird ca. 2 cm hoch mit klarem Wasser gefüllt. Dann wird der Bierdeckel mit der Haarpipette so auf den Standzylinder mit klarem Wasser aufgesetzt, dass man beide zusammen schwingvoll kopfüber auf den Standzylinder mit gefärbtem Wasser setzen kann, dass die Pipette mit ihrer feinen Spitze in die gefärbte Lösung eintaucht. **Sofort** beginnt sich der Bierdeckel mit Wasser vollzusaugen – mit dem klaren Wasser des oberen Zylinders.

Sofort beginnt gefärbte Flüssigkeit in der Pipette aufzusteigen. Nach Stunden später sickert Wasser aus der Pipette, nachdem sich der Bierdeckel vollgesogen hat. Die **Verdunstung** über den vollgesogenen Bierdeckel sorgt dafür, dass noch viele Stunden später Wasser aus der Pipette sickert.

II. Die Durchlüftung des Blattes – Demonstration

Perlende Luftblasen aus den Spaltöffnungen

Schneidet man das Blatt einer Seerose samt Blattstiel ab, taucht die Spreite unter Wasser und pustet kräftig in den Blattstiel, so perlen Luftblasen aus den Spaltöffnungen aus der **Oberseite** des Blattes. Ein Blasenstrom tritt auch aus, wenn man das Blatt mit einer Stecknadel verletzt. Mit der Lupe lassen sich die großen Interzellularen im Stängelquerschnitt gut erkennen.

III. Wasserleitungsbahnen – Demonstration

Versuche mit gefärbtem Wasser

1. Taubnessel, Tulpe, Fleißiges Lieschen, Margerite, Freesie kann man in mit Eosin gefärbtes Wasser stellen und warten, bis sich die Blütenblätter färben. Mit einem Fön lässt sich der Vorgang beschleunigen.

2. Mit einem Blatt des Großen oder Mittleren Wegerich lässt sich ebenso verfahren; nach einiger Zeit kann man den Blattstiel und die Spreite fassen, kräftig auseinander ziehen und so die rötlich gefärbten Leitbündel sichtbar machen. Nebenbei wird die Festigungsfunktion der Leitbündel verständlich.

3. Bei allen Versuchen mit gefärbtem Wasser lassen sich Querschnitte von den Stängeln im Binokular betrachten. Kinder neigen zu der Annahme, dass das aufsteigende Wasser den Stängel ganz ausfüllt, wie die Limonade den Strohhalm. Mit der Beobachtung des nur stellenweise gefärbten Stängels lässt sich diese Vorstellung korrigieren.

IV. Pflanzen im Winter

Der hochkonzentrierte Zellsaft gefriert nicht

Eigentlich dürften Pflanzen im Winter gar kein Wasser in den Blättern haben; es gefriert und die sich bildenden Kristalle würden das Plasma zerstören. Beim Efeu ist ein Teil des Zellwassers in die Interzellularen ausgewichen; der Zellsaft ist so hoch konzentriert, dass er nicht gefriert und sich keine Kristalle bilden.

Die Efeublätter sind im Winter deutlich dunkler gefärbt als im Sommer.

Nimmt man an einem Frosttag ein Efeublatt ohne Druck für mehrere Minuten zwischen die Finger, so erwärmt sich das Blatt, das Wasser kehrt aus den Interzellularen in die Zellen zurück. Zieht man die Finger wieder zurück, kühlt das Blatt schneller ab als das Wasser wandern kann, die Zellen erfrieren und im Sommer kann man den Fingerabdruck als dunkle Fläche wiederfinden.

Diese Übersicht beruht auf den Erfahrungen von Herrn Drutjons aus der Beratungsstelle Biologie im LI und greift vor allem auf das Buch von Hans Molisch, Botanische Versuche und Beobachtungen ohne Apparate Stuttgart 1965 zurück.

Der erste Versuch
 („Äpfel im Trockenschrank“)
 bereitet das Verständnis der Funktion der Cuticula vor.

Der zweite Versuch
 („Herleitung von Bedingungen für exakte Versuche“)
 zeigt das Phänomen unterschiedlich starker Transpiration bei Pflanzen verschiedener Standorte und macht die Schwierigkeit der Planung exakter Versuche bewusst.

Der dritte Versuch
 („Modellversuch zu Wassertransport und zum Transpirationssog“)
 ist schließlich der schwierigste, der das Zusammenwirken der Blattschichten und der Wasserleitungsbahnen verdeutlichen soll.

????????? Nach Nawrath,?????

Die „Analysespinne“ zur Auswahl von Modellversuchen

Für die Planung von Unterricht mit Versuchen eignet sich diese Analysespinne in besonderer Weise. Es wird im Vergleich der drei Grafiken schnell deutlich, dass es in dieser Phase nicht um die Entwicklung von Fragestellungen geht sondern vor allem darum, ausgewählte Aspekte der Transpiration vorzustellen, so dass die mikroskopische Untersuchung von Blattoberflächen verständlich wird.



Demonstrations- und Modellversuche zur Transpiration – eine Auswahl



Modellversuch Transpiration „Äpfel im Trockenschrank“, Verdunstungsschutz durch Wachsschichten

Zwei Äpfel möglichst gleicher Größe sollen getrocknet werden. Einer von beiden wird geschält. Beide werden in den Wärmeschrank bei etwa 50 ° C gelegt und in gleichmäßigen Abständen gewogen. Die Daten werden tabellarisch erfasst und grafisch dargestellt. Das unterschiedliche Ausgangsgewicht macht die Interpretation der Daten etwas schwierig.

Teilkompetenz	Einfaches Niveau	Gehobenes Niveau
Fragestellung entwickeln	Spielt die Oberfläche des Apfels eine Rolle für die Verdunstung? Ist es der Wassergehalt?	Spielen Volumen und Oberfläche im Verhältnis zueinander eine Rolle? Müssen die Äpfel genau gleich groß sein?
Vermutung aufstellen, Hypothese bilden	Ohne theoretisches Vorwissen äußern die Schülerinnen und Schüler Vermutungen darüber, wie schnell welcher Apfel mehr Wasser verliert.	
Experiment planen	Danach ist es sehr gut möglich, einen entsprechenden Versuch zu entwerfen. Die Fragestellung ist dann, ob es gelingt, zwischen zwei unterschiedlich angepassten Blättern einen deutlichen Unterschied im Wasserverlust durch Verdunstung nachzuweisen.	
Versuch funktionsfähig aufbauen	Diese Teilkompetenz spielt an dieser Stelle keine Rolle.	
Beobachten, messen, dokumentieren	Die Messungen werden nach vorgegebenen Zeitabständen tabellarisch erfasst.	Der Abstand der Messungen und die Dauer des Versuchs werden besprochen und gemeinsam festgelegt.
Daten aufbereiten	Die Darstellung ist vorgegeben.	Die Darstellung als Säulen- oder Kurvendiagramm wird gemeinsam festgelegt. Die Messwerte werden in Prozent umgerechnet.
Schlüsse ziehen, diskutieren	Die Ursache für den Unterschied in dem Maß der Verdunstung wird in der entfernten Wachsschicht entdeckt; vorgegebene Fehlerquellen werden benannt und eingeschätzt.	Fehler werden analysiert: der Wassergehalt der Äpfel, die ungleiche Form, das Ausgangsgewicht etc. Blätter mit Wachsschichten werden zum Vergleich vorgestellt: z. B. der Geldbaum. Neue Fragestellungen werden entwickelt.

Modellversuch zur Isolierung von Variablen



Material: Zwei Pflanzen möglichst gleicher Größe, davon eine mit deutlicher Sukkulenz.

Durchführung: Es soll überprüft werden, ob die Pflanzen je nach Anpassung an den Standort unterschiedlich schnell Wasser verlieren. Den Pflanzen werden Plastiktüten übergestülpt und sie werden gleichzeitig nach draußen in die Sonne gestellt (nicht an sehr sonnigen Sommertagen!). Die Definition eines „guten“ Ergebnisses ist schwierig. Ein exakter, messbarer Nachweis unterschiedlich intensiver Transpiration wird nicht gelingen. Der Augenschein wird zeigen, dass die sukkulente Pflanze tatsächlich in gleicher Zeit weniger Wasser abgibt. In der Auswertung wird der Umgang mit Variablen, mit Einflussgrößen, mit störenden Faktoren erarbeitet und so lassen sich Voraussetzungen und Bedingungen für exakte Versuche sehr gut herleiten.

Teilkompetenz	Einfaches Niveau	Gehobenes Niveau
Fragestellung entwickeln	Haben Pflanzen an Trockenstandorten besondere Anpassungen?	Pflanzen an Trockenstandorten müssen besondere Einrichtungen zur Reduktion des Wasserverlustes haben.
Vermutung aufstellen, Hypothese bilden	Vermutungen äußern: • Die „dickere“ Pflanze enthält mehr Wasser und gibt auch mehr Wasser ab. • Die Pflanze mit der Wachsschicht gibt weniger Wasser ab.	Vermutungen äußern und überprüfen mit Blick auf andere Versuche, z. B. den „Apfelversuch“. Eine Hypothese, ein Rückbezug auf theoretisches Wissen, schließt Zahl und Existenz der Spaltöffnungen ein.
Experiment planen	Hier hat dieser Versuch seinen Schwerpunkt. Welche Fehlerquellen gibt es, wenn man allein die Rolle der Blattfläche bzw. Blattoberfläche untersuchen will?	
Versuch funktionsfähig aufbauen	Diese Teilkompetenz spielt hier keine Rolle.	
Beobachten, messen, dokumentieren	Der Augenschein der unterschiedlichen Mengen von Kondenswasser wird diskutiert. „Das ist eben mehr!“ „Das sieht man doch!“ Die Notwendigkeit exakter Messungen wird deutlich.	Die Unmöglichkeit des exakten Nachweises der unterschiedlichen verdunsteten Wassermengen wird diskutiert – man könnte die beiden Plastiktüten vor und nach dem Versuch wiegen!
Daten aufbereiten	Die Notwendigkeit und Schwierigkeit der Gewinnung exakter Daten und deren Aufbereitung wird in diesem Modellversuch besonders deutlich.	
Schlüsse ziehen, diskutieren	Die Beschreibung der Pflanzen ist so eine gute Vorbereitung zur Deutung des Phänomens „Sukkulenz“. Der Unterschied im Grad der Transpiration wird mit der Pflanzengestalt verbunden. Woher das Wasser an der Folie stammt, wird diskutiert.	Verdunstung über Blätter lässt sich so nicht exakt untersuchen. Die Erdoberfläche verdunstet; die Töpfe könnten ungleich stark gewässert worden sein; Tontöpfe verdunsten selbst Wasser, Plastik-töpfe nicht. Die Fläche aller Blätter müsste exakt bestimmt werden – es entsteht eine Liste von Variablen!

Modellversuch zu Wassertransport und Transpirationssog

Material: Zwei Standzylinder, eine Haarpipette, ein Bierdeckel, gefärbtes Wasser und ein Pinsel genügen für ein sehr eindrückliches Experiment.

Durchführung: Der untere Zylinder wird bis über die Hälfte mit gefärbtem Wasser gefüllt. Ein Bierdeckel wird mittig durchbohrt und eine Haarpipette lückenlos eingepasst. Die Ränder beider Glaszylinder werden mit einem Pinsel angefeuchtet. Dann wird die Haarpipette in ihrem Bierdeckel in die gefärbte Flüssigkeit eingetaucht, so dass sich durch die Kapillarkräfte die feine Spitze füllt. Der zweite Glaszylinder wird ca. 2 cm hoch mit klarem Wasser gefüllt.

Dann wird der Bierdeckel mit der Haarpipette so auf den Glaszylinder mit klarem Wasser aufgesetzt, dass man beide zusammen schwingvoll überkopf auf den Glaszylinder mit gefärbtem Wasser setzen kann. Die Pipette mit ihrer feinen Spitze taucht in die gefärbte Lösung ein. Sofort beginnt sich der Bierdeckel mit Wasser vollzusaugen – mit dem klaren Wasser des oberen Zylinders. Sofort beginnt die gefärbte Flüssigkeit in der Pipette aufzusteigen. Nach wenigen Minuten läuft die Pipette über. Noch Stunden später sickert Wasser aus der Pipette, nachdem sich der Bierdeckel vollgesogen hat! Die Verdunstung über den vollgesogenen Bierdeckel sorgt dafür, dass noch viele Stunden später Wasser aus der Pipette sickert, bis der Wasserspiegel so weit abgesunken ist, dass Luft in die Pipette eindringt.

Vorwissen: Aufbau eines Blattes, Transpiration

Teilkompetenz	Einfaches Niveau	Gehobenes Niveau
Fragestellung entwickeln	Die Fragestellung ergibt sich aus dem Versuchsaufbau. Was bewirkt das Aufsteigen der gefärbten Lösung?	
	Der Verdunstungssog wird als Ursache vermutet.	Kapillarkräfte und Verdunstungssog werden unterschieden.
Vermutung aufstellen, Hypothese bilden	Der Versuch führt ein Phänomen vor, dessen Klärung durch Vermutungen und dann durch Hypothesen nachträglich möglich ist. Die Hypothesen werden aber nicht erneut überprüft.	
Versuch funktionsfähig aufbauen	Die Schülerinnen und Schüler werden sich über den Zusammenbau verständigen müssen. Zusätzlich kann als Hilfekarte eine Anleitung zum Aufbau gegeben werden. Eine systematische Fehlersuche ist nicht angestrebt.	
Beobachten, messen dokumentieren	Die Beobachtung führt nicht zu Messdaten. Der Schwerpunkt des Modellversuchs liegt auf der Zuordnung von Modellelementen und Blattaufbau.	
Daten aufbereiten	Es handelt sich um einen qualitativen Versuch zur Veranschaulichung.	
Schlüsse ziehen, diskutieren	In einem einfachen Arbeitsblatt können die Teile des Versuchsaufbaus dem Aufbau von Blatt und Spross zugeordnet werden. Sachfragen zur Erklärung des Phänomens werden formuliert, ohne auf Kohäsion und Adhäsion einzugehen. Die Zuordnung von Teilen des Blattes und Modellversuch kann über Arbeitsblätter vorgegeben werden.	Die Entsprechung und Teilen des Blattes bzw. zum Aufbau des Sprosses wird von den Schülerinnen und Schülern selbst hergeleitet und diskutiert. Das Luftvolumen im oberen Zylinder entspricht dem Luftraum im Blatt, in den Zellularen und Atemhöhlen. Die Pipette entspricht den Leitungsbahnen. Der Bierdeckel entspricht den Blattschichten. –
	Weiterführende Fragen betreffen z.B. die maximale Höhe von Bäumen, die Dicke der Leitungsbahnen, den Grad der Verdunstung über Blätter, die Wirkung des hydrostatischen Druckes u. v. a. mehr.	

Der Aufbau eines Modellversuchs zu Wassertransport und Transpirationssog

Auftrag: Ordne die Informationen den Bildern zu

Benötigt werden:

- Zwei Standzylinder,
- eine Haarpipette,
- ein Bierdeckel,
- gefärbtes Wasser
- ein Pinsel

Ein **Standzylinder** wird bis über die Hälfte mit gefärbtem Wasser gefüllt. Ein **Bierdeckel** wird mittig durchbohrt und eine **Haarpipette** lückenlos eingepasst.

Der zweite Glaszylinder wird ca. 2 cm hoch mit klarem Wasser gefüllt.

Die Ränder beider Glaszylinder werden mit einem Pinsel angefeuchtet.

Dann wird die Haarpipette in ihrem Bierdeckel in die gefärbte Flüssigkeit eingetaucht, so dass sich durch die Kapillarkräfte die feine Spitze füllt.

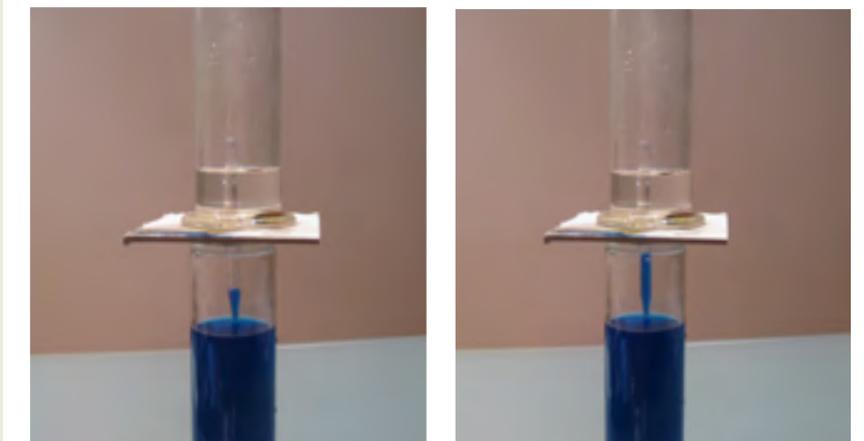
Nun setzt man den Bierdeckel mit der Haarpipette so auf den Glaszylinder mit klarem Wasser, dass man beide zusammen schwingvoll überkopf auf den Glaszylinder mit gefärbtem Wasser setzen kann.

Die Pipette mit ihrer feinen Spitze taucht in die gefärbte Lösung ein.

Sofort beginnt sich der Bierdeckel mit Wasser vollzusaugen – mit dem klaren Wasser des oberen Zylinders.

Sofort beginnt die gefärbte Flüssigkeit in der Pipette aufzusteigen. Nach wenigen Minuten läuft die Pipette über.

Noch Stunden später sickert Wasser aus der Pipette, nachdem sich der Bierdeckel vollgesogen hat!



Die Teufelskralle



Elisabeth, eine San-Frau aus Namibia. Sie kennt sich genau aus mit den Pflanzen in diesem semiariden Gebiet und ihrer Verwendbarkeit als Nahrungs- bzw. Heilmittel



Teufelskrallen-Blüte



So werden die Knollen geerntet Grundlage für das Medikament



Die stachelige Frucht der Teufelskralle

Das Wissen indigener Völker

Gerechtigkeit und Umsetzung der Abkommen nach Rio 1992

BIOTA-Projekte

Informationsmaterial zur Teufelskralle von der Grünen Schule

Präsentationen zum Weltwüstentag

Link: www.teufelskralle-goes-public.de

Leben auf dem Trockenen

Biodiversität, Biopiraterie und Vorteilsausgleich – Beispiele aus Südafrika

Eine Präsentationsleistung über „Leben auf dem Trockenen“ sollte die Problematik der Nutzung des Wissens indigener Völker zum Thema haben.

In Südafrika leben Völker als Nomaden und Halbnomaden, deren Wissen für Medikamente genutzt wurde. Hoodia und Teufelskralle sind die bekanntesten Beispiele. Mit der Patentierung und Nutzung stellt sich die Frage nach der Gerechtigkeit und der Umsetzung der Abkommen nach Rio 1992, die die Nutzung solcher Pflanzen zu regeln versuchen.

Gleichzeitig ist Südafrika ein extrem wichtiges und interessantes Forschungsgebiet, in dem Wissenschaftler des Biozentrums Klein Flottbek zusammen mit der Bevölkerung über Para-Ökologen für den Schutz der einzigartigen Flora sorgen. Die diversen BIOTA-Projekte sind so gut dokumentiert, dass für Schüler eine vorzügliche Materialquelle zur Verfügung steht.

Die Grüne Schule kann den Schulen mit der „Teufelskrallenkiste“ aktuelles Material zur Verfügung stellen, das vor Ort in Südafrika zusammengestellt wurde und in Deutschland eine Ausstellung zum Thema begleitet hat. Die Ausstellung ist inzwischen auf dem Weg nach Südafrika. Die Schüler können die CD, die die meisten Materialien enthält, in der Grünen Schule erhalten. Der Weg zur der Bearbeitung eines so speziellen Themas ist für Schüler der Oberstufe nicht einfach. Deshalb wird hier ein Zeitplan vorgestellt, nach dem eine Reihe von Pflanzen aus Trockengebieten als Grundlage für Präsentationen bearbeitet wurde.

Mögliche Gegenstände:

Getreide, Nahrungspflanzen, Medizinalpflanzen: Hoodia, Umckaloabo, Teufelskralle, Taro, Teff, Hirsen, Dattelpalme, Aloe, Olive, Granatapfel, Chinarinde, Cashew, etc.

Öle und Wachse: Jojoba, Arganöl.

Faser- und Energiepflanzen: Sisal, Hanf, Jatropha, Chines. Schilf, Eucalyptus, etc.

Gewürze und Räucherwaren: Weihrauch, Harze, Minze, Pfeffer, Chili, Kreuzkümmel, Narde, Myrte etc.

Präsentationen können zum Weltwüstentag um den 17. Juni herum in den blauen „Pyramiden“ im Wüstengarten im Botanischen Garten Klein Flottbek oder im Raum der Grünen Schule öffentlich vorgestellt werden! Beim Ausdruck großformatiger Poster sind wir gern behilflich.

„Teufelskralle goes public“

Deutschland
ist ein Hauptimportland
für die Teufelskralle

Eine Materialkiste zum Thema
„Teufelskralle“ steht in der „Grünen
Schule“ zur Ausleihe zur Verfügung.
Hiermit wird ein anspruchsvoller,
kompetenz-orientierter Unterricht
zum Thema Nachhaltigkeit und
Biopiraterie ermöglicht

Florenreiche

Endemische Arten

Die Ausstellung

Da Deutschland ein Hauptimportland für die Teufelskralle ist, förderte das Bundesamt für Naturschutz seit 1999 mehrere Untersuchungen zur Ökologie und Projekte zur nachhaltigen Nutzung der Teufelskralle (Sustainably Harvested Devil's Claw, SHDC).

Um das Wissen um die Verflechtungen einer südafrikanischen Urbevölkerung mit einer unseren Krankheiten, um Nachhaltigkeit und die vielen Prozesse rund um Biopiraterie öffentlich bekannt zu machen, förderte das BfN die Entwicklung einer Ausstellung, die im Jahre 2008 in Hamburg erstmals vorgestellt wurde. Aufbauend auf den wissenschaftlichen Arbeiten von Frau Dr. Berit Hachfeld entstand nach einer Reise durch Namibia die Ausstellung. Träger ist der Botanische Verein Hamburg, gestaltet wurde die Ausstellung durch die Dipl.-Biol. Barbara Engelschall. Das pädagogische Begleitmaterial wurde unterstützt durch die Behörde für Bildung und Sport. So steht allen Hamburger Lehrern eine Materialkiste zur Verfügung, mit der ein anspruchsvoller, kompetenzorientierter Unterricht zum Thema Nachhaltigkeit und Biopiraterie ermöglicht wird. Die Materialkiste kann bei der Grünen Schule ausgeliehen werden.

Naturschutz für den und mit dem Menschen – Biodiversität in Südafrika

Das Florenreich „Capensis“ ist das kleinste Florenreich der sechs Florenreiche auf der Welt mit dem höchsten Anteil endemischer Arten. Florenreiche sind Gebiete mit gemeinsamem erdgeschichtlichen Hintergrund und einer für sie typischen Pflanzenwelt.

Wilhelm von Humboldt war der erste, der die geographische Verteilung der Pflanzenwelt erfasst und systematisiert hat.

Von 8920 Samenpflanzen Südafrikas kommen rund 70% nur hier vor, sind also endemisch. Die größte Pflanzenfamilie mit Blattsukkulente sind die *Aizoaceae*, die Mittagsblumengewächse. Von den 127 Gattungen und über 2500 Arten ist wiederum ein Großteil endemisch.

Die Ursachen der pflanzlichen Vielfalt sind keineswegs völlig geklärt. Eine wichtige Ursache ist die Häufigkeit und Verteilung der Niederschläge. In der Kapregion ist die westliche Küstenregion ein Winterregengebiet, in den zentralen Regionen und bis zur Ostküste bestimmt Sommerregen die Vegetation. Von warmtemperierten, immergrünen Wäldern über Gemeinschaften von Hartlaubgewächsen, Savannen und Halbwüsten bis zu Wüsten hat Südafrika alles zu bieten. In den Wüsten Namibias treffen das palaeotropische Florenreich und die Capensis aufeinander, so dass die Verhältnisse noch komplizierter werden.

Die einzigartige Vegetation Südafrikas ist extremen Belastungen ausgesetzt. Selbst in den (Halb-) Wüsten wird Viehwirtschaft betrieben. Die Zahl der Weidetiere pro Fläche bestimmt extrem die Überlebenschancen vieler kleinwüchsiger

Sukkulente, jener Pflanzen, die in speziellen Geweben Wasser zu speichern vermögen: Sie werden schlicht zertreten. Die Folgen zu starker Beweidung sind sehr deutlich sichtbar, wenn Farmen mit einer hohen Dichte an Tieren direkt an Farmland mit geringerer Dichte grenzen. Die Ausbreitung der Städte und Dörfer, Umnutzung von Flächen, Abenteuer-tourismus mit dem „Erlebnis“, mit dem Quad über unberührte Flächen rasen zu können, Minen und nicht zuletzt das Sammeln seltener Pflanzen sind die wesentlichsten Ursachen ihrer Ausrottung.

Hier wird es um die „Sukkulente-Karoo“ gehen und wiederum einen kleinen Teil davon, die Knersvlakte. „Karoo“ heißt in der Sprache der Ureinwohner einfach „trockenes Gebiet“. Die Sukkulente-Karoo ist weltweit bekannt durch die Blüte der Mittagsblumen, die alljährlich viele Touristen anzieht. Die Knersvlakte (der Name kommt vom das Knirschen der Wagenräder auf Geröllflächen) ist ein Teil der Sukkulente-Karoo (30°45'-31°40'S, 18°15'-19°00'E). Es ist ein etwa 9550 km² großes Gebiet, das 300 km nördlich von Kapstadt gelegen ist. Die Knersvlakte ist eine landeinwärts reichende Verlängerung der Küstenebene, ca. 100-300 m ü. NN, und besonders reich an endemischen Arten.

BIOTA

Um die Einflüsse und die Variabilität der Umweltfaktoren im südlichen Afrika zu erfassen, wurde im Rahmen eines seit 2001 laufenden Forschungsprojektes namens BIOTA AFRICA (BIODiversity Monitoring Transect Analysis in Africa) mithilfe von in regelmäßigen Abständen eingerichteten Beobachtungsstationen entlang eines „Transektes“, einer Linie, der Artenbestand erfasst, die Veränderungen der Umweltfaktoren über die Zeit verfolgt und auf ihre Ursachen hin untersucht.

Auf 28 definierten Beobachtungsflächen, den „Biodiversitäts-Observatorien“, wurden nach standardisierten, wissenschaftlichen Methoden Daten erhoben – und u. a. in Hamburg ausgewertet. Die beteiligten Universitäten sind der BIOTA-Seite zu entnehmen. Die Strecke, mit der sich BIOTA im Südlichen Afrika befasst, reicht vom Winterregengebiet der Kapregion bis zum Sommerregengebiet des nördlichen Namibia. Es gibt weitere BIOTA-Regionen, in denen solche Transekte angelegt sind und erforscht werden.

In der Knersvlakte liegen nun drei dieser Observatorien und hier gibt es die höchste Dichte an Quarzflächen und Quarzflächen-Spezialisten, also Pflanzen, die mit diesen extremen Verhältnissen zurechtkommen. Stellenweise treten Quarzadern an die Oberfläche, so dass manchmal nur hausgroße Fläche wie Inseln zwischen völlig anderen Böden und Bewüchsen zu finden sind. Der Winterregen ist sparsam (150 mm), aber sehr sicher vorhersehbar. Die Trockenheit des Sommers ist teilweise extrem. Auf Quarzflächen kann die Temperatur auf über 50 Grad Celsius ansteigen.

Das Biozentrum Klein Flottbek hat eine langjährige Tradition in der Erforschung der Biodiversität im Südlichen Afrika. Bereits seit den 1970er Jahre führte die Arbeitsgruppe von Professor Hans-Dieter Ihlenfeldt regelmäßig Forschungsreisen ins südliche Afrika durch mit einem Fokus auf Taxonomie und Systematik der Mittagsblumengewächse. Die Arbeitsgruppe von Professor Norbert Jürgens forscht seit nunmehr 30 Jahren in der Sukkulente-Karoo von Südafrika, vor allem zu den Anpassungsstrategien der Pflanzenarten in dem extrem artenreichen Gebiet.

Die Gattung *Argyroderma*



Argyroderma crateriforme ist in Farbe und Form kaum von seiner Umgebung zu unterscheiden.

Dorfgemeinschaften werden in die wissenschaftlichen Aktivitäten einbezogen



Die Para-Ökologen sind wichtige Mittler im gegenseitigen Verständnis so unterschiedlicher Kulturen. Oben bei der Arbeit im Veld, unten bei der Auswertung und Dokumentation



Oophytum nanum und *Phyllobolus abbreviatus* (beide *Aizoaceae*) sind zwei typische Vertreter der Quarzflächen in der Knervlakte.

Hier kommen zum Beispiel Pflanzen der Gattung *Argyroderma* vor. Das sind sehr kompakte, kleine, kugelige oder daumenförmige Gewächse mit selten mehr als zwei sukkulenten Blättern. Die silbergrüne, glatte Oberfläche der Blätter ist besonders charakteristisch. Ruft man über die BIOTA-Webseite das Observatorium Flamingvlakte III (Goedeheop) auf, so gewinnt man einen Eindruck von diesem Teil der Sukkulente-Karoo, dem südlichen Namaqualand, mit den schon erwähnten Quarzadern. Auf solchen isolierten Quarzflächen sind mehr als 65 endemische Arten zu finden. Auch hier spielt die Landnutzung eine ganz wesentliche Rolle für das Überleben der endemischen Pflanzenarten.

Para-Ökologen

Noch immer ist nicht geklärt, was die Ursache der Artenvielfalt ist. Zudem ist extrem wichtig festzustellen, wie sich der bereits eingetretene Klimawandel auf die Anpassungen der Pflanzen an die bestehende Trockenheit auswirkt. Zwischen den Besuchen der Wissenschaftler sollen diese Flächen möglichst beobachtet und Veränderungen protokolliert werden, um Veränderungen dauerhaft erfassen zu können. Hier greift das Projekt der Para-Ökologen.

Der Schutz der besonderen Schätze dieses Landes ist nicht ohne die dort lebenden Menschen möglich. Und sie sollen davon profitieren. Daher werden Dorfgemeinschaften in die wissenschaftlichen Aktivitäten einbezogen, Interessierte dazu ausgebildet, Regenmessungen vorzunehmen, Pflanzen zu bestimmen.

Bodenproben zu nehmen, Viehzählungen durchzuführen, mit Schulen zusammen zu arbeiten, Berichte an die Wissenschaftler zu geben, Geräte zu pflegen und vieles andere mehr. Ein Schutz der Region ist nur mit den Landnutzern vor Ort möglich und die Para-Ökologen sind hier wichtige Mittler im gegenseitigen Verständnis so unterschiedlicher Kulturen und sollen die Landnutzer letztlich darin bestärken, ihre eigene Rolle in der Zusammenarbeit mit Wissenschaft, Wirtschaft und Politik zu bestimmen. Das Projekt der Para-Ökologen erstreckt sich über Namibia, Richtersveld und Namaqualand, ist also keineswegs auf die Knervlakte beschränkt. Frau Dr. U. Schmiedel hat dieses Projekt entwickelt und betreut; dazu und zur Vegetation auf den Quarzflächen gibt es eine Ausstellung, die 2011 im Botanischen Garten der Universität Hamburg gezeigt werden konnte.

Sammlungen in Botanischen Gärten

Hamburg hat wahrscheinlich eine der weltweit größten Lebend-Sammlungen von Mittagsblumengewächsen (*Aizoaceae*). Ohne eine solche Sammlung ist es nicht möglich, Arten sicher zu bestimmen, sie systematisch einzuordnen, sie zu erforschen und für ihren Erhalt zu sorgen.

Materialien:

Berichte über BIOTA sind sehr gut erschlossen und über die BIOTA-Webseiten zu finden. Für jedes der Biodiversitäts-Observatorien lassen sich Daten und Bilder abrufen über Temperatur und Wetterdaten, Bodenverhältnisse, Flechten, Krustentiere, Artenlisten usw. Einen schnellen Einblick bietet eine Fotoserie: http://www.biota-africa.org/photoalbum_ba.php
http://www.biota-africa.org/reg_south_paraecol_ba.php?Page_ID=L800_05_06&lang=de&PHPSESSID=54e70b3816d21a6b23d6e560c2d91e73

Ergebnisse von BIOTA gibt es auch in Druckform:

Jürgens, N., Haarmeyer, D. H., Luther-Mosebach, J., Dengler, J., Finckh, M., Schmiedel, U. (2010) [Eds.]: Biodiversity in southern Africa. Volume 1: Patterns at local scale – the BIOTA Observatories. – XX + 801 pp., Klaus Hess Publishers, Göttingen & Windhoek.

Schmiedel, U., Jürgens, N. (2010) [Eds.]: Biodiversity in southern Africa. Volume 2: Patterns and processes at regional scale. – XII + 348 pp., Klaus Hess Publishers, Göttingen & Windhoek.

Hoffman, M. T., Schmiedel, U., Jürgens, N. (2010) [Eds.]: Biodiversity in southern Africa. Volume 3: Implications for land use and management. – XII + 226 pp. + CD-ROM, Klaus Hess Publishers, Göttingen & Windhoek.

