

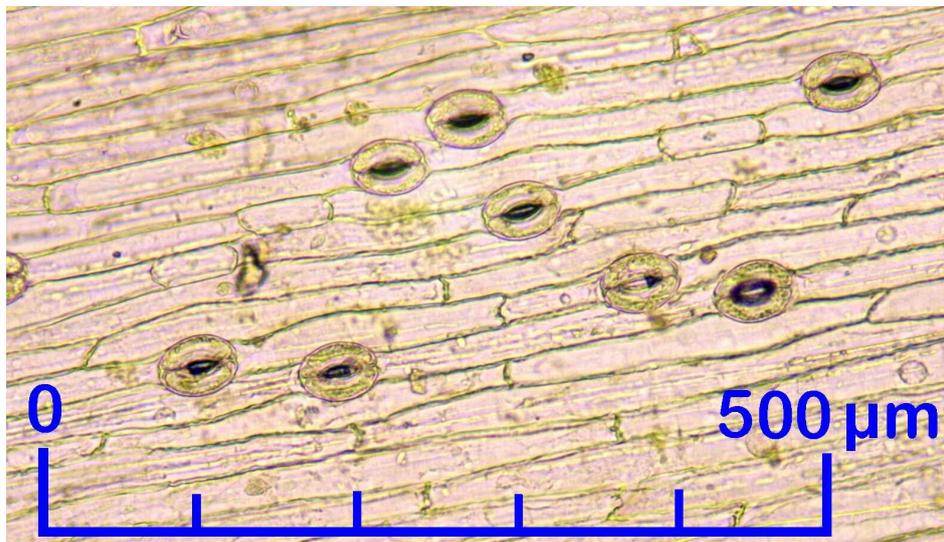
Facharbeit

Aus dem Fach
Biologie

Kursleiter: StR Hilmar Dirauf

Verfasser: Lukas Teichmann

Mikroskopische Untersuchungen von Spaltöffnungen



Spaltöffnungen von *Muscari spec.* (eigene Aufnahme)

1	<i>Einleitung</i>	3
2	<i>Theoretischer Teil</i>	3
2.1	Bau der Spaltöffnungen	3
2.2	Spaltöffnungstypen und Bildung von Spaltöffnungsapparaten	5
2.3	Funktion der Spaltöffnungen	6
2.4	Die Bewegungen der Spaltöffnungen	8
2.5	Ursachen der Turgordruckänderung	9
2.6	Mechanik der Schließzellenbewegung	10
2.7	Verteilungsmuster der Spaltöffnungen	12
3	<i>Praktischer Teil</i>	13
3.1	Methodik	13
3.2	Tabellarische Darstellung der Ergebnisse	14
3.3	Vergleich von Licht- und Schattenpflanzen	15
3.4	Verhältnis der Länge der Spaltöffnungen zur Anzahl	17
3.5	Vergleich mehrerer Pflanzen einer Gattung	19
3.6	Vergleich verschiedener Blätter einer Pflanze	20
3.6.1	Vergleich verschiedener Efeublätter	20
3.6.2	Vergleich verschiedener Ligusterblätter	21
3.7	Zusammenfassung	23
4	<i>Schluss</i>	23
5	<i>Literaturverzeichnis</i>	25
6	<i>Erklärung</i>	26

1 Einleitung

Der Mensch muss essen, um Nährstoffe zu sich zu nehmen. Die Pflanze dagegen kann sich ihre Nährstoffe zum großen Teil selbst herstellen. Dies gelingt ihr durch Photosynthese, wobei sie Kohlenstoffdioxid und Wasser in Glucose und Sauerstoff „verwandelt“. Betrachtet man diesen Vorgang etwas genauer, stellt sich die Frage, wie diese Stoffe in die Pflanze gelangen. Mit ihren Wurzeln nehmen die Pflanzen das Wasser aus dem Boden auf. Doch wie kommt das CO₂ in die Pflanze? Ein kleiner Teil ist gelöst im Wasser, der größte Teil stammt jedoch aus der Luft, denn die Luft besteht zu etwa 0,03% aus Kohlenstoffdioxid. Beim Menschen gelangt die Luft, die er zum Atmen benötigt, durch die Nase oder den Mund in die Lunge. Nase, Mund und Rachenraum beim Menschen entsprechen den Spaltöffnungen bei den Pflanzen. Daher bezeichnet man sie wohl auch als Stomata. Stoma ist griechisch und bedeutet soviel wie Mund oder Rachen. Spaltöffnungen sind winzige Öffnungen, die sich in sehr großer Zahl hauptsächlich auf den Blättern befinden. Die „Lunge“ der Pflanzen sind die Interzellularen, die Räume zwischen den Zellen einer Pflanze, in die die CO₂-haltige Luft „strömt“.

2 Theoretischer Teil

2.1 Bau der Spaltöffnungen¹

Eine Spaltöffnung besteht aus mehreren spezialisierten Epidermiszellen, zum einen aus zwei Schließzellen und zum anderen aus mehreren Nebenzellen. (Es gibt auch Pflanzen, die nur eine oder gar keine Nebenzellen besitzen.) Diesen Komplex aus Schließ- und Nebenzellen bezeichnet man als Spaltöffnungsapparat.

Die eigentliche Öffnung ist der Zentralspalt. Dieser kommt dadurch zustande, dass die beiden Schließzellen paarig nebeneinander angeordnet sind. Weil nur das obere und das untere Ende der Schließzellen miteinander befestigt sind, bleibt dazwischen ein Spalt frei. Dieser Zentralspalt kann weit geöffnet oder auch ganz geschlossen werden,

¹ vgl. Bauer, Gabriela; Kluge, Manfred; Lüttge, Ulrich: Botanik, Weinheim 2002, S.427-432

indem der Druck (Turgor) in den Schließzellen verändert wird. Die Pflanze ist in der Lage, die Spaltöffnung aktiv zu steuern.

In Abbildung 1 (Oberseite eines Rainfarns) ist auch die Cuticula (Wachsschicht) zu erkennen, die hier gefaltet ist. Die Cuticula ist eine Schutzschicht der Pflanze, die sie vor Austrocknung schützt. Sie bedeckt auch die Schließzellen bis zur Innenseite der Zentralspalte. Durch die Cuticula wird verhindert, dass bei geschlossenen Stomata Wasser verdampfen kann. Die Fältelung entsteht bei der Aushärtung der Cuticula, nachdem sich die Zellen gedehnt und wieder zusammengezogen haben.

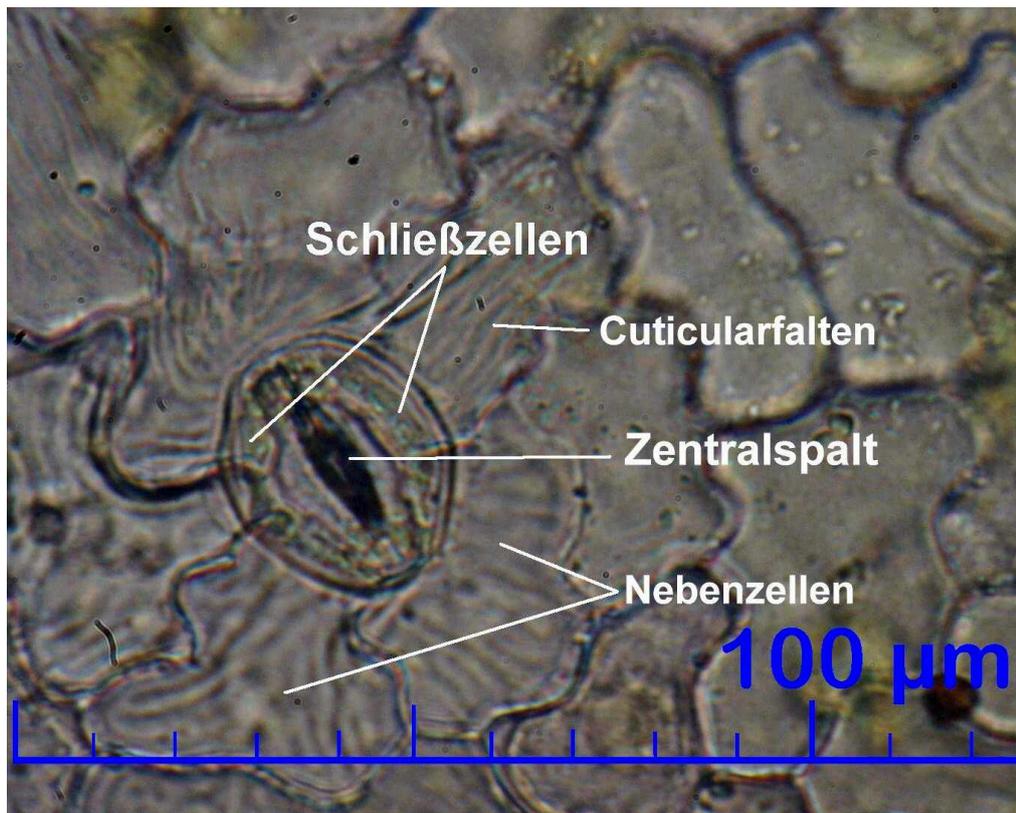


Abbildung 1. Oberseite eines Rainfarns (eigene Aufnahme)

In Abbildung 2 ist gut zu erkennen, dass die beiden Schließzellen nur an ihren Enden miteinander verknüpft sind. Außerdem sieht man die substomatäre Höhle, in der sich der Wasserdampf sammelt, bevor er durch den Zentralspalt entweicht. Die Schließzellen haben auch Chloroplasten. Sie sind in Abbildung 1 als grünliche Punkte zu erkennen. Schließzellen sind die einzigen Zellen der Epidermis, die Chloroplasten besitzen.

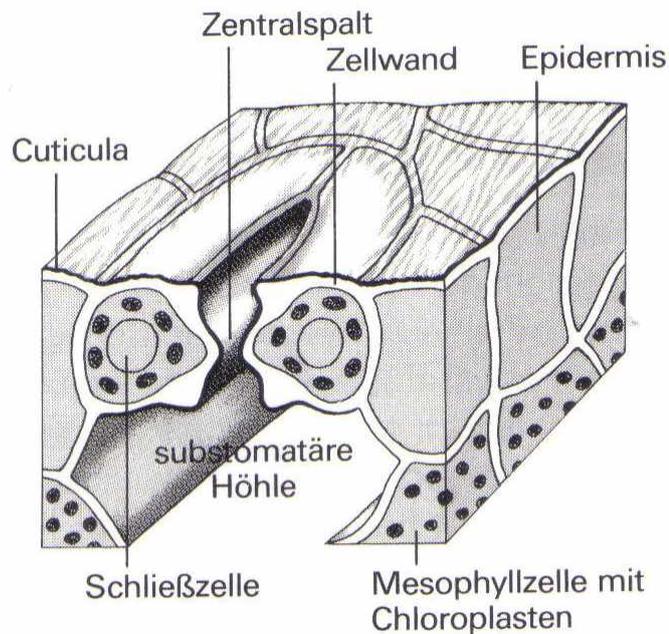


Abbildung 2. Räumliches Modell einer Spaltöffnung²

2.2 Spaltöffnungstypen und Bildung von Spaltöffnungsapparaten³

Die einzelnen Spaltöffnungen unterscheiden sich untereinander in Anzahl und Größe der Nebenzellen. Diese Unterschiede kommen während der Bildung des Spaltöffnungsapparates zustande, der durch die Spaltung einer jungen Epidermiszelle entsteht. Im einfachsten Fall teilt sie sich ein einziges Mal äqual, also zu zwei gleich großen Teilen. Die beiden gebildeten Zellen sind nun die Schließzellen. So entstandene Spaltöffnungen ohne Nebenzellen nennt man anomocytische Stomata.

Oftmals teilt sich die Epidermiszelle zunächst inäqual. Die kleinere der beiden Zellen teilt sich nochmals; dann allerdings äqual. So entstehen aus der Epidermiszelle eine Nebenzelle und zwei Schließzellen.

Noch häufiger allerdings kommt es nicht nur zu einer, sondern zu mehreren inäqualen Teilungen, wobei sich immer die kleinste und plasmareichste Zelle weiter teilt. Nur die letzte Teilung erfolgt schließlich äqual. Sämtliche Produkte der inäqualen Teilungen sind die Nebenzellen. Diese Art von Spaltöffnungsapparat, wenn die Nebenzellen unterschiedlich groß sind, bezeichnet man als anisocytisch.

Die inäqualen Teilungen können sogar so oft erfolgen, dass sich um die beiden Schließzellen ein doppelter Ring von Nebenzellen bildet (polycyclische Stomata). Dies ist auf dem unteren Foto (Abbildung 3; Unterseite eines Begoniablattes) zu erkennen.

² Abbildung aus Bauer: Botanik, S.432

³ vgl. Eschrich, Walter: Funktionelle Pflanzenanatomie, Berlin 1995, S.75-77

Die beiden Schließzellen werden nur von den inneren drei Nebenzellen berührt und um den inneren Ring befindet sich nochmals ein äußerer Ring von Nebenzellen.

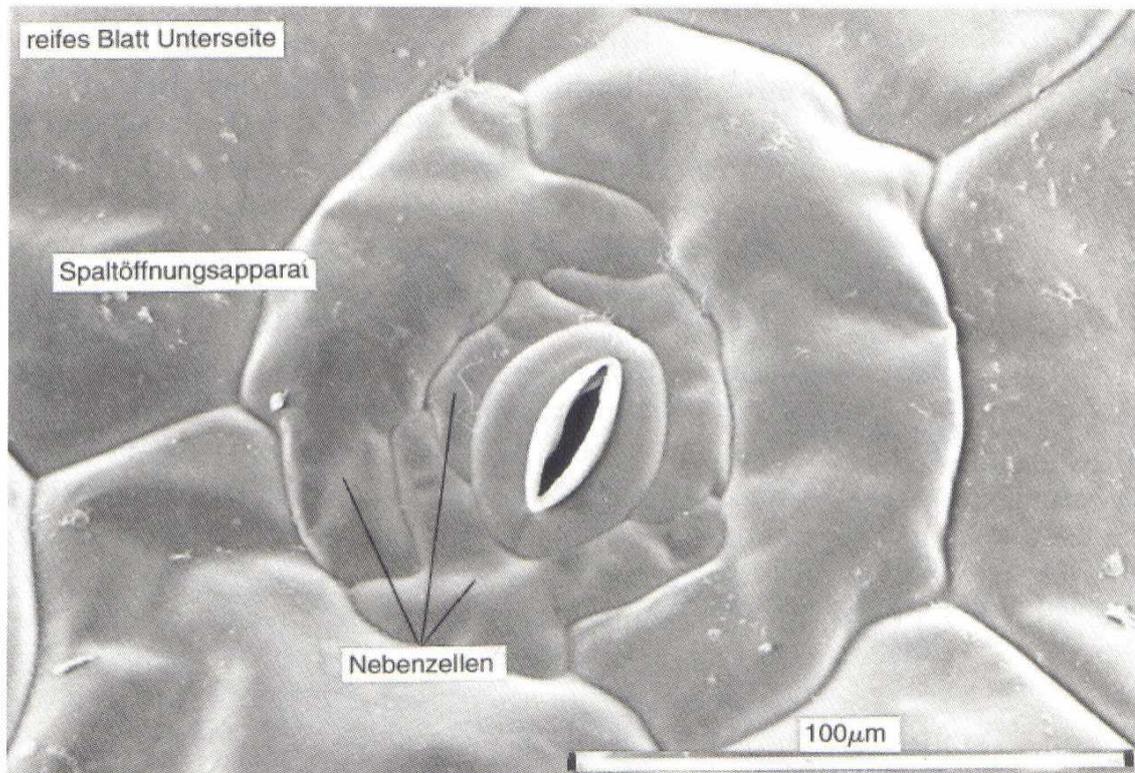


Abbildung 3. Zwei Kreise von Nebenzellen umschließen die Spaltöffnung von *Begonia spec.*⁴

Insgesamt sind mehr als 50 unterschiedliche Typen von Spaltöffnungsapparaten bekannt. Ob sie sich in der Mechanik der Schließzellenbewegung untereinander unterscheiden, ist jedoch noch nicht näher untersucht worden.

2.3 Funktion der Spaltöffnungen⁵

Spaltöffnungen haben zwei Hauptaufgaben:

1. Sie müssen Wasserdampf abgeben. Damit eine Pflanze mit Mineralstoffen versorgt werden kann, müssen ihre Wurzeln mineralstoffreiches Wasser aufnehmen. Um dieses Wasser z.B. bei einem Baum bis in die Baumkrone transportieren zu können, verdunstet der Baum Wasser über seine Blätter. Dadurch entsteht in den Wasserleitbahnen ein Unterdruck und das mineralstoffreiche Wasser wird von unten nach oben „gesogen“. Durch die Stomata kann die Pflanze die Abgabe von

⁴ Abbildung aus Eschrich: Funktionelle Pflanzenanatomie, S.78

⁵ vgl. Strasburger, Eduard: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen, Berlin 2002, S.296-298

Wasserdampf aktiv steuern. Dabei sammelt sich Wasserdampf in der substomatären Höhle. Von dort entweicht der Wasserdampf in die Außenluft. Es wird fast nur durch die Stomata Wasser abgegeben, da der Rest der Oberfläche von der beinahe wasserundurchlässigen Cuticula bedeckt ist. Gleichzeitig besteht aber auch die Gefahr, dass die Pflanze mehr Wasser über die Spaltöffnungen „verliert“, als sie über die Wurzeln aufnehmen kann, sie muss daher die Weite und die Dauer der Öffnung sehr genau regulieren.

2. Die Pflanze nimmt über die Stomata CO_2 auf. Der Konzentrationsgradient an Kohlenstoffdioxid zwischen der Umgebungs- und der Interzellularenluft ist nur gering. So genügt er nicht, dass CO_2 durch die Cuticula und die Epidermismembran diffundieren kann. Anders ist dies bei Sauerstoff. Dort ist der Konzentrationsgradient so hoch (ca. 21% an der Außenluft; fast 0% an den Mitochondrien)⁶, dass auch bei geschlossenen Stomata durch die Cuticula Sauerstoff diffundiert. Die Diffusionsrate ist sogar groß genug um den Sauerstoffbedarf für die Zellatmung zu decken.

Wo genau der Sauerstoff, der bei der Photosynthese gebildet wird, entweicht, ist nicht bekannt.⁷ Man nimmt an, dass er im Transpirationswasser gelöst durch die Stomata entweicht. Nach dem Entweichen trennt sich der Sauerstoff wieder vom Transpirationswasser und kann als Gas aufgefangen werden.

Die Pflanze benötigt also für die Aufnahme des Kohlenstoffdioxids, im Gegensatz zu der des Sauerstoffs, die Spaltöffnungen.

In Trockenzeiten ist das Öffnen der Stomata allerdings häufig eine Gratwanderung zwischen „Verdursten“ und „Verhungern“. Lässt die Pflanze ihre Spaltöffnungen geschlossen, kann sie keine Photosynthese betreiben, da kein CO_2 in die Pflanze gelangt. Somit kann sie keine Glucose bilden und läuft Gefahr zu „verhungern“. Öffnet sie die Stomata jedoch zu lange, kann sie aufgrund der Wasserdampfabgabe der Spaltöffnungen vertrocknen.

⁶ Werte aus Strasburger: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen, Berlin 2002, S.296

⁷ Eschrich: Funktionelle Pflanzenanatomie, S.75

2.4 Die Bewegungen der Spaltöffnungen

Stomata öffnen bzw. schließen sich durch Veränderung des Drucks in den Schließ- und Nebenzellen. Bei hohem Druck ist die Spaltöffnung geöffnet, bei niedrigem geschlossen.

Das lässt sich gut an einem Experiment⁸ verdeutlichen:

Man nimmt zwei halb mit Luft gefüllte, längliche Schläuche und klebt sie, wie in Abbildung 4 zu sehen, am oberen und unteren Ende zusammen.



Abbildung 4. Zwei halb mit Luft gefüllte Schläuche⁹

Füllt man nun mehr Luft in die Schläuche, wird der Spalt zwischen den beiden Schläuchen größer.

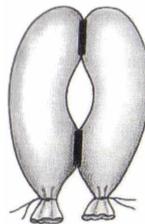


Abbildung 5. Größerer Spalt durch mehr Luft⁹

Dieser Spalt lässt sich jedoch noch viel mehr vergrößern, wenn man die seitlich Ausdehnung der Schläuche mit „Bandagen“ aus Klebeband verringert.

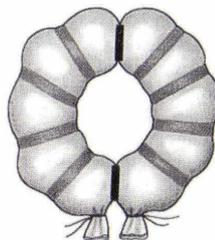


Abbildung 6. Vergrößerung des Spaltes durch Klebeband⁹

⁸ vgl. Bauer: Botanik, S.431

⁹ Abbildung aus Bauer: Botanik, S.431

So funktioniert auch die Öffnung der Stomata. Die beiden Schließzellen sind an ihren beiden Enden miteinander befestigt. Wird der Druck in den Zellen erhöht, dehnen sich beide Zellen wie die Schläuche aus dem Experiment aus und bilden den Zentralspalt. Den Bandagen aus Klebeband entsprechen in der Zelle Fibrillen (in der Abbildung als gestrichelte Linien dargestellt), die ebenfalls radial um die Schließzellen angeordnet sind.

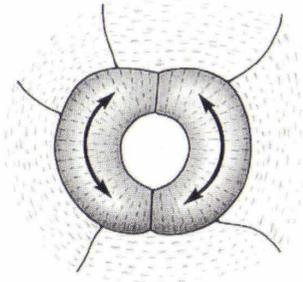


Abbildung 7. Spaltöffnung mit Fibrillen⁹

2.5 Ursachen der Turgordruckänderung

Es gibt zwei Arten von Spaltöffnungsbewegungen: die aktiven Spaltöffnungsbewegungen und die passiven.

Die passiven sind von der Pflanze nicht gesteuerte Bewegungen, die zum Beispiel durch Wasserverlust in den Zellen zustande kommen. Dieser führt wiederum zu einer Verringerung des Turgors in den Schließzellen, wodurch sich diese schließen. So ist zum Beispiel für das rasche Welken abgeschnittener Blätter eine passive Spaltöffnungsbewegung verantwortlich. Der Wasserverlust durch Transpiration schreitet dort bei den Epidermiszellen schneller voran als bei den Schließzellen. Das führt zu einer Öffnung des Spaltes und zu einer schnellen Austrocknung des gesamten Blattes.

Bei den aktiven Spaltöffnungsbewegungen regelt die Pflanze – wie der Name sagt – aktiv die Öffnungsweite der Stomata. Dies geschieht hauptsächlich über das Eindringen von Ionen in die Schließzellen. Die Nebenzellen dienen dabei als „Ionenspeicher“. Soll der Zentralspalt geöffnet werden, gelangen die Ionen (hauptsächlich K^+ , Cl^- und Phosphat) in die Schließzellen. Dort bewirken sie eine Zunahme des Turgors und damit eine Öffnung der Schließzellen. Wie in Abbildung 8 zu sehen, ist die Ionenkonzentration (vor allem von Kalium) in der geöffneten Schließzelle deutlich höher als in der geschlossenen.

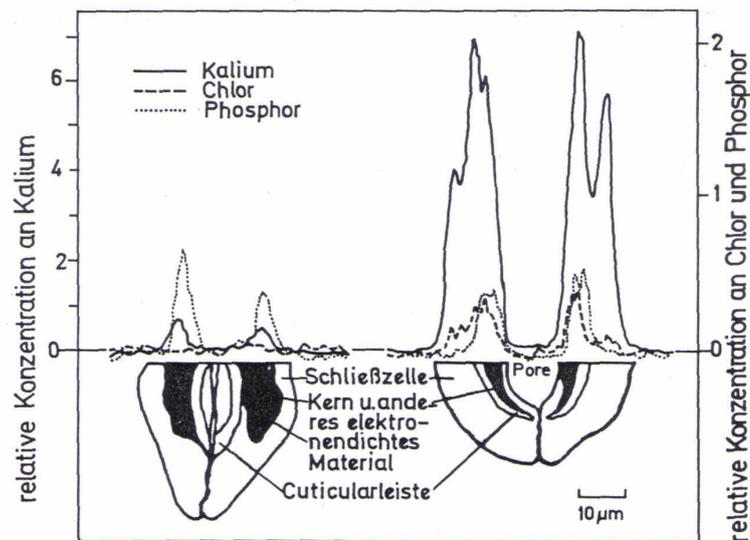


Abbildung 8. Veränderung der Ionenkonzentration bei geöffneten und geschlossenen Stomata ¹⁰

2.6 Mechanik der Schließzellenbewegung¹¹

Dass sich die Spaltöffnungen durch Druckänderung in den Schließzellen öffnen bzw. schließen ist zwar allen Stomata gemeinsam, trotzdem lassen sich vier verschiedene Arten der Mechanik der Schließzellenbewegung unterscheiden:

- Der Expansionstyp (Abbildung 9). Er entspricht dem Modell mit den luftgefüllten Schläuchen. Bei Erhöhung des Drucks blähen sich die Zellen auf und der Spalt entsteht.

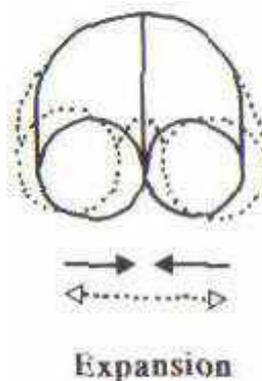


Abbildung 9. Expansionstyp ¹²

¹⁰ Abbildung aus Strasburger, Eduard: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen, Stuttgart 1978, S.468

¹¹ vgl. Eschrich: Funktionelle Pflanzenanatomie, S. 77-80

¹² Abbildung aus Eschrich: Funktionelle Pflanzenanatomie, S. 80

- Der Puffertyp (Abbildung 10 u. 11). Er kommt bei Gräsern vor. Eine Volumenänderung findet hier nur in Endblasen der Schließzellen statt. Die dickwandigen Mittelteile werden bei erhöhtem Volumen auseinander gedrückt.

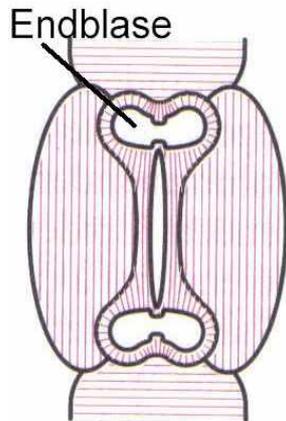


Abbildung 10. Puffertyp ¹³



Abbildung 11: Spaltöffnung des Wildhafers (eigene Aufnahme)

- Der Flügeltürtyp (Abbildung 12). Bei ihm bewirkt die Turgorzunahme ein „Nach-Außen-Drehen“ der Schließzellen. Dabei wird der Spalt zwischen den Zellen geöffnet.

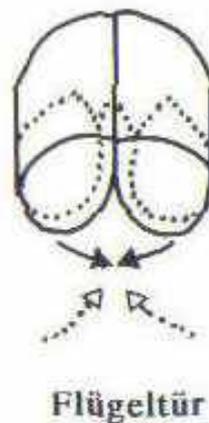
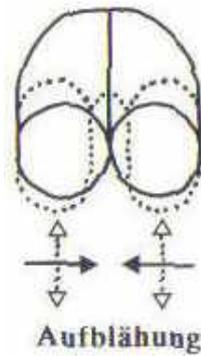


Abbildung 12. Flügeltürtyp ¹²

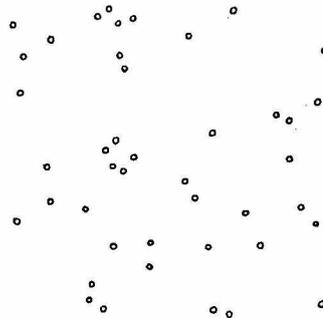
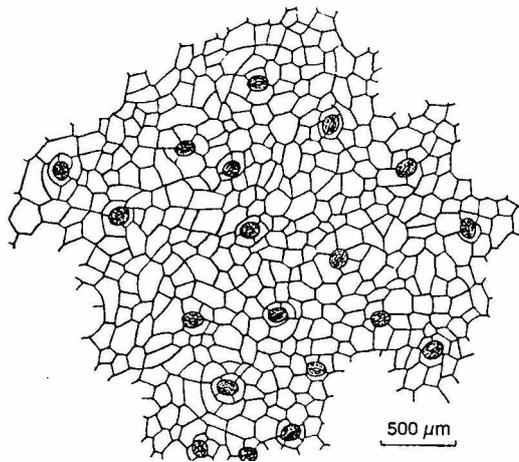
- Der Aufblähungstyp (Abbildung 13). Bei diesem Typ ist die Wand der Schließzellen unterschiedlich stark verdickt. Das führt dazu, dass sich bei einer Druckzunahme die Zellen nur nach oben hin ausdehnen und somit den Spalt in der Mitte frei machen.

¹³ Abbildung aus Strasburger: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen, Berlin 2002, S.482

Abbildung 13 Aufblähungstyp¹²

2.7 Verteilungsmuster der Spaltöffnungen¹⁴

Wenn man die Verteilung der Spaltöffnungen (Abbildung 14) betrachtet, so fällt auf, dass diese relativ regelmäßig über die Oberfläche verteilt sind. Viel regelmäßiger als das bei einem Zufallsmuster (Abbildung 15) der Fall wäre.

Abbildung 14. Spaltöffnungsmuster einer *Bougainvillea spectabilis*¹⁵ Abbildung 15. Zufallsmuster¹⁵

Diese Erscheinung hat zwei Ursachen. Sie hängt zum einen mit der Bildung der Spaltöffnungen zusammen. Da diese ursprünglich aus einer Zelle entstehen und so meistens einen Ring von Nebenzellen um sich haben, gibt es schon einmal einen Mindestabstand der Schließzellen zueinander. Zum anderen gibt die Spaltöffnung einen Signalstoff ab. Dieser Stoff ist für die umliegenden Zellen ein chemischer Reiz, der die

¹⁴ vgl. Eschrich: Funktionelle Pflanzenanatomie, S. 81-84

¹⁵ Abbildung aus Eschrich: Funktionelle Pflanzenanatomie, S. 82

Bildung weiterer Stomata verhindert. Der Wirkungsbereich des Signalstoffes erstreckt sich kreisrund um die beiden Schließzellen und bildet die sogenannte Hemmzone.

3 Praktischer Teil

3.1 Methodik

Um eigene Untersuchungen anstellen zu können, untersuchte ich die Spaltöffnungen von 45 Pflanzen unterschiedlichster Standorte. Dafür nahm ich ein Blatt jeder Pflanze und zupfte die obere bzw. untere Epidermis mit einer Pinzette ab. Diese Proben untersuchte ich dann unter einem Lichtmikroskop und machte mit einer Digitalkamera über 300 Bilder, meistens mit 200- und 400-facher Vergrößerung. Diese Bilder benutzte ich für die folgenden Untersuchungen.

Die Anzahl der Spaltöffnungen, die auf den Bildern zu sehen war zählte ich aus und rechnete sie jeweils auf die Anzahl der Stomata auf jedem Quadratmillimeter hoch; ebenso bestimmte ich die Länge.

Durch diese Methode erhält man sicherlich kein wissenschaftliches Ergebnis. Dafür hätte man viele Blätter jeder Pflanze aus ganz Deutschland oder besser aus ganz Europa untersuchen müssen, was aber außerhalb meiner Möglichkeiten liegt. Trotzdem erhält man ein brauchbares Ergebnis. Denn schließlich sind die Spaltöffnungen nicht zufällig über die Blattfläche verteilt, sondern in regelmäßigeren Abständen. Somit lassen sich mit den Ergebnissen durchaus gewisse Trends aufzeigen.

3.2 Tabellarische Darstellung der Ergebnisse

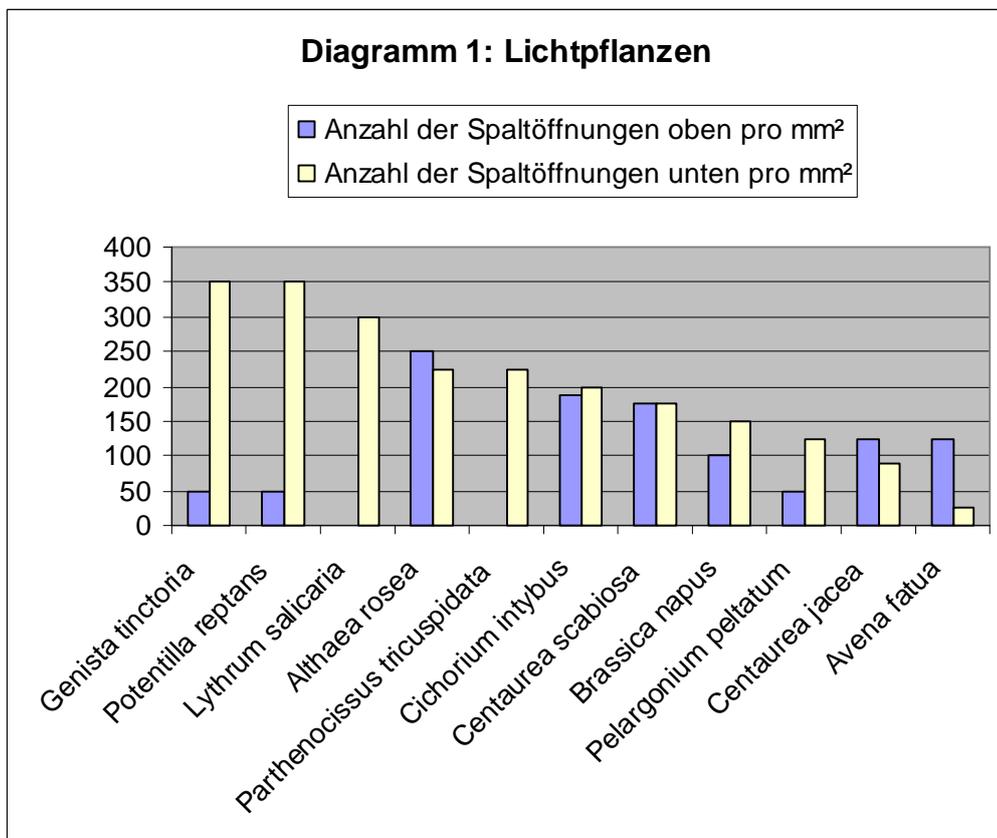
Lateinischer Name	Deutscher Name	Anzahl der Stomata auf der Blattoberseite pro mm ²	Länge der Stomata auf der Blattoberseite in μm	Anzahl der Stomata auf der Blattunterseite pro mm ²	Länge der Stomata auf der Blattunterseite in μm
<i>Althaea rosea</i>	Stockrose	250	30	225	25
<i>Avena fatua</i>	Wild-Hafer, Flughäfer	125	60	25	60
<i>Brassica napus</i>	Raps	100	30	150	30
<i>Centaurea jacea</i>	Wiesen-Flockenblume	125	40	88	40
<i>Centaurea scabiosa</i>	Skabiosen-Flockenblume	175	30	175	30
<i>Cichorium intybus</i>	Wegwarte	188	30	200	30
<i>Convolvulus arvensis</i>	Acker-Winde	75	40	100	40
<i>Equisetum arvense</i>	Acker-Schachtelhalm	125	50		
<i>Fagus sylvatica</i>	Rotbuche	0	-	150	20
<i>Genista tinctoria</i>	Färbeginster	50	30	350	30
<i>Hedera helix</i>	Efeu	0	-	200	28
<i>Hemerocallis fulva</i>	Gelbrote Taglilie	0	-	150	40
<i>Hosta spec.</i>	Funkie, Herbstblattlilie	0	-	100	45
<i>Hypericum perforatum</i>	Tüpfel-Johanniskraut	0	-	325	25
<i>Impatiens glandulifera</i>	Indisches Springkraut	225	25	525	25
<i>Impatiens parviflora</i>	Kleinblütiges Springkraut	25	30	100	27
<i>Impatiens walleriana</i>	Fleißiges Lieschen	0	-	200	25
<i>Laburnum anagyroides</i>	Goldregen	0	-	250	25
<i>Lamium galeobdolon</i>	Goldnessel	0	-	175	20
<i>Lavandula angustifolia</i>	Lavendel	63	33	125	33
<i>Ligustrum vulgare</i>	Liguster	0	-	225	30
<i>Lythrum salicaria</i>	Blutweiderich	0	-	300	26
<i>Muscari spec.</i>	Trüffel-Hyazinthe	76	40	40	47
<i>Narcissus poeticus</i>	Narzisse	36	60	36	60
<i>Nuphar lutea</i>	Teichrose, Gelbe Seerose	300	20	0	-
<i>Nymphaea alba</i>	Weißer Seerose	450	27	0	-
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	Wilder Wein	0	-	225	28
<i>Pelargonium peltatum</i>	Geranie	50	35	125	35
<i>Potentilla reptans</i>	Kriechendes Fingerkraut	50	22	350	22
<i>Prunus avium</i>	Süßkirsche	0	-	325	23
<i>Prunus serotina</i>	Späte Traubenkirsche	0	-	250	30
<i>Ranunculus repens</i>	Kriechender Hahnenfuß	15	50	87	50
<i>Rumex thyrsiflorus</i>	Straußblütiger Ampfer	50	40	125	40
<i>Saponaria officinalis</i>	Gewöhnliches Seifenkraut	0	-	200	35
<i>Sedum acre</i>	Scharfer Mauerpfeffer	25	30		
<i>Tanacetum vulgare</i>	Rainfarn	100	35	125	35
<i>Taraxacum officinale</i>	Löwenzahn	25	20	150	25
<i>Thymus pulegioides</i>	Thymian	50	20	475	20
<i>Hedera helix</i>	Efeu	0	-	200	28
<i>Hedera helix (Jugendblatt)</i>	Efeu (Jugendblatt)	0	-	200	32
<i>Hedera helix (1m)</i>	Efeu (1m)	0	-	200	32
<i>Hedera helix (50cm)</i>	Efeu (50cm)	0	-	188	32
<i>Hedera helix (außen Süd)</i>	Efeu (außen Süd)	0	-	200	32
<i>Ligustrum vulgare (Schatten)</i>	Liguster (Schatten)	0	-	160	30
<i>Ligustrum vulgare (Sonne)</i>	Liguster (Sonne)	0	-	450	23

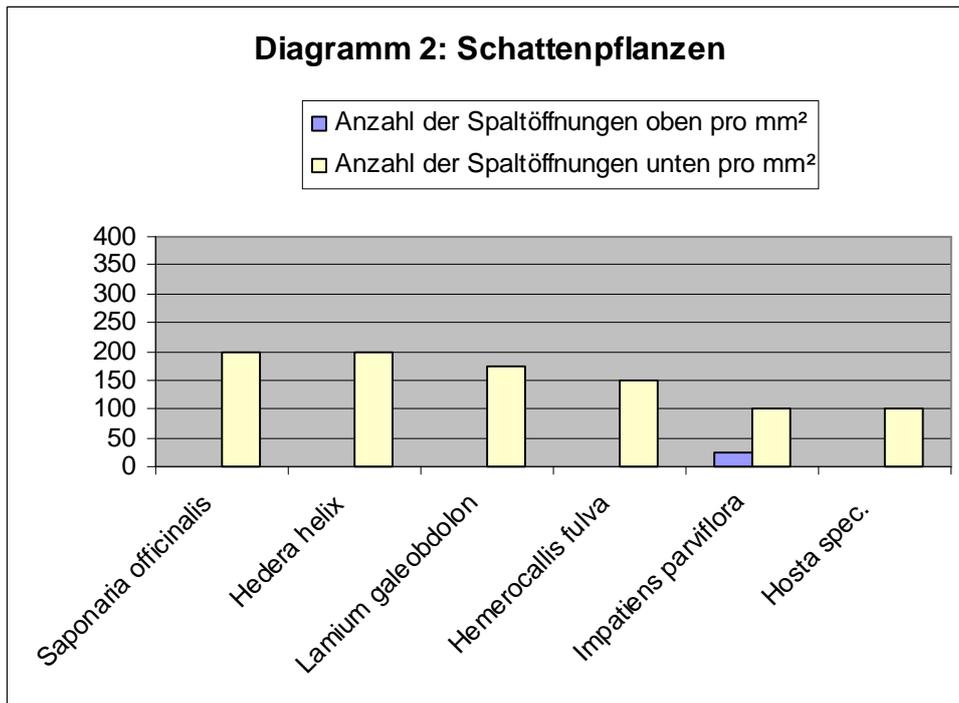
Sowohl bei *Equisetum arvense* (Acker-Schachtelhalm) als auch bei *Sedum acre* (Scharfer Mauerpfeffer) lassen sich Ober- und Unterseite der Blätter nicht eindeutig voneinander unterscheiden. Deren Werte wurden in die Spalten der Blattoberseite eingetragen.

3.3 Vergleich von Licht- und Schattenpflanzen

Vorgehensweise

Um zu überprüfen ob es Unterschiede bezüglich der Anzahl der Spaltöffnungen bei Licht- und Schattenpflanzen gibt, wählte ich aus den untersuchten Pflanzen typische Licht- bzw. Schattenpflanzen aus und erstellte zwei Diagramme. Diagramm 1 enthält die Werte der Anzahl der Spaltöffnungen auf der Blattober- bzw. Blattunterseite. Die Pflanzen sind nach der Anzahl der Stomata auf der Blattunterseite geordnet. Diagramm 2 enthält die entsprechenden Werte der Schattenpflanzen.





Beschreibung

Auffällig ist, dass die Anzahl der Spaltöffnungen bei den Lichtpflanzen höher ist. So liegt der höchste Wert hier bei 350 Spaltöffnungen pro mm² (*Genista tinctoria*, Färbeginster); bei den Schattenpflanzen nur bei 200 (*Saponaria officinalis*, Gewöhnliches Seifenkraut). Im Durchschnitt haben die untersuchten Lichtpflanzen auf der Unterseite ca. 201 Spaltöffnungen. Die Schattenpflanzen dagegen 154. Hinzu kommt, dass nur eine von sechs Schattenpflanzen auch auf ihrer Oberseite Spaltöffnungen besitzt. Bei den Lichtpflanzen sind es immerhin neun von elf, was die Gesamtzahl der Spaltöffnungen bei den Sonnenpflanzen zusätzlich erhöht.

Erklärung

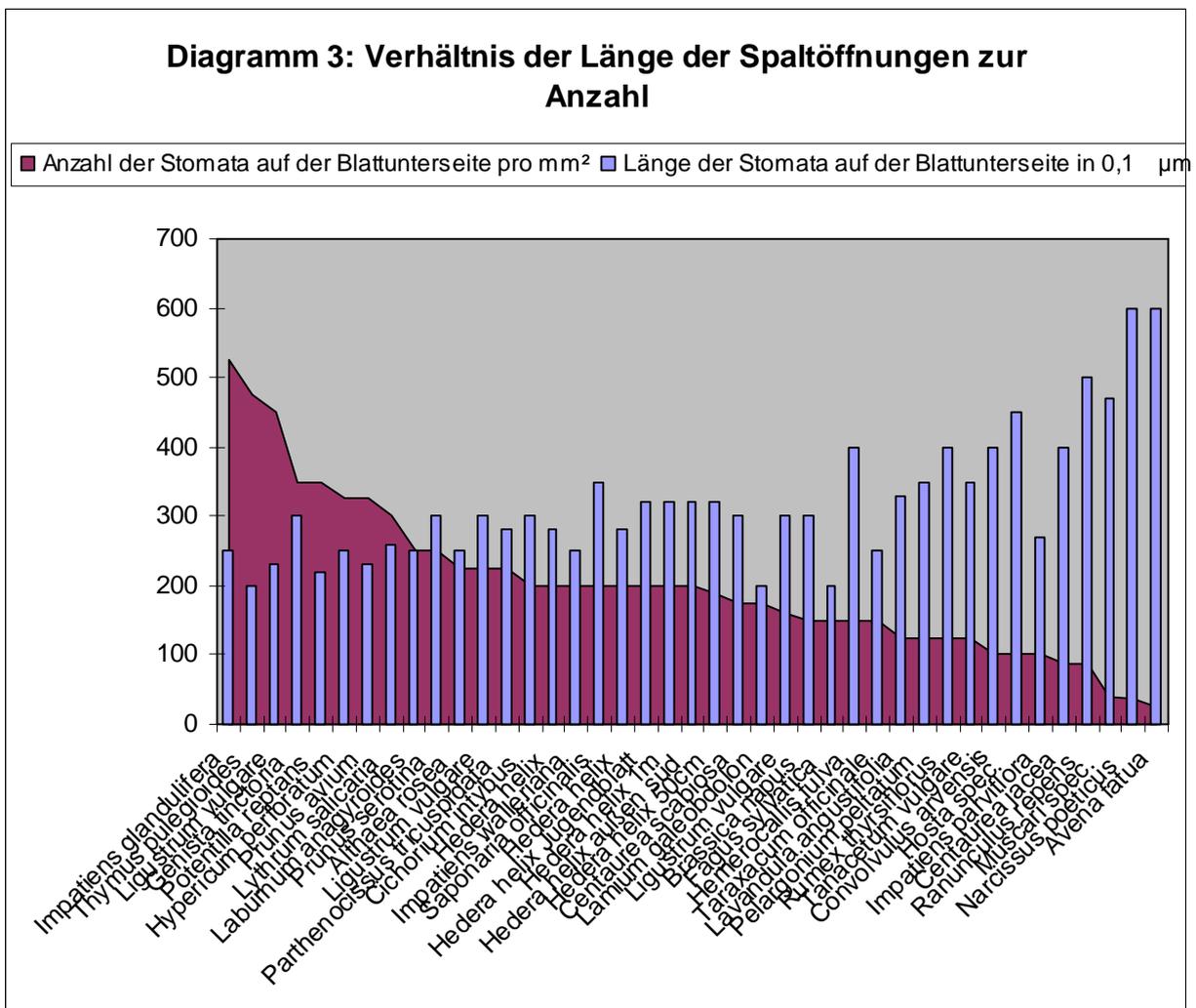
Lichtpflanzen benötigen anscheinend mehr Spaltöffnungen als Schattenpflanzen. Da sie der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, müssen sie den Wasserverlust besser regulieren können. Je mehr Spaltöffnungen sie besitzen, desto besser können sie sich auf wechselnde Umweltbedingungen einstellen. Außerdem können sie aufgrund des vielen Sonnenlichts gut Photosynthese betreiben, wozu wiederum CO₂ notwendig ist, das nur über die geöffneten Stomata in die Pflanze gelangen kann.

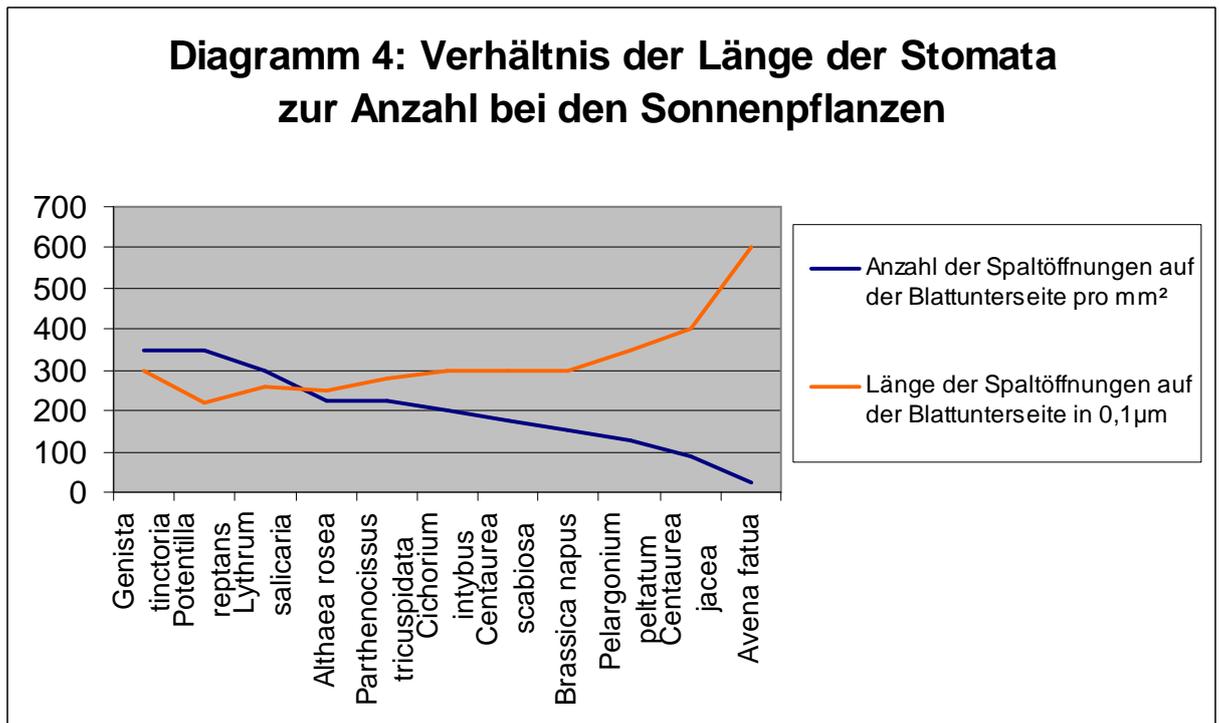
Schattenpflanzen dagegen brauchen Stomata nicht in so großer Anzahl, da sie „geschützt“ im Schatten von Bäumen oder ähnlichem stehen und somit auch keiner direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt sind. Dadurch können sie weniger Photosynthese betreiben, benötigen weniger CO₂ und somit auch weniger Spaltöffnungen.

3.4 Verhältnis der Länge der Spaltöffnungen zur Anzahl

Vorgehensweise

Ob es einen Zusammenhang zwischen Länge und Anzahl der Stomata gibt, soll hier näher untersucht werden. Diagramm 3 zeigt Anzahl der Spaltöffnungen auf der Blattunterseite sämtlicher untersuchter Pflanzen, die auf ihrer Unterseite Stomata besitzen in absteigender Reihenfolge. Ebenso enthält es die entsprechende Länge der Stomata. Diagramm 4 zeigt die Anzahl der Spaltöffnungen auf der Blattunterseite der untersuchten Sonnenpflanzen und deren Länge. Das Diagramm ist ebenfalls nach der Anzahl der Stomata auf der Blattunterseite geordnet.





Beschreibung

Auffällig ist, dass die Länge der Spaltöffnungen bei den untersuchten Pflanzen mit geringer werdender Anzahl der Spaltöffnungen zunimmt. So haben die beiden Pflanzen mit der geringsten Anzahl an Stomata (Avena fatua und Narcissus poeticus) die längsten Spaltöffnungen (60 μm). Die Balken in Diagramm 3 steigen also immer weiter an, während die Fläche abfällt. Besonders deutlich ist dies auch bei den Sonnenpflanzen zu erkennen. Hier nimmt ebenfalls die Größe der Spaltöffnungen mit geringer werdender Anzahl an Stomata zu.

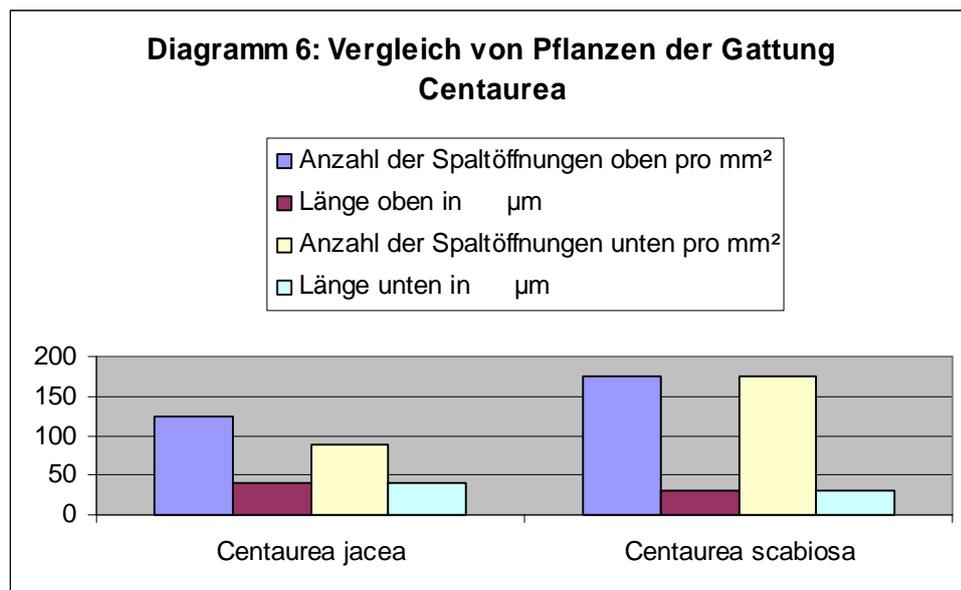
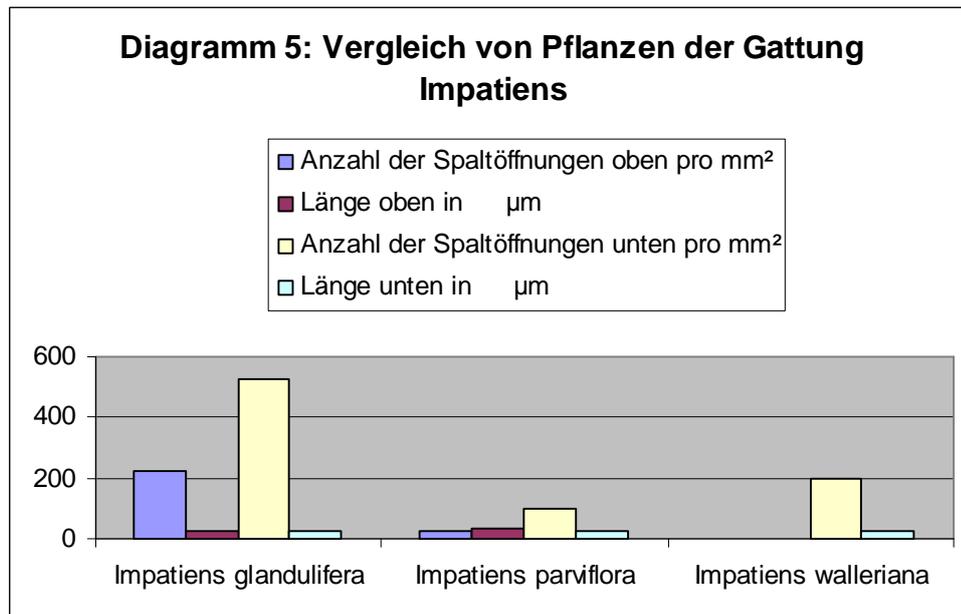
Erklärung

Die Pflanze scheint in gewissem Maße die geringere Anzahl der Stomata durch größere Öffnungen auszugleichen. Dies relativiert die in Kapitel 3.3 festgestellten Überlegungen, macht sie aber nicht ungültig.

3.5 Vergleich mehrerer Pflanzen einer Gattung

Vorgehensweise

Ob es Ähnlichkeiten bezüglich der Anzahl und Größe der Spaltöffnungen bei verwandten Pflanzen gibt, soll im Folgenden untersucht werden. Diagramm 5 zeigt die Anzahl und Größe der Stomata auf Blattober- und Unterseite von drei verschiedener Pflanzen der Gattung *Impatiens*. Diagramm 6 von zwei Pflanzen der Gattung *Centaurea*.



Beschreibung

Beim Vergleich verschiedener Pflanzen einer Gattung, zumindest bei den hier untersuchten, lassen sich keine Gemeinsamkeiten in Anzahl und Größe der Spaltöffnungen feststellen.

Erklärung

Größe und Anzahl scheinen nur von den Außenfaktoren, also dem Standort abzuhängen. So wächst das kleinblütige Springkraut (*Impatiens parviflora*) in Wäldern. Es ist also eine Schattenpflanze, was die geringe Anzahl von Spaltöffnungen erklärt. Ebenso das fleißige Lieschen (*Impatiens walleriana*), eine Topfpflanze, die man an schattigen Standorten halten sollte. Das Indische Springkraut (*Impatiens glandulifera*) wächst hauptsächlich an Flüssen oder Bächen. So lässt sich auch die große Anzahl von Spaltöffnungen erklären. Denn die Pflanze kann über ihre Stomata viel Wasser verdunsten, um aus dem Boden Mineralstoffe aufnehmen zu können. An Bächen bzw. Flüssen ist aber die Luftfeuchtigkeit sehr hoch, so dass relativ wenig Wasserdampf entweichen kann. Deshalb braucht die Pflanze viele Spaltöffnungen.

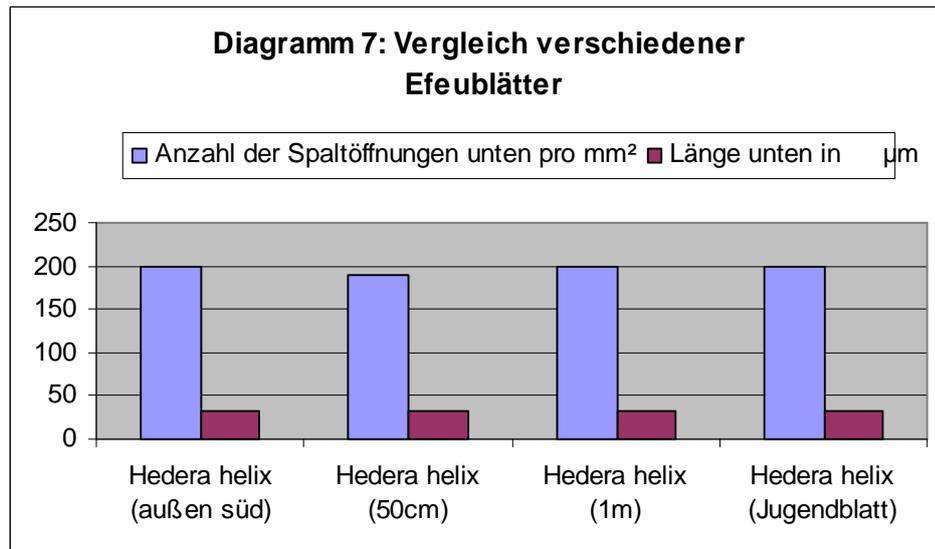
Beide Pflanzen der Gattung *Centaurea* sind Sonnenpflanzen, wobei aber die Wiesen-Flockenblume (*Centaurea jacea*) feuchtere Standorte bevorzugt und die Skabiosen-Flockenblume (*Centaurea scabiosa*) auch an sehr trockenen Orten wächst.

3.6 Vergleich verschiedener Blätter einer Pflanze

3.6.1 Vergleich verschiedener Efeublätter

Vorgehensweise

Um zu überprüfen, ob Anzahl oder Größe der Stomata auf Blättern derselben Pflanze unterschiedlich sein können, wenn diese an verschiedenen Stellen der Pflanze wachsen, werden nun vier Blätter verglichen, die alle von derselben Pflanze, einem Efeu, stammen. Ein Blatt war dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt, ein weiteres befand sich etwa 50 cm tiefer innerhalb der Pflanze, also im Halbschatten; das nächste war etwa 1 m tief im Vollschatten. Das vierte war ein Jungblatt.



Beschreibung

Trotz der unterschiedlichen Stellen an denen die Blätter wachsen haben alle Blätter auf ihrer Unterseite mit recht großer Übereinstimmung etwa 200 Stomata mit einer Länge von ca. 32 µm. Auf ihrer Oberseite weist keines der Blätter Spaltöffnungen auf.

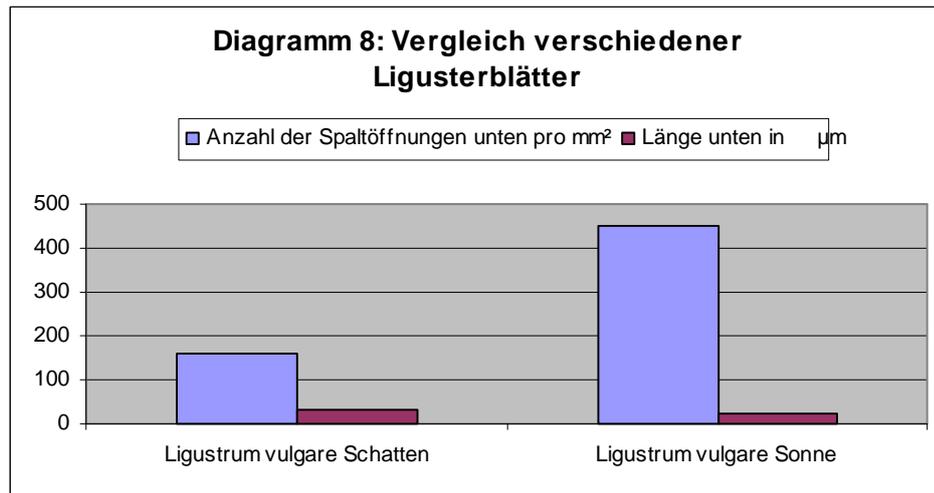
Erklärung

Die Stellen, an denen die Blätter an der Pflanze wachsen – also gewissermaßen ihr unterschiedlicher Standort –, scheinen beim Efeu keine Auswirkungen auf die Stomata zu haben. Eine Erklärung könnte sein, dass die Gemeinsamkeiten auf der identischen genetischen Ausstattung aller Blätter beruhen.

3.6.2 Vergleich verschiedener Ligusterblätter

Vorgehensweise

Auch hier wurde ein Blatt von der Außenseite des Strauchs entnommen, das immer dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt war. Ein zweites Blatt stammt aus dem Inneren desselben Ligusters nahe dem Stamm; es befand sich also den ganzen Tag im Schatten.



Beschreibung

Ein vollkommen anderes Ergebnis erhält man bei der Untersuchung von Ligusterblättern. Hier ist die Spaltöffnungsanzahl beim „Sonnenblatt“ viel höher (450) als beim „Schattenblatt“ (160). Dafür ist die Stomatalänge beim Schattenblatt größer (30 µm gegenüber 23 µm). Spaltöffnungen auf der Blattoberseite besitzen beide Ligusterblätter nicht.

Erklärung

Der Liguster hat immergrüne Blätter, er wirft sie also im Herbst nicht ab. Starke Kälte und Frost haben für die Pflanze dieselben Auswirkungen wie Trockenheit. Deshalb müssen immergrüne Pflanzen dieselben Anpassungen vornehmen wie Pflanzen trockener Standorte. Eine dieser Anpassungen ist – ähnlich wie bei Lichtpflanzen – eine große Zahl von Spaltöffnungen, um besser regulieren zu können.

Das erklärt die große Anzahl von Stomata auf dem „Sonnenblatt“. Das „Schattenblatt“ dagegen könnte deshalb weniger Spaltöffnungen haben, weil eine größere Anzahl ihm wenig nützen würde. Es bekommt wenig Sonnenlicht und kann deshalb nur in eingeschränktem Maße Photosynthese betreiben. Eine größere Menge wäre also – wie bei Schattenpflanzen – unergiebig.

Der Efeu dagegen hat keinen strauchförmigen Wuchs, sondern kriecht entweder am Boden entlang oder klettert an Bäumen, Mauern, Zäunen oder Hauswänden empor. Dadurch kommt es nicht in so großem Maße wie beim Liguster vor, dass Blätter im Schatten anderer wachsen. Deshalb weisen ihre Blätter auch alle dieselbe Anzahl und Größe an Spaltöffnungen auf.

3.7 Zusammenfassung

Die Ergebnisse zeigen, dass die Spaltöffnungen der Pflanzen ökologisch an die Außenbedingungen angepasst sind. Die Anzahl scheint dabei in erster Linie vom Standort und der dadurch möglichen Photosyntheseleistung abhängig zu sein. Ein Blatt, das sich im vollen Sonnenlicht befindet, kann mehr Photosynthese betreiben. Dazu benötigt es viele Spaltöffnungen, da viel CO₂ in die Pflanze gelangen muss. Eine Ähnlichkeit in Anzahl und Länge der Stomata aufgrund der Verwandtschaft verschiedener Pflanzen konnte nicht festgestellt werden. Die Länge der Spaltöffnungen scheint von ihrer Anzahl abzuhängen. Pflanzen mit wenigen Stomata haben in der Regel längere, Pflanzen mit vielen Stomata, kürzere Spaltöffnungen. Auch scheinen Anzahl und Länge auf verschiedenen Blättern derselben Pflanze unterschiedlich sein zu können, je nachdem, an welcher Stelle das Blatt wächst und wie viel Sonnenlicht es dadurch bekommt.

4 Schluss

Nicht nur natürliche Außenfaktoren beeinflussen die Spaltöffnungen. Auch vom Menschen verursachte Veränderungen der Umwelt wie die zunehmende Luftverschmutzung und der erhöhte CO₂-Gehalt in der Luft wirken sich auf die Stomata aus.

Dies mögen einige Beispiele verdeutlichen. So kann etwa die Schadstoffbelastung in Wäldern durch Untersuchungen der Spaltöffnungen von Fichtennadeln festgestellt werden¹⁶. Die Cuticula der Fichtennadeln hat auf ihren Stomata eine sehr sensible und feinmaschige Mikrostruktur. Luftschadstoffe und luftgetragene Staubpartikel können diese Mikrostruktur beeinflussen und ein schnelles Altern bewirken, was schließlich zum Nadelverlust führt. Der Zustand der Cuticula auf den Spaltöffnungen lässt somit Rückschlüsse auf die Luftqualität zu. Feine Staubpartikel können ferner ein „Verstopfen“ der Stomata bewirken.

¹⁶ Umweltbundesamt Österreich: Nadeloberflächenparameter und Elementgehalte von Fichtennadeln ausgewählter Industriestandorte, Wien 2000

Weiterhin ergaben Versuche, dass Pflanzen auch auf eine erhöhte CO₂-Konzentration „reagieren“¹⁷. Man begaste Weißklee mit CO₂, so dass die Konzentration (600 cm³•m⁻³) etwa der entsprach, die in etwa 80-100 Jahren in unserer Atmosphäre herrschen wird. Einige Pflanzen verringerten daraufhin die Stomata-Anzahl. Die Pflanzen konnten aufgrund der erhöhten Kohlenstoffdioxid-Konzentration mit weniger Spaltöffnungen die gleiche Menge CO₂ aufnehmen, verloren aber weniger Wasser.

Diese Versuche zeigen, dass sich Pflanzen durch ihre Spaltöffnungen gut auf wechselnde Umweltbedingungen einstellen können, gleichzeitig aber auch, wie empfindlich Pflanzen auf eine Zerstörung der Stomata infolge von Umwelteinflüssen reagieren.

¹⁷ Internet: Seite der Universität Wien, http://www.univie.ac.at/IECB/CDROM/HPPPP/Snace_face.pdf

5 Literaturverzeichnis

Bauer, Gabriela; Kluge, Manfred; Lüttge, Ulrich: Botanik, Weinheim 2002

Eschrich, Walter: Funktionelle Pflanzenanatomie, Berlin 1995

Heß, Dieter: Pflanzenphysiologie: Grundlagen von Stoffwechsel und Entwicklung der Pflanzen, Stuttgart 1999

Internet:

Seite der Universität Wien

http://www.univie.ac.at/IECB/CDROM/HPPPP/Snace_face.pdf

Linder, Hermann: Biologie: Lehrbuch für die Oberstufe, Hannover 1998

Nultsch, Wilhelm: Allgemeine Botanik, Stuttgart 2001

Strasburger, Eduard: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen, Stuttgart 1978

Strasburger, Eduard: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen, Berlin 2002

Umweltbundesamt Österreich, Nadeloberflächenparameter und Elementgehalte von Fichtennadeln ausgewählter Industriestandorte, Wien 2000

6 Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die Facharbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.