

# Über lebhaftes Gasausscheidung aus den Blättern von *Nelumbo nucifera* Gaertn.

Von

N. Ohno.

Mit 4 Textfiguren.

---

Bei einem Spaziergange an einem Teiche, der mit *Nelumbo nucifera* dicht bewachsen war, wurde meine Aufmerksamkeit auf eine merkwürdige Erscheinung gelenkt. Es war am 19. Juli 1908, 9 Uhr vormittags. Die helle Morgensonne fiel prall auf die Blätter der Lotospflanzen, von denen einige noch etwas Wasser in ihrer becherförmigen Mittelpartie enthielten. Dieses Wasser schien ins Kochen geraten zu sein, weil ein Blasenstrom aus der Mitte der Blätter aufstieg. Da mich diese Erscheinung in nicht geringem Grade interessierte, so blieb ich stehen, um den Vorgang näher zu beobachten. Anfangs glaubte ich, daß entweder das in dem Becherteil enthaltene Wasser in das Innere der Pflanze ströme und die Innenluft austreibe, oder aber, daß infolge der Temperaturerhöhung die Interzellularluft ausgetrieben würde. Hiergegen sprach jedoch die lange Dauer der Gasausscheidung. Auch an assimilatorische Tätigkeit mußte ich denken. Wie immer die Beschaffenheit der ausgeschiedenen Gase auch sei, die Tatsache, daß eine so große Menge von Gasen aus den intakten Teilen austreten könne und deutlich wahrzunehmen sei, erschien mir bemerkenswert, so daß ich beschloß, den Vorgang näher zu prüfen.

Am nächsten Tage, 1 Uhr nachmittags, besuchte ich denselben Ort mit Dr. Kamiya, durch dessen gütige Hilfe ich imstande war, eine bedeutende Menge der Gase zu sammeln. In dieser Zeit war die Sonnenbestrahlung sehr stark (Luft-

temperatur 30<sup>0</sup> C.). Die Blattspreite war überall ganz trocken, so daß man nichts von der Ausscheidung der Gase bemerken konnte. Brachte man jedoch etwas Wasser auf die becherförmige Mittelpartie der Spreite, so wurde die im Stillen vor sich gehende Gasausscheidung sofort deutlich sichtbar. Es stiegen nämlich sehr bald Ströme von Blasen auf, und zwar manchmal so stark, daß durch die anprallenden Blasen das Wasser herausgespritzt wurde. Wir brachten ein mit Wasser gefülltes Gefäß umgekehrt über die Stelle, wo die Blasen hervorquollen, und konnten eine ansehnliche Menge der Gase auffangen. Von der Lebhaftigkeit der Ausscheidung wird man sich einen Begriff machen können, wenn ich erwähne, daß ein gewöhnliches Reagensglas im Laufe einiger Sekunden mit Gasen gefüllt wurde. In einem Falle — der jedoch keineswegs eine Ausnahme bildete — konnten wir aus ein und derselben Blattspreite von 68—73 cm Durchmesser binnen 25 Minuten ca. 1 l Gas auffangen<sup>1</sup>.

Seitdem habe ich denselben Ort zu wiederholten Malen und zu verschiedenen Tageszeiten besucht. Abends, wenn die Sonne nicht mehr auf die Blätter fiel, konnte ich gewöhnlich keine Ausscheidung mehr konstatieren.

Im Laufe des vorigen Sommers habe ich dann an verschiedenen Orten dieselbe Erscheinung beobachtet, aber eingehend konnte ich erst in diesem Sommer den Vorgang verfolgen und über seine Abhängigkeit von äußeren Verhältnissen usw. Experimente unter kontrollierbaren Bedingungen im Laboratorium anstellen.

Die Erscheinung findet nicht nur bei intakten Pflanzen statt, sondern auch ebenso stark bei abgeschnittenen Blättern. Wenn man nämlich ein Blatt nebst einem Teile des Blattstieles abschneidet und das freie Ende des letzteren tief in Wasser taucht, so kann man leicht die Gasausscheidung konstatieren, wenn man etwas Wasser in den Becherteil der Spreite bringt. Näheres hierüber findet sich bei der Beschreibung der einzelnen Versuche.

<sup>1</sup>) Die Blattspreite besaß 22 aus der Mittelscheibe ausstrahlende Rippen. (Als Mittelscheibe bezeichne ich die runde im Zentrum der Blattoberseite befindliche Partie, deren Durchmesser ca. 2,5 cm betrug.) Die Länge des Blattstieles über der Wasseroberfläche betrug 76 cm, die Dicke 1,6—1,8 cm. Die Wassertiefe war 9,5 cm.

Diese merkwürdige Erscheinung selbst ist allerdings bereits hin und wieder beobachtet worden. In Pfeffers Pflanzenphysiologie (1, 186—187) findet sich folgende Erwähnung, bei welcher es sich offenbar um denselben Vorgang handelt: — »Abgesehen von den inkonstanten Gasbewegungen, die durch Beugungen, Temperaturschwankungen usw. hervorgerufen werden, vermögen offenbar verschiedene äußere Konstellationen bestimmte gerichtete Gasströme durch die Pflanze da zu erzielen, wo geringere Druckdifferenzen zur Erzeugung genügen. Derartige Gasströme können nach Raffenau-Delille (Ann. sc. nat. Bot. 1841. 2. sér. 16, 328) bei *Nelumbium speciosum* an hellen Tagen so lebhaft werden, daß die aus den Spaltöffnungen hervortretende Luft die auf der Blattfläche herumperlenden Wassertropfen hin- und herwirft. Nach Merget (Compt. rend. 1873. 77, 1469; 1874. 78, 884) soll sich in einem Blatt von *Nelumbium*, dessen Lamina durch die Annäherung eines heißen Körpers erwärmt wird, ein Luftstrom von der Blattfläche nach dem Innern bewegen, der auch im toten Blatte zustande kommt und einen Wasserdruck bis zu 1—3 cm überwindet. Ein so geringer Druckunterschied reicht aber bei *Nelumbium* oder *Nymphaea* schon aus, um durch die Pflanze eine Luftströmung zu unterhalten, die durch das Rhizom ihren Weg von dem einen Blatte zu dem anderen Blatte nimmt (Berthélemy. Ann. sc. nat. Bot. 1874. 5. sér. 19, 152. Vgl. auch Lechartier. Ebenda. 1867. 5. sér. 8, 364).

In kausaler Hinsicht sind derartige Gasströme noch nicht aufgeheilt, und so muß es unentschieden bleiben, ob und inwieweit das nötige Energiepotential allein durch eine Temperaturdifferenz oder durch die mit der Transpiration verknüpften Vorgänge oder durch andere Ursachen und Kombinationen unterhalten wird.«

Bei Goebel findet sich folgende Angabe<sup>1</sup>: »An einem trüben Herbsttage wurden Blattstiele von *Nymphaea rubra* und *N. stellata* unter Quecksilber abgeschnitten (nahe der Wasseroberfläche) und so, daß die Blattstiele möglichst aufrecht gehalten wurden. Es ergab sich, daß die feineren Interzellularräume bei allen untersuchten Blättern mit Quecksilber injiziert

<sup>1</sup>) Goebel, Pflanzenbiologische Schilderungen. 1893. II. Teil. S. 251—252.

wurden, selbst bei 60 cm langen Stücken ließen sich die Quecksilberfäden bis an die Blattspreite hin verfolgen. Der negative Druck kann hier also kein unbeträchtlicher sein. Ebenso ergab sich ein solcher bei den Blattstielen von *Nelumbium speciosum* und *Caladium colocasaefolium* (Topfpflanze, nicht im Wasser stehend). Bei Wasserpflanzen mit Diaphragmen, wie z. B. *Hippuris*, fand die Injektion nur bis zum ersten Diaphragma über der Schnittfläche statt.

Es herrschte unter Umständen, wo die Assimilation nur sehr geringfügig sein konnte, die Atmung aber fort dauerte (die Wasserwärme in dem Nymphaeenbassin betrug  $25^{\circ}$ ), also eine beträchtliche Verdünnung der Luft in den Interzellularräumen. Ist die Assimilation günstig, so wird das Gegenteil eintreten<sup>1</sup>. Bleiben wir zunächst bei Nymphaeen, weil sie ein auffallendes und leicht zu beobachtendes Beispiel darbieten. Sachs (nach freundlicher brieflicher Mitteilung) hat an denselben schon vor längerer Zeit beobachtet, daß, wenn von besonnten Pflanzen Blattstiele tief unter Wasser abgeschnitten und die Schnittfläche bis auf 3—5 cm unter die Wasseroberfläche gehoben wurde, jedesmal ein lebhafter Blasenstrom hervorkam<sup>1</sup>. Wenn also ein Nymphaeablatt assimiliert, so tritt ein Teil des abgeschiedenen Sauerstoffs in die Interzellularräume des Blattes ein, gelangt durch dieselben sehr rasch in die Interzellularräume des Rhizoms und der Wurzeln, was nicht der Fall sein würde, wenn der Druck in den Interzellularräumen des Blattes rasch sich mit dem Atmosphärendruck ausgleichen würde. Hört die Assimilation auf, oder nimmt sie doch sehr ab, während die Atmung weiter geht, so wird der in der inneren Atmosphäre (den Interzellularräumen) vorhandene Sauerstoff zum großen Teil aufgebraucht werden, während die bei der Atmung gebildete Kohlensäure leicht von den Zellen absorbiert wird. Dadurch kommt der negative Druck zustande. Denken wir uns, der Blattstiel der Nymphaeen sei eine einfache, von einer Zellschicht umkleidete Röhre, so werden die Zellen derselben so lange Kohlensäure absorbieren, bis der Zelleninhalt einerseits, das umgebende Wasser andererseits mit Kohlensäure gesättigt ist. Der Absorptionskoeffizient der Kohlensäure aber

<sup>1</sup>) Von mir gesperrt.

ist ein viel größerer als der des Sauerstoffs (bei 8,4° C für CO<sub>2</sub> 1,24 bei annähernd derselben Temp. 8,3°, 0,04 für O nach Bunsen).« —

Der positive Druck, welcher bei Nelumbium beobachtet wurde, ist wahrscheinlich derselbe, mit dem wir uns hier beschäftigen. Seine Ursache ist in der eben zitierten Abhandlung der Assimilation zugeschrieben.

Im folgenden teile ich die Resultate der Versuche mit, die ich angestellt habe, um die Ursachen der fraglichen Erscheinung zu prüfen.

Bei meinen Versuchen waren die Versuchsobjekte entweder die gewöhnliche Form von *Nelumbo nucifera* oder eine Zwergform<sup>1</sup> derselben Art (hier gewöhnlich unter dem Namen Chawanbasu bekannt). Der Vorzug der letzteren für die Versuche ist der, daß sie kleinere Dimensionen besitzen, wodurch sich verschiedene Versuche erheblich bequemer gestalten. Die Gasausscheidung ist im Prinzip bei beiden Formen gleich.

### Versuche mit abgeschnittenen Blättern.

Die Blätter von *Nelumbo* wurden nebst einem Teil des Blattstieles abgeschnitten und mit dem freien Ende tief in Wasser getaucht. Die Gasausscheidung in Blasenform aus der Mittelscheibe läßt sich dann leicht konstatieren, indem man einige ccm Wasser in den becherförmigen Teil der Blattspreite bringt. Wenn man das Blatt hochhebt, bis das freie Ende des Stieles etwa 1—3 cm unter der Wasseroberfläche liegt, so geht die Blasenentwicklung auch aus dem abgeschnittenen Ende vor sich. Die Ausströmung aus der Mittelscheibe nimmt dann natürlich ab oder hört auch ganz auf. Anstatt den Blattstiel unter Wasser zu tauchen, kann man auch an dem freien Ende die Luftgänge mit Paraffin verstopfen und dadurch die Ausscheidung nur aus der Mittelscheibe erzielen. Bringt man etwas Seifenwasser auf die Schnittfläche des Blattstieles, so kann man direkt die Blasenbildung beobachten.

<sup>1</sup>) Meine Messungen an mehreren für die Versuche benutzten Exemplaren dieser Form ergaben folgendes: Durchmesser 11—16 cm (im Durchschnitt 14,5 cm), Blattstiellänge 15—22 cm, Dicke des Stieles ca. 4 mm, Durchmesser der Mittelscheibe ca. 6 mm.

Diese Ausscheidung dauert ohne Unterbrechung stundenlang, wenn nicht äußere Einflüsse in irgend einer Weise hindernd einwirken. Die austretenden Gase können nicht nur die ursprünglich in den Interzellularräumen befindlichen sein, da die Menge der ausgeschiedenen Gase das Blattvolumen bei weitem übertrifft<sup>1</sup>. Man kann deshalb ohne weiteres darauf schließen, daß die ausströmenden Gase stets durch einströmende ersetzt werden müssen. Als Wege für das Einströmen gibt es nur die Spaltöffnungen, die sich bei unserer Pflanze lediglich auf der oberen Seite befinden.

### Zusammensetzung der ausgeschiedenen Gase<sup>2</sup>.

Für die richtige Beurteilung des hier in Betracht kommenden Vorganges ist die Bestimmung der Zusammensetzung der ausströmenden Gase von Wichtigkeit. Gasanalysen wurden deshalb zu wiederholten Malen mit aufgefangenen Gasen vorgenommen. Gleichzeitig wurde auch die umgebende Luft analysiert und damit verglichen. Bei den Analysen wurde der Anwesenheit von Kohlensäure und Sauerstoff Rechnung getragen. Zur Bestimmung der Kohlensäure wurde eine einfache Absorptionspipette (wie bei Hempel, Gasanalytische Methoden, 3. Aufl., S. 37 abgebildet) benutzt. Als Absorptionsflüssigkeit diente eine Kalihydratlösung (1 Gewichtsteil Ätzkali auf 2 Gewichtsteile Wasser). Für Sauerstoff wurde eine zusammengesetzte Absorptionspipette (Hempel, l. c. S. 40, Fig. 30) mit einer Lösung von pyrogallussaurem Kali benutzt (5 g Pyrogallussäure, gelöst in 15 ccm Wasser, und 120 g Ätzkali, gelöst in 80 ccm Wasser, mit einander gemischt). Die Absorptionspipetten standen mit einer Gasbürette in Verbindung. Vor und nach der Absorption wurde das Gasvolumen gemessen. Auf die Handhabung der

<sup>1</sup>) Bestimmung des Blattvolumens: Ein 100 ccm fassender Meßzylinder wurde mit 80 ccm Wasser gefüllt. Ein abgeschnittenes Blatt von *Nelumbo* (Zwergform, Blattdurchmesser 12,8—15,4 cm, Blattstiel weggeschnitten) wurde ganz darin eingetaucht. Das Niveau im Meßzylinder zeigte nun 87 ccm. Das Volumen der ganzen Lamina war also auf 7 ccm bestimmt. Natürlich muß das Volumen der Interzellularräume entsprechend kleiner sein.

<sup>2</sup>) Über die Zusammensetzung der Interzellularenluft vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie **1**, 187. Dort Literatur.

Apparate und die Ausführungsweise der Analyse wird hier nicht näher eingegangen, sondern auf Hempels vorzügliches Handbuch hingewiesen.

Luftanalysen.

Probe A.	}	CO <sub>2</sub> — Menge unbedeutend und innerhalb der Fehlergrenzen.	
		Ursprüngliches Volumen	51,1 ccm
		Nach der Absorption mit der Lösung des pyrogallusauren Kalis	40,4 ccm
		Sauerstoff	<u>10,7 ccm, also 20,9%</u>
Probe B.	}	CO <sub>2</sub> — Menge unbedeutend und innerhalb der Fehlergrenzen.	
		Ursprüngliches Volumen	52,1 ccm
		Nach der Absorption mit der Lösung des pyrogallusauren Kalis	41,4 ccm
		Sauerstoff	<u>10,7 ccm, also 20,5%</u>

Analysen des ausgeschiedenen Gases.

I. Material: Abgeschnittenes Blatt von *Nelumbo nucifera* (Zwergform). Blattdurchmesser 13,5—14,0 cm.

Die ausströmenden Gase wurden in einer Bürette aufgefangen. Man konnte binnen 17 Minuten 55 ccm Gas auffangen. Davon wurden 45 ccm in den Absorptionsapparat eingeführt.

CO<sub>2</sub> — Menge innerhalb der Fehlergrenzen.

Ursprüngliches Volumen 45,0 ccm

Volumen nach der Absorption mit pyrogallussaurem Kali

35,7 ccm

Differenz: 9,3 ccm (Sauerstoff).

Das Gas enthielt also ca. 20,7% Sauerstoff.

II. 19. Juli 1909. Temp. 36° C.

Material: *Nelumbo nucifera* (gewöhnliche Form) mit Rhizomstück. Blattdurchmesser 29—30 cm.

CO<sub>2</sub> — Menge unbedeutend und innerhalb der Fehlergrenzen.

Ursprüngliches Gasvolumen 40,7 ccm

Volumen nach der Absorption

32,4 ccm

Differenz: 8,3 ccm (Sauerstoff).

Der Sauerstoffgehalt betrug also ca. 20,4<sup>0</sup>/<sub>0</sub> der ausgeschiedenen Gase.

III. 19. Juli 1909. Temp. 36<sup>0</sup> C.

Material: *Nelumbo nucifera* (gewöhnliche Form) mit Rhizomstück und noch 2 anderen Blättern.

Die durch das Rhizom aus dem nächsten Blatte austretenden Gase wurden aufgefangen.

CO<sub>2</sub> — Menge unbedeutend und innerhalb der Fehlergrenzen.

Ursprüngliches Volumen 52,6 ccm

Nach der Absorption mit pyrogallussaurem Kali

42,1 ccm

Differenz:

10,5 ccm (Sauerstoff).

Das Gas enthielt also 19,9<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Sauerstoff.

(Die Sauerstoffmenge ist bei diesem Versuch etwas kleiner als in den anderen Fällen.)

Alle diese Resultate weisen darauf hin, daß die ausströmenden Gase in ihrer Zusammensetzung nicht wesentlich von der umgebenden Luft abweichen. Daraus kann man schließen, daß der Überdruck, welcher in den Interzellularen herrscht, und die dadurch bedingte Ausscheidung nicht mit dem Assimilationsgaswechsel in Zusammenhang stehen. Es könnte auch kaum anders sein, da man sich nicht vorstellen kann, daß ein so bedeutendes Quantum Gas, das doch auch einströmen muß, in so kurzer Zeit bedeutende Veränderungen erfahren würde<sup>1</sup>.

## Abhängigkeit der Ausscheidung von äußeren Einwirkungen.

Zunächst soll die Einwirkung der Sonnenbestrahlung besprochen werden. Unter starker Bestrahlung nämlich geht der Vorgang sehr lebhaft vor sich. Wenn man nun die Blätter beschattet, so nimmt die Blasenströmung stark ab oder hört ganz auf. Nähere Untersuchung lehrt, daß bei der Besonnung das Licht nicht als solches die Ausscheidung veranlaßt, sondern daß die damit zusammenhängende Erwärmung die Einwirkung herbeiführt.

<sup>1</sup>) Über interessante physiologische Beobachtungen, auch über die Assimilation von *Nelumbo*, verweise ich auf K. Miyake, Some physiological Observations on *Nelumbo nucifera* Gaertn. The bot. mag. Tokyo. 12, no. 141 u. 142.

Um die Einwirkung der Wärme zu studieren, wurde folgender Versuch ausgeführt.

Versuch. 21. Juli 1909.

Eine Blechschale von ca. 20 cm Durchmesser und ca. 3 cm Tiefe wurde mit Wasser gefüllt und an einer Stelle mit einer Spiritusflamme erwärmt, so daß das Wasser stets eine Temperatur von ca. 60° C aufwies. Die Außenseite des Gefäßbodens diente als Wärmequelle für den Versuch. Ferner wurde eine Kristallisierschale (6,5 cm tief) mit Wasser gefüllt, auf dessen Oberfläche man ein abgeschnittenes Blatt von *Nelumbo* (Zwergform) schwimmen ließ. (Durchmesser der Spreite 11—12 cm, Blattstiellänge von der Schnitt- bis zur Ansatzstelle 5 cm.)

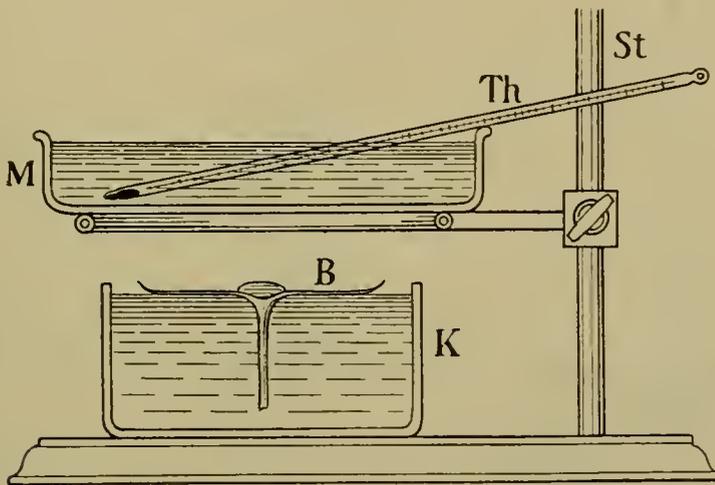


Fig. 1. St Stativ; M Metallschale; Th Thermometer; K Kristallisierschale; B Blatt.

In die Mitte der Blattoberseite wurde ein wenig Wasser getan, um die Blasenentwicklung sofort bemerkbar zu machen. Diese Schale mit dem Blatt wurde eine Zeitlang im Laboratorium unter schwachem Licht aufgestellt. Beim Beginn des Versuches zeigte das Blatt keine Gasausscheidung. Wurde nun aber die Schale unter die vorher beschriebene Vorrichtung gebracht und zwar derart, daß die Blattoberseite gerade der Metallfläche gegenüber in der Entfernung von 3,5 cm zu stehen kam (siehe Fig. 1), so trat augenblicklich starke Blasenströmung ein. Auf den ersten Blick könnte man annehmen, daß die durch die Erwärmung an Volumen zugenommene Interzellularluft in Blasen-

form ausgetreten wäre. Man kann sich jedoch bald davon überzeugen, daß dies nicht der Fall ist, da die Ausströmung von dauernder Natur ist; auch nimmt man wahr, daß das Volumen der ausgeschiedenen Gase bei weitem das Volumen der Interzellularen, ja selbst das des ganzen Blattes, übertrifft<sup>1</sup>. Es kann sich also nicht nur um die in den Interzellularen enthaltene Luft handeln, sondern der Vorgang muß mit stetem Einströmen von Luft verknüpft sein. Ferner ist es auch klar, daß dieses Einströmen notwendigerweise durch die Spaltöffnungen statt-

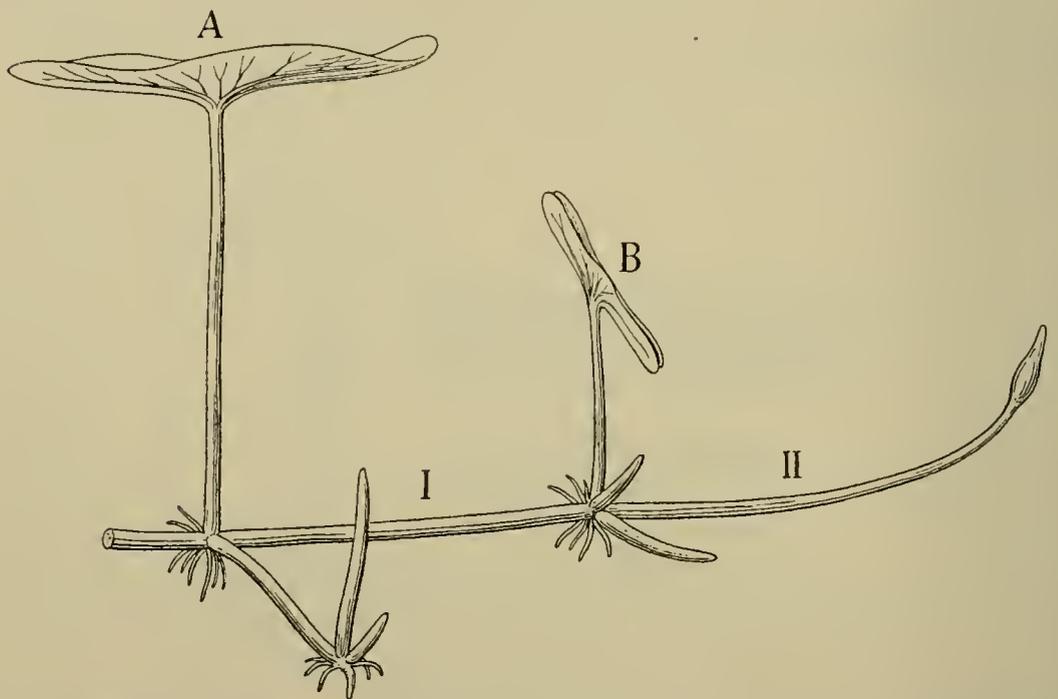


Fig. 2. Blatt A. Durchmesser der Spreite 27—30 cm; Länge des Stieles 30 cm. Blatt B. (Noch nicht entfaltet.) Durchmesser der Spreite 13 cm; Länge des Stieles 15 cm. Internodium I. Länge 26 cm. Internodium II. Länge 32 cm.

finden muß, so daß man daraus schließen kann, daß es sich hier um dieselbe Luftbewegung, wie sie gewöhnlich stattfindet, handelt.

Versuch. 20. Juli 1909<sup>2</sup>.

Ein sehr lehrreicher Versuch wurde mit zwei durch Rhizomstück zusammenhängenden Blättern von *Nelumbo* (gewöhnliche

<sup>1</sup>) Volumen des Blattes siehe oben.

<sup>2</sup>) Herrn Dr. Kanda und Herrn Shiraga möchte ich an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank aussprechen für das rege Interesse und die bereitwillige Unterstützung, die sie meinen Versuchen entgegengebracht haben.

Form) angestellt. Über die Größenverhältnisse der verschiedenen Teile des benutzten Materials vgl. nebenstehende Fig. 2 nebst Erläuterung.

Das Rhizomstück wurde in ein großes Wasserbassin gestellt.

Zeit der Beobachtung	Dauer	Behandlung	Volumen der ausgeschiedenen Gase. Druck 1 Atm.
33 <sup>2</sup> —33 <sup>8</sup> nachm.	6 Min.	Blatt A und B beide in diffusum Licht	50 ccm
33 <sup>8</sup> <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —34 <sup>0</sup> nachm.	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Min.	Blatt A und B beide unter direktem Sonnenlicht	125 ccm
34 <sup>2</sup> —34 <sup>3</sup> <sup>1</sup> / <sub>2</sub> nachm.	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Min.	Blatt A allein belichtet, etwas bewölkt	60 ccm
		Blatt B allein belichtet	fast gar keine Ausscheidung
		Blatt A und B völlig umschlossen	fast gar keine Ausscheidung

Versuch. Herabsetzung der Verdunstung.

Eine Kristallisierschale wurde mit Wasser gefüllt, auf dessen Oberfläche man ein abgeschnittenes Blatt von *Nelumbo* (Zwergform) schwimmen ließ. Auf die Oberseite der Blattspreite wurden einige Tropfen Wasser gegossen, um die Gasausscheidung direkt beobachten zu können. Bei dieser Einrichtung sieht man sofort, besonders unter Sonnenbestrahlung, eine lebhaftige Blasenauströmung aus der Mittelscheibe. Ein Trichter von ca. 500 ccm Inhalt wurde nun umgekehrt in der Weise auf die Blattfläche gebracht, daß er sie ganz bedeckte. Die Gasausscheidung hört sofort auf. Schon entstandene aber noch nicht aufgestiegene Blasen werden kleiner und kleiner und schließlich ganz eingesogen. Wenn man nun den Trichter aufhebt, so daß sein Rand etwa 2—3 cm von der Blattfläche entfernt steht, so tritt der Blasenstrom wieder ein. Dies läßt sich mehrmals wiederholen, wobei der Vorgang stets mit größter Regelmäßigkeit vor sich geht.

Wurde an Stelle des Trichters eine 10 Liter fassende Glasglocke zur Überdeckung benutzt, so dauerte es mehrere Sekunden, bis das Aufsteigen der Blasen sich einstellte.

Aus diesen und ähnlichen Versuchen ist wohl der Schluß berechtigt, daß das Aufhören der Blasenentwicklung mit der Herabsetzung der Verdunstung Hand in Hand geht.

Es ist dies also ein weiterer Beweis dafür, daß die Erscheinung mit dem Wasserdampfgehalt der Umgebung in engstem Zusammenhang stehen muß<sup>1</sup>.

Versuch. Druckmessung.

Ein abgeschnittenes Blatt von *Nelumbo* (Zwergform) wurde mit dem freien Ende des Blattstieles mittels Paraffin luftdicht auf den einen Schenkel einer U-Röhre aufgesetzt. (Vgl. Fig. 3, ca.  $\frac{1}{5}$  natürliche Größe, Länge eines Schenkels 20 cm.) Man kann nun gleich den Überdruck im Blattinnern konstatieren. Eventuell

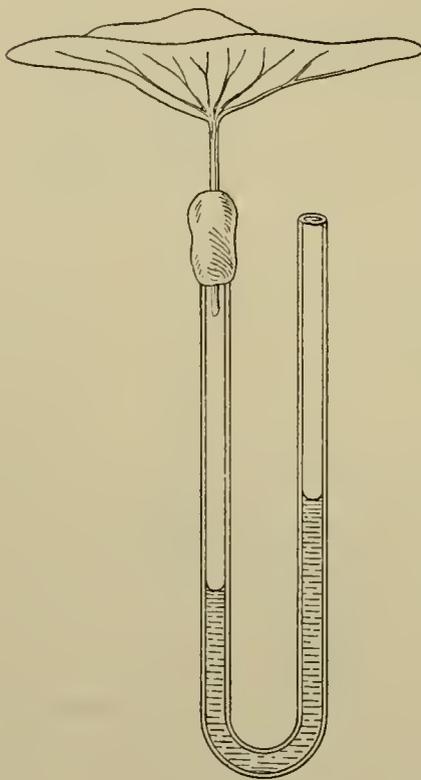


Fig. 3.

kann man auch die Mittelpartie der Blattspreite, wo die Gase ausgeschieden werden, mit Paraffin verschließen. Aber auch ohne diese Maßnahme erreicht der Überdruck fast denselben Wert. Er ist gleich dem Druck einer Wassersäule von mehreren cm Höhe. Erwärmung der Blattspreite vermehrt den Überdruck, ebenso wie Luftbewegung, Wind, Erschütterung, Sonnenbestrahlung und dergl. Wenn man einen Trichter auf das Blatt bringt, so verschwindet die Druckdifferenz fast augenblicklich. Kurz gesagt, alle diejenigen Faktoren, welche die Evaporation beschleunigen, vermehren den Überdruck und umgekehrt. Dieselben Versuche wurden von mir auch mit anderen Pflanzen angestellt, z. B.

*Colocasia antiquorum*, *Zantedeschia aethiopica*, *Nuphar japonica*, eine Druckdifferenz jedoch ließ sich unter sonst gleichen Bedingungen nirgends konstatieren. Möglicherweise kommt dies daher, daß diese

<sup>1</sup>) Über Transpirationsverhältnisse bei *Nelumbo* vgl. K. Miyake l. c. Ich habe auch Kobaltproben ausgeführt und gesehen, daß das Rotwerden des Papiers bei intakten Blättern nach 15—20 Sekunden, bei geschnittenen Blättern anfangs nach 20—30 Sekunden, nachher (also im verwelkten Zustande) erst nach 55—60 Sekunden eintritt. Die Spaltöffnungen sind nie ganz verschlossen, sogar bei stark verwelkten Blättern.

Pflanzen zu enge Interzellulargänge besitzen, so daß die innere Reibung zu groß ist.

Versuch. 8. August 1909.

Um die Einwirkung der Temperatur auf den fraglichen Vorgang zu ermitteln, wurde folgender Versuch angestellt:

Ein großer Holzkasten (Innenmaße: Tiefe 60 cm, Höhe 65 cm, Breite 90 cm) mit 2 Flügeltüren wurde innen mit 2 Spiritusflammen erwärmt. Obwohl durch diese primitive Einrichtung die Abhaltung des Luftzuges und eine genaue Konstant-erhaltung der Temperatur kaum zu erzielen war, konnte man doch Luftschichten von 40<sup>0</sup>, 39<sup>0</sup> usw. bis 30<sup>0</sup> C., von oben nach unten gemessen, herstellen, in welche der vorher beschriebene U-Röhren-Druckmesser mit dem Blatte gebracht und der jeweilige Druckwert bestimmt wurde.

Material: Abgeschnittenes *Nelumbo*-Blatt (Zwergform). Blattdurchmesser 12,5—14,5 cm. Blattstiellänge 4,5 cm.

Zeit der Beobachtung	Behandlung	Druck in mm (Wassersäule)
8 <sup>40</sup> —9 <sup>0</sup> vorm.	In gewöhnlichem ruhig gestellt Zimmer. 29 <sup>0</sup> C. (Luftzug)	12 30
9 <sup>0</sup> vorm.	Im Kasten bei 32 <sup>0</sup> C.	15
9 <sup>10</sup> „	„ „ „ 40 <sup>0</sup> C.	40
9 <sup>12</sup> „	„ „ wieder bei 32 <sup>0</sup> C.	14
9 <sup>16</sup> „	„ „ bei 37 <sup>0</sup> C.	30
9 <sup>15</sup> „	„ „ „ 40 <sup>0</sup> C. <sup>1</sup>	40
9 <sup>16</sup> „	„ „ „ 37 <sup>0</sup> C.	30
9 <sup>17</sup> „	„ „ „ 30 <sup>0</sup> C.	12

Versuch. Effekt der Abkühlung des Blattes und dessen Umgebung.

Eine sehr merkwürdige Erscheinung beobachtet man, wenn man eine Kältequelle der Blattfläche nähert. Ich verfuhr dabei folgendermaßen: Ein großes Becherglas wurde mit Eisstückchen und Wasser gefüllt<sup>2</sup> und mit dem Boden in verschiedenen Abständen von einer Blattspreite gehalten (Durchmesser 9,5—10,5 cm, Stiellänge 4,5 cm).

<sup>1</sup>) Etwas verwelkt.

<sup>2</sup>) Das Thermometer zeigte in einem Abstände von 1 cm vom Boden des Glases entfernt quer gehalten nach 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Minute eine Temperatur von 24<sup>0</sup> C. (bei 31<sup>0</sup> C. Zimmertemperatur).

Zeit der Beobachtung	Behandlung	Druck in mm (Wassersäule)
10 <sup>15</sup> —10 <sup>30</sup> vorm. 10 <sup>30</sup> „	Im Zimmer bei 31° C. ruhig gestellt Becherglas mit Eiswasser genähert	16—18 30 (ohne vorherige Volumen- kontraktion. Vgl. Ätherversuch)

Dieser Versuch ließ sich beliebig oft, regelmäßig mit demselben Erfolge wiederholen.

#### Versuch mit Äther.

Ein sehr interessanter Versuch läßt sich ausführen, wenn man bei der in Fig. 3 abgebildeten U-Röhren-Einrichtung einige Tropfen Äther auf die Oberseite der Blattspreite gießt. Es entsteht dann sofort ein starker negativer Druck, dem ebenso plötzlich ein starker positiver Druck folgt. Der Wechsel des Druckes geht in wenigen Sekunden vor sich.

Versuch. 7. August 1909.

Material: Abgeschnittenes Nelumbo-Blatt (Zwergform). Durchmesser 12,5—14,5 cm. Stiellänge 7,5 cm. U-Röhren-Einrichtung.

Zeit und Dauer der Beobachtung	Behandlung	Druck in mm (Wassersäule)	Temperatur
7 <sup>55</sup> —8 <sup>0</sup> vorm. 8 <sup>0</sup> (für einige Sekunden)	Ruhig gestellt Mittelst Fächer Luftzug erzeugt	8—12 <b>30!</b>	30° C.
8 <sup>0</sup> —8 <sup>5</sup> 8 <sup>5</sup> (für einige Sekunden)	Ruhig gestellt Luftzug erzeugt	16—17 <b>35!</b>	
8 <sup>5</sup> —8 <sup>10</sup> 8 <sup>10</sup> (für einige Sekunden)	Ruhig gestellt Luftzug erzeugt	16—17 <b>37!</b>	30° C.
8 <sup>10</sup> —8 <sup>20</sup> 8 <sup>20</sup> —8 <sup>22</sup>	Ruhig gestellt Die Mittelscheibe mit Paraffin bedeckt und dann ruhig gestellt	17 20	
8 <sup>22</sup> (für einige Sekunden)	Luftzug	<b>40!</b>	
8 <sup>22</sup> —8 <sup>25</sup> 8 <sup>25</sup> (für 10 Sekunden)	Ruhig gestellt Eine Glasglocke darüber gebracht <sup>1</sup>	20—22 14	
8 <sup>25</sup> —8 <sup>27</sup> 8 <sup>27</sup> (für 10 Sekunden)	Ruhig gestellt Unter Glasglocke gebracht	19—20 13	30° C. 29° C.
8 <sup>27</sup> —8 <sup>30</sup> 8 <sup>30</sup> (für einige Sekunden)	Ruhig gestellt Unter Glasglocke	19—20 6	
8 <sup>30</sup> —8 <sup>35</sup> 8 <sup>35</sup> (für einige Sekunden)	Ruhig gestellt Unter Glasglocke	20 4	
8 <sup>35</sup> —8 <sup>40</sup> 8 <sup>40</sup> —8 <sup>45</sup> 8 <sup>45</sup> (für einige Sekunden)	Ruhig gestellt In Dunkelkammer ruhig gestellt Luftzug in Dunkelkammer	20 17—18 38—40	

<sup>1</sup>) Die Glocke hatte etwa 10 Liter Inhalt und war innen mit feuchtem Fließpapier belegt.

Zeit und Dauer der Beobachtung	Behandlung	Druck in mm (Wassersäule)	Temperatur
8 <sup>45</sup> —8 <sup>50</sup> vorm.	Ruhig in Dunkelkammer gestellt	17—18	30 <sup>0</sup> C. In Schatten 34,5 <sup>0</sup> C. 30 <sup>0</sup> C. In Schatten 34,5 <sup>0</sup> C. 30 <sup>0</sup> C.
8 <sup>50</sup> —8 <sup>52</sup>	Ruhig im gewöhnlichen Laboratorium	20	
8 <sup>52</sup>	Im Freien unter direktem Sonnenlicht <sup>1</sup>	<b>100!</b>	
8 <sup>53</sup>	Bewölkt	70—80	
8 <sup>55</sup> —9 <sup>15</sup>	Im Zimmer ruhig gestellt <sup>2</sup>	19—20	
9 <sup>15</sup>	Unter direktem Sonnenlicht im Freien	<b>108!</b>	
9 <sup>17</sup> —9 <sup>20</sup>	Mit Papierstück beschattet	45	
9 <sup>20</sup> —9 <sup>22</sup>	Im Zimmer <sup>3</sup>	12	
9 <sup>22</sup> (für einige Sekunden)	Luftzug	30	
9 <sup>22</sup> —9 <sup>25</sup>	Im Zimmer	10	
9 <sup>25</sup> (für einige Sekunden)	Unter Glocke	0	
9 <sup>25</sup> —9 <sup>30</sup>	Im Zimmer	10	

Um 10<sup>0</sup> vorm. war die Druckdifferenz fast ausgeglichen. Aber auch in diesem Zustande ließ sich noch durch Luftzug ein Überdruck von 5—6 mm erzielen.

Versuch. 16. August 1909.

Material: Abgeschnittenes Nelumbo-Blatt (gewöhnliche Form). Durchmesser 30,6—39,2 cm. Stiellänge 12,5 cm. U-Röhren-Einrichtung.

Zeit und Dauer der Beobachtung	Behandlung (Die Mittelscheibe mit Paraffin verstopft)	Druck in mm (Wassersäule)	Temperatur
9 <sup>10</sup> —9 <sup>15</sup> vorm.	Ruhig gestellt	19	30 <sup>0</sup> C.
9 <sup>15</sup> (für einige Sekunden)	Luftzug	38	
9 <sup>15</sup> —9 <sup>20</sup>	Ruhig gestellt	19	
9 <sup>20</sup> (für einige Sekunden)	Luftzug	41	
9 <sup>20</sup> —9 <sup>25</sup>	Ruhig gestellt	19	
9 <sup>25</sup> (für einige Sekunden)	Mit Papier bedeckt	13	
9 <sup>25</sup> —9 <sup>35</sup>	Ruhig gestellt	19—22	
9 <sup>35</sup> (für einige Sekunden)	Mit Papier bedeckt	17	
9 <sup>35</sup> —9 <sup>45</sup>	Ruhig gestellt	19	
9 <sup>45</sup> (für einige Sekunden)	Unter direktem Sonnenlicht	79	
9 <sup>45</sup> —9 <sup>47</sup>	Beschattet	38	In Schatten 32 <sup>0</sup> C.
9 <sup>47</sup> —9 <sup>55</sup>	Ruhig im Zimmer	19	
9 <sup>55</sup> —10 <sup>35</sup>	Nicht beobachtet		
10 <sup>35</sup>		19	
10 <sup>35</sup> (für einige Sekunden)	Luftzug	47	31 <sup>0</sup> C.
10 <sup>35</sup>	Ruhig gestellt	19	

Gegen Ende des Versuches ziemlich starke Verwelkung!

1) Kombinationserfolge von Wärme und Luftbewegung!

2) Ziemlich verwelkt.

3) Verwelkung stärker.

Versuch. 14. August 1909.

Material: Abgeschnittenes Nelumbo-Blatt (Zwergform). Durchmesser 8,0—9,5 cm. Stiellänge 4,0 cm. U-Röhren-Einrichtung.

Zeit und Dauer der Beobachtung	Behandlung <sup>1</sup>	Druck in mm (Wassersäule)	Temperatur
10 <sup>15</sup> vorm.		12	32° C.
10 <sup>30</sup>	Mittelscheibe mit Paraffin belegt	16	
10 <sup>35</sup> (für einige Sekunden)	Luftzug	40	
10 <sup>35</sup>	Ruhig gestellt	16	
10 <sup>37</sup>	 Luftzug	45	
10 <sup>37</sup>	 Ruhig gestellt	20	32° C.
10 <sup>38</sup>	 Ruhig gestellt	20	
10 <sup>39</sup> (für einige Sekunden)	 Luftzug	45	
10 <sup>39</sup>	 Ruhig gestellt	22	
10 <sup>40</sup> (für einige Sekunden)	 Luftzug	45	
10 <sup>45</sup>	 Ruhig gestellt	23	32° C.
10 <sup>47</sup> (für einige Sekunden)	 Luftzug	45 langsam abnehmend!	
10 <sup>55</sup>	 Ruhig gestellt	27	
11 <sup>0</sup> (für einige Sekunden)	 Unter Glocke in feuchter Luft	10	
11 <sup>5</sup>	 Ohne Glocke	25	
11 <sup>7</sup>	 Gegen Luftzug und Dampfsättigung unempfindlich!	27 (konstant)	32° C.

### Druckverhältnisse in den Interzellularen.

Bekanntlich bildet bei submersen Gewächsen die Interzellularluft ein abgeschlossenes System. Die Gase können bei solchen Pflanzen nur auf osmotischem Wege ein- bzw. austreten, um den Gleichgewichtszustand herbeizuführen. Bei Landpflanzen jedoch und denjenigen Wasserpflanzen, welche in die Luft hervortretende Teile besitzen, steht die Interzellularluft in direkter Verbindung mit der Außenluft, da die mikroskopischen Mündungen im Hauptsystem — Spaltöffnungen und Lentizellen —

<sup>1</sup>) Der Kreis stellt die Blattfläche dar, die schattierte Partie zeigt die mit Vaseline bestrichene Fläche.

die offenen Verbindungswege bilden. Wenn eine Änderung in den Druckverhältnissen stattfindet, sei es durch die Innen-, sei es durch die Außenluft oder auch beiderseits, so gleicht sich die dadurch bedingte Störung schneller oder langsamer aus<sup>1</sup>. Bei diesem Ausgleich findet eine Massenbewegung der Gase statt, gemäß der physikalischen Gesetze der Diffusion, Effusion usw., indem die Epidermis mit Spaltöffnungen und Lentizellen eine poröse Platte und die kleineren Interzellulargänge ein Kapillarsystem darstellen.

Die Druckdifferenz zwischen Außen- und Innenluft kann nun von einer Reihe von Ursachen, sowohl physikalischer wie physiologischer Natur, herrühren. So kann außer Temperaturänderung auch Änderung des Barometerstandes usw. sowie überhaupt jeder Stoffwechsel, der mit Produktion oder Verbrauch von Gasen verknüpft ist, eine Gleichgewichtsstörung zwischen Außen- und Innenluft herbeiführen. Ist die Ursache der Gleichgewichtsstörung eine vorübergehende, so kann die Wiederherstellung des Gleichgewichts schnell eintreten. Wenn jedoch die Ursache fort dauert, so entsteht ein dauernder positiver oder negativer Druck in den Interzellularen. So kann z. B. die Kohlensäure-assimilation die Erzeugung einer positiven Spannung der Innenluft hervorrufen. Dies ist bei submersen Pflanzen sehr deutlich bemerkbar. Wird in den Stengel einer beleuchteten Wasserpflanze ein Einschnitt gemacht, so werden aus der Schnittfläche Gasblasen austreten. Dies Gas ist sehr sauerstoffreich. Die Strömung der Blasen dauert solange, wie die Pflanze beleuchtet ist. Dies führt zu der bekannten Methode der Blasen zählung. Wenn durch die Entziehung des Lichtes die Produktion von Sauerstoff aufhört, so kommt im Dunkeln, sofern keine störenden Umstände eingreifen, ein negativer Druck zustande, der aber meist nur einen geringen Wert erreicht. Der von Goebel beschriebene negative Druck, der an trüben Tagen bei verschiedenen Wasserpflanzen beobachtet wurde, ist wohl — wie er auch andeutet — auf die Atmung zurückzuführen. (Vgl. vorher.)

<sup>1</sup>) Es dürfte wohl kaum nötig sein zu bemerken, daß die Gefäßluft ein besonderes, nicht direkt mit den Interzellularen zusammenhängendes System bildet. Dementsprechend ist es nicht wunderbar, wenn z. B. bei starker Transpiration ein negativer Druck im Gefäße entsteht, während in den Interzellularen ein positiver Druck herrscht.

Kehren wir nun zu unserer Erscheinung zurück, so handelt es sich hier um einen dauernden positiven Druck in den Interzellularen. Dieser Druck jedoch kann nicht auf die Assimilation usw. zurückgeführt werden, wie Sachs zu glauben scheint (vgl. vorher), denn unsere Versuche haben gezeigt, daß der Vorgang unter Umständen sogar noch im Dunkeln vor sich geht. Außerdem haben auch die ausgeführten Gasanalysen gezeigt, daß die ausströmenden Gase im wesentlichen keinen besonderen Sauerstoffreichtum aufweisen. In unserem Falle müssen also andere Ursachen vorliegen. Zunächst wären wohl einige Ursachen physikalischer Natur denkbar, durch die eine merkliche Gasströmung zustande kommen könnte. Man vergleiche hierüber Pfeffer: Pflanzenphysiologie. 1, 186. Denkbar wäre z. B. »Thermoeffusion«. Hierunter versteht man eine Erscheinung, die zuerst von Dufour entdeckt und von Fedderson genauer untersucht worden ist. Sie beruht darauf, daß ein Gasstrom von der wärmeren nach der kälteren Seite einer Scheidewand geht.

Besonders beachtenswert ist die Erscheinung, daß »sich ein merklicher und mit der Temperatur zunehmender Druck in einer geschlossenen Tonzelle oder Tierblase ausbildet, wenn die eingeschlossene, aber nicht die umgebende Luft dampfgesättigt ist (vgl. die Erklärung dieses Phänomens bei Kundt. Ann. d. Physik u. Chemie. 1877. N. F. 2, 17)«<sup>1</sup>. Alle Versuche, welche angestellt wurden, um die Einwirkung verschiedener äußerer Faktoren auf den Vorgang zu studieren, deuteten — wie erwähnt — darauf hin, daß der Druck gegen den Feuchtigkeitsgehalt der Außenluft sehr empfindlich ist. Deshalb liegt die Annahme nahe, daß der Wasserdampf eine wichtige Rolle dabei spielen dürfte. Im folgenden gehe ich näher auf diese Verhältnisse ein.

Die stark entwickelten Interzellularen des Blattes sind nach außen hin durch die obere Epidermis mit ihren zahlreichen Spaltöffnungen abgeschlossen. Bei dem Gaswechsel, der zwischen der Außenluft und dem Innern des Blattes stattfindet, haben wir es also mit dem Vorgang der Gasdiffusion durch poröse Membranen zu tun, wobei hauptsächlich Luft und Wasserdampf in Betracht kommen.

<sup>1</sup>) Pfeffer l. c. S. 186.

Bezeichnet man den Druck der Luft außen mit  $L$  und die Spannung des Wasserdampfes in der Außenluft mit  $W$ , so wird der Gesamtdruck außen  $D_a = L + W$  sein. Bezeichnet man ferner die entsprechenden Größen im Blattinnern mit  $L'$  bzw.  $W'$ , so ist der Gesamtdruck innen  $D_i = L' + W'$ . Die ungleiche Dichte der Luft und des Wasserdampfes zwischen außen und innen muß zur Diffusion der beiden führen. Beim Vorgang der Diffusion nun breitet sich bekanntlich jedes Gas (oder jeder Dampf) so aus, als ob der andere Teil garnicht vorhanden, oder — mit anderen Worten gesagt — als ob ein leerer Raum da wäre. So muß man also Luft und Wasserdampf jeden für sich getrennt behandeln. Betrachten wir zunächst die Luft. Hier muß der Diffusionsvorgang so lange vor sich gehen, bis  $L' = L$  wird; erst dann ist die gleichmäßige Verteilung der Luft hergestellt. Dies ist sehr bald geschehen. Für den Wasserdampf aber liegen die Verhältnisse erheblich anders. Während die Innenluft dampfgesättigt ist, enthält die Außenluft viel weniger Wasserdampf. Daher ist  $W' > W$ . Der Wasserdampf also diffundiert nach außen, und da der hinausdiffundierte Dampf unbegrenzt weiter diffundiert, so bleibt der Wasserdampfgehalt der Außenluft praktisch derselbe, also stets  $= W$ . Innen wird der ausströmende Dampf dauernd durch den Wasserdampf ersetzt, der von denjenigen Zellen abgegeben wird, welche die Interzellularen umgeben. So bleiben — trotz des starken Wasserverlustes — die Interzellularräume, solange die umgrenzenden Mesophyllzellen genug Wasser enthalten, immer dampfgesättigt und behalten daher stets den Druck  $W'$ . Wir haben also außen den Druck  $D_a = L + W$ , und innen  $D_i = L + W'$ . Daher muß im Innern des Blattes ein dauernder Überdruck  $W' - W$  herrschen.

Je kleiner  $W$  ist, desto größer ist der Überdruck. Wird  $W = 0$ , d. h., ist die Außenluft ganz trocken, so ist der Überdruck am größten. Da Luftzug, Erschütterung usw. die feuchte Luftschicht in der Nähe der Blattfläche fortschaffen, so ist es ganz erklärlich, daß durch solche Vorgänge der Innendruck erhöht wird. Nimmt andererseits  $W$  zu, so wird der Überdruck abnehmen, und wenn  $W = W'$  wird, d. h. die umgebende Luft auch dampfgesättigt ist, ganz verschwinden, eine Tatsache, die sich auch bei den ausgeführten Versuchen deutlich zeigte.

Bei vorhandenem Überdruck bestehen verhältnismäßig größere Gänge zwischen dem Äußern und Innern des Blattes, so daß eine Massenbewegung von feuchter Luft durch diese nach außen hin stattfinden muß. Der dadurch bedingte verminderte Druck wird aber bald durch die durch die Spaltöffnungen einströmende Luft ausgeglichen, so daß der vorhandene Überdruck stets erhalten bleiben wird.

Übrigens ist auch klar, daß durch Sonnenbestrahlung und Erwärmung der Überdruck erheblich gesteigert wird, da die Wasserdampfspannung ja mit der Temperatur wächst.

Zum Schluß sei noch bemerkt, daß die Erscheinung — wie leicht ersichtlich — von großer Bedeutung für die Luftbewegung in den Interzellularen sein dürfte. Wie die Versuche mit zusammenhängenden Blättern gezeigt haben, können in verhältnismäßig kurzer Zeit bedeutende Gasmengen durch die Gänge der Rhizome durchgehen, wodurch die Stagnation der inneren Luft verhindert, und — infolge der Massenbewegung — die durch die Atmung sauerstoffarm gewordene Luft schnell beseitigt wird. Ist dieser Vorgang selbst auch physikalischer Natur, so ist er doch in physiologischer Beziehung von größter Bedeutung, zumal im Dienste einer Pflanze wie *Nelumbo*, bei der so ausgiebige Luftgänge vorhanden sind. Man darf wohl behaupten, daß die so gut entwickelten Rhizomgänge durch solche Massenbewegung erst ihre volle Bedeutung als Durchlüftungssystem erhalten, da sonst — durch Diffusion allein — die Erneuerung der Innenluft sehr lange Zeit in Anspruch nehmen und nur äußerst langsam vor sich gehen würde. Beiläufig sei noch bemerkt, daß auch die Luftmenge, die durch *Nelumbo*-Pflanzen diffundiert, recht bedeutend sein dürfte.

---

## Zusammenfassung.

1. Es entsteht unter Umständen ein dauernder Überdruck in den Interzellularen von *Nelumbo nucifera* Gaertn.

2. Solchen Überdruck konnte ich bei einigen anderen Pflanzen wie z. B. *Nuphar japonicum* DC., *Colocasia antiquorum* Schott., *Zantedeschia aethiopica* Spr. usw. nicht konstatieren.

3. Dieser Überdruck im Innern ruft eine dauernde Ausscheidung von Gasen an den am wenigsten widerstandsfähigen Stellen hervor, bei intakten Pflanzen aus der Mittelscheibe der Blattfläche und deren Umgebung, wo größere Poren vorhanden sind. Schneidet man den Blattstiel ab, so strömen die Gase aus der Schnittfläche aus.

4. Die ausgeschiedenen Gase finden ihren Ersatz in der Luft, die durch die Spaltöffnungen einströmt; der Überdruck bleibt stets erhalten.

5. Die Menge des in einem bestimmten Zeitintervall abgegebenen Wasserdampfes ist viel größer als diejenige der in derselben Zeit ausgetretenen Luft.

6. Der fragliche Druck steht nicht mit dem assimilatorischen Gaswechsel in Zusammenhang. Dafür spricht erstens das Vorhandensein des Druckes unter Umständen auch im Dunkeln, und zweitens die Zusammensetzung der ausgeschiedenen Gase, die von derjenigen der Außenluft nicht wesentlich abweicht.

7. Der Druck wird durch Besonnung, Erwärmung, Luftzug, Erschütterung u. dergl. verstärkt.

8. Dunkelheit und vermehrte Feuchtigkeit der umgebenden Luft erniedrigen den Druck. In dampfgesättigter Luft verschwindet er gänzlich.

9. Aufgießen von Äther auf die Blattspreite bewirkt zunächst einen negativen, dann einen positiven Druck.

10. Annäherung von kalten Flächen wirkt druckbefördernd.

11. Dieser Druck verdankt seine Entstehung der Diffusion des Wasserdampfes einerseits und der Luft andererseits durch die Epidermis, wobei die gleichmäßige Verteilung, d. h. der Ausgleich der Luft, schnell eintritt, die Wasserdampfspannung im Innern jedoch dauernd höher bleibt.

12. Wenn auch der Druck seine Entstehung einer physikalischen Ursache verdankt, so ist er doch von physiologischer Bedeutung, indem er durch bedeutende Massenbewegung der Innenluft die Stagnation der letzteren verhindert, und dadurch die für den Stoffwechsel der Pflanze nötigen Gase beschafft.

---

Vorliegende Mitteilungen wurden schon im August vorigen Jahres geschrieben. Erst vor kurzem stand mir A. Kundts Arbeit »Zur Erklärung der Versuche Dufours und Mergets über die Diffusion der Dämpfe« (Ann. d. Physik u. Chemie. N. F. 2, 17) zur Verfügung, wodurch folgender Nachtrag entstand.

Dufour, Merget u. a. haben eine Reihe von Versuchen angestellt, die das Resultat ergaben, daß trockne Luft durch poröse Scheidewände schneller diffundiere als feuchte.

Merget wie Dufour nahmen einen Tonzylinder, füllten ihn mit Scherben von porösem Ton oder mit Bimstein, durchtränkten ihn samt der Füllung mit Wasser (oder einer anderen flüchtigen Substanz wie Alkohol, Äther, Schwefelkohlenstoff) und verschlossen das offene Ende mit einem Pfropf, durch den ein Glasrohr gesteckt war. An dieses Glasrohr wurde mittels Kautschukschlauch ein Gasentbindungsrohr angesetzt, dessen offenes Ende unter Wasser tauchte. Wird nun der Zylinder durch Bestrahlung oder mittels eines Bunsenschen Brenners erhitzt, so treten aus dem Gasentbindungsrohr in schneller Folge Gasblasen aus; diese Gasblasen sind atmosphärische Luft. Wird die Erwärmung fortgesetzt, so dauert die Gasentwicklung so lange an, als in dem Tonzylinder noch Feuchtigkeit enthalten ist. Das Volumen der entwickelten Gase ist das 30- bis 40fache des Volumens des Tonzylinders, ja unter Umständen noch viel mehr. — Diese Gase sind von außen durch die Wand des Zylinders nach innen diffundiert. Wenn man anstatt des Gasentbindungsrohrs ein Quecksilbermanometer ansetzt, so kann man einen Überdruck im Innern des Tonzylinders konstatieren.

Was nun die Erklärung dieser Erscheinung anbelangt, so scheint Merget diese mit der von Fedderson (Pogg. Ann. 148) entdeckten und unter dem Namen »Thermodiffusion« beschriebenen Erscheinung in Zusammenhang zu bringen, wonach

— weil die stärker verdampfende Seite des Diaphragmas die kältere ist — ein Diffusionsstrom von der kälteren Seite der in dem Diaphragma verdichteten Gase nach der wärmeren Seite hin entstehen dürfte.

Kundt, der die Versuche wiederholte, macht aber in der genannten Arbeit darauf aufmerksam, daß die Dufourschen und Mergetschen Versuche aus den bekannten Gesetzen der Diffusion der Gase völlig erklärbar sind. Seine Folgerungen gebe ich nachstehend wörtlich wieder, da sie im Prinzip mit den oben ausgeführten auf dasselbe hinauslaufen.

»Zur Erläuterung . . . . . nehme man, wie Dufour tat, einen Tonzylinder, schließe denselben mit einem Kork, in welchen ein Gasentbindungsrohr eingesetzt ist, das ein wenig unter Wasser taucht.

Es sei nun der Tonzylinder mit Wasser angefeuchtet, und außen sei trockene Luft. — Abgesehen von der kleinen das Gasentbindungsrohr sperrenden Flüssigkeitsschicht haben wir innen und außen gleichen Druck. Dieser Gasdruck wird außen nur von der trockenen Atmosphäre geliefert, setzt sich innen aber aus 2 Partialdrucken zusammen, dem der trockenen Luft  $p$ , welcher kleiner ist als der Druck der trockenen Luft  $P$  außen, und dem Druck des Wasserdampfes  $W$ .

Es tritt mithin ein doppelter Diffusionsstrom ein, der trockener Luft von außen nach innen und der des Wasserdampfes von innen nach außen. Wie stark auch letzterer sein mag, es wird durch denselben der Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre nicht merklich geändert, der Gesamtdruck außen bleibt merklich derselbe. Innen aber würde, da nach dem Grahamschen Gesetz die Luft langsamer hinein als der Wasserdampf heraus diffundiert, der Druck abnehmen, wenn nicht Wasser von den feuchten Wänden des Zylinders neu verdampfte. Letzteres ist aber zweifellos der Fall und nimmt man an, daß die Verdampfung stets den hinausdiffundierenden Wasserdampf ersetzt, so würde man, nachdem sich der Druck der Luft innen und außen durch Diffusion ausgeglichen hat, außen den Druck  $P$ , innen den Druck  $P + W$  haben. Ist der Innenraum nicht abgeschlossen, sondern steht er durch ein Gasentbindungsrohr mit einem mit Wasser gefüllten Auffangszylinder in Kommunikation, so wird

von innen Gas in den Zylinder treten, aber nicht bloß Wasserdampf, sondern Wasserdampf und Luft, mithin der Partialdruck der Luft innen sinken und neue Luft durch Diffusion eintreten. — Es wird daher, so lange in dem Tonzylinder noch Wasser zum Verdampfen vorhanden ist, ein kontinuierlicher Strom von feuchter Luft durch das Entbindungsrohr des Zylinders austreten . . . .«

Kundt beschreibt ferner eine für Demonstration geeignete Form derartiger Versuche wie folgt:

»Man tauche einen Tonzylinder bis nahe an sein offenes Ende in absoluten Alkohol, so daß die Wände gut durchtränkt sind, setze dann einen Pfropf mit einem Gasentbindungsrohr auf und zünde nun den Alkohol außen an. Man hat dann außen Luft, innen Luft und Alkoholdampf, und nun tritt, selbst durch die Flamme hindurch, eine so energische Diffusion von Luft ein, daß in ca. 2 Minuten ein Liter Luft aus dem Entbindungsrohr austritt. Diese Luft ist selbstverständlich etwas durch Flammengase verunreinigt.« —

Nachdem ich diese Arbeit Kundts gelesen hatte, habe ich auch einen derartigen Versuch in ähnlicher Form wiederholt: Ein Tonzylinder für galvanische Elemente wurde mit Wasser getränkt. Dann wurde mit Wasser durchtränktes Sphagnum hineingelegt, und die Öffnung des Zylinders mit einem Kork verschlossen, der mit einem gebogenen Glasrohr versehen war. Der Zylinder wurde nun horizontal auf einem Metallgestell befestigt, und das Rohrende ein wenig unter Wasser getaucht. Mittels einer darunter gestellten Spiritusflamme wurde nun der Zylinder erwärmt. Es fand dann eine kontinuierliche Blasenströmung aus dem Rohrende statt, die mehrere Stunden lang dauerte. Die Menge der entströmten Luft ist selbstverständlich um das Vielfache größer, als diejenige der ursprünglich im Zylinder enthaltenen.

Hiroshima Kōtōshihangakko, Botanisches Laboratorium.  
Februar 1910.



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift für Botanik](#)

Jahr/Year: 1910

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Ohno N.

Artikel/Article: [Über lebhafte Gasausscheidung aus den Blättern von \*Nelumbo nucifera\* Gaertn. 641-664](#)