

IV.

Zur Kritik der Methode des Gasblasenzählens an submersen Wasserpflanzen.

Von

Dr. Frank Schwarz

aus Graz.

Das Ausscheiden von Gasblasen aus angeschnittenen Wasserpflanzen wie *Elodea*, *Ceratophyllum* u. s. w. ist ein längst bekanntes Phänomen, worauf **SACHS** ¹⁾ seine Methode basirte, durch Zählen der Gasblasen die relativen assimilatorischen Effecte verschieden wirksamer Lichtquellen zu messen. **PFEFFER** ²⁾, **WOLKOFF**, **A. MEYER** u. A. haben nach ihm dieselbe Methode ebenfalls angewendet und immer befriedigende Resultate erhalten.

N. J. C. MÜLLER ³⁾ wollte die Zulässigkeit dieser Methode ganz in Frage stellen, indem er behauptete, dass ausschließlich das Auffangen und Analysiren der ausgeschiedenen Gase ein richtiges Resultat geben könne. Dem entgegen zeigte **PFEFFER** ⁴⁾, dass das Blasen zählen nicht nur die bequemste, sondern auch genaueste Methode ist, wenn es sich einfach um die Abhängigkeit der Gasabscheidung von Strahlen verschiedener Brechbarkeit handelt; wollte man aber genaue relative Werthe für die Assimilationsthätigkeit selbst erhalten, so müsste das heraustretende Gas sowohl bei langsamem, als bei schnellem Blasenstrom die gleiche Zusammensetzung haben. Letzteres ist nun nicht ganz der Fall, indem die anderen in der Pflanze vorhandenen Gase sich durch Diffusion geltend machen und bei langsamem Blasenstrom die Werthe relativ zu hoch aus-

1) Bot. Zeitung 1864. p. 363.

2) Bot. Zeitung 1872. p. 425.

3) Jahrb. für wiss. Botanik. Bd. VI. 1868. p. 478—484.

4) Arbeiten des Würzburger Instituts. Bd. I (1871) p. 7, 54.

fallen. Die Kritik PFEFFER's sowie MÜLLER's beschränkte sich darauf zu zeigen, wie die Ungenauigkeit der Methode von den verschiedenen Mengen diffundirender Gase und diese wieder von den Absorptionsverhältnissen des umgebenden Wassers abhing.

Nach dem eben Gesagten kann es nun allerdings keine Frage sein, dass Absorptionsverhältnisse bei der Gasentwicklung eine Rolle spielen, und es war hiermit zu gleicher Zeit die Möglichkeit gegeben, dass noch andere Ursachen als die Kohlensäurezersetzung Gasströme erzeugen konnten. Es hat nun praktische Bedeutung, nachzuweisen, ob solche Ströme sich auch dann bemerkbar machen, wenn die aus der Kohlensäurezersetzung entstehenden Gasströme ausgeschlossen sind. Letztere entstehen nur unter der Bedingung, dass Kohlensäure in die Pflanze hinein diffundirt. Diffundiren nun andere Gase auf dieselbe Weise, so musste ebenfalls ein Überdruck im Innern und somit Blasenentwicklung stattfinden. Ferner konnte die verschiedene Zusammensetzung der Gasmengen im Innern und außerhalb der Pflanze die Ursache eines Gasdruckes sein. Analog wie ein mit Kohlensäure angefüllter dünnwandiger Kautschukballon in Luft anschwillt, weil die Luft als das specifisch leichtere Gas eben schneller hineindiffundirt als die Kohlensäure heraus. Schließlich war es noch denkbar, dass durch die Erwärmung des Pflanzentheiles Gasströme hervorgerufen wurden. Ohne auf eine nähere Discussion einzugehen, will ich nur erwähnen, dass derartige Ströme in der That von W. FEDDERSEN¹⁾ nachgewiesen worden sind. Sobald die eine Seite poröser Scheidewände (Platinschwamm, Kieselsäure) wärmer wird, als die andere, so entsteht in der Richtung von der kälteren zur wärmeren Seite eine Gasströmung, welche Erscheinung FEDDERSEN mit dem Namen der Thermodiffusion belegt. Dieselbe findet nach L. DUFOUR²⁾ statt, sowohl wenn die durchgehenden Gase trocken, als wenn sie mit Feuchtigkeit beladen sind.

Bei Landpflanzen könnte ferner noch eine andere, ebenfalls von DUFOUR³⁾ erkannte Erscheinung in Betracht kommen, dass nämlich bei der Diffusion von zwei Luftmengen verschiedener Dampftension durch eine poröse Scheidewand der stärkere Strom von der trockenen Luft zur feuchten hingeht. Die Arbeiten von N. J. C. MÜLLER⁴⁾ und MERGET⁵⁾ machen es wahrscheinlich, dass solche Ströme in der That an Landpflanzen vorhanden sind. Ich verzichte jedoch auf die Discussion dieser theilweise noch offenen Frage und beschränke mich darauf, zu untersuchen, ob an Wasserpflanzen wie *Elodea*, *Ceratophyllum* u. s. w. von der Kohlensäure-

1) POGGENDORF's Annalen der Physik und Chemie. 1873. Bd. 448. p. 302.

2) N. Arch. phys. nat. 1874. Bd. 49. p. 401—433.

3) l. c. p. 316—337. Die richtige Erklärung des Phänomens gab KESDT in den Ann. der Physik und Chemie 1877. Neue Folge. Bd. 2. p. 17.

4) Bot. Untersuchungen. Bd. I. Heft 5 (1876) p. 380.

5) Compl. rend. 1873. Bd. 77. p. 4469 und ebenda 1874. Bd. 78. p. 884.

zersetzung unabhängige Gasströme vorhanden sind oder nicht. Meine in dieser Richtung unternommenen Versuche werden zeigen, dass dieselben nicht existiren.

Hing die Entstehung des inneren Druckes ausschließlich von der Kohlensäurezersetzung ab, so musste durch die Beseitigung der Kohlensäure aus dem Wasser der Gasblasenstrom verschwinden, ob nun die Pflanzen im directen oder diffusen Sonnenlichte standen. Die Entfernung der Kohlensäure aus dem Wasser gelang entweder durch Zusatz von Kalk- oder Barytwasser, oder indem man dieselbe in einem nur für Kohlensäure abgesperrten Gefäße durch die Pflanze selbst verbrauchen ließ. Im ersten Falle verband sich die im Wasser gelöste Kohlensäure mit dem Baryt- oder Kalkhydrat zu kohlensaurem Baryt resp. Kalk, und da die Pflanze nur dann assimiliren kann, wenn ihr freie Kohlensäure zu Gebote steht, so hört der Gasblasenstrom vollständig auf. Der kleine Überschuss von Kalk oder Baryt wirkte, wenn der Versuch nicht allzu lange ausgedehnt wurde, keineswegs schädlich auf die Pflanzen, denn wurden dieselben wieder in kohlensäurehaltiges Wasser versetzt oder durch Einleiten von Kohlensäure die vorhandenen Oxyde in Carbonate umgewandelt — so erschien der Blasenstrom jedesmal wieder. Die Blasen entstanden auch dann nicht in dem Kalk- oder Barytwasser, wenn man die Schnittfläche erneuerte. Also von einer Verstopfung der intercellularen Ausführungsgänge durch den entstandenen Niederschlag konnte nicht die Rede sein. Das Wasser, in welchem die Pflanzen beobachtet wurden, war entweder Leitungswasser oder Regenwasser, das ich vorher mit Luft geschüttelt und durch Einblasen von Athem reichlich mit Kohlensäure versorgt hatte.

Eine quantitative Bestimmung des zugesetzten Kalkes oder Baryts wurde nicht vorgenommen. Ich bereitete mir einfach eine gesättigte Lösung. Bei Zusatz von 4 cem dieses Barytwassers oder 25—30 cem Kalkwasser zu 250 cem Regenwasser war meistens der nothwendige Überschuss von Kalk oder Barythydrat vorhanden.

Als Versuchsobjecte dienten mir *Elodea canadensis* oder *Ceratophyllum submersum*. An diesen Pflanzen wurde zuerst die Zahl der hervortretenden Blasen in Regenwasser bestimmt, dann die betreffende Menge Kalk- oder Barytwasser zugesetzt. Der Blasenstrom hörte nun entweder momentan auf oder es kamen in den nächsten 1—2 Minuten noch einzelne Blasen hervor. Nachdem die Pflanzen kürzere oder längere Zeit (nie über 30 Minuten) in diesem kohlensäurefreien Medium verweilt, wurden sie in reines Wasser gebracht (Versuch 1, 3, 4, 5) oder ein Überschuss von freier Kohlensäure durch Einleiten dieses Gases in die gekalkte oder mit Barytwasser versehene Flüssigkeit wieder hergestellt (Versuch 1, 2). Mit der Herstellung dieses Überschusses an Kohlensäure kam auch in ganz kurzer Zeit die Gasentwicklung wieder. Die Pflanzen standen während des Versuches an einem Südfenster und erhielten meist sehr helles Licht. Bei dem

Versuche No. 3 wurden sie direct von der Sonne beschienen. Das Licht blieb während eines Versuches immer constant.

Wie ich schon oben angedeutet, konnte die Kohlensäure auch noch auf einem anderen Wege aus dem Wasser entfernt werden. Ich nahm einen engen Glascylinder, in welchen eine beiderseits offene Glasröhre luftdicht eingesetzt wurde. Die Röhre war mit kaligetränkten Bimssteinstücken angefüllt. Auf diese Art konnte die zum Leben der Pflanze nothwendige Luft frei hindurchgehen, während die Kohlensäure durch das Kali absorbiert wurde. Der Glascylinder war nun mit zahlreichen Elodeastücken angefüllt, welche dazu dienten, die im Wasser enthaltene Kohlensäure zu absorbiren. Eine bestimmte Pflanze diente mir zur Beobachtung, indem ich die Zahl der Blasen als Maaß der Gasentwicklung annahm. Die Einzelheiten sind aus Versuch 6 ersichtlich.

Versuch 4. *Elodea canadensis*.

Beschaffenheit des Wassers	Zahl der Blasen in 1/2 Min.	Beleuchtung	Temperatur	Zeit
250 ccm Regenwasser	sehr viele kleine Blasen	hell diffus	15.4°	9h
25 Ca (HO) ₂ dazu . . .	0	—	15.4°	9h 1 — 9h 33
Leitungswasser . . .	54	—	15.2°	9h 35
Im vorigen Wasser mit Kalkzusatz . . .	0	—	15.4°	9h 40—9h 50
In das gekalkte Wasser CO ₂ eingeleitet . . .	26	—	16.4°	9h 56

Versuch 2. *Elodea canadensis*.

Beschaffenheit des Wassers	Zahl der Blasen in 1/2 Min.	Beleuchtung	Temperatur	Zeit
250 ccm Regenwasser	68	hell diffus	15.4°	10h 20—10h 25
Zusatz von 4 ccm Ba (HO) ₂	0	—	15.4°	10h 25—10h 33
Von 10h 33—36CO ₂ eingeleitet.	Blasen wiederkehrend	—	15.4°	10h 36
Nach längerem Einleiten von CO ₂	67	—	15.4°	10h 40

Versuch 3. *Elodea canadensis*.

Beschaffenheit des Wassers	Zahl der Blasen in 1/2 Min.	Beleuchtung	Temperatur	Zeit
250 ccm Regenwasser	78	Directes Sonnenlicht	18.2°	4h 12
25 ccm Kalkzusatz . . .	0	—	19°	4h 44—4h 45
Leitungswasser	76	—	18°	4h 47

Versuch 4. *Ceratophyllum submersum*.

Beschaffenheit des Wassers	Zahl der Blasen in 1/2 Min.	Beleuchtung	Temperatur	Zeit
500 ccm Regenwasser	25	hell diffus	15.6°	10 ^h 10
10 ccm Barytwasser-zusatz	vereinzelte Blasen	—	15.8°	10 ^h 12
Noch 5 ccm (15 ccm) Barytwasser	0	—	16°	10 ^h 20 — 10 ^h 30
10 ^h 30 in Leitungswasser	6	—	13°	10 ^h 37

Versuch 5. *Ceratophyllum submersum*.

Beschaffenheit des Wassers	Zahl der Blasen in 1/2 Min.	Beleuchtung	Temperatur	Zeit
750 ccm Regenwasser	24	diffus	14.8°	4 ^h 49
75 ccm Kalkwasser-zusatz	9	—	14.8°	4 ^h 52
Noch 50 ccm Kalkwasser zugesetzt, also 125 ccm im Ganzen Leitungswasser	0	—	14.6°	4 ^h 56—5 ^h 7
Leitungswasser	bald wiederkehrend	—	14.8°	5 ^h 7
Leitungswasser	10	—	14.8°	5 ^h 16

Versuch 6. *Elodea canadensis*.

Beschaffenheit des Wassers	Zahl der Blasen in 1/2 Min.	Beleuchtung	Temperatur	Zeit
Das Wasser war durch eine Röhre mit kaligetränkten Bimssteinstücken für CO ₂ abgeschlossen. Luft konnte frei hinein.	10	hell diffus	nicht gemessen	10 ^h 1)
	6	—		10 ^h 25
	5	—		12 ^h 42
	3	Himmel bedeckt		3 ^h
	0	diffus		5 ^h
CO ₂ eingeleitet.	0	—		5 ^h 40
	wieder Blasen treibend	ziemlich schwach beleuchtet		6 ^h

Wir ersehen also aus diesen Versuchen, dass die Gasblasenausscheidung nur dann zu Stande kommt, wenn die Pflanze Kohlensäure zersetzt. Weder die in die Pflanze diffundirenden Gase, noch die bei der Athmung gebildete kleine Menge Kohlensäure reicht hin, um den Blasenstrom hervorzurufen. Das hier Gesagte gilt sowohl für diffuses, als für directes Sonnenlicht.

1) Die angegebenen Zeiten bedeuten immer Stunden desselben Tages (mit Ausnahme des Versuches 8).

Im Anschluss an diese Versuche sei es mir erlaubt, eine von CLAUDE BERNARD¹⁾ gemachte Angabe zu berichtigen. Derselbe behauptet, dass bei Wasserpflanzen durch Chloroformiren die Assimilationsthätigkeit sogleich aufgehoben werde, während die Respiration fort dauere. In Folge dessen soll die Gasblasenauscheidung fast ganz aufhören und die nur in geringer Zahl gebildeten Gasblasen von der Athmung herrühren, wenn man in das Wasser, in welchem die Pflanzen leben, einen mit Chloroform getränkten Schwamm hineinthat. Die alsdann in sehr geringer Zahl erscheinenden Gasblasen sind nicht mehr Sauerstoff, sondern reine Kohlensäure (von der Athmung herrührend). Bringt man die chloroformirten Pflanzen wieder zurück in reines Wasser, so soll die Sauerstoffentwicklung (Kohlensäurezersetzung) wieder aufs Neue beginnen.

Im Gegensatz hierzu haben meine Versuche an Elodea und Ceratophyllum ergeben, dass die Blasenentwicklung nicht eher ganz aufhört, als bis die Pflanze soweit Schaden gelitten hat, dass sie auch in reines Wasser zurückversetzt zu Grunde geht.

Ich wiederholte in erster Linie die Versuche von CL. BERNARD, indem ich einen mit Chloroform getränkten Schwamm in das Wasser warf, in welchem sich die Pflanze befand. Nach $4\frac{1}{2}$ stündiger Wirkung war keine Herabminderung der Blasen Zahl eingetreten (Versuch 7). Durch einen Schwamm mit Äther, welcher in gleicher Weise wirken musste, wurde in den ersten zwei Stunden ebenfalls keine Störung in der Gasentwicklung hervorgerufen. Erst nach 21 stündiger Wirkung sah man die Zahl der Blasen von 45 auf 6 herabgemindert und nach $25\frac{1}{2}$ Stunden hörten sie ganz auf. Die Pflanze war vollkommen todt und weder das Erneuern der Schnittfläche, noch das Umsetzen in reines Wasser konnte den Blasenstrom wieder hervorrufen (Versuch 8).

Es stand mir ferner frei, den Versuch noch etwas zu modificiren. Statt des Schwämmchens mit Chloroform oder Äther wendete ich Wasser an, das mit diesen Körpern einige Zeit geschüttelt war. Es war hierbei die Verbreitung des Chloroforms resp. Äthers eine viel allgemeinere und in Folge dessen sehen wir auch ihre tödtende Wirkung viel schneller eintreten. In Versuch 9 hört der Blasenstrom nach $1\frac{1}{4}$ Stunden auf, um in Leitungswasser nicht wieder zu beginnen. Bei dem Wasser, welches mit Äther gesättigt war, hörte das Leben schon nach ganz kurzer Zeit auf (Versuch 10). Verwendete ich ein Gemisch von Leitungswasser mit Chloroformwasser, wurde die Blasenentwicklung ebenfalls binnen 10 Minuten auf $\frac{1}{4}$ herabgesetzt. Die Pflanze in reines Wasser gebracht, vermochte sich ebenfalls nicht wieder zu erholen (Versuch 11). In allen den Fällen, wo die Blasenentwicklung aufgehört hatte, sah man schon an der Missfärbung und theilweisen Entfärbung der Pflanze, dass wir es mit keinem normalen,

1) Leçons sur les phénomènes de la vie. 1878. p. 278, 279.

sondern einem pathologischen Zustande zu thun haben. Die Angaben von CLAUDE BERNARD entsprechen also nicht dem wahren Sachverhalt.

Versuch 7. *Geratophyllum submersum*.

Beschaffenheit des Wassers	Zahl der Blasen in $\frac{1}{2}$ Min.	Beleuchtung	Temperatur	Zeit
Leitungswasser . . .	69	hell diffus	18.6°	3h 50
Ein Schwamm m. Chloroform getränkt in das Wasser . . .	69	—	18.6°	3h 55
—	67	directe Sonne	25°	5h

Bis 5h 20 keine Verlangsamung in der directen Sonne.

Versuch 8. *Elodea canadensis*.

Beschaffenheit des Wassers	Zahl der Blasen in $\frac{1}{2}$ Min.	Beleuchtung	Temperatur	Zeit
Leitungswasser . . .	15	diffus	14°	3h 24
Ein Schwamm m. Ather getränkt in d. Wasser	15	—	14°	3h 37
—	15	—	14°	3h 50
—	45	etwas gedämpftes Licht	15.6°	5h 34 ab
—	6	diffus	15.4°	12h 20 m des nächsten Tages
—	0	—	—	5h 40 ab

Versuch 9. *Elodea canadensis*.

Beschaffenheit des Wassers	Zahl der Blasen in $\frac{1}{2}$ Min.	Beleuchtung	Temperatur	Zeit
Leitungswasser . . .	20	diffus	15.6	10h 17
Leitungswass. m. Chloroform geschüttelt .	25	—	15.6	10h 20
—	39	—	15.6	10h 23
—	36	—	15.8	10h 25
—	12	—	15.8	10h 28
—	8	—	16.2	10h 34
—	3	—	16.2	10h 37
—	4	—	16.2	10h 39
—	3	—	16.2	10h 42
—	2	—	16.2	10h 59
—	hie und da eine Blase	—	16	11h 40
—	0	—	15.8	11h 30—12h
Leitungswasser . . .	0	—	16.6	12h—2h 35

Versuch 40. *Elodea canadensis*.

Beschaffenheit des Wassers	Zahl der Blasen in $\frac{1}{2}$ Min.	Beleuchtung	Temperatur	Zeit
Leitungswasser . . .	52	diffus	15.8	11 ^h 50
Wasser mit Ather ge- schüttelt	0	—	16.6	11 ^h 53
Leitungswasser . . .	0	—	15.8	12 ^h 22—2 ^h 45

Versuch 41. *Elodea canadensis*.

Beschaffenheit des Wassers	Zahl der Blasen in $\frac{1}{2}$ Min.	Beleuchtung	Temperatur	Zeit
Leitungswasser . . .	11	hell diffus	14.6 ^o	9 ^h 3
—	22	—	14.6 ^o	9 ^h 6
$\frac{2}{5}$ Leitungs-, $\frac{3}{5}$ Chlo- roformwasser . . .	11	—	14.6 ^o	9 ^h 7
—	8	—	15 ^o	9 ^h 17
—	6	—	15.4 ^o	9 ^h 37
—	3	—	15.6 ^o	9 ^h 42
Leitungswasser . . .	—	—	12.6 ^o	9 ^h 47
—	3	—	13 ^o	9 ^h 56
—	2	—	13 ^o	10 ^h 2