

**Einige Untersuchungen
über die Wirkung des Lichtes von verschiedener Inten-
sität auf die Ausscheidung der Gase durch
Wasserpflanzen.**

V o n

Dr. Alexander von Wolkoff.

Abtheilung I.

Die im Jahre 1864 in der „botanischen Zeitung“ Nr. 47 von Prof. Julius Sachs erschienene Arbeit über die Wirkungen des farbigen Lichtes auf Pflanzen, gab mir Veranlassung, eine Reihe neuer Untersuchungen über die Wirkungen des Lichtes von verschiedener Intensität auf dieselben anzustellen.

Die Methode nämlich, die er angewandt hatte, um die Ausscheidung der Gase aus Pflanzen quantitativ bestimmen zu können, und welche auf einer Messung derselben durch die Zahl der Blasen, die aus den in kohlenurem Wasser untergetauchten Wasserpflanzen in einer gegebenen Zeiteinheit ausströmen, beruht, schien mir ganz zweckmässig zu sein, um auch die Frage zu lösen, in welchem Verhältnisse die Ausscheidung der Gase zu der Intensität des Lichtes überhaupt steht.

Bevor ich aber diese Arbeit unternahm, glaubte ich, die Methode selbst einer genaueren Prüfung unterwerfen zu müssen, und zwar erstens wegen der Neuheit der Methode selbst, zweitens, um mit derselben vollkommen vertraut zu werden. Ich wiederholte also die Versuche von Prof. Sachs mit dem *Ceratophyllum demersum* und ausserdem untersuchte ich noch auf gleichem Wege das *Potamogeton natans* und den *Ranunculus fluitans*.

Die mit einem scharfen Messer abgeschnittenen Stengel dieser Pflanzen, in kohlsaures Wasser untergetaucht, entwickeln oft aus der Schnittfläche des Stengels kleine Bläschen, selbst wenn dieselben in einen vollkommen dunklen Ort gebracht werden. Diese Ausscheidung jedoch hört in demselben nach einigen Minuten auf. Sie ist hauptsächlich dadurch bedingt, dass das Gas, welches sich in den Lufträumen der Pflanze befindet, bei der Einführung derselben in eine wärmere Flüssigkeit ausgedehnt, sich in Bläschen ausscheidet, was freilich bei kleineren Pflanzentheilen ziemlich schnell aufhören muss, da die Menge des in ihnen enthaltenen Gases überhaupt nur eine geringe sein kann. Darauf folgt nun ein Stillstand in der Gasentwicklung. Wenn man aber die Pflanzen in das direkte Sonnen- oder intensive Himmelslicht bringt, so findet fast augenblicklich Gasausscheidung statt. Es entwickeln sich aus den Schnittflächen der Stengel kleinere oder grössere Gasbläschen, deren Grösse bei dem Lichte verschiedener Farben und Intensität die nämliche bleibt, deren Zahl aber in einer gegebenen Zeiteinheit wesentlich durch die Art des Lichtes bedingt ist. Die Bläschen scheiden sich von der Schnittfläche nur dann ab, wenn ihr Volumen ein gewisses Maximum erreicht, so dass man schon a priori schliessen kann, die Gasbläschen seien von gleicher Grösse, natürlich nur, wenn die Temperatur des Wassers dieselbe ist, und wenn das Wasser mit Kohlensäure, Sauerstoff und Stickstoff gesättigt bleibt. Ausserdem habe ich mich davon überzeugt mittelst einer einfachen Messung der Volumina der in verschiedenen Zeiten abgeschiedenen Gasbläschen, wobei ich freilich eine gewisse Anzahl derselben als Einheit betrachtete.

Was die Zusammensetzung der auf diese Weise ausgeschiedenen Gase anbelangt, werden wir vorläufig nur erwähnen, dass es aus Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure bestehen kann, dass die quantitativen Verhältnisse derselben Gase sehr verschieden sein können, und dass je länger aus einer Pflanze sich Gas ausgeschieden hat, desto grösser ist der Sauerstoffgehalt des sich nun ausscheidenden Gases. Diese Thatsachen sind schon seit lange allgemein anerkannt und festgestellt. Man wählt sich selbstverständlich zu allen derartigen Versuchen solche Pflanzen oder Pflanzentheile, die unter dem Wasser leben, also wie *Ceratophyllum demersum*, *Ranunculus fluitans* u. s. w., die also keine stomata besitzen. Ferner hat es sich als sehr zweckmässig erwiesen, mit solchen Pflanzen zu arbeiten, deren Blätter nicht untergetaucht, sondern auf der Wasseroberfläche leben, und

Spaltöffnungen besitzen. Wenn man diese Blätter mit ihrem quer-abgeschnittenen Stiele unter Wasser taucht, so treten die Gasblasen allein aus dem Stiele, indem die benetzten Spaltöffnungen sich verschliessen. Schon Dutrochet¹⁾ hat dies bei Nymphaea-Blättern gefunden. Blätter von Potamogeton natans, vollkommen im Wasser untergetaucht, haben mir dasselbe Verhalten gezeigt und wurden deshalb zu meinen Untersuchungen gebraucht. In untergetauchten Pflanzen, die keine Spaltöffnungen besitzen, entweicht das im Lichte abgeschiedene und im Inneren der Pflanze angesammelte Gas durch Diffusion. Dies ist aber auch hier nicht immer der Fall. Bei Pflanzen, die grössere Lufträume besitzen und an hellbeleuchteten Orten gewachsen sind, ist die Spannung der sich beim starken Lichte fortwährend im Inneren anhäufenden Gase so gross, dass sich in einer oder mehreren Stellen Einstiche in der Pflanze bilden, durch welche dann die Gase sich oft stürmisch ausscheiden. Ich habe Gelegenheit gehabt dieselbe Erscheinung sehr deutlich zu sehen bei einer Menge von Ceratophyllum demersum, das ausserordentlich üppig in dem Genfer See bei dem Pont du Mont Blanc wächst; die nur einige Fuss grosse Tiefe und vollkommene Klarheit des Wassers ermöglicht einen Zutritt der Sonnenstrahlen an die Pflanzen, wie man ihn kaum irgendwo anders vorfinden kann. Im Sommer von 11—3 Uhr steigen über diesen Stellen Gasblasen auf, die oft von der Grösse einer Linse sind, und sich fortwährend neu bildend wie eine Perlenschnur aussehender, welche von irgend einer Stelle des Stengels bis zur Oberfläche des Wassers aufsteigt. Ausserdem geben auch die Blüthen, deren Axillen mit der Reife undicht werden, Spalten für den Austritt der im Innern der Pflanze sich anhäufenden Gase, was zuerst von Knop bei Myriophyllum beobachtet wurde. — Für unsere Versuche wurden kleinere Stengel oder nur einzelne Blätter gewählt und besonders solche vorgezogen, die ausschliesslich nur aus der Schnittfläche des Stieles Gasbläschen ausscheideten, und bei welchen der Durchmesser des sich bildenden Bläschens grösser war als derjenige des Stieles, was in einigen Fällen für die Genauigkeit der Resultate von Wichtigkeit erscheint. Wenn nämlich der Querschnitt des Stieles gross ist (wie dies bei Potamog. nat. oft vorkommen kann), so bildet sich auf dem Querschnitt nicht eine Blase, sondern es bilden sich darüber mehrere, die sich eher von dem Stiele ablösen und aufsteigen als in eine zusammenfliessen, da sie bei der Grösse der Ober-

1) Memoires I. 341.

fläche ein beträchtlicheres Volumen einnehmen können, und dabei doch ziemlich von einander entfernt bleiben. Es wurden also in allen diesen Versuchen solche Exemplare vorgezogen, deren Stiele oder Stengel möglichst dünn waren.

In der Dunkelheit oder bei sehr schwachem Lichte kann die Pflanze mehrere Tage im Wasser bleiben, ohne irgend eine durch Blasenabsonderung wahrnehmbare Gasentwicklung zu äussern. Selbst in einem hellen Zimmer hinter der Wand zwischen zwei Fenster gestellt, hört meistentheils jede Gasausscheidung auf, wengleich direkte Sonnenstrahlen durch beide Fenster das Zimmer stark beleuchten.

Diese Thatsache ist sehr leicht verständlich, wenn man, wie wir später beweisen werden, annimmt, dass die Ausscheidung proportional der Lichtintensität ist. Wenn also z. B. ein Blatt von *Potamogeton natans*, oder ein ganzer Stengel von *Ceratophyllum demersum*, wie es zu unsern Versuchen passte, also ungefähr 2 decimetres lang, oder sonst irgend eine Wasserpflanze bei vollem Sonnenschein und Beleuchtung durch das ganze Himmelsgewölbe eine bis zwei Gasblasen in einer Sekunde ausscheidet ¹⁾, was nur in Julitagen bei 25—30° Reaum. und zwischen 11—1 Uhr bei heiterem Himmel geschieht, so müssten solche Pflanzen, an den betreffenden Ort gestellt, wo die Lichtintensität kaum einem Hundertel und viel eher einem Tausendtel des im Freien wirkenden gleich ist, nur in einigen Minuten ein Bläschen ausscheiden. Die Spannung des Gases aber, die bei solchen Umständen in den Lufträumen der Pflanze sich bildet, ist selbstverständlich sehr gering, und es folgt daraus entweder, dass das Gas höchst unmerklich, und deswegen auch nicht regelmässig in einzelnen Bläschen sich ausscheidet, oder die Ausscheidung vollkommen aufhört, indem sich die Luftgänge mit Wasser verstopfen. Bei dem schwachen, aber fortwährend dauernden Drucke haben die Gase nicht Kraft genug, um die Verstopfung zu brechen, treten daher durch Diffusion sehr langsam nach aussen und bedecken die Blätter mit einer Menge kleiner Bläschen.

Es war also möglich vorauszusehen, dass bei allen derartigen Versuchen, wo das Verhältniss der Gasausscheidung zur Lichtintensität zu untersuchen war, die angewandten verschiedenen Intensitäten nicht unter einem gewissen Minimum sein durften, welches Minimum aber doch eine bedeutende Lichtmenge in Anspruch nehmen musste.

1) Nicht grösser als der Kopf einer gewöhnlichen Stecknadel.

Um mich davon zu überzeugen, wie lange die Zahl der abge-
schiedenen Blasen bei gleichen Bedingungen die nämliche sein kann,
habe ich bei heiterem Wetter und vollkommen freiem Himmel um
12 Uhr Mittags in kohlensauerem ¹⁾ Brunnenwasser untergetauchte Sten-
gel von drei verschiedenen Pflanzen den Sonnenstrahlen ausgesetzt.
Die Zahlen der Blasen in einer Minute nach den unten angegebenen
Zeitintervallen abgelesen, waren folgende:

Zeiten		Zahl der Bläschen in einer Minute			Temperatur des Wassers
h.	m.	Ceratoph. demersum	Potamog. nat.	Ranunc. fluitans	
12	—	40	12	56	35 ° C.
12	3	40	12	56	35 „
12	5	40	12	55	35 „
12	7	36	13	56	35 „
12	17	38	12	54	35 „
12	30	40	21	56	35 „

Man sieht aus diesen Zahlen, dass die Beständigkeit der Aus-
scheidung von Gasblasen, *ceteris paribus*, eine vollkommen constante
blieb für einen Zeitintervall von mehr als einer halben Stunde, ohne
dass man auch eine Abnahme der Constanz bemerken konnte.

Es sei hier nur noch eine Thatsache kurz bemerkt, von der ich
an anderem Orte ausführlicher sprechen werde. Wenn man nämlich be-
rechtigt ist, die Intensitäten der leuchtenden Strahlen für eine kurze
Zeit, also z. B. eine halbe Stunde, bei vollkommen wolkenfreiem
Himmel und bei einem hohen Stande der Sonne, als unveränderlich
oder als wenig veränderlich zu betrachten, so ist es keineswegs der-
selbe Fall für die chemischen Strahlen der Sonne, deren Intensitäten
sogar bei dem klarsten Himmel einer sehr auffallenden Schwankung
unterworfen sind. Schon Roscoe (s. Poggendorf's Annalen der
Physik und Chemie Bd. CXXIV) deutet darauf, indem er S. 377 sagt:
„Die unregelmässigen Veränderungen in der chemischen Wirkung, die
an Tagen beobachtet wurden, wo die Sonne ununterbrochen schien,
sind hauptsächlich der Veränderung in der Menge von Wolken zuzu-
schreiben, welche während der Beobachtung sich am Himmel zeig-
ten. In einigen Fällen jedoch trat eine beträchtliche und plötzliche
Veränderung ein, ohne dass das Auge einen Unterschied in der Licht-

1) Hier, wie in allen Versuchen, war die Kohlensäure beständig langsam ein-
geleitet.

menge bemerken konnte, wie am 26. September 1864, wo der ganze Himmel den Tag über unbewölkt erschien; um 9 Uhr 25 Minuten war die chemische Intensität 0,13 und um 10 Uhr, wo die Sonne augenscheinlich gleich hell schien, sank die Intensität auf 0,07 und blieb während einer halben Stunde so niedrig und stieg erst um 11 Uhr wieder auf 0,11; dass diese Abnahme in der chemischen Wirkung wohl von suspendirten Wassertheilchen, oder dem Auge unmerklichem Nebel herrührt, erscheint wahrscheinlich aus der mächtig absorbirenden Wirkung, den ein leichter Nebel auf die chemischen Strahlen ausübt.“

„Am 18. März 1864 um 8 Uhr Vormittags bedeckte ein leichter Nebelschleier die Sonne, die Intensität war nur 0,0026 oder 25 mal geringer als sie es bei normaler Wirkung eines heitern Himmels für Tag und Zeit sein sollte. Es wird kaum nöthig sein, einzufügen, dass bei dieser Gelegenheit, die dem Auge sichtbare Lichtverminderung nur klein und in gar keinem Verhältnisse zu der Abnahme der chemischen Intensität stand.“

Dasselbe fand ich in meinen Arbeiten auf dem Königstuhle (1752 F. über dem Meere) bei Heidelberg, deren Ausführung ich dem Herrn Geheimen Rath Bunsen zu verdanken habe, welcher die Güte hatte, den von Prof. Roscoe ihm zugeschickten Apparat zu meiner Verfügung zu stellen. Dieselbe Erscheinung kann man sehr deutlich ersehen aus den hier beigefügten Curven, welche die chemischen Intensitäten für den 3. u. 4. Juli und für den 4. Oktober 1865 graphisch darstellen. Und zwar stellte die mit Nr. I bezeichnete Curve das Sonnen- und Himmelslicht, die mit II das Himmelslicht, die mit III das Sonnenlicht vor. Diese Curven sind entnommen aus einer grösseren Zahl derselben, die ich für Juni, Juli und Oktober des Jahres 1865 aufgefunden habe. Die chemischen Intensitäten des Lichtes wurden auf folgende Weise gemessen. In einem Zeitabstand von je 10—20 Minuten, wurden zu zwei Messungen gemacht, die eine bei verdeckter Sonnenscheibe, die andere aber ohne Verdeckung derselben. — Zu diesem Zwecke bediente ich mich eines, auf einer langen und dünnen Stange angebrachten, ein Fuss im Durchmesser grossen Pappdeckels, der bei jedem Versuche ohngefähr 10 Fuss von dem Apparate entfernt war, ihn dabei aber vollkommen beschattete. Auf diese Weise bekam ich die chemische Lichtintensität der direkten Sonnenstrahlen + Himmel, und die des Himmels allein. Durch Subtraction der zweiten von den ersten erhält man die chemische Lichtintensität der direkten Sonnenstrahlen allein. Die Re-

sultate, die man auf diese Weise bekömmt, werden zum leichteren Ueberblick graphisch dargestellt, wobei man die Tagesstunden als Abscissen und die entsprechende Intensität als Ordinaten betrachtet.

Man sieht daraus, wie stark die Schwankungen der chemischen Strahlen sein können und wie schnell ihre Intensitäten wechseln, — obgleich der Himmel vollkommen wolken- und nebelfrei erscheint.

Es schien mir also von Interesse zu sein, zu untersuchen, ob die Ausscheidung der Bläschen in irgend einem Zusammenhange mit den Aenderungen der chemischen Intensitäten des Lichtes steht. Zu diesem Zweck wiederholte ich den vorigen Versuch noch mehrmals bei vollkommen reinem Himmel, maass aber dabei jedesmal die chemischen Intensitäten, und erhielt auf diese Weise eine grosse Anzahl Tabellen, von denen ich hier nur einige mittheilen will. Es ist freilich auch oft vorgekommen, dass die chemischen Intensitäten während einer halben Stunde gar nicht oder nur unmerklich schwankten. Bei weitem häufiger war aber der entgegengesetzte Fall, was jedoch die Regelmässigkeit der Ausscheidung durchaus nicht störte.

I. Versuchsreihe.

Zeit		Chemische Intensität	Zahl der Blasen in einer Minute.			Temperatur
h.	m.		Cerat. dem.	Ranunc. fluitans	Potamog. natans	
11	30	0,40	36	26	14	27 ° C.
11	50	0,26	35	27	15	27 „
12	—	0,27	34	25	14	27 „
12	10	0,44	33	25	15	27 „
12	20	0,55	36	26	15	27 „
12	30	0,60	35	26	14	27 „

II. Versuchsreihe.

12	—	0,51	45	29	18	
12	5	0,52	44	30	18	
12	10	0,51	44	30	18	
12	15	0,51	45	29	17	
12	20	0,51	44	29	18	

III. Versuchsreihe.

11	15	0,60	29	20	20	
11	20	0,54	29	20	20	
11	25	0,45	30	21	20	
11	30	0,27	29	22	21	
11	40	0,25	31	21	19	

Wir sehen in dem Versuche Nr. I, dass die chemische Intensität von 0,40 auf 0,26 herunterfällt; sie wird später zu 0,60. — Die Zahlen der Gasblasen bleiben aber überall wenig oder gar nicht verändert. Dasselbe finden wir im Versuche Nr. III, wo die chemischen Intensitäten fortwährend abnehmen, die Gasausscheidung jedoch die nämliche bleibt.

Aus diesen und aus vielen andern auf dieselbe Weise angestellten Versuchen ist man berechtigt zu schliessen, dass die starken Schwankungen in den Intensitäten der chemischen Strahlen keinen merklichen Einfluss auf die Ausscheidung der Gase aus den genannten Pflanzen ausüben — ein Satz, der seine Bestätigung in der, von den meisten Forschern anerkannten und durch andere Methoden gefundenen Thatsache findet, dass die Zersetzung der Kohlensäure durch grüne Theile der Pflanzen nicht sowohl durch die sogenannten chemischen als durch die leuchtenden Strahlen des Spectrums bedingt ist. — Man könnte mir freilich erwidern, dass in diesem Falle die Ausscheidung der Gase zu einem Maximum der Schnelligkeit schon durch geringere chemische Lichtintensität gekommen sei, so dass die nun auftretenden Schwankungen der chemischen Strahlen keinen Einfluss, wenn auch dieselben durch chemische Strahlen bedingt wäre, auf die Ausscheidung ausüben könnten. Indessen brauchte man den Winkel, unter welchem die Sonnenstrahlen auf die Pflanzen auffielen, nur um ein Geringes zu verändern, indem man den sie enthaltenden Apparat verschob, um schon eine sehr merkliche Ab- und Zunahme der Schnelligkeit in der Ausscheidung zu bemerken.

Diese Thatsache ist bis jetzt noch nicht genügend hervorgehoben, obgleich sie, wie gesagt, fast von allen Forschern, die auf diesem Gebiete gearbeitet haben, hinlänglich festgestellt ist, und zwar schon seit einigen Jahrzehnten, von Draper¹⁾, Daubeny²⁾, Gardner³⁾, Cloëz und Gratiolet⁴⁾ Rob. Hunt⁵⁾, Knop⁶⁾ u. A.

Draper zeigte das Verhältniss der Gasausscheidung bei Pflanzen zu den verschiedenen Strahlen des Sonnenlichts. Er bestimmte für Roth 0,0; für Roth und Orange 24,75; für Gelb und Grün 43,47;

1) A treatise in the forces which produce the organisation of plants. Appendix 177.

2) Philosophical Transactions vol. CXXVII. 1836.

3) Friep's Notizen 1844. 13 d. 30. Nr. 11.

4) Annales de Chem. et de Physic 3 sér. T. XXXII. 1851.

5) Schon im J. 1847.

6) Bestätigt dies auch in seiner Schrift über das Verhalten einiger Wasserpflanzen zu Gase 1853.

Grün und Blau 4,10; Blau 1,0; Indigo 0,0. Daubeny und Gardner's Arbeiten bestätigten die Thatsache, dass die Gasausscheidung nicht den chemischen Strahlen proportional gehe, d. h. in keiner Proportionalität mit der Einwirkung des Lichtes auf Chlorsilber steht.

Im Jahre 1850 fanden Cloëz und Gratiolet, dass die Zersetzung der Kohlensäure im gelben Lichte (wo also am wenigsten chemische Strahlen vorhanden waren) am stärksten war, darauf folgte das Milchglas, das rothe, das grüne und endlich das blaue, wo fast alle chemische Strahlen durchgehen. Später kam noch die Arbeit von Guillemain¹⁾ hinzu, die die früheren Arbeiten von Gartner vollkommen bestätigte, und hauptsächlich die Thatsache feststellte, dass das Ergrünen oder die Chlorophyllbildung am stärksten im gelben Strahle und abnehmend je mehr man sich von diesem entfernt stattfindet. — Endlich wurde dieselbe bestätigt auch durch die schöne Arbeit von Julius Sachs, die ihn zu folgender Behauptung geführt hatte: „Das gemischte orange Licht, dessen Einfluss auf photographisches Papier während der Beobachtungszeit unmerklich war, leistete bei der Gasabscheidung eben so viel wie das weisse Licht; während dagegen das blaue, trotz der energischen Bräunung des photographischen Papiers, nur unbedeutend auf die Pflanze einwirkte.“

Dies Alles half nicht, um in den Augen des Herrn Schumacher die chemischen Strahlen etwas zu erniedrigen und die leuchtenden bemerken zu lassen. Er geht in seinem Werke „die Ernährung der Pflanze 1864“ so weit, dass er sogar den Herrn Cloëz und Gratiolet seine eigene Meinung aufbürden will, die aber mit der von ihnen ausgesprochenen nur das gemein hat, dass sie gerade das Gegentheil davon ausspricht, Er sagt nämlich S. 449:

„Die assimilirende Kraft des Lichtes beruht vorzüglich auf den chemischen Strahlen desselben. Nach Gratiolet und Cloëz ist die Sauerstoffentwicklung grüner Pflanzentheile am schwächsten im gelben und rothen Lichte, am lebhaftesten in blauem und violettem (!). Ueberhaupt ist die assimilirende Thätigkeit eine durch die chemische Strahlen des Lichtes eingeleitete Zersetzung anorganischer Stoffe.“ —

Ich stellte darauf einige Versuche mit drei verschieden gefärbten Gläsern an, deren Durchdringlichkeit für chemische Strahlen ich früher mittelst des Roscoe'schen Apparats gemessen hatte. Den

1) Production de la Chlorophylle etc. Annales des sciences nat. 1857. VII.

Apparat selbst hier zu beschreiben, halte ich für nicht zweckmässig, erstens darum, weil er von Roscoe selbst in den Annalen der Physik und Chemie Bd. CXXIV ausführlich beschrieben ist, und zweitens, weil eine bloss kurze Beschreibung desselben ohne die entsprechenden Zeichnungen meiner Meinung nach doch nicht deutlich genug sein kann, um den Apparat vollkommen begreiflich und anschaulich zu machen. Es sei hier nur bemerkt, dass mittelst des Roscoe'schen Apparats und zweckmässigen Gebrauchs des nach Bunsen und ihm ermittelten photographischen (Chlorsilber-) Papiers, man an einem jeden beliebigen Orte und zu jeder Zeit die chemischen Lichtintensitäten in einer gegebenen Maasseinheit ausdrücken kann.

Das zum Versuche gewählte Ceratophyllum demersum wurde nicht wie bei Sachs in ein cylindrisches Gefäss, sondern in einen mit parallelen Glaswänden versehenen Kasten aus Blech eingesetzt (Fig. 1. Taf. III). In einer Ecke des Apparates befand sich das Thermometer, in der andern die Röhre, welche Kohlensäure fortwährend dem Wasser zuleitete. Bei jedem Versuche wurde die hintere und die obere Seite des Apparates mit geschwärtzter Pappe verdeckt und bloss ein schmaler Spalt offen gelassen, um die Blasen zählen zu können. — Es wurden darauf die verschieden gefärbten Gläser, deren Fähigkeit, chemische Strahlen durchzulassen, vorher genau bestimmt worden war, abwechselnd und wiederholt vor die Glaswand ab aufgestellt und nach Ablauf je einer Minute, die Ablesungen gemacht. Auf diese Weise erhielt ich folgende Resultate:

Gläser.

Relative Menge chem. Strahlen	Weiss 1,0000	Roth 0,0001	Blau 0,8500	Temperatur
um 11 Uhr — M.	80 Bl. in 1 M.	50 Bl. in 1 M.	21 Bl. in 1 M.	} 31 ° C.
„ 11 „ 5 „	82 „	53 „	21 „	
„ 11 „ 10 „ 20 Minuten darauf	78 „	52 „	21 „	
um 12 Uhr 30 M.	80 „	55 „	20 „	} 31,5 ° C.
„ 11 „ 35 „	76 „	50 „	21 „	

Wenn ich zwar aus diesen Versuchen gar keine Endschlüsse über die Wirkung der farbigen Strahlen auf die Gasausscheidung zu ziehen gesonnen bin, was ja schon bei Sachs viel ausführlicher und genauer untersucht worden ist, so lege ich ihnen doch in soferne einen Werth bei, als sie recht deutlich zeigen, wie wenig die verschiede-

nen Intensitäten der chemischen Strahlen eine Wirkung auf die Ausscheidung der Gase ausüben, und dies um so mehr, da wir ja bis jetzt keine genaue Methode besaßen, um diese chemischen Intensitäten auf eine so zuverlässige Weise zu messen, wie dies mit dem Roscoe'schen Apparat geschehen kann.

Jede Ablesung, wie ich schon früher bemerkte, wurde erst gemacht, nachdem die Pflanze eine Minute lang der Einwirkung des vorgesetzten Mediums bereits ausgesetzt worden. Dies war auch die von Sachs angegebene Zeit, und ich habe sie als richtig gewählt gefunden, zumal dann, wenn die Gasentwicklung eine ziemlich rasche war, nämlich ungefähr, wenn die Gasblasen bis 15 und mehr in der Minute aus der Pflanze ausströmten; wenn aber die Abscheidung langsamer erfolgte, so war eine Minute Zeitintervall nicht genügend, um die Ausscheidung vollkommen gleichmässig hervorzurufen und man ward oft 2—3 Minuten zu warten genöthigt.

Aus diesen Versuchen sind auch wir berechtigt zu schliessen, dass die Intensität der Gasausscheidung aus den genannten Pflanzen in keinem nachweisbaren Verhältniss zu den Intensitäten der chemischen Strahlen des Spectrums allein steht.

Es sei hier noch beiläufig bemerkt, dass das Ergrünen, also die Zersetzung der Kohlensäure, sogar in Natriumflamme stattfindet. Ich stellte einen Topf mit etiolirtem, eine Woche altem *Lepidium sativum* vor eine entfärbte Gasflamme in einer Entfernung von etwa 8" und setzte in die Flamme eine Perle von kohlen-saurem Natron auf einem Platindrahte hinein. Sobald eine Perle sich verflüchtigt hatte, wurde sie sogleich durch eine andere ersetzt, was übrigens nicht rascher als ohngefähr nach Verlauf je einer Stunde geschehen konnte. Die auf diese Weise erhaltene blassgelbe Flamme verhält sich in photochemischer Beziehung so indifferent, dass man die durch eine grosse Sammellinse concentrirten Strahlen, Stunden lang auf sensibles Papier (Chlorsilber) ohne Nachtheil wirken lassen kann¹⁾. Die Kresse färbte sich in diesem Lichte ohne irgend eine Concentration desselben durch Sammellinsen binnen 7—8 Stunden in ein schönes Grün an allen Stellen, wo das Licht die Blätter traf, die beschatteten Stellen jedoch blieben unverändert. Es darf also nicht merkwürdig erscheinen, dass die Kresse bei P. de Candolle²⁾ bei dem Lichte

1) Photochemische Untersuchungen von Bunsen und Roscoe. Annalen der Physik und Chemie Bd. CXVII S. 535.

2) Mem. prés. à l'institut des sc. par divers savans: Math. et phys. 1806. T. 1. p. 332.

von 6 Argandischen Lampen ergrünte, und dass Roggenblätter sich bei Hervé Mangon¹⁾ in dem Lichte eines mächtigen elektrischen Leuchtapparates intensiv grün färbten. — Im Dezember bei einem vollkommen heiteren Himmel, brauchte ein Topf mit Kresse vors Fenster gestellt, und bei direkter Beleuchtung durch Sonnenstrahlen ungefähr dieselbe Zeit zum Ergrünen, wie in dem Natriumlichte. — Die Temperatur war in beiden Fällen 15—16 ° R. Wenn man berechnen wollte, wie die chemischen Lichtintensitäten, welche in den beiden Fällen gewirkt haben, sich zu einander verhielten, so würde man dieselben für das Natriumlicht kaum in den milliontelsten Theilen derjenigen, die dem Tageslicht zukommt, ausdrücken können. Wenn wir also nicht berechtigt sind, durch diese Versuche den Schluss zu ziehen, dass die Bildung des Chlorophylls von Strahlen chemischer Natur gar nicht abhängig ist — denn es muss zugestanden werden, dass wir überhaupt nicht im Stande sind die leuchtende Kraft von der chemischen vollkommen zu befreien (sogar in dem Natriumlichte sind blaue und andere Strahlen vorhanden) — so können wir doch nicht an der Richtigkeit der oben angeführten Thatsache zweifeln, dass also die Chlorophyllbildung in keinem nachweisbaren Verhältniss zu den Intensitäten des chemischen Lichtes steht.

Abtheilung II.

Nachdem ich mittelst solcher Voruntersuchungen mich vollkommen mit der Methode vertraut gemacht und die von Sachs begründeten Thatsachen bestätigt gefunden hatte, unternahm ich die Lösung der Frage: In welchem Verhältniss die Ausscheidung der Gase durch die genannten Pflanzen zur Intensität des auf sie einwirkenden gesammten Lichtes stehe?

Zu diesem Zwecke habe ich einen einfachen Apparat construirt, der mir die Möglichkeit gab, die zur Untersuchung gewählten Pflanzentheile mit Leichtigkeit an solche Stellen zu bringen, wo die Intensitäten des Lichtes verschieden und bekannt waren. Diese Vorrichtung besteht aus einem Schlittenapparat BF (Taf. III. Fig. 2), auf dem sich zwei zu ihm senkrecht gestellte Holzrahmen befinden, von denen der eine A am Ende des Schlittens fest angeschraubt, der andere C aber auf demselben verschiebbar ist. Die beiden Rahmen sind durch papierne, gefaltene blasebalg- oder harmonikaähnliche dehnbare Wände mit

1) Comptes rendus 1861. p. 243.

einander verbunden, bilden also einen viereckigen Kasten und können auf diese Weise nach Belieben einander genähert oder von einander entfernt werden, ohne dadurch ihren gegenseitigen Parallelismus zu verlieren. An dem unbeweglichen Rahmen AB ist eine Zinkplatte mit einem eingesetzten, mattgeschliffenen, runden Glase (mn) angebracht. Das Licht, welches durch das Glas mn auf Wand CD fällt, wird noch dadurch verstärkt, dass man einen grösseren Spiegel auf den in der verticalen Ebene einstellbaren Rahmen PQ auflegt. Da aber der ganze Apparat in der horizontalen Ebene leicht beweglich ist, so kann man zu jeder Zeit ein Maximum der Beleuchtung auf der Fläche CD erhalten. In dieser hintern Wand (CD) ist ein Einschnitt angebracht, in den man den schon oben erwähnten Apparat (Fig. 1. Taf. III) mit dem Thermometer und mit der die Kohlensäure zuführenden Röhre einstellt, wie es aus Fig. 3 zu ersehen ist. Der Durchmesser des Mattglases muss im Verhältniss zu der Länge des zu untersuchenden Pflanzentheils genügend gross sein, damit die Lichtintensität in allen Theilen, bei jeder Entfernung der beiden Rahmen von einander, fast genau dieselbe bleibt, was vorher experimental bestimmt und gemessen werden muss.

Der Schlitten ist mit einem graduirten Papierstreifen versehen, so dass der bewegliche Rahmen wiederholt auf eine beliebige Entfernung vom Glase aufgestellt werden kann. Auf diese Weise kann man die verschiedensten Intensitäten erhalten, und wenn man bei vollkommen heiterem Himmel arbeitet und die Dauer einer jeden Versuchsreihe nicht länger als 15—30 Minuten währen lässt, so kann man leicht entweder die den verschiedenen Entfernungen entsprechenden relativen Intensitäten berechnen, indem man die Sätze zu Hülfe nimmt, dass die Intensitäten proportionell dem Sinus des Winkels und umgekehrt proportionell den Gradiaten der Entfernung sind, oder dieselben mit dem Roscoe'schen photographischen Papiere messen. Das letztgenannte ist jedenfalls viel einfacher, leichter und zuverlässiger. Die mattgeschliffenen Gläser, sie mögen noch so genau und sorgfältig bearbeitet sein, sind nie in allen Punkten ihrer Oberfläche gleich hell und zerstreuen das durch sie hindurchgehende Licht immerhin ziemlich unregelmässig, so dass in diesem Falle bei weitem zuverlässiger, und ich möchte sagen einzig zuverlässig ist, die Intensitäten jedesmal experimental zu prüfen. Ausserdem braucht man dabei nicht so viel Sorge zu tragen, was die Genauigkeit des Schlittenapparats selbst betrifft, welche im anderen Falle, wenn man aus den Entfernungen die Intensitäten berechnen wollte, unbedingt

nothwendig wäre, und dies um so mehr, da ja eine Verrückung der Wand CD um einige Zoll genügend ist, um schon die Intensität des sie treffenden Lichtes sehr beträchtlich zu vergrössern oder zu schwächen.

Die Versuche wurden folgendermaassen angestellt: Die Fläche mn wurde als gleich intensiv leuchtend betrachtet, was man für 15—30 Minuten und bei vollkommen wolkenfreiem Himmel anzunehmen berechtigt ist. Nachdem der ganze Apparat für die Beleuchtung zweckmässig aufgestellt und die ausgesuchten Pflanzen hineingelegt waren, wurden die Blasen gezählt und dabei dicht hinter der äusseren Glaswand des Apparates Fig. 1 die chemischen Strahlen vermittelt des Roscoe'schen photographischen Papiers gemessen. Die Stellung, wo man die Messung machte, war der Pflanze so nahe wie möglich gewählt, jedoch so, dass dieselbe durchaus keine Störung in dem Zutritt der Strahlen von der ganzen Scheibe mn zum betreffenden Ort hervorbringen konnte. Zum Beispiel ist der Punkt o auf der Fig. 3 angegeben. Der bewegliche Rahmen wurde auf diese Weise fortwährend hin- und hergerückt, und in jeder neuen Entfernung die Zahl der Blasen in einer Minute bestimmt und eine Messung der chemischen Strahlen hinter der äusseren Glasscheibe gemacht. Keine Versuchsreihe dauerte länger als 15 Minuten. In allen diesen Fällen stellen uns die relativen Intensitäten der chemischen Strahlen die relative Intensität aller Strahlen überhaupt vor, unter der Voraussetzung jedoch, dass die 15 Minuten lang auf dieselbe Scheibe mn eingewirkt habenden chemischen Strahlen ebenso unverändert blieben, wie die leuchtenden. Letzteres ist aber nicht immer der Fall, darum wurde der Controle wegen, das chemische Licht noch ausserdem im Freien gemessen. Wir führen hier anfangs nur diejenigen Versuche vor, bei welchen die letztgenannte Bedingung erfüllt worden war. Während den einzelnen Versuchen wurde die Temperatur des Wassers gleich erhalten, indem man es vorher längere Zeit in dem Apparate verweilen liess. Die ganze bewegliche Seite CD wurde bei der Untersuchung selbst mit einem schwarzen Tuche bedeckt, um jedes andere Licht abzuhalten. Auf diese Weise erhielt ich folgende Resultate:

I. Versuchsreihe
 Ceratophyllum demersum.

Zeiten		Gemessene Lichtintensität	Zahl der Bläschen in der Minute
h.	m.		
12	—	8	16
12	2	12	25
12	4	20	41
12	6	8	15,5
12	8	12,5	25
12	10	21	42

Ich wiederholte auf diese Weise alle drei Ablesungen mehrmals und nahm das Mittel davon. Alle mit dem Ceratophyllum gemachten Versuche kann man in folgender Tabelle resumiren, wobei jede Reihe von Ablesungen den Mittelwerth aus wenigstens zwei Beobachtungen darstellt.

Die erste Columne zeigt die Intensität des Lichtes, die zweite die Zahl der Bläschen; die dritte enthält die berechneten Quotienten. Zu jedem neuen Versuche wurde ein anderes Exemplar der Pflanze genommen. Temperatur und Zeit sind nicht angegeben, weil bei jeder einzelnen Versuchsreihe die Temperaturen nicht merklich von einander differirten und die Zeiten bei der Arbeit keinen Werth haben. In jedem Falle wurden sie alle zwischen 11 und 12 Uhr angestellt, also dann, wenn die Sonne am stärksten wirkt.

Ceratophyllum demersum.

Versuchsreihe	Gemessene Lichtintensität	Zahl der Bläschen in einer Minute	Quotienten
I	80	16	5,0
	120	25	4,8
	200	41	4,8
II	60	20	3,0
	160	50	3,2
	70	22	3,2
	150	50	3,0
III	100	62	1,6
	60	46	1,3
	30	19	1,6
	70	50	1,4

Die äusseren chemischen Intensitäten schwankten bei jeder einzelnen Versuchsreihe nicht merklich.

Versuchsreihe	Gemessene Lichtintensität	Zahl der Bläschen in einer Minute	Quotienten
IV	110	50	2,2
	80	40	2,0
	60	25	2,4
V	123	50	2,4
	67	22,5	2,3
VI	100	25	4,0
	200	50	4,0
	150	36	4,1
	120	30	4,0

Schon bei dem ersten Blick auf diese Tabellen fällt uns die Proportionalität zwischen den Intensitäten und der Zahl der Bläschen ins Auge. Wenn auch einige Quotienten nicht vollkommen mit einander übereinstimmend sind, so glaube ich doch vollständig berechtigt zu sein die Schlussfolgerung aus diesen Zahlen ziehen zu dürfen, dass die Ausscheidung der Gase durch das *Ceratophyllum demersum* direkt proportional der Lichtintensität ist. — Ich sammelte das Gas von fünf verschiedenen Pflanzen, die ebenfalls eine sehr constante Proportionalität in der Entwicklung des Gases zum Lichte zeigten. Dieselben waren von einem verschiedenen Alter und Grösse gewählt. Die Analyse der Gase ergab folgende Zusammenstellung:

in 100 Theilen

I	II	III	IV	V	
54	66	71	87	98	Sauerstoff
46	34	29	13	2	Stickstoff
100	100	100	100	100	

Kohlensäure ist hier nicht in Betracht gezogen. Sie betrug in allen Fällen kaum 1—2 % des gesammelten Gases.

Hieraus schliessen wir, dass die Zusammensetzung des sich ausscheidenden Gases in keiner Beziehung zu der Ausscheidungsgeschwindigkeit steht, dass also die Proportionalität zwischen derselben und der Intensität des Lichtes bei jeder Zusammensetzung des sich im Innern der Pflanzen befindenden Gases stattfindet.

Weiter unternahm ich ganz ähnliche Versuche mit dem *Potamogeton natans*.

Es lässt sich mit dieser Pflanze nur bei ziemlich intensivem Lichte gut arbeiten, weil die Blasen sehr gross werden, da die Stengel überhaupt ziemlich dick sind, und eine breite Schnittfläche der Abscheidung darbieten, so dass man nur bei starkem Lichte eine schnelle Aufeinanderfolge der Blasen hervorbringen kann, was ja, wie ich schon vorher bemerkte, einen wesentlichen Einfluss auf die Regelmässigkeit der Abscheidung ausübt. Man sucht freilich, wie schon früher erwähnt, solche Blätter aus, die mit dünnen Stielen und überhaupt ganz gesund und ohne Risse sind. Es kommt dann und wann vor, dass irgend eine oder mehrere auf der obern Seite des Blattes sich befindende Spaltöffnungen, die bei der Untertauchung unter das Wasser sich in der Regel verschliessen, sich öffnen. In diesem Falle hört die Gasausscheidung aus dem Stiele momentan auf, und sie wird sofort hergestellt, wenn nur die sich über einer Spaltöffnung gebildete Gasblase in die Höhe entweicht. Wenn sich also eine solche Blase auf irgend einer Stelle des Blattes zeigte, so wurde der Versuch mit diesem Blatte entweder ganz unterbrochen, oder ich wartete ab, bis das Blatt von neuem durch den Stiel das Gas ausschied. Indessen kommen derartige Störungen nicht sehr oft vor, und in bei weitem grösserer Anzahl der Fälle ging die Gasausscheidung durch den Stiel, so dass wir also das *Potamogeton natans* als sehr zweckmässig für unsere Versuche bezeichnen können. Die Blätter des *Potamogeton natans* bieten der Beleuchtung eine grosse ebene Fläche dar, was ja immer sehr wünschenswerth ist, und können leicht in einer gegebenen Richtung gestellt sein, ohne die Stellung bei der Bewegung des Apparates nur auch im Geringsten zu ändern, und ohne die gläsernen Wände des Apparates Fig. 1 zu berühren. — Dazu braucht man nur das Blatt, bei seiner Spitze mit einem passenden eisernen Nagel durchgestossen, in das Wasser zu bringen. Der schwere Nagel sinkt zu Boden, hält das Blatt bei der Spitze fest und zwingt es dadurch eine verticale Stellung anzunehmen, wie Fig. 4. Taf. III zeigt. Auf diese Weise ist es leicht dem Blatte eine jede beliebige Stellung zu geben und auch dieselbe dauernd zu erhalten. —

Vor der Anstellung der analogen Versuche mit dem *Potamogeton natans* prüfte ich, wie lange überhaupt das *Potamogeton natans* gleichmässig functioniren konnte.

Zu diesem Zwecke wählte ich zwei Punkte auf dem Schlitten-

apparate. Die Lichtintensität auf dem Rahmen CD, wenn ich ihn auf einen von diesen Punkten stellte, war zweimal grösser als diejenige, welche ihm in dem anderen zukam. Der Himmel war vollkommen nebel- und wolkenfrei. Die chemischen Intensitäten waren auch draussen gemessen. Wir bekamen eine Menge von Versuchsreihen, von denen ich hier nur diejenigen mittheile, bei welchen die chemische Intensität des Lichtes im Freien dieselbe geblieben war. — Der Versuch selbst dauerte 12 Minuten, da ja jede Ablesung erst nach je einer Minute nach der Aufstellung des Rahmens in dem gewählten Punkte des Schlittenapparates geschah. Ich bekam nun folgende Zahlen:

Potamogeton natans.

Zahl der Blasen in 30 Secunden
bei

Intensität I	Intensität II	Quotienten
12	22	1,83
11	22	2,00
12	22	1,83
12	21	1,75
12	21	1,75
11	21	1,90
12	22	1,83

Mit diesem Resultate vollkommen befriedigt, stellte ich nun die vorher beschriebenen Versuche, und zwar ganz auf dieselbe Weise wie mit dem Ceratophyllum demersum, an, und gelangte dabei zu folgenden Ergebnissen:

Potamogeton natans.

Versuchsreihe	Intensität des Lichtes	Zahl der Bla- sen in einer Minute	Quotienten
I	108	30	3,6
	51	15	3,4
	108	28	3,8
II	160	34	4,7
	230	49	4,7
	180	37	4,8
	75	18	4,2
III	185	55	3,4
	120	35	3,4

Versuchsreihe	Intensität des Lichtes	Zahl der Blasen in einer Minute	Quotienten
IV	150	56	2,6
	89	32	2,8
V	110	36	3,1
	53	17	3,1

Diese Tabelle bestätigt vollkommen den oben ausgesprochenen Satz über die Proportionalität zwischen Lichtintensität und Gasausscheidung, und ist obendrein noch viel beweisender, da ja die Quotienten in jeder einzelnen Versuchsreihe auffallend nahe gleich sind.

Darauf nahm ich den *Ranunculus fluitans* und untersuchte ihn gleichzeitig mit dem *Potamogeton natans* zusammen, wobei mir das *Potamogeton* selbst als Maassapparat diene. Die beiden Pflanzen wurden neben einander gestellt, wie Fig. 4 zeigt. Ich muss hier hinzufügen, dass der *Ranunculus* zu ähnlichen Versuchen ausgezeichnet passt, weil die Ausscheidung ungemein regelmässig und schnell vor sich geht. Ich bekam folgende Resultate:

Während derselben Zeiteinheit:

Potamogeton	Ranunculus	Quotienten
20	36	1,8
16	28	1,8
24	38	1,6
35	52	1,5
15	28	1,9
25	38	1,5

Ich hatte keine Gelegenheit noch mehr mit diesen Pflanzen zu arbeiten, da die Kälte, welche bald darauf eintrat, dieselben sehr angegriffen hatte, so dass man nur mit Schwierigkeit einzelne gesunde Exemplare aussuchen konnte. Das *Ceratophyllum* war schon schmutziggrün geworden, die Gasausscheidung blieb entweder vollkommen unterbrochen, oder war so schwach, dass sie nur bei sehr starkem Lichte stattfand.

Es ist klar, dass alle Lebensvorgänge in jedem Alter einer Pflanze verschieden sein müssen, dass also das Verhalten der Pflanze zu ihren Nahrungsstoffen sich immer ändert. Es ist z. B. möglich, dass eine Pflanze in der Jugend irgend einen Stoff aufnimmt oder ausscheidet, dessen Gewicht oder Volumen zu dem Gewichte oder Vo-

lumen der Pflanze in irgend einem Verhältnisse x steht; später ändert sich dies Verhältniss, wird zu $\frac{x}{2}$, $\frac{x}{3}$, $\frac{x}{4}$ u. s. w., es scheint aber wenigstens in Bezug auf die hier zu untersuchende Gasausscheidung, dass in allen diesen verschiedenen Momenten des Lebens einer Pflanze, diese x , $\frac{x}{2}$, $\frac{x}{3}$ auf dieselbe Weise durch den äusseren Einfluss, das Licht, modificirt werden. Alle Pflanzentheile und Blätter, die ich untersucht habe, waren von sehr verschiedenem Alter, die Versuche selbst dauerten je 2—3 Monate, das Verhältniss aber der Gasausscheidung zur Lichtintensität, wie aus allen oben angeführten Versuchen zu ersehen ist, blieb immer dasselbe.

Indem ich hier keine Analogie in dem Verhalten zwischen Wasser- und Landpflanzen zum Lichte ziehen will, begnüge ich mich vorläufig folgende Sätze auszusprechen:

- 1) dass die Ausscheidung der Gase aus Wasserpflanzen direkt proportional der Intensität des Lichtes überhaupt ist;
- 2) dass dasselbe Verhalten bei jeder Zusammensetzung der ausgeschiedenen Gase stattfindet.

Wie wenig aber diese Ausscheidung durch die Schwankung der Intensität der chemischen Strahlen beeinflusst wird, und wie constant die Ausscheidung bleibt, wenn nur die anderen Theile des Spectrums sich nicht ändern, das haben wir schon früher gesehen. Die Arbeiten aber mit dem hier zuletzt beschriebenen Apparate haben mir dieselbe Thatsache noch viel deutlicher gezeigt. Die Versuchsreihen nämlich, die hier bis jetzt angeführt worden sind, beziehen sich nur auf die kleinere Anzahl davon, bei welchen die äussere auf die Scheibe wirkende chemische Intensität sich nicht während der Anstellung derselben geändert hatte. Es war aber eine bei weitem grössere Anzahl solcher, bei denen die chemischen Strahlen im Laufe der angeführten 15 Minuten stark schwankten, wobei aber die Ausscheidung der Blasen vollkommen diejenige blieb, welche stattgefunden hatte, wenn keine Schwankung derselben vorhanden war. Ich führe hier nur einen solchen Versuch als Beispiel an. Der Himmel war vollkommen wolken- und nebelfrei.

Ich untersuchte die chemische Intensität in dem Mittelpunkte der Fläche CD (Fig. 2. Taf. III) in einer gewissen Entfernung derselben von der Scheibe mn und gleichzeitig die äussere chemische Intensität und erhielt

für die

äussere

60

innere

12.

Gleich darauf rückte ich die Fläche CD weiter von dem Glase ab, und untersuchte wieder die beiden Intensitäten,

bekam für die

äussere

60

innere

4.

Daraus war zu schliessen, dass die Lichtintensitäten überhaupt in den beiden gewählten Entfernungen sich wie 3 : 1 verhielten. Eine Pflanze, die zum Versuche diente, gab, wie es auch zu erwarten war, bei 50 Blasen im ersten Fall, nur 16 im zweiten in der Minute. Nun wurde die Pflanze fortwährend mit dem Rahmen von einer zur andern Stelle hin und her geschoben. — Die Zahl der Blasen wurde überall gezählt und die chemischen Intensitäten ausser dem Apparate gemessen. Wir erhielten auf diese Weise und bei diesem Versuche folgende Resultate:

Chemische Intensitäten ausserhalb		Zahl der Blasen bei Intensität 1	Zahl der Blasen bei Intensität 3
	60	17	50
nach 2 Minuten	53	16	51
„ 2 „	40	17	52
„ 3 „	44	16	49
„ 3 „	45	17	52
„ 2 „	40	17	50

Man sieht hier recht deutlich, wie wenig die Schwankungen der chemischen Intensitäten auf die Ausscheidung der Gase eingewirkt haben, obgleich die letzte für die Schwankungen der Lichtintensitäten überhaupt sich sehr sensibel zeigte.

Während ich nun, wie gesagt, von diesen beiden für die Wasserpflanze aufgefundenen Thatsachen keine Uebertragung auf die Ausscheidung der Gase durch die Blätter und grünen Theile der Stengel der Landpflanzen unternehmen will, werde ich hier nur Einiges in Betreff der letzteren mittheilen, wozu ich schon im vorigen Jahre gelangt bin. Ich konnte damals den gefundenen Resultaten keinen so genügenden Werth beilegen, um sie vereinzelt im Drucke erscheinen zu lassen, glaube aber, dass hier, wo es sich vorzugsweise um die Wirkungen von verschiedenen Lichtintensitäten auf die Pflanzen handelt, ein passender Ort zur Erwähnung ist.

Schon im vorigen Jahre habe ich versucht das Verhalten der Pflanzen zum Lichte verschiedener Intensitäten zu untersuchen. Ich construirte zu diesem Zwecke einen Apparat, der mir die Möglichkeit gab Pflanzen, *ceteris paribus*, nur unter verschieden intensivem Lichte wachsen zu lassen. Er bestand aus einem grösseren Kasten ohne Boden, der in sechs gleich grosse quadratische Abtheilungen durch Querwände getheilt ward. In jede von diesen Abtheilungen gelangte das Licht nur von einer Seite, nämlich von oben her. Um aber jeder Abtheilung verschiedene Intensitäten des Lichtes, und diese in einem bekannten Verhältniss zukommen zu lassen, wurde folgende Einrichtung angebracht. Die obern Decken waren aus Blech angefertigt, in welchem verschiedene kreisförmige Oeffnungen ausgeschnitten waren, deren Durchmesser sich zu einander wie

$$1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{1}{\sqrt{3}} : \frac{1}{\sqrt{4}} : \frac{1}{\sqrt{5}},$$

die Oeffnungen selbst also wie $1 : 1/2 : 1/3 : 1/4 : 1/5$ verhielten. Diese Oeffnungen wurden mit mattgeschliffenen Gläsern bedeckt, damit alle Strahlen, die darauf fielen, wenn auch dieselben direkt von der Sonne kamen, im inneren Raume zerstreut wurden. Durch Berechnung und Experiment wurde diejenige für die kleinste Oeffnung passende Entfernung von dem Boden ermittelt, und darnach die Höhe des Kastens bestimmt, welche nothwendig war, damit eine gewisse, für die Aussaat der Pflanze bestimmte Fläche möglichst gleichmässig beleuchtet wurde. Dies untersuchte ich mittelst eines Photometers, den ich zu diesem Zwecke construirte und der der Hauptsache nach dem Rithischen Photometer gleich war. Ich prüfte zuerst seine Sensibilität und fand, dass er bei Veränderungen der Lichtintensitäten bis zu 13 % fehlerhaft sein konnte. Um also den Fehler bei der Bestimmung der gleichmässig beleuchteten Fläche möglichst zu verkleinern, habe ich den, durch diesen Photometer als gleich in allen Punkten beleuchtet bestimmten Durchmesser, bei derselben Entfernung vom mattgeschliffenen Glase zweimal verkleinert. Selbstverständlich war die auf diese Weise ermittelte Höhe der betreffenden Abtheilung um so mehr für alle andern, mit grösseren Oeffnungen versehenen, passend. — Leider war ich damals noch nicht in dem Besitze des Roscoe'schen Apparats, so dass eine derartige Construction ziemlich beschwerlich und zeitraubend war. Mit Hülfe des Roscoe'schen Apparates würde dieselbe nicht nur sehr leicht ausführbar, sondern auch sehr genau und schnell zu machen gewesen sein. Der ganze Kasten wurde auf einen anderen breiteren, und

mit Erde gefüllten aufgestellt. Die einzelnen Abtheilungen waren sowohl zwischen einander als auch mit der äusseren Luft durch breitere knieförmig gekrümmte Röhren verbunden, die die Circulation der Luft ermöglichten, ohne das Licht von aussen und zwischen den Abtheilungen eindringen zu lassen.

Ausserdem wurden noch andere Einrichtungen angebracht, mit Hülfe deren man die Pflanzen nach Belieben oft sehen und die Temperatur in dem inneren Raume messen konnte. — Die letztere blieb nur dann bis zu 1° gleichmässig, wenn man die beiden dem Meridiane parallelen Seiten mit Stroh bedeckte, sonst war immer eine bis 5° steigende Erhöhung der Temperatur, — am Vormittag in der Ostseite, am Nachmittag aber in der Westseite des Kastens zu bemerken.

Leider war ich nur im August mit allen diesen Vorbereitungen fertig, so dass ich nur eine solche Pflanze für meinen Versuch wählen konnte, die rasch keimt und wächst; ausserdem war es selbstverständlich auch zu wünschen, dass die Saamen womöglich verhältnissmässig klein waren. Alles das glaubte ich in dem *Lepidium sativum* zu finden. Es wurden sechs Portionen Saamen aufgewogen, die alle das nämliche Gewicht besaßen, und von denen jede 120 Saamen enthielt.

Darauf wurde eine kreisförmige Scheibe von der Grösse der in jeder Abtheilung zur Aussaat bestimmten Fläche aus Papier ausgeschnitten und darauf 120 Punkte regelmässig vertheilt. Nachdem dies Papier in diesen Punkten durchlöchert worden war, legte man es der Reihe nach auf die den Abtheilungen im obern Kasten entsprechenden Flächen, und warf dann in jede Oeffnung einen Saamen hinein. Darauf stellte ich den Kasten mit den Gläsern sorgfältig über die bepflanztten Flächen und liess ihn darauf stehen bis zum Ende des Versuches. Der Raum, der sich bildete zwischen dem aufgestellten und dem unteren mit Erde gefüllten Kasten, dessen Seiten 4—5 Zoll über die Erde hervortraten, wurde dazu benutzt, um eine gleichmässige Befeuchtung des Bodens zu ermöglichen, indem ich in denselben von Zeit zu Zeit Wasser bis zu einer gewissen Höhe eingoss. Dasselbe sickerte durch den Boden und gab auf diese Weise eine sehr regelmässige Befeuchtung in allen sechs Abtheilungen.

Ich brauche kaum noch zu bemerken, dass die inneren Wände des Kastens schwarz bestrichen waren. Die mattgeschliffenen Gläser waren, damit sie der Regen nicht benetze, ausserdem noch mit

einfachen und etwas geneigten Glasscheiben bedeckt. Im entgegengesetzten Falle würden die gewählten Verhältnisse in der Beleuchtung ganz anders ausfallen, je nachdem mehr oder weniger Wassertropfen auf der mattgeschliffenen Scheibe liegen bleiben, und je nachdem sich das Wasser länger auf der einen als auf der andern Scheibe befindet.

Die Pflanzen keimten zu derselben Zeit, jedoch war schon am dritten Tag nach der Keimung eine Verschiedenheit im Wachsthum in den Abtheilungen zu bemerken.

Je mehr Licht, desto grüner erschienen die Blättchen, und je weniger, desto länger die Stengelchen. In der fünften Abtheilung blieben die Pflanzen eben so bleich wie in der sechsten, und dies während der ganzen Dauer des Versuches. Nach sieben Tagen waren die Blätter sehr deutlich grösser dort, wo das Licht intensiver, die Stengel deutlich länger dort, wo es dunkler war. Die verschiedenen Pflänzchen in jeder einzelnen Abtheilung waren vollkommen gleichmässig ausgebildet; gleiche Höhe, gleiche Länge und Breite der Blättchen, mit einem Worte vollkommen gleiches Aussehen. Die Blättchen waren in der ersten Abtheilung stark nach unten concav gekrümmt, in der zweiten war die Krümmung schwächer, in der dritten noch schwächer und in den letzteren war sie kaum sichtbar. Auf die letzte merkwürdige Erscheinung hoffe ich an einem anderen Orte zurückzukommen; ich begnüge mich vorläufig damit, dieselbe nur zu erwähnen¹⁾. Leider war ich genöthigt, den Versuch schon drei Wochen nach der Keimung fallen zu lassen. Es entwickelte sich nämlich eine Krankheit in den Stengelchen der Pflänzchen, deren Ursache mir unmöglich war zu ermitteln. Sehr viele Exemplare neigten sich allmählich knieförmig zur Seite, die Neigung stieg fortwährend. Der Stengel wurde im Knie der Neigung immer dünner und dünner, bis der obere Theil desselben sich vertical nach unten richtete, wo dann die Blättchen ihre untere Seite dem Lichte zuwendeten. Die Thatsache, dass in der Abtheilung

I	50
II	41
III	20
IV	13
V	0
VI	0 Exemplare

1) Näheres darüber in Bot. Zeit. 1854 p. 32 von Martius und Bot. Zeit. 1864 p. 372 von Sachs.

krank waren, liess mich vermuthen, dass diese Krankheit nicht durch Mangel an Licht bedingt sei. Dass dieselbe nicht durch allzustarkes Licht hervorgebracht sein konnte, ist von selbst verständlich; die Intensität des Lichtes war ja in dem ersten Kasten sogar gewiss geringer als 0,1 derjenigen, die im Freien auf die Pflanzen einwirken konnte, und bei welcher dieselben sehr gut gediehen. Indessen will ich auf diese Thatsache hier nicht näher eingehen, da sie doch einer genaueren Prüfung bedarf. Immerhin vermute ich, dass das Licht, oder besser die Art und Weise, wie es den Pflanzen zukam, nicht ohne Einfluss auf die soeben besprochene Erscheinung war.

Ich nahm also den oberen Kasten weg und zog alle vollkommen gesund gebliebenen Exemplare sammt den Wurzeln aus dem Boden heraus, was sich bei der Feuchtigkeit desselben ziemlich leicht thun liess. Alle so ausgezogenen Pflänzchen wurden für jede besondere Abtheilung gezählt, und wir erhielten auf diese Weise:

in Abtheilung	gesunde Pflänzchen
I	50
II	80
III	90
IV	100
V	110
VI	101

Die Blättchen wurden mit einer scharfen Scheere sorgfältig abgesehritten und Stengel und Blätter einzeln für jede besondere Abtheilung eingetrocknet. Darauf wurden dieselben aufgewogen und man erhielt Zahlen, die zu folgender Tabelle führten.

Das Gesamtgewicht von Wurzeln, Stengeln und Blättern für die Abtheilung I mit Lichtintensität I als 100 gesetzt, war folgendes:

Nr. der Abtheilung	Lichtintensität	Gewicht
I	1	100
II	$\frac{1}{2}$	99,5
III	$\frac{1}{3}$	100
IV	$\frac{1}{4}$	101
V	$\frac{1}{5}$	98
VI	dunkel	100

In diesem Falle ist, wie schon von Boussingault¹⁾ recht genau bewiesen wurde, das Gewicht der organischen Substanz der im Dun-

1) Comptes rendus 1864. P. 58. p. 883.

keln aufgewachsenen Pflanze jedenfalls kleiner als das der Saamen. In allen Abtheilungen also übersteigen die Gewichte der Pflanzen noch nicht die der Saamen. Die Zahlen dieser Tabelle sind so nahe einander gleich, dass wir die unbedeutenden Differenzen als Fehler ansehen können, durchaus nicht aber als etwas durch verschiedenes Licht Bedingtes, und dies um so mehr, da ja die Ab- oder Zunahme selbst in diesen kleinen Differenzen in keiner Beziehung mit den Lichtunterschieden steht. Die Grösse der Blätter aber, die sehr deutlich mit der zunehmenden Lichtintensität wuchs, liess es schon vermuthen, dass das Gewicht derselben in allen Abtheilungen nicht das nämliche sei. Die Blätter, und die Stengel mit den Wurzeln einzeln gewogen, und für ein Pflanzenindividuum dann in jeder Abtheilung berechnet, gaben folgende Zahlen:

auf 100 Gewichtstheile:

Abtheilung	Blätter	Stengel u. Wurzeln
I	30	70
II	22	78
III	18	82
IV	17	83
V	16,5	83,5
VI	16,7	83,3.

Man sieht also hier eine deutliche Zunahme im Gewichte der Blätter mit der zunehmenden Lichtintensität. Vergleicht man beide Tabellen mit einander, so wird man auch leicht bemerken, dass die Zunahme der Gewichte bei den Stengeln und Wurzeln umgekehrt geht, d. h. sie wächst mit der Abnahme der Lichtintensität. Wir können aus diesem Versuche schliessen, dass in einem Alter, wo noch die Pflanzen ihre organische Substanz auf Kosten der im Saamen enthaltenen bilden, — wenn auch ihre gesammte organische Substanz dem Gewichte nach nicht durch die verschiedenen Lichtintensitäten modificirt ist, — schon mit der Zunahme der Lichtintensität eine Zunahme des chlorophyllhaltigen Blattes, mit der Abnahme derselben eine in derselben Proportion stattfindende Zunahme des chlorophyllfreien Stengels vorhanden ist. Auch sind im letzteren Falle die Stengel länger und ebenso die Wurzeln, und dies ist durchaus durch nichts Anderes als durch Mangel an Licht bedingt, denn gerade so verhielten sich auch die in der dunkeln Abtheilung erwachsenen Pflänzchen.

Ueberhaupt waren die Pflanzen in Nr. V u. VI vollkommen, sowohl ihrem Aussehen, als auch ihrem Gewichte nach, einander

ähnlich: Die Lichtmenge, die der Abtheilung Nr. V zukam, war zu gering, um irgend einen Unterschied in dem Wachsthum der Pflanzen, wenigstens bis zu dem betreffenden Alter hervorrufen zu können. Es kann hier selbstverständlich keine Rede davon sein, ein anderes Verhältniss zwischen dem Zuwachse der Blätter und den Lichtintensitäten zu finden, als das eben angeführte.

Man sieht hier nicht, ob die Chlorophyllbildung direkt proportional der dem Lichte geht, und kann auch von so schwierig anzustellenden und so kurz dauernden Versuchen nicht eine zu grosse Genauigkeit der Resultate erwarten; indessen glaube ich eine ziemlich praktische Art und Weise, wie man dasselbe erforschen könnte, angedeutet zu haben. — Aber alle Schwierigkeiten, die in dem so construirten Apparate mir vorgekommen sind, fallen von selbst weg, sobald man dazu eine einfache und genaue photometrische Methode in Anwendung bringen kann. Und dies haben wir, wie schon früher erwähnt, vollkommen in dem Roscoe'schen Apparate gefunden. Ich will hier in der Kürze erwähnen, wie man bei der Construction des betreffenden Apparates den Roscoe'schen Photometer zu Hülfe nehmen muss.

Da die Schwankungen in den chemischen Strahlen, wie wir das schon öfters bemerkten, sehr schnell wechseln können und die Zeit, die nothwendig ist, um eine genügende Schwärzung des photographischen Papiers zu bekommen, doch eine ziemlich beträchtliche sein kann, je nachdem freilich demselben mehr oder weniger Licht zukommt, so kann man zuverlässige Resultate nur dann erhalten, wenn man die relativen Lichtintensitäten zweier oder mehrerer gegebenen Stellen gleichzeitig untersucht. Den Gang der Untersuchung würde man bei meinem Apparate folgendermaassen anstellen müssen: Man hat zuerst die Entfernung aufzusuchen, welche nothwendig ist, damit eine gewählte zur Aussaat bestimmte Fläche gleichmässig beleuchtet erscheint. Man braucht dazu nicht einen Papierstreifen mit neun Oeffnungen und untergelegtem photographischen Papier, wie man derartiges bei dem Roscoe'schen Apparate anwendet, sondern man gebraucht einen solchen mit so vielen Oeffnungen, wie viele derselben in den Durchmesser der gegebenen Fläche je nach ihrer Dimension hineingehen können.

Unter allen diesen Oeffnungen setzt man, wie sonst, bis zu ihrer Hälfte photographisches Papier und befestigt darauf den ganzen Papierstreifen auf einem Lineal mit breiter Fläche. Ein anderes Lineal kann dazu dienen, um die Oeffnungen mit dem photographi-

schen Papier vor und nach dem Versuche zu bedecken, und auf diese Weise dieselben vor fremdem Lichte zu schützen. — Bringt man einen der auf diese Weise angefertigten Streifen möglichst horizontal unter die Glasscheibe, so kann man leicht in jeder Entfernung von derselben bestimmen, wie gross der Durchmesser des Kreises ist, der in allen seinen Punkten gleichmässig beleuchtet ist, und auf diese Weise auch die Entfernung finden, bei welcher der Durchmesser einer gewählten Fläche in derselben Bedingung sich befindet. Die gefundene Entfernung giebt also das Maass für die Höhe des Apparates. Man muss jedoch nicht vergessen, dass die Pflanzen, welche auf diese Fläche gesäet sind, wachsen und ihre Höhe verändern, dass somit also das Verhältniss in der Beleuchtung der Blätter nicht gleich bleiben kann. Es ist also nothwendig, je nach der Höhe, zu der die gewählten Pflanzen hinreichen können, die Glasscheibe noch vorher von dem Boden zu entfernen. Dieselbe Höhe des Apparates wird also um so mehr die gesuchten Bedingungen für alle anderen mit grösseren Oeffnungen versehenen Abtheilungen erfüllen. — Nachdem dies geschehen ist, muss man nur noch die relativen Lichtintensitäten der Abtheilungen messen. Zu diesem Zweck untersuche man gleichzeitig zwei Punkte, von denen der eine in der Abtheilung Nr. I liegt, der andere in Nr. II, darauf wiederholt man dasselbe zwischen II und III, zwischen III und IV u. s. f. — Auf diese Weise erhält man das Verhältniss der Lichtintensitäten in I, II, III u. s. w. Bei gleichzeitig ausgeführtem Versuche braucht man selbstverständlich die Zeiten nicht zu messen, was die Arbeit noch um so mehr erleichtert. Wiederholt man diese Messungen mehrere Mal nach der Reihe, und zieht von den gefundenen Zahlen die Mittelwerthe ab, so kann man sich in kurzer Zeit einen sehr passenden Apparat construiren, um Pflanzen unter verschiedenen und in einem gewissen ermittelten Verhältnisse stehenden Lichtintensitäten wachsen zu lassen.

Wenn man im Besitze eines grösseren verdunkelten Raumes ist, so kann man für den betreffenden Zweck eine noch einfachere Construction anwenden. — Man braucht nur das Licht durch eine kreisförmige Oeffnung von oben her eintreten zu lassen. Vermittelst eines Cylinders, den man in diese Oeffnung vertical einstellt und eines oder zweier mattgeschliffener Gläser kann man leicht eine gleichmässige Dispersion des Lichtes in dem gegebenen Raume hervorbringen, und dieselbe bei jedem Stande der Sonne und bei beliebiger Bewölkung des Himmels unverändert erhalten. Wenn man dem Cylinder

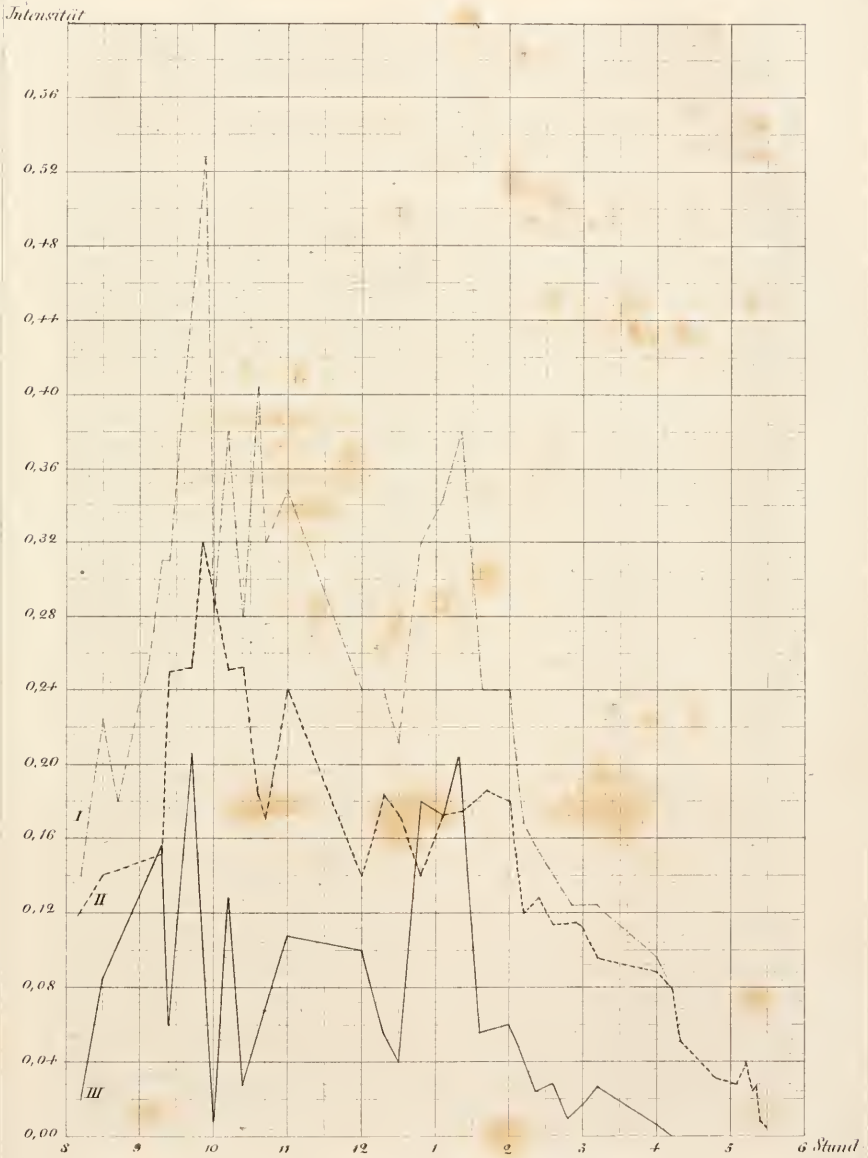
eine solche Höhe giebt, dass die direkten Sonnenstrahlen sogar bei dem höchsten Stande der Sonne ins Innere des Raumes nicht eindringen können, so kann man dadurch in demselben eine ziemlich gleichmässige Abstufung in der Beleuchtung des Bodens hervorbringen, ohne sonst irgend welche andere Einrichtung. — Der Punkt auf dem Boden, der sich unmittelbar in der Verlängerung der Axe des Cylinders befindet, wird freilich am meisten beleuchtet; je mehr man aber sich von ihm in derselben Horizontalebene entfernt, desto geringer wird die Lichtmenge, und endlich, wenn man zu dem Punkte auf dem Boden kommt, wo die Diagonale des Cylinders bei ihrer Verlängerung den Boden trifft, ist dieser die Grenze der beleuchteten Fläche. Alles was noch weiter darüber zu liegen kommt, kann man durch reflectirendes Licht erhalten. Auf diese Weise bekommen wir auf dem Boden des gegebenen Raumes eine Reihe concentrischer Kreise mit abnehmender Lichtintensität. Der Raum aber muss bei dieser Einrichtung, wie gesagt, ziemlich gross sein, weil wir hier nicht mit Punkten oder Linien, sondern mit Pflanzen zu thun haben, und diese doch auch einen gewissen Raum einnehmen müssen. Selbstverständlich wird die Beleuchtung einer Pflanze desto gleichmässiger sein, je grösser der Apparat im Verhältniss zur gegebenen Pflanze ist.

Bei allen diesen Einrichtungen braucht man ausser den mathematischen Berechnungen, die hier jedenfalls schwierig ausfallen werden, da man ja nichts allzusehr Genaueres sowohl in der Verfertigung der Apparate, als auch in der gleichmässigen Schleifung der Gläser erwarten kann, ein Photometer, der uns schon bei dem aufgebauten Apparate die relativen Beleuchtungen in jedem beliebigen Punkte desselben unmittelbar zeigt. Einem solchen Photometer begegnen wir in dem Roscoe'schen Apparate. Man kann mittelst der von ihm angegebenen Methode, und bei zweckmässigem Gebrauche seines photographischen Papiers, die Lichtintensität in jedem beliebigen Punkte nicht nur in einem gegebenen Raume, sondern sogar auf einer und derselben Pflanze nachmessen. — Freilich alles dies nur bei zweckmässiger Einrichtung des betreffenden, zum Lichtversuchen mit Pflanzen bestimmten Apparates, also immer da, wo die Ab- oder Zunahme der Intensitäten in der Beleuchtung nur durch die grössere oder kleinere Entfernung der gegebenen Pflanze von der leuchtenden Quelle, nicht aber durch Veränderung der Farbe oder überhaupt durch Verschiedenheit der von zwei verschiedenen Lichtquellen herrührenden Intensitäten bedingt ist. Unter dieser Bedingung

allein zeigen uns die Schwärzungen des photographischen Papiers nicht nur die relativen Intensitäten der dabei wirkenden chemischen Strahlen, sondern auch die für sämtliche Strahlen, welche dabei wirken.

Es bleibt mir nur noch dem Himmel dafür zu danken übrig, dass er in diesem Sommer so ausserordentlich gefällig gegen derartige Versuche sich gezeigt und immer heiter auf sie heruntergeblickt hat.

Den 4^{ten} October 1865
auf dem Königsstuhl bei Heidelberg bei vollkommen reinem Himmel



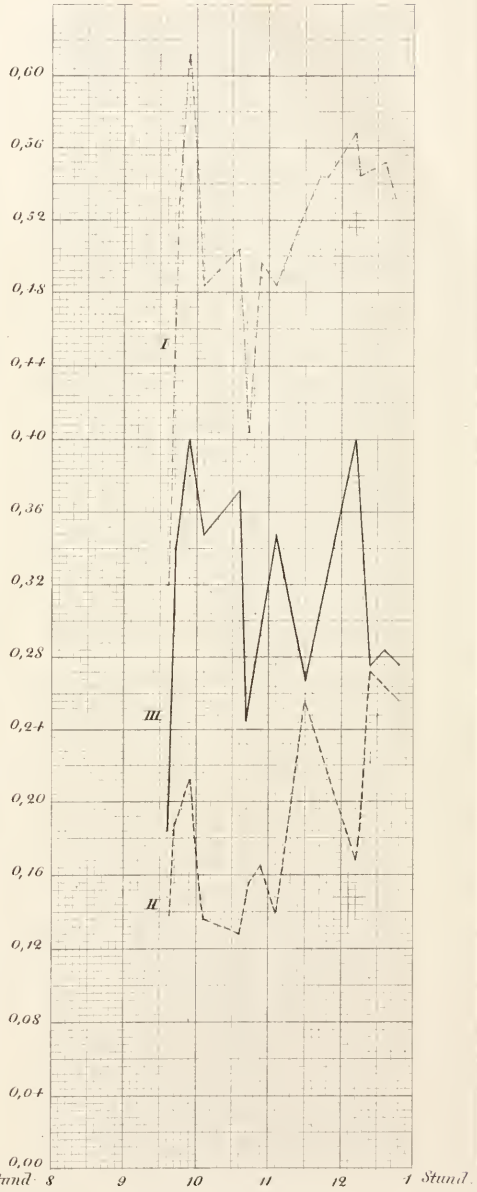
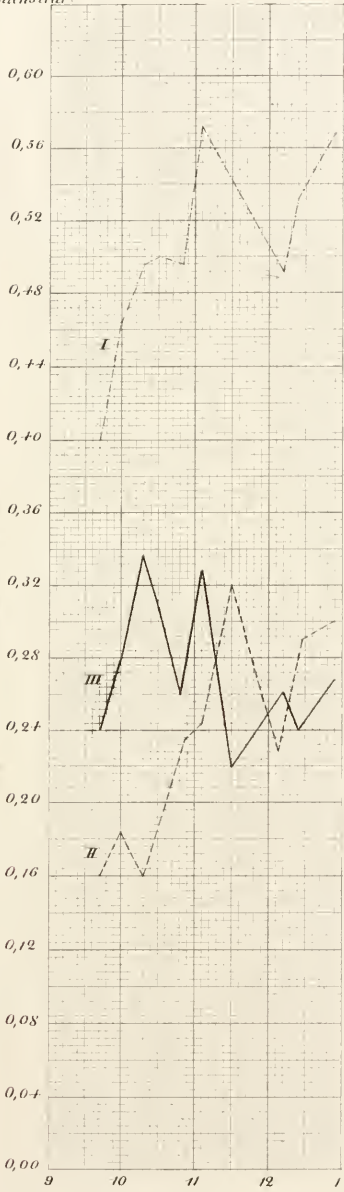
Curve N^o I. Sonne und Himmel
" N^o II. Himmel allein.
" N^o III. Sonne allein.

Auf dem Königsstuhl bei Heidelberg
bei vollkommen heiterem Himmel

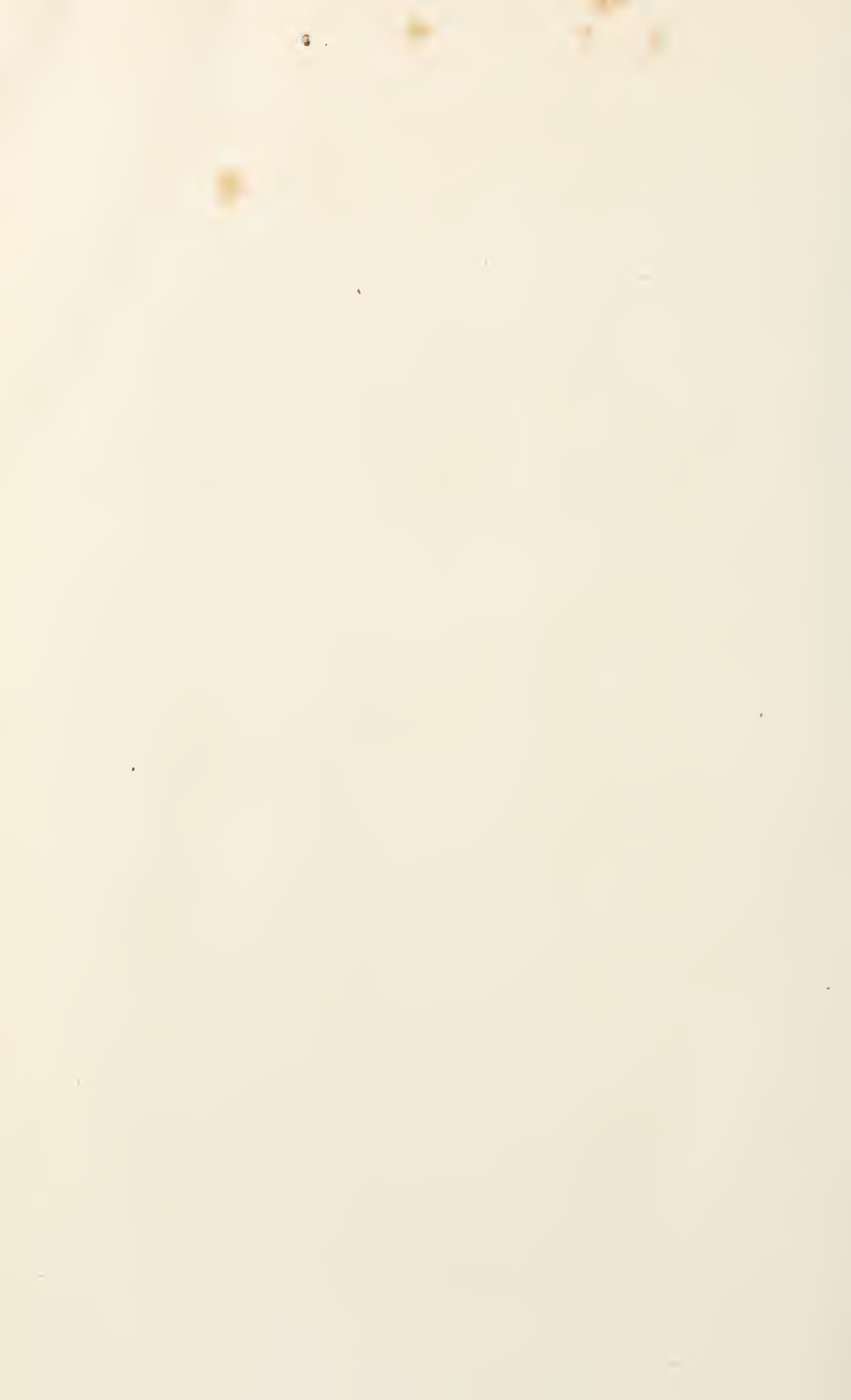
den 3^{ten} Juli 1865.

den 7^{ten} Juli 1865.

Intensität.



Curven N^o I. Sonne und Himmel.
 „ N^o II. Himmel allein.
 „ N^o III. Sonne allein.



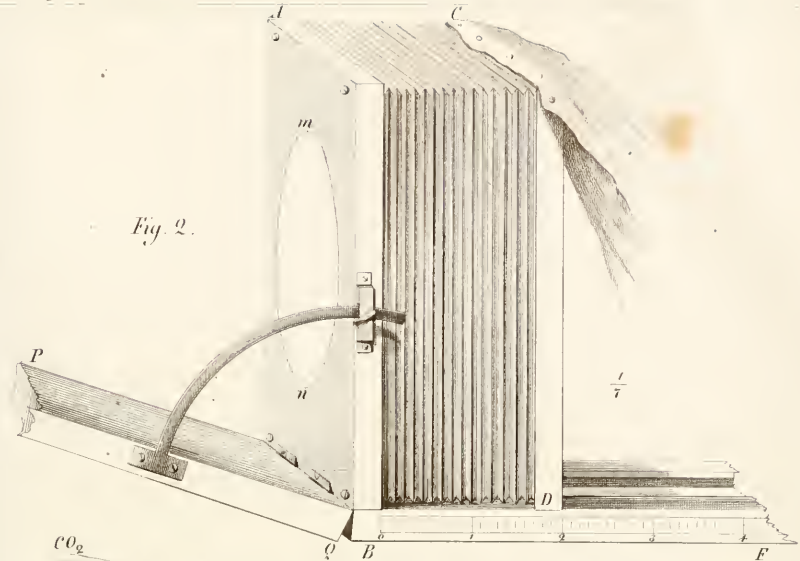


Fig. 2.

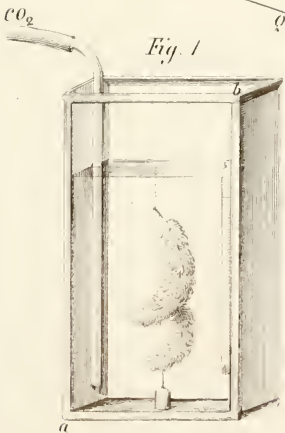


Fig. 1.



Fig. 4.



Fig. 3.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1866-1867

Band/Volume: [5](#)

Autor(en)/Author(s): Wolkoff Alexander von

Artikel/Article: [Einige Untersuchungen über die Wirkung des Lichtes von verschiedener Intensität auf die Ausscheidung der Gase durch Wasserpflanzen. 1-30](#)