XXV.

Die Lichtabsorption in assimilirenden Blättern.

Von

Dr. E. Detlefsen
in Wismar.

(Mit 3 Holzschnitten.)

Der wichtigste von allen chemischen Prozessen, die in den Pflanzen durch das Licht veranlaßt werden, ist die Assimilation. Die in den durchleuchteten chlorophyllhaltigen Organen gebildeten Kohlehydrate sind ja diejenigen Stoffe, aus denen sämmtliche anderen verbrennlichen Substanzen des Pflanzen- und Thierkörpers sich bilden. »Die Lichtwellen dringen in die oberirdischen Pflanzentheile mehr oder minder tief ein, sie werden nach Maßgabe ihrer Brechbarkeit und Schwingungsintensität in verschiedenen Schichten des Gewebes absorbirt, d. h. die betreffenden Bewegungsformen des Lichtäthers setzen sich hier in andere Bewegungen um, geben zu chemischen, thermischen, mechanischen und anderen Veränderungen in den Zellen die Kräfte her: die Lichtstrahlen sind Kraftquellen, welche der Pflanze von außen her zufließen«[1]). Bei der Assimilation wird Energie der Bewegung in Energie der Lage, lebendige Kraft der Ätherschwingungen in chemische Spannkraft (kinetische Energie in potentielle) umgewandelt, und so der Kraftvorrath gesammelt, der allein organisches Leben möglich macht.

Bekanntlich wurde schon zu Anfang dieses Jahrhunderts die Entdeckung gemacht, daß von den im weißen Sonnenlichte vereinigten Strahlen ungleicher Brechbarkeit die Strahlen größerer Brechbarkeit, die blauen und violetten, weit energischer Chlorsilber zersetzen als die weniger brechbaren rothen, gelben und grünen Strahlen. Es lag nahe zu vermuthen, daß auch bei der Assimilation die Strahlen größerer Brechbarkeit von besonders energischer Wirkung seien, und da einige fehlerhaft angestellte Versuche dies zu bestätigen schienen, wurde diese Vermuthung allgemein

1) J. Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen. Leipzig 1865. Seite 1.

als richtig angesehen, und wir lesen z. B. in dem von Brandes verfassten Artikel »Licht« in Gehlers Physikalischem Wörterbuch[1]) folgendes: »So ist auch das Licht zum Leben, wenigstens der höheren Pflanzen, durchaus erforderlich, sofern blos in ihm, ohne daß höhere Temperatur dasselbe zu ersetzen vermöchte, die Zerlegung der Kohlensäure in sich entwickeludes Sauerstoffgas und in zurückbleibenden Kohlenstoff erfolgt; auch hier zeigt sich nach Sennebier und Tessier das violette Licht unter den gefärbten Strahlen am wirksamsten.« Diese verkehrte Ansicht blieb auch dann noch die herrschende, als schon die Untersuchungen von Daubeny[2]) und Draper[3]) vorlagen, in denen der Sachverhalt im wesentlichen richtig dargestellt ist, und von denen besonders die letztere alle Beachtung verdient hätte. Diese wurde ihr aber nicht zu Theil, und sie wurde zuletzt völlig vergessen.

Als 20 Jahre später J. Sachs[4]) eine umfassende Untersuchung über die Wirkungen der stärker brechbaren Strahlen des Sonnenlichtes, die von einer genügend konzentrirten Lösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak, und der weniger brechbaren (rothen, gelben und grünen) Strahlen, die von einer Kaliumbichromatlösung durchgelassen werden, auf verschiedene Lebensäußerungen der Pflanzen anstellte, war er daher mit Recht erstaunt zu finden, daß die Menge des von demselben Sproß im gemischten orangen Lichte abgeschiedenen Sauerstoffs fast ebenso groß ist, wie im weißen Sonnenlichte, daß dagegen die Gasabscheidung im gemischten blauen Lichte äußerst geringfügig ist. Chlorsilberpapier ließ im gemischten orangen Lichte der die Pflanzen enthaltenden Apparate keine merkliche Veränderung während der Beobachtungszeit erkennen, bräunte sich dagegen im gemischten blauen Lichte sehr energisch. Die hier zuerst angewandte, von Sachs erfundene Methode der Gasblasenzählungen zu beschreiben ist überflüssig, da dieselbe allgemein bekannt ist, und da sie auch zu Demonstrationszwecken wohl in jedem Kolleg über Pflanzenphysiologie verwandt wird.

Sachs suchte dann in der älteren botanischen Literatur nach Arbeiten, die denselben Gegenstand behandelt hatten, und fand deren außer den beiden eben erwähnten mehrere, von denen er am angeführten Orte eine kritische Besprechung gab, die man dort nachsehen möge.

Wir haben im vorliegenden Falle ein Ereigniß, das in der Geschichte der Wissenschaften sich öfter wiederholt. Eine Entdeckung wird auf einem bis dahin wenig bearbeiteten Gebiete gemacht. Niemand weiß die gefundene Thatsache zu verwerthen, und sie bleibt völlig unbeachtet, sie muß sogar bei einem gesunden Zustande der Wissenschaft unbeachtet

1) 2. Aufl. 1831. Band VI. S. 307.
2) Philosoph. Transactions. 1836. P. I. p. 149 ff.
3) Annal. d. Chim. et d. Phys. 1844. p. 214 ff.
4) »Wirkungen farbigen Lichtes auf Pflanzen.« Botanische Zeitung. 1864. S. 353 ff.

bleiben. Neu aufgefundene Thatsachen sind ja nur dann von Bedeutung, wenn sie mit anderen Thatsachen verknüpft werden.

Die Zusammenfassung gleichartiger Erscheinungen, ihre Darstellung unter gemeinschaftlichen Gesichtspunkten, die Auffindung der Einheit in dem Vielfachen macht die Wissenschaft. Eine bloße Zusammenhäufung von Thatsachen ist das gerade Gegentheil davon[1]). Darum ist es auch im Grunde gleichgültig, wer zuerst eine Thatsache beobachtet hat. Wichtig ist, wer sie zuerst richtig verstanden hat. Nur auf die Gedanken, welche sich an die Thatsachen anknüpfen, und auf deren logische Verbindung kommt es an, und wir sind nur dann berechtigt von einer bedeutenden, von einer großen Entdeckung zu sprechen, wenn neue fruchtbare Bahnen durch dem erkennenden Geiste eröffnet werden. Draper's Arbeit stand isolirt u wäre unbeachtet geblieben, wenn nicht Sachs' Abhandlung den Ausgan punkt für den Fortschritt der Wissenschaft auf diesem Gebiete gebil hätte, denn hier tritt die erwähnte Thatsache nicht vereinzelt auf. W doch in der citirten Abhandlung gezeigt, daß die stärker brechbaren u die weniger brechbaren Strahlen des Sonnenlichtes auf verschiedene Lebe äußerungen der Pflanzen in völlig ungleicher Weise einwirken.

Die Frage, »welche Wirkung haben die einzelnen ungleich brechba Strahlen des Sonnenlichtes auf die Assimilation?« wurde von W. Pfeffer Würzburger botanischen Laboratorium unter Sachs' Leitung weiter unt sucht[2]). Als Versuchsobjekte dienten möglichst gleiche Blätter von La pflanzen. Ihre Assimilationsenergie wurde durch Messung der von ihn während der Besonnung zersetzten Kohlensäuremengen bestimmt, was Leichtigkeit nach bekannter gasometrischer Methode ausführbar ist.

Die Eudiometer, in denen sich die Blätter befanden, waren mit dopp wandigen Glasglocken bedeckt. In jedem Versuche wurden mehrere hergerichtete Objekte den Sonnenstrahlen ausgesetzt, und zwar war Füllung des Zwischenraumes zwischen den beiden Wänden der Glasgloc bei einer immer Wasser, bei jeder der anderen eine zweckmäßig gewäl Farbstofflösung von bekannter Lichtabsorption, so daß also von jedem Vergleichsobjekte bestimmte Strahlengruppen abgehalten waren, die zu d hinter Wasser besonnten Blatte ungehinderten Zutritt hatten. Da die Ob flächengröße der benutzten Blätter und die Dauer der Beleuchtung beka war, konnte in jedem Falle die von einem Blattstück von 100 qcm Gr in der Stunde zersetzte Kohlensäuremenge berechnet werden. Die erh tenen Resultate sind dadurch übersichtlicher gemacht, daß bei jedem V suche die im weißen Licht, unter der mit Wasser gefüllten Glocke, zersetzte Kohlensäuremenge gleich 100 gesetzt wurde. Die unvermeidliche Fehler-

1) Die gegenwärtige botanische Litteratur krankt daran, daß dieser Sachverhalt nicht immer genügend beachtet wird.

2) Arb. des bot. Inst. Bd. 1. S. 1—76.

quelle bei diesen Versuchen, die Ungleichheit der benutzten Blätter, deren Assimilationsenergie verglichen wurde, ist dadurch unschädlich gemacht, daß Pfeffer eine genügend große Zahl von Messungen machte und aus den erhaltenen Resultaten das Mittel berechnete. Ich gebe hier Pfeffer's Tabelle[1]) dieser Mittelwerthe, und um zu zeigen, welchen Grad von Zuverlässigkeit seine Bestimmungen haben, berechnete ich nach bekannter Methode[2]) für jeden den wahrscheinlichen Fehler, den ich daneben stelle.

Das Licht ging durch:	Assimilationsenergie
Wasser	100
Kaliumbichromatlösung	88,6 ± 1,2
Kupferoxydammoniaklösung	7,6 ± 0,4
Orsellinlösung	53,9 ± 1,1
Anilinviolett in Alkohol	38,9 ± 1,1
Anilinroth in Alkohol	32,1 ± 1,0.

Durch Benutzung dieser 5 Farbstofflösungen ist eine genauere Orientirung über die Leistung der verschiedenen Strahlen von ungleicher Wellenlänge, aus denen das Sonnenlicht besteht, ermöglicht. Unterscheiden wir unter ihnen folgende Gruppen:

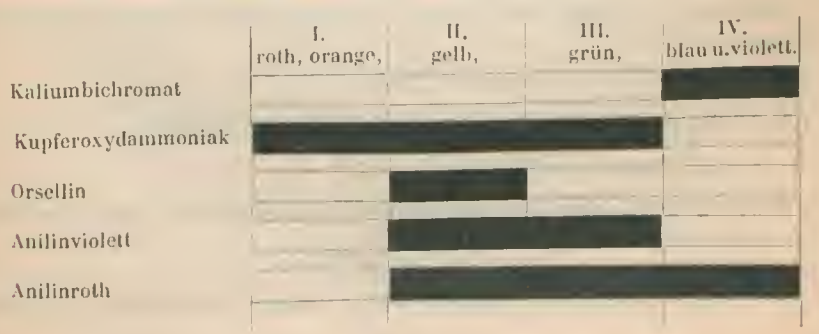
Gruppe I, rothes und oranges Licht, Strahlen, deren Wellenlänge 77 bis 59 Hunderttausendtel Millimeter beträgt;

Gruppe II, gelbes Licht, Wellenlänge 59 bis 53 Hunderttausendtel Millimeter;

Gruppe III, grünes Licht, Wellenlänge 53 bis 49 Hunderttausendtel Millimeter;

Gruppe IV, blaues und violettes Licht, Wellenlänge kleiner als 49 Hunderttausendtel Millimeter.

Die Lichtabsorption der benutzten Lösungen kann durch folgendes Schema dargestellt werden. Die schwarzen Felder bezeichnen, daß die Strahlen der betreffenden Gruppe absorbirt werden.



1) l. c. p. 44.

1) Vergl. Kohlrausch, Leitfaden der praktischen Physik. VI. Aufl. Leipzig 1887. S. 2.

Unter der Voraussetzung, daß

1. die absorbirten Strahlen so weit geschwächt sind, daß ihre Wirkung auf die Assimilation verschwindend wird,
2. die durchgelassenen Strahlen nicht merklich an Intensität verloren haben,
3. die Wirkung jeder Strahlengruppe unverändert bleibt, ob sie nun allein oder kombinirt mit anderen auf die Blätter wirkt,

kann die Wirkung jeder Strahlengruppe berechnet werden. Die folgende von mir angestellte Berechnung der jeder Strahlengruppe entsprechen relativen Assimilationsenergie — die Leistung aller im weißen Licht v einigten Strahlen gleich 100 gesetzt — weicht insofern von der Pfeff ab[1]), als ich von der Voraussetzung ausging, daß sämmtlichen oben n getheilten Bestimmungen derselbe Grad von Genauigkeit zugeschriel werden könne. Statt also z. B. für die Bestimmung der relativen Assim tionsenergie des blauen und violetten Lichts blos das Mittel aus den M sungen für Kupferoxydammoniak zu Grunde zu legen (relative Fehlergr $^1/_{19}$, s. oben), kann man diesen Werth nach den bekannten Prinzipien Wahrscheinlichkeitsrechnung (»Methode der kleinsten Quadrate«) so rechnen, daß er auch mit den anderen Messungen so genau als mögl übereinstimmt.

Es sei die relative Assimilationsenergie des rothen und orangen Lich gleich x, die des gelben gleich y, die des grünen gleich z und die des blau und violetten gleich w.

Die Wirkung des weißen Lichtes ist

$$100 = x + y + z + w\,,$$

die Wirkung des Lichtes, das durch eine Lösung von Kaliumbichromat gangen,

$$88{,}6 = x + y + z\,,$$

die Wirkung des Lichtes, das durch eine Lösung von Kupferoxydammon gegangen,

$$7{,}6 = w\,,$$

die Wirkung des Lichtes, das durch Orsellinlösung gegangen,

$$53{,}9 = x + z + w\,,$$

die Wirkung des Lichtes, das durch eine Lösung von Anilinviolett gegang

$$38{,}9 = x + w\,,$$

die Wirkung des Lichtes, das durch eine Lösung von Anilinroth gegangen,

$$32{,}1 = x\,.$$

1) S. 44 seiner Abhandlung.

Aus diesen 6 Gleichungen ergeben sich nach der Methode der kleinsten Quadrate folgende

$$5x + 2y + 3z + 3w - 313{,}5 = 0\,,$$
$$2x + 2y + 2z + w - 188{,}6 = 0\,,$$
$$3x + 2y + 3z + 2w - 242{,}5 = 0\,,$$
$$3x + y + 2z + 4w - 200{,}4 = 0\,.$$

Hieraus findet man nach bekannten algebraischen Methoden

$$x = 31{,}325\,,\quad y = 44{,}575\,,\quad z = 14{,}225\,,\quad w = 8{,}350\,.$$

Es ist also in folgenden Strahlengruppen:	die relative Assimilationsenergie:
roth und orange	31,3
gelb	44,6
grün	14,2
blau und violett	8,4.

Diese Zahlen weichen von den in Pfeffer's Arbeit mitgetheilten nur unerheblich ab, so daß das Resultat »fast die Hälfte der ganzen zersetzenden Kraft des Sonnenlichtes kommt den gelben Strahlen zu, von welchen aus dieselbe nach beiden Seiten des Spektrums schnell abnimmt« praktisch dasselbe bleibt[1]. Theoretisch ist dagegen die eben gegebene Ableitung von Wichtigkeit, denn Lommel's Einwand[2], Pfeffer habe nur deshalb den Zersetzungswerth des rothen und orangen Lichtes kleiner als den des gelben gefunden, weil die Anilinrothlösung auch die rothen Strahlen erheblich geschwächt hätte, ist den von mir berechneten Zahlen gegenüber nicht mehr aufrecht zu erhalten.

Das Resultat dieser Berechnung ist unvereinbar mit der Behauptung von Lommel[3] »Für die Assimilationsthätigkeit der Pflanze sind die wirksamsten Strahlen diejenigen, welche durch das Chlorophyll am stärksten absorbirt werden und zugleich eine hohe mechanische Intensität (Wärmewirkung) besitzen. Es sind dies die rothen Strahlen zwischen *B* und *C*.« Zu diesem deductiv abgeleiteten Satze gelangte Lommel ausgehend von dem richtigen Satze, daß die Strahlen, welche in den Blättern chemische Arbeit leisten, von ihnen absorbirt werden. Er kehrte diesen Satz einfach um und behauptete: »Die Strahlen, welche von den Blättern absorbirt werden, leisten in ihnen eine ganz bestimmte chemische Arbeit, nämlich die Zersetzung der Kohlensäure und Bildung der Stärke.

Übrigens war besonders damals die Vorstellung, daß die selektive Absorption, die Farbe, des Chlorophylls in irgend einer Beziehung zu seiner Leistung bei der Assimilation stehen müsse, ziemlich verbreitet. Auch

1) Pfeffer l. c. p. 46.
2) Poggendorff's Annalen. Bd. 143 (1871). S. 583.
3) l. c. p. 581.

Pfeffer drückte sich in der besprochenen Arbeit noch sehr vorsichtig über diese Frage aus. Er hatte hinter ziemlich konzentrirten Chlorophylllösungen nur eine geringe Assimilationsenergie gefunden (10—20 % der Leistung im weißen Lichte) und sagt darüber[1]:

»Der mittlere Zersetzungswerth von 15,9 erscheint auffallend gering, wenn man bedenkt, daß die Absorptionsstreifen von Gelb und Grün nur wenig und auch von den orangen und rothen Strahlen nur einen Theil ve dunkeln. Freilich wird auch von den zwischen den Absorptionsstreif liegenden Strahlen ein erhebliches Quantum absorbirt, wie deren sehr ei schiedene Lichtschwächung unzweifelhaft darthut. Diese Lichtschwächu kann sehr wohl die Ursache sein, daß die Assimilation hinter einer Chlor phylllösung so auffallend beeinträchtigt wird, doch fehlen wieder b stimmte Anhaltspunkte, um eine andere Möglichkeit zu widerlege daß nämlich die in den Absorptionsstreifen ausgelöschte Lichtstrahlen die Assimilation in ganz überwiegender Wei einleiten können.«

Da das Maximum der Lichtabsorption im Chlorophyll zweifellos i rothen Theil des Spektrums liegt — der zwischen *B* und *C* liegende dunk Streifen ist bei geringer Konzentration der Lösung oder bei Untersuchu dünner Blätter im Sonnenlichte allein wahrnehmbar — müßte eine ga überwiegende Leistung der in den Absorptionsstreifen ausgelöschte Lichtstrahlen zu einer ganz anderen Vertheilung der Assimilationsenerg in den 4 verschiedenen Spektralbezirken führen, als wir sie eben kenne gelernt haben. Doch war es nicht zu verwundern, daß, da Pfeffer selb sich so wenig bestimmt ausgedrückt hatte, Lommel noch einen Schritt weit ging und aus Pfeffer's Versuchen glaubte folgern zu können, daß die i dem zwischen *B* und *C* liegenden Absorptiousstreifen ausge lösehten rothen Lichtstrahlen die Assimilation in ganz übe wiegender Weise bewirken.

Jetzt unternahm Pfeffer eine neue Versuchsreihe[2]. Die von eine Heliostaten reflektirten Sonnenstrahlen gelangten durch einen Spalt in d verdunkelte Versuchszimmer, wo in der bekannten Weise durch Prisn und Linse ein objektives Spektrum von großer Lichtstärke hervorgebrac wurde. Die relative Assimilationsenergie in den verschiedenen Bezirke desselben wurde durch die von Pfeffer früher nur nebenbei benutzten Ga blasenzählungen bestimmt. Die meisten Gasblasen wurden im intensivste Gelb abgeschieden. In allen anderen Spektralbezirken ist die Gasabsche dung geringer. Auch den Absorptionsstreifen des Chlorophylls entsprech

1) S. 49 u. 50.

2) Bot. Zeitung. 1872. No. 23 ff. Sitzungsberichte der Gesellschaft zur Beförderu d. ges. Naturw. z. Marburg. 1872. No. 4.

keine Strahlengruppen von besonders hervorragender Wirksamkeit. Wenn die Assimilationsenergie als Funktion der Wellenlänge nach diesen Versuchen graphisch dargestellt wird, zeigt die erhaltene Kurve keine den Absorptionsstreifen des Chlorophylls entsprechenden sekundären Maxima.

Auch Sachs[1]) hat sich mit aller Bestimmtheit dahin ausgesprochen, daß die Absorptionsstreifen des Chlorophyllfarbstoffes in keiner kausalen Beziehung zur Funktion der Chlorophyllkörner bei der Zersetzung der Kohlensäure stehen. Dasselbe hatte Gerland[2]) aus Pfeffer's zuerst genannter Arbeit gefolgert.

Die Frage, welche ich für diese hier vorliegende Arbeit mir gestellt habe, heißt:

Ist die Lichtabsorption in einem nicht assimilirenden grünen Blatte überhaupt dieselbe wie die Lichtabsorption desselben Blattes, während es assimilirt?

Man kann vermuthen, daß dieselben Lichtstrahlen, welche beim Hindurchgange durch ein Blatt, das aus irgend einem Grunde (z. B. aus Kohlensäuremangel oder wegen zu niedriger Temperatur) nicht assimiliren kann, in Wärme umgewandelt werden, daß dieselben Strahlen im assimilirenden Blatte chemische Arbeit leisten. Daß die vom Chlorophyllfarbstoff absorbirten Strahlen diese Rolle nicht spielen, wissen wir. Aber es werden ja auch Strahlen von anderer Wellenlänge als diese, es werden auch die vorwiegend bei der Assimilation verbrauchten gelben Strahlen stets beim Durchgange durch ein Blatt geschwächt, und Gerland, der (l. c.) zur Erklärung der maximalen Leistung des gelben Lichtes bei der Assimilation dem Protoplasma eine bläuliche Farbe zuschrieb, meinte doch ganz zweifelsohne, das Protoplasma der Chlorophyllkörner habe immer diese bläuliche Farbe, auch dann, wenn sie nicht assimiliren.

Daneben müssen wir aber doch auch an eine andere Möglichkeit denken, nämlich die, daß die bei der Assimilation verbrauchten Strahlen von einem nicht assimilirenden Blatte überhaupt gar nicht absorbirt werden, daß also die Lichtabsorption im assimilirenden Blatte eine andere sei als im ruhenden, daß es im ersteren Falle also mehr Licht und zwar natürlich vorwiegend gelbes Licht absorbire als im letzteren.

Diese Vermuthung wird manchem meiner Leser vielleicht recht absurd erscheinen. Gerade die physikalisch gebildeten unter ihnen werden sich sofort sagen, dann müßte ja das assimilirende Blatt eine ganz andere Farbe haben als das ruhende, man müßte es also wohl schon an der Farbe eines besonnten Blattes sehen können, ob dasselbe assimilirt oder nicht, ob z. B. die Luft in einer Flasche, in der ein Blatt sich befindet, reich ist an

1) Lehrbuch d. Botanik. 3. Aufl. 1873. S. 668.
2) Poggendorff's Annalen. Bd. 143 (1871). S. 609.

Kohlensäure, oder ob sie gar keine Kohlensäure enthält. Und doch haben meine Messungen mir gezeigt, daß in der That die Menge des von einem assimilirenden Blatte absorbirten Lichtes stets größer ist, als die Menge Licht, welche dasselbe Blattstück wenige Minuten später oder früher im Sonnenschein absorbirt, wenn es sich in kohlensäurefreier Luft befindet. Der Ausfall ist nicht sehr bedeutend, das kann er aber auch nicht sein, denn nur ein kleiner Theil der Gesammtenergie des Sonnenlichtes wird bei der Assimilation verbraucht.

Dies folgt auch aus den von Sachs[1]) ausgeführten Bestimmungen Stärkemengen, die von einem Quadratmeter Blattfläche im Sonnensch gebildet werden.

Es ist klar, daß die bei Verbrennung dieser Stärke erhaltene Wärmenge ein Maß abgiebt für die lebendige Kraft des Lichtes, welche deren Bildung sich in Spannkraft umsetzte. Die Verbrennungswärme Stärke kann gleich der des trockenen Holzes gesetzt werden. Es liefert trockenes Holz bei der Verbrennung 4,3 Wärmeeinheiten[2]). 1 qm Bl fläche bildet in der Stunde cirka 1,5 g trockener Stärke[3]), verbraucht dabei einen 6,5 Wärmeeinheiten entsprechenden Theil der Gesammtene des Sonnenlichtes, die wir gleich 700—900 Wärmeeinheiten setzen könn Es werden also cirka 0,8 % der kinetischen Energie des ein assimilirendes Blatt fallenden Sonnenlichtes in potentielle Energie umgewandelt[4]).

Unter diesen Umständen kann von einer ganz anderen Färbung des einem assimilirenden Blatte durchgelassenen Lichtes nicht die Rede se Vielleicht gelingt es unter besonders günstigen Versuchsbedingungen zeigen, daß in dem Spektrum des Sonnenlichtes, welches durch ein assi lirendes Blattstück ging, das Gelb ein wenig schwächer ist, als in d Spektrum des Lichtes, welches gleichzeitig durch ein Stück dessel Blattes ging, das nicht assimiliren konnte, da es sich in kohlensäurefre Luft befand. Ich habe in dieser Richtung bis jetzt keine Versuche an stellt, da es mir zunächst darauf ankam zu zeigen, daß die Bewegun energie des von einem Blattstück durchgelassenen Sonnenlichtes, gemes an der Erwärmung eines kleinen Thermoelementes, kleiner ist, wenn Blattstück sich in Luft befindet, die 10 % Kohlensäure enthält, als wenn in kohlensäurefreier Luft ist, und daß ferner die gefundene Verminderu

1) »Ein Beitrag zur Kenntniß der Ernährungsthätigkeit der Blätter.« Arb. Bot. I Bd. III. S. 1 ff.

2) Wüllner, Experimentalphysik. II. Aufl. Bd. 2. S. 438.

3) Vergl. Sachs l. c. S. 25 u. f.

4) Diese Entwickelung gab ich schon früher einmal: »Wissen der Gegenwa Leipzig-Prag 1887. Bd. 59. S. 133 u. f.

der Bewegungsenergie des Lichtes bei der Assimilation mit der oben berechneten Zahl genügend übereinstimmt.

Ich fand nämlich im Mittel die Verminderung der Energie des Lichtes hinter dem assimilirenden Blattstück in Prozenten der auf das Blattstück fallenden Lichtmengen für ein Blattstück von

Urtica dioeca zu 0,9 %
Humulus Lupulus zu 0,3 %
Asarum europaeum zu 1,1 %.

Das Detail der Versuche werde ich weiter unten mittheilen. Dort wird auch ersichtlich, daß die zweite Zahl aus vier Messungen abgeleitet wurde, von denen eine fehlerhaft war, daß sie somit zu ungenau ist. Doch glaubte ich sie immerhin hier auch anführen zu müssen.

Das von dem Spiegel eines Heliostaten wagerecht zurückgeworfene Sonnenlicht kann durch eine große Sammellinse (Fig. 1 *a*) von fast 1 m Brennweite konzentrirt werden. Diese Linse wandte ich übrigens nur bei einem Versuche an. Es war nämlich in diesem Falle die auf das benutzte Blattstück fallende Lichtmenge so groß, daß ich sie nicht mehr messen konnte und mich begnügen mußte, die Wärmewirkung der Lichtstrahlen zu bestimmen, die durch dasselbe Blattstück hindurch gingen, während es sich abwechselnd in kohlensäurehaltiger und in kohlensäurefreier Luft befand. Bei allen Versuchen ging das Licht durch eine 15 cm dicke Schicht einer völlig klaren kalt gesättigten Lösung von Alaun in Wasser, enthalten in dem Gefäß *b*, die, wie ich mich durch einen besonderen Vorversuch überzeugte, alle dunkeln ultrarothen Strahlen absorbirt. Stand nämlich vor der vorderen Öffnung des Apparates in dem kleinen, innen geschwärzten Holzkästchen (Fig. 1 *c*) eine dunkle Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff, so zeigte die Lage des Galvanometerspiegels, die jetzt auch bei Beleuchtung des Apparates ganz dieselbe blieb wie bei Verdunkelung, daß alle Strahlen völlig absorbirt wurden. Zur Verdunkelung dient ein Schirm, gebildet aus zwei außen geschwärzten Blechplatten (Fig. 1 *d*), deren gegenseitiger Abstand 1 cm ist. Er hängt an 2 Schnüren, die über Rollen laufen, und konnte somit von demselben Gehülfen, der mir die Einstellung des Handheliostaten nach einer auf der Vorderwand von Fig. 1 *b* vorhandenen, in der Figur nicht angegebenen kreisförmigen Marke besorgte, heraufgezogen und herabgelassen werden. Dadurch war während der Versuche jede störende Annäherung an den so überaus empfindlichen Apparat ausgeschlossen.

Das Thermoelement ist von einem innen geschwärzten Kasten aus dickem Holze umschlossen und steht durch die Leitung (Fig. 1 *e*) mit dem Spiegelgalvanometer in Verbindung. Seitenwände, Hinterwand und Decke dieses Kastens sind abnehmbar und müssen abgenommen werden, wenn das Versuchsobjekt vor die Öffnung des Thermoelementes gebracht wird oder zur Seite geschoben werden soll, so daß das Licht dann direkt auf das Thermoelement fällt.

Außerdem sind in Fig. 1 noch die Vorrichtungen gezeichnet, die ich benutzte, um das Objekt abwechselnd in einem Strome kohlensäurehaltiger und dann wieder in einem Strome kohlensäurefreier Luft verweilen zu lassen. Fig. 1 *f* ist eine Mariottesche Flasche. Sie steht durch einen aus

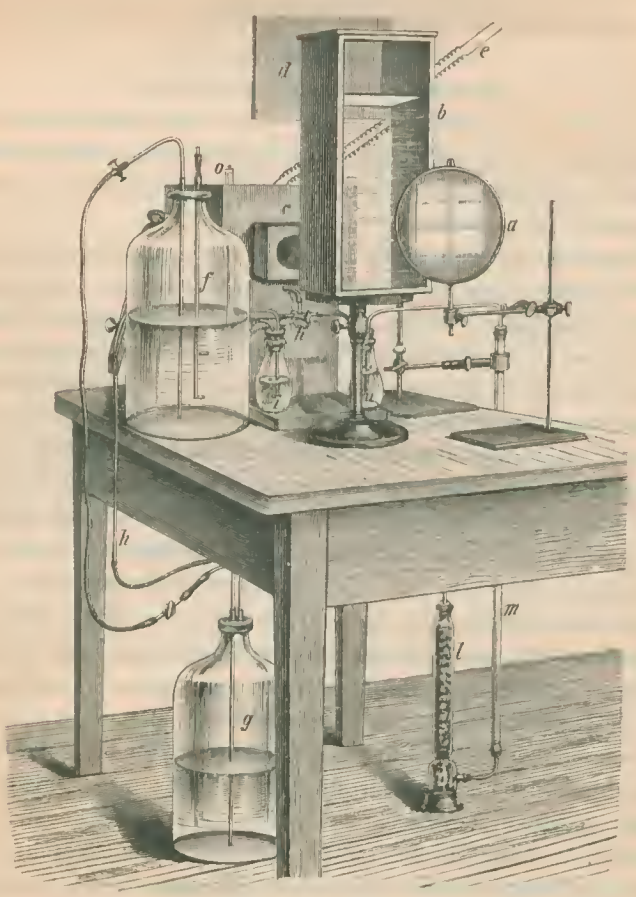


Fig 1.

Glas- und Kautschukröhren gebildeten Heber mit der Flasche *g* in
bindung, die kohlensäurehaltige Luft (meist 10 % Kohlensäure) ent
Durch einen zwischen die Gummischläuche eingeschalteten Glashahn r
lirte ich die Geschwindigkeit der Wasserströmung in diesem Heber so,
in der Minute cirka 40 Luftblasen in die Mariottesche Flasche eintr
Dann fließen durch den Heber in derselben Zeit cirka 50 ccm Wasser.
Quetschhahn, sichtbar in Fig. 1 am oberen gläsernen Theil des Hel
konnte zur Unterbrechung des Wasserstromes dienen. Er wurde nur
benutzt, wenn eine Versuchsreihe beendigt war und für eine neue

suchsreihe ein anderes Blattstück in den Apparat eingelegt werden sollte. Von *g* aus geht die Luft durch einen Gummischlauch, der entweder mit der Glasröhre *h* oder mit der in das Absorptionsgefäß *l* führenden Glasröhre verbunden wird. Im ersteren Falle geht die Luft durch eine mit Wasser zur Hälfte gefüllte Flasche (Fig. 1, *i*) und tritt durch den linken Schenkel des Dreiwegrohres *k* bei passender Stellung des T-förmig durchbohrten Hahnes in diesem Rohre zum Versuchsobjekt. Andernfalls geht sie durch das Absorptionsgefäß *l*, das mit Holzkohlestückchen gefüllt ist, die ich in einer sehr konzentrirten Natronlauge eine Zeitlang gekocht hatte, und die daher mit einem Brei von Natronlauge und auskrystallisirtem Ätznatron bedeckt waren. Hier verliert die Luft natürlich außer der Kohlensäure auch noch einen Theil des in ihr enthaltenen Wasserdampfes. In der 85 cm langen, mit nassen Bimssteinstückchen gefüllten Röhre *m* sättigt sie sich wieder mit Wasserdampf, geht durch die mit klarem Kalkwasser zur Hälfte gefüllte Flasche *n*, und tritt von der anderen Seite in das Dreiwegrohr *k*. Die Zuleitungsröhren, welche die Luft in die Flaschen *i* und *n* leiten, tauchen so tief ein, daß durch beide unter gleichen Umständen in gleichen Zeiten dieselbe Luftmenge hindurchgeht. *o* in Fig. 1 ist das obere Ende eines genauen Thermometers (Normalthermometer Nr. 57 von Fuess in Berlin), dessen Kugel sich neben dem Stativ des Thermoelementes befand.

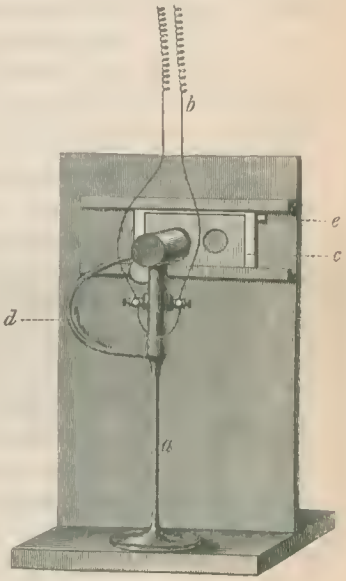


Fig. 2.

Figur 2 zeigt den auch in Fig. 1 gezeichneten Holzkasten, das Gehäuse des eigentlichen Apparates, geöffnet von hinten. Das in dem Stativ *a* enthaltene Thermoelement steht durch die isolirte Drahtleitung *b* in Verbindung mit dem Galvanometer. Die runde Fußplatte dieses Gehäuses ist durch Schrauben auf dem Boden des Holzkastens befestigt. Der obere Theil der vertikalen Säule des Gehäuses ist hohl. Er enthält das Thermoelement, dessen Löthstelle in der Mitte eines wagerechten, 3 cm weiten Messingrohrs liegt, das innen polirt und vergoldet ist. Dieses Rohr hat vorne einen in der Figur sichtbaren Deckel, der durch Drehung um einen der Rohrachse parallelen Stift geöffnet wird und während der ganzen Dauer eines Versuchs offen bleibt. Er ist nur geschlossen, wenn der Apparat nicht gebraucht wird. Der Blechkasten (Fig. 2*c*) von 40 cm Inhalt enthält das Versuchsobjekt, ein kleines, circa 6 cm langes und ebenso breites Blattstückchen. In ihn

sind vorne und hinten Platten von weißem Spiegelglas luftdicht eingekittet, oben ist er durch einen Deckel ziemlich luftdicht verschlossen. Von dem Dreiweghahne (Fig. 1*k*) aus führt ein Rohr durch die Vorderwand des Holzkastens, das durch den Gummischlauch (Fig. 2*d*) die Luft zu dem Versuchsobjekte leitet. Sie entweicht durch die kurze Röhre (Fig. 2*e*).

Der Blechkasten enthält eine senkrecht stehende Blechplatte mit zwei in derselben Höhe liegenden kreisförmigen Öffnungen von 3 cm Du: messer. Hinter der einen von diesen und zwar hinter der in Fig. 2 l liegenden wird das Blattstück durch 2 dünne Gummiringe, die um Blechplatte herumgelegt sind, so festgehalten, daß es seine Oberseite Lichte zukehrt. In den mit Graphit eingeriebenen Falzen von 2 Holzlei kann der Blechkasten leicht hin- und hergeschoben werden. 2 Marl ins Holz geschnittene Kerben, ermöglichen es, daß man ihn rasch in jenige Stellung schieben kann, wo eines der beiden Löcher gerade vor Mündung des Thermoelementes steht. Über die nicht von dem Blatts bedeckte, in Fig. 2 rechts liegende Öffnung in der Blechplatte ist enges Gitter aus dünnem Messingdraht gelöthet. Dadurch erreiche ich gendes: die Lichtstrahlen breiten sich nach dem Durchgange durch Blattstück von dessen Unterseite nach allen Seiten gleichmäßig aus; eb verhalten sich die Strahlen nach dem Durchgange durch das Gitter inf der Beugung. Natürlich wird durch die Messingdr des Gitters ein bedeutender Theil des Lichtes von Thermoelement abgehalten. Doch läßt sich das auf Gitter auffallende Lichtquantum aus dem hinter den ben gemessenen leicht berechnen.

Fig. 3.

Das Thermoelement[1]) (Fig. 3) besteht aus ei Messingdraht *m* von $^1/_5$ mm Dicke und einem Ei draht *e* von derselben Dicke, die mit ihren Ender *l* stumpf zusammengelöthet sind. Einen Überschuß Löthmetalls (Zinn) habe ich dabei nach Möglichkeit mieden. Unten sind diese Drähte an 1 mm d Kupferdrähte *k* gelöthet, die durch isolirte Klei schrauben mit der zum Galvanometer führenden Lei verbunden werden. Die unteren Löthstellen des T moelements liegen in einem mit Petroleum gefü Glasrohr. Die dasselbe verschließenden Korke wu sorgfältig mit einer dünnen Nadel durchbohrt und, jedes Durchdringen des Petroleums unmöglich zu mac noch mit Leim überzogen. Der Bogen *mle* wurde gleichmäßig Ruß überzogen und das Thermoelement dann in das aufgeschraubte singgehäuse so weit hineingeschoben, daß die Fläche des oberen Korke:

1) Vergl. Kohlrausch, Praktische Physik. 6. Aufl. S. 83.

wenig unterhalb des wagerechten Rohres lag, und die Löthstelle *l* sich gerade in dessen Mitte befand. Das Licht trifft also nur den Bogen *m l e*, die unteren Löthstellen sind in völliger Dunkelheit.

Das Galvanometer, ein Spiegelgalvanometer mit astatischer Nadel und zwei neben einander gesehalteten Rollen aus diekem Kupferdraht, steht auf einer sehr festen Wandkonsole. Da das Versuehszimmer zu ebener Erde liegt und die Wand fast $^3/_4$ m diek ist, sind Störungen dureh Erschütterung naeh Mögliehkeit ausgesehlossen. Ein Gehäuse, das auf der dem Beobaehter zugewandten Seite ein planparalleles Glas von genügender Größe trägt, hält den Luftzug von dem Apparate ab. Das Ablesefernrohr und die 2000 mm lange Skala sind an einem starken Holzgestell befestigt, dessen große Fußplatte auf dem Boden des Zimmers festgeschraubt ist. Da während der Beobaehtungen Niemand im Zimmer umhergeht, ist diese Befestigung von genügender Sieherheit. Eine besondere Dämpfungsvorrichtung ist an dem Galvanometer nieht vorhanden.

Die Astasie der Nadel bedingt zwar eine große Empfindliehkeit des Galvanometers, andererseits ist deren große Unruhe aber auch reeht störend und es mussten die Versuehe in folgender Weise angestellt werden. Wenn Alles vorbereitet war, das Blattstüek sich im Recipienten befand, der Heliostat in den gesehlossenen Laden des von der Sonne beschienenen Fensters eingesetzt — auf die Skala fällt dureh 2 andere nieht besonnte Fenster so viel Tageslieht, daß die Ablesungen keinerlei Schwierigkeiten maehen — das Gitter vor die Öffnung der Thermosäule geseboben und der oben beschriebene Aspirator in Gang gesetzt war, wurde bei gesehlossenem Rohr des Heliostaten zunächst wenigstens 5 Minuten lang gewartet, damit der Apparat, der sieh bei meiner Annäherung, da ich ja zum Einsetzen des Recipienten den Holzkasten für kurze Zeit öffnen mußte, etwas erwärmt hatte, sieh wieder völlig abkühlte. Nun wurden mehrere auf einander folgende Umkehrpunkte der Nadel notirt, um aus ihnen später die Ruhelage der Nadel zu bereehnen. Dann wurde die Öffnung im Heliostatenrohr geöffnet, der Heliostat ein wenig gedreht, so daß die Strahlen richtig auf den Apparat fielen. Jetzt wurde der diesen versehließende Sehirm (Fig. 1, *d*), der bis dahin stets so hing, daß kein Lieht auf das Thermoelemont fallen konnte, emporgezogen. Bei seiner geringen Masse nimmt das Thermoelement fast momentan eine der Intensität der Bestrahlung proportionale konstante Temperatur an. Die Nadel schlägt aus und beginnt mit abnehmender Amplitude um ihre neue Gleichgewichtslage zu schwingen. Um diese zu bestimmen, genügt die Aufzeichnung der ersten 5 oder 7 Umkehrpunkte. Ist dies geseheben, so wird der Schirm wieder herabgelassen und der Heliostat geschlossen. Eine solehe Lichtmessung nimmt im Ganzen nur etwa $1^1/_2$ Minute in Anspruch.

Um die andere Öffnung des Blechschirmes vor das Thermoelement zu sehieben, wurde sofort der Holzkasten geöffnet. Die Annäherung an das

Thermoelement, dessen Gehäuse natürlich niemals mit der Hand berührt wurde, dauerte immer nur ganz kurze Zeit, und wenn Alles wieder für die neue Messung hergerichtet war, begab ich mich auf meinen Platz zurück und wartete, bis die Temperatur der Löthstelle wieder konstant geworden war, was an der Gleichgewichtslage der Nadel sich ja leicht erkennen läßt.

Die Beobachtungen sind an völlig sonnenhellen Tagen ausgeführt. N dann ist nämlich die Helligkeit genügend konstant, daß aus den von Z zu Zeit ausgeführten Messungen der durch das Gitter hindurchgehend Lichtmengen ein Schluß gestattet ist auf die Lichtmengen, welche die Bla oberfläche trafen.

Die bei Erwärmung der Löthstelle des Thermoelementes eintretend Lagenänderungen der Nadel können als der Temperaturerhöhung, also au als der Quantität des Lichtes proportional angesehen werden, da der grö beobachtete Ausschlag nur einer Drehung von 11° 16′20″,75 entspricht.

Die im Fernrohr beobachteten Umkehrpunkte sind nur bei ganz klein Ausschlägen den Drehungswinkeln proportional, dann findet man den Au schlag, indem man von der abgelesenen Zahl die dem mittleren Skalenthe d. h. derjenigen Stelle der Skala, die von einem durch die zu ihr senrechte Fernrohrachse gelegten Loth geschnitten wird, entsprechende Zahl a zieht. Bei allen meinen Versuchen war 300,0 der mittlere Skalenthe Größere Ausschläge müssen in den Bogen proportionale Stücke umgerech werden. Der Abstand der Skala vom Spiegel war nach Anbringung d Korrektur für Spiegel- und Deckglasdicke bei den Versuchen 1 bis 2168 Skalentheile, in Versuch 4 4546 Skalentheile. Eine Korrektur d Spiegelabstandes wegen Neigung oder Krümmung des Spiegels war nic nöthig, da der Spiegel genau vertikal stand und völlig eben war. Es sei der Skalenabstand, gemessen in Skalentheilen, der einem Ausschlage vo Skalentheilen entsprechende Bogen sei φ Sekunden, $\varphi = \text{arc.tang}\,\frac{n}{A}$, da ist die Länge dieses Bogens in Skalentheilen $N = \frac{A\,\varphi}{206264,8}$. Hierna wurde eine Reduktionstabelle immer um 50 Skalentheile fortschreitend r Proportionaltheilen zur Interpolation für dazwischen liegende Werthe b rechnet, so daß also nachher die Umwandlung der beobachteten Ausschlä in den Bogen proportionale Stücke keine Mühe machte. Aus den so e haltenen reduzirten Ausschlägen berechnete ich in derselben Weise, w dies bei Schwingungsbeobachtungen von Wagen üblich ist, die Ruhela der Nadel.

Sämmtliche Ausschläge nach links wurden addirt und aus ihrer Sum das Mittel berechnet. Ebenso wurde mit den Ausschlägen nach rechts ve fahren. Aus den beiden so erhaltenen Ausschlägen giebt das Mittel n ausreichender Genauigkeit die Ruhelage der Nadel. Die sich somit aus d

Ruhelage der Nadel, während die Löthstelle nicht erwärmt ist, und aus ihrer Ruhelage, wenn die Löthstelle durch darauffallende Lichtstrahlen erwärmt wird, ergebende Lagenänderung der Nadel dient als Maß für die Energie der auf die Löthstelle fallenden Lichtstrahlen.

Zur Berechnung der auf das Blatt fallenden Lichtmengen aus den mit Hilfe des Drahtgitters gemessenen dient folgende Überlegung. Es sei die Breite der Gitterstäbe a, die Breite der Zwischenräume zwischen ihnen b, so verhält sich das Quantum des auf die kreisförmige Öffnung von 3 cm Durchmesser auffallenden Lichtes zum Quantum des durch das Gitter hindurchgehenden wie die entsprechenden Oberflächen, d. h. wie $(a + b)^2 : b^2$. a und b wurden durch mikroskopische Messungen mit dem Okularmikrometer bestimmt. Die Drahtdicken fand ich dabei ganz gleichmäßig zu 0,2150 mm. Völlige Gleichheit der Zwischenraumbreiten war dagegen nicht vorhanden. Es wurden also 15 in einer Reihe hinter einander von rechts nach links liegende und 15 in einer dazu senkrechten Reihe gemessen.

Das Mittel aus diesen 30 Messungen ist 0,3292 mm, mit einem wahrscheinlichen Fehler von $\pm$ 0,0036 mm, was für den vorliegenden Zweck eine völlig genügende Genauigkeit ist.

$$(a + b)^2 : b^2 = 0{,}5442^2 : 0{,}3292^2 = 2{,}7329 : 1 .$$

Die hinter dem Drahtgitter gemessene Helligkeit muß also mit 2,7329 multiplizirt werden.

Da die Temperatur des Blattstückes bekanntlich höher ist als die seiner Umgebung, verdunstet aus ihm beständig Wasser, obgleich die umgebende Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, und es bildet sich auf den Glaswänden des Recipienten ein Beschlag mit feinen Wassertröpfchen, die beständig wachsen und zuletzt ganz große Tropfen geworden sind. Dadurch verringert sich deren Durchsichtigkeit, und es gelangen allmählich immer kleinere Lichtmengen zum Thermoelemente. Jedenfalls ist es aber gestattet anzunehmen, daß die Verminderung der Durchsichtigkeit des Recipienten in kurzen Zeiten gleichmäßig gewesen sei. Ich fand z. B. (Versuch 1) die auf eine Öffnung von 3 cm Durchmesser fallende Lichtmenge $11^h 49'$ zu 1539,2, $12^h 32'$ zu 1363,7; sie verminderte sich also in 43 Minuten um 175,5. Um $12^h 3'$ wurde die von dem Blattstück durchgelassene Lichtmenge gemessen. Ich nahm also an, die Lichtmenge, welche zu dieser Zeit auf das kreisrunde Blattstück von 3 cm Durchmesser fiel, sei 1483,8 gewesen, und berechnete somit das durchgelassene Lichtquantum in Prozenten des auf die Blattoberfläche fallenden.

Versuch 1. Am 22. Juni 1888.

Die Temperatur im Holzkasten steigt während des Versuchs von 16,8 auf 17,2° C.

Die hinter dem Gitter 'gemessenen und auf volles Licht reduzirten Lichtmengen sind:

um 11^h 49′	1539,2
„ 12^h 38′	1363,7
„ 12^h 51′	1175,4 .

Das Versuchsobjekt, ein Blattstück von einer sehr kräftigen im Ga gezogenen Pflanze 'von Urtica dioeca, ist um 11^h in den Recipienten bracht. Von 11^h 45′ bis 12^h 5′ wird kohlensäurefreie Luft durch den cipienten geleitet, von 12^h 5′ bis 12^h 45′ Luft mit 10 % Kohlensäure, d wieder von 12^h 45′ bis 1^h 5′ kohlensäurefreie Luft.

Vom Blatt durchgelassene Lichtquantitäten:

a) in kohlensäurefreier Luft

um 12^h 3′	58,3
„ 1^h 0′	54,4 ;

b) in kohlensäurehaltiger Luft

um 12^h 18′	50,6 .

Der Berechnung zu Grunde gelegte, auf das Blattstück fallende Lic mengen:

um 12^h 3′	1483,8
„ 1^h 0′	1101,8
„ 12^h 18′	1432,9 .

Setzen wir die jedesmal auf das Blattstück auffallende Lichtme gleich 100, so ließ dasselbe durch:

a) in kohlensäurefreier Luft 3,93 %
4,92 %
Mittel 4,43 %

b) in kohlensäurehaltiger Luft 3,53 %

Die Differenz 0,90 % der auffallenden Lichtmenge ist das bei der As milation verbrauchte Licht.

Versuch 2. Ein Blattstück von Humulus Lupulus wird am 22. J 1888 um 1^h 30′ in den Apparat gebracht. Temperatur 17,2—17,5° Kohlensäurefreie Luft wurde von 1^h 45′ bis 2^h 22′ durch den Recipien geleitet, dann kohlensäurefreie Luft.

Die hinter dem Gitter gemessenen und auf volles Licht reduzir Lichtmengen sind:

um 1^h 51′	1714,1
„ 2^h 33′	1641,9 .

Das Blattstück ließ folgende Lichtmengen hindurch:

a) in kohlensäurefreier Luft

um 2^h 5′	55,6
„ 2^h 10′	63,8 ;

b) in kohlensäurehaltiger Luft

um	2^h 45′	64,0
„	2^h 58′	40,0 .

Es werden also durchgelassen in Prozenten der auffallenden Lichtmenge:

a) in kohlensäurefreier Luft

3,29 %
3,79 %
Mittel 3,54 %

b) in kohlensäurehaltiger Luft

3,95 %
2,50 %
Mittel 3,22 %

Das würde also für die zur Assimilation verbrauchte Lichtmenge nur 0,32 % der auffallenden ergeben. Doch ist offenbar die Zahl 3,95 % zu fehlerhaft, als daß sie Beachtung verdiente. Lassen wir sie fort, so ergiebt sich, mit 3,54—2,50 = 1,04 % als für die Assimilation verbrauchte Lichtmenge eine mit den Resultaten der anderen Versuche recht wohl übereinstimmende Zahl.

Über die Ursache dieses Fehlers habe ich keine bestimmte Vermuthung. Doch lag der Gedanke nahe, daß durch allzu lange Beleuchtung des Versuchsobjektes — ich beobachtete immer 11 Umkehrpunkte — Lagenänderungen der Chlorophyllkörner hervorgerufen werden könnten. Ich beobachtete also bei dem folgenden Versuche nur 5 Umkehrpunkte. Das gewährt auch noch den Vortheil, daß man in der zu Gebote stehenden kostbaren Zeit — ganz sonnenhelle Tage sind hier zu Lande selten — eine größere Zahl von Messungen ausführen kann, wodurch das Endresultat eine größere Genauigkeit bekommt, als wenn man bei jeder Einzelmessung sich so lange aufhält.

Versuch 3. Ein Blattstück von Asarum europaeum wird am 23. Juni 1888 um 12^h 45′ in den Recipienten gebracht. Temperatur 18,2—18,7° C. Zuerst wurde kohlensäurefreie Luft durchgeleitet von 12^h 47′—1^h 40′, dann kohlensäurehaltige Luft 1^h 40′—2^h 37′, zuletzt wieder kohlensäurefreie Luft 2^h 37′—3^h 17′.

Auf volles Licht reduzirte, hinter dem Gitter gemessene Lichtmengen:

um	12^h 58′	1685,6
„	1^h 38′	1398,6
„	1^h 45′	1356,6
„	2^h 25′	1220,0
„	2^h 42′	1344,6
„	3^h 11′	1113,4 .

Die von dem Blattstücke durchgelassenen Lichtmengen sind:

a) in kohlensäurefreier Luft

um 1^h 15′	53,3 = 3,41 %	des auffallenden	Lichtes	
„ 1^h 28′	41,2 = 2,80 %	„	„	„
„ 2^h 52′	36,1 = 2,86 %	„	„	„
„ 3^h 4′	27,4 = 2,34 %	„	„	„
	Mittel 2,85 %	„	„	„

b) in kohlensäurehaltiger Luft

um 1^h 57′	27,3 = 2,08 %	des auffallenden	Lichtes	
„ 2^h 7′	18,9 = 1,47 %	„	„	„
	Mittel 1,78 %	„	„	„

Also sind 2,85—1,78 = 1,07 % des auffallenden Lichtes bei der Assimilation verbraucht.

Versuch 4. Ein Blattstück von Helianthus tuberosus wurde am 19. September 1887 morgens um 7^h in den Recipienten gebracht. Die Temperatur während des Versuches habe ich leider nicht notirt.

Bei diesem Versuche fiel durch eine Sammellinse konzentrirtes Sonnenlicht auf eine Blattoberfläche von 1,5 cm Durchmesser. Eine Messung der auf die Blattoberfläche auffallenden Lichtmenge war wegen zu starken Ausschlages der Nadel, da bei diesem Versuche der Skalenabstand vom Spiegel 4546 Skalentheile betrug, und die Umkehrpunkte jenseits des Endes der Skala lagen, nicht ausführbar. Ich beschränkte mich also darauf, die in kohlensäurefreier und kohlensäurehaltiger Luft von dem Blattstück durchgelassenen Lichtmengen zu messen. Wegen des veränderten Skalenabstandes ist die Einheit, nach der diese Messungen berechnet sind, eine andere als in den 3 vorhergehenden Versuchen, und es sind die erhaltenen Zahlen daher nur unter einander, nicht aber mit den anderen vergleichbar. Von 9^h bis 9^h 15′ wurde kohlensäurefreie Luft durch den Recipienten geleitet, dann von 9^h 15′ bis 9^h 37′ Luft, die 4 % Kohlensäure enthielt, endlich von 9^h 37′ bis 9^h 50′ kohlensäurefreie Luft.

Die durchgelassenen Lichtmengen sind:

a) in kohlensäurefreier Luft

um 9^h 7′	129,8
„ 9^h 45′	80,7
Mittel	105,3

b) in kohlensäurehaltiger Luft

um 9^h 28′	55,8
„ 9^h 36′	60,3
Mittel	58,1.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg

Jahr/Year: 1888

Band/Volume: 3

Autor(en)/Author(s): Detlefsen Emil

Artikel/Article: Die Lichtabsorption in assimilirenden Blättern 534-552