

Die Lichtabsorption in assimilirenden Blättern.

Von

Dr. E. Dettlesen
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 sämtliche 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 4.

als richtig angesehen, und wir lesen z. B. in dem von BRANDES verfassten Artikel »Licht« in GEHLERS Physikalischem Wörterbuch¹⁾ 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 entwickelndes 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 DAUBENY²⁾ und DRAPER³⁾ 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. SACHS⁴⁾ 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. 449 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 Thatsaehen sind ja nur dann von Bedeutung, wenn sie mit anderen Thatsaehen verknüpft werden.

Die Zusammenfassung gleichartiger Erseheinungen, ihre Darstellung unter gemeinschaftlichen Gesichtspunkten, die Auffindung der Einheit in dem Vielfachen macht die Wissenschaft. Eine bloße Zusammenhäufung von Thatsaehen ist das gerade Gegentheil davon¹⁾. Darum ist es auch im Grunde gleichgültig, wer zuerst eine Thatsaache beobachtet hat. Wichtig ist, wer sie zuerst richtig verstanden hat. Nur auf die Gedanken, welehe sich an die Thatsaehen 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 und wäre unbeachtet geblieben, wenn nicht SACUS' Abhandlung den Ausgangspunkt für den Fortschritt der Wissenschaft auf diesem Gebiete gebildet hätte, denn hier tritt die erwähnte Thatsaache nicht vereinzelt auf. W. doch in der citirten Abhandlung gezeigt, daß die stärker brechbaren und die weniger brechbaren Strahlen des Sonnenlichtes auf verschiedene Lebensäußerungen der Pflanzen in völlig ungleicher Weise einwirken.

Die Frage, »welche Wirkung haben die einzelnen ungleich brechbaren Strahlen des Sonnenlichtes auf die Assimilation?« wurde von W. PFEFFER Würzburger botanischen Laboratorium unter SACUS' Leitung weiter untersucht²⁾. Als Versuchsobjekte dienten möglichst gleiche Blätter von Laubbäumen. Ihre Assimilationsenergie wurde durch Messung der von ihnen während der Besonnung zersetzten Kohlensäuremengen bestimmt, was leichtig nach bekannter gasometrischer Methode ausführbar ist.

Die Eudiometer, in denen sich die Blätter befanden, waren mit doppelseitigen Glasglocken bedeckt. In jedem Versuche wurden mehrere hergerichtete Objekte den Sonnenstrahlen ausgesetzt, und zwar war die Füllung des Zwischenraumes zwischen den beiden Wänden der Glasglocke bei einer immer Wasser, bei jeder der anderen eine zweckmäßig gewählte Farbstofflösung von bekannter Lichtabsorption, so daß also von jedem Vergleichsobjekte bestimmte Strahlengruppen abgehalten waren, die zu dem hinter Wasser besonnenen Blatte ungehinderten Zutritt hatten. Da die Oberfläche der benutzten Blätter und die Dauer der Beleuchtung bekannt war, konnte in jedem Falle die von einem Blattstück von 100 qm Gr. in der Stunde zersetzte Kohlensäuremenge berechnet werden. Die erhaltenen Resultate sind dadurch übersichtlicher gemacht, daß bei jedem Versuche 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. 4, S. 4—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 Tabelle¹⁾ dieser Mittelwerthe, und um zu zeigen, welchen Grad von Zuverlässigkeit seine Bestimmungen haben, berechnete ich nach bekannter Methode²⁾ für jeden den wahrscheinlichen Fehler, den ich daneben stelle.

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

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 absorbiert werden.

	I. roth, orange,	II. gelb,	III. grün,	IV. blau u. violett.
Kaliumbichromat				■
Kupferoxydammoniak	■	■	■	
Orsellin		■		
Anilinviolett		■		
Anilinroth		■	■	

1) l. c. p. 44.

2) 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 entsprechenden relativen Assimilationsenergie — die Leistung aller im weißen Licht vereinigten Strahlen gleich 100 gesetzt — weicht insofern von der PFEFFER'S ab¹⁾, als ich von der Voraussetzung ausging, daß sämtliche oben benutzten Bestimmungen derselbe Grad von Genauigkeit zugeschrieben werden können. Statt also z. B. für die Bestimmung der relativen Assimilationsenergie des blauen und violetten Lichts bloß das Mittel aus den Messungen für Kupferoxydammoniak zu Grunde zu legen (relative Fehlergrößen $\frac{1}{10}$, s. oben), kann man diesen Werth nach den bekannten Prinzipien der Wahrscheinlichkeitsrechnung (»Methode der kleinsten Quadrate«) so berechnen, daß er auch mit den anderen Messungen so genau als möglich übereinstimmt.

Es sei die relative Assimilationsenergie des rothen und orangen Lichts gleich x , die des gelben gleich y , die des grünen gleich z und die des blauen 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 gegangen,

$$88,6 = x + y + z,$$

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

$$38,9 = x + w,$$

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

$$5x + 2y + 3z + 3w - 313,5 = 0,$$

$$2x + 2y + 2z + w - 188,6 = 0,$$

$$3x + 2y + 3z + 2w - 242,5 = 0,$$

$$3x + y + 2z + 4w - 200,4 = 0.$$

Daraus findet man nach bekannten algebraischen Methoden

$$x = 34,325, \quad y = 44,575, \quad z = 14,225, \quad w = 8,350.$$

Es ist also in folgenden Strahlengruppen:	die relative Assimilationsenergie:
roth und orange	34,3
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 bleibt¹⁾. Theoretisch ist dagegen die eben gegebene Ableitung von Wichtigkeit, denn LOMMEL'S Einwand²⁾, 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 LOMMEL³⁾ »Für die Assimilationsthätigkeit der Pflanze sind die wirksamsten Strahlen diejenigen, welche durch das Chlorophyll am stärksten absorbiert 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 absorbiert werden. Er kehrte diesen Satz einfach um und behauptete: »Die Strahlen, welche von den Blättern absorbiert 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. 443 (1874). S. 583.

3) l. c. p. 584.

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 darüber¹⁾:

»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 verdunkeln. Freilich wird auch von den zwischen den Absorptionsstreifen liegenden Strahlen ein erhebliches Quantum absorbiert, wie deren sehr verschiedene Lichtschwächung unzweifelhaft darthut. Diese Lichtschwächung kann sehr wohl die Ursache sein, daß die Assimilation hinter einer Chlorophylllösung so auffallend beeinträchtigt wird, doch fehlen wieder bestimmte Anhaltspunkte, um eine andere Möglichkeit zu widerlegen, daß nämlich die in den Absorptionsstreifen ausgelöschten Lichtstrahlen die Assimilation in ganz überwiegender Weise einleiten können.«

Da das Maximum der Lichtabsorption im Chlorophyll zweifellos in dem rothen Theil des Spektrums liegt — der zwischen *B* und *C* liegende dunkle Streifen ist bei geringer Konzentration der Lösung oder bei Untersuchung dünner Blätter im Sonnenlichte allein wahrnehmbar — müßte eine ganz überwiegende Leistung der in den Absorptionsstreifen ausgelöschten Lichtstrahlen zu einer ganz anderen Vertheilung der Assimilationsenergie in den 4 verschiedenen Spektralbezirken führen, als wir sie eben kennen gelernt haben. Doch war es nicht zu verwundern, daß, da PFEFFER selbst sich so wenig bestimmt ausgedrückt hatte, LOMMEL noch einen Schritt weiterging und aus PFEFFER'S Versuchen glauben zu können, daß die in dem zwischen *B* und *C* liegenden Absorptionsstreifen ausgelöschten rothen Lichtstrahlen die Assimilation in ganz überwiegender Weise bewirken.

Jetzt unternahm PFEFFER eine neue Versuchsreihe²⁾. Die von einer Heliostaten reflektirten Sonnenstrahlen gelangten durch einen Spalt in das verdunkelte Versuchszimmer, wo in der bekannten Weise durch Prisma und Linse ein objektives Spektrum von großer Lichtstärke hervorgebracht wurde. Die relative Assimilationsenergie in den verschiedenen Bezirken desselben wurde durch die von PFEFFER früher nur nebenbei benutzten Gasblasenzählungen bestimmt. Die meisten Gasblasen wurden im intensivsten Gelb abgesehen. In allen anderen Spektralbezirken ist die Gasabsehung geringer. Auch den Absorptionsstreifen des Chlorophylls entsprechende

1) S. 49 u. 50.

2) Bot. Zeitung. 1872. No. 23 ff. Sitzungsberichte der Gesellschaft zur Beförderung 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 SACUS¹⁾ 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 GERLAND²⁾ 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 zweifels- ohne, 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 absorbiert, 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 Gesamtenergie des Sonnenlichtes wird bei der Assimilation verbraucht.

Dies folgt auch aus den von SACHS¹⁾ ausgeführten Bestimmungen Stärkemengen, die von einem Quadratmeter Blattfläche im Sonnensch gebildet werden.

Es ist klar, daß die bei Verbrennung dieser Stärke erhaltene Wärmemenge ein Maß abgibt 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 Wärmeeinheiten²⁾. 1 qm Blattfläche bildet in der Stunde cirka 4,5 g trockener Stärke³⁾, verbraucht dabei einen 6,5 Wärmeeinheiten entsprechenden Theil der Gesamtenergie des Sonnenlichtes, die wir gleich 700—900 Wärmeeinheiten setzen können. Es werden also cirka 0,8 % der kinetischen Energie des ein assimilirendes Blatt fallenden Sonnenlichtes in potentielle Energie umgewandelt⁴⁾.

Unter diesen Umständen kann von einer ganz anderen Färbung des ein assimilirenden Blatte durchgelassenen Lichtes nicht die Rede sein. Vielleicht gelingt es unter besonders günstigen Versuchsbedingungen zeigen, daß in dem Spektrum des Sonnenlichtes, welches durch ein assimilirendes Blattstück ging, das Gelb ein wenig schwächer ist, als in dem Spektrum des Lichtes, welches gleichzeitig durch ein Stück desselben Blattes ging, das nicht assimiliren konnte, da es sich in kohlensäurefreier Luft befand. Ich habe in dieser Richtung bis jetzt keine Versuche anstellt, da es mir zunächst darauf ankam zu zeigen, daß die Bewegungsenergie des von einem Blattstück durchgelassenen Sonnenlichtes, gemessen 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 Verminderung

1) »Ein Beitrag zur Kenntniß der Ernährungsthätigkeit der Blätter.« Arb. Bot. I. Bd. III. S. 4 ff.

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

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

4) Diese Entwicklung gab ich schon früher einmal: »Wissen der Gegenwart« 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. 1a) von fast 1 m Brennweite konzentriert 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 kohlenstoffhaltiger und in kohlenstofffreier 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 überzeuete, alle dunkeln ultrarothten Strahlen absorbiert. Stand nämlich vor der vorderen Öffnung des Apparates in dem kleinen, innen geschwärzten Holzkästchen (Fig. 1c) 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 absorbiert wurden. Zur Verdunkelung dient ein Schirm, gebildet aus zwei außen geschwärzten Blechplatten (Fig. 1d), deren gegenseitiger Abstand 1 cm ist. Er hängt an 2 Schnüren, die über Rollen laufen, und konnte somit von demselben Gehülften, der mir die Einstellung des Handheliostaten nach einer auf der Vorderwand von Fig. 1b 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. 1e) 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. 4 noch die Vorrichtungen gezeichnet, die ich benutzte, um das Objekt abwechselnd in einem Strome kohlenstoffhaltiger und dann wieder in einem Strome kohlenstofffreier Luft verweilen zu lassen. Fig. 4f ist eine Mariottesche Flasche. Sie steht durch einen aus

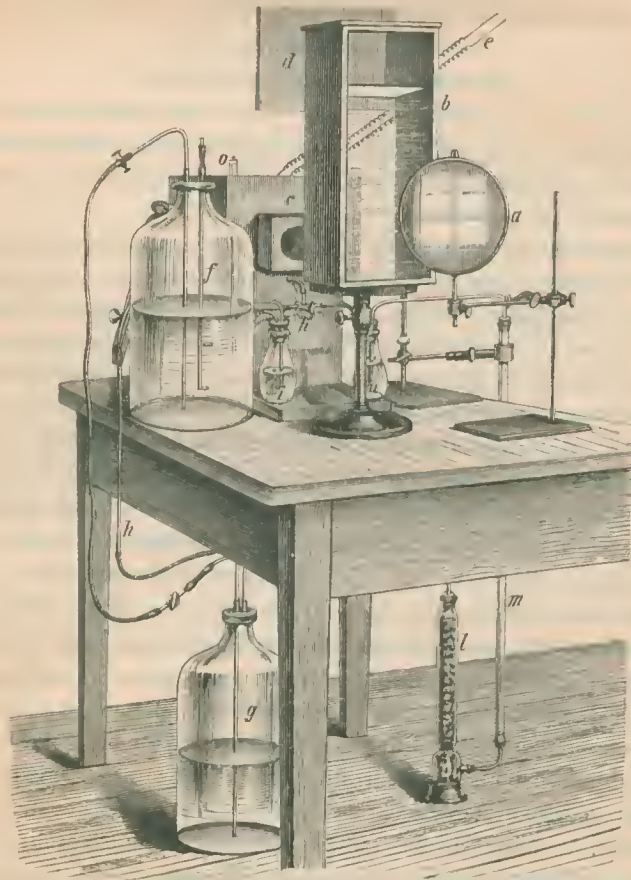


Fig 4.

Glas- und Kautschukröhren gebildeten Heber mit der Flasche *g* in Verbindung, die kohlenstoffhaltige Luft (meist 40 % Kohlenstoff) enthielt. Durch einen zwischen die Gummischläuche eingeschalteten Glashahn *r* konnte ich die Geschwindigkeit der Wasserströmung in diesem Heber so einstellen, daß in der Minute circa 40 Luftblasen in die Mariottesche Flasche eintreten. Dann floßen durch den Heber in derselben Zeit circa 50 ccm Wasser. Ein Quetschhahn, sichtbar in Fig. 4 am oberen gläsernen Theil des Hebers, konnte zur Unterbrechung des Wasserstromes dienen. Er wurde nur selten benutzt, wenn eine Versuchsreihe beendigt war und für eine neue

suehsreihe 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 hindurehgeht. *o* in Fig. 1 ist das obere Ende eines genauen Thermometers (Normalthermometer Nr. 57 von Fress in Berlin), dessen Kugel sich neben dem Stativ des Thermoelementes befand.

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 Messingrohres 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. 2c) von 40 cm Inhalt enthält das Versuchsobjekt, ein kleines, circa 6 cm langes und ebenso breites Blattstückchen. In ihn

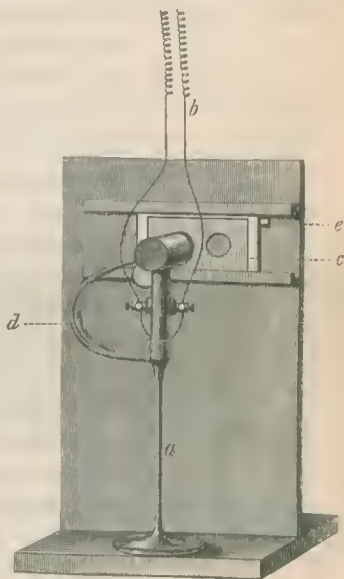


Fig. 2.

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 Durchmesser. Hinter der einen von diesen und zwar hinter der in Fig. 2 links liegenden wird das Blattstück durch 2 dünne Gummiringe, die um die Blechplatte herumgelegt sind, so festgehalten, daß es seine Oberseite dem Lichte zukehrt. In den mit Graphit eingeriebenen Falzen von 2 Holzleisten kann der Blechkasten leicht hin- und hergeschoben werden. 2 Marlins Holz geschnittene Kerhen, ermöglichen es, daß man ihn rasch in jene Stellung schieben kann, wo eines der beiden Löcher gerade vor der Mündung des Thermoelements steht. Über die nicht von dem Blattstück bedeckte, in Fig. 2 rechts liegende Öffnung in der Blechplatte ist ein enges Gitter aus dünnem Messingdraht gelöthet. Dadurch erreiche ich folgendes: die Lichtstrahlen breiten sich nach dem Durchgange durch das Blattstück von dessen Unterseite nach allen Seiten gleichmäßig aus; eben so verhalten sich die Strahlen nach dem Durchgange durch das Gitter infolge der Beugung. Natürlich wird durch die Messingdrähte des Gitters ein bedeutender Theil des Lichtes von dem Thermoelement abgehalten. Doch läßt sich das auf das Gitter auffallende Lichtquantum aus dem hinter demselben gemessenen leicht berechnen.

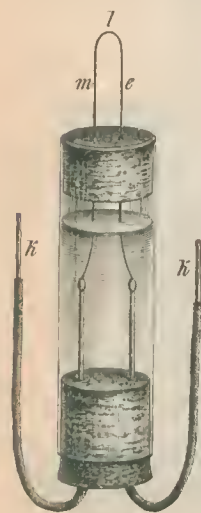


Fig. 3.

Das Thermoelement¹⁾ (Fig. 3) besteht aus einem Messingdraht *m* von $\frac{1}{5}$ mm Dicke und einem Eindraht *e* von derselben Dicke, die mit ihren Enden an der Oberseite des Gehäuses stumpf zusammengelöthet sind. Einen Überschuß an Löthmetall (Zinn) habe ich dabei nach Möglichkeit vermieden. Unten sind diese Drähte an 4 mm dicken Kupferdrähten *k* gelöthet, die durch isolierte Klebeschrauben mit der zum Galvanometer führenden Leitung verbunden werden. Die unteren Löthstellen des Thermoelements liegen in einem mit Petroleum gefüllten Glasrohr. Die dasselbe verschließenden Korke wurden sorgfältig mit einer dünnen Nadel durchbohrt und, um jedes Durchdringen des Petroleums unmöglich zu machen, noch mit Leim überzogen. Der Bogen *mle* wurde gleichmäßig mit Ruß überzogen und das Thermoelement dann in das aufgeschraubte Gehäuse 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 *mle*, die unteren Löthstellen sind in völliger Dunkelheit.

Das Galvanometer, ein Spiegelgalvanometer mit astatischer Nadel und zwei neben einander geschalteten Rollen aus dickem Kupferdraht, steht auf einer sehr festen Wandkonsole. Da das Versuchszimmer zu ebener Erde liegt und die Wand fast $\frac{3}{4}$ m dick ist, sind Störungen durch Erschütterung nach Möglichkeit ausgeschlossen. Ein Gehäuse, das auf der dem Beobachter 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 Beobachtungen Niemand im Zimmer umhergeht, ist diese Befestigung von genügender Sicherheit. Eine besondere Dämpfungsvorrichtung ist an dem Galvanometer nicht vorhanden.

Die Astasie der Nadel bedingt zwar eine große Empfindlichkeit des Galvanometers, andererseits ist deren große Unruhe aber auch recht störend und es mussten die Versuche in folgender Weise angestellt werden. Wenn Alles vorbereitet war, das Blattstück sich im Rezipienten befand, der Heliostat in den geschlossenen Laden des von der Sonne beschienenen Fensters eingesetzt — auf die Skala fällt durch 2 andere nicht besonnte Fenster so viel Tageslicht, daß die Ablesungen keinerlei Schwierigkeiten machen — das Gitter vor die Öffnung der Thermosäule gehoben und der oben beschriebene Aspirator in Gang gesetzt war, wurde bei geschlossenem Rohr des Heliostaten zunächst wenigstens 5 Minuten lang gewartet, damit der Apparat, der sich bei meiner Annäherung, da ich ja zum Einsetzen des Rezipienten den Holzkasten für kurze Zeit öffnen mußte, etwas erwärmt hatte, sich wieder völlig abkühlte. Nun wurden mehrere auf einander folgende Umkehrpunkte der Nadel notirt, um aus ihnen später die Ruhelago der Nadel zu berechnen. 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 verschließende Schirm (Fig. 4, *d*), der bis dahin stets so hing, daß kein Licht auf das Thermoeloment fallen konnte, emporgezogen. Bei seiner geringen Masse nimmt das Thermoeloment 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 geschehen, so wird der Schirm wieder herabgelassen und der Heliostat geschlossen. Eine solche Lichtmessung nimmt im Ganzen nur etwa $1\frac{1}{2}$ Minute in Anspruch.

Um die andere Öffnung des Blechschirmes vor das Thermoeloment zu schieben, 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 Blaoberfläche 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 größ beobachtete Ausschlag nur einer Drehung von $14^{\circ} 16' 20'' 75$ entspricht.

Die im Fernrohr beobachteten Umkehrpunkte sind nur bei ganz klein Ausschlägen den Drehungswinkeln proportional, dann findet man den Ausschlag, indem man von der abgelesenen Zahl die dem mittleren Skalenthe d. h. derjenigen Stelle der Skala, die von einem durch die zu ihr sen rechte 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 4 bis 2168 Skalentheile, in Versuch 4 4546 Skalentheile. Eine Korrektur d Spiegelabstandes wegen Neigung oder Krümmung des Spiegels war ni nöthig, da der Spiegel genau vertikal stand und völlig eben war. Es sei der Skalenabstand, gemessen in Skalentheilen, der einem Aussehlag vor 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 fortsehreitend r Proportionaltheilen zur Interpolation für dazwischen liegende Werthe E rechnet, so daß also nachher die Umwandlung der beobachteten Ausschlä in den Bogen proportionale Stücke keine Mühe machte. Aus den so c gehaltenen reduzierten Ausschlägen berechnete ich in derselben Weise, w dies bei Schwingungsbeobachtungen von Wagen üblich ist, die Ruhelag der Nadel.

Sämmtliche Ausschläge nach links wurden addirt und aus ihrer Summ das Mittel berechnet. Ebenso wurde mit den Ausschlägen nach rechts v gefahren. 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 Lötstelle nicht erwärmt ist, und aus ihrer Ruhelage, wenn die Lötstelle durch darauffallende Lichtstrahlen erwärmt wird, ergebende Lagenänderung der Nadel dient als Maß für die Energie der auf die Lötstelle 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 em 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 0,2450 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.

$$(a + b)^2 : b^2 = 0,54422 : 0,32922 = 2,7329 : 1 .$$

Die hinter dem Drahtgitter gemessene Helligkeit muß also mit 2,7329 multipliziert 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 Thermolemente. Jedenfalls ist es aber gestattet anzunehmen, daß die Verminderung der Durchsichtigkeit des Recipienten in kurzen Zeiten gleichmäßig gewesen sei. Ich fand z. B. (Versuch 4) die auf eine Öffnung von 3 em Durchmesser fallende Lichtmenge $44^h 49'$ zu 1539,2, $42^h 32'$ zu 1363,7; sie verminderte sich also in 43 Minuten um 175,5. Um $42^h 3'$ wurde die von dem Blattstück durchgelassene Lichtmenge gemessen. Ich nahm also an, die Lichtmenge, welche zu dieser Zeit auf das kreisrunde Blattstück von 3 em Durchmesser fiel, sei 1483,8 gewesen, und berechnete somit das durchgelassene Lichtquantum in Prozenten des auf die Blattoberfläche fallenden.

Versuch 4. Am 22. Juni 1888.

Die Temperatur im Holzkasten steigt während des Versuchs von 16,8 auf $17,2^\circ$ C.

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

um 11 ^h 49'	1539,2
.. 12 ^h 38'	1363,7
.. 12 ^h 54'	1175,4 .

Das Versuchsobjekt, ein Blattstück von einer sehr kräftigen im Gasgezogenen Pflanze von *Urtica dioeca*, ist um 11^h in den Recipienten gebracht. Von 11^h 45' bis 12^h 5' wird kohlenstofffreie Luft durch den Recipienten geleitet, von 12^h 5' bis 12^h 45' Luft mit 10 % Kohlenstoff, d. wieder von 12^h 45' bis 1^h 5' kohlenstofffreie Luft.

Vom Blatt durchgelassene Lichtquantitäten:

a) in kohlenstofffreier Luft

um 12 ^h 3'	58,3
.. 1 ^h 0'	54,4 ;

b) in kohlenstoffhaltiger Luft

um 12 ^h 18'	50,6 .
------------------------	--------

Der Berechnung zu Grunde gelegte, auf das Blattstück fallende Lichtmengen:

um 12 ^h 3'	1483,8
.. 1 ^h 0'	1401,8
.. 12 ^h 18'	1432,9 .

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

a) in kohlenstofffreier Luft 3,93 %
 4,92 %

Mittel 4,43 %

b) in kohlenstoffhaltiger Luft 3,53 %

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

Versuch 2. Ein Blattstück von *Humulus Lupulus* wird am 22. Juli 1888 um 1^h 30' in den Apparat gebracht. Temperatur 17,2—17,5° Kohlenstofffreie Luft wurde von 1^h 45' bis 2^h 22' durch den Recipienten geleitet, dann kohlenstofffreie Luft.

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

um 1 ^h 54'	1714,4
.. 2 ^h 33'	1644,9 .

Das Blattstück ließ folgende Lichtmengen hindurch:

a) in kohlenstofffreier 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 ergibt 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 reduzierte, 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'	1143,4 .

Die von dem Blattstücke durchgelassenen Lichtmengen sind:

a) in kohlenstofffreier Luft

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

b) in kohlenstoffhaltiger Luft

um 1 ^h 37'	27,3 = 2,08 %	des auffallenden Lichtes
„ 2 ^h 7'	18,9 = 1,47 %	„ „ „
	<u>Mittel 1,78 %</u>	„ „ „

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 konzentriertes Sonnenlicht auf eine Blattoberfläche von 1,5 cm Durchmesser. Eine Messung der auf die Blattoberfläche auffallenden Lichtmenge war wegen zu starke Ausschlag 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 kohlenstofffreier und kohlenstoffhaltiger 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 kohlenstofffreie Luft durch den Recipienten geleitet, dann von 9^h 15' bis 9^h 37' Luft, die 4 % Kohlenstoff enthält, endlich von 9^h 37' bis 9^h 50' kohlenstofffreie Luft.

Die durchgelassenen Lichtmengen sind:

a) in kohlenstofffreier Luft

um 9 ^h 7'	129,8
„ 9 ^h 45'	80,7

Mittel 105,3

b) in kohlenstoffhaltiger 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](#)