

9. A. Ursprung: Ueber die Bedeutung der Wellenlänge für die Stärkebildung.

(Mit 4 Abb. im Text und Tafel I.)

(Eingegangen am 15. Februar 1918.)

Wenn man die Bedeutung der Wellenlänge für die Assimilation feststellen will, muß man sich Licht verschiedener Wellenlänge aber gleicher Energie verschaffen. Verschiedene Wellenlängen erhält man durch Filter oder durch spektrale Zerlegung; die Prüfung auf gleiche Energie erfolgt auf thermoelektrischem Wege.

Die ersten Versuche stellten KNIEP und MINDER¹⁾ an, unter Verwendung von Filtern und der Sonne als Lichtquelle; zur Messung der Assimilation diente die Blasenanzahlmethode (*Elodea*). Es wird angegeben, daß in etwa gleich starkem rotem und blauem Licht auch die Assimilation ungefähr gleich war, während selbst in viel intensiverem Grün fast keine Assimilation erfolgte. Zu diesen Resultaten ist zweierlei zu bemerken. Filter lassen meistens größere Bezirke durch (durch obiges Rotfilter z. B. passierte vom sichtbaren Spektrum λ 760–620 bzw. 608); sie sind daher brauchbar, so lange es nur darauf ankommt „Rot“, „Grün“ etc. zu trennen²⁾; sie lassen sich dagegen nicht mehr benützen, wenn man die Analyse weiter treiben und enge, scharf begrenzte und willkürlich zu wählende Spektralbezirke prüfen will. Ein zweiter Nachteil der Filter ist der, daß ihre Durchlässigkeit für unsere Zwecke meist ungenügend bekannt ist. Als Beispiel sei das NAGELsche Grünfilter herausgegriffen, das KNIEP und MINDER benützten. Von diesem Filter erfahren wir, daß es vom sichtbaren Bezirk nur λ 512–524 passieren läßt, über die Durchlässigkeit für Ultrarot und Ultraviolett erfahren wir dagegen nichts. Aber gerade das Verhalten gegen Ultrarot ist für uns von der größten Wichtigkeit, da das Ultrarot nach älteren Angaben ca. 60 pCt., nach neueren sogar bis 80 pCt. der gesamten Sonnenstrahlung ausmacht. Ist

1) KNIEP und MINDER, Über den Einfluß verschiedenfarbigen Lichtes auf die Kohlensäureassimilation. Zeitschr. f. Bot. 1 (1909), p. 619.

2) Doch darf dabei die Absorption des Chlorophylls nicht unberücksichtigt bleiben.

das Grünfilter für Ultrarot nicht impermeabel, so kann die Thermosäule eine starke Strahlung anzeigen, obschon nur wenig Grün passiert. Wenn also KNIEP hinter dem blauen, roten und grünen Filter mit der Thermosäule gleiche Intensitäten fand, so beweist das allein noch nicht, daß die passierenden blauen, roten und grünen Strahlen gleich intensiv waren; es muß zugleich auch überzeugend nachgewiesen werden, daß keine Täuschung durch unsichtbare Strahlen möglich war. In diesem ausschlaggebenden Punkte ist die KNIEPsche Arbeit leider unklar. Es heißt wohl p. 634: „Die Wärmestraahlen wurden in unseren Versuchen . . . durch Vorschalten von mit destilliertem Wasser gefüllten parallelwandigen Küvetten ausgeschlossen. Gibt man zu dem Wasser geringe Spuren von $K_2Cr_2O_7$ und $CuSO_4$, so hat man eine Lösung, die nur den sichtbaren Teil des Spektrums durchläßt, also Ultrarot und Ultraviolett praktisch ausschließt.“ Diese Angabe genügt aber aus folgenden Gründen nicht. Wasser absorbiert nur dann alles Ultrarot, wenn es in ausreichend dicker Schicht vorhanden ist; die nötige Schichtdicke ist aber größer als vielfach angenommen wird. Aus den Energiekurven von ABNEY u. FESTING¹⁾ folgt, daß selbst eine 2 Fuß dicke Wasserschicht nicht alles Ultrarot einer Bogenlampe absorbiert. Angaben über die Schichtdicke fand ich bei KNIEP und MINDER einzig für das Grünfilter. Dasselbe bestand entweder nur aus der NAGELSchen Lösung in 1 cm dicker Schicht oder in Verbindung mit einer 5,5 cm dicken Wasserschicht. Die 5,5 cm dicke Wasserschicht allein läßt aber ganz bedeutende Mengen Ultrarot durch (vgl. die Kurven von ABNEY und FESTING und von ASCHKINASS Wied. Ann. 55, p. 401, 1895) und die 1 cm dicke Lösung wurde auf ihre Durchlässigkeit für Ultrarot nicht geprüft. — Die Kaliumbichromatlösung können wir übergehen, da ihre Absorption das kurzwellige Ende betrifft, das uns wegen seiner geringeren Energie weniger interessiert. Was die Kupfersulfatlösung betrifft, so ist mir wohl bekannt, daß sie zur Absorption von Ultrarot benützt wird, aber weder bei KNIEP noch in der physikalischen Literatur konnte ich Zahlen oder Kurven finden, welche die KNIEPsche Versuchsanordnung rechtfertigen. So weit ich sehe, gehen die Angaben der physikalischen Lehr- und Hand-

1) ABNEY and FESTING, The influence of water in the Atmosphere on the solar spectrum. Proc. Roy. Soc. London, 35 (1883), p. 328. VOEGE (zit. nach SCHAUM, Photochemie, p. 147) warnt davor, aus der genügenden Absorption für ultrarote Strahlen bestimmter Wellenlänge, z. B. für die der nicht leuchtenden Bunsenflamme, auf völlige Absorption des gesamten Ultrarot zu schließen.

bücher auf Untersuchungen von FRANZ¹⁾ zurück. FRANZ fand aber verdünnte CuSO_4 -lösungen (um die es sich bei KNIEP ja handelt) durchlässig für Ultrarot. Dasselbe Resultat erhielt HOUSTOUN²⁾ in einer nach KNIEPs Publikation erschienenen Arbeit.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß Filter für unsere Zwecke nur dann verwendet werden dürfen, wenn sie für die zu benutzende Strahlungsquelle genau auf ihre Durchlässigkeit geprüft sind und zwar nicht nur im sichtbaren Bezirk, sondern auch im Ultraviolett und besonders im Ultrarot.

Nur durch eine Beimischung von unbemerkten störenden Strahlen ist mir verständlich, daß KNIEP die Assimilation im Rot = 36, im viel intensiveren Grün aber fast Null finden konnte (l. c. p. 641), während bei ENGELMANN und mir im Grün gleicher oder fast gleicher Wellenlänge auch dann deutlich assimiliert wurde, wenn es wesentlich schwächer war als das Rot (Prismenspektrum).

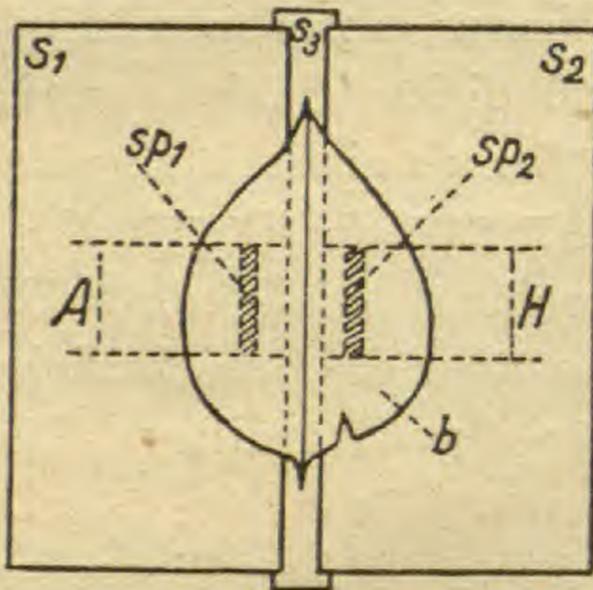


Abb. 1.

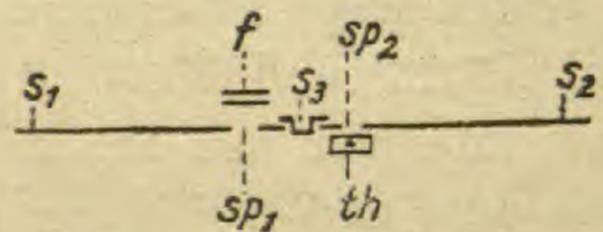


Abb. 2.

REINKE, der gleich KNIEP mit *Elodea* experimentierte, stellte mit dem Spektrophor im Grün nur ca. 4mal schwächere Blasenbildung fest als bei BC.

Methode.

Ich benutzte spektral zerlegtes Licht. Nach Vorversuchen mit einem Monochromator von ZEISS, die ich übergehe, wurde folgende Anordnung beibehalten. In einem lichtstarken Spektralapparat mit 1 Glasprisma entfernte ich das Okular und brachte in der Bildebene des Spektrums AH (punktiert, Abb. 1) 2 Blechschirme s_1 und s_2 mit je einer Spalte sp_1 und sp_2 an (Abb. 1 und Abb. 2). Beide Spalten sind genau gleich und die Blechschirme

1) Auch ZSIGMONDY (Wied. Ann. 49, p. 531, 1893) beruft sich auf FRANZ (Pogg. Ann. 94, p. 337, 1855 u. 101, p. 46, 1857). GRÜNBAUM (Ann. d. Phys. (4), 12 p. 1004, 1903) mißt nur im Sichtbaren, ebenso MÜLLER (Ann. d. Phys. (4), 12, 1903 u. (4) 21, 1906)

2) HOUSTOUN, Absorption of light by inorganic salts. Proc. Roy. Soc. Edinburgh 32, 1911—1912, p. 40.

an einer Millimeterskala (mit Nonius) mit Mikrometerschrauben verschiebbar. Einen ev. Zwischenraum zwischen den beiden Schirmen verschließt der Blechstreifen s_3 . (In verschiedenen Versuchsserien wurden verschieden breite Spaltenpaare benützt: 0,50 mm, 0,52 mm und 1,0 mm). Auf diese Weise war es möglich aus 2 beliebigen Stellen des Spektrums genau gleich breite Bezirke herauszugreifen. Zur Orientierung im Spektrum dienten die Linien von H, He, K, Tl etc.; eine hinter den Spalten sp_1 und sp_2 angebrachte Lupe erlaubte genaue Einstellung. Für die Wahl der Lichtquelle war der Umstand maßgebend, daß genügend Violett vorhanden sein mußte. Da die Sonne zu variabel ist, griff ich zum Krater einer starken Gleichstrombogenlampe, den ich mit einer Sammellinse auf den Kollimatorspalt projizierte. Die Lampe wurde möglichst konstant auf 17 Amp. gehalten (Akkumulatorenbatterie, Regulierwiderstand), Ampèrezahl und Kohlendistanz während der ganzen Versuchsdauer genau überwacht. Trotzdem waren kleine Schwankungen unvermeidlich. Um sie unschädlich zu machen wurden bei jedem Versuch gleichzeitig 2 Bezirke sp_1 und sp_2 verglichen; ev. Schwankungen teilten sich dann beiden Bezirken in gleicher Weise mit¹⁾. Zur Messung der Energie der beiden Bezirke benützte ich eine lineare Vakuum-Thermosäule th (Abb. 2) in Verbindung mit einem empfindlichen Drehspulengalvanometer von SIEMENS²⁾. Die Säule konnte auf optischer Bank von einem Bezirk zum anderen verschoben und die Einstellung rasch und genau besorgt werden. Instrumente und Leitung waren in üblicher Weise gut gegen Wärme isoliert. Den energiereicheren Bezirk schwächte ich durch Verschieben gefärbter Glas- und Gelatinestreifen f (Fig. 2), von denen eine größere Kollektion zur Verfügung stand, so lange ab, bis er gleiche Energie zeigte wie der andere Bezirk.

Soll z. B. die Assimilation bei den FRAUNHOFERSchen Linien C u. h verglichen werden, so bringt man vor den sehr engen Kollimatorspalt ein Wasserstoffrohr und stellt die beiden Schirme so ein, daß die C-linie in die Mitte von sp_1 , die h-linie in die Mitte von sp_2 kommt. Nun folgt die Energiemessung. Das Wasserstoffrohr wird entfernt, die Bogenlampe in Gang gesetzt und die Thermosäule auf den energieärmeren Bezirk h eingestellt. Vor dem Kollimatorspalt wird ein Doppelschirm herabgelassen, der vom

1) Da die Schwankungen gering waren, dürfen wir das Verhältnis der Energie in den beiden Bezirken als konstant betrachten. Zudem dauerten die Schwankungen nur kurze Zeit an.

2) Für die freundliche Überlassung mehrerer Apparate spreche ich Herrn Prof. Dr. P. JOYE auch an dieser Stelle meinen besten Dank aus.

Beobachter am Skalenfernrohr des Galvanometers durch eine Transmission leicht dirigiert werden kann. Der Kollimatorspalt muß nun etwas erweitert werden, kann aber dank der starken Lichtquelle stets so eng (< 1 mm) bleiben, daß jene Fehler vermieden werden, die bei unreinem Spektrum sich einstellen¹⁾. Ist die Energie bei h durch eine größere Zahl von Messungen genau bekannt, so wird auf C eingestellt und — durch Ausprobieren der Filter — die Energie derjenigen bei h gleich zu machen gesucht, was stets bis auf wenige Prozent gelang. Durch wiederholten Vergleich der beiden Bezirke kontrolliert man die Richtigkeit der Abgleichung und prüft endlich mit dem Wasserstoffrohr die Einstellung nochmals nach.*

Versuchspflanze ist *Phaseolus vulgaris* (Topfexemplare). Ein entstärktes, an der Pflanze befindliches Blatt wird so hinter den Schirmen befestigt (Plastolin), daß die Oberseite gegen das Licht gekehrt ist und die beiden Lichtstreifen die Blatthälften symmetrisch treffen b (Abb. 1). Die Exposition muß so lange dauern, bis genügend Stärke gebildet ist (2—7 Stunden). Liegt ein Bezirk im energiearmen Violett, so ist natürlich auch bei gleicher Weite des Kollimatorspaltes mehr Zeit erforderlich, als wenn beide Bezirke langwellig sind. Nach erfolgter Jodprobe wird die Schwärzung der beiden Bezirke an Hand einer Schwärzungsskala verglichen. Um Verwechslungen zu vermeiden machte ich den kurzwelligen Bezirk stets durch einen Einschnitt im Blattrand kenntlich.

Resultate.

A. Absorption und Stärkebildung im sichtbaren Spektrum. Von den ca. 70 Versuchen ist eine Auswahl in der Tabelle (Fig. 3) wiedergegeben. Wir finden am Kopfe das Spektrum, ganz links die Versuchsnummer. Die Breite der Bezirke sp_1 und sp_2 ist im richtigen Verhältnis eingezeichnet, ihre Lage durch die FRAUNHOFERSchen Linien kenntlich gemacht. In jedem Bezirk habe ich zwei Werte notiert, oben die Schwärzung, unten den Galvanometerausschlag, d. h. die Energie des Lichtes. In Versuch 26 war also die Lichtenergie bei $A = 90$, bei $F = 90$ und die Schwärzung bei $A = 0$, bei $F = 8$. Bei dieser Darstellung können wir die wichtigsten Daten rasch überblicken.

Die Versuche lassen sich in fünf Serien einteilen. Die erste Serie erlaubt einen Vergleich verschiedener Bezirke mit F , die

1) URSPRUNG, Über die Absorptionskurve des grünen Farbstoffes lebender Blätter. Dieses Heft, vorausgehende Mitteilung.

zweite mit Tl, die dritte mit D, die vierte mit h, bei der fünften waren die beiden Blechschirme durch einen einzigen ersetzt, der zwei Spalten in der konstanten Distanz von 2,3 mm trug. Dadurch wurde für jeden Bezirk eine mehrfache, von verschiedenen

Nr.	A	a	B	C	D	T	E	b	f	G	h	H	K
26	0 90								8 90				
27	0 160								4 160				
31		1 110							8 110				
33		3 100							4 100				
34		6 170							4 170				
39			8 75						4 76				
43				4 109					4 104				
45				7 100					4 101				
48					7 93				8 93				
46						5 100			4 100				
55									3 40	3 40			
53									4 26		2 26		
61		4 101						8 100					
63		6 99						4 99					
64			7 109					4 107					
65			6 185					4 102					
66			4 90					4 92					
67				45 121				3 122					
68					3,5 88			3 87					
51								3 25			1,5 23		
60					10 125			7 125					
59					9 120			5 120					
58					6 120			4 120					
4	0 42										3 42		
2		4 43									1 43		
6						4 50					2 50		
7								2 50			1 50		
8									1 60		1,5 60		
9										3 60			1 60
25											1,5 43		1 41
23								2 52	1 52				
20					1,5 175			1 175					

Abb. 3.

Fixpunkten ausgehende Kontrolle ermöglicht, die zur Sicherstellung der Resultate sehr erwünscht war. Einer Erwähnung bedarf vielleicht noch der folgende Punkt: ein Vergleich z. B. der F-Werte der ersten Serie zeigt, daß die Schwärzung bei verschiedenen Ver-

suchen verschieden ist und — was auffallen kann — mit der Lichtenergie nicht im Zusammenhang steht; das hängt mit Verschiedenheiten in andern maßgebenden Faktoren, besonders der Expositionsdauer zusammen.

Übersichtlicher als durch die Tabelle lassen sich die Resultate durch die Schwärzungskurve darstellen (Taf. I, Fig. 1 ausgezogene Linie), die aus den Tabellenwerten auf folgende Weise zu erhalten ist. Wir tragen auf der Abszisse die Wellenlängen, auf der Ordinate die Schwärzung ab und beginnen mit den Versuchen in denen die Schwärzung bei $F = 4$ war. Brauchbar sind dabei natürlich nur solche Schwärzungen, bei welchen die früher¹⁾ als Solarisation bezeichnete Erscheinung noch nicht begonnen hat. Versuche, deren F -werte ≥ 4 sind, werden auf $F = 4$ umgerechnet. Es ist das erlaubt, weil die Differenzen innerhalb der Grenzen der unvermeidlichen Versuchsfehler liegen, worüber man die folgende Zusammenstellung vergleichen wolle, in welcher ein angehängtes „red.“ die reduzierten Werte andeutet.

Nr.	vor D	F	Nr.	vor Tl	F
42	4	4	48	7	8
43	7	7	49	5	6
43 red.	4	4	48 red.	3,5	4
			49 red.	3,33	4

Nr.	D	F	Nr.	F	h
45	7	4	7	2	1
44	9	5	53	4	2
44 red.	7,2	4	7 red.	4	2

Zudem üben die andern Versuchsserien eine Kontrolle aus, der größere Fehler nicht entgehen können. — Die Einzeichnung der Versuchsserie 2 erfolgt nach Umrechnung der Schwärzung bei der Thalliumlinie auf den Wert 5, und in entsprechender Weise werden die übrigen Versuche eingetragen. Lagen für einen Kurvenpunkt mehrere Bestimmungen vor, so differierten die einzelnen Schwärzungswerte natürlich etwas infolge der Versuchsfehler. Damit man sich eine Vorstellung von der Bedeutung dieser Fehler machen kann, habe ich die beiden stärksten Abweichungen

1) URSPRUNG, Über die Stärkebildung im Spektrum. Diese Berichte 1917, p. 44.

(8,0 und 8,7 für C; 2,0 und 2,5 für h) eingetragen. Sie zeigen, daß dadurch an dem prinzipiellen Charakter unserer Kurve nichts verändert wird.

Die auf diese Weise erhaltene Kurve steigt vom äußersten Rot bis BC steil an und fällt von hier langsamer bis zum violetten Ende ab, wo sie nicht weiter verfolgt wurde. Außer dem Hauptmaximum bei BC sind verschiedene Nebenmaxima sichtbar. Bevor wir jedoch unsere Assimilationskurve näher besprechen ist daran zu erinnern, daß sowohl bei ihr (ausgezogene Linie) wie bei der Absorptionskurve (punktierter Linie) die auffallende Energie für alle Wellenlängen dieselbe ist. Bei der Schwärzungskurve bedarf das keiner weiteren Erläuterung; die Absorptionskurve gibt, wie wir in der vorigen Mitteilung sahen, für jedes λ die vom Farbstoff des lebenden grünen Blattes absorbierte Energie in Prozenten der auffallenden, die auffallende ist also jeweils = 100 gesetzt. Daraus folgt, daß die beiden Kurven direkt vergleichbar sind.

Es fallen nun vor allem die folgenden drei Punkte auf: 1. der weitgehende Parallelismus der beiden Kurven vom roten Ende bis ins Grün bei E. 2. Der abweichende Verlauf von E an, indem die Absorptionskurve wieder ansteigt, die Assimilationskurve aber weiter fällt. 3. Das Zusammenfallen sämtlicher Maxima beider Kurven auf dieselben Wellenlängen soweit das bei der Entfernung der Meßpunkte überhaupt möglich ist. Die Maxima der Absorptionskurve sind in üblicher Weise mit I bis VI bezeichnet. Es ist bemerkenswert, daß die Auffindung der schwächeren Nebenmaxima, die auch ENGELMANN nicht glückte, mit unserer Methode nun gelungen ist¹⁾.

Die Hauptabweichung besteht im Fallen der Schwärzungskurve von E an, während die Absorption wieder zunimmt. Für die Beurteilung der ENGELMANNschen Gleichung $E_{ass} = E_{abs}$ ist es wichtig, die Ursache dieser Abweichung aufzufinden. Zunächst ist zu bedenken, daß die ENGELMANNsche Gleichung sich auf die Gesamtassimilation bezieht, unsere Kurve aber nur auf die Stärkebildung; es war daher zu prüfen, ob vielleicht im Violett Zucker an Stelle der Stärke sich findet. Ich konnte jedoch bei gelegentlichen Proben mit *Phaseolus* oder mit der TROMMERSchen Probe, noch mit der Reaktion nach FLÜCKIGER nennenswerte Differenzen zwischen C und h feststellen. Dagegen ließ sich deutlich nach-

1) Eine Andeutung der Bänder II u. III gibt allerdings schon DANGEARD an (Sur la détermination des rayons actifs dans la synthèse chlorophyllienne. C. R. 152, 1911, p. 277), der aber indirekt aus der Vermehrung auf die Assimilation schloß.

weisen, daß in *Elodeablättern* der osmotische Wert bei gleicher Intensität der auffallenden Strahlen bei C größer ist als bei F und hier wieder größer als bei h¹⁾. Wenn das *Phaseolusblatt* ein ähnliches Verhalten zeigt, so kann das in doppelter Weise von Einfluß sein. Einmal könnte eine Herabsetzung des Turgors auch bei normaler Kohlensäurezufuhr die Assimilation schwächen; ferner ist mit der Verminderung des Turgors der Schließzellen eine Verengerung der Spaltöffnungen und eine ev. Erschwerung der CO₂-zufuhr zu erwarten. Die gelegentliche Prüfung verschiedener *Phaseolusblätter* nach dem Verfahren von LLOYD ergab bei h engere Stomata als bei C trotz gleicher auffallender Energie. Es deckt sich das der Hauptsache nach mit den Erfahrungen F. DARWINS²⁾ hinter roten, grünen und blauen allerdings nicht auf gleiche Intensität abgestimmten Filtern. Damit ist — da die Spalten auch absolut eng waren — die Möglichkeit gegeben, daß das CO₂ im kurzwelligen Bezirk als begrenzender Faktor wirkte und das Fallen der Kurve hierauf zurückgeführt werden kann. Trifft diese Annahme zu, so muß an spaltöffnungsfreien Blättern mit dem Wegfall dieses begrenzenden Faktors die Assimilationskurve von E an wieder steigen, ähnlich wie die Absorptionskurve. Einige Versuche die ich in dieser Richtung an spaltöffnungsfreien Blättern mit meiner Methode (Stärkebildung) anstellte, scheiterten an dem Fehlen geeigneten Untersuchungsmaterials. Wir können uns aber auf ENGELMANN, KNIEP und MINDER, sowie MEINHOLD³⁾ berufen. Denn trotz der Verschiedenheiten in den Methoden und Resultaten — MEINHOLD mißt nicht die Assimilation sondern die Vermehrung — und trotz aller Unvollkommenheiten wurden doch übereinstimmend bei verschiedenen Algen, bei *Sphagnum* und *Elodea* im Blau oder Violett höhere Werte gefunden als im Grün. LUBIMENKO⁴⁾ gibt sogar ähnliches für *Phaseolusblätter* an, doch sind seine Befunde mit meinen eigenen schon deshalb nicht vergleichbar, weil er in Luft mit 10—12 pCt. CO₂ arbeitete, wodurch der begrenzende Faktor meiner Versuche in Wegfall kommt.

1) Zunahme des osmot. Wertes während 6 Stunden in Mol-Rohrzucker

C-linie	Tl-linie	Tl-linie	h-linie
0,08	0,06	0,053	0,02

2) F. DARWIN, Observations on Stomata. Phil. Trans. 1898.

3) MEINHOLD, Beitr. z. Physiologie der Diatomeen. Diss. Halle 1911.

4) LUBIMENKO, L'assimilation chlorophyllienne et la production de la substance sèche à la lumière blanche et à la lumière colorée. Rev. gén. Bot. 23, 1911, p. 1.

Hieraus folgt ferner, daß jene direkte Beeinflussung der assimilierenden Zellen durch den Turgor, von der oben die Rede war, für das Sinken der Schwärzungskurve jedenfalls nicht entscheidend ist. Die genannten Erfahrungen sprechen also dafür, daß das Fallen der Schwärzungskurve im kurzwelligen Bezirk vornehmlich auf den Mangel an CO_2 zurückzuführen sein dürfte¹⁾.

B. Absorption und Stärkebildung im Ultrarot und Ultraviolett.

1. Ultrarot. Alle bisherigen Bemühungen, bei grünen Pflanzen Assimilation im Ultrarot aufzufinden, waren meines Wissens erfolglos. Nach der Sicherstellung einer Absorption von Ultrarot durch den grünen Farbstoff lebender Blätter (vgl. die vorige Mitteilung) schien eine erneute Prüfung auf Assimilation geboten. Wenn meine Schwärzungskurve im äußersten Rot und im Anfang des Ultrarot auf Null sinkt, so heißt das natürlich nur λ 760 bewirkt keine sichtbare Schwärzung, wenn ein gleich intensives λ 656 eine Schwärzung ca. 8 erzeugt. Die Frage, ob ein bedeutend stärkeres oder länger einwirkendes λ 760 nicht trotzdem Stärke bilden kann, bleibt offen. Auch wäre ein negatives Resultat mit dem Bohnenblatt noch kein Beweis gegen ENGELMANN, denn einmal ist ein Spaltenschluß im Dunkeln zu befürchten und dazu gesellen sich die übrigen oben erwähnten Momente. Da ich somit auch im günstigsten Falle nur eine geringe Schwärzung erhoffen konnte, zog ich es vor, nicht im Spektrum zu arbeiten. Ich verwendete zwei Ultrarotfilter: eine konzentrierte Lösung von Jod in CS_2 in 9 cm dicker Schicht und eine 1,1 mm dicke Ebonitplatte. Beide Filter waren für sichtbare Strahlen ganz undurchlässig, indem verschiedene Beobachter im Dunkelraum mit ausgeruhtem Auge hinter den Filtern keine Spur der benutzten Lichtquelle (Osramprojektionslampe von 2500 Kerzen mit Linse konzentriert) erkennen konnten. Bei der Jodlösung waren Spuren von Ultraviolett kaum mit Sicherheit ausgeschlossen (vgl. KAYSER, III, p. 329 ff.), wohl aber bei der Ebonitplatte (vgl. KAYSER, III, p. 388). Denn dieselbe Plattendicke wie ich sie verwendete fand ich zum Verschuß

1) Von weiteren Faktoren, die auf den Verlauf der Schwärzungskurve Einfluß haben könnten, sei noch die Chromatophorenverlagerung und das Purkinjesche Phänomen erwähnt. Es wäre denkbar, daß die Chlorophyllkörner im Blauviolett eine für die Assimilation oder die Sichtbarkeit der Schwärzung weniger günstige Lage besitzen als im Rot. Die Angaben SENNS scheinen mir aber nicht dafür zu sprechen und eine direkte Untersuchung habe ich nicht vorgenommen. — Das Purkinjesche Phänomen müßte in umgekehrtem Sinne wirken.

photographischer Kassetten benützt, die selbst im intensivsten ultraviolettreichen Sonnenlicht keine Einwirkung auf die Platte erkennen ließen; noch weniger war dies bei meiner violettarmen Lichtquelle zu erwarten.

In dem Boden einer lichtdichten Schachtel aus schwarzem Karton wurde eine kleine rundliche Öffnung angebracht und das Fenster mit dem Ultrarotfilter (Ebonitplatte oder Jodlösung) lichtdicht verschlossen. Nach Entfernung des Schachteldeckels führte man durch einen seitlichen Schlitz ein entstärktes an der Pflanze inseriertes Bohnenblatt ein, fixierte es mit Plastolin hinter dem Fenster und dichtete nach Verschuß der Schachtel die Einführungsstelle lichtsicher ab. Die Strahlung der Lampe wurde nun auf das Fenster geworfen und der übrige Teil der Schachtel durch einen Asbestschirm geschützt. Nach 40stündiger Exposition erhielt ich mehrfach sowohl hinter dem Ebonit- wie hinter dem Jodfilter deutliche Stärkebildung, während die übrige Blattpartie stärkefrei geblieben war. Fig. 2, Taf. I gibt die Photographie eines solchen mit Jod behandelten Blattes nach 40-stündiger Exposition hinter dem Ebonitfilter. Es glückte indessen, besonders hinter dem Ebonitfilter durchaus nicht jeder Versuch; die Linse muß offenbar in günstiger Stellung sein, so daß weder zu viel noch zu wenig ultrarote Strahlen auf das Blatt fallen. Ein Stück Celloidinpapier an Stelle des Blattes 48 Stunden exponiert, ließ keine Spur einer Einwirkung erkennen.

Nachdem wir jetzt wissen, daß im Ultrarot Assimilation möglich ist, bleibt noch zu ermitteln, warum die Schwärzungskurve mit der Absorptionskurve sich nicht deckt. Zu diesem Zwecke untersuchte ich ein Blatt nach 4-stündiger Bestrahlung hinter dem Ebonitfilter mit der LLOYDschen Methode. Die Spaltöffnungen hatten sich im Ultrarot bedeutend verengert, z. T. sogar geschlossen. Die Möglichkeit liegt also auch hier vor, daß das CO_2 als begrenzender Faktor gewirkt hat. Die Glukoseprüfung ergab keine Anhaltspunkte.

2. Ultraviolett. Daß auch im langwelligen Ultraviolett assimiliert werden kann habe ich früher¹⁾ bewiesen und sowohl hier wie an anderer Stelle²⁾ gezeigt, daß nur ein relativ kleiner Bezirk in Betracht fallen kann. Denn einmal sendet die Sonne keine kürzeren Wellen auf die Erdoberfläche und dann würden

1) URSPRUNG, Über die Stärkebildung im Spektrum. Diese Berichte 1917, p. 44.

2) URSPRUNG u. BLUM, Über die Schädlichkeit ultravioletter Strahlen. Diese Berichte 1917, p. 385.

die letzteren auch schädigend auf die Pflanze einwirken. Desgleichen ist Absorption für das Ultraviolett angegeben, aber die Kurven sind noch nicht bekannt und daher läßt sich über die Beziehung der Assimilation zur Absorption zur Zeit nichts aussagen.

Die Engelmannschen Kurven.

Um die Beziehungen zwischen Absorption und Assimilation grüner Zellen übersichtlich darzustellen, zeichnete ENGELMANN¹⁾ die bekannten überall reproduzierten²⁾ Kurven. Es scheint bisher übersehen worden zu sein, daß diese Kurven nicht vergleichbar sind. Bei der Absorptionskurve setzt ENGELMANN die auffallende

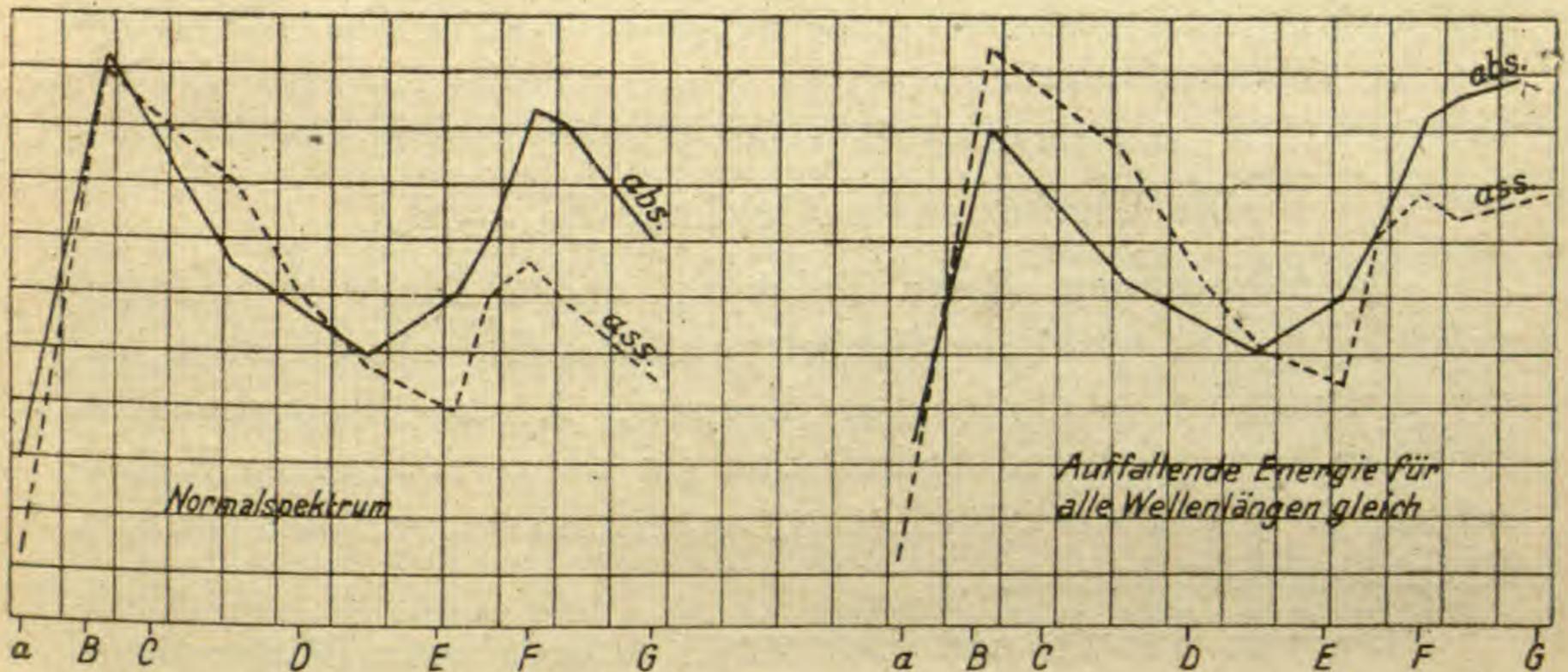


Abb. 4.

Energie für alle Wellenlängen = 100, während er die Assimilationskurve auf die Energieverteilung im Normalspektrum der Sonne basiert. Es ist aber selbstverständlich, daß die Kurven nur dann vergleichbar sind, wenn sie beide entweder auf dasselbe Normalspektrum der Sonne oder auf die auffallende Energie 100 sich beziehen. Da wir die Energiekurve der von ENGELMANN benützten Sonnenstrahlung nicht kennen, ist die Umrechnung natürlich etwas willkürlich. Wir erhalten etwas andere Resultate je nachdem wir uns auf die eine oder andere der zahlreichen von LANGLEY, ABBOT

1) ENGELMANN, Untersuchungen über die quantitativen Beziehungen zwischen Absorption des Lichtes und Assimilation in Pflanzenzellen. Bot. Ztg. 42, 1884.

2) z. B. PFEFFER, Pflanzenphysiologie 1897, Bd. I, p. 326; JOST, Vorlesungen 1913, p. 166.

und FOWLE publizierten Beobachtungsserien stützen. Ich habe die Berechnung sowohl nach einer älteren Kurve LANGLEYS (1882, Ann. chim. phys. 5 sér. 25 p. 212), wie auch nach Kurven von ABBOT und FOWLE für verschiedene Sonnenhöhen vorgenommen, beschränke mich aber auf die Wiedergabe eines Resultates, das mittlere Deckung ergab in Kurvenform (nach Kurve $9,70^\circ$ Zmithdistanz, Ann. of the astrophysical observatory of the Smithsonian Institution, II, 1908, Taf. XVI). Wie Figur 4 zeigt, harmonisieren die Kurvenpaare nach der Korrektion noch besser als in der ENGELMANNschen Zeichnung, indem die so störende Diskrepanz im Blauviolett gemildert, in andern (hier nicht reproduzierten) Fällen sogar verschwunden ist. Die Vermutung drängt sich auf, es könnten die noch bestehenden Abweichungen weniger in der Sache selbst begründet sein, als in einer mangelhaften Reduktion und in Versuchsfehlern.

Die Engelmannsche Gleichung $E_{\text{abs}} = E_{\text{ass}}$.

Bei Beurteilung dieser Gleichung sind 2 Dinge auseinanderzuhalten: 1. das wirkliche Größenverhältnis der absorbierten und zur Assimilation verbrauchten Energie, 2. die Proportionalität zwischen Absorption und Assimilation für die verschiedenen Wellenlängen, d. h. das was ENGELMANN auf Grund seiner Beobachtungen allein beurteilen konnte.

Die von BROWN und ESCOMBE¹⁾ untersuchten Blätter absorbierten ca. 70—80 pCt. der auffallenden Sonnenstrahlen, während meist nur ca. 1 pCt. zur Assimilation verbraucht wurde. Die Gleichung kann daher unmöglich richtig sein, wenn unter E_{abs} die vom ganzen Blatt absorbierte Strahlung verstanden wird. Es wäre das auch ganz unzweckmäßig, da ja das Blatt der absorbierten Energie nicht nur zur Assimilation, sondern noch zu anderem spez. zur Transpiration bedarf.

Wesentlich günstiger liegen die Verhältnisse, wenn E_{abs} nur die vom grünen Farbstoff absorbierte Energie darstellt. BROWN und ESCOMBE bestimmten diese Größe für ein Blatt von *Acer Negundo* und Sonnenstrahlung zu 4,2 pCt.; ich selbst fand für dieselbe Spezies und die Strahlung eines Nernstbrenners Werte zwischen 3,5 und 4,1 pCt. Andererseits schwankt die zur Assimilation verbrauchte Energie bei den Versuchspflanzen von BROWN

1) BROWN and ESCOMBE, Researches on some of the physiological processes of green leaves etc. Proc. Roy. Soc. London, B. 76, 1905, p. 29.

und ESCOMBE — zu denen *Acer Negundo* nicht gehört — zwischen 0,27 und 4,48 pCt. Sind auch weder für dasselbe Blatt noch für dieselben Spezies die beiden Größen gemessen, so sieht man doch, daß unter Umständen beide ca. 4 pCt. betragen können, daß also wohl $E_{abs} = E_{ass}$ werden kann, wenn man unter E_{abs} die vom Farbstoff absorbierte Energie versteht. Allerdings sind dazu besonders günstige Bedingungen — vor allem nicht zu viel Licht — erforderlich. Eine allgemeine Gültigkeit kommt der Gleichung auch in dieser Form somit nicht zu, selbst wenn wir tote Blätter ausschließen; setzen wir z. B. bei *Helianthus* die Absorption derjenigen von *Acer* gleich, so findet sich bei BROWN und ESCOMBE ein Fall, wo E_{abs} bis 16mal größer ist als E_{ass} .

Wenden wir uns nun zur Proportionalität zwischen E_{abs} und E_{ass} für die einzelnen Wellenlängen, so müssen wir unterscheiden zwischen den spaltöffnungsfreien Pflanzen (Algen, *Sphagnum*, *Elodea*) einerseits und meinen *Phaseolus*blättern andererseits. Bei *Phaseolus* fand sich neben einem weitgehenden Parallelismus beider Kurven, der auch auf die sekundären Maxima sich erstreckt, eine auffällige Diskrepanz im Blauviolett, als deren Ursache Kohlensäuremangel wahrscheinlich gemacht werden konnte. Bei den spaltöffnungsfreien Pflanzen ließ sich der Parallelismus mehrfach bis ins Blauviolett verfolgen¹⁾. Es scheint also tatsächlich die Assimilationskurve mit der Absorptionskurve weitgehend zur Deckung gebracht werden zu können, wenn nicht gewisse Faktoren (Kohlensäuremangel) störend eingreifen.

Nachtrag zu „Über die Stärkebildung im Spektrum“²⁾. Es heißt dort (p. 62) über die Schwärzungskurve: „Vor der Solarisation steigt die Kurve vom roten Ende aus steil an und verläuft dann etwa von B an eine gewisse Strecke annähernd horizontal.“ Nach obigem ist es zweifellos, daß die Solarisation früher beginnt als ich damals glaubte, und daß nicht erst die Einsenkung der Kurve bei BC, sondern schon das Fehlen eines Maximums bei BC auf Solarisation zurückzuführen ist. Bei kurzer Bestrahlung wurde ja auch tatsächlich das Maximum bei BC gefunden.

1) Eine Klärung der etwas abweichenden Befunde von MEINHOLD, die mit der Absorptionskurve der rein grünen Pigmente in Beziehung gebracht wurden, steht noch aus. (Vgl. IWANOWSKI, Diese Berichte 1914, p. 433 und PRINGSHEIM, diese Berichte 1915, p. 379.)

2) Diese Berichte, 1917, p. 44.

Erklärung der Tafel I.

Fig. 1. Ausgezogene Linie = Stärkebildung im Bohnenblatt, wenn die auffallende Strahlung für alle Wellenlängen gleich ist.

Punktierte Linie = die vom grünen Farbstoff lebender Blätter absorbierte Strahlung, die eintretende gleich 100 gesetzt.

Fig. 2. Stärkebildung im Ultrarot.

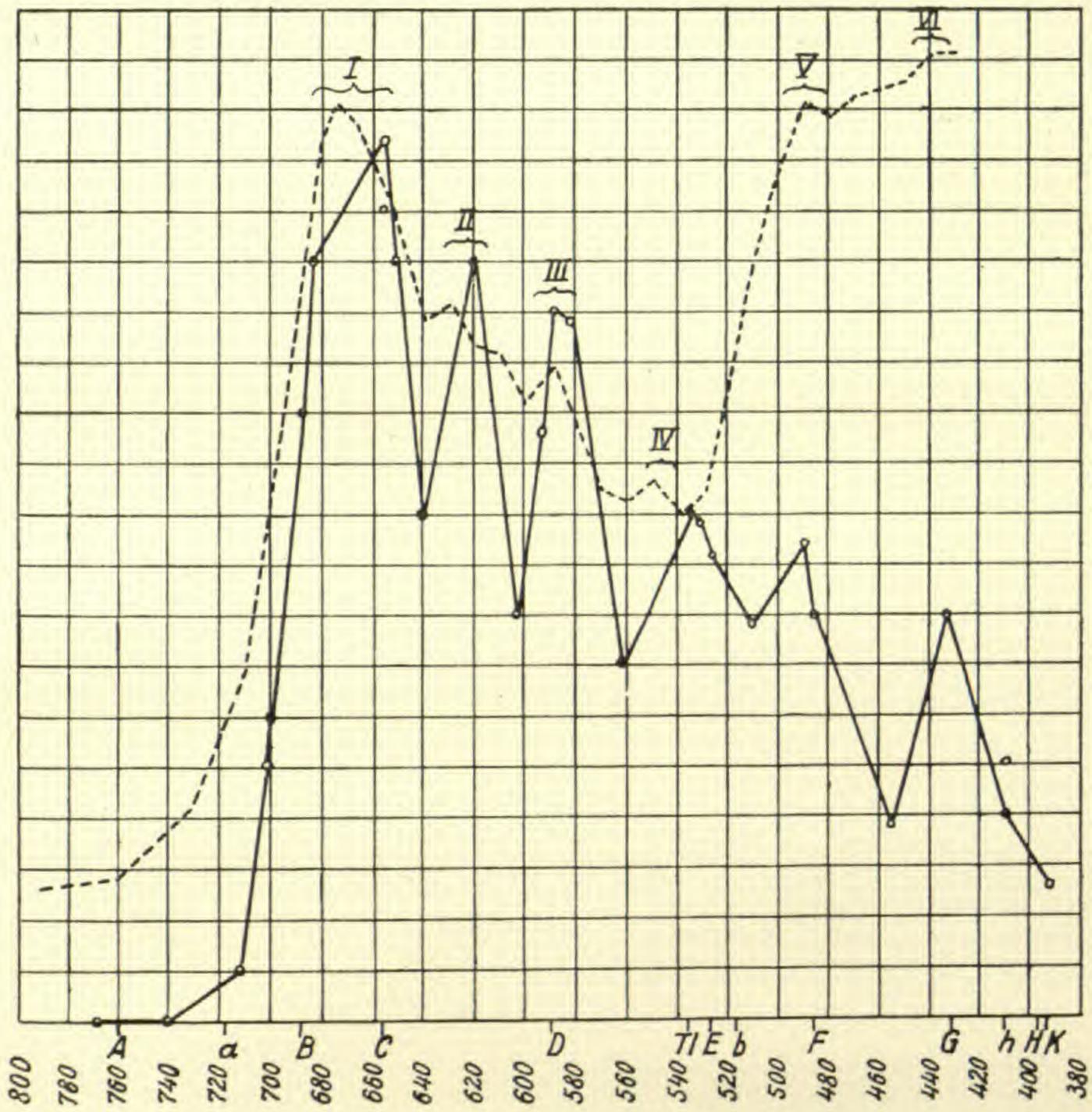


Fig. 1.

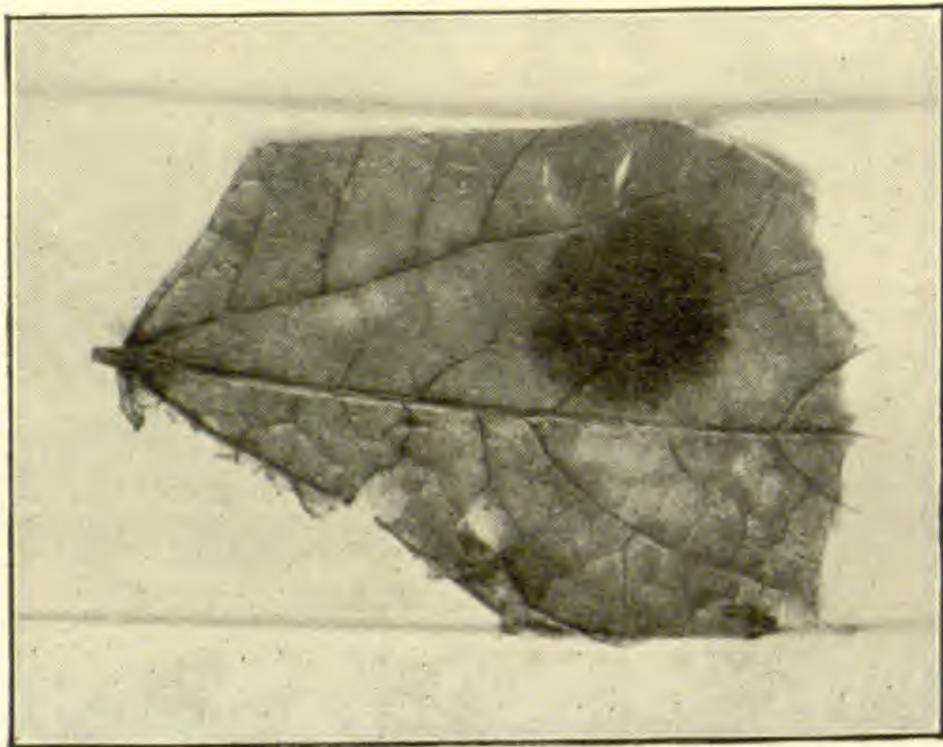


Fig 2.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1918

Band/Volume: [36](#)

Autor(en)/Author(s): Ursprung Alfred

Artikel/Article: [Ueber die Bedeutung der Wellenlänge für die Stärkebildung. 86-100](#)