

**ÜBER DIE ENERGIEAUSBEUTE BEI DER ASSIMILATION
DER KOHLENSÄURE**

**Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Naturwissenschaftl. -Mathemat. Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität zu
Freiburg i. Br.**

**vorgelegt von
Dipl. Chem.Chlodwig Kopp
aus Wertheim a/M.**

D 25

1 9 4 2

ISBN 978-3-662-28045-4 ISBN 978-3-662-29553-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-29553-3

Dekan: Prof.Dr.W. S u s s

Referent: Prof.Dr.W. N o d d a c k

Korreferent: Prof.Dr.R. M e c k e

Dissertation der Naturwissenschaftlich-
Mathematischen Fakultät der Albert-
Ludwigs-Universität in Freiburg i. Br.,
erschienen in: Biochemische Zeitschrift,
Bd. 310, 4.-5.Heft, S.191.

Über die Energieausbeute bei der Assimilation der Kohlensäure¹.

Von

Chlodwig Kopp.

(Aus dem Institut für physikalische Chemie der Universität Freiburg i. Br.)

(Eingegangen am 6. August 1941.)

Mit 4 Abbildungen im Text.

In einigen vorangegangenen Arbeiten über die Assimilation der Kohlensäure durch die grünen Pflanzen² wurde dieser für das pflanzliche und tierische Leben auf der Erde so wichtige Vorgang nach verschiedenen Richtungen hin untersucht.

Es schien von Interesse zu sein, einmal die Energieausbeute in Abhängigkeit von der Temperatur zu bestimmen, besonders deswegen, weil über diese Frage nur wenige Messungen vorliegen.

Versuchsmaterial.

Als Versuchspflanze wurden wieder die Kulturen der einzelligen Grünalge *Chlorella pyrenoidosa* benutzt, die seit Jahren im hiesigen Institut mit konstanten physikalischen Eigenschaften gezüchtet werden. Die benutzte Nährlösung nach *Knop* hatte die Zusammensetzung:

1000,00 g Leitungswasser,
1,00 g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$,
0,25 g MgSO_4 ,
0,25 g K_2HPO_4 ,
0,01 g FeCl_3 .

Wie schon früher beschrieben³, geschah die Züchtung in folgender Weise: 20 *Erlenmeyer*-Kolben von je 300 ccm Inhalt wurden mit etwa 250 ccm Nährlösung gefüllt und um eine 100 Wattlampe im Abstände von 25 cm gruppiert. Jede dieser Lösungen wurde mit 5 ccm einer Algensuspension der vorhergehenden Zucht geimpft und die Kolben 12 bis 14 Tage dauernd der Bestrahlung der Lampe ausgesetzt. Durch die Suspensionen wurde täglich, etwa 10 Minuten lang, ein mäßiger Strom von Kohlendioxyd aus einer Bombe geleitet und die Kolben

¹ D 25. — ² *W. Noddack* u. *J. Komor*, *Angew. Chem.* 50, 271, 1939; *W. Noddack*, *Zeitschr. f. physikal. Chem. A* 185, 207, 1939; *W. Noddack* u. *H. J. Eichhoff*, ebenda 185, 222, 1939; 185, 241, 1939; *H. J. Eichhoff*, diese *Zeitschr.* 303, 112, 1939; *J. Komor*, ebenda 305, 381, 1940; *W. Noddack* u. *Chl. Kopp*, *Zeitschr. f. physikal. Chem. A* 187, 79, 1940. — ³ *H. J. Eichhoff*, diese *Zeitschr.* 303, 112, 1939; *W. Noddack* u. *H. J. Eichhoff*, *Zeitschr. f. physikal. Chem. A* 185, 222, 1939.

kräftig geschüttelt, da mit zunehmender Vermehrung die älteren Algen sich ziemlich leicht absetzten. Nach 14 Tagen hatten sich die Algen etwa auf das Zwanzigfache vermehrt und besaßen eine tiefgrüne Farbe. Je höher die Algenzahl wurde, desto größer wurde auch die Lichtabsorption und desto mehr trat eine Trennung in chlorophyllärmere „Lichtpflanzen“ und chlorophyllreichere „Schattenpflanzen“ ein. Die Züchtungstemperatur betrug 18 bis 22°. In den heißen Sommermonaten (Mitte Juni bis Mitte August) stieg die Zimmertemperatur im Mittel auf etwa 26°. Während dieser Zeit wurde in den Kolben außer *Chlorella pyrenoidosa* auch die Alge *Scenedesmus obliquus* gefunden, die sich deutlich in der Größe und der Gestalt von der *Chlorella pyrenoidosa* unterscheidet. *Chlorella pyrenoidosa* hat die Form einer Kugel, *Scenedesmus obliquus* ist langgestreckt und ähnelt einer Lanzenspitze. Ihr Trockengewicht ist etwa doppelt so groß als das der Alge *Chlorella*. Die Trennung der beiden Algenarten konnte leicht durch fraktioniertes Zentrifugieren erreicht werden. In den im Herbst gezüchteten Algen wurde keine *Scenedesmus obliquus* mehr aufgefunden. Im folgenden Sommer wurde die ganze Zuchtanlage in eine große Wanne mit fließendem Wasser gestellt und so dauernd auf etwa 18° gehalten. Ein Auftreten von *Scenedesmus obliquus* konnte nicht mehr festgestellt werden.

Die bei der Züchtung anfallenden Suspensionen wurden durch fraktioniertes Zentrifugieren auf größtmögliche Einheitlichkeit in bezug auf die Algengröße und den Chlorophyllgehalt gebracht. Hierauf wurden die Algen mit destilliertem Wasser und mit Nährlösung gewaschen. Mit Hilfe eines Hämacytometers wurde die Algenzahl bestimmt und durch Verdünnen auf die gewünschte Dichte gebracht. Die so hergestellten Suspensionen konnten bis zu 3 Wochen in einem Eischrank im Dunkeln aufbewahrt werden, ohne ihre Assimilationsfähigkeit oder ihre Dichte merklich zu ändern. Bei den folgenden Untersuchungen wurde die Suspension A 39 verwandt, die folgende Kennzeichen besaß:

Algenzahl in 35 cmm	6,72 · 10 ⁷
Trockengewicht in mg	1,73
Chlorophyllgehalt des Trockengewichts in %	4,80
Lichtabsorption bei 6500 Å	0,094
Atmung in 15 Minuten in cmm	3,29
Maximale Assimilation in 15 Minuten in cmm	32,1

Versuchsordnung.

Die Versuchsordnung für rotes Licht bzw. die Messung in verschiedenen Spektralgebieten geht aus Abb. 1 hervor. Sie entspricht mit wenigen Änderungen der bereits von *Eichhoff*¹ angegebenen Apparatur.

¹ *H. J. Eichhoff*, diese Zeitschr. 308, 114, 1939.

Als Lichtquellen standen zur Verfügung: für monochromatisches Licht eine Bogenlampe, die von *Körting & Mathiesen* als Zusatzgerät zum Ultraphot (*Zeiss*) geliefert wurde, und eine Artisollampe von *Zeiss*, für weißes Licht, und für kleine Intensitäten monochromatischen Lichtes eine Kino-projektionslampe von *Osram* (110 Volt).

Die Dispersionsfilter D_1 und D_2 dienten zur Herstellung monochromatischen Lichtes. Sie bestehen aus einem Glaszylinder, dessen Enden durch plane Glasplatten verschlossen sind. Die Füllung besteht aus einem Spezialglas in Griesform und Benzoesäuremethylester. Der Brechungsindex dieses

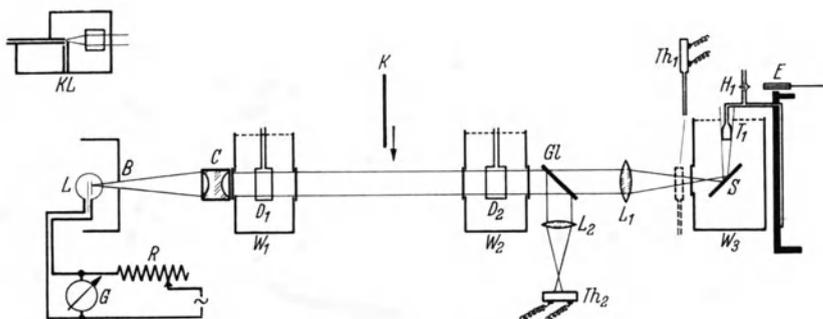


Abb. 1. Versuchsanordnung.

Glases ändert sich durch das ganze optische Spektrum nur wenig, er zeigt vom Rot zum Violett einen geringen Anstieg. Die Dispersionskurve des Benzoesäuremethylesters liegt im Rot unter der des Glases und steigt nach kürzeren Wellenlängen stark an. Die beiden Dispersionskurven schneiden sich in einem Punkte, dessen Lage von der Temperatur abhängig ist. Dieser Punkt ist dadurch gekennzeichnet, daß er alles Licht der betreffenden Wellenlänge ungehindert hindurch läßt. Das filterfremde Licht, für das eine Differenz der Brechungsindizes besteht, wird mehr oder weniger stark diffus reflektiert. Bei Erhöhung der Temperatur wandert der Schnittpunkt der Dispersionskurven nach kleineren Wellenlängen. Man hat mit diesen Filtern die Möglichkeit, Licht jeder beliebigen Wellenlänge zwischen 4000 und 8000 Å herzustellen. Die Wellenlänge und die Monochromasie des durchgelassenen Lichtes in Abhängigkeit von der Temperatur wurden von *Eichhoff*¹ bestimmt. Im Rot beträgt die Breite des von den Dispersionsfiltern durchgelassenen Spektralgebietes 200 Å, im Grün dagegen nur 70 Å.

Um das diffuse Streulicht zu verringern, wurde der Abstand zwischen den Dispersionsfiltern selbst und dem Versuchstrog so groß als möglich gewählt (1,40 m).

Die beiden Thermostaten W_1 und W_2 waren in ihrem Aufbau vollkommen identisch. Die Temperatur wurde mit Hilfe eines Rührwerkes eines Tauchsieders, einer Kühlschlange und eines Kontaktthermometers auf $16,00 \pm 0,01^\circ$ konstant gehalten, so daß nahezu monochromatisches Licht der Wellenlänge $\lambda = 6500 \text{ \AA}$ hindurchgelassen wurde. Im Versuchsthermostaten W_3 , der in seinem Aufbau den beiden Thermostaten W_1 und W_2 ähnlich war, befanden sich die beiden Tröge T_1 und T_2 .

¹ l. c., S. 118.

Die Lampe L stand im Brennpunkt des achromatischen Kondensors C . Das von dem Kondensor parallel gemachte Licht durchsetzte dann die beiden Thermostaten W_1 und W_2 bzw. die beiden Dispersionsfilter D_1 und D_2 . Mit der Klappe K zwischen den Thermostaten W_1 und W_2 konnte der Strahlengang vollständig unterbrochen werden. Nachdem das Licht die beiden Dispersionsfilter durchlaufen hatte, fiel es auf die Sammellinse L_1 und traf dann auf den Spiegel S_1 , der es divergent nach oben auf den Versuchstrog T_1 warf. Die Messung des Gaswechsels geschah mit dem Manometer M . Es war ein Differentialmanometer, wie es *Barcroft*¹ beschrieben hat und auch schon von *O. Warburg*² zur Bestimmung der Atmung und Assimilation bei Algen benutzt wurde. Als Manometerflüssigkeit wurde nach *Warburg* und *Negelein* Capronsäure verwandt. Die beiden Tröge wurden mit 35 ccm Carbonat-Bicarbonat-Puffergemisch gefüllt, das sich nach *Emerson*³ aus 85 Teilen einer m/10 KHCO_3 und 15 Teilen einer m/10 K_2CO_3 -Lösung zusammensetzte. Im Versuchstrog T_1 wurden in den 35 ccm Pufferlösung die zur Messung benötigten Algen suspendiert. Ein Druckunterschied kann bei dieser Anordnung also nur von dem Gaswechsel der Algen herrühren. Mit Hilfe der Hähne H_1 und H_2 wurde auf beiden Seiten des Manometers Druckgleichheit hergestellt, so daß zu Beginn jeder Messung von gleichem Druck (Atmosphärendruck) ausgegangen werden konnte. Das Manometer wurde in eine Schüttelvorrichtung eingespannt und mit etwa 300 Umdrehungen pro Minute mit einem Exzenter geschüttelt.

Die Druckdifferenz wurde mit einem Kathetometer auf $\pm 0,1$ mm abgelesen. Die Ablesung geschah bei den ersten Versuchen bei stillstehendem Manometer, bei den späteren Versuchen während des Schüttelns.

Bei den Versuchen mit weißem Licht wurden die beiden Thermostaten W_1 und W_2 entfernt und der Versuchsthermostat W_3 mit der Linse L_1 der Blende B auf etwa 50 cm genähert. Kurz vor dem Eintritt des Lichtstrahles in den Versuchsthermostaten W_3 wurden, um kleinere Intensitäten zu erhalten, Grauscheiben verschiedener Schwärzung in den Strahlengang gesetzt.

Messung der aufgestrahlten Energie.

Die aufgestrahlte Energie wurde bei der Verwendung der Glühlampe nach der bei *W. Noddack* und *H. J. Eichhoff*⁴ ausführlich beschriebenen Methode bestimmt. Die Versuchsanordnung geht aus Abb. 1 hervor.

An die Stelle des Versuchstroges wurde eine Flächenthermosäule gesetzt, die sich in einem wasserdichten Blechkasten mit Glasfenster befand, unter dem eine Blende (Blendendurchmesser = Durchmesser der nutzbaren Fläche des Versuchstroges) eingeschaltet war. Sie war an dem Exzenter befestigt und konnte während der Energiemessung in derselben Weise wie der Assimilationstrog geschüttelt werden.

Vor den Versuchsthermostaten W_3 wurde eine lineare Thermosäule verschiebbar angeordnet. Sie konnte bei der Messung immer an die gleiche Stelle (im Lichtstrahl zentriert) gebracht werden. Mit Hilfe einer Quecksilberwippe konnte Th_1 oder Th_2 mit demselben Galvanometer verbunden

¹ *J. Barcroft*, J. of Physiol. **87**, 12, 1908. — ² *O. Warburg* u. *E. Negelein*, Zeitschr. f. physiol. Chem. **102**, 236, 1922. — ³ *R. Emerson* u. *W. Arnold*, J. Gen. Physiol. **15**, 391, 1932. — ⁴ l. c., S. 225.

werden. Der Thermostrom wurde mit einem Spiegelgalvanometer (134,5 Ohm innerer Widerstand, Empfindlichkeit $2,27 \cdot 10^{-7}$ Volt pro 1 mm in 1,60 m Entfernung) unter Vorschaltung von 500 Ohm gemessen. Aus der zunächst mit der Flächenthermosäule und anschließend mit der linearen Thermosäule bei konstanter Belichtung gemessenen Energie war dann leicht der Anschlußfaktor zu berechnen.

Da die Intensitätsschwankungen innerhalb der Fehlergrenzen lagen, also bei unseren Messungen die Intensität während der Bestrahlungsdauer als konstant betrachtet werden konnte, genügte es, die Intensität vor und nach der Belichtung mit der linearen Thermosäule zu messen, und das Mittel aus diesen Messungen multipliziert mit dem Anschlußfaktor ergab dann die aufgestrahlte Intensität.

Bei den Assimilationsmessungen mit der Bogenlampe und der Artisolampe mußte wegen den starken Schwankungen die Intensität während der Belichtungszeit kontrolliert werden. Die Bogenlampe von *Körting* wurde automatisch reguliert und nach einer Brennzeit von 5 Minuten betrug die Schwankungen etwa $\pm 10\%$. Die Artisolampe hatte den Nachteil, daß die Kohlen von Hand nachgestellt werden mußten. Nach einer Brenndauer von 20 Minuten ließ sich die Lampe so regulieren, daß die Intensitätsschwankungen unter $\pm 10\%$ liegen. Bei den Messungen mit der Bogenlampe wurde die Glasscheibe *Gl* unter einem Winkel von 45° in den Strahlengang gesetzt. Sie reflektierte einen Teil des Hauptstrahles auf die Linse L_2 und die Thermosäule Th_2 .

In derselben Weise wie bei der Glühlampe wurde auch hier der Anschlußfaktor bestimmt.

Die Eichung der beiden verwendeten Thermosäulen erfolgte mit der Hefnerlampe nach den Angaben von *Gerlach*¹. Die Meßanordnung war dieselbe wie bei der Energiemessung. Die lineare Thermosäule ergab für 1-m-Kerze einen Ausschlag von 14,1 mm, die Flächenthermosäule einen solchen von 19,8 mm.

Die Intensität bei den Versuchen mit weißem Licht wurde mit einer Sperrschicht-Photozelle gemessen. Vor und nach dem Versuch wurde der wasserdichte Blechkasten in den Thermostaten gesetzt, die Photozelle auf die Glasplatte gelegt und mit Hilfe eines auf Lux geeichten Galvanometers die Intensität bestimmt. Das Mittel aus der vor und nach dem Versuch gemessenen Intensität wurde gleich der Intensität während der Belichtungszeit gesetzt.

Ausführung der Versuche.

Die Algen wurden der im Eisschrank befindlichen Suspension entnommen, ausgeschleudert, zweimal in destilliertem Wasser und in der Carbonat-Pufferlösung suspendiert, wieder ausgeschleudert und in den Versuchstrog T_1 gefüllt. Die Trogfüllung betrug 35 ccm. Nachdem der Versuchs- und der Kontrolltrog an dem Manometer mit Federn befestigt, das Manometer in die Schüttelvorrichtung eingesetzt und der Versuchstrog im Lichtkegel zentriert waren, wurde die Schüttelvorrichtung eingeschaltet. Die Manometertröge befanden sich im Versuchsthermo-

¹ *W. Gerlach*, Physik. Zeitschr. 14, 577, 1913; 21, 299, 1920; Zeitschr. f. Phys. 2, 76, 1920.

staten W_3 vollkommen im Dunkeln. Die Hähne H_1 und H_2 wurden geschlossen und das Manometer 30 Minuten zur Einspielung des Atmungsprozesses und des Temperatenausgleiches geschüttelt. Nach diesen 30 Minuten wurden die Hähne geöffnet und während des Schüttelns die Nullstellung der beiden Capronsäuresäulen abgelesen. Sämtliche Ablesungen geschahen während des Schüttelns. Nach dem Schließen der Hähne erfolgte in einer Periode von 15 Minuten die Bestimmung der Atmung vor der Assimilationsperiode. Während dieser Atmungsmessung wurde bei der Verwendung der Glühlampe die Strahlungsintensität mit der linearen Thermosäule vor dem Versuchsthermostaten W_3 bestimmt. Nach jeder Ablesung wurden die Hähne geöffnet, um jeweils gleiche Ausgangsbedingungen zu schaffen. Nach der Feststellung des Atmungswertes wurde die Lichtquelle eingeschaltet und die Algen-suspension 15 Minuten lang vorbelichtet (Einspielung des Assimilationsprozesses). Hierauf folgte die eigentliche Assimilationsperiode, die 15 Minuten dauerte. Diente die Bogenlampe als Lichtquelle, so wurde während der Assimilation mit Hilfe der linearen Thermosäule (Th_2) die Intensität gemessen. Aus sieben Ablesungen wurde das Mittel genommen. Nach Ablauf der Assimilationsperiode wurde die Lichtquelle ausgeschaltet und der Assimilationswert abgelesen. Auf die Assimilationsperiode folgte wieder eine Periode der Voratmung und eine zweite von 15 Minuten, in der die Atmung nach der Assimilation gemessen wurde. In den 15 Minuten der Voratmung wurde die zweite Intensitätsmessung (Glühlampe) durchgeführt. Der Mittelwert aus der vor und nach der Assimilation gemessenen Atmung wurde als der der Lichtatmung am nächsten liegende Wert zu dem Assimilationswert addiert.

Versuche mit weißem und monochromatischem Licht.

Die Form der Intensitätskurve ist nach *Noddack* und *Eichhoff* von der Lichtabsorption und von der Wellenlänge des aufgestrahlten Lichtes abhängig. Sicher haben noch weitere Faktoren einen Einfluß auf die Gestalt der Kurve. Im folgenden soll der Einfluß der Temperatur bei der Verwendung von weißem und monochromatischem ($\lambda = 6500 \text{ \AA}$) Licht untersucht werden. Aus den Ergebnissen mit weißem Licht wird weiter die Lage des Gaswechselgleichgewichtes bestimmt und mit den auf anderem Wege erhaltenen Werten verglichen. Auch schien es von Interesse, aus den gemessenen Werten die mittlere Quantenausbeute im gesamten Spektrum zu berechnen.

Noddack und *Komor* (l. c.) haben in einer früheren Arbeit den Ausnutzungsfaktor, d. h. den Anteil des Lichtes, der bei der Assimilation in chemische Energie umgewandelt wird, unter Freilandbedingungen an verschiedenen Pflanzen untersucht. Die hier vorliegenden Versuchs-

ergebnisse sollen in dieser Richtung ausgewertet werden, um einen Anschluß an die Resultate von *Noddack* und *Komor* zu gewinnen.

Versuche mit weißem Licht.

Als Versuchsobjekt wurde die Algensuspension A 39 verwandt. Die Versuche wurden bei 10°, 20° und 30° C durchgeführt. Bei 30° zeigten sich zunächst, wenn man die bisher übliche Meßmethodik beibehält, derartig starke Streuungen der Meßpunkte, daß eine genauere Festlegung der Intensitätskurve nicht möglich war. Aus Vorversuchen war zu ersehen, daß diese Schwankungen sich anscheinend einem Grenzwert nähern, wenn man die Algen längere Zeit bei 30° hält. Die Algen wurden, bevor mit der Messung der Atmung und Assimilation begonnen wurde, etwa 2 Stunden in Thermostaten auf 30° gehalten. Auf diese Weise waren einigermaßen reproduzierbare Werte zu erhalten.

In Tabelle I sind die Ergebnisse zusammengestellt. Über den drei Versuchsreihen stehen die zugehörigen Temperaturen und die Manometer-

Tabelle I. Temperaturverlauf der Intensitätskurve.
Weißes Licht, Suspension A 39.

I	II	III	IV	V	VI	VII
Intensität in Lux	Atmung in mm	Assimilation in mm	Assimilation + Atmung in mm	Assimilation ohne Atmung in cmm	Assimilation + Atmung in cmm	Assimilation + Atmung in % des Maximalwertes
I. Temperatur 10,0° C, $K = 2,41$.						
740	- 0,5	+ 1,5	2,0	3,62	4,82	29,0
1430	- 0,5	+ 2,5	3,0	6,03	7,23	43,5
5240	- 0,4	+ 4,5	4,9	10,85	11,81	71,0
7970	- 0,6	+ 5,1	5,7	12,29	13,74	82,7
9640	- 0,5	+ 5,5	6,0	13,26	14,46	87,0
14480	- 0,6	+ 5,8	6,4	13,96	15,42	92,7
43700	- 0,6	+ 6,3	6,9	15,18	16,63	100,0
53300	- 0,5	+ 6,4	6,9	15,42	16,63	100,0
II. Temperatur 20,0° C, $K = 2,53$.						
300	- 1,2	± 0,0	1,2	0,00	3,04	8,6
1230	- 1,3	+ 2,0	3,3	5,06	8,34	23,7
2850	- 1,2	+ 4,4	5,6	11,13	14,17	40,3
4720	- 1,3	+ 6,5	7,8	16,44	19,73	56,1
10100	- 1,3	+ 9,7	11,0	24,54	27,83	79,1
21200	- 1,2	+ 12,2	13,4	30,87	33,90	96,4
42600	- 1,2	+ 12,7	13,9	32,13	35,17	100,0
III. Temperatur 30,0° C, $K = 2,66$.						
650	- 1,6	+ 0,4	2,0	1,06	5,32	10,9
2550	- 1,7	+ 3,4	5,1	9,04	13,57	27,9
4500	- 1,6	+ 6,7	8,3	17,82	22,08	45,4
8280	- 1,8	+ 10,1	11,9	26,87	31,65	65,0
12500	- 1,7	+ 12,6	14,3	33,52	38,04	78,1
15450	- 1,6	+ 13,5	15,1	35,91	40,17	82,5
19400	- 1,6	+ 14,7	16,3	39,10	43,36	89,1
41700	- 1,7	+ 16,6	18,3	44,16	48,68	100,0

konstanten K . Spalte I enthält die aufgestrahlten Intensitäten in Lux, Spalte II, III und IV Atmung, Assimilation und Atmung plus Assimilation in mm. Spalte V zeigt die Assimilation ohne Atmung und Spalte VI die Assimilation plus Atmung in cmm. Assimilation plus Atmung in Prozenten der maximalen Assimilation enthält die Spalte VII.

Die Werte der Spalte I und V sind in der Abb. 2 graphisch dargestellt. Die Kurven für 10° , 20° und 30° beginnen bei der Intensität Null mit der Dunkelatmung, die bei 10° am kleinsten, bei 30° am größten

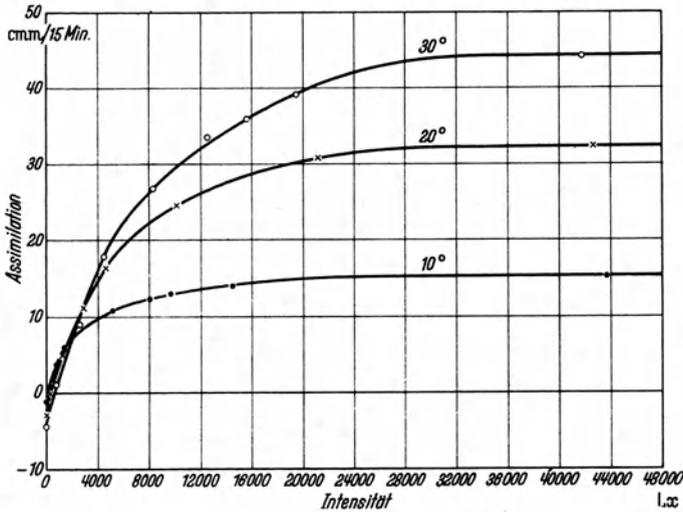


Abb. 2. Temperaturverlauf der Intensitätskurve für weißes Licht.

ist. Bei kleinen Intensitäten verlaufen sie einander parallel, wobei die 10° -Kurve über den beiden anderen liegt. Die Assimilation ist also bei 10° am größten. Die Schnittpunkte der drei Kurven mit der x -Achse geben die Lage des Gaswechselgleichgewichtes an, wobei das Gaswechselgleichgewicht bei 10° bei etwa 200 Lux am tiefsten liegt. Das für 20° liegt bei 300 und das für 30° bei 600 Lux. Bei diesen genannten Lichtwerten ist also die gemessene Assimilation gleich Null, d. h. die Atmung ist gleich der wahren Assimilation. Sämtliche drei Kurven biegen bei höheren Lichtwerten um, wobei die 10° -Kurve den kürzesten geradlinigen Anstieg besitzt. Sie schneidet die 20° - und 30° -Kurve bei 1500 und 1800 Lux. Die 20° -Kurve ist bis zu einer Intensität von 5000 Lux ziemlich geradlinig und schneidet die 30° -Kurve bei 2800 Lux. In dem Gebiet der drei Schnittpunkte ist die Assimilation also annähernd unabhängig von der Temperatur. Die 10° -Kurve besitzt ihre stärkste Krümmung bei etwa 2000 Lux, die 20° - und 30° -Kurve bei etwa 5000 bzw. 7000 Lux. Bei allen drei Kurven wird der Grenzwert bei etwa 30000 Lux erreicht.

Wie aus den Messungen hervorgeht, liegt das Gaswechselgleichgewicht bei 20° bei etwa 300 Lux. Genauer läßt sich der Wert aus dieser Versuchsreihe (zu wenig kleine Assimilationswerte) nicht ermitteln. Es wurde deshalb ein anderer Weg versucht.

In verschiedenem Abstände von einer Glühlampe (200 Kerzen) waren mehrere *Erlenmeyer*-Kolben aufgestellt. Jeder Kolben enthielt 150 ccm Nährlösung, zu der 5 ccm einer Algensuspension von bekannter Algenzahl gegeben wurde. Die Suspensionen waren äußerst schwach grün gefärbt und wurden dann 14 Tage lang dauernd der Bestrahlung ausgesetzt. Die Kolben wurden zunächst in einem Vorversuch, der größenordnungsmäßig Aufschluß über den Wert des Gaswechselgleichgewichtes geben sollte, in Entfernungen von 30, 45, 60, 75, 90 und 120 cm von der Lampe aufgestellt. In 30 cm Entfernung hatten sich die Algen noch vollkommen normal weiter vermehrt, in 45 cm war die Vermehrung geringer, und in 60 cm schien keine Veränderung eingetreten. Die Algen, die weiter als 60 cm von der Lampe entfernt waren, zeigten keine Vermehrung. Unter dem Mikroskop betrachtet sind sie kleiner und fast farblos. Das Gaswechselgleichgewicht schien danach zwischen den beiden Lichtwerten von 250 und 350 Lux zu liegen.

Im folgenden Versuch reichte das untersuchte Gebiet von 180 bis 500 Lux. Die einzelnen Kolben standen bedeutend dichter beisammen. Die Entfernungen von der Lampe differierten nur um 3 cm. Bei 278 Lux waren keine Veränderungen eingetreten. Dagegen waren bei 252 Lux die Algen schon kleiner und farbloser geworden, während bei 325 Lux die Algenzahl sich noch um ein Drittel vergrößert hatte. Der Versuch wurde mehrere Male wiederholt und ergab immer dasselbe Ergebnis. Die Zahl der Algen wurde in derselben Weise bestimmt wie bei der Einstellung der Standardsuspensionen für die Assimilationsmessungen.

Wir können also annehmen, daß bei sehr dünnen Algensuspensionen das Gaswechselgleichgewicht bei etwa 275 ± 10 Lux liegen muß. Bei dichteren Suspensionen wird sich das Gleichgewicht nach höheren Lichtstärken verschieben.

In Tabelle II sind auf der linken Seite die Ergebnisse der Berechnung der Quantenzahlen, auf der rechten die Daten zur Bestimmung des Ausnutzungsfaktors zusammengestellt. Die Intensität wurde bei sämtlichen Versuchen mit weißem Licht in Lux angegeben (Spalte I). Spalte II enthält die aufgestrahlte Intensität in energetischen Hefner-Kerzen. Zur Umrechnung der Intensität in Lux in energetische Hefnerkerzen wurde nach den Angaben von *Gehlhoff* und *Liebenthal*¹ 1 Lux zu $1,05 \cdot 10^{-7}$ cal/qcm · sec³ berechnet. Die aufgestrahlten

¹ *Gehlhoff*, Lehrb. d. techn. Physik 1926; *Liebenthal*, Handwörterbuch der Physik (Energetisch-photometrische Beziehungen für die Nitralampe.) Springer-Verlag.

Tabelle II. Berechnete Quantenzahl und Ausnutzungsfaktoren.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Intensität in Lux	Auf- gestrahlte Intensität in ener- getischen HK	Auf- gestrahlte $h \cdot \nu \cdot 10^{18}$	Absor- bierte $h \cdot \nu \cdot 10^{18}$	Assimi- lation + Atmung in mm	Assimi- lation + Atmung in cm	Assimi- lation + Atmung in Mole- küle $\cdot 10^{18}$	Quanten- zahl, ab- sorbierte $h \cdot \nu$ gebil- dete Mole- küle O_2	Auf- gestrahlte Intensität in cal	Absorbierte Energie in cal	Chemische Energie in cal	Aus- nutzungs- faktor in % bezogen auf die auf- gestrahlte Energie	Aus- nutzungs- faktor in % bezogen auf die auf- gestrahlte Energie
I. Temperatur 10,0° C, $K = 2,41$.												
740	3,4	7,8	0,78	2,0	4,82	0,13	6,0	0,64	0,06	0,024	3,8	38
1430	6,6	15,2	1,52	3,0	7,23	0,19	8,0	1,25	0,13	0,036	2,9	29
5240	24,2	55,6	5,56	4,9	11,8	0,32	17,4	4,60	0,46	0,059	1,3	13
7970	36,8	84,7	8,47	5,7	13,7	0,37	22,9	6,99	0,70	0,069	0,99	10
9640	44,4	102	10,2	6,0	14,5	0,39	26,2	8,44	0,84	0,072	0,85	8,5
14480	66,7	153	15,3	6,4	15,4	0,42	36,5	12,7	1,27	0,077	0,61	6,1
43700	202	465	46,5	6,9	16,6	0,45	103	38,4	3,84	0,083	0,22	2,2
53300	246	566	56,6	6,9	16,6	0,45	126	46,7	4,67	0,083	0,18	1,8
II. Temperatur 20,0° C, $K = 2,53$.												
300	1,4	3,2	0,32	1,2	3,04	0,08	4,0	0,26	0,03	0,015	5,8	58
1280	5,7	13,1	1,31	3,3	8,34	0,22	6,0	1,08	0,11	0,042	3,9	39
2850	13,1	30,1	3,01	5,6	14,2	0,38	7,9	2,49	0,25	0,071	2,9	29
4720	21,8	50,1	5,01	7,8	19,7	0,53	9,6	4,14	0,41	0,099	2,4	24
10100	46,6	107	10,7	11,0	27,8	0,75	14,3	8,85	0,89	0,139	1,6	16
21200	97,8	225	22,5	13,4	33,9	0,91	24,8	18,6	1,86	0,170	0,91	9,1
42600	197	453	45,3	13,9	35,2	0,95	47,7	37,4	3,74	0,176	0,47	4,7
III. Temperatur 30,0° C, $K = 2,66$.												
650	3,0	6,0	0,60	2,0	5,32	0,14	4,3	0,57	0,06	0,027	4,7	47
2550	11,8	27,1	2,71	5,1	13,6	0,37	7,3	2,24	0,22	0,068	3,0	30
4500	20,8	47,8	4,78	8,3	22,1	0,59	8,1	3,95	0,40	0,110	2,8	28
8280	38,2	87,9	8,79	11,9	31,7	0,85	10,3	7,26	0,73	0,158	2,2	22
12500	57,6	133	13,3	14,3	38,0	1,02	13,0	10,9	1,09	0,190	1,7	17
15450	71,2	164	16,4	15,1	40,2	1,08	15,2	13,5	1,35	0,201	1,5	15
19400	89,4	206	20,6	16,3	43,4	1,17	17,6	17,0	1,70	0,207	1,2	12
41700	192	442	44,2	18,3	48,9	1,32	33,5	36,5	3,65	0,244	0,67	6,7

Hefnerkerzen mit der Belichtungszeit von 900 sec, der Fläche des Versuchstrogcs von 9,1 qcm und der einer Hefnerkerze entsprechenden $h \cdot \nu$ -Zahl von $2,81 \cdot 10^{14}$ multipliziert, ergeben die in Spalte III stehenden aufgestrahlten $h \cdot \nu$. Hierbei nahmen wir als Schwerpunkt der Wellenlängen $\lambda = 5800 \text{ \AA}$ an. Aus der bei *Eichhoff*¹ angegebenen Absorption einer dünnen Algensuspension, die der benutzten Suspension entspricht, läßt sich für das gesamte sichtbare Spektrum eine Absorption von etwa 10 % abschätzen. Spalte IV enthält die absorbierten $h \cdot \nu$. Spalte V und VI gibt die Assimilation plus Atmung in mm und in cmm (Multiplikation mit der angegebenen Manometerkonstante *K*) an. Assimilation plus Atmung in cmm multipliziert mit $2,69 \cdot 10^{16}$ (1 cmm = $2,69 \cdot 10^{16}$ Moleküle Sauerstoff bei 760 mm Druck und 0° C ergeben die in Spalte VII stehenden Moleküle Sauerstoff. In Spalte VIII sind die Werte über die Quantenzahlen dargestellt, die durch Bildung des Quotienten: Anzahl der absorbierten $h \cdot \nu$ /Anzahl der gebildeten Moleküle Sauerstoff erhalten wurden.

Aus den Messungen von *Warburg* und *Negelein* ergab sich bei kleinen Lichtstärken eine Quantenzahl von 3,5 bis 5,5 Quanten pro Elementarprozeß. Die Versuche wurden in vier Spektralbezirken (Rot, Gelb, Grün und Blau) durchgeführt. *Noddack* und *Eichhoff* haben bei kleinen Lichtstärken und bei der Verwendung von Algen eine Quantenzahl von $4,0 \pm 15\%$ in verschiedenen Spektralgebieten (vom Rot bis Grün) gefunden. In neuester Zeit fand *Ricke* bei genauer Einhaltung der Arbeitsweise von *Warburg* und *Negelein* ebenfalls 4, genauer 4,2. Aus unseren Berechnungen unter Zugrundelegen der Ergebnisse mit weißem Licht und einer angenommenen mittleren Absorption von 10 % geht hervor, daß bei sehr kleinen Intensitäten (wenig über dem Gaswechselgleichgewicht) ebenfalls 4 Quanten nötig sind. Die Quantenzahl nimmt mit steigender Intensität sehr stark zu. Aus den wenigen Daten bei kleinen Intensitäten geht auch weiter hervor, daß bei 10° die Quantenzahl größer ist als bei 20° und diese wieder größer als die bei 30°.

Der zweite Teil der Tabelle enthält die berechneten Werte zur Bestimmung des Ausnutzungsfaktors. Spalten IX und X enthalten die aufgestrahlte und absorbierte Energie in kleinen Kalorien. Die aufgestrahlte Intensität mit $22,8 \cdot 10^{-6} \text{ cal}$ (1 HK = $22,8 \cdot 10^{-6} \text{ cal}$) multipliziert ergibt die angegebene Intensität in Kalorien. Bei der Berechnung der chemischen Energie, die den erhaltenen Molekülen Sauerstoff entspricht, wurde die pro Elementarprozeß vom Licht im günstigsten Falle zu leistende Energie von 112000/N cal zugrunde gelegt. Die Aus-

¹ *H. J. Eichhoff*, diese Zeitschr. 303, 127, 1939.

nutzungsfaktoren in Prozenten finden sich in den beiden letzten Spalten, bezogen auf die aufgestrahlte und die absorbierte Energie.

Die Abhängigkeit des Ausnutzungsfaktors von der aufgestrahlten Intensität ist in Abb. 3 graphisch dargestellt. Als Abszisse wurde die aufgestrahlte Intensität in Lux, als Ordinate der Ausnutzungsfaktor, bezogen auf die aufgestrahlte Energie, gewählt. Aus sämtlichen drei Kurven geht hervor, daß die Ausnutzung bei kleinen Intensitäten am größten ist. Mit steigender Intensität nimmt der prozentual ausgenutzte Anteil sehr stark ab. Die Kurven nähern sich asymptotisch

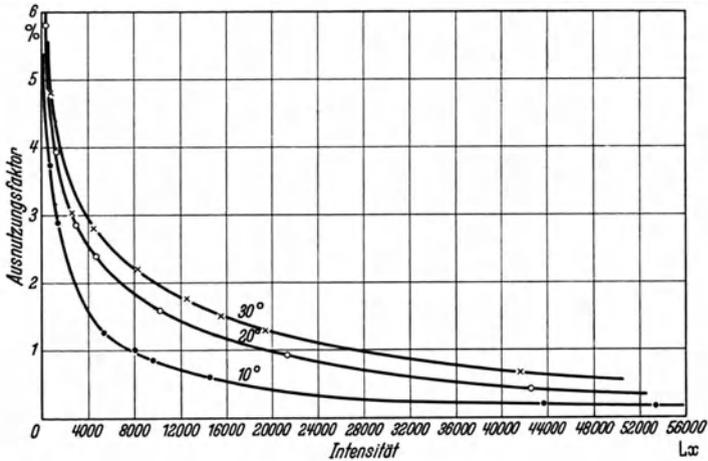


Abb. 3. Ausnutzungsfaktor in Abhängigkeit von der Intensität.

der x -Achse. Bei der Betrachtung der Einzelkurven zeigt sich, daß bei höheren Intensitäten (oberhalb des S. 198 angegebenen Schnittpunktes der Intensitätskurven) die Ausnutzung mit der Temperatur zunimmt, wobei aber bei der Erhöhung der Temperatur von 10 auf 20° bedeutend mehr der zur Verfügung stehenden Energie in chemische Energie umgewandelt wird als bei dem Temperatursprung von 20 auf 30°.

Aus den Versuchen von *Noddack* und *Komor* geht hervor, daß die Ausnutzung des eingestrahlten Sonnenlichtes während einer langen Wachstumsperiode bei Pflanzen etwa 0,4 bis 2,6 % beträgt. Nach älteren Messungen¹ werden etwa 1 % des aufgestrahlten Lichtes von der Pflanze ausgenutzt.

Es ist erstaunlich, wie wenig des zur Verfügung stehenden Lichtes von der Pflanze bei höheren Intensitäten ausgenutzt zu werden scheint. Ein großer Teil der auftreffenden Strahlung wird reflektiert oder in Wärme verwandelt, wobei aber die Wärme ja erst die Möglichkeit des

¹ Siehe *J. Komor*, diese Zeitschr. **305**, 381, 1940.

Pflanzenwachstums schafft. Bezieht man also den Ausnutzungsfaktor auf die absorbierte Energie, so wird das Bild sofort ein ganz anderes. Bei kleinen Intensitäten, wenig über dem Gaswechselgleichgewicht, kann die Ausnutzung etwa 50 % betragen (Spalte XIII der Tabelle II)

Berechnet man aus den bei *Noddack* und *Komor* angegebenen. Daten über die auf die Pflanzen aufgestrahlte Energie die während der Versuchszeit herrschende Intensität in Lux, so kommt man im Mittel auf etwa 11000 bis 12000. Bei 12000 Lux (20° C) erhielten wir einen Ausnutzungsfaktor von etwa 1,4, *Noddack* und *Komor* im Mittel 0,7 %. Der von uns bei Algen gefundene Wert ist etwa doppelt so groß. Obwohl sich die Messungen an Algen nicht direkt mit den Ergebnissen an Pflanzen unter Freilandbedingungen vergleichen lassen, so müssen wir doch annehmen, daß der Wert von 1,4 % dem wirklichen Ausnutzungsfaktor näher kommt, da bei den Untersuchungen an Algen der Gaswechsel bedeutend besser zu erfassen ist und die Dunkelatmung mit gewisser Sicherheit berücksichtigt werden konnte.

Versuche mit monochromatischem Licht ($\lambda = 6500 \text{ \AA}$).

Die Versuche wurden bei 10° und 20° durchgeführt, wobei als Versuchsobjekt die Suspension A 39 verwandt wurde. Für kleine Intensitäten diente eine Glühlampe, für große Intensitäten zwei Bogenlampen als Lichtquellen. Mit Hilfe von Dispersionsfiltern wurde eine genügend monochromatische Strahlung erzeugt. Die Lichtschwächung wurde durch Siebplatten verschiedener Lochzahl und Größe erreicht, die in den Strahlengang zwischen den beiden Filterthermostaten W_1 und W_2 eingesetzt wurden.

Die Ergebnisse sind in Tabelle III zusammengestellt. Spalte I enthält die aufgestrahlte Intensität in energetischen Hefnerkerzen, Spalte II die aufgestrahlten $h \cdot \nu$, die aus den Daten der Spalte I durch Multiplikation mit 900 (Zeitdauer der Belichtung in sec) \cdot 9,1 (Bodenfläche des Versuchstrogas in qcm) \cdot $3,13 \cdot 10^{14}$ (1 HK = $3,13 \cdot 10^{14} h \cdot \nu$) erhalten wurde. Die Absorption der verwendeten Algensuspension wurde mit dem Ellipsoid-Photometer von *W. Noddack* und *H. J. Eichhoff* (l. c.) zu 9,4 % bestimmt. Die Werte der Spalte II mit $f = 0,094$ multipliziert, ergeben die in Spalte III stehenden absorbierten $h \cdot \nu$. Spalten IV und V enthalten die gemessene Atmung und Assimilation, Spalte VI Atmung plus Assimilation in mm. Die Werte der Spalten VII und VIII, Assimilation in cmm und Assimilation plus Atmung in cmm, errechneten sich aus den Daten der Spalten V und VI durch Multiplikation mit den angegebenen Manometerkonstanten. In Spalte IX ist die Assimilation plus Atmung in Molekülen Sauerstoff (1 cmm = $2,69 \cdot 10^{16}$ Moleküle bei 0° und 760 mm) angegeben und

Tabelle III. Temperaturverlauf der Intensitätskurve.
 Monochromatisches Licht, $\lambda = 6500 \text{ \AA}$, Suspension A 39, Assimilations- und Atmungsperiode je 900 Sekunden.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Auf- gestrahlte Intensität in ener- getischen HK	Auf- gestrahlte Intensität $h \cdot \nu \cdot 10^{18}$	Absorbierte Intensität $h \cdot \nu \cdot 10^{18}$	Atmung in mm	Assimilation in mm	Assimilation + Atmung in mm	Assimilation in cmmm	Assimilation + Atmung in cmmm	Assimilation + Atmung in $O_2 \cdot 10^{18}$	Assimilation + Atmung in % des Maximal- wertes	Quanten- zahlen, absorbierte $h \cdot \nu$ -gebildete Moleküle O_2
Temperatur $10,0^\circ \text{C}$, $K = 2,41$.										
0,21	0,56	0,05	— 0,6	— 0,4	0,2	— 0,96	0,48	0,01	3,0	5,0
0,52	1,33	0,13	— 0,6	0,2	0,4	— 0,48	0,96	0,03	6,0	4,3
0,83	2,13	0,20	— 0,6	0,1	0,7	— 0,21	1,69	0,05	10,5	4,0
0,87	2,23	0,21	— 0,6	0,1	0,7	— 0,21	1,69	0,05	10,5	4,2
1,56	4,00	0,38	— 0,6	0,7	1,3	— 1,69	3,13	0,08	19,4	4,8
1,98	5,08	0,48	— 0,5	1,2	1,7	— 2,89	4,10	0,11	25,4	4,4
2,01	5,15	0,48	— 0,5	1,2	1,7	— 2,89	4,10	0,11	25,4	4,4
3,54	9,07	0,84	— 0,6	2,4	3,0	— 5,78	7,23	0,19	44,8	4,4
4,44	11,38	1,07	— 0,7	2,9	3,6	— 6,99	8,68	0,23	53,8	4,7
6,52	16,71	1,57	— 0,6	4,1	4,7	— 9,88	11,33	0,31	70,2	5,1
9,40	24,09	2,26	— 0,5	4,9	5,4	— 11,81	13,01	0,35	80,6	6,5
13,05	33,45	3,14	— 0,5	5,4	5,9	— 13,01	14,22	0,38	88,0	8,2
23,42	60,03	5,64	— 0,6	6,1	6,7	— 14,70	16,15	0,43	100,0	13,2
Temperatur $20,0^\circ \text{C}$, $K = 2,53$.										
0,24	0,62	0,06	— 1,2	— 1,0	0,2	— 2,53	0,51	0,01	1,8	6,0
0,42	1,08	0,10	— 1,3	— 0,9	0,4	— 1,77	1,01	0,03	3,6	3,3
0,83	2,13	0,20	— 1,2	— 0,4	0,8	— 1,01	2,02	0,05	7,1	4,0
1,56	4,00	0,38	— 1,2	— 0,2	1,4	— 0,51	3,54	0,10	12,5	3,8
1,98	5,08	0,48	— 1,3	— 0,5	1,8	— 1,27	4,55	0,12	16,0	4,0
3,16	8,10	0,76	— 1,2	— 1,6	2,8	— 4,05	7,08	0,19	25,0	4,0
5,09	13,05	1,23	— 1,2	— 3,2	4,4	— 8,10	11,13	0,30	39,3	4,1
6,66	17,07	1,60	— 1,3	— 4,3	5,6	— 10,88	14,17	0,38	50,0	4,2
8,68	22,25	2,09	— 1,1	— 6,0	7,1	— 15,18	17,96	0,48	63,4	4,3
13,05	33,45	3,14	— 1,2	— 8,0	9,2	— 20,24	23,28	0,63	82,2	5,0
22,94	58,80	5,53	— 1,1	— 9,7	10,8	— 24,54	27,32	0,74	96,4	7,5
25,89	66,36	6,24	— 1,1	— 10,1	11,2	— 25,55	28,34	0,76	100,0	8,2

Spalte XI enthält die Quantenzahlen, d. h. den Quotienten aus absorbierten $h \cdot \nu$ und gebildeten Molekülen Sauerstoff.

Der Verlauf der Intensitätskurven (ohne Atmungskorrektur) geht aus Abb. 4 hervor. Als Abszisse ist die aufgestrahlte Intensität in HK, als Ordinate die Assimilationsgeschwindigkeit in $\text{cm}^3/15 \text{ Min.}$ aufgetragen. Die Kurven beginnen beim Intensitätswert Null wie die Intensitätskurven bei weißem Licht mit negativer Assimilationsgeschwindigkeit, d. h. mit den Atmungswerten. Bei kleinen Intensitäten

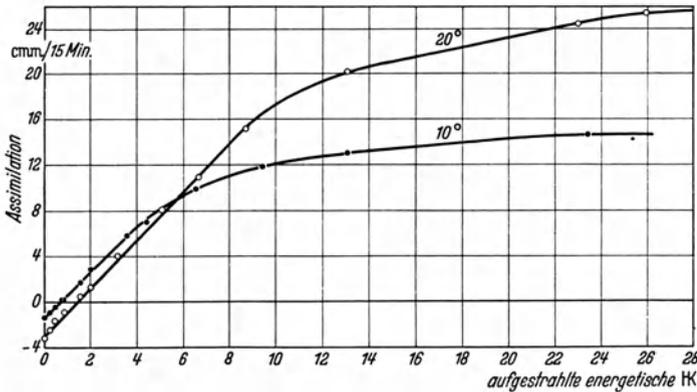


Abb. 4. Temperaturverlauf der Intensitätskurve für rotes Licht.

laufen die Kurven einander parallel und die Assimilationsgeschwindigkeit ist der aufgestrahlten Intensität proportional. Bei niedriger Lichtstärke ist die Assimilation bei 10° größer als bei 20° , was bereits von *Blackman* und *Warburg* festgestellt wurde. Die 10° -Kurve hat einen geradlinigen Anstieg bis zu etwa 50 % des Maximalwertes der Assimilationsgeschwindigkeit und besitzt ihre stärkste Krümmung bei etwa 6 HK. Der Grenzwert der Assimilationsgeschwindigkeit wird bei etwa 20 HK erreicht. Der Anstieg der 20° -Kurve ist ebenfalls bis 50 % des Maximalwertes geradlinig. Ihre stärkste Krümmung liegt bei etwa 11 HK und der Grenzwert wird bei etwa 25 HK erreicht. Der Schnittpunkt der beiden Kurven liegt bei 5,5 HK.

Aus den Quantenzahlen der Spalte XI läßt sich für den geradlinigen Teil der beiden Intensitätskurven bei 10° und 20° im Mittel eine Quantenzahl von 4,3 bzw. $4,1 \pm 15\%$ errechnen. Hierbei werden die Quantenzahlen bei den kleinsten Intensitäten wegen ihrer größeren Unsicherheit nicht berücksichtigt. Das Umbiegen der beiden Kurven äußert sich in einem Größerwerden der Quantenzahlen, was gleichbedeutend ist mit einem Rückgang der Ausbeute. Nach den Messungen

von *Blackman*¹ ist die Assimilationsgeschwindigkeit bei niedrigen Intensitäten von der Temperatur unabhängig, d. h. der Temperaturkoeffizient der photochemischen Reaktion = 0. Bei den hier durchgeführten Messungen scheint ein geringer Temperaturkoeffizient zu bestehen, da die Quantenzahl bei 10° höher liegt als die bei 20° C. Dieser scheinbare Temperaturkoeffizient dürfte durch die Atmungskorrektur verursacht sein und er wird wegfallen, wenn man nicht wie bisher die Dunkelatmung, sondern die im Licht stattfindende Atmung zu der gemessenen Assimilationsgeschwindigkeit addiert².

Herrn Prof. Dr. *W. Noddack* möchte ich meinen ergebensten Dank für die Anregung zu dieser Arbeit und das stets fördernde Interesse während der Ausführung aussprechen.

¹ *Blackman*, Ann. of Bot. 19, 281, 1905. — ² Vgl. dazu *W. Noddack* u. *Ch. Kopp*, l. c.

Lebenslauf.

Am 28. August 1910 wurde ich in Wertheim a.M. als Sohn des Vermessungsrates Josef Kopp und seiner Ehefrau Ottilde geb. Fey geboren. Ich besuchte nacheinander die Volksschulen in Pforzheim und Karlsruhe, wo ich 1921 in die Helmholtz-Oberrealschule eintrat. Durch Versetzungen meines Vaters nach Brielsach und Freiburg i.Br. besuchte ich die dortige Realschule bzw. die Neuburg-Oberrealschule in Freiburg, an der ich Ostern 1931 die Reifeprüfung ablegte.

Im SS. 1931 immatrikulierte ich mich an der Universität Freiburg i.Br. für das Fach Chemie. Von meinem 4. Semester ab musste ich den grössten Teil meines Studiums selbst verdienen. Ich arbeitete als Hilfsarbeiter, Vermessungsgehilfe, am badischen Weinbauinstitut und als Werkstudent bei der I.G. Farbenindustrie Werk Höchst a.M. Vom 15.V. bis 15.IX. 1933 war ich im freiwilligen Arbeitsdienst, den ich mit dem Patent eines Lagerführers verliess. Anschliessend leitete ich das erste Erntehilfslager in Hausen vor Wald. Nach dem Arbeitsdienst trat ich am 5. Nov. 1933 in die SA. ein. - Meine Dipl. Vorprüfung bestand ich am 5. II. 1935, und vom 1. VIII. 35 bis 1. IV. 36 war ich Landolt-Börnstein-Assistent bei Herrn Prof. Dr. W. A. Roth in Braunschweig, wo ich auch im WS. 1935/36 studierte. Ende September bestand ich die Diplom-Hauptprüfung und begann anschliessend im Institut f. physikalische Chemie der Universität Freiburg unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. W. Noddack die vorliegende Dissertation. - Am 1. Juni 1939 vermählte ich mich mit Lieselotte Spandl.