

Biologisches Zentralblatt

Begründet von J. Rosenthal

Unter Mitwirkung von

Dr. K. Goebel und Dr. R. Hertwig
Professor der Botanik Professor der Zoologie
in München

herausgegeben von

Dr. E. Weinland

Professor der Physiologie in Erlangen

Verlag von Georg Thieme in Leipzig

38. Band

Juni 1918

Nr. 6

ausgegeben am 10. Juli

Der jährliche Abonnementspreis (12 Hefte) beträgt 20 Mark

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen und Postanstalten

Die Herren Mitarbeiter werden ersucht, die Beiträge aus dem Gesamtgebiete der Botanik an Herrn Prof. Dr. Goebel, München, Menzingerstr. 15, Beiträge aus dem Gebiete der Zoologie, vgl. Anatomie und Entwicklungsgeschichte an Herrn Prof. Dr. R. Hertwig, München, alte Akademie, alle übrigen an Herrn Prof. Dr. E. Weinland, Erlangen, Physiolog. Institut, einzusenden zu wollen.

Inhalt: H. Sierp, Über die Lichtquellen bei pflanzenphysiologischen Versuchen. S. 221.
R. T. Müller, Zur Biologie von *Tanymanix lacunae* Guerin. S. 257.

Über die Lichtquellen bei pflanzenphysiologischen Versuchen.

Von Hermann Sierp.

Die zahlreichen Untersuchungen, die bis heute ausgeführt sind, um die Beziehungen zwischen den Lebensfunktionen der Pflanzen und dem Licht, einer ihrer wichtigsten Energiequelle, zu klären, haben mit Notwendigkeit ergeben, daß wir uns, wenn wir tiefer in dieses Problem eindringen wollen, nicht mehr mit der einfachen Beschreibung der Reaktion des Lebendigen auf diesen äußeren Faktor begnügen dürfen, sondern daß wir mehr und mehr bestrebt sein müssen, die Beziehung zwischen Lebensfunktion und der sie fördernden Energie quantitativ zu erfassen. Dieses Erfordernis verlangt nun aber, daß wir uns über die bei den Versuchen bisher verwandten und weiterhin zu verwendenden Lichtquellen volle Klarheit verschafft haben.

Früher benutzte man bei den „Lichtversuchen“ vorwiegend das Tageslicht und zog nur gelegentlich, zumeist wenn besondere Ver-

hältnisse es geboten, künstliche Lichtquellen heran. Heute liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt, man benutzt vorwiegend künstliche Lichtquellen und verwendet das Tageslicht nur in ganz vereinzelten Fällen. Früher war mit anderen Worten das mit Tageslicht beleuchtete Zimmer der zu Lichtuntersuchungen dienende Versuchsraum, heute ist das durch künstliche Lichtquellen erleuchtete Dunkelzimmer an seine Stelle getreten. Wenn wir über die bei pflanzenphysiologischen Versuchen benutzten Lichtquellen sprechen wollen, so werden wir am besten mit dem Tageslicht beginnen, dies einmal weil solches Licht in sehr vielen Fällen als Lichtquelle gedient hat, dann aber weil es zweckmäßiger ist, immer an das normale, natürliche Licht, unter dem die Pflanzen in der Natur wachsen und gedeihen, anzuknüpfen. Eine Untersuchung des Tageslichts bringt also den Vorteil mit sich, daß wir in den Stand gesetzt sind, einmal die früheren mit Tageslicht ausgeführten Untersuchungen besser zu bewerten, und dann aber auch die mit den künstlichen Lichtquellen ausgeführten Arbeiten richtiger einzuschätzen.

Beim Durcharbeiten der in Betracht kommenden Literatur wird man sehr bald finden, daß sowohl was das Tageslicht angeht, als auch was die künstlichen Lichtquellen anlangt, keineswegs immer die notwendige Klarheit herrscht. Ein Zusammentragen alles dessen, was wir heute über die Lichtquellen wissen, dürfte, da ja die Forderung der quantitativen Untersuchungen in den Vordergrund des Interesses steht, mehr als geboten sein.

I. Tageslicht.

Wir wollen das Tageslicht zunächst einmal als weißes Licht, so wie es den Pflanzen in der Natur geboten wird, betrachten.

Die Pflanzenphysiologen, die mit dem Tageslicht arbeiteten, haben von jeher das Bedürfnis empfunden, Licht von verschiedener Intensität zu gebrauchen. Wie es immer der Fall ist, so waren auch hier die ersten orientierenden Untersuchungen recht rohe. In den drei sich darbietenden Intensitäten: im Sonnenlicht, im diffusen Licht und in der Dunkelheit glaubte man drei brauchbare Grade bereits gefunden zu haben. Es kann ja auch nicht zweifelhaft sein, daß diese oft angewandten Intensitätsgrade für sehr viele Zwecke ausreichend sind. Aber beim Durchgehen der Literatur begegnen wir immer wieder Versuchen, wo bereits eine feinere Abstufung des Tageslichts durch ganz bestimmte Anordnung zu erreichen versucht wird. Ich will aus den hier in Betracht kommenden Arbeiten nur wenige herausgreifen, die aber genügen, um uns von diesen Versuchen ein anschauliches Bild zu geben.

Detmer (21), der den Einfluß verschiedener Lichtintensitäten auf die Entwicklung einiger Pflanzen untersuchte, stellt die Pflanzen

in Holzkästen, deren Vorderwand aus verschiedenen Glassorten bestand. Der eine wurde mit einer gewöhnlichen Glasplatte versehen, der zweite mit einer Milchglasplatte, der dritte mit zwei solchen, der vierte mit drei solchen, der fünfte war völlig dunkel. Die Intensitätsdifferenzen wurden dabei für die einzelnen Kästen genau festgestellt. Andere Forscher, ich nenne etwa Famintzin (29), und von neueren Autoren Lubimenko (61) und Baar (2), versuchen eine verschiedene Abstufung der Helligkeit dadurch zu erreichen, daß sie das Tageslicht durch eine bestimmte Anzahl Papierlagen, die sie vor die Pflanzen stellen, abschwächen. Wieder andere, so z. B. Vöchting (111), stellen die Versuchspflanzen in verschiedener Entfernung von einem Nordfenster auf.

Das Tageslicht, das in all diesen Versuchen verwandt worden ist, stellt eine Lichtquelle vor von recht großer Veränderlichkeit. Wenn wir die mit Tageslicht ausgeführten Untersuchungen richtig bewerten wollen, so bleibt uns nichts anderes übrig, als einmal der Frage näher zu treten, welches denn eigentlich die Intensität des Tageslichtes in den verschiedenen Tages- und Jahreszeiten an den verschiedenen Orten der Erde ist. Die Beantwortung dieser Frage dürfte aus vielen Gründen oft von Wichtigkeit sein. Ich will hier nur etwa an die jüngsten Untersuchungen von Klebs (48) erinnern, in denen zu zeigen versucht wurde, daß die Buchen nur deshalb nicht im Winter zum Weiterwachsen zu bringen waren, weil ihnen die nötige Lichtmenge fehlt. Die Beantwortung dieser Frage setzt doch, wenn man experimentell mit künstlichen Lichtquellen sie zu entscheiden versucht, voraus, daß man weiß, welche Menge, und zwar diese in der gleichen Einheit gemessen, in der auch die angewandten künstlichen Lichtquellen gemessen wurden, die Pflanzen in den verschiedenen Monaten des Jahres bei uns in der Natur empfangen.

Der erste, welcher auf die große Wichtigkeit solcher Tageslichtmessungen aufmerksam machte, war Wiesner. Seine zahlreichen Untersuchungen, die zusammenfassend in dem Werke: „Der Lichtgenuß der Pflanzen“ (121) zur Darstellung gelangten, sind den Botanikern am geläufigsten und am meisten benutzt worden, bleiben wir darum zunächst bei ihnen stehen.

Die Methode, die Wiesner anwandte, um die Lichtintensitäten des Tageslichtes zu bestimmen, lehnt sich eng an das von Bunsen und Roscoe (15) angewandte, sogenannte photographische Verfahren an. Es zeichnet durch besondere Einfachheit und Billigkeit sich aus, denn es gehört nichts weiteres dazu als ein kleines schwarzes Holzrähmchen, in dem neben einem Papierstreifen von bestimmten schwarzen Ton (Normalton) ein in wenigen Minuten herzustellendes photographisches Normalpapier gelegt wird. Der reziproke Wert der Sekundenzahl, welche notwendig ist, um dem photographischen

Normalpapier den Normalton zu geben, ist der Ausdruck der Intensität und zwar in Bunsen-Roscoe'schen Einheiten (= der Intensität, welche wirksam ist, um auf dem Normalpapier die Farbe des Normaltons im Zeitraum einer Sekunde hervorzurufen).

Diese Methode hat sich schnell eingebürgert und es sind mit ihr teils von Wiesner selbst, teils von anderen, Schimper (95), Kießling (47), Schwab (99), Rübel (92) und Samec (94) an allen Orten der Erde zahlreiche Messungen ausgeführt worden, wodurch unsere Kenntnisse sehr wertvolle Erweiterungen erfahren haben. So wurden manche gesetzmäßige Änderungen der Lichtintensität aufgedeckt, manche wertvolle Beziehungen, wie unter anderen zwischen dem Lichtgenuß und der Lufttemperatur, gefunden und schließlich auch manche brauchbare Ergebnisse, die dem Forstmanne im Walde, dem Gärtner bei seinen Züchtungen im Freien und in den Gewächshäusern zugute kamen, erzielt.

So wertvoll in vieler Hinsicht diese photographische Methode auch ist, so muß doch immer wieder von ihr gesagt werden, daß die mit ihr ermittelten Zahlen nicht als eigentliche Lichtwerte ausgegeben werden dürfen; denn die angewandte Methode gestattet nur die chemische Intensität der Sonnen- und Himmelsstrahlung zu bestimmen. Das gleiche gilt übrigens von allen ähnlichen Methoden, die auf demselben Prinzip beruhen, so unter anderen auch von den von Steenstrup¹⁾ und v. Esmarch (24) konstruierten Lichtmessern. Bei allen diesen Methoden sind die schwächer brechbaren Strahlen des Spektrums ganz unberücksichtigt geblieben. Diese Strahlen spielen nun aber für viele Lebensvorgänge der Pflanzen eine wichtige, wenn nicht ausschlaggebende Rolle. Die wichtigen chemischen Vorgänge in der Pflanze, wie Kohlensäureassimilation und Chlorophyllbildung dürften hauptsächlich in den langwelligen Strahlen erfolgen. Wenn diese Ansicht nach den Untersuchungen von Kniep und Minder (51), Meinhold (64) und Schmidt (96) auch nicht mehr in ihrer ursprünglichsten Form, wo diese Vorgänge fast ausschließlich in diesen Strahlen erfolgen sollten, gelten, so haben doch gerade diese letzten Untersuchungen ergeben, daß wir diese Strahlen nicht vernachlässigen dürfen.

Doch wie immer in einem solchen Falle werden Zahlen am deutlichsten sprechen. In einer ausgezeichneten Studie von Dorno (22) über Licht und Luft im Hochgebirge, die uns in dieser Arbeit noch des öfteren beschäftigen wird, wurden Lichtmessungen, einmal mit dem Weber'schen Photometer (s. darüber S. 251) ausgeführt, dann aber auch zum Vergleich die Wiesner'sche photochemische Methode benutzt. Aus dem großen Zahlenmaterial sei hier nur

1) Näher beschrieben in Eugen Warming's Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie. Dritte Aufl. 1914, 1. Lieferung, S. 13.

die folgende Tabelle 1 wiedergegeben. In dieser ist das Verhältnis der photographisch wirksamen Strahlung zu der photometrisch ermittelten roten Strahlung angegeben und zwar im Sonnenlicht, im diffusen und im Gesamtlicht an absolut wolkenlosen Tagen in Beziehung zur Sonnenhöhe. In der vierten Horizontalreihe ist das Verhältnis der Zahlen der zweiten horizontalen Reihe zu den der ersten, also das Verhältnis des Sonnenlichtes zu dem diffusen Licht gebildet. Die Zahlen sind das Jahresmittel aus einer großen Anzahl von Messungen.

Tabelle 1.

Verhältnis der photographischen zu den photometrischen Werten.

	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	Mittel
1. Im Sonnenlicht	8,3	8,6	8,9	10,0	10,5	10,7	11,9	12,7	13,3	14,4	14,7	14,1	11,5
2. Im diffusen Licht	37,5	36,1	36,4	37,2	39,1	37,7	38,8	38,8	38,5	43,3	44,1	44,1	39,3
3. Im Gesamtlicht	15,6	14,4	13,1	13,1	13,5	14,2	14,8	15,8	17,5	17,1	17,1	15,7	14,9
4. $\frac{\text{Reihe 2 Sonnenlicht}}{\text{Reihe 1 diff. Licht}}$	4,5	4,2	4,1	3,7	3,7	3,5	3,3	3,1	2,9	3,0	3,0	3,1	3,5

Aus diesen Zahlen geht deutlich hervor, daß der Anteil, den das diffuse Licht an der Gesamtbeleuchtung nimmt, ein ungleich größerer ist, als in Hinsicht des wahren Lichtes. Wir sehen, daß es sich um Abweichungen von hunderten von Prozenten handeln kann. Das Verhältnis $\frac{\text{Sonnenlicht}}{\text{diffuses Licht}}$ wird photographisch im Extrem $4\frac{1}{2}$ mal, im Mittel $3\frac{1}{2}$ mal so groß gefunden als photometrisch und das Verhältnis schwankt je nach der Sonnenhöhe um 4,5—2,5. Ich glaube nach diesen Zahlen wird jeder Dorno recht geben, wenn er in Hinsicht auf die soviel in der Botanik verwandten Zahlen von Wiesner sagt: „Eine zahlenmäßige Übertragung des photographisch gemessenen Verhältnisses auf das wahre Lichtverhältnis erscheint damit nicht angängig; will man praktisch wissen, welches Licht einer Pflanze in der Sonne im Verhältnis zum Schatten zukommt, wird man photometrische Messungen nicht umgehen können.“ (S. 67.)

Einen weiteren Übelstand der Wiesner'schen Lichtmeßmethode müssen wir oft darin erblicken, daß die Messungen nicht Bezug nehmen auf die heute bei uns allgemein gebrauchte Einheitskerze. Zur Charakterisierung der sogenannten Bunsen-Roscoe'schen Einheit sagt Wiesner nur, daß die Intensität des gesamten Tageslichtes in Wien bei unbedeckten Himmel zur Mittagszeit in den ersten Tagen des Mai gleich dieser Einheit sei. Mit dieser Angabe läßt

sich gar nichts anfangen, so z. B., wenn es uns etwa auf den Vergleich des Tageslichtes mit künstlichen Lichtquellen wie in den oben erwähnten Versuchen von Klebs (48) ankommt.

Helligkeitsmessungen, die das gesamte Tageslicht berücksichtigen und zudem in dem gewöhnlichen Maße ausgeführt sind, liegen nicht sehr zahlreiche vor. Es dürften hier nur die Arbeiten der beiden Physiker Weber (120) und Dorno (22) in Betracht kommen. Ersterer hat seit 1890 regelmäßig die mittlere Ortshelligkeit in Kiel zur Zeit des wahren Mittags gemessen, letzterer hat in der bereits oben erwähnten Studie in den Jahren 1908—1910 ausführliche Untersuchungen über die Lichtverhältnisse in Davos, dem bekannten im Hochgebirge der Schweizer Alpen, in 1600 m Seehöhe gelegenen Orte gemacht. Beide Forscher benutzen zu ihren Lichtmessungen das vom ersteren konstruierte sogenannte Weber'sche Photometer. Auf die Brauchbarkeit dieses heute bei den Lichtuntersuchungen oft benutzten Photometers soll an anderer Stelle eingegangen werden (s. S. 251), ich gehe deshalb gleich zu den von diesen Forschern ermittelten Zahlen über.

Bereits Lehmann (58) hat auf die Messungen Weber's hingewiesen und einige seiner ermittelten Zahlen wiedergegeben. Diese Zahlen seien durch solche aus den Jahren 1908—1910 ergänzt, denen ich aber die Maxima und Minima sowohl die absoluten wie die mittleren beifüge. Ich wähle gerade die Zahlen dieser Jahre, weil Dorno in dem gleichen Zeitraum in Davos die gleichen Messungen ausgeführt hat, so daß wir in den beiden nächsten Tabellen Zahlen vor uns haben, die in allen Punkten miteinander zu vergleichen sind und die uns in der schönsten Weise zeigen können, ein wie großer Unterschied zwischen zwei so verschieden hochgelegenen Orten in der Helligkeit herrscht.

Die Angaben in den beiden nächsten Tabellen geben uns also die mittägliche Ortshelligkeit wieder und zwar in 1000 MNK (Meter-Normalkerzen).

Vergleichen wir die Zahlen dieser beiden Tabellen miteinander, so springt der große Unterschied in der Helligkeit dieser beiden Orte direkt in die Augen. Davos hat im tiefen Winter die 6fache Helligkeit, im höchsten Sommer die 1,8fache, im Durchschnitt die 2,5fache von Kiel. Bei dem großen Einfluß, den das Licht auf das Pflanzenleben ausübt, dürfte es selbstverständlich sein, daß sich dieser Unterschied auch irgendwie in der Pflanzenwelt zeigt. Jedenfalls dürfen solche Ergebnisse beim Studium der Hochgebirgsflora nicht vergessen werden. Aber auch für den Pflanzenphysiologen kann eine solche Erkenntnis unter Umständen von Wert werden. Ich denke z. B. hier an die oben von Klebs (48) angeführten Untersuchungen über das Treiben der Bäume. Es wäre doch sicherlich sehr interessant, zu erfahren, ob etwa Buchen in dem lichtreicheren

Tabelle 2.

Die mittägliche Ortshelligkeit in Kiel in 1000 Meterkerzen.

Monat	Mittelwert aus allen Messungen	Mittl. Max.	Abs. Max.	Mittl. Min.	Abs. Min.
Januar	7,7	20,4	24,8	2,2	2,0
Februar	15,6	43,6	67,8	2,7	2,3
März	27,4	81,9	130,6	4,0	3,4
April	40,5	85,9	123,6	6,0	2,1
Mai	46,8	88,7	109,1	9,1	3,9
Juni	55,9	95,2	97,5	19,1	9,7
Juli	54,4	154,3	184,7	16,6	10,2
August	44,8	90,0	97,7	14,3	12,6
September	44,5	103,2	146,8	12,3	3,9
Oktober	24,0	58,9	77,7	6,2	4,8
November	14,4	35,0	48,0	2,6	2,2
Dezember	7,1	14,2	17,5	1,4	1,3

Tabelle 3.

Die mittägliche Ortshelligkeit in Davos in 1000 Meterkerzen.

Monat	Mittelwert aus allen Messungen	Mittl. Max.	Abs. Max.	Mittl. Min.	Abs. Min.
Januar	45,9	74,7	82,3	17,3	10,9
Februar	61,3	102,3	111,4	20,4	10,1
März	95,8	159,4	180,0	49,2	40,1
April	112,4	189,6	206,2	40,9	26,8
Mai	117,0	197,5	204,6	22,1	16,7
Juni	112,7	215,1	223,2	22,6	17,5
Juli	99,8	178,1	181,8	19,1	8,1
August	102,4	176,3	182,3	20,6	13,2
September	84,7	161,3	165,8	19,3	8,8
Oktober	72,6	121,1	124,8	20,0	11,6
November	45,1	80,7	90,6	16,6	11,3
Dezember	38,2	59,8	68,8	12,5	6,9

Hochgebirge zum Weiterwachsen zu bringen wären. In einer anderen Tabelle hat Dorno (22 S. 112) die mittleren Tagessummen der Helligkeitswerte für die Monatsmitten des Jahres in 1000 MNKSt

(Meterkerzenstunden) berechnet, die in der folgenden Tabelle 4 wiedergegeben sind.

Tabelle 4.

Mittlere Tagessummen der Helligkeitswerte in 1000 Meterkerzenkerzen.
 Wolkenlose Tage.

M o n a t	Helligkeitssummen 1000 Meterkerzenstunden			der zur Sonne senkrechten Fläche durch Sonnen- strahlung
	Gesamt- strahlung	diffuse Strahlung	Sonnen- strahlung	
15. Januar	236	41	192	588
15. Februar	400	63	334	775
15. März	680	95	590	1079
15. April	997	118	871	1375
15. Mai	1290	149	1145	1720
15. Juni	1290	131	1145	1669
15. Juli	1319	160	1143	1708
15. August	1077	85	994	1521
15. September	796	68	739	1298
15. Oktober	516	46	467	981
15. November	283	52	246	703
15. Dezember	195	41	163	568

Für einen Ort der Ebene liegen meines Wissens solche Zahlen nicht vor. Aus den Angaben aber, daß in Davos im tiefen Winter die Helligkeit ungefähr 6mal und im Sommer ungefähr 1,8mal so groß ist wie in Kiel, können wir ungefähr aus den obigen Zahlen die Werte für Kiel berechnen. Wir bekämen für die beiden Monate Juli und Dezember zu folgenden Werten:

	Gesamtlicht	Diffuses Licht
Monat Juli	c. 659 000 MNKSt.	c. 80 000 MNKSt.
„ Dezember	c. 35 000 „	c. 7 000 „

Diese Angaben beziehen sich auf wolkenlose Tage. Wir sehen, daß in der Tat den Pflanzen in der Ebene eine verhältnismäßig geringe Lichtmenge im Winter zur Verfügung steht. In den künstlichen Lichtversuchen von Klebs wurden nun im allerbesten Falle den Pflanzen 24000 MNKSt. gegeben. In dem Hochgebirge, wo das Sonnenlicht vorherrschend ist, würden wir den Pflanzen weit

mehr und vor allem weit billigeres Licht geben können. Das Hochgebirge ist, was die Lichtverhältnisse angeht, für manche Untersuchungen nach den Lichtmessungen Dorno's der ideale Untersuchungsort.

Dieses Beispiel hat uns indes von den Haupttabellen 2 und 3 abgelenkt, gehen wir darum noch einmal zu ihnen zurück. Vergleichen wir noch die Maxima und Minima miteinander, diese können uns über die Veränderlichkeit des Tageslichts guten Aufschluß geben. Wir erkennen vor allem an den Zahlen, die in Kiel gewonnen wurden (Tab. 2), daß es sich um ganz enorme Schwankungen handelt. Nach den Angaben Weber's (120, 1893, S. 82) kann sich die Tageshelligkeit innerhalb weniger Minuten um 100 % verstärken resp. verringern. Daraus folgt, daß für länger währende Untersuchungen das Tageslicht nicht zu gebrauchen ist. Aber auch bei kürzer dauernden Untersuchungen ist die äußerste Vorsicht geboten. Bei dieser Gelegenheit mag auf eine weitere unter Umständen wichtige Beobachtung hingewiesen werden. Dorno beobachtet, daß aufziehende weiße Wolken, wenn sie die Sonne nicht verdecken, nicht, wie man dies anzunehmen geneigt ist, die Gesamthelligkeit herabdrücken, sondern daß sie diese unter Umständen sogar bis zu 40 % erhöhen können, ja selbst leichte Dunstschleier vor der Sonne die normale Helligkeit nicht erheblich heben.

Natürlich ändert sich auch an ganz klaren Tagen sowohl das Gesamtlicht, als auch das diffuse Licht in den einzelnen Stunden des Tages. Solche Zahlen haben gerade im Hinblick auf die Untersuchungen, die mit Tageslicht ausgeführt sind, für den Pflanzenphysiologen großes Interesse, ich gebe darum hier solche von Dorno (22, S. 111) in Davos ermittelte Zahlen wieder. Es dürften dies die einzigsten sein, die in dieser Richtung gemacht sind. Die erste Tabelle (Tab. 5) gibt das Gesamtlicht, d. h. das Sonnenlicht + diffuses Licht, die zweite (Tab. 6) das diffuse Licht allein wieder.

Sicherlich wäre es zu wünschen, wenn solche photometrisch ermittelten Lichtmessungen, wie sie nun für Kiel und Davos vorliegen, noch für mehrere Orte der Erde durchgeführt würden. An anderer Stelle macht Dorno²⁾ Vorschläge zum systematischen Studium des Lichts und Luftklimas der den deutschen Arzt interessierenden Orte. Daß auch der Biologe an solchen Untersuchungen ein gewisses Interesse hat, das dürften diese wenigen Angaben aus dem so großen Material, das Dorno zusammengetragen hat, bereits ergeben und es wäre demnach zu wünschen, daß bei der notwendigen, einheitlichen Organisation auch die biologischen Interessen mit berücksichtigt würden.

2) Veröffentl. d. Zentralstelle für Balneologie. Heft VII.

Tabelle 5.

Tagesgang der mittleren Gesamthelligkeit an den 12 Monatsmitten in 1000 Meterkerzen.
Wolkenlose Tage.

M o n a t	6 a	7 a	8 a	9 a	10 a	11 a	Mg.	1 p	2 p	3 p	4 p	5 p	6 p
15. Januar					36,5	52,2	53,8	50,8	37,2	20,0			
15. Februar				39,2	61,5	72,8	75,0	73,5	56,5	40,3			
15. März			35,2	64,8	86,8	104,0	110,0	104,0	98,2	74,0	32,8		
15. April		35,0	64,0	91,2	118,5	131,9	136,0	132,0	116,0	96,0	66,0	35,0	
15. Mai	30,2	59,0	88,0	117,8	137,8	150,5	156,8	151,8	140,6	111,0	84,5	59,2	
15. Juni	33,0	60,8	89,5	112,7	131,5	148,8	153,2	150,0	130,8	109,8	86,2	62,8	39,6
15. Juli	40,3	66,7	93,7	120,7	137,4	150,6	156,5	150,5	134,0	112,4	87,5	58,8	
15. August	12,5	42,5	75,3	101,0	122,3	132,7	136,7	132,9	116,5	101,6	73,7	44,3	
15. September		27,6	48,7	78,6	96,2	109,5	113,9	108,0	95,7	77,8	48,6		
15. Oktober			19,8	49,1	72,8	84,1	90,0	83,2	72,8	51,4			
15. November					43,8	52,5	57,8	56,0	46,5	24,0			
15. Dezember					26,3	40,3	43,8	45,8	36,3	19,5			

Tabelle 6.

Tagesgang der mittleren diffusen Helligkeit an den 12 Monatsmitten in 1000 Meterkerzen.
Wolkenlose Tage.

M o n a t	6 a	7 a	8 a	9 a	10 a	11 a	Mg.	1 p	2 p	3 p	4 p	5 p	6 p
15. Januar						7,2	8,0	9,4	9,2	7,0	5,2		
15. Februar					7,5	10,5	10,8	11,2	10,5	9,0	6,8		
15. März				8,2	10,8	12,0	13,0	13,4	15,0	12,8	9,8	7,4	
15. April			8,8	11,8	12,2	13,2	13,8	13,7	13,2	10,8	10,4	8,8	7,0
15. Mai		7,0	11,0	12,0	13,8	15,2	16,0	15,2	14,2	13,8	11,8	9,8	7,8
15. Juni		8,0	8,2	8,8	11,2	13,4	15,2	15,8	12,5	11,3	9,2	7,7	5,8 3,8
15. Juli		5,7	8,5	8,8	12,1	15,0	17,3	18,0	17,8	16,2	14,5	12,5	10,6
15. August		6,7	6,9	7,3	7,6	8,1	8,2	8,4	7,7	6,7	6,7	6,6	6,5
15. September			5,9	6,2	6,8	7,2	7,6	7,8	7,6	7,2	6,8	6,2	
15. Oktober				3,5	6,2	6,4	6,5	6,5	6,2	6,2	5,9		
15. November						8,0	9,0	10,6	9,1	8,2	7,3		
15. Dezsmber						5,8	8,8	9,2	7,8	7,2	5,6		

Bis jetzt haben wir das Tageslicht als weißes Licht betrachtet. Wir wissen nun aber, daß jedes weiße Licht eine Zusammensetzung ist von mehreren einzelnen Farben. Das Spektrum, das wir er-

halten, wenn wir einen Sonnenstrahl durch ein Prisma schicken, ist in seiner Zusammensetzung sowohl in den einzelnen Farben von rot bis violett als auch über die sichtbaren Grenzen hinaus qualitativ und quantitativ genau untersucht. Was die qualitative Untersuchung angeht, so brauche ich nur daran zu erinnern, daß wir heute weit mehr als 5000 Fraunhofer'sche Linien kennen und genau wissen, welchen Elementen sie zugehören. Durch klassische Untersuchungen, vor allem von Langley (56, 57) ist aber auch die quantitative Lösung der Aufgabe im wesentlichen als gelöst anzusehen.

Langley legte als Einheitsmaß das der Wärme zugrunde: Alle Strahlen, sowohl die kurzwelligen wie die langwelligen, führen demjenigen Körper, der sie restlos absorbiert eine ihrer Energie entsprechende Wärmemenge zu. In dem Bolometer fand er ein Meßinstrument, das solche kleine Energien, wie sie in Spektrallinienbreite entsprechenden Spektralteilen ausgesandt werden, noch sicher anzeigt. Mit einem solchen Apparat, der auch durch eine Thermosäule ersetzt werden kann, ist in kürzester Zeit die ganze Energieverteilung einer Lichtquelle aufzunehmen. Langley untersucht mit diesem Apparat die Wirkung der Sonnenstrahlen. Seine Ergebnisse, die in der Feststellung der für die Erde wichtigsten Naturkonstante, „der Solarkonstante“ ihre Krönung fanden, sind verschiedentlich zusammengestellt. Ich verweise hier nur etwa auf die Lehrbücher von Hann (39) und Trabert (109). Dort wird man auch die Energiekurve des Sonnenlichtes außerhalb unserer Atmosphäre und die finden, welche von solchen Sonnenstrahlen erzeugt wird, die die Atmosphäre durchdrungen haben. In dem letzten der beiden erwähnten Lehrbüchern wird auch das diffuse Licht weitgehendst berücksichtigt.

In unserem Zusammenhang kommt es weniger auf Messungen an, die sich auf alle Einzelheiten des Spektrums erstrecken, wir geben uns schon zufrieden, wenn wir etwas über die Veränderlichkeit größerer Spektralbezirke im Tageslicht erfahren. Bei Besprechung der Intensität des weißen Tageslichtes lernten wir den großen Wert systematisch durchgeführter Messungen kennen und solche Messungen suchen wir auch über die spektrale Zusammensetzung des Tageslichtes.

Der einzigste, der solche Messungen ausgeführt hat, ist wieder Dorno in seiner bekannten Studie, derer wir schon des öfteren Erwähnung taten. Durch 3 Jahre hindurch hat er vier Spektralbezirke genauer verfolgt. Ich gebe seine Resultate in Form von Kurven hier wieder, die uns in einem Blick ein anschauliches Bild von seinen Ergebnissen zu geben vermögen (s. Dorno 22, S. 141).

Die erste Kurve (Fig. 1) gibt uns das Verhältnis der Strahlungssummen der vier beobachteten Spektralbezirke im Laufe der

12 Monate des Jahres wieder. Auf der Abzissenachse sind die Zeiten (Monate des Jahres) und auf den zugehörigen Ordinaten die zu den Zeiten gehörenden Strahlungssummen aufgezeichnet.

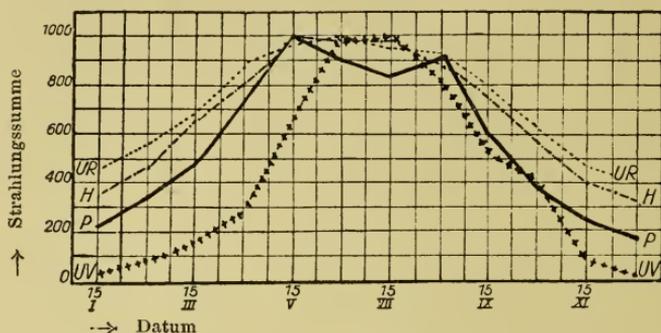


Fig. 1. Jährl. Gang der Summen der $\left. \begin{array}{l} \text{..... Wärme- UR} \\ \text{--- Helligkeits- H} \\ \text{— blauviolett P} \\ \text{++++ ultraviolett UV} \end{array} \right\} \text{Strahlung der Sonne}$

Wie groß sind nach dieser Kurve die Veränderungen der Sonnenstrahlen innerhalb eines Jahres! Betrachten wir nur einmal die ultraviolette Strahlung. Sie ist im Sommer etwa 20mal so stark wie im Winter, von ihr bringt ein Sommertag fast soviel wie ein ganzer Wintermonat. Wir wissen nun aber, daß diese Strahlen tief in das Leben der Organismen eingreifen, wie zahlreiche Untersuchungen über die Wirkung dieser Strahlen auf Tier und Pflanzen, insbesondere Bakterien, ergeben haben. Ich verweise hier nur auf die Arbeiten von Sachs (93), de Candolle (16), Loeb (60), Thiele und Wolf (108), Hertel (42), Schulze (98), Kluyver (50), Oker-Blom (72), Vogt (115) und Bovie (11, 12). Auch in bezug auf die anderen Strahlen verhalten sich die einzelnen Jahreszeiten ganz verschieden. Besonders klar tritt auch die ganz verschiedene Qualität der Frühlings- und Herbstsonne in den obigen Kurven uns entgegen.

Weiter seien in den vier nächsten Kurven (Fig. 2) die verschiedenen Lichtzusammensetzungen des Sonnenlichtes an den verschiedenen Tages- und Jahreszeiten hier wiedergegeben. Sie beziehen sich nur auf die verschiedenartigsten (Wärme- und ultraviolette) Strahlen und sind gezeichnet, indem die Maxima beider gleich und gleich 1000 gesetzt sind.

Man erkennt aus diesen Kurven unmittelbar wie schnell und gewaltig die Zusammensetzung des Lichtes schwankt. Man vergleiche nur etwa den 15. Juli mit dem 15. Januar. Am Mittag ist im Sommer der Wärmeanteil wohl 10mal so groß, am Morgen sogar 20mal so groß wie im Winter.

Auch Wolken können die Qualität des Lichtes wesentlich ändern. Wir hörten (S. 229) ja, daß Dorno festgestellt hat, daß aufziehende Wolken die Intensität des Lichtes wesentlich erhöhen können. Dieses stellt man aber nur fest, wenn das Licht photometrisch gemessen wird. Führt man die Messung photographisch durch, so zeigen Wolken zumeist sogar eine Schwächung der Intensität des diffusen Lichtes. Dies ist nur so zu erklären, daß die Lichtvermehrung der aufziehenden Wolken nur auf einer Vermehrung der langwelligeren Strahlung begründet ist. Auch in dieser Tatsache dürfte sich der große Mangel der photographischen Methode gegenüber der photometrischen zeigen.

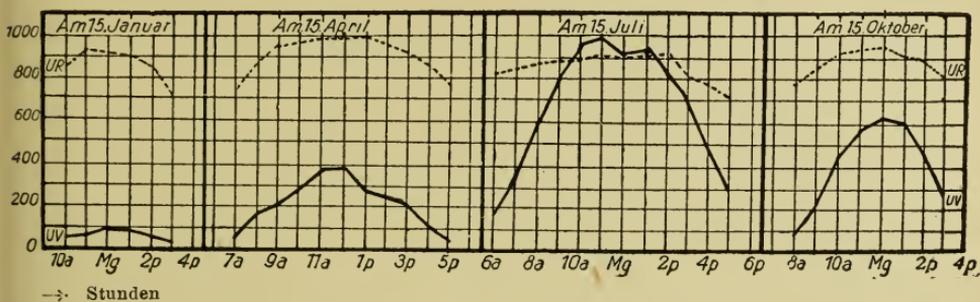


Fig. 2. Die verschiedenartige Zusammensetzung des Sonnenlichtes in den vier Jahreszeiten.

Im übrigen brauchen wir uns nicht weiter mit dem sonst wichtigen Kapitel der spektralen Zusammensetzung des Lichtes aufhalten. Es liegen nämlich auf botanischem Gebiet ausgezeichnete Untersuchungen vor, in denen das ganze Problem scharf herausgearbeitet und die ganze in Betracht kommende Litteratur zusammengetragen ist, so daß ich hier nur auf diese verweisen brauche. Es sind die Untersuchungen vor allem von Kniep und Minder (51), dann die von Meinhold (64), Lubimenko (62), Schmidt (96), Klebs (49) und Puriewitsch (84). Gerade diese Arbeiten können einem so recht klar zeigen, wie sehr es bei sehr vielen Untersuchungen auf Genauigkeit ankommt, und wie die Vernachlässigung eines Faktors, wie etwa der der Intensität gleich zu großen Fehlschlüssen Anlaß geben kann.

II. Künstliche Lichtquellen.

Künstliche Lichtquellen wurden jederzeit bei den pflanzenphysiologischen Versuchen benutzt, wenn sie auch gegenüber dem Tageslicht anfänglich ganz zurücktraten. Es ist nicht uninteressant, sich einmal in kurzen Zügen die ganze Entwicklung vor Augen zu führen, welche die Lichtquellen von den ersten Zeiten, wo man anfang, physiologische Versuche zu machen bis hinauf in unsere

Zeit des Gases und der Elektrizität durchgemacht haben. Wir werden dabei die ganze Entwicklung wiederfinden, welche die Beleuchtung in den letzten anderthalb Jahrhunderten genommen hat. Dieser geschichtliche Überblick führt uns weit zurück in die Zeit, wo die herrlichen Arbeiten von Bonnet und Duhamel entstanden.

Bonnet (8) untersucht die Bewegungen, die Blätter ausführen, um ihre Oberfläche senkrecht zu den einfallenden Lichtstrahlen zu stellen, und glaubt in dem Licht eine der am meisten in Betracht kommenden Ursachen gefunden zu haben. Unter den Versuchen, die dies beweisen sollen, finden wir auch den folgenden: Zwei Zweige von *Atriplex* werden abends beim Dunkelwerden abgeschnitten und künstlich und zwar „avec une bougie de quatre à la livre, placée à deux ou trois pouces de chacun deux (p. 280)“ beleuchtet. Die Zweige waren dabei so aufgestellt, daß ihre Oberflächen vom Licht abgewandt waren. Wir, die wir im Zeitalter der Elektrizität leben, lächeln vielleicht, wenn wir uns diese primitive Versuchsanordnung vorstellen, aber sie erfüllte ihren Zweck; denn „à une heure et demie, une des feuille avoit commencé a se retourner, à sept heures du matin, cette feuille s'étoit fort élevée, comme pour offrir sa surface supérieure à la lumière (p. 211)“. Derselbe Versuch wird dann mit einem Weinblatt mit dem gleichen Erfolg wiederholt.

Duhamel (23) widmet der Schlafbewegung der Blätter seine Aufmerksamkeit und sucht deren Zustandekommen zu ergründen. Es lag ja zu nahe, in dem Wechsel zwischen Tag und Nacht, vor allem in dem Wechsel zwischen Licht und Dunkelheit die Ursache für die Bewegung der Blätter zu suchen. Das Licht wegnehmen war ja leicht, aber er ließ sich auch durch die damals große Schwierigkeit das Tageslicht zu ersetzen, nicht abschrecken. Mit einer Fackel (flambeau) wurden die Pflanzen des Abends beleuchtet. Nach dem, was wir von den Schlafbewegungen wissen, verstehen wir es, wenn „la lumière artificielle d'un flambeau ne produit aucun effect sur la sensitive (p. 159)“.

Der gleiche Gegenstand wurde etwa fünfzig Jahre später von de Candolle (17) behandelt und auch dieser Forscher verwendet künstliches Licht. Aber die Beleuchtungstechnik war bereits einen Schritt vorwärts gegangen. Die sogenannte Argand'sche Lampe behauptete das Feld. Diese Lampe wurde mit Rüböl gespeist. Statt des bis dahin verwandten massiven Runddochtes wurde ein breiterer und flacherer Docht verwandt, der zu einem Hohlzylinder zusammengebogen war. Eine weitere wesentliche Verbesserung bestand darin, daß die Flamme von außen und von innen von dem Luftstrom getroffen wurde. Es war also die Konstruktion, wie sie die gewöhnlichen Petroleumlampen noch heute haben. De Candolle wußte diese bedeutende Verbesserung für seine Versuche gleich nutzbar

zu machen. Um den Einfluß dauernder Beleuchtung auf die Schlafbewegung zu studieren, setzt er die Versuchspflanzen dem Licht von sechs solchen Argandlampen aus, einem Licht, das $\frac{5}{6}$ des hellen diffusen Tageslichtes (équivalent du $\frac{5}{6}$ ^{es} du jour sans soleil [p. 860]) gleichkommen soll. Wir haben heute noch alle Hochachtung vor diesem großen Schritt vorwärts in der Beleuchtungstechnik, aber in der Beurteilung der Lichtstärke dürften die damaligen Menschen doch wohl sehr optimistisch gewesen sein, wenn sie das Licht von sechs solchen Lampen = $\frac{5}{6}$ eines hellen diffusen Tageslichts setzen. Selbst wenn wir etwa den ungünstigsten Fall annehmen und nach Tabelle 2 das Tageslicht gleich c. 2000 MK annehmen, so müßte eine jede solche mit Rüböl getränkte Lampe einer Lichtstärke von c. 270 MK. gleichkommen, also eine Lichtstärke haben, wie sie unsere heute zur Straßenbeleuchtung benutzten hochkerzigen Lampen haben³⁾ Wir verstehen eine solche Überschätzung nach der damaligen dunklen Zeit, aber dies Beispiel ist, und darum führe ich es an, besonders lehrreich. Es zeigt uns, ein wie großer Fehler bei der Abschätzung der Helligkeit einer Lampe durch das Auge eintreten kann.

Diese Argandlampen finden wir noch in mehreren Arbeiten der folgenden Zeit wieder, so z. B. bei Meyer (65), der beim Studium des Öffnens und Schließens der Blüten sich vier solcher Lampen bediente.

In der Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde das Rüböl durch einen besser brennenden Stoff, durch das Petroleum ersetzt und durch die Einführung dieses erfuhr die Argandlampe eine weitere wesentliche Verbesserung. Auch die Petroleumlampe ist zur künstlichen Beleuchtung der Pflanzen herangezogen worden. Als erster benutzte eine solche, soweit ich sehe, Famintzin (26, 27, 28), der sehr viel mit künstlichem Licht arbeitete und den Beweis erbrachte, daß künstliches Licht bei keimender Kresse alle die Erscheinungen zu erzeugen vermag, welche bis dahin unter dem Einfluß des Tageslichtes beobachtet worden waren. Diese historische Lichtquelle läßt sich am besten mit einer „Laterna magica“ vergleichen. In einem viereckigen Blechkasten mit dachförmiger oberer Bedeckung standen zwei Petroleumlampen, deren Licht durch einen sphärischen Schirm durch eine vorne im Kasten angebrachte Öffnung geworfen wurde. Durch eine Linse wurden die Lichtstrahlen weiter gesammelt und konnten durch einen zweiten sphärischen Schirm nach unten geleitet werden. Wärmestrahlen waren dabei durch ein Glasgefäß mit parallelen Wänden ausgeschaltet.

Mit der Zeit, in der Famintzin diese Untersuchungen ausführte, sind wir bereits in eine solche gekommen, wo andere Beleuch-

3) Rüböl hat bei einem Verbrauch von 13,9 g in der Stunde eine Lichtstärke von 2,8 Kerzen.

tungsarten sich Geltung verschafft hatten: das Leuchtgas und die Elektrizität.

Des Leuchtgases bediente man sich bei pflanzenphysiologischen Versuchen oft, und zwar in allen den Brennerformen, die man im täglichen Leben gebrauchte. Auch der Argandbrenner fehlt nicht, z. B. Pfeffer (77), Oltmanns (73), Rothert (90) und Fröschel (30) in ihren physiologischen Untersuchungen, selbst das Drummond'sche Licht ist verwandt worden (16, 81). Besonders wichtig wurde eine Erfindung eines neuen Brenners durch Auer von Welsbach (1885). Mit diesem sogenannten Auerbrenner war eine Lampe gewonnen worden, die bei verhältnismäßig geringem Gasverbrauch eine Lichtintensität von 60—90 MK. besaß. Eine solche hohe Lichtstärke konnte, abgesehen natürlich vom elektrischen Bogenlicht lange Zeit keine andere Lampe aufweisen. In der botanischen physiologischen Literatur begegnen wir diesem Brenner auf Schritt und Tritt (45, 71, 58, 13, 1, 4, 36, 82, 83), bis hinauf zu der Zeit, wo Richter (86) ihr durch die Beobachtung, daß auch die geringsten Spuren von Leuchtgas nachträglich auf das Pflanzenleben einwirken können, ihrer weiteren Verwendung ein jähes Ende bereitete.

Heute hat sich in der pflanzenphysiologischen Methodik das elektrische Licht die führende Stellung erworben. Man konnte um so eher auf das Gaslicht verzichten, weil die elektrische Beleuchtungstechnik in den letzten 15 Jahren Erfolge aufzuweisen hat, die in dem Konkurrenzkampf, den das Gas jederzeit mit der Elektrizität geführt hat, das Übergewicht ganz dem letzteren gaben. Wir wollen diese Entwicklung gleich verfolgen. Ich möchte indes zunächst des Bogenlichts Erwähnung tun, des Lichts, das sowohl was seine Intensität, als was seine Farbenzusammensetzung angeht, dem Tageslicht am nächsten stehen dürfte (vgl. die Arbeiten von Gaud (34) und Precht und Stenger (80)).

Ich will hier nur einige Arbeiten nennen, die sich dieses Lichts bedienen. Der erste, der von einer solchen Lichtquelle Gebrauch machte, dürfte Hervé-Mangon (43) gewesen sein, der 1861 an fünf aufeinanderfolgenden Tagen junge Keimlinge je 12 Stunden mit dem Licht einer elektrischen Bogenlampe bestrahlte und fand, daß solche junge Pflanzen bei diesem Licht Chlorophyll zu bilden vermögen. Zu sind dürften weiter die zahlreichen Untersuchungen von C. William Siemens (19, 100), der in seinem Landhaus in Sherwood Versuche darüber anstellte, wie dauernde elektrische Beleuchtung von einer Intensität von 1400 Kerzen auf das Pflanzenleben wirkt. Angeregt wurde Siemens zu diesen Versuchen durch eine Arbeit Schübeler's (97), der die Wirkung des ununterbrochenen Tageslichts auf die Pflanzen der Polarländer untersucht hatte. In derselben Richtung bewegten sich ja auch die bekannten

Untersuchungen von Bonnier (9, 10), der das Licht elektrischer Bogenlampen dauernd auf Pflanzen wirken ließ. Bekannt sind weiter die heliotropischen Versuche Oltmanns (74), bei denen eine Bogenlampe von 5300 HK als Lichtquelle diente. Weiter arbeiteten u. a. mit Bogenlicht Stameroff (103), Green (35), Kolkwitz (53), Rowlee (91), Maxikow (63), Blaauw (41), Stoppel (104), Jakoby (44), Karsten (46), Vogt (115), Buder (13), Arizs (1) und Oltmanns (75).

Die zuerst in dem Handel sich befindenden Kohlenfadenlampen waren wohl wegen ihres verhältnismäßig geringen Lichts und ihres hohen Wattgebrauchs weniger beliebt. Die von der Technik oft angesetzten Versuche, die Kohle der Glühlampen durch schwer schmelzbare Metalle zu ersetzen, führten erst durch die Arbeiten von Nernst (1897) und Auer (1900) zu einem gewissen Erfolg. Die nach ihrem Erfinder benannte Nernstlampe hat in den pflanzenphysiologischen Versuchen eine nicht unwichtige Rolle gespielt, sie wurde oft verwandt. Ich verweise u. a. auf die Arbeiten von Nathanson und Pringsheim (67, 83), Guttenberg (37), Thelen (107), Gaßner (31), Buder (13), Blaauw (5), Vogt (115), Noack (70), Nienburg (69) und Heilbronn (41). Heute verschwindet sie auf dem Markte mehr und mehr und damit wird sie auch wohl für den Physiologen erledigt sein. Wir werden noch auf diese Lampe zurückzukommen haben (S. 244). Der Grund, warum diese Lampe heute immer mehr und mehr zurücktritt, dürfte darin liegen, daß die Erfindung von Auer sich als praktisch wertvoller herausgestellt und darum zu höherer Vollkommenheit entwickelt hat. Auer konstruierte die erste Metallfadenlampe, die Osmiumlampe, die wegen des hohen Preises des Osmiums und anderen Gründen sehr schnell aus dem Verkehr wieder verschwand. Sie wurde zuerst durch die Tantallampen und dann fast ausschließlich durch die Osram- resp. Wolframlampen ersetzt, die gegenüber den ersteren einen noch geringeren Wattverbrauch pro Kerze haben (erstere 1,5, letztere nur c. 1, bei der Kohlenfadenlampe im besten Falle 3 Watt). Ein weiterer großer Fortschritt in der Beleuchtungstechnik wurde dann noch im Jahre 1913 durch Einführung einer Lampe erreicht, die einen Wirkungsgrad hatte von nur $\frac{1}{2}$ Watt pro Kerze. Auch diese Lampe besitzt einen Glühkörper aus metallischen Osram- resp. Wolfram, der durch den elektrischen Strom zum Glühen erhitzt wird. Indessen befindet sich das Leuchtsystem nicht mehr im Vakuum, sondern in einem in den Glaskörper hineingepreßten Gase (Stickstoff, Argon u. a.), das die Wärme schlecht leitet⁴⁾ und dabei das Metall nicht angreift. Solche Lampen wurden zunächst in einer Lichtstärke von 600—3000 NK hergestellt, doch wurden sehr bald

4) Über die Wärmewirkung der künstlichen Lichtquellen s. Voegelé (113).

die Grenzen der Ausführbarkeit erweitert. Heute sind die Halbwattlampen mit Lichtstärken von etwa 30 K bis zu 4000 K erhältlich. Lampen mit höherem Licht können ebenfalls hergestellt werden, doch hat sich hierfür der Bedarf bisher als zu gering erwiesen.

Wir haben also in diesen letzten Lampen solche gefunden, welche, was die Lichtstärke angeht, an die bei des Bogenlichts herankommen (vgl. auch die Farbenzusammensetzung dieser Lampe S. 247), welche aber gegenüber diesem eine viel einfachere Installation, die unbeschränkte Fähigkeit der Einzelschaltung bei 110 Volt, das nicht nötige Auswechseln der Kohlen und vor allem den eines ruhigen Brennens besitzen. Es kann auch nicht zweifelhaft sein, daß die heute noch hohen Preise für die 600-, 1000-, 2000- und 3000kerzigen Lampen (15, 18, 27 und 36 Mk.) im Laufe der Zeit erheblich herabgesetzt werden. Nach alledem dürfen wir sagen, daß diese Lampen noch in den physiologischen Versuchen eine Rolle spielen werden.

Alle diese neueren Lampentypen sind verwendet worden. Die Tantallampen benutzte z. B. Pfeffer (78) in seinen bekannten Untersuchungen über die Schlafbewegungen der Blattorgane, außerdem Guttenberg (36), Osramlampen (Wotan-, Wolframlampen etc.) finden wir unter anderen in den Untersuchungen von Clark (18), Krones (54), Jakoby (44), Ottenwälder (76), Gaßner (32, 33), Klebs (49), Pfeffer (78), Vogt (114), Kniep (52), Buder (14), Harder (40) und Sierp (101). Viele Autoren sprechen einfach von Glühlampen oder elektrischen Lampen, so z. B. Richter (87, 88), Tröndle (110), Wilschke (122) und Sperlich (19). Gasgefüllte Lampen oder Halbwattlampen wurden neuerdings von Klebs (49), Buder (14), Heilbron (41) und Harder (40) angewandt.

Die großen Fortschritte der Beleuchtungstechnik ermöglichen uns eine viel bessere Beleuchtung bei den physiologischen Versuchen anzuwenden wie dies in früheren Zeiten möglich war, vor allem gestatten sie in weit größerem Maße eine quantitative Untersuchung der Beziehungen der Lichtenergie und dem Leben in Angriff zu nehmen. Noch letzthin wies Oltmanns (75) mit allen Nachdruck für die photonastischen Bewegungen auf die Notwendigkeit hin, die Intensitäten zu variieren und besser, wie dies der Fall gewesen sei, abzustufen. Was für diese Bewegungen gilt, trifft in derselben Weise für viele physiologische Vorgänge zu. Diese notwendige Forderung setzt aber voraus, daß man sich über die gebräuchlichsten Lichtquellen im klaren ist, daß man vor allem weiß, welche Intensität man denn mit diesen Lampen anwendet. Gerade in dieser Hinsicht zeigen viele Arbeiten eine erstaunliche Unklarheit, so daß es unbedingt notwendig ist, dieser Frage einmal näher zu treten.

In sehr vielen der oben angegebenen Arbeiten kam es den Autoren auf eine genaue Kenntnis der Intensität der verwendeten Lichtquellen nicht an, sie geben nur an, daß sie eine Lampe von so und soviel Kerzenstärke verwendet hätten. Es wäre aber sehr wohl möglich, daß solche Angaben einmal zum Vergleich einer quantitativen Untersuchung heranzuziehen seien und dann ergäbe sich die Frage, ob wirklich den Versuchspflanzen auch die angegebene Intensität gegeben wurde. Andere Autoren wollen wirklich untersuchen, wie ein bestimmtes Maß von Licht auf die Versuchsobjekte einwirkt. Wenn in diesem Falle eine und dieselbe Lichtquelle, deren Intensität nicht genau feststeht, in verschiedene Entfernung vom Versuchsobjekt gebracht wird, so läßt sich natürlich nichts dagegen sagen. Man hat dann keine absolute, wohl aber relative, gut vergleichbare Werte. Ganz anders aber wird die Sache, wenn man, wie dies oft der Fall sein wird, gezwungen ist, mit verschiedenen Lampen zu arbeiten. Man verläßt sich dann sehr oft auf die auf den Lampen angegebene Kerzenzahl, in der sicheren Annahme, daß diese Angaben, wenn auch nicht ganz genau, so doch ungefähr die Intensität des Lichtes treffen. Eine solche Vorstellung kann aber zu großen Fehlern Anlaß geben.

Wenn einmal das Photometer, wie dies ja auf der Hand liegt, benutzt wird, um diese Kerzenzahlen festzustellen, so kann man große Überraschungen erleben. Ich will dies durch zwei Beispiele aus der botanischen Literatur belegen, einmal durch die photometrischen Messungen Ottenwälder's (76) und dann durch die Blaauw's (5). Ersterer macht Keimversuche und letzterer untersucht den Einfluß des Lichts auf das Wachstum, beide sind gezwungen das Licht ihrer Lichtquelle senkrecht von oben auf die Versuchsobjekte fallen zu lassen. Die von Ottenwälder benutzte Osramlampe sollte nach den Angaben auf der Lampe eine Lichtintensität von 620 K haben. Er hing nun seine Lampe in einer solchen Entfernung auf, daß sie nach dieser Angabe eine Lichtstärke von 500 K haben mußte. Durch Photometrieren stellte er nun aber fest, daß sie in dieser Entfernung senkrecht unter der Lampe nur 84 K hatte. Wurde die Messung 20 cm von der Senkrechten durchgeführt, so fand er eine Beleuchtungsstärke von 200 K, und in 25 cm eine solche von 228 K. Bei einer 10kerzigen Lampe erhielt er in 100 cm Entfernung statt der 10 Kerzen senkrecht nach unten 2,5, 15 cm davon entfernt 3,5 und 20 cm seitlich 4,5 K Beleuchtungsstärke. Die Lichtstärke war also am geringsten senkrecht unter der Lampe und nahm von da aus an seitlich zu, obschon der Abstand von der Lampe größer wurde. In jedem Falle war die ermittelte Zahl bedeutend geringer, als die auf der Lampe angegebene. Ganz anders in dem Fall von Blaauw, der eine hochkerzige Nitralampe (= Halbwattlampe) benützte. Die Lichtstärke dieser Lampe war mit 3000 bis

4000 K ausgezeichnet. Er fand aber die Lichtstärke in der Richtung senkrecht nach unten, also in derselben Richtung, in der Ottenwälder einen viel zu geringen Wert fand, in einer Höhe von 8000 MK, also mehr als doppelt so hoch. Hätte man etwa diese beiden Lampen, also Osram- und Nitralampe, in dieser Orientierung zu einem Versuch benutzt und sich nur nach der auf den Lampen angegebenen Kerzenzahl gerichtet, so hätte man geglaubt zwei Lampen vor sich zu haben, deren Intensität sich ungefähr wie 6 : 1 verhielten, während in Wirklichkeit das Verhältnis der Intensitäten 100 : 1 war. Ein solch enormer Fehler ist also möglich! Man fragt sich unwillkürlich, wie bei diesen beiden modernen Lampenarten ein so großer Unterschied möglich ist.

Aus den eben angeführten Untersuchungen Ottenwälder's ergibt sich eines mit aller Klarheit: die Lichtstrahlen, die von einer Lampe nach allen Richtungen des Raumes ausgestrahlt werden, sind nicht gleich und können erheblich voneinander abweichen. Wir können nun leicht ein die ganze Strahlung einer Lichtquelle charakterisierendes Bild anschaulich machen. Wir stellen zu dem Zwecke die Lichtstärkeinheit durch eine passend gewählte Länge etwa 1 cm oder 1 mm dar, dann können wir die von einer Lichtquelle nach allen Seiten ausgehenden Strahlen in jeder Richtung durch Strecken bestimmter Länge ausdrücken. Als Ausgangspunkt der Strahlen wählen wir den Punkt in der Lichtquelle, von dem das gesamte Licht ausgehend angenommen werden kann, den sogenannten photometrischen Mittelpunkt oder Lichtquellpunkt einer Lampe: Tragen wir nun auf allen Strahlen, die von diesem Punkt nach allen Seiten des Raumes ausgehen, die den gemessenen Lichtstärken proportionalen Strecken ab, so liegen die Endpunkte alle auf der sogenannten „photometrischen Oberfläche“. Diese Oberfläche schließt einen Körper ein, den man den „photometrischen Körper“ oder den „Lichtkörper“ der Lampe nennt.

Mit diesem Lichtkörper ist nun ein wichtiger photometrischer Begriff gewonnen, der gleich von einer Lichtquelle ein anschauliches Bild zu geben vermag. In Figur 3 habe ich z. B. einen solchen Lichtkörper einer gewöhnlichen Osramlampe zu einer Hälfte die andere Hälfte ist weggeschnitten, dargestellt.

Für gewöhnlich gibt man nun nicht den Lichtkörper zur Charakterisierung einer Lichtquelle an, sondern begnügt sich mit der Wiedergabe der Schnittfläche eines solchen Körpers mit der sogenannten „photometrischen Kurve“ oder „Lichtverteilungskurve“, weil bereits diese Kurve alles Wünschenswerte sagt. Je bereits die halbe photometrische Kurve genügt; denn für gewöhnlich ist der Lichtkörper der am meisten benutzten Lampen ein symmetrischer Körper⁵⁾, der leicht durch Rotation der halben photo-

5) Man wird die photometrischen Kurven der gewöhnlichsten Lampen finden bei Liebenthal (59), Monasch (66), Reichenbach (85) und Teichmüller (106)

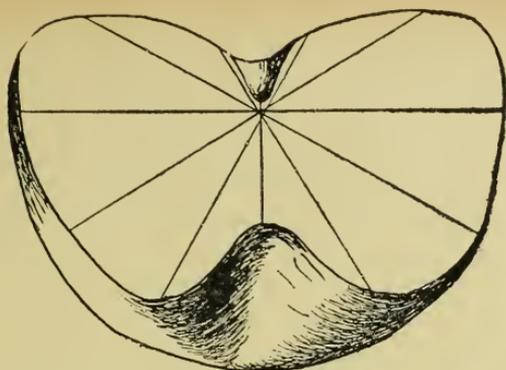


Fig. 3. Halbdurchgeschnittener photometrischer Körper einer Osramlampe.

metrischen Kurve erlangt wird. In der Figur 4 ist die photometrische Kurve des obigen Lichtkörpers, also einer gewöhnlichen Metallfadenlampe, Osramlampe dargestellt.

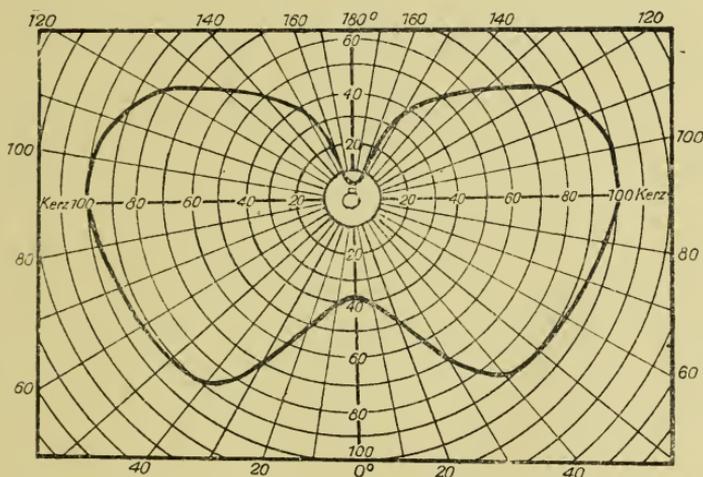


Fig. 4. Photometrische Kurve einer Osramlampe.

Nach dieser Kurve verstehen wir sehr gut die Beobachtung Ottenwälder's, der ja eine Osramlampe zugrunde lag. Eine jede solche Lampe hat ihre maximale Lichtstärke in der Horizontalenebene. Bewegen wir uns aus dieser Ebene mehr und mehr heraus nach unten hin, so wird in diesen Richtungen das Licht immer geringer in seiner Intensität. Direkt senkrecht unter der Lampe ist aber diese Intensität am geringsten, wie dies Ottenwälder ja auch fand.

Wir ersparen uns noch die Erklärung des Begriffs der Kerzenzahl einer Lampe und wollen erst noch auf das hinweisen, was aus der gewonnenen Erkenntnis für pflanzenphysiologische Versuche sich ergibt. Zunächst ist es nicht gleichgültig wie man die Versuchsobjekte zur Lichtquelle orientiert. So wollte, um dies durch

ein Beispiel zu erläutern, Tröndle (110) durch seine Versuchsanordnung in seiner Arbeit über den Einfluß des Lichtes auf die Permeabilität der Plasmahaut doch sicherlich etwas anderes, als er erreicht hat, wenn er eine 32-kerzige Lampe so aufstellt, daß ihre Längsachse in die Horizontalebene fiel, und die montierten Zweige dabei so orientiert wurden, daß die zur Untersuchung kommenden Blätter unmittelbar in der Nähe der verlängerten Birnenachse möglichst senkrecht zur Lichtrichtung standen. Durch das Horizontallegen seiner Birne wollte er doch sicherlich den Versuchszweigen die größtmögliche Intensität geben. Man konstruiere sich nur einmal den Lichtkörper und man wird erkennen, daß dieses nicht der Fall ist, ja daß diese Anordnung der Lampe für den Versuch sehr ungeeignet war.

Sehr oft wird man gezwungen sein, seine Lichtquelle senkrecht über den Versuchsobjekten anzubringen (z. B. bei Keimungs- und Wachstumsuntersuchungen). Will man den Pflanzen dann eine recht hohe Intensität geben, so greift man unwillkürlich zu hochkerzigen Lampen. Oft hat man dann hochkerzige Osramlampen gewählt (Gaßner (32, 33), Krones (54)), deren Lichtverteilungskurve wir eben kennen lernten. Diese nun sind aber so ohne weiteres, wie wir gesehen haben, nicht zu gebrauchen; denn gerade an der Stelle, wo wir das Licht gebrauchen, in der Lampenachse, finden wir eine Verringerung, die wohl 70—85 % des Höchstwertes betragen kann. Verläßt man sich auf die auf den Lampen angegebenen Zahlen, so gibt man in Wirklichkeit den Versuchsobjekten eine Intensität, die man viel einfacher und vor allem viel billiger geben kann. Die Ersparnisse können bei solchen hohen Intensitäten recht große sein, wie dies durch das folgende Beispiel erläutert werden mag.

Eine 600-kerzig ausgezeichnete Osramlampe ergab nach meinen Messungen bei 220 Volt 2,1 Amp., also ist der stündliche Verbrauch dieser Lampe 462 Watt. Berechnen wir nun etwa die Ersparnisse auf einen Tag. Wenn die Lampe 24 Stunden brennt, so hat sie 11088 Watt verbraucht. Eine Kilowattsunde kostet bei uns hier 48 Pfg., mithin kostet diese Lampe an einem Tag ungefähr 5 Mk. Strom. Senkrecht unter der Lampe empfangen die Versuchsobjekte aber nur eine Lichtstärke von, rechnen wir ganz hoch, 150 Kerzen, wenn wir etwa alles auf ein Meter Entfernung beziehen. Eine 100 Wattlampe würde uns diese Lichtstärke genau so liefern können, ja vielleicht sogar eine Lampe mit geringerer Kerzenzahl. Eine 100 kerzige Wattlampe gebraucht in 24 Stunden aber nur 2,4 Kilowatt, also für 1,15 Mk. Strom. Die Ersparnisse an elektrischem Licht würden also in diesem Falle 3,85 Mk. täglich betragen. Diese Zahlen zeigen bereits, welche enormen Ersparnisse bei einem vorhergehenden Studium der Lichtquellen zu erreichen sind. Abgesehen da-

von sind die Osramlampen für senkrechte Strahlungen nach unten so ohne weiteres angewandt recht unpraktisch, weil direkt nebeneinander liegende Samen ganz ungleiche Lichtmengen empfangen, es sei denn, daß man das Licht durch geeignete Reflektoren, von denen gleich die Rede sein wird, in der richtigen Weise verteilt.

Nach den bisherigen Angaben könnte vielleicht der Eindruck entstanden sein, als bedeute die auf der Lampe angegebene Zahl etwas ganz willkürliches. Das ist nun nicht der Fall. Allerdings können wir auch jetzt, wo wir den Begriff der photometrischen Kurve gewonnen haben, nicht so einfach die Frage beantworten, was die auf der Lampe angegebene Kerzenzahl bedeutet, und zwar deshalb nicht, weil man sich auf eine einheitliche Definition dieses Begriffes nicht geeinigt hat.

Ursprünglich, als es unter den elektrischen Lampen nur einen einheitlichen Typ, die Kohlenfadenlampen gab, war dies einfach. Man verzeichnet auf den Lampen die sogenannte „horizontale Lichtstärke“, also die Lichtintensität in der Horizontalebene, die ja bei diesen Lampen, wie wir aus der photometrischen Kurve sofort ersehen, die maximale Lichtstärke der Lampen bedeutet. Auch die gewöhnlichen Metallfadenlampen sind, wie die Figur 5 zeigt, gut in

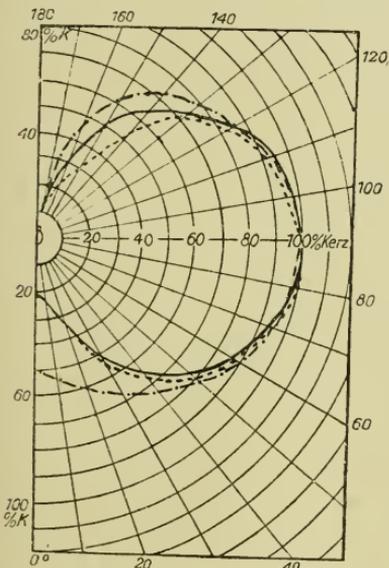


Fig. 5. Lichtverteilungskurve von
 ——— Wolframlampen
 - - - - - Tantallampen
 - · - · - Kohlenfadenlampen

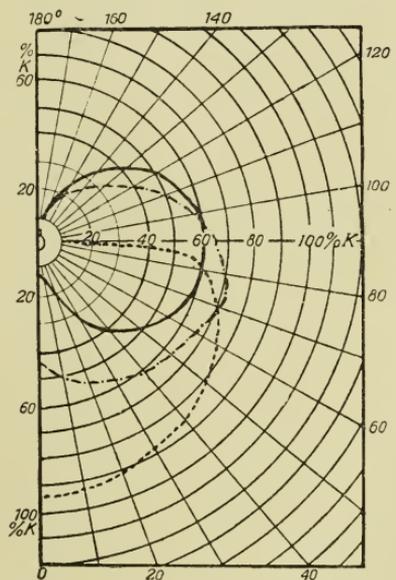


Fig. 6. Lichtverteilungskurve von
 Nernstlampen
 ——— Vertikalbrenner
 - - - - - Horizontalbrenner
 - · - · - Bügelbrenner

derselben Weise zu definieren, denn ihre Lichtverteilung ist eine ganz ähnliche, wie sie die Kohlenfadenlampen auch besitzen.

Die Berechtigung dieses Maßes ging nun aber verloren, als Lampen in den Handel kamen, die eine völlig andere Lichtver-

teilung hatten. Bei der Nernstlampe ergaben sich zum ersten Male Schwierigkeiten. Statt des in der Richtung der Lampenachse langgestreckten Leuchtsystemes der Kohlenfadenlampe wurden bei der Nernstlampe horizontal, vertikal und bügelförmig angeordnete Leuchtkörper benutzt. Die verschiedenen Lichtverteilungskurven dieser drei Typen sind in der Figur 6 wiedergegeben.

Die Nernstlampe ist darum auch niemals unter der Angabe der Kerzenzahl verkauft worden. Sie wurden wie die Bogenlampen nach der Ampèrezahl ($\frac{1}{4}$ -, $\frac{1}{2}$ - und 1-Ampèrelampe) in den Handel gebracht. Hier konnte man sich also noch helfen. Ganz anders wurden die Dinge aber, als Ausführungsformen der Osram- resp. Wolframlampen auf den Markt kamen, mit von den übrigen Metallfadenlampen abweichenden Leuchtsystemen: der Spiraldraht-, Focus- und neuerdings der sogenannten Halbwattlampe. Ja nicht allein, daß nun noch andere von den gezeichneten Lichtverteilungskurven vergleichbar bewertet werden müssen, die Kurven wechseln auch von Lampenart zu Lampenart bei Erzeugnissen desselben Herstellers und Lampen gleicher Sorte sind oft durchaus unvergleichbar, da die Leuchtsysteme und damit die Lichtverteilungskurven bei verschiedenen Fabrikaten voneinander abweichen.

Dies sind Schwierigkeiten, die sich einer einheitlichen Bezeichnung entgegenstellen, mit denen die Beleuchtungstechnik lange gerungen und auch heute noch ringt. Viele schlagen vor, man solle die mittlere „sphärische Lichtstärke“, also das Mittel aus allen Strahlen, als die Lichtstärke einer Lichtquelle ausgeben und in der Tat finden wir bei einer Anzahl Fabriken diese Benennung bereits vor. Andere wollen die sogenannte „mittlere untere hemisphärische Lichtstärke“ als Bezeichnung eingeführt wissen. Wieder andere geben einfach die Zahl der Watt, die die Lampe verbraucht, an und sehen ganz von der Kerzenstärke ab. Diese in anderen Ländern (Amerika) bereits gebräuchliche Bezeichnung dürfte sich auch bei uns durchsetzen. Für wissenschaftliche Zwecke wäre sie weitaus am geeignetsten. Wir müssen weiter bedenken, daß wir in Deutschland alles auf die sogenannte Hefnerkerze als Einheit zurückführen. Diese gilt aber beispielsweise nicht für England und Frankreich. Alle Bestrebungen zur Herbeiführung einer Einheitskerze sind an dem Widerstand dieser beiden Länder gescheitert. Die englische und französische Einheit sind etwa 10% größer als die im übrigen Europa anerkannte Hefnerkerze⁶⁾.

Kurz und gut, Klarheit in der Bezeichnung herrscht nicht und mit den Angaben auf den Lampen ist bei wissenschaftlichen Untersuchungen nichts anzufangen. Es dürften die Ausführungen zur Genüge ergeben haben, daß die größten Fehler entstehen können,

6) Über Lichteinheiten vgl. Monasch, Lehrbuch der Photometrie. 1912.

wenn man sich, wie dies hier und da geschieht, einfach auf die Angaben bezieht, die auf den Lampen gemacht sind. Aber auch die Bezeichnung; die man so oft liest, „die Lichtintensität der Lampe wurde mit so und so viel Kerzen festgestellt“, ist aus demselben Grunde unzulässig. Oft wird hier der Fall vorliegen, daß das botanische Institut nicht die notwendigen Meßinstrumente besitzt, und daß irgendein Physiker die Bestimmungen ausführt. Dieser wird dann aber unter Umständen die horizontale Lichtintensität bestimmen, die vielleicht gar nicht bei den Versuchen gebraucht wird. Es würde mich zu weit führen, wenn ich die oben angeführten Arbeiten alle auf die Brauchbarkeit der Zahlenangaben der Lichtintensität durchgehen wollte. Ich begnüge mich damit, eindringlichst betont zu haben, daß es für alle Intensitätsangaben notwendig ist, den Lichtstrahl oder bei Flächenbeleuchtung das in Betracht kommende Flächenstück des photometrischen Körpers mittels eines geeigneten Photometers zu bestimmen.

Wir dürfen diese Ausführungen über die Lichtverteilung nicht verlassen, ohne noch kurz auf zwei Dinge unsere Aufmerksamkeit gerichtet zu haben. Dies sind die Veränderungen der photometrischen Kurve einer Lampe einmal hervorgerufen durch Reflektoren, dann durch den Gebrauch der Lampe.

Alle Angaben, die bis jetzt über die Lichtverteilung gemacht worden sind, bezogen sich auf Lampen ohne Armaturen und Reflektoren. In der folgenden Abbildung (Figur 7) ist, um ein Beispiel zu geben, die Lichtverteilungskurve einer Wotan-Halbwattlampe für 1000 Watt mit zickzackgeführter Leuchtspirale einmal ohne Armatur, sodann in einer Armatur mit Klarglasglocke und schließlich in einer Armatur mit Opalglasglocke, alles bezogen auf den mittleren Horizontalwert der nackten Lampe gleich 100% aufgezeichnet.

Aus der Figur ergibt sich ohne weiteres die große Bedeutung solcher Reflektoren. Wir können mit ihnen die Lichtintensität an bestimmten Stellen des Raumes, die für den Versuch in Betracht kommen,

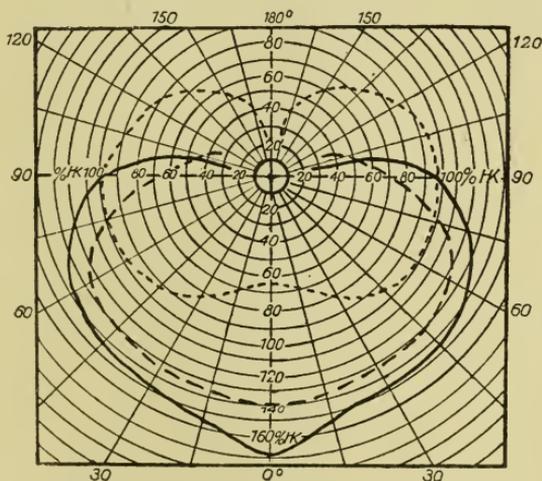


Fig. 7. Lichtverteilungskurve einer Halbwattlampe für 1000 W 110 V mit im Zickzack geführter Leuchtspirale

— — — — ohne Armatur

———— in Armatur mit Klarglasglocke

— · — · — " " " Opalglasglocke

bezogen auf den mittleren Horizontalwert der nackten Lampe = 100%.

wenn dies notwendig ist, verstärken. Auch Lampen, wie die oben erwähnten Osramlampen können so auch senkrecht unter der Lampe eine recht hohe Intensität bekommen. Solche Reflektoren sind sicherlich in der einen oder anderen der oberen Arbeiten verwendet worden, ohne daß dies ausdrücklich erwähnt ist. In den oben ausgeführten Versuchen von Klebs (48) über das Treiben der Buche sagt dieser, daß über der 1000kerzigen Lampe eine Zinkblechscheibe von 64 cm Durchmesser angebracht war, „so daß die unter der Lampe befindlichen Pflanzen auch reflektiertes Licht empfangen“. Diese Blechscheibe wird sicherlich sehr von Einfluß auf die an und für sich ungeeignete Lampe bei der gewählten Versuchsanstellung gewesen sein, so daß jedenfalls in den Versuchen die Pflanzen doch die gewünschten Intensitäten empfangen. Ein eigentlicher Reflektor oder eine der obigen entsprechende Armatur hätte in den Versuchen Kleb's sicherlich dem Zweck besser entsprochen. Bei Anlegung eines Lichttraumes, wie ihn Pfeffer (78, S. 300) zuerst beschreibt, dürfte die richtige Auswahl der Reflektoren wohl zu überlegen sein⁷⁾.

Weiter muß noch erwähnt werden, daß die künstlichen Lichtquellen, allen voran die heute am meisten benutzten elektrischen, durch den Gebrauch in ihrer Intensität ständig nachlassen. Diese Tatsache dürfte vor allem in den Versuchen zu berücksichtigen sein, die sich auf eine längere Zeit hinziehen. Wie eine Lampe in der Intensität abnimmt, darüber gibt der Begriff der Lebensdauer einer Lampe einen, wenn auch nur rohen Ausdruck. Unter dieser versteht man nämlich die Zeit, die die Intensität der Lampe um 20% herabdrückt. Bei der Abnahme der Intensität wird natürlich der Wattverbrauch einer Lampe ein höherer, so daß aus Gründen der Billigkeit es sich zumeist empfiehlt, eine Lampe nach einer bestimmten Zeit durch eine neue zu ersetzen. Wie die Abnahme der Intensität resp. die Zunahme der Wattzahl erfolgt, sei durch die folgende Kurve erläutert, die einem Aufsatz von Bloch (7) über Straßenbeleuchtung mit Nitralampen entnommen ist. Diese Figur gibt den Durchschnitt von 31 verschiedenen Nitralampen verschiedener Typen wieder.

Auch hieraus dürfte sich wieder klar ergeben, wie notwendig bei physiologischen Lichtversuchen photometrische Messungen sind. Ohne solche Messungen kommt man nun einmal nicht aus.

Im Anschluß an diese Notwendigkeit erhebt sich die weitere wichtige Frage nach der praktischen Bestimmung der Lichtintensität. Diese Frage führt uns gleich zu der weiteren nach der Farbenszusammensetzung der verschiedenen in Betracht kommenden künstlichen Lichtquellen. Zwei monochromatische oder auch zwei gleich

7) Vgl. die lichttechnischen Studien von Halbertsma (38).

artig zusammengesetzte Lichtquellen lassen sich gut miteinander vergleichen. Jedes der vielen im Laufe der Zeit konstruierten Photometer wird diese Aufgabe mit relativ großer Genauigkeit lösen. Auch die bei den Botanikern so beliebten photographischen Lichtmesser, die auf der Bunsen-Roscoe'schen Methode beruhen, wie das Wynnes-Photometer, das Heyden'sche oder Wunne'sche Aktinometer etc. können hier in gleich vorteilhafter Weise benutzt werden.

Ganz anders wird dies aber, wenn man zwei ungleichartig zusammengesetzte Lichtquellen zu vergleichen hat, das Licht einer künstlichen Lichtquelle mit dem Tageslicht etwa, wie dies in sehr

vielen pflanzenphysiologischen Versuchen notwendig sein wird. In diesem Falle würde ein Wynnes'scher oder ähnlicher Lichtmesser gänzlich versagen und vollkommen ungenaue Vergleichswerte liefern. Dies dürfte sich bereits aus meinen Ausführungen über die Photometrie des Tageslichts mittels der Wiesner'schen Methode ergeben. Dasselbe gilt auch für den Vergleich zweier künstlicher Lichtquellen, denn diese können eine ganz verschiedene spektrale Zusammensetzung haben. Sehen wir sie uns daraufhin nur einmal an.

Für die verschiedenen künstlichen Lichtquellen kommt für uns zunächst eine Untersuchung von Voege (112) in Betracht. In dieser Arbeit werden Petroleumlicht, elektrisches Glühlicht der Kohlenfadenlampen, die Osmiumlampe und das Auerlicht in ihrer Farbzusammensetzung verglichen. Das Petroleumlicht enthält nach diesen Untersuchungen erheblich mehr rote Strahlen als das elektrische Glühlicht, ist dagegen in demselben Verhältnis ärmer an blaugrünen Strahlen. Im Licht der Osmiumlampe, mehr noch in dem der Nernstlampe und am meisten in dem Auerlicht, überwiegen die grünblauen Strahlen, während dagegen das Licht des Kohlenfadens reicher an roten und dunkelroten Strahlen ist. Dabei hängt allerdings beim Glühlicht dieser Gehalt ab von der Spannung. Bei 7,5% Überspannung hat das Licht etwa dieselbe Zusammensetzung wie das der Osmiumlampe. Bei weiterer Überspannung überwiegen bei der Glühlampe die blaugrünen Strahlen. Die Nernstlampe stimmt im Blaugrünen mit der Glühlampe überein, im Roten bleibt sie dagegen hinter der Glühlampe zurück. Die starke blaue

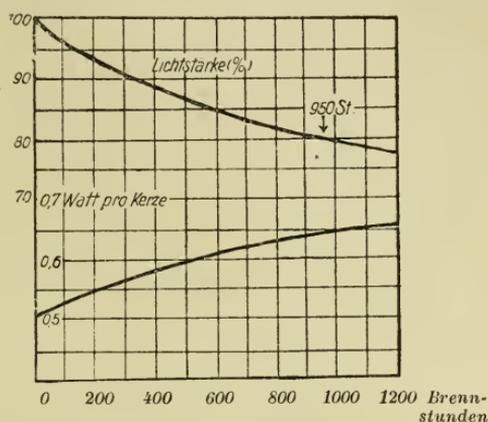


Fig. 8. Änderung der Lichtstärke und des Wattverbrauchs pro Kerze.

Farbe des Nernstlichts gegenüber der Kohlenfadenlampe und der Osmiumlampe erklärt sich also durch das Überwiegen der grünen und der blauen Strahlen, sowie durch die geringe Intensität im roten Teil des Spektrums. Mit dem Auerstrumpf verglichen, sieht dagegen das Licht der Nernstlampe direkt rot aus. Dem Auerlicht fehlen eben die roten Strahlen in noch bedeutend höherem Maße, während die grünblauen ebensowohl überwiegen sind.

Das oft benützte Wolframlicht ist spektrometrisch von Nicols (68) mit dem Tageslicht verglichen worden. Diese Arbeit war mir nicht zugänglich. Ich setze deshalb das, was Klebs (48, S. 59), der diese Arbeit gesehen, darüber sagt, wörtlich hierher. „Setzt man die Intensität beider Lichtquellen bei $\lambda = 590 \mu\mu$ gleich, so ergeben sich folgende Werte für das Verhältnis bei anderen Wellenlängen:

Wellenlänge in $\mu\mu$	Wolframlicht Himmelslicht
700	1,59
650	1,278
590	1
550	0,755
500	0,566
460	0,422
420	0,347

Daraus folgt, daß das Verhältnis von Himmelslicht zu Wolframlicht — die Intensität bei $590 \mu\mu$ gleichgesetzt — für $700 \mu\mu = 0,6$, für $500 \mu\mu = 1,8$, für $420 \mu\mu = 3$ ist. Das Wolfram- resp. Osramlicht ist also relativ reicher an roten Strahlen und wesentlich ärmer an blauvioletteten Strahlen“. Nach diesen Angaben steht das Wolframlicht dem Osmium, das wir oben kennzeichneten, nicht fern. Das stimmt auch überein mit dem, was Bloch (6) in einem kurzen Aufsatz über die Farben des Lichts unserer künstlichen Lichtquellen über diese Lampen sagt. In diesem Aufsatz sind für alle gebräuchlichen Lichtquellen das Verhältnis des roten Lichts zum grünen Licht und des blauen zum grünen ermittelt. Speziell für die elektrischen Glühlampen wird der Satz aufgestellt, daß mit fallendem spezifischen Effektverbrauch das Licht der verschiedenen Glühlampenarten dem Tageslicht sich mehr nähert, indem es an Rot verliert und an Blau gewinnt. Folgende Zahlen mögen dies erläutern:

		rot grün	blau grün
1. Kohlenfadenlampe	für 3,5 Watt/HK	330	43
2. Tantallampe	„ 1,7 „ „	300	47
3. Metalldrahtlampe	„ 1,0 „ „	256	53
4. Metalldrahtlampe	„ 0,8 „ „	245	55,5

Dasselbe gilt nun auch weiter für die hochkerzige Drahtlampe für 0,5 Watt/HK. Wir verdanken Vránek (116) eine eingehende Untersuchung der spektroskopischen Verhältnisse dieser Lampen. Ich gebe die Ergebnisse dieser Untersuchungen in der Form der nächsten graphischen Abbildung (Figur 9) wieder, wobei die Wellenlänge auf der Abszissenachse, die relativen Lichtstärken auf der Ordinatenachse aufgezeichnet sind. Die zu diesem Versuch verwandten Lampen waren Osram-Azo-Lampen der deutschen Auergesellschaft in Berlin und zwar die für physiologische Versuche sich sehr eignende Osram-Azo-Projektionslampe, deren Leuchtkörper auf einer kleinen Fläche konzentriert ist und fast das gesamte Licht in einer Richtung aussendet. Zum Vergleich wurde eine selbstregulierende Bogenlampe, eine Nernstlampe und die Hefner-Einheitslampe, die Amylazetatlampe herangezogen.

Diese graphische Darstellung zeigt uns, daß die hochkerzigen gasgefüllten Halbwattlampen in ihrer Farbenzusammensetzung sehr nahe an das Bogenlicht herankommen, das seinerseits unter den künstlichen Lichtquellen dem Tageslicht am nächsten steht. Gegenüber dieser Lampe tritt die Nernstlampe, was Reichtum an kurzwelligen Strahlen angeht, ganz zurück.

In diesem Zusammenhang sei auch der Quecksilberdampf Lampe Erwähnung getan, die gelegentlich bei pflanzenphysiologischen Versuchen benutzt worden ist, so z. B. von Pfeffer (78) und Thelen (107). Eine genaue Beschreibung dieser Lampen wird in dem Aufsatz v. Euler in Abderhaldens Handbuch der biochemischen Arbeitsmethoden „Untersuchung biochemisch wichtiger Lichtwirkungen“ gegeben. Das Licht dieser Lampen besitzt kein kontinuierliches Spektrum, sondern besteht nur aus den Spektrallinien des Quecksilberdampfes (vgl. die Abbildung in Thelen (107) S. 16). Rot fehlt fast vollständig, während grün und violett hervortreten. Besonders reich ist diese Lampe an ultravioletten Strahlen, von denen solche bis zu einer Wellenlänge von $253 \mu\mu$ festgestellt sind.

Wir dürfen diese Ausführungen über die Farbenzusammensetzung der gebräuchlichsten bei pflanzenphysiologischen Versuchen benutzten Lichtquellen nicht verlassen, ohne noch mit Nachdruck auf eine Erscheinung hingewiesen zu haben, daß nämlich einmal die spektrale Helligkeitsverteilung von Lampen verschiedener Pro-

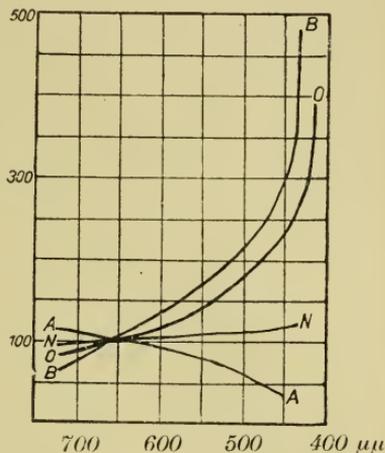


Fig. 9. A — A Amylazetatlampe (Hefnerereinheit)
N — N Nernstlampe
O — O Osram-Azolampe
B — B Bogenlampe.

venienz ganz verschieden sein kann, und daß weiter ein und dieselbe Lampe mit dem Altern der Lampen ziemlich stark, mitunter sehr stark ändert. Vránek (116), dessen Untersuchungen wir eben Erwähnung taten, hat eine 50 kerzige Osramlampe für 110 Volt spektrophotometriert und dann durch Steigerung der Spannung die Lampen künstlich gealtert. Diese Steigerung konnte bis 47,3% der ursprünglichen (monochromatischen) Lichtstärke vorgenommen werden, ehe die Lampe durchbrannte. Ferner wurden zwei 50-kerzige Lampen Marke „Metallum“ der Firma Joh. Kremenisky, Wien, spektrophotometriert, eine frische und eine „natürlich“ gealterte, welche zwei Jahre im Gebrauch war und deren Lichtstärke bei 630 $\mu\mu$ durch Vergleich mit dem Mittelwert aus drei frischen Lampen zu 12,7% des ursprünglichen Wertes gefunden wurde. Aus der Figur 10 sind die Ergebnisse dieser Messungen zu ersehen.

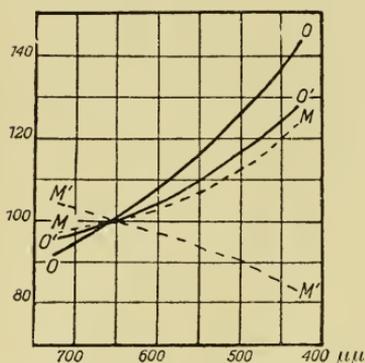


Fig. 10. O — O Osram frisch
O' — O' Osram ge-
braucht
M — M Metallum frisch
M' — M' Metallum ge-
altert.

Auch in dieser Hinsicht sind die gasgefüllten Lampen anderen Metallfadenlampen gegenüber überlegen; denn durch die Anwesenheit des Gases wird die Zerstäubung und damit die Farbenveränderlichkeit stark herabgesetzt.

Die Zusammenstellung alles dessen, was wir von der spektroskopischen Zusammensetzung unserer künstlichen Lichtquellen wissen, zeigt uns, daß diese sich recht verschieden verhalten können. Die Photometrie dieser wird zumeist eine heterochrome sein. Diese birgt nun aber große Schwierigkeiten in sich (vgl. die Ausführung

in dem Weyl'scher Handbuch für Hygiene von Reichenbach „Die Beleuchtung“ und die diesbezüglichen Ausführungen von Monasch in seinem Lehrbuch der Photometrie). Die Aufgabe ist nämlich so keine rein physikalische mehr, sondern sie ist in das Gebiet der Physiologie hinüber getreten (siehe hierüber Stuhr (105, S. 5ff. und die dort angegebene Literatur). Eine objektive Photometrie gibt es nicht. Die Aufgabe einer solchen bestände in Energiemessungen, auf Grund deren sich die Helligkeit der Lichter bestimmen ließe. Dabei geht man aber von der Voraussetzung aus, daß die Beziehungen zwischen strahlender Energie und subjektivem Helligkeitseindruck, wie dies Krüß (55) besonders betont hat, bekannt sind. Gerade aber diese Bedingung ist schwer zu verwirklichen. Hier kommen dann gleich die Schwierigkeiten der heterochromen Photometrie wieder zum Vorschein. Wie die Dinge liegen, kommen wir an der Tatsache nicht vorbei, daß

das Auge als Helligkeitsmesser verwandt wird, daß also jede Photometrie mehr oder weniger subjektiv bleibt.

Bei pflanzenphysiologischen Untersuchungen ist das Weber'sche Photometer am meisten benutzt worden (Blaauw (4, 5), Arizs (1), Lehmann (58), Ottenwälder (76), Wilschke (122) u. a.). Die bei diesem Photometer angewandte Methode beruht auf Einstellung auf gleiche Sehschärfe. Außer diesem Prinzip hat sich u. a. noch ein anderes Geltung verschafft: Das Aufhören des Flimmerns bei verschiedener Beleuchtung des Gesichtsfeldes. Letzteres ist in den Flimmerphotometern verschiedener Konstruktion (Rood (89), Bechstein (3) u. a.) verwirklicht worden.

Bei dem von Botanikern wegen seiner Handlichkeit und Bequemlichkeit bevorzugten Weber'schen Photometer ist die Schwierigkeit, daß die eine Beleuchtung erzeugende Lichtquelle andere Farben als die Vergleichslampe besitzt, dadurch zu umgehen versucht, daß man die Beobachtung auf einen bestimmten Spektralbezirk beschränkt. Durch ein vorgeschaltetes rotes Glas gilt die Messung natürlich nur für diesen Teil des Spektrums. Dieser Wert gibt kein Bild des Gesamtlichtes; denn die Lichtquelle kann relativ mehr rot enthalten als die Vergleichsquelle und umgekehrt. Der Wert ist also entweder zu groß oder zu klein. Um den wahren Wert zu bekommen, muß dieser mit einem Faktor k multipliziert werden, der entweder größer oder kleiner als 1 ist. Dieser Faktor wird nun so bestimmt, daß die mit seiner Hilfe gefundenen Werte gleich angeben, wieviel Kerzen die untersuchte Lichtquelle in bezug auf Sehschärfe äquivalent ist (die Bestimmung dieses Faktors siehe bei Weber (118, 119), Reichenbach (85) und Liebenthal (52)).

Dieser Faktor gilt streng genommen nur dann, wenn die zu untersuchende Lichtquelle die gleiche Farbe hat, wie diejenige, mit der er gefunden ist. Wir müßten also eigentlich, da diese Voraussetzung wohl niemals ganz zutreffen wird, den Faktor jedesmal neu bestimmen. Dieses ist nun aber nicht nötig. Weber zeigt nämlich, daß die für die Größe von k ausschlaggebende Färbung der Lichtquelle mit hinreichender Genauigkeit durch das Verhältnis der Ablesung im roten und grünen Licht ausgedrückt werden kann. Für jeden möglichen Wert des Quotienten rot/grün hat er ein für allemal den Reduktionsfaktor k experimentell festgelegt und in Tabellen zusammengestellt. Die niederen Werte dieser Faktoren von 0,3—1,7 wurden an Glühlampen gewonnen, die höheren an elektrischem Bogenlicht. In der praktischen Beleuchtungstechnik werden diese Faktoren auch ohne weiteres für andere Lampen benutzt und es scheint dies auch ohne großen Fehler möglich zu sein; denn eine Untersuchung des Gaslichtes und des spektroskopisch sehr abweichenden diffusen Tageslichtes von Stuhr (105)

ergab Werte für k , die nur wenig von den von Weber angegebenen Werten abweichen.

Es gibt außer diesen oder ähnlichen, etwas genauer arbeitenden, dafür aber im Bau komplizierteren und darum teureren Photometern, die aber im übrigen auf demselben Prinzip beruhen, meines Wissens nur das Flimmerphotometer, das für unsere Zwecke in Betracht käme. Aber auch dieses hat den Nachteil, daß es mit zunehmender Farbenverschiedenheit der beiden zu vergleichenden Lichtquellen ungenauer wird.

Wir dürfen danach wohl sagen, daß das Weber'sche Photometer den heutigen Bedürfnissen weitgehend Rechnung trägt. Letzthin hat Buder (5, S. 116) die Brauchbarkeit dieses Instruments für botanische Zwecke angezweifelt. Soviel aus der kurzen Anmerkung Buder's zu ersehen ist, richtet sich dieser vor allen gegen die mit dem Weber'schen Photometer über die Benzinflamme gehenden Relativwerte und damit gegen alle Photometer. Aber es muß dann gefragt werden, wie exaktere Relativwerte zu erhalten sind. Es wäre sehr schön, wenn wir die Benzinflamme umgehen könnten. Ich glaube indes, daß diese Forderung nicht so einfach zu verwirklichen ist. Ich denke, daß meine Ausführungen zur Genüge ergeben haben, daß auch die anderen künstlichen Lichtquellen, vornehmlich die elektrischen etwas sehr Veränderliches sind. Eine Überspannung des Stromes kann die Gesamtintensität und auch die Farbenzusammensetzung wesentlich ändern, und vor allem hörten wir, daß ein und dieselbe Lampe durch den Gebrauch etwas ganz anderes wird, als sie zu Anfang war. Vermeiden wir mit anderen Worten die Vergleichsflamme, so nehmen wir „den ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht“. Nach meiner Ansicht ist es kein Fehler, auch zur Gewinnung von relativen Werten den Weg über die Vergleichslampe zu nehmen, um eben in die ganzen Messungen etwas Konstantes zu bringen. Abgesehen davon wird man in sehr vielen Fällen gezwungen sein, verschiedenartige Lichtquellen zu vergleichen. Dies geht dann aber nur über die Vergleichslampe, und in diesem Falle wird das Weber'sche Photometer, so wie die Dinge liegen, gute Dienste leisten.

Es wäre sehr zu wünschen, wenn die Lampen, die für Lichtuntersuchungen verwandt werden, nicht beliebig gekaufte Lampen wären, sondern wenn bei der Herstellung dieser mit aller Sorgfalt auf alles geachtet würde, was zu beachten ist, wenn mit anderen Worten die Lampen für wissenschaftliche Untersuchungen ad hoc hergestellt würden. Die großen Fortschritte der Beleuchtungstechnik geben uns die Hoffnung, daß auch in dieser Hinsicht weitere Fortschritte zu erwarten sind.

Wir versuchten bei unserer Darstellung historisch vorzugehen und konnten die schrittweise Entwicklung in ihren einzelnen Phasen bis zur heutigen Stunde verfolgen. Wir sind sicherlich einen ganz erheblichen Schritt weitergekommen und haben heute in den elektrischen Halbwattlampen eine Lichtquelle, die für die wissenschaftlichen Untersuchungen zu den besten Hoffnungen berechtigt. Wenn wir uns auch durchaus klar sind, wie in verschiedener Richtung diese Lichtquellen noch feiner ausgebaut werden können, so werden doch zweifellos mit den heutigen Hilfsmitteln noch große Fortschritte zu erwarten sein, die unsere Kenntnisse über die Beziehungen des Lichts zum Leben der Pflanze wesentlich erweitern werden.

Literatur.

1. Arisz, W. H., Untersuchungen über den Phototropismus. Rec. Trav. Bot. Néerl. Bd. 12 1915.
2. Baar, H., Über den Einfluß des Lichtes auf die Samenkeimung und seine Abhängigkeit von anderen Faktoren. Sitzungsber. k. Akad. Wiss. Wien Math.-nat. Kl. Bd. 121 1912.
3. Bechstein, W., Ein neues Flimmerphotometer. Zeitschr. f. Instr. Bd. 25 1905.
4. Blaauw, A. H., Die Perzeption des Lichtes. Rec. Trav. Bot. Néerl. Bd. 5 1909.
5. — Licht und Wachstum I. Zeitschr. f. Bot. Bd. 6 1914.
6. Bloch, L., Die Kennzeichnung der Farbe des Lichtes. Journ. f. Gasbeleuchtung. Bd. 57 1914.
7. — Straßenbeleuchtung mit Nitralampen. Mitt. d. Ver. d. Elektr. Nr. 157 1914.
8. Bonnet, Ch., Oeuvres d'histoire naturelle et de philosophie. Bd. II 1779.
9. Bonnier, J., Influence de la lumière électrique continue et discontinue sur la structure des arbres. Compt. rend. Bd. 115 1892.
10. — Influence de la lumière électrique sur la structure des plantes herbacées. Compt. rend. Bd. 115 1892.
11. Bovie, W. T., The action of Schumanns rays on living organism. Bot. Gáz. Bd. 61 1916.
12. — The visible effects of the Schumann rays on protoplasm. Bot. Gaz. Bd. 59 1915.
13. Buder, J., Zur Kenntnis des *Thiosprillum jenense* und seine Reaktionen auf Lichtreize. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 56 1915.
14. — Zur Kenntnis der phototaktischen Richtungsbewegung. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 58 1917.
15. Bunsen und Roscoe, Photometrische Untersuchungen. Poggend. Ann. Bd. 117 1862.
16. De Candolle, C., Etude de l'action des rayons ultraviolets sur la formation des fleurs. Arch. des Sc. phys. et nat. Genève. Bd. 28 1892.
17. De Candolle, M. A. P., Physiologie végétale. Bd. 2 1832.
18. Clark, O. L., Über negativen Phototropismus bei *Avena sativa*. Zeitschr. f. Bot. Bd. 5 1913.
19. Dangers, P., Der Einfluß des Lichtes auf die Pflanzenwelt. Fühl. Landwirtsch. Zeit. 1880.
20. Deherrain et Maquenne, L., Sur la decomposition de l'acide carbonique par les feuilles éclairées par des lumières artificielles. Ann. agrom. Bd. 5 1880.
21. Detmer, W., Über den Einfluß verschiedener Lichtintensitäten auf die Entwicklung einiger Pflanzen. Landw. Versuchst. Bd. 16 1873.

22. Dorno, C., Studie über Licht und Luft im Hochgebirge. Vieweg & S. Braunschweig 1911.
23. Duhamel, M., La physique des arbres. Bd. 2 1758.
24. Esmarch, v., Die Tageshelligkeiten in Göttingen im Jahre 1906. Zeitschr. f. Hyg. Bd. 58 1908.
25. Euler, H. v., Untersuchungsmethoden biochemisch wichtiger Lichtwirkungen. Abderhaldens Handbuch der biochem. Arbeitsmeth. Bd 7 1913.
26. Famintzin, A., Die Wirkung des Lichtes auf das Wachsen der keimenden Kresse. Mém. d. Ak. de St Petersburg. Bd. 8 1865.
27. — Die Wirkung des Lichtes auf Algen und einige andere ihnen nahe verwandte Organismen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 6 1867.
28. — Die Wirkung des Lichtes auf das Ergrünen der Pflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 6 1867.
29. — De l'influence de l'intensité de la lumière sur la decomposition carbonique par les plantes. Ann. d. Sc. nat. 1880.
30. Fröschel, P., Untersuchungen über die heliotropische Präsentationszeit. I. Mitt. Sitzungsber. Ak. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. Bd. 117 1908. II Mitt. a. d. gl. St. Bd. 118 1909.
31. Gaßner, G., Untersuchungen über die Wirkung des Lichtes und des Temperaturwechsels auf die Keimung von *Chloris ciliata*. Jahrb. Hamburg. wiss. Anst. Bd. 29 1911.
32. — Über die keimungsauslösende Wirkung der Stickstoffsalze auf lichtempfindliche Samen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 55 1915.
33. — Beiträge zur Frage der Lichtkeimung. Zeitschr. f. Bot. Bd. 7 1915.
34. Gaud, F., La spectrophotometrie des lumières électriques. Compt. rend. Bd. 129 1899.
35. Green, J. R., On the action of light on diastase. Phil. Trans. of the Roy. Soc. of London. Ser. B. Bd. 188 1897.
36. Guttenberg, H. v., Über das Zusammenwirken von Geotropismus u. Heliotropismus in parallelotropen Pflanzenteilen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 45 1908.
37. — desgl. Bd. 47 1910.
38. Halbertsma, N. A., Lichttechnische Studien. Helios 1916.
39. Hann, J., Lehrbuch der Metereologie. 3. Aufl. Tauchnitz, Leipzig 1914.
40. Harder, R., Über die Beziehung des Lichtes zur Keimung der Cyanophyceen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 58 1917.
41. Heilbronn, A., Lichtabfall oder Lichtrichtung als Ursache der heliotropischen Reizung? Ber. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 35 1917.
42. Hertel, Über die Beeinflussung der Organismen durch Licht spez. die chemischen Strahlen. Zeitschr. f. allg. Phys. Bd. 4 1904.
43. Hervé-Mangon, Production de la matière verte des feuilles sous l'influence de la lumière électrique. Bd. 53 1861.
44. Jakobi, H., Wirkung verschiedener Lichtintensität und Belichtungsdauer auf das Längenwachstum etiolierter Keimlinge. Sitzungsber. Ak. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. Bd. 120 1911.
45. Jost, L., Über die periodischen Bewegungen der *Mimosa pudica* im dunklen Raum. Bot. Zeit. 1897.
46. Karsten, G., Über embryonales Wachstum und seine Tagesperiode. Zeitschr. f. Bot. Bd. 7 1910.
47. Kießling, Beiträge zur Kenntnis des Einflusses der chemischen Lichtintensität der Vegetation. Halle 1885.
48. Klebs, G., Über das Treiben der einheimischen Bäume spez. d. Buche. Abh. Heidelb. Akad. Wiss. 1914.
49. — Zur Entwicklungsphysiologie der Farnprothallien. II. T. und III. T. Sitzungsber. Heidelb. Ak. Wiss. Math.-nat. Kl. 1917.

50. Kluyver, A. J., Beobachtung über die Einwirkung ultravioletter Strahlen auf höhere Pflanzen. Sitzungsab. Ak. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. Bd. 120 1911.
51. Kniep, H. und Minder, F., Über den Einfluß verschiedenfarbigen Lichtes auf die Kohlensäureassimilation. Zeitschr. f. Bot. Bd. 1 1909.
52. Kniep, H., Über den Gasaustausch der Wasserpflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 56 1915.
53. Kolkwitz, R., Zur Frage des Einflusses des Lichtes auf die Atmung der niederen Pilze. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 33 1898.
54. Krones, F. G., Einfluß des Lichtes auf den Geotonus. Sitzungsab. Ak. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. Bd. 123 1914.
55. Krüß, H., Optisches Flammenmaß. Schilling's Journ. f. Gasb. 1883
56. Langley, La distribution de l'énergie dans le spectre normal. Ann. de chem. e. d. phys. V. Ser. Bd 25 1882.
57. — Researches on Solar Heat. Washington 1884.
58. Lehmann, E., Beeinflussung der Keimung lichtempfindlicher Samen durch die Temperatur. Zeitschr. f. Bot. Bd. 4 1912.
59. Liebenthal, E., Praktische Photometrie. Vieweg & S. Braunschweig 1907.
60. Loeb, L., Über die Erregung von negativen Heliotropismus durch ultraviolette Strahlen. Arch. f. Phys. Bd. 115 1906
61. Lubimenco, M., Influence de la lumière sur la germination des graines. Rev. gen. Bot. 1911.
62. — L'assimilation Chorophyllienne et la production de la substance sèche à la lumière blanche et à la lumière colorée. Rev. gen. Bot. Bd. 23 1911.
63. Maxikow, N. A., Über den Einfluß des Lichtes auf die Atmung der niederen Pilze. Zentralbl. f. Bak. Bd. 9 A. II 1902.
64. Meinhold, Th., Beiträge zur Physiologie der Diatomeen. Beitr. z. Biol. d. Pfl. Bd. 10 1911.
65. Meyen, F. J. M., Neues System der Pflanzenphysiologie. Bd. III. Berlin 1839
66. Monasch, Lehrbuch der Photometrie. 1912.
67. Nathansohn und Pringsheim, E., Über Summation intermittierender Lichtreize. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 45 1908.
68. Nicols, Daylight and artificial light Transact, Illum. Engeen. Soc. vol III 1908.
69. Nienburg, W., Die Perzeption des Lichtreizes bei den Oscillarien und ihre Reaktionen auf Intensitätsschwankungen. Zeitschr. f. Bot. Bd. 8 1916.
70. Noak, K., Die Bedeutung der schiefen Lichtrichtung der Helioperzeption parallelotroper Organe. Zeitschr. f. Bot. Bd. 6 1914.
71. Ohno, N., Über das Abklingen von geotropischen und heliotropischen Reizbewegungen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 45 1906.
72. Oker-Blom, M., Über die keimtötende Wirkung des ultravioletten Lichtes im klaren, getrübbten und gefärbten Wasser. Zeitschr. f. Hyg. Bd. 47 1910.
73. Oltmanns, F., Über das Öffnen und Schließen der Blüten. Bot. Zeit. Bd. 53 1895.
74. — Über positiven und negativen Heliotropismus. Flora 1897.
75. — Über Phototaxis. Zeitschr. f. Bot. Bd. 9 1917.
76. Ottenwälder, A., Lichtintensität und Substrat bei der Lichtkeimung. Zeitschr. f. Bot. Bd. 6 1914.
77. Pfeffer, W., Die periodischen Bewegungen der Blattorgane. Engelmann, Leipzig 1875.
78. — Untersuchungen über die Entstehung der Schlafbewegungen der Blattorgane. Abh. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Math.-phys. Kl. Bd. 30 1907.
79. — Beiträge zur Kenntnis der Entstehung der Schlafbewegungen. Abh. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. Math.-phys. Kl. Bd. 34 1915.
80. Precht, J. und Stenger, E., Photochemische Farbenhelligkeit des Bogenlichtes. Zeitschr. f. wiss. Phot. Bd. 3 1905.

81. Prilleux, E. M., De l'influence de la lumière artificielle sur reduction de l'acide carbonique par les plantes. *Compt. rend.* Bd. 69 1869.
82. Pringsheim, E., Einfluß der Beleuchtung auf die heliotropische Stimmung. *Beitr. z. Biol. d. Pfl.* Bd. 9 1909.
83. — Studien zur heliotropischen Stimmung und Präsentationszeit. *Beitr. z. Biol. d. Pfl.* Bd. 9 1909.
84. Puriewitsch, N., Untersuchungen über Photosynthese. *Jahrb. f. wiss. Bot.* Bd. 53 1913.
85. Reichenbach, H., Die Beleuchtung. *Weyl's Handb. d. Hyg.* Bd. 4 1914.
86. Richter, O., Pflanzenwachstum und Laboratoriumsluft. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* Bd. 21 1903.
87. Richter, O., Über das Zusammenwirken von Heliotropismus und Geotropismus. *Jahrb. f. wiss. Bot.* Bd. 46 1909.
88. — Über die Steigerung der heliotropischen Empfindlichkeit durch Narkotica. *Sitzungsab. Ak. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl.* Bd. 121 1912.
89. Rood, O. N., *Americal Journal of Scien.* Bd. 46 1893.
90. Rothert, W., Über Heliotropismus. *Kern's Verl. Breslau* 1894.
91. Rowlee, W. W., Effect of electric light upon the tissues of leaves. *Proc. Soc. Prom. Agr. Sci.* 1898.
92. Rübel, E., Pflanzengeographische Monographie des Bernina-Gebietes. *Engl. Bot. Jahrb.* Bd. 49 1912.
93. Sachs, J., Über die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf die Blütenbildung. *Arb. Bot. Inst. Würzb.* Bd. 3 1887.
94. Samec, M., Zur Kenntnis der Lichtintensitäten in großen Seehöhen. I. T. *Sitzungsab. Ak. Wiss. Wien.* Bd. 116 1907. II. T. ebenda Bd. 117 1908.
95. Schimper, A. F. W., Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. *Jena* 1898.
96. Schmidt, Ar., Die Abhängigkeit der Chlorophyllbildung von der Wellenlänge des Lichtes. *Beitr. Biol. d. Pfl.* Bd. 12 1914.
97. Schübeler, Die Wirkung des ununterbrochenen Tageslichtes auf die Pflanzen der Polarländer. *Der Naturforscher* 1880.
98. Schulze, J., Über die Einwirkung der Lichtstrahlen von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge auf Pflanzenzellen. *Beih. z. Bot. Zentralbl.* Bd. 25 1910.
99. Schwab, F., Über das photochemische Klima von Kremsmünster. *Denkschr. k. Ak. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl.* Bd. 74 1904.
100. Siemens, C. W., On the influence of electric light on vegetation, and on certain Physikal Principels involed. *Proc. of the Roy. Soc.* Bd. 30 1880.
101. Sierp, H., Über den Einfluß des Lichts auf das Wachstum der Pflanzen. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* Bd. 35 1917.
102. Sperlich, A., Gesetzmäßigkeiten im kompensierenden Verhalten parallel und gegensinnig wirkender Licht- und Massenimpulse. *Jahrb. f. wiss. Bot.* Bd. 46 1915.
103. Stameroff, K., Zur Frage über den Einfluß des Lichtes auf das Wachstum der Pflanzen. *Flora* Bd. 83 1897.
104. Stoppel, R., Über den Einfluß des Lichtes auf das Öffnen und Schließen der Blüten. *Zeitschr. f. Bot.* Bd. 2 1910.
105. Stuhr, J., Über die Bestimmung des Äquivalenzwertes verschiedenfarbiger Lichtquellen nach der Methode der Flächenhelligkeit, Sehschärfe und Flimmerphotometrie. *Diss. Kiel* 1908.
106. Teichmüller, J., Die photometrischen Grundbegriffe. *Sonderabdruck aus „Licht und Lampe“.*
107. Thelen, O., Natürliches, künstliches und monochromatisches Licht in seiner Bedeutung für die Entwicklung und die Stoffproduktion einiger Kulturpflanzen. *Diss. Rostock* 1910.

108. Thiele und Wolf, Über die Abtötung der Bakterien durch Licht Arch. f. Hyg. Bd. 57 1906.
109. Trabert, W., Lehrbuch der kosmischen Physik. Teubner, Leipzig 1911.
110. Tröndle, A., Der Einfluß des Lichtes auf die Permiabilität der Plasmahaut. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 48 1910.
111. Vöchting, H. v., Über den Einfluß des Lichtes auf die Gestaltung und die Anlage der Blüten. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 25 1893.
112. Voegelé, W., Untersuchungen über die Strahlungseigenschaften der neuen Glühlampen. Jahrb. Hamb. wiss. Anst. Bd. 21 1903.
113. — Über die Licht- und Wärmewirkung der künstlichen Lichtquellen. Journ. f. Gasb. 1911.
114. Vogt, E., Über den Einfluß des Lichtes auf das Wachstum der Koleoptile von *Avena sativa*. Zeitschr. f. Bot. Bd. 7 1915.
115. Vogt, I. G., Untersuchungen über die bakterizide Wirkung der ultravioletten Strahlen. Zeitschr. f. Hyg. Bd. 81 1916.
116. Vráněk, J., Spektrophotometrische Messungen an Metallfadenlampen. Zeitschr. f. wiss. Phot. Bd. 16 1917.
117. Warming und Gräbner, Eugen Warming's Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie. 3. Aufl. Bornträger, Berlin 1914.
118. Weber, L., Mitteilungen über einen photometrischen Apparat. Wied. Ann. Bd. 20 1883.
119. — Die Beleuchtung. Weyl's Handb. d. Hyg. 1. Aufl. IV. Fischer, Jena 1896.
120. — Resultate der Tageslichtmessungen in Kiel in den Jahren 1890—1892, 1892—1895, 1898—1904, 1905—1908, 1909—1911, 1912—1915. Schrift. d. Nat. Ver. f. Schleswig-Holst. Bd. 10 1893, Bd. 12 1897, Bd. 13 1905, Bd. 14 1909, Bd. 15 1913, Bd. 16 1916.
121. Wiesner, J., Der Lichtgenuß der Pflanzen. Leipzig, Engelmann 1907.
122. Wilschke, A., Über die Verteilung der phototropischen Sensibilität in Gramineenkeimlingen und deren Empfindlichkeit gegen Kontaktreize. Sitzungsab. Ak. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. Bd. 122 1913.

Zur Biologie von *Tanymastix lacunae* Guerin.

(Vorläufige Mitteilung.)

Von Robert T. Müller.

(Aus der Zoologischen Anstalt der Universität Basel.)

I. Einleitung.

Die nachfolgenden Zeilen sollen kurz die Ergebnisse 3jähriger Beschäftigung mit dem Phyllopoden *Tanymastix lacunae* Guerin zusammenfassen.

Mein Material stammte aus dem Eichener See, einem periodisch wiederkehrenden Bergtümpel in der Nähe des Städtchens Schopfheim im Wiesental. Dort findet sich *T.* zusammen mit *Cyclops strenuus* Fischer, *Cypris virens* Jurine und einer großen Zahl gewöhnlicher Teich- und Moosbewohner. Der See liegt 436,8 m über Meer und füllt sich gewöhnlich im Frühjahr mit Sickerwasser, das Temperaturen von 0 bis über 20° C. aufweist. Die Wassertiefe kann 4 m erreichen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1918

Band/Volume: [38](#)

Autor(en)/Author(s): Sierp Hermann

Artikel/Article: [Über die Lichtquellen bei pflanzenphysiologischen Versuchen. 221-257](#)