Über den Einfluß des Lichtes verschiedener Wellenlänge auf die Transpiration der Pflanzen.

Von **L. A. Iwanoff** und **M. Thielmann.**

Mit 1 Abbildung im Text.

Aus dem Botanischen Kabinett des Forstinstitutes in Petersburg.

Die Frage über den Einfluß der verschiedenen Strahlen des Spektrums auf die Transpiration kann von zweierlei Bedeutung sein: einer physiologischen zum Zweck der Deutung des Transpirationsmechanismus und einer ökologischen, deren Ziel eine genauere Deutung des Einflusses von verschiedenfarbigem Lichte auf die Transpiration in der Natur wäre, wo ja die Pflanze einer in ihrer Zusammensetzung beständig wechselnden Beleuchtung ausgesetzt ist.

In der Tat ist das Studium der Wirkung des Lichtes von großer Bedeutung bei der Analyse des Transpirationsprozesses, inwieweit derselbe von rein physikalischen oder physiologischen Erscheinungen abhängig ist. Der Einfluß dieses äußeren Faktors bringt am augenscheinlichsten den Unterschied zwischen Transpiration und Verdunstung zutage. Während bei der ersteren das Licht, wie die physiologischen Beobachtungen zeigen, eine hervorragende Rolle spielt, wird es bei der Ausführung der Daltonschen Formel gar nicht in Betracht gezogen. Es ist Sache der physiologischen Analyse, zu erklären, ob dieser Unterschied von rein physikalischen Eigenschaften der Pflanze abhängig ist, oder ob hier auch physiologische Prozesse mit im Spiel sind. In dieser Analyse muß als der erste und wesentlichste Schritt die Lösung der Frage angesehen werden, welche Strahlen des Spektrums am wirksamsten sind. Sind es nicht diejenigen Strahlen, welche am stärksten von der Pflanze absorbiert werden und in ihr am meisten Energie zurücklassen? In diesem Falle würden wir es mit einem rein physikalischen Phänomen zu tun haben, welches dem bei der Verdunstung von einem Evaporometer ähnlich wäre. In dieser Weise ist die Frage bis zuletzt in der Literatur behandelt worden. Inwiefern eine solche Lösung der Frage berechtigt ist, soll

erst später geprüft werden. Jetzt seien noch einige Worte darüber gesagt, welche Bedeutung das Studium der Lichteinwirkung auf die Transpiration der Pflanzen für die Ökologie haben kann. Beim Studium dieses Prozesses in der Natur muß damit gerechnet werden, daß das Licht darauf von größtem Einflusse ist. Nun sind aber die Pflanzen in der freien Natur einer beständig wechselnden Beleuchtung ausgesetzt, je nach der Höhe des Sonnenstandes, der Bewölkung, der umgebenden Vegetation; der Wechsel der Beleuchtung ist nicht nur quantitativer, sondern auch qualitativer Art; die Zusammensetzung des Lichtes ändert sich fortwährend. Ehe wir nicht im Klaren darüber sind, wie die einzelnen Strahlen auf die Transpiration einwirken, können wir keine genauere Vorstellung von der Art und Weise des Lichtwechseleinflusses auf die Transpiration bekommen. Im Gegenteil, steht es fest, daß bestimmte Strahlen die größte Aktivität aufweisen, so können wir ihnen unsere volle Aufmerksamkeit zuwenden, die Messung dieser Strahlen vornehmen, die gewonnenen Transpirationsergebnisse mit denjenigen der Verdunstung vergleichen und eine gesetzmäßige Abhängigkeit darunter suchen.

Dieses ist die Bedeutung der gestellten Aufgabe. Was ist für ihre Lösung schon getan worden?

I.

Die Literatur über den Einfluß verschiedenfarbigen Lichtes auf die Transpiration ist nicht reich und ist recht übersichtlich in der bekannten Monographie von Burgerstein angeführt. Deshalb sei es erlaubt, nur einige kritische Bemerkungen diesen Aufgaben hinzuzufügen.

Die allerumständlichsten Untersuchungen von Wiesner[1]) sind bestrebt, den Beweis zu erbringen, daß auf die Transpiration diejenigen Strahlen den größten Einfluß haben, welche vom Chlorophyll am meisten absorbiert werden, nämlich die blauen; nach ihnen kommen die roten Strahlen. Dagegen sind die gelben und besonders die grünen Strahlen am wenigsten wirksam, was im Gegensatz zu der Behauptung Dehérains ist, welcher gerade diesen für unser Auge am hellsten wirkenden Strahlen die höchste Aktivität zuschrieb. Diese als bewiesen angenommene Tatsache des maximalen Einflusses der blauen und der roten Strahlen, sowie auch die stärkere Transpiration der grünen Pflanzen im Vergleich mit den etiolierten, veranlaßten Wiesner, den Einfluß des

1) Wiesner, Sitzungsber. d. K. K. Akad. d. Wiss. Wien. 1876, Bd. LXXIV, S. 477.

Lichtes auf die Transpiration auf seine Wärmewirkung zurückzuführen. Durch die Pigmente der Pflanze absorbiert und in Wärme umgewandelt erhöht das Licht nach der Meinung Wiesners die Temperatur und die Spannung des Wasserdampfes in den Interzellularen, was eine Erhöhung der Transpiration zur Folge hat.

Derselben Meinung ist auch im großen und ganzen die Mehrzahl der übrigen Forscher (Comes, Henslow, Hellriegel und Wollny). Nach einer näheren Betrachtung der Arbeiten der genannten Autoren und der Ausführungen Wiesners erscheint es jedoch zweifelhaft, ob wirklich die blauen und die roten Strahlen eine maximale Wirkung auf die Transpiration haben und ob diese Wirkung nur auf dem Wärmeeffekt des Lichtes beruht. In der Tat haben alle Forscher in diesem Gebiet sich der Methode der Ekrane oder gefärbter Gläser in einer Weise bedient, die schon längst als nicht den wissenschaftlichen Forderungen entsprechend anzusehen ist. Das durch die farbigen Medien kommende Licht gelangte zu den Pflanzen in verschiedenen und ganz willkürlichen Mengen; seine Wirkung wurde jedoch verglichen, als ob die Quantität der einfallenden Strahlen eine gleiche wäre und als ob ihre Einwirkung nur von der Strahlenlänge abhinge. Diesen Fehler machen alle Autoren, und nur bei Wiesner sehen wir einen Versuch, ihn zu umgehen, der aber als mißlungen angesehen werden muß. Er bemühte sich, die Ekrane, die mit gefärbten Flüssigkeiten gefüllt waren, auf eine gleiche Helligkeit fürs Auge einzustellen. Zu diesem Zweck verdünnte er die stark tingierten Flüssigkeiten solange, bis ein durch sie gesehenes Karnies des gegenüberstehenden Hauses nicht mehr deutlich sichtbar wurde. Die Ungenauigkeit und die Subjektivität einer solchen Messung ist klar ohne weiteres; sie gibt keine Vorstellung von der Energiemenge, die die Strahlen mit sich bringen; dabei wurden ja die Wärmestrahlen, die ja auch von Bedeutung für die Transpiration sind und in verschiedenen Mengen durch die Filter durchgelassen wurden, mit dem Auge gar nicht gemessen [1]).

Außer den Beobachtungen hinter Farbenfiltern liegen bei Wiesner noch Beobachtungen im prismatischen Spektrum vor, aber auch hier ohne jegliche Kontrolle der in den verschiedenen Teilen des Spektrums verteilten Energiemenge. Nur zwei Versuche sind im Spektrum ausgeführt worden mit Keimpflanzen von Mais, und diese zwei Versuche sprechen durchaus nicht für die Wärmethypothese. Im ersten Versuche bekam Wiesner eine Erhöhung der Transpiration in den blauen

1) Wie bekannt sind die meist benutzten Farbenfilter aus Bichromat und Kuprammon für die infraroten Strahlen des Spektrums durchlässig.

Strahlen (VI. Absorbtionsband des Chlorophylls) um 8 % im Vergleich mit der Transpiration in den roten Strahlen (I. Absorbtionsband), im zweiten — um 13 %. In Anbetracht dessen, daß im prismatischen Spektrum der Sonne die blauen Strahlen, dank ihrer größeren Dispersität, auf die Flächeneinheit bezogen, viel weniger Energie mit sich bringen als die roten Strahlen, könnte der Satz von dem Wärmeeinflusse des Lichtes nur in dem Falle angenommen werden, wenn es gelänge zu beweisen, daß die schwächere Intensität der blauen Strahlen sich mit Überfluß durch ihre größere Absorbtion durch das Blatt deckte. Wiesner hat jedoch einen solchen Beweis nicht erbracht. Außerdem transpirierten die Blätter im zweiten Experiment fast gleich intensiv (30,0 und 30,8 mg) wie in den grünen Strahlen (zwischen den Absorbtionsbändern IV und V), die fast gar nicht vom Chlorophyll absorbiert werden, so auch in den orangefarbenen (zwischen den Absorbtionsbändern II und III), in welchen durch spektrophotometrische Bestimmungen eine beträchtliche Absorbtion festgestellt worden ist. Nicht zugunsten der Hypothese Wiesners spricht auch sein Experiment mit einer etiolierten Pflanze. In dem durch die gelben etiolierten Blätter stark absorbierten indigo-blauen Lichte erhöhte die Pflanze ihre Transpiration nur um 10 % im Vergleich mit dem, was in dem wegen Abwesenheit des Chlorophylls fast gar nicht absorbierten orangegelben Lichte transpiriert wurde. Dagegen im Vergleich mit der Dunkelheit bewirkte dieses fast nicht absorbierte Licht eine Erhöhung der Transpiration um 62 %! Gleichenfalls fand Henslow[1]) für etiolierte Pflanzen die Maxima der Transpiration in violettem und rotem Lichte, was ja auch für die grünen Pflanzen bekannt ist, ungeachtet der ungleichen Absorbtion in diesen beiden Fällen. Es sei hier gesagt, daß, obgleich Burgerstein in seiner Monographie die Untersuchungen Henslows als „genau" bezeichnet, sie es unseres Erachtens nicht sind. In der Tat wurden vom violetten Ekran Henslows auch die Strahlen entsprechend dem II. Absorbtionsband des Chlorophylls durchgelassen, weshalb es ohne ein Ergänzungsekran nicht brauchbar war. Zweitens wurden die Experimente während einer längeren Zeit (24 Stunden) an einem Fenster ausgeführt, vor dem ein Baum stand, was eine gleichmäßige Belichtung der Pflanzen hinter verschiedenen Farbenfiltern bezweifeln läßt. Zusammenfassend könnte man sagen, daß, wenn auch auf Grund nur zweier Versuche Wiesners die Tatsache der fördernden Wirkung der blauen Strahlen angenommen werden könnte, die Er-

1) Henslow, Journ. of the Linn. Soc. Bot., Vol. XXII, XXIV.

klärung, die Wiesner ihr durch Anführung seiner Befunde gibt, durch diese nicht bestätigt wird, ja sie sprechen sogar dagegen. Es ist klar, daß eine experimentelle Nachprüfung der Frage erforderlich ist. Zu einer solchen sind wir in der vorliegenden Arbeit getreten.

II.

Aus der kritischen Analyse der Literaturangaben ergibt sich die Notwendigkeit der Messung, wenn nicht der vom Blatte absorbierten Lichtenergie der verschiedenen Strahlen, was natürlich am richtigsten wäre, aber weniger zugänglich ist, so doch wenigstens der auf das Blatt einfallenden Lichtmenge, falls einigermaßen zuverlässige Resultate erzielt werden sollen.

Der größte Teil von unseren Versuchen ist hinter Farbenfiltern ausgeführt, wobei mit Hilfe der Thermosäule und eines Galvanometers die einfallende Energie in der Weise reguliert wurde, daß sie in gleicher Menge die hinter den beiden benutzten Farbenfiltern stehenden Blätter erreichte. Nur die erste Versuchsreihe stellte eine Wiederholung von Wiesners Versuchen im prismatischen Spektrum her, wo die Strahlen verschiedener Wellenlänge verschiedene Energiemengen mit sich brachten. Allein auch in diesem Falle konnten wir einige uns betreffende Schlüsse ziehen. Außer dem Ausgleich der Strahlenenergie unterscheidet sich unsere Versuchsanstellung von der früherer Autoren dadurch, daß wir die Transpiration nicht nur bei lebenden, sondern auch bei abgetöteten Blättern bestimmten. Der Vergleich sollte der oben aufgeworfenen Frage heranzutreten erlauben, ob der Einfluß des Lichtes auf die Transpiration nur von seiner Wärmewirkung abhängt, oder ob auch rein physiologische Prozesse mit im Spiel sind. Endlich ist bei der Erzielung von vergleichbaren Transpirationszahlen in verschiedenem Lichte noch eines zu beachten. Es ist klar, daß ein Vergleich dieser Zahlen nur dann möglich ist, wenn alle übrigen inneren und äußeren Faktoren, mit Ausnahme der Beleuchtung, gleich sind. Dieses zu erlangen hindert oft der Umstand, daß die Transpiration zeitlich nicht regelmäßig verläuft, was von inneren Ursachen abhängig ist. Je nach dem vorhergehenden Zustande der Pflanze, der Aufnahme des Wassers usw. transpiriert ein und dasselbe Exemplar nicht immer die gleichen Mengen Wasser, ungeachtet der völlig gleichen äußeren Umgebung. Wiesner gibt an, daß nur allmählich, oft erst nach 2—3 Stunden, ein stationärer Zustand erreicht wird, nachdem ein Wechsel von Dunkelheit zu Licht oder sogar von minder hellem zu

hellerem Licht stattgefunden hat[1]). Bei abgeschnittenen und ins Wasser gestellten Pflanzen ist ein stationärer Zustand überhaupt nicht erreichbar. Unsere Beobachtungen zeigten wenigstens, daß solche Pflanzen ungeachtet der gleichen äußeren Bedingungen die Transpiration ständig in kleinerem oder größerem Maße vermindern. In Betracht dieser Umstände entschieden wir uns für Versuche, die nur kurze Zeit andauerten. Die im Dunkeln oder am Fenster gehaltenen Pflanzen wurden abwechselnd bald mit den rotgelben, bald mit den blauvioletten Strahlen beleuchtet, wobei bei jeder Beleuchtung gewöhnlich 3—4 (seltener 1—2 oder 5—7) Ablesungen gemacht wurden nach Zeiträumen von 10, 15 oder 30 Minuten. Auch gewöhnlich wurde schon nach diesen kurzen Einwirkungen von dem verschiedenfarbigen Lichte eine Änderung in der Transpirationsgröße bemerkbar. Die Zu- oder Abnahme der Transpirationsgröße wurde durch den Mittelwert von der genannten Zahl der Ablesungen charakterisiert; oder es wurden die Maxima und die Minima der Zu- und Abnahme berechnet, in Prozenten von der letzten Ablesung bei der vorhergehigen Beleuchtung ausgedrückt. Bei den Beobachtungen über den Einfluß des verschiedenfarbigen Lichtes wurde nur der Wechsel von einem Licht zum anderen in acht genommen; der Wechsel von Dunkelheit zu farbigem Lichte und umgekehrt wurde außer acht gelassen, da es schwer gefallen wäre, einen Einfluß des Lichtes überhaupt von einem solchen der verschiedenen Wellenlängen des Lichtes zu trennen. Der Wechsel von einem physiologischen Zustande zum anderen könnte hier zu jäh sein, um noch die feineren Abstufungen der Wirkung der verschiedenen Wellenlängen der einfallenden Energie bemerkbar zu machen.

Die Versuchsanordnung war wie folgt:

Als Lichtquelle diente uns in allen Versuchen eine Bogenlampe des Projektionsapparats von 13—17 Ampère. In der ersten Versuchsreihe, die im Spektrum ausgeführt wurde, bedienten wir uns eines Linsensystems von Amici à vision directe, das mit einem Spalt von 1 mm Weite versehen war. Um die Blätter bald in dem rotgelben, bald in dem blauviolettem Teile des Spektrums transpirieren zu lassen, wurde entweder der ganze Apparat etwas zur Seite geschoben oder das Linsensystem um 180° gedreht, so daß die gewünschten Strahlen auf die Blätter einzufallen kamen, wobei die Versuchsobjekte unberührt auf der Wageschale stehen blieben. In diesem Falle war die Menge der einfallenden Energie im rotgelben Lichte

1) Wiesner, Sitzungsber. d. Wiener Akad. d. Wiss. 1876, Bd. LXXIV, S. 483.

größer als im blauvioletten. Ein Ausgleich der Energie wurde erreicht in der zweiten Versuchsreihe, wo ein divergierender Strahlenbündel vorgesetzte Farbenfilter passieren mußte. Die letzteren stellten parallelwändige Küvetten dar, die entweder mit Kuprammon oder mit Kaliumbichromat gefüllt waren. Durch die erstere wurden die Strahlen von violett bis grün einem Teil der letzteren mit zugerechnet — ungefähr bis 535 $\mu\mu$ — durchgelassen. Der zweite Filter ließ die roten Strahlen und weiter bis auf den äußeren Rand der grünen — ungefähr bis 550 $\mu\mu$ — passieren. Folglich wurde der mittlere Teil der grünen Strahlen von 550—535 $\mu\mu$ von den beiden Flüssigkeiten absorbiert. Eine vor die Farbenfilter gestellte Küvette mit Eisenvitriol sollte die infraroten Strahlen zurückhalten. Da beim Passieren des Kuprammoniums die Strahlenenergie am meisten abgeschwächt wurde, wurde bei Anwendung dieses Filters die Lichtquelle möglichst nahe zu den Versuchspflanzen gestellt; im Falle der Beleuchtung mit den rotgelben Strahlen wurde die Lampe so weit entfernt, daß die Energie der letztgenannten Strahlen gleich der der blauvioletten war. Aber auch in diesem Falle, d. h. in der ganzen zweiten Versuchsreihe, konnte eine völlig gleiche Verteilung der Energie auf die transpirierenden Blätter bei der verschiedenen Beleuchtung nicht erzielt werden. Im blauviolettem Lichte bekam die ganze Oberfläche der Blätter weniger Energie als in dem rotgelben, da ja im ersten Falle bei dem näheren Stand der Lichtquelle das Strahlenbündel ein konzentrierteres und infolgedessen die Abnahme der Energie in ein und derselben Ebene vom Zentrum zur Peripherie eine größere war. So sind die Galvanometerausschläge gleich 1,0 im Zentrum der beiden Strahlenbündel, an der Peripherie dagegen 0,6 hinter dem blauen und 0,8 hinter dem gelben Filter. Die Energie des einfallenden Lichtes wurde während der ganzen Versuchsdauer beständig mit Hilfe eines Zeigergalvanometers (Empfindlichkeit $2{,}6 \times 10^{-7}$ auf 0,1 der Skaleneinteilung) und einer Rubenschen Thermosäule kontrolliert. Vor Beginn eines jeden Versuches wurde die Energie der Strahlen im Zentrum des Bündels, welches auf die Mitte der transpirierenden Blätter einzufallen hatte, und an der Peripherie, an der Stelle, wo die Thermosäule während des Versuches zu stehen kam, gemessen. Hiernach konnte stets darauf geachtet werden, daß während des Versuches immer die Mitte der Blätteroberfläche die gleichen Energiemengen bekam. Es wurden Vorrichtungen getroffen, daß die transpirierenden Pflanzen von keinem Seitenlichte außer dem gewünschten beschienen wurden.

Als Versuchspflanzen dienten Cyperus alternifolius, Libertia formosa und Bromus inermis, von denen entweder ganze kleine Exemplare, in kleine Glastöpfchen gepflanzt (Cyperus), genommen wurden oder auch lebende oder tote Blätter der genannten Pflanzen. Stanniolpapier im ersten Falle und Rizinusöl im zweiten dienten zum Schutz gegen die unmittelbare Verdunstung von der Erd- resp. Wasseroberfläche. Durch Anbinden an den Querbalken eines kleinen Stäbchens wurden alle transpirierenden Blätter in eine Ebene gebracht. Das Abtöten der Blätter geschah durch ein 5 Minuten langes Sieden in Wasser, wonach ein Abkühlen durch ein allmähliches Zugießen von kühlem Wasser, dann ein Abtrocknen mit Filterpapier erfolgte. Das Abtöten durch Sieden haben wir den Giften wie Formalin und Sublimat vorgezogen, da letztere auch nach einem längeren Einwirken — 14 bis 44 Stunden — kein zuverlässiges Resultat gaben. Es muß gesagt werden, daß die Blätter von Bromus und Cyperus nach dem Sieden ihre gewöhnliche grüne Farbe nicht verloren haben, während Libertia eine bräunlichgelbe annahm, ungeachtet dessen, ob das Sieden in reinem Wasser oder mit Zufügung von kleinen Mengen von NaOH, das die möglichen Säuren im Blatte neutralisieren sollte, geschah. Dieser Farbenumschlag mußte eine verhältnismäßig größere Absorbtion der blauvioletten Strahlen zur Folge haben, was seinerseits eine intensivere Transpiration der abgetöteten Gewebe im Vergleich mit den lebendigen hervorrufen mußte.

Die vorgerichteten Versuchsobjekte kamen auf eine Schale der analytischen Wage, wo sie, von jeder Luftbewegung geschützt, während der ganzen Versuchszeit stehen blieben. Einige Luftwechsel und -bewegung waren nur während des Wechselns der Farbenfilter möglich, die vor die geöffnete Seitentür der Wage gestellt wurden. Das Gewicht (mit der Genauigkeit von 0,1 mg oder 0,5 mg bei sehr starker Transpiration) wurde nach jeden 10—30 Minuten festgestellt und daraus die Transpiration berechnet. In derselben Zeit wurden auch die Temperatur und die Feuchtigkeit der Luft gemessen. Das Thermometer wie das Hygrometer befanden sich im Schatten neben der Wageschale, worauf die Pflanzen standen. Dank des Eisenvitriolfilters erhöhte sich die Temperatur nicht beträchtlich. In einigen Fällen wurde neben das gewöhnliche beschattete Thermometer ein berußtes gestellt, welches dann belichtet wurde. Die Differenz betrug nur einige Zehntel Grad. Entsprechend der wenn auch geringen Temperatursteigerung während des Versuches nahm die relative Feuchtigkeit der Luft ab; beides stätig und sehr allmählich.

Zur Illustration des Verlaufes eines Versuches sollen hier das Protokoll und die Transpirationskurve des Versuches Nr. 70 angeführt werden.

Versuch Nr. 70. 1. V. 1918.

Topfpflanze von Cyperus seit dem Abend im Dunkeln gehalten.

I	II	III	IV	V	VI
		Dunkel			
9h48'	58,9560			61	13,4
		0,0250			
9h58'	58,9310			61	13,5
		0,0205			
10h8'	58,9105			61	13,4
		0,0215			
10h18'	58,8890			61	13,3
		0,0200			
10h28'	58,8690			61	13,5
		Blauviolettes Licht			
		0,0200			
10h38'	58,8490		1,6	60	13,7
		0,0245			
10h48'	58,8245		1,6	60	13,7
		0,0260			
10h58'	58,7985		1,6	59	13,9
		0,0320			
11h8'	58,7665		1,6	59	14,13
		Wechseln der Kohle			
11h23'	58,7130		1,6	59	14,4
		0,360			
11h33'	58,6770		1,6	58	14,6
		0,350			
11h43'	58,6420		1,6	58	14,6
		Rotgelbes Licht			
11h51'	58,6170		1,6	59	14,7
		0,0325			
12h1'	58,5845		1,6	60	14,6
		0,0295			
12h11'	58,5550		1,6	60	14,5
		0,0270			
12h21'	58,5280		1,6	60	14,6
		0,0270			
12h31'	58,5010		1,6	60	14,7

I	II	III	IV	V	VI *)
		Blauviolettes Licht			
12h40'	58,4820		1,6	58	14,7
		0,0190			
12h50'	58,4630		1,6	57	14,9
		0,0250			
1h—	58,4380		1,6	56	15,0
		0,0250			
1h10'	58,4130		1,6	56	15,0
		0,0265			
1h20'	58,3865		1,6	56	15,1
		Wechseln der Kohle			
1h26'	58,3700		1,6	56	15,1
		0,0275			
1h36'	58,3425		1,6	56	15,0
		0,0285			
1h46'	58,3140		1,6	56	15,1
		0,0290			
1h56'	58,2850		1,6	56	15,2
		Rotgelbes Licht			
2h2'	58,2700		1,6	56	15,3
		0,0235			
2h12'	58,2465		1,6	56	15,1
		0,0200			
2h22'	58,2265		1,6	56	15,5
		0,0170			
2h32'	58,2095		1,6	56	15,5
		Blauviolettes Licht			
2h36'	58,2040		1,6	56	15,5
		0,0155			
2h46'	58,1885		1,6	56	15,5
		0,0185			
2h56'	58,1700		1,6	56	15,5

*) I = Ablesungsmoment, II = Gewicht der Versuchspflanze, III = Transpirationswert, IV = Galvanometerausschlag, V = Relative Luftfeuchtigkeit in Prozenten, VI = Lufttemperatur nach C.

Wechseln der Kohle

3h3'	58,1545	0,0255	1,6	56	15,5
3h13'	58,1290	0,0255	1,6	56	15,6
3h23'	58,1035		1,6	56	15,6

Dunkel

4h51'	57,9590	0,0145		56	15,3
5h1'	57,9445			56	15,3

Die Abszisse der folgenden Transpirationskurve zeigt die Zeitabschnitte von 10', während die Ordinate die Transpirationsmengen in cgr während jeder 10' darstellt. Die Transpiration im Dunkeln während des Licht- oder Kohlenwechselns dauert nicht immer 10', sondern etwas mehr oder weniger. Die diesbezüglichen Transpirationsraten sind durch Umrechnung erhalten worden.

Versuch Nr. 70. 1. V. 1918.

Cyperus. Topfpflanzen. Farbenfilter.

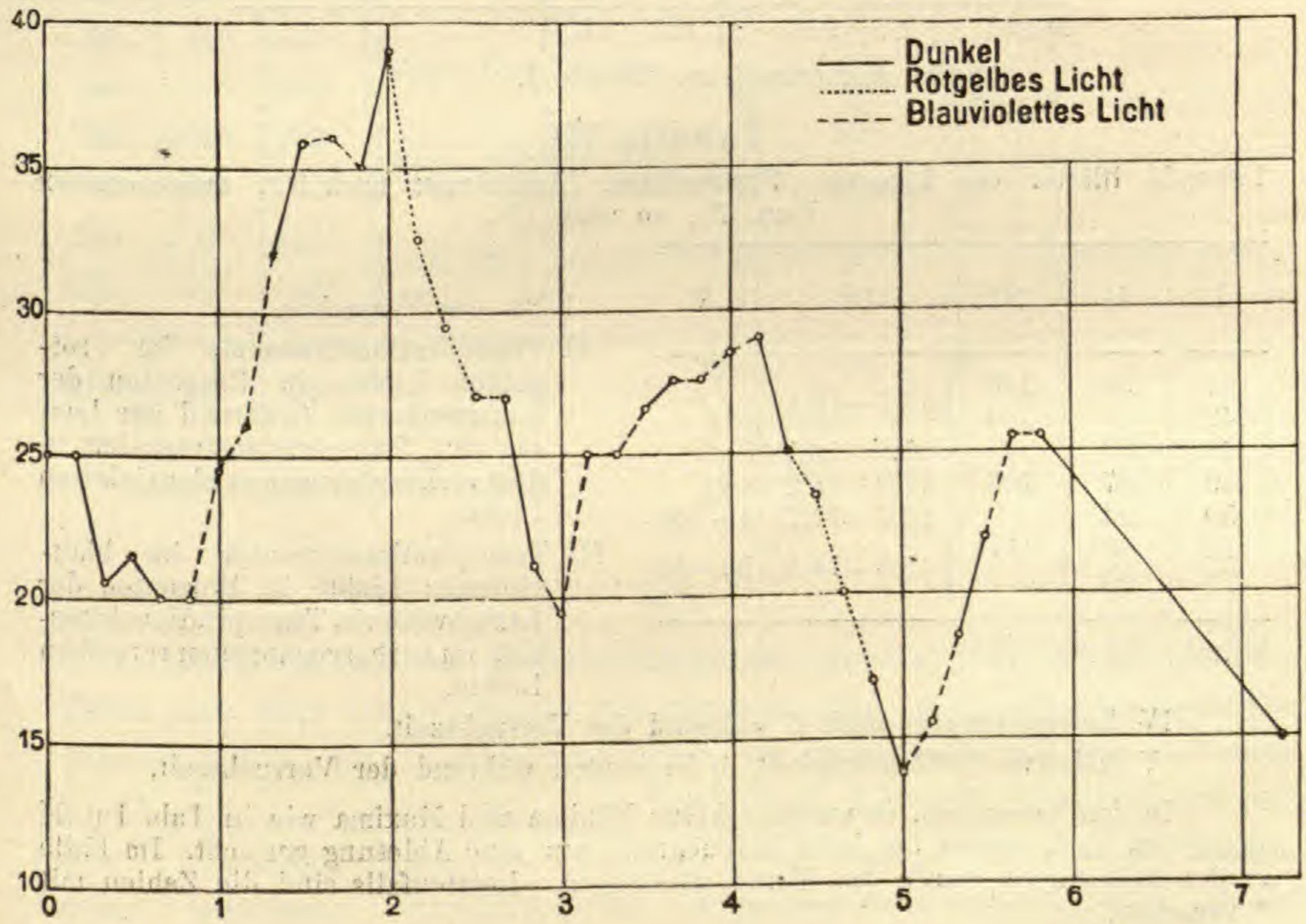

Tabelle I.

Cyperus. Topfpflanze. Farbenfilter. Ablesungen nach 10'.

I	II	III a	III b	IV	V a	V b	VI	VII
65				5	68	132	16,6—16,9	55—54
67				3	104	120	15,2—16,0	55
67				2	104	136		
68	3	51	56	4	153	263	16,9—17,3	54—53
68				5	61	118		
69	4	57	83	4	132	190	16,3—17,7	61—54
69				4	124	129		
70	4	77	93	7	63	107	13,7—15,6	60—56
70	3	59	81	4	91	150		
81	3	89	96	3	121	125	15,5—16,0	64—63
Mittel		65	82		102	147		

I Nr. des Versuchs.

II Zahl der Ablesungen im rotgelben Licht nach dem blauvioletten.

III a minimale, b maximale Transpirationsintensität in dem gegebenen Lichte, ausgedrückt in Prozenten der Transpirationsintensität, während der letzten 10 Minuten in dem vorher gewesenem Lichte.

IV, V a u. b dasselbe im blauvioletten Lichte.

VI Lufttemperatur während der Versuchszeit nach C.

VII Relative Luftfeuchtigkeit während der Versuchszeit in Prozenten.

Tabelle II.

Lebende Blätter von Bromus. Farbenfilter.

I	II	III a	III b	IV	V a	V b	VI	VII
101	2	79	86	3	93	96	19,6—20,9	62—55
101	2	80	84	2	109	120		
103	3	102	104	2	108	112	18,8—19,5	58—56
103	2	95	100	2	109	112		
Mittel		87	93		105	110		

Siehe Anmerkung zu Tabelle I.

Tabelle III.

Lebende Blätter von Libertia. Farbenfilter. Ablesungen nach 30', ausgenommen Vers. 72, wo nach 15'.

I	II	III	IV	V
47	94	126	15,7—16,1	
47		144		
48	93		15,8—16,1	
49	87	106	17,0—18,2	
50	94		16,7—17,7	48—46
72	86*	111*	12,5—14,1	53—50
72	90			
Mittel	91	122		

I Nr. des Versuches.

II Transpirationsintensität im rotgelben Lichte in Prozenten der letztgewesenen (während der letzten 10') Transpirationsintensität in dem vorhergegangenen blauvioletten Lichte.

III Transpirationsintensität im blauvioletten Lichte in Prozenten der letztgewesenen Transpirationsintensität im vorhergegangenen rotgelben Lichte.

IV Lufttemperatur nach C während der Versuchszeit.

V Relative Luftfeuchtigkeit in Prozenten während der Versuchszeit.

In den Versuchen, in welchen keine Minima und Maxima wie in Tab. I u. II angegeben sind, wurde bei jeder Beleuchtung nur eine Ablesung gemacht. Im Falle zweier Ablesungen wurde das Mittel genommen. Letztenfalls sind die Zahlen mit * versehen.

Tabelle IV.

Lebende Blätter von Libertia. Spektrum.

I	II	III	IV
19	76*		9,4—10,8
20	89*	115*	9,8—10,4
22	72	101*	11,6—12,0
22	81	108	
23	82	86	12,5—12,8
23		109	
24		110	9,0— 8,2
26	59	101	4.5— 4,7
Mittel	76	104	

Siehe Anmerkung zu Tabelle III.

Tabelle V.

Abgetötete Blätter von Cyperus. Farbenfilter.

I	II	III a	III b	IV	V a	V b	VI	VII
73	2	92	96	2	95	95	13,7—14,2	56—54
79	4	91	98	4	95	98	15,5—16,3	66—65
80	4	90	98	4	92	97	15,8—16,8	66—63
83	2	94	96	3	92	95	18,2—18,3	43—44
84	3	96	99	3	97	99	17,4—17,6	48—47
Mittel		93	97		94	97		

Siehe Anmerkung zu Tabelle I.

Tabelle VI.

Abgetötete Blätter von Bromus. Farbenfilter.

I	II	III	IV	V
95	92*	96*	19,1—19,7	48—47
97	98*	101*	18,3—19,2	61—59
97	97*			
98	98*	102*	18,6—19,1	57—53
98		101*		
99	101*	100*	18,4—18,6	56—54
99	100*	97*		
100	103*	103*	17,6—18,3	60—58
100	97*	97*		
Mittel	98	100		

Siehe Anmerkung zu Tab. III.

Tabelle VII.

Abgetötete Blätter von Libertia. Farbenfilter.

I	II	III	IV	V
51	100	104	16,1—16,8	47—45
51	96	100		
52	101	103	14,9—15,4	50—48
52	100	114		
52	83			
57	102	107	14,2—15,0	57—55
57	99			
58	99	97*	13,9—14,4	56—55
59	102	101	14,4—15,1	58—57
59		103		
71	101*	109*	10,5—11,7	53—51
71		104*		
90	95*		13,1—13,6	47—46
91	101*	107*	14,3—14,7	45—44
Mittel	98	104		

Ablesungen in Exper. 51—59 nach 30'; in Exper. 71 nach 15'; in Exper. 90 u. 91 nach 10'. Siehe Anmerkung zu Tab. III.

III.

Mit Hilfe der im vorhergegangenen Absatze beschriebenen Methode sind über 100 Versuche mit lebenden und toten Pflanzen gemacht worden. Aus der Zusammenstellung der Ergebnisse in den Tabellen I—IV ist zu ersehen, daß die lebenden Blätter beim Wechsel des rotgelben Lichtes zu blauviolettem immer eine mehr oder weniger beträchtliche Transpirationserhöhung auf-

weisen, während umgekehrt beim Wechsel des blauvioletten Lichtes zu rotgelbem die Transpiration herabgesetzt wird, ungeachtet der schon erwähnten wenn auch kleinen Intensitätssteigerung des einfallenden rotgelben Strahlenbündels.

Wie die Mittelwerte der Tabellen I—IV zeigen, ist der Unterschied in der Einwirkung der blauvioletten und rotgelben Strahlen auf die Transpiration, nach der Steigerung oder Herabsetzung der letzteren im Vergleich mit der vorherigen Beleuchtung gerechnet, nicht kleiner als 17—18 % bei abgeschnittenen Blättern und öfters bis über 20 %, ja sogar 50—60 % bei der am normalsten reagierenden Topfpflanze von Cyperus. Ganz anders verhalten sich die abgetöteten Blätter, wie aus den Tabellen V—VIII zu ersehen ist. Hier hat derselbe Lichtwechsel entweder gar keinen Einfluß auf den Transpirationsgang oder es erfolgen nur unbedeutende Abänderungen. Die Mittelwerte ergeben, daß bei Cyperus und Bromus eine fast völlige Übereinstimmung der Transpiration zu beobachten ist, während bei Libertia eine geringe Steigerung im blauvioletten Lichte bemerkbar ist, was durch eine erhöhte Absorbtion der blauvioletten Strahlen durch diese Pflanze hervorgerufen sein konnte, da ja gerade die Blätter von Libertia die oben erwähnte postmortale Veränderung ihrer Farbe am augenscheinlichsten aufwiesen. Hieraus sehen wir, daß bei Ausschaltung der physiologischen Faktoren durch Sieden der Objekte, was eine gesteigerte Absorbtion des blauvioletten Teiles des Spektrums zur Folge haben könnte, wir dessen ungeachtet keine Transpirationsförderung im Vergleich mit den lebenden Blättern in diesen Strahlen finden, wenn überhaupt von einer erhöhten Transpiration der abgetöteten Objekte in dem blauvioletten Lichte gesprochen werden kann. Alles dieses weist darauf hin, daß der unmittelbare Wärmeeffekt des Lichtes in der Wirkung der verschiedenen Strahlen in quantitativer Hinsicht ein geringer ist, und daß wir genötigt sind, hier eine Mitwirkung der physiologischen Faktoren anzunehmen. Folglich dürfte man sagen, daß der die Transpiration fördernde Einfluß der blauvioletten Strahlen im Vergleiche mit den rotgelben nicht die Folge der stärkeren Absorbtion

Tabelle VIII.

Abgetötete Blätter von Libertia. Spektrum.

I	II	III	IV
39	93	107	14,6—15,0
39		107	
40	94	109	11,7—11,9
40	96		
42	96	102	11,8—12,0
42		103	
43	94	102	13,9—14,2
43		108	
44	100	113	13,8—14,1
46	99	107	13,4—13,6
Mittel	96	106	

Siehe Anmerkung zu Tabelle III.

der Strahlenenergie durch das Chlorophyll ist, wie es Wiesner und andere Autoren behaupten. Die Ursachen der überwiegenden Einwirkung der blauvioletten Strahlen auf die Transpiration hängt eng mit dem lebenden Zustande der Zellen zusammen, denn sogleich nach dem Abtöten ist kein Vorzug der einen Strahlen vor den anderen zu beobachten, obgleich jetzt die Absorbtion der blauvioletten Strahlen eher gesteigert als herabgesetzt wird. Zur Zeit sind wir noch nicht imstande, eine bestimmte Erklärung der Erscheinung zu geben. Dennoch erlauben es die Literaturangaben, einige wahrscheinliche Voraussetzungen zu machen. Und diese könnten sein: die Wirkung der Strahlen verschiedener Wellenlängen wäre abhängig 1. von dem Öffnen der Spaltöffnungen und 2. von der Durchlässigkeit der Plasmahaut. Am einfachsten und am wahrscheinlichsten wäre die Erklärung, daß die Transpiration in den verschiedenen Strahlen von dem ungleichen Verhalten der Spaltöffnungen zu dem Licht abhängig ist. Dieses konnte aber experimentell nicht nachgewiesen werden. Der Einfluß der verschiedenen Teile des Spektrums auf das Spiel der Spaltöffnungen ist von Kohl, Fr. Darwin und Lloyd[1]) studiert worden. Kohls Experimente mit dem Spektrophor haben erwiesen, daß die Spaltöffnungen sich am weitesten öffnen in dem Bezirke der Strahlen zwischen den Absorbtionsbändern B und C; ein zweites, weniger ausgesprochenes Maximum liegt in dem blauen Teile des Spektrums zwischen F und der Grenze der violetten Strahlen. Die gelben, grünen, violetten, infraroten und ultravioletten Strahlen üben überhaupt keinen Einfluß auf die Spaltöffnungen aus. Darwins Versuche, im Spektrum ausgeführt, bestätigen den starken Einfluß des roten Teiles des Spektrums; aber ein zweites Maximum im blauen Teile konnte nicht gefunden werden. Zuletzt arbeitete Lloyd mit Farbenfiltern, von denen der eine mit Bichromatlösung die Strahlen von 540 $\mu\mu$ bis 700 $\mu\mu$, der zweite aber mit Kuprammonium gefüllt die Strahlen von 480 $\mu\mu$ bis 420 $\mu\mu$ durchließen. Die Spaltöffnungen reagierten auf beide Teile des sichtbaren Spektrums; der Einfluß des roten Teiles war jedoch stärker als der des blauen.

Den Wert der angeführten Versuche vermindert der Umstand, daß keiner der Autoren auf den Ausgleich der einfallenden Energie der

1) Kohl, Bot. Beiblatt zur Leopoldina. 1895. Autoref. Bot. Zentralblatt Bd. LXIV, 1895, S. 109.

Fr. Darwin, Phil. Transact. Roy. Soc. B. 1898, 190, p. 531; und Proceedings Roy. Soc. 1898, 63. Auszug der ersten Arbeit.

Lloyd, Carnegie Instit. Washington. Publ. Nr. 82, 1908.

verschiedenen Strahlen acht gegeben hat[1]). Dessen ungeachtet ist es klar, daß ein tiefer Unterschied zwischen der Wirkung des Lichtes verschiedener Wellenlängen auf die Spaltöffnungen einerseits und auf die Transpiration andererseits liegt. In der Tat sehen wir, daß im prismatischen Spektrum, wo ein Überschuß der Energie im rotgelben Teile gegenüber dem blauvioletten zu finden ist, die Transpiration dennoch höher im letzteren ist, wogegen auf die Spaltöffnungen wie auch bei der Photosynthese der erstere einen größeren Einfluß ausübt.

In unserem Falle scheint uns am wahrscheinlichsten die Vermutung, die Tröndle[2]) in seiner Arbeit über den Einfluß des Lichtes auf die Plasmadurchlässigkeit ausgesprochen hat. Bei der Diskussion der von ihm und von Lepeschkin gefundenen Tatsache, daß die Durchlässigkeit des Plasmas unter dem Einflusse des Lichtes gesteigert wird, weist Tröndle unter anderem darauf hin, daß der Einfluß des Lichtes auf die Transpiration außer dem rein physikalischen — durch Erwärmung, durch Öffnen der Spaltöffnungen usw. — auch noch in der Weise sich kundgeben müßte, daß mit der Zunahme der Plasmadurchlässigkeit eine Abnahme des Widerstandes gegen das Durchdringen von Wasser erfolgen müsse. Zwar beziehen sich die Befunde Tröndles nur auf die Durchlässigkeit von gelösten Stoffen, dennoch erlauben die früheren Beobachtungen von Rysselberghe den Schluß zu ziehen, daß die Durchlässigkeit für das Wasser in demselben Maße gesteigert wird. Mit Recht weist Tröndle darauf hin, daß die Steigerung der Transpiration unter dem Einflusse des Lichtes, welche Bonnier und Mangin[3]) nur an lebenden und nicht an toten Pilzen beobachten konnten, nur in dieser Weise erklärbar ist. Auch der von uns beobachtete Einfluß von verschiedenen Strahlen auf die Transpiration der grünen Pflanzen scheint eine ähnliche Erklärung zu erfordern. In der Tat soll bei dem Einflusse des Lichtes die Durchlässigkeit der Plasmahaut eine Rolle spielen, so gewinnt der vorwiegende Einfluß der blauvioletten Strahlen an Klarheit, denn gerade diese Strahlen zeigen die größte Aktivität in all den Prozessen, wo das Licht durch das Plasma einwirkt. Nämlich, es ist bekannt, daß in der Wirkung des Lichtes auf das Wachstum, auf die phototropischen und -taktischen Be-

1) Da das Verhalten der Spaltöffnungen in den verschiedenen Strahlen von größter Bedeutung bei photosynthetischen Versuchen ist, so wäre eine Wiederholung der Versuche der genannten Autoren in obigem Sinne wünschenswert.

2) Tröndle, Jahrb. wiss. Bot. 1910, 48, S. 171.

3) Bonnier et Mangin, Ann. d. sc. Natur. 1884, 17.

wegungen die größte Rolle den blauvioletten Strahlen zukommt, von minderer Bedeutung sind die rotgelben und von ganz geringer die grünen Strahlen. Obgleich es uns noch an direkten Beobachtungen über den Einfluß von verschiedenen Strahlen auf die Durchlässigkeit des Plasmas fehlt, so können wir doch darauf hinweisen, daß z. B. die Variationsbewegungen, die durch eine Veränderung der Plasmadurchlässigkeit verursacht sind, durch die stärker brechbaren Strahlen stärker beeinflußt werden[1]). Hieraus könnte man den Schluß ziehen, daß die blauvioletten Strahlen auch unmittelbar einen fördernden Einfluß auf die Durchlässigkeit ausüben. Angenommen, die Transpiration hänge in großem Maße von der Durchlässigkeit des Plasmas ab, kommen wir hiermit zu der Konsequenz, die Transpiration als einen physiologischen Prozeß anzusehen, welche auf die äußeren Einflüsse in derselben komplizierten Weise reagiert, wie wir es von der Plasmadurchlässigkeit wissen. Den Befunden Tröndles zufolge müssen wir die Wirkung des Lichtes auf die Durchlässigkeit als eine Reizerscheinung betrachten, die denselben Gesetzen folgt, die für die typischen Reizerscheinungen der Tropismen und Taxien bekannt sind. Hieraus folgt, daß auch die Transpiration charakteristische Reizerscheinungen aufzuweisen hätte. Leider hat der Transpirationsprozeß in dieser Hinsicht fast keine Aufmerksamkeit auf sich gezogen, und nur in den Arbeiten von Baranetzky finden wir einigen Hinweis betreffs des Einflusses von Erschütterungen und von Licht. Der Grund hierfür liegt außer in dem Vorurteile gegen eine neue Lehre von den Reizerscheinungen darin, daß neben den rein physiologischen Faktoren jedenfalls eine sehr große Rolle den physikalischen Prozessen, welche die Aufmerksamkeit der Forscher zu allererst auf sich zog und die Heraushebung der physiologischen Seite der Transpiration erschwerte, zukommt. Es wird die Forschung besonders in den Fällen erschwert, wo der gegebene Faktor, wie z. B. das Licht, einen gleichen Einfluß wie auf die physikalische Verdunstung, so auch auf die physiologische Transpiration ausübt, nämlich, in beiden Fällen eine Steigerung hervorrufend. Es soll daher nicht Wunder nehmen, daß der rein physiologische Einfluß des Lichtes auf die Transpiration erst in der letzten Zeit der Forschung unterzogen worden ist.

---

1) Pfeffer, Pflanzenphys., Bd. II, S. 532.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1923

Band/Volume: 116

Autor(en)/Author(s): Iwanoff L. A., Thielmann M.

Artikel/Article: Über den Einfluß des Lichtes verschiedener Wellenlänge auf die Transpiration der Pflanzen 296-311