

Literatur.

1. Schiefferdecker, Paul, Histologie der Schleimhaut der Nase und ihrer Nebenhöhlen. (In: Handb. d. Laryngol. u. Rhinol. von Paul Heymann, Bd. 3, Die Nase, Alfred Hölder, Wien 1900, S. 87—151, m. 12 Fig. i. Text. Als Lieferung erschienen 1896.)
2. Ders., Über Befunde bei Untersuchung der menschlichen Nasenschleimhaut. (Sitzungsber. d. Niederrhein. Ges. f. Natur- u. Heilk. zu Bonn, Med. Sektion, Sitz. 21. Jan. 1896, S. 2—12.)
3. Heymann, Paul, Die Histologie der Schleimhaut des Kehlkopfes und der Luftröhre. (In: Handb. d. Laryngol. u. Rhinol. von Paul Heymann, Bd. 1, Hälfte 1, Kehlkopf und Luftröhre, Alfred Hölder, Wien 1898, S. 134—164, m. 6 Fig. i. Text.)
4. Unna, P. G., Die Sauerstofforte und die Reduktionsorte. Eine histochemische Studie. (Arch. f. mikr. Anat. Bd. 87, Abt. 1, 1915, S. 96—150, mit 6 Taf.)
5. Ders., und Golodetz, L., Neutralviolett extra. (Arch. f. mikr. Anat. Bd. 90, Abt. 1, 1917, S. 69—97, mit 1 Taf.)
6. Heiberg, H., Kortare meddelanden I. Et åbend Saftkanalsystem i Slimhinderne. (Nord. med. Ark. Bd. 4, Nr. 6, 1872, S. 1—6, mit 1 Taf.)
7. Chatellier, H., Canalicules perforants de la membrane basale de la muqueuse nasale hypertrophiée. (Ann. d. malad. d'oreille, du larynx etc. T. 13, 1887, p. 233—239.)
8. Schiefferdecker, Paul, Die Hautdrüsen des Menschen und der Säugtiere, ihre biologische und rassenanatomische Bedeutung sowie die Muscularis sexualis. (Vorläufige Mitteilung.) (Biol. Zentralbl. Bd. 37, 1917, Nr. 11, S. 534—562).

Wirkungen des Lichts auf die Pflanze¹⁾.

Von San.-Rat Dr. Fritz Schanz, Augenarzt in Dresden.

Als Lebensfaktor hat man das Licht sicher von Anbeginn des Lebens an erkannt. Es wirkt auf die lebende Zelle als chemischer Reiz. Wir erkennen dies an den Reaktionen, die es an den lebenden Geweben erzeugt. Die chemischen Veränderungen, die es dabei direkt hervorruft, waren uns bis vor kurzem noch unbekannt. Den ersten Einblick in die Wirkungen des Lichts auf den lebenden Organismus erhielten wir, als Finsen uns zeigte, daß die Veränderungen, die wir bei intensiver Lichteinwirkung auf die Haut beobachten, vor allem von den kurzwelligeren Lichtstrahlen erzeugt werden, die unser Auge als Licht nicht mehr wahrzunehmen vermag, die im Spektrum jenseits von Violett liegen, und die wir deshalb als ultraviolette bezeichnen. Mit solchen Strahlen hat Finsen in der Haut Reaktionen erzeugt, durch die gewisse Krankheitsherde zerstört wurden. Der Umstand, daß mittelst Licht Heilwirkungen zu erzielen waren, veranlaßte die Ärzte, die Wirkungen des Lichtes auf den menschlichen Organismus weiter zu studieren. Ihr Eifer wurde noch erhöht, als sich vor allem durch die Arbeiten von Bernhard²⁾ und Rollier³⁾ zeigte, daß mittelst Licht auch innere Leiden, die der

1) Mit Benützung eines in der naturf. Gesellschaft Isis in Dresden am 29. November 1917 gehaltenen Vortrages: Licht und Leben.

2) Heliotherapie im Hochgebirge, Verlag von Enke in Stuttgart 1912.

3) Korrespondenzblatt Schweizer Ärzte, 1904, Nr. 12.

direkten Bestrahlung gar nicht zugänglich sind, durch Besonnung günstig beeinflusst werden.

Unsere Kenntnisse über die Lichtwirkung auf die lebenden Organismen wurden weiter wesentlich gefördert durch v. Tappeiner⁴⁾ und seine Schüler. Ihnen war aufgefallen, daß Infusorien bei sehr großer Verdünnung gewisser Farbstoffe zugrunde gingen, während sie manchmal bei ungleich höherer Konzentration am Leben blieben. Als Ursache stellte sich heraus, daß dies davon abhängt, ob gleichzeitig Licht auf die Infusorien einwirkt oder nicht. Diese Wirkung, die v. Tappeiner als photodynamische bezeichnete, wurde vom Eosin, Erythrosin und einer großen Anzahl anderer Farbstoffe festgestellt. Die Fluoreszenz solcher Stoffe erschien dabei Bedingung. Auch Toxine, Fermente und ähnliche Stoffe tierischer und pflanzlicher Organismen werden unter gleichen Bedingungen im Licht zerstört, und Zellen höherer Organismen (Flimmerepithel, rote Blutkörperchen) können auf diese Weise schwer geschädigt werden. Auch Warmblüter, selbst Menschen, kann man mit solchen Mitteln hochgradig photosensibel machen und in kurzer Zeit mittelst Licht so schädigen, daß sie unter Erscheinungen von Sonnenstich-Hitzschlag eingehen. Im Dunkeln sind solche Stoffe wirkungslos, sie wirken nur in Gegenwart des Lichtes, sie werden nicht etwa wirksam, weil sich im Licht eine Substanz bildet, die giftig wirkt. Man kann solche Mittel lange belichten, sie werden um nichts giftiger, nur das Zusammentreffen des Lichtes mit dem Farbstoff im Organismus veranlaßt die Schädigung.

Meine Untersuchungen über die Lichtreaktion der Eiweißkörper (Pflüger's Arch. f. Physiol. 1916, Bd. 164) haben die Frage noch weiter geklärt. Ich war zu diesen Untersuchungen veranlaßt durch Arbeiten über die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf das Auge. Unsere Netzhaut vermag diese Strahlen direkt nicht wahrzunehmen. Unter gewissen Umständen aber vermögen sie am Auge schwere Entzündungen auszulösen. Es ist dies der Fall, wenn wir von der Tiefebene ins Hochgebirge kommen, oder wenn wir uns dem Licht intensiver elektrischer Lichtquellen aussetzen. Diese Entzündungen sind als Schneeblindheit und elektrische Ophthalmie bekannt. Sie werden aber nur von den äußeren ultravioletten Strahlen erzeugt. Die inneren ultravioletten Strahlen, die auch das Tageslicht in der Tiefebene noch enthält, sind nicht imstande, solche Entzündungen auszulösen. Die Grenze der inneren und äußeren ultravioletten Strahlen wird man zwischen λ 320 und 300 $\mu\mu$ zu suchen haben. Ich legte mir die Frage vor, wie wirken die inneren ultravioletten Strahlen auf das Auge. Die inneren ultravioletten Strahlen werden von der Augenlinse absorbiert. Dieselbe fluoresziert lebhaft unter deren Einwirkung. Wie kommt es, daß wir mit diesen Strahlen an der Linse keine Reaktionen zu erzeugen vermögen? Wirken diese Strahlen auf die Linse nicht als Reiz, oder vermag die Linse auf diesen Reiz nicht zu reagieren? Das letztere ist der Fall. Die Linse ist nerven- und

4) Strahlentherapie Bd. 2.

gefäßlos. Es fehlt ihr der Apparat, der nötig ist, um eine Reaktion auszulösen. In der Linse finden wir aber eine Veränderung, die im Laufe des Lebens zunimmt und die darin besteht, daß sich auf Kosten der leichtlöslichen Eiweißkörper schwerer lösliche bilden. Diese Veränderung der Eiweißkörper halte ich für die Wirkung, die das Licht direkt an dem Eiweiß erzeugt und die in anderen Geweben die Lichtreaktion auslöst. Da in der Linse jede Reaktion fehlt, die diese Veränderung ausgleicht, so summiert sie sich während des ganzen Lebens und erzeugt mit zunehmendem Alter die Verdichtung des Linsenkerns, die im Alter von 40—50 Jahren am normalen Auge als Altersweitsichtigkeit in Erscheinung tritt. Geht der Prozeß weiter, so kommt es zu Trübungen der Linse, zum Altersstar.

Durch zahlreiche klinische Beobachtungen und experimentell habe ich diese Anschauung stützen können⁵⁾. Ich habe gezeigt, daß wir in Lösungen von Linsen-, Eier- und Serumeiweiß mittelst Licht ganz gesetzmäßig Zustandsänderungen hervorzurufen vermögen: In bis zur Chlorfreiheit dialysierten Eiweißlösungen werden durch Licht die leichtlöslichen Eiweiße in schwerer lösliche übergeführt, und es gibt zahlreiche Stoffe, welche diesen Prozeß in positivem und negativem Sinne beeinflussen. Man erkennt dies, wenn man solche Lösungen nach verschieden langer Belichtung mittelst der Ammoniumsulfat- und Kochsalz-Essigsäureprobe zur Ausflockung bringt. Je länger die Proben belichtet werden, desto rascher tritt dabei die Zustandsänderung ein.

Auf Fig. 1 sind sieben Röhrchen abgebildet, die mit derselben Menge dialysiertem Eiweiß gefüllt und in Quarzröhrchen

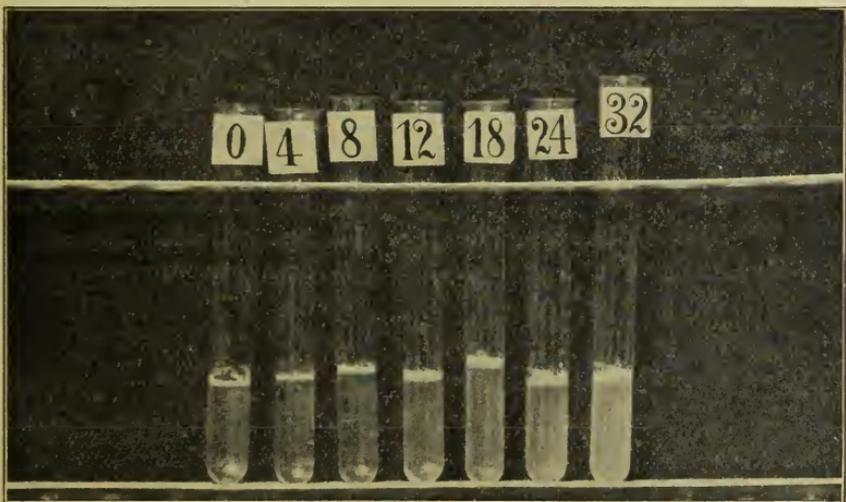


Fig. 1. Dialysiertes Eiweiß, Ammoniumsulfat-Reaktion.

5) Wirkungen der kurzwelligen, nicht direkt sichtbaren Lichtstrahlen auf das Auge. Strahlentherapie Bd. VI, Wirkungen des Lichtes auf die lebende Zelle,

dem Lichte der Quarzlampe ausgesetzt waren. Die Zahlen an dem Röhrchen bezeichnen die Belichtungsstunden. Nach beendeter Belichtung wurden die Röhrchen in den Eisschrank dunkel gestellt. Am Ende des Versuches wurde den Röhrchen allmählich gleichmäßig ansteigend gesättigte Ammoniumsulfatlösung zugesetzt. Dabei zeigte sich, daß entsprechend der Dauer der Belichtung, die mit Ammoniumsulfat ausfällbare Substanz, die wir als Globuline bezeichnen, sich vermehrt hatte.

In Fig. 2 zeigt sich die entgegengesetzte Zustandsänderung. Es handelt sich um dasselbe Eiweiß, nur waren zu 15 ccm Eiweiß 5 ccm $\frac{1}{4}$ %ige Kalilauge zugesetzt. Hier hatte sich also die mit Ammoniumsulfat ausfällbare Substanz, entsprechend der Belichtungszeit, vermindert.

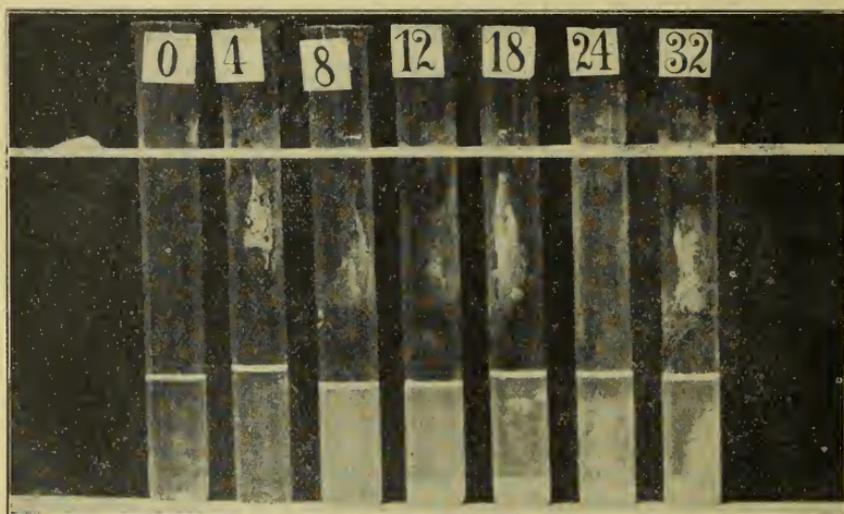


Fig. 2. Dialysiertes Eiweiß, 2 % Kochsalz, $\frac{1}{4}$ % Kalilauge, Ammoniumsulfat-Reaktion.

Mit der Kochsalz-Essigsäureprobe waren dieselben Veränderungen festzustellen.

In Fig. 3 waren zu 15 ccm von derselben Eiweißlösung 5 ccm $\frac{1}{4}$ %ige Milchsäure zugesetzt. Ohne Anwendung eines Reagenz konnte man mit bloßem Auge die Ausflockung mit zunehmender Belichtung beobachten.

Setzt man fluoreszierende Farbstoffe, wie sie v. Tappeiner bei seinen Versuchen verwandt hat, der Eiweißlösung zu, so vermag man die Zustandsänderung an den Eiweißlösungen zu steigern. Als solche Stoffe habe ich verwandt: Eosin, Fluorescin, Haemato-

Münch. medicin. Wochenschr. 1915, Nr. 19. Die Wirkungen des Lichtes auf die lebende Substanz, Pflüger's Arch. f. Physiologie, Bd. 161. Über die Beziehungen des Lebens zum Licht. Münch. medicin. Wochenschr. 1915, Nr. 39. Wirkungen des Lichtes auf die lebenden Organismen. Biochem. Zeitschr. Bd. 71. Die Lichtreaktion der Eiweißkörper. Pflüger's Arch. f. Physiologie, Bd. 164.

porphyrin und Chlorophyll. Aber auch farblose Stoffe vermögen diese Zustandsänderung in den Eiweißlösungen zu beeinflussen.

Woran mag dies liegen? Zuerst galt es festzustellen, welche Lichtstrahlen es sind, die an dem dialysierten Eiweiß die Veränderung bewirken. Diese Eiweißlösungen waren klar, sie zeigten einen leicht gelben Ton. Von sichtbaren Strahlen absorbierten sie also nur wenig in blau und violett. Die hierbei besonders wirksamen Strahlen müssen daher in den unsichtbaren Strahlungsgebieten gesucht werden. Deshalb habe ich die Eiweißlösungen auf ihr Lichtabsorptionsvermögen mittelst eines Quarzspektrographen geprüft.

Fig. 4 zeigt solche Spektren. Die oberste Aufnahme ist das Spektrum der offenen Bogenlampe, mit der die Untersuchung ausgeführt wurde. Bei den vier folgenden Spektren war eine 10 mm dicke Eiweißlösung in einem Quarztrog in den Strahlengang eingeschaltet. Die Untersuchung lehrt, daß die Eiweißlösungen, die,

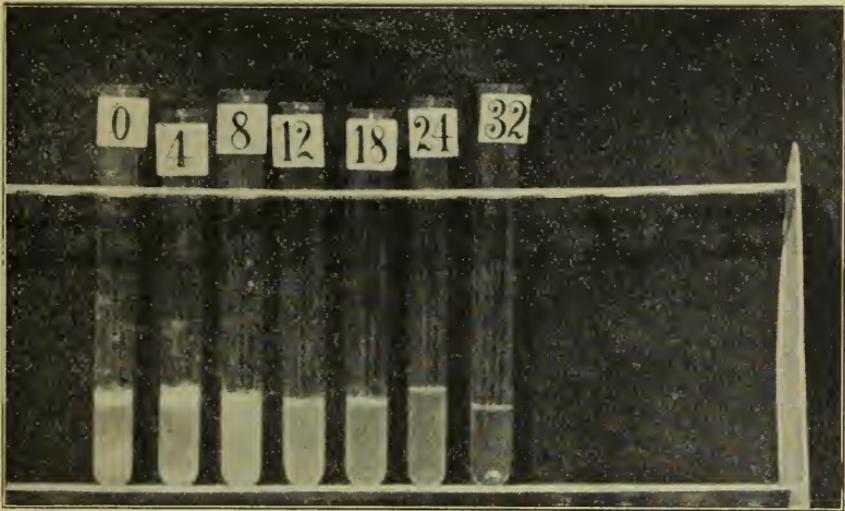


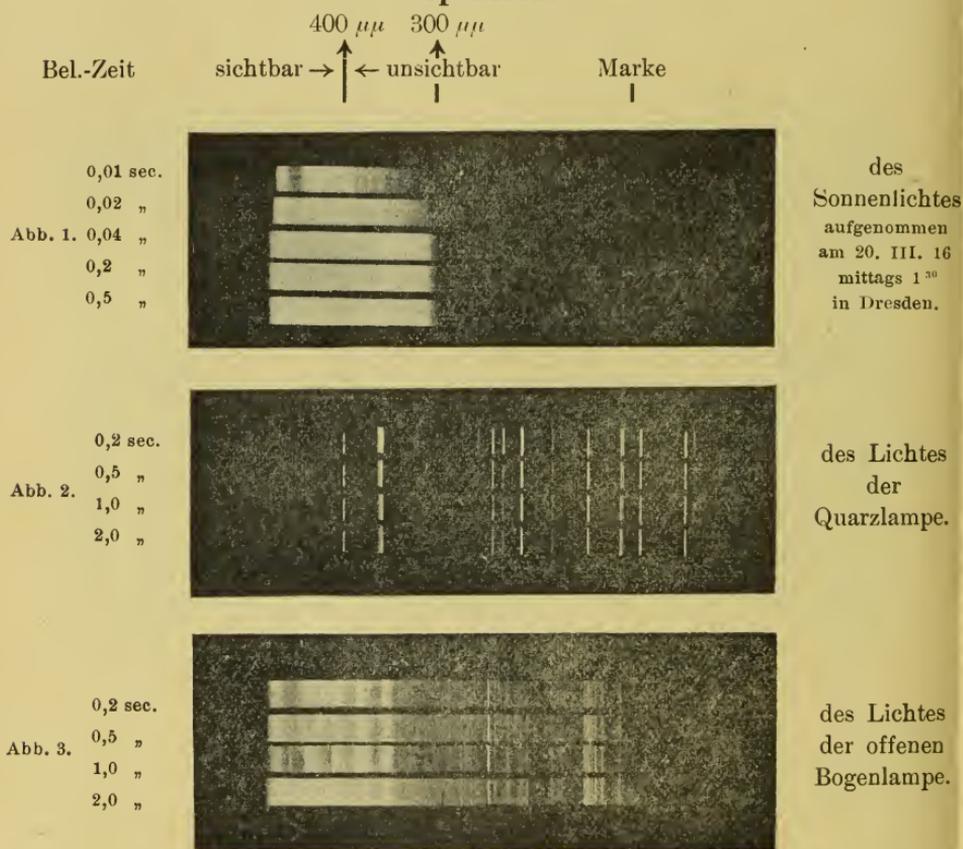
Fig. 3. Dialysiertes Eiweiß, 2 % Kochsalz, $\frac{1}{10}$ % Milchsäure.

wie ihre gelbliche Farbe erkennen läßt, in blau und violett anfangen zu absorbieren, ganz besonders stark das ultraviolette Licht verschlucken. Daher müssen wir auf diese Strahlen die Zustandsänderungen beziehen, die wir an den Eiweißlösungen bei intensiver Belichtung beobachten. Setzen wir den Eiweißlösungen Farbstoffe zu, so erhalten wir Farbstoffeiweiße. Aus der Histologie wissen wir, wie innige Beziehungen zwischen den Farbstoffen und den Eiweißkörpern bestehen. Diese Farbstoffeiweiße müssen mehr Licht absorbieren als die gewöhnlichen Eiweiße. Zu dem Licht, das sie sonst absorbieren, kommen noch die Strahlen, die zu ihrer Farbe komplementär sind. Diese Farbstoffe machen also das Eiweiß empfindlich für Strahlen, die sonst nicht auf dasselbe einwirken. Man wird sie mit Recht als Sensibilisatoren bezeichnen.

Wie verhält es sich nun mit den farblosen Stoffen, die auch die Lichtreaktion der Eiweißkörper beeinflussen? Auch diese habe

ich mittelst des Quarzspektrographen auf ihr Lichtabsorptionsvermögen untersucht. Von diesen Stoffen beeinflussen diejenigen am stärksten die Lichtreaktion der Eiweißkörper, die im Ultraviolett am stärksten absorbieren. In meiner Arbeit: Biochemische Wirkungen des Lichtes, die in Pflüger's Archiv Bd. 170 erscheinen wird, habe ich eine Anzahl solcher Spektren zur Abbildung gebracht. Bei diesen Stoffen fällt also der Absorptionsbereich mit dem der Eiweißlösung zusammen. Man wird hier nicht von einer Sensibilisation sprechen können, am besten bezeichnet man diese Stoffe wohl als Photokatalysatoren.

Spektren.



Figur 4.

In jener Arbeit habe ich noch zu zeigen versucht, daß wahrscheinlich alle organischen Substanzen durch das Licht, das sie absorbieren, auch verändert werden. Ich konnte zeigen, daß man organische Substanzen mittelst Licht bis auf ihre Elemente und Radikale zerlegen kann. Bei farblosen Substanzen liegt der Wirkungsbereich des Lichtes im Ultraviolett und bei den Stoffen, die im Tageslicht beständig erscheinen, im äußeren Ultraviolett. Je kurzwelliger die Strahlen, um so mehr sind sie imstande, das Gefüge der Moleküle zu zersprengen.

Die hier geschilderten Untersuchungen über die Wirkungen des Lichtes auf die lebenden Organismen und auf die lebende Substanz sind ausgeführt worden, um die Wirkungen des Lichtes auf den Menschen zu studieren. Viel augenfälliger als beim Menschen und Tier sind die Wirkungen des Lichtes auf die Pflanze. Wenn die hier dargelegten Anschauungen richtige sind, so müssen wir bei der Pflanze analoge Wirkungen finden. Ich hielt es deshalb für geraten, einmal zu prüfen, ob wir bei der Pflanze nicht wesensgleiche Prozesse finden. Bei der Pflanze sehen wir die Wirkung des Lichtes am augenfälligsten beim Assimilationsprozeß. Das Chlorophyllkorn ist der Träger des Assimilationsvorganges. Dieses besteht aus dem Chlorophyll und dem farblosen Struma, dem Chromoplasten. Das erstere ist ein fluoreszierender Farbstoff, das letztere ist Eiweiß, von dem wir jetzt annehmen müssen, daß es wie andere Eiweiße für die kurzwelligen Lichtstrahlen empfindlich ist. Timiriazeff und Engelmann⁶⁾ hatten angenommen, daß das Chlorophyll auf das farblose Struma des Chlorophyllkorns als Sensibilisator wirkt. Da es ihnen aber nicht möglich war, den Nachweis zu bringen, daß das Struma an sich lichtempfindlich ist, so wurde ihnen von Jost und Hausmann⁷⁾ widersprochen. Diese waren der Ansicht, daß es sich um eine photodynamische Wirkung im Sinne v. Tappeiner's handelt, daß dabei das Chlorophyll allein als Energieüberträger wirkt. „Ein anderes lichtempfindliches Substrat ist nicht nötig und in der Tat auch nicht vorhanden“, sagt Hausmann. Meine Untersuchungen haben gezeigt, daß ein zweites Substrat vorhanden ist, von dem wir annehmen müssen, daß es lichtempfindlich ist. Die Ansicht von Timiriazeff und Engelmann besteht daher zu Recht. Das Eiweiß des Chlorophyllkorns muß jetzt für lichtempfindlich gehalten werden, und durch das Chlorophyll wird es für die Strahlen sensibilisiert, für welche es an sich nicht empfindlich ist.

In der Pflanzenzelle ist aber das Chlorophyll nicht der einzige Stoff, der die Wirkung des Lichtes auf das Chlorophyllkorn beeinflusst. Der Zellsaft durchdringt das Chlorophyllkorn und führt ihm Stoffe zu, deren es beim Assimilationsprozeß bedarf. Unter diesen Stoffen befinden sich solche, die die Lichtreaktion nach der Art der Katalysatoren beeinflussen. So wirken die organischen Säuren, von denen ich eine größere Anzahl geprüft habe, als ausgesprochene positive Katalysatoren.

Solche Katalysatoren sind nicht nur Stoffe, die die Pflanze selbst bildet, auch Stoffe, die ihr von der Wurzel her zugeführt werden, wirken auf diesen Prozeß. Wir können daher endogene und exogene Photokatalysatoren unterscheiden. Je nach dem Zusammentreffen dieser Stoffe im Chlorophyllkorn werden wir bei den Veränderungen, die das Licht an demselben erzeugt, verschiedenartige Stoffe entstehen sehen. Diese Stoffe werden mehr oder

6) Farbe und Assimilation. Bot. Zeitung, 1883, 20.

7) Die photodynamische Wirkung des Chlorophylls und ihre Beziehung zur photosynthetischen Assimilation der Pflanze. Biochem. Zeitschr. Bd. XII, S. 330.

weniger für den Organismus eigentümlich sein. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß auch dem Licht verschiedener Wellenlänge verschiedene Wirkung zukommen kann. In den bunten Blütenblättern werden andere Strahlen wirksam als in den Laubblättern. Das kann in den Blüten zur Bildung besonderer Stoffe führen, die in der Fruchtanlage aufgespeichert und mit dem Samen in den neuen Organismus übertragen werden.

Bis jetzt war man der Ansicht, daß die bunten Farben der Blüten den Zweck hätten, den Insekten ihre Nahrung zu zeigen.

„Bienen und Blumen! Für den Wissenden liegt ein eigener Reiz in dieser kurzen Zusammenstellung, in der Zusammengehörigkeit der beiden Begriffe. Das weite, schimmernde, farbenprächtige Blütenmeer und die auf seinen Besuch angewiesene Insektenwelt, beides in gegenseitiger Anpassung im Laufe großer Zeiträume entwickelt und zu immer größerer Vollkommenheit herangereift!“ schreibt noch 1915 v. Buttler-Reepen in Nr. 7 der Naturwissenschaften. Diese Anschauung, soweit sie sich auf die Färbung der Blüten bezieht, ist irrig. Man sieht, wissenschaftlicher Fortschritt vermag recht grausam zu sein. v. Heß hat bewiesen, daß die Insekten, auch die Bienen, farbenblind sind. v. Frisch hat zwar v. Heß gegenüber zu beweisen versucht, daß die Bienen doch einen gewissen Grad von Farbenunterscheidungsvermögen besitzen, es ähnele dem eines rotgrün-blinden Menschen. Auch diese Feststellung genügt, um zu beweisen, daß das weite, schimmernde, farbenprächtige Blütenmeer und die auf seinen Besuch angewiesene Insektenwelt sich nicht in gegenseitiger Anpassung entwickelt haben. Die Buntheit der Blumen kann durch die Insekten nicht erzeugt sein, ganz gleich, ob dieselben total farbenblind oder rotgrün-blind sind. Die Zoologen und Botaniker können sich schwer von so lieb gewonnenen, tief eingepprägten Anschauungen trennen. Das zeigen die vielen Publikationen, die jetzt erscheinen und in denen die Verfasser glauben, mit dem Nachweis, daß die Bienen doch ein gewisses Farbenunterscheidungsvermögen besitzen, ihre lieb gewordene Anschauung gerettet zu haben. Wie ein rotgrün-blinder Maler aus sich heraus nicht imstande ist, die Farbenpracht der Blüten zu malen, wie ein rotgrün-blinder Gärtner nicht imstande ist, die Farbenpracht der Blüten zu züchten, ebenso sind die rotgrün-blinden Bienen und Insekten nicht imstande, auch nicht im Laufe großer Zeiträume, die Farbenpracht der Blumen zu erzeugen.

Wir müssen uns, auch wenn die Feststellungen von v. Frisch zutreffend sein sollten, nach einer anderen Erklärung für die Bedeutung der Blütenfarben umsehen. Meiner Ansicht nach sind die Blütenfarben Sensibilisatoren, wie das Chlorophyll in den Laubblättern. Sie treffen eine andere Auswahl unter den Lichtstrahlen. Es werden entsprechend den verschiedenen Lichtstrahlen besondere Stoffe gebildet, diese werden in der Fruchtanlage aufgespeichert und mit dem Samen in das neue Individuum übertragen. Bei dieser Auffassung der Blütenfarben als Sensibilisatoren erhalten dieselbe für die Pflanze hohe Bedeutung.

Durch zahlreiche Untersuchungen ist bekannt, daß die Assimilation, vor allem von den langwelligen Strahlen des sichtbaren Spektrums bewirkt wird. Es sind also die Strahlen, für die das Eiweiß an sich nicht empfindlich ist, für die es erst durch das Chlorophyll sensibilisiert wird. Die kurzwelligen Strahlen, obgleich sie sonst chemisch von hoher Wirkung sind, scheinen an diesem Prozeß wenig beteiligt zu sein. Ich legte mir daher die Frage vor, wie kommt es, daß die kurzwelligen, vor allem die ultravioletten Strahlen beim Assimilationsvorgang so wenig wirksam sind. Um mir hierüber ein Urteil zu bilden, habe ich Pflanzen das kurzwellige Licht entzogen und diese mit gleichen Pflanzen verglichen, auf die das volle Tageslicht einzuwirken vermochte. Möglichst gleich große Stecklinge derselben Pflanze wurden in Blumentöpfen in die gleiche Gartenerde gepflanzt. Die erste Pflanze wuchs frei, um die zweite wurde eine größere Glasglocke aus Euphosglas gestellt. Dieses Glas ist gelbgrün, es fängt in blau und violett an zu absorbieren und absorbiert das Ultraviolett vollständig. Um die dritte Pflanze wurde eine Glasglocke aus farblosem, gewöhnlichem Glas gestellt. Auch dieses Glas absorbiert vom Tageslicht einen Teil Ultraviolett. Die Glasglocken hatten oben eine Öffnung, über die wieder ein Stück von demselben Glas so gelegt war, daß wohl Luft, aber kein Himmelslicht direkt zu den Pflanzen gelangen konnte. Die Pflanzen wurden nebeneinander aufgestellt und mit abgemessenen Wassermengen begossen. Fig. 5 zeigt einen solchen Versuch.

Die erste dieser Pflanzen ist frei gewachsen, der zweiten waren durch ein Euphosglas alle ultravioletten, der dritten durch gewöhnliches Glas ein Teil der ultravioletten Strahlen entzogen. Die Versuche sind mit verschiedenen Pflanzen mehrere Jahre hintereinander mit demselben Ergebnis wiederholt worden. Die frei wachsenden Pflanzen zeigten nichts Auffälliges, die unter dem Euphosglas gewachsenen waren viel größer, sie erinnerten in ihrer Gestalt etwas an etiolierte, nur waren sie ergrünt. Auch die unter gewöhnlichem Glas gezüchteten waren größer als die frei gewachsenen. Die äußeren Bedingungen, unter denen die Pflanzen aufgewachsen waren, waren gleiche bis auf die Zirkulation der Luft, die natürlich bei den in den Glasglocken gezogenen Pflanzen eine geringere und mit der auch eine gewisse Temperatursteigerung verbunden war. Dieser Unterschied bestand aber nicht zwischen den unter Euphosglas und gewöhnlichem Glas gezüchteten Pflanzen, die auch deutliche Unterschiede im Längenwachstum zeigten. Der Unterschied in der Gestaltung der Pflanzen muß daher in der Verminderung der Lichtzufuhr gesucht werden. Durch die Euphosglasglocke und die Glocke aus gewöhnlichem Glas war das Ultraviolett den Pflanzen vorenthalten worden. Das ergab sich auch daraus, daß der Aschenrückstand bei den unter dem Euphosglas gezüchteten Pflanzen am geringsten war. Die kurzwelligen, vor allem die ultravioletten Strahlen, beeinflussen die Gestaltung der Pflanze.

Daß die Bewegungsvorgänge bei den Pflanzen vor allem auf die kurzwelligen Strahlen zu beziehen sind, ist bekannt, ebenso

daß die Assimilation vor allem von den langwelligeren Lichtstrahlen besorgt wird. Eine Erklärung, warum der einen Strahlenart diese, den anderen jene Wirkung zukommt, konnte ich in der mir zugängigen Literatur nicht finden. Ich meine aber, sie aus den physiologischen Untersuchungen am Tier und Menschen geben zu können.

Den Strahlen verschiedener Wellenlänge kommt eine ganz verschiedene Tiefenwirkung zu. Je kurzwelliger die Strahlen, desto weniger tief vermögen sie in die Gewebe einzudringen. Lassen wir z. B. auf die Hornhaut des Auges das Licht einer Quarzlampe einwirken, so sehen wir während der Belichtung keine Veränderung, erst nach einer mehrstündigen Latenzzeit beginnt die Reaktion. Es kommt zur Zerstörung nur der allerobersten Schicht, ganz gleich ob wir fünf Minuten oder eine Stunde belichtet haben. In den allerobersten Schichten bleiben die Strahlen, die diese Wirkung



Figur 5.

erzeugen, stecken. Die Epidermis der Blätter ist derber als das Epithel unserer Hornhaut, sie wird bis zu viel größeren Wellenlängen das kurzwellige Licht verschlucken. Diese Strahlen gelangen auch bei langanhaltender Belichtung nicht oder nur in geringem Maße zu den Chlorophyllkörnern der Pflanzen, sie können daher auf die Assimilation nur geringen Einfluß haben; ihre Wirkungen müssen sich aber in der Epidermis bemerkbar machen. Die Unterschiede in den Licht- und Schattenblättern, die Sonnenstellung der Blätter, wie die übrigen Erscheinungen des Heliotropismus dürften als Wirkungen dieser Strahlen anzusehen sein. Zur Deutung meines oben geschilderten Versuches reichten mir aber diese Erscheinungen nicht aus. Lange habe ich weiter in der Natur gesucht, um Erscheinungen zu finden, die sich aus obigen Versuchen erklären. Botanikern, Förstern, Landwirten habe ich dieselben gezeigt. Von keiner Seite erhielt ich eine befriedigende Erklärung, und so blieben

sie lange unveröffentlicht liegen, bis mir voriges Jahr ein einziger Blick meiner Überzeugung nach die richtige Deutung gab.

Am Fuße eines Denkmals im Isergebirge hatte ein Naturfreund Edelweisse angepflanzt. Durch die Verpflanzung aus dem Hochgebirge in das Mittelgebirge hatten diese Pflanzen eine Gestalt angenommen, die in allem der Gestaltung der Pflanzen glich, denen ich durch Euphosglas das ultraviolette Licht entzogen hatte. Das Sonnenlicht, das vom Hochgebirge zum Mittelgebirge vordringt, verliert auf diesem Wege viel an ultravioletten Strahlen. Bei der Verpflanzung aus dem Hochgebirge in das Mittelgebirge wird der Lichtgenuß der Pflanzen in derselben Weise beeinflußt wie bei meinem Versuch. In der Natur waren es Edelweisse, die bei dem Entzug von ultraviolettem Licht die Gestaltsveränderung zeigten, ich hatte bei gleichartigen Veränderungen des Lichtes dieselben Gestaltsveränderungen bei Begonien, Reseda, Erbsen und Bohnen beobachtet.

Um diese Verhältnisse richtig beurteilen zu können, müssen wir uns klar werden, wie das Licht, vor allem die unsichtbaren ultravioletten Strahlen in der Atmosphäre verteilt sind. Über den Gehalt des Tageslichtes an ultravioletten Strahlen haben wir keine rechte Vorstellung. Zerlegen wir das Tageslicht mit einem Prisma, so sehen wir, daß bei λ 400 $\mu\mu$ die Sichtbarkeit des Lichtes aufhört. Jenseits dieser Grenze gibt es noch Strahlen, die sich durch ihre chemische Wirkung auszeichnen. Photographieren wir das Spektrum, so sehen wir, daß es noch erheblich weiter reicht als wir es sehen, aber ein richtiges Bild erhalten wir nicht, da Glas je nach Zusammensetzung und Dicke erheblich im Ultraviolett absorbiert. Verwenden wir einen Spektrographen mit Quarzoptik, so erscheinen die Spektren wesentlich länger. Das Sonnenlichtspektrum reicht günstigstenfalls bis λ 291 $\mu\mu$. Bei Ballonhochfahrten hat man diese Ausdehnung des Spektrums festgestellt. Aber auch bei uns konnte man bei besonders günstigen Luftverhältnissen Strahlen von dieser Wellenlänge noch ermitteln. Die Intensität dieser Strahlen ist aber in den verschiedenen Höhen und zu den verschiedenen Jahreszeiten sehr verschieden. Wenn das direkte Licht der Sonne durch die Atmosphäre dringt, erleidet es durch Beugung, Reflektion und Brechung erhebliche Verluste, und diese Verluste sind um so größer, je kürzer die Wellenlänge. So wächst die Diffusion an den kleinsten Teilchen umgekehrt proportional zur vierten Potenz der Wellenlänge. Setzt man das Licht von λ 800 $\mu\mu = 1$, so wird das violette Licht λ 400 $\mu\mu$ 16mal stärker, das ultraviolette von λ 320 $\mu\mu$, das in der Tiefebene im Tageslicht noch in erheblicher Menge enthalten ist, etwa 40mal stärker diffundiert. Auf der erhöhten Diffusion des kurzwelligen Lichtes beruht die blaue Farbe des Himmels, die Strahlen, die auf dem Weg durch die Atmosphäre vom direkten Sonnenlicht abgesplittert werden, kommen dem diffusen Himmelslicht zugute. Wir erkennen dies auch schon daran, daß die Schatten im Hochgebirge schwärzer erscheinen als in der Tiefebene. Bei dieser eigentüm-

lichen Verteilung des Lichtes in der Atmosphäre geht aber auch ein großer Teil vor allem an kurzwelligem Strahlen verloren, bevor das Licht in die Tiefebene gelangt. Daß wir aber auch hier noch viel ultraviolette Strahlen im Tageslicht haben, lehren die Spektren, die ich zu Frühjahrsbeginn in Dresden mit einem Quarzspektrographen aufgenommen habe. Die Hälfte der in Fig. 4 abgebildeten, auf einer orthochromatischen Platte aufgenommenen Spektren wird von Strahlen erzeugt, die unser Auge nicht wahrzunehmen vermag. Im Sommer wächst die Intensität der ultravioletten Strahlen in viel stärkerem Maße als die der sichtbaren, das Spektrum erscheint dann auch länger. Bei meinen Aufnahmen war das Ende des Spektrums von so geringer Intensität, daß es bei der gewählten Expositionszeit noch nicht zur Geltung kam.

Den Verlust, den das Tageslicht bei seinem Durchgang durch die Atmosphäre erleidet, können wir leider noch nicht messen. Unsere Apparate sind dazu noch zu unvollkommen. Den besten Apparat tragen wir bei uns. Es ist dies unsere Haut. Wenn wir aus der Tiefebene in das Hochgebirge kommen, so sehen wir, wie dieser Apparat in kurzer Zeit auf diesen Zuwachs von unsichtbaren Strahlen lebhaft reagiert. Wenige Stunden genügen, um an ihm die lebhaftesten Reaktionen auszulösen. Wir sehen sie an den Erscheinungen des Gletscherbrandes und an der Schneeblindheit. Wenn wir jetzt unsere Kranken in Höhen von über 1000 m dem Sonnenlicht aussetzen, so wissen wir, daß auch dann, wenn keine so heftigen Entzündungen mehr auftreten, im Licht noch reichlich Strahlen vorhanden sind, die heilend wirken. Und wenn wir zur Erholung auch nur in unsere Mittelgebirge gehen, so fühlen wir, daß uns im Licht auch dort noch ein mächtiger Energiefaktor zugeführt wird, der uns in der Ebene fehlt. Schreiten wir von der Vegetationsgrenze zur Tiefebene, so vermindert sich die Intensität des sichtbaren, aber noch in viel höherem Grade diejenige des ultravioletten Lichtes. Wir haben im ultravioletten Licht in der Natur einen mächtigen Energiefaktor, der zweifellos auch auf die Pflanzen einwirkt und der von der Höhe nach der Tiefebene hin sehr viel an Intensität einbüßt. Wie tritt dies bei der Vegetation in Erscheinung? Mein Versuch hat gezeigt, daß sich die Gestaltung der Pflanzen verändert, wenn wir denselben das kurzwellige Licht entziehen. Das Edelweiß, das ein Naturfreund vom Hochgebirge in das Isergebirge versetzt hatte, zeigte dieselbe Veränderung. Von Sträuchern, die in Pflanzengärten im Erzgebirge gezogen und mit gleichem Boden in das Tal versetzt wurden, weiß ich, aus einer Mitteilung von Prof. Neger in Tharandt, daß sie längere Triebe zeigten. Ich stehe nicht an, diese Erscheinungen zu verallgemeinern. Im Hochgebirge haben wir eine niedrige Vegetation von besonders kräftigem Wuchs. Diese Wuchsform ist bedingt durch die großen Mengen des kurzwelligen Lichtes, das dort auf die Pflanzen einwirkt. Je mehr sich dieser Reiz nach der Tiefebene zu vermindert, desto mehr steigert sich das Längenwachstum der Pflanzen. Daß andere

Einflüsse, wie Temperatur, Feuchtigkeit, Luftbewegung mitwirken, soll nicht bestritten werden, doch ist meiner Ansicht nach das Licht dabei ein so mächtiger Faktor, daß er die anderen an Bedeutung weit übertrifft.

In der botanischen Literatur sind eine ganze Anzahl Arbeiten mitgeteilt, in denen man die Wirkungen der ultravioletten Strahlen auf die Pflanzen untersucht hat. Viele Arbeiten lassen erkennen, daß man den Gehalt des Tageslichts an ultravioletten Strahlen nicht kennt. Das Spektrum des Sonnenlichtes (Fig. 4) reicht günstigstenfalls bis λ 291 $\mu\mu$. Auf dem Monte Rosa, bei Ballonhochfahrten bis 8000 m hat man fast die gleiche Ausdehnung des Sonnenlichtspektrums gefunden. Auch in der Tiefebene, so in Potsdam, Kairo, Assuan, Südafrika, hat man bei günstigsten Luftverhältnissen noch Strahlen bis λ 291 $\mu\mu$ feststellen können. Das Spektrum des Lichtes der Quarzlampe und der offenen Bogenlampe reicht viel weiter, man kann in diesen noch Strahlen bis λ 200 $\mu\mu$ leicht feststellen. Daß das Sonnenlichtspektrum gegenüber den Spektren irdischer Lichtquellen verkürzt erscheint, dürfte daran liegen, daß der glühende Sonnenball mit einem Dunstkreis umgeben ist, der Licht von weniger als λ 291 $\mu\mu$ nicht hindurchläßt. Wenn auch die Ausdehnung des Sonnenlichtspektrums in den verschiedenen Höhen nicht wesentlich verschieden ist, so nimmt doch die Intensität des Lichtes gegen das kurzwellige Ende nach der Tiefebene zu sehr erheblich ab. Fig. 4 Abb. 1 zeigt Sonnenlichtspektren, die auf orthochromatischen Platten mittelst eines Quarzspektrographen in Dresden am 20. März 1916 nachmittags 1 Uhr 30 Min. aufgenommen worden sind. Die Abb. 2 und 3 sind mit demselben Apparat bei gleicher Einstellung angefertigt worden. Die Sonnenlichtspektren reichen bis etwa λ 320 $\mu\mu$. Kürzere Strahlen haben bei den angegebenen Expositionszeiten keinen Eindruck erzeugt. Im Sommer würden diese Spektren bei gleichen Aufnahmebedingungen bis etwa λ 300 $\mu\mu$ reichen. Wenn auch unter besonders günstigen Umständen und langer Exposition noch Strahlen bis λ 291 $\mu\mu$ im Tageslicht zu ermitteln sind, so dürften diesen Strahlen wohl keine biologischen Wirkungen zukommen.

Bei den botanischen Versuchen über die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf die Pflanze hat man meist das Licht der Quarzlampe und der offenen Bogenlampe verwandt und dabei nicht beachtet, daß man damit ein Licht verwendet, von dem ein großer Teil der Strahlen gar nicht im Tageslicht enthalten ist. So berichtet J. Schulze über die Einwirkung der Lichtstrahlen von λ 280 $\mu\mu$ auf die Pflanzenzelle ohne zu wissen, daß solche Strahlen im Tageslicht nicht vorkommen. Ursprung und Blum veröffentlichten in den Berichten der Deutschen Botanischen Gesellschaft 1917 Untersuchungen über die Schädlichkeit der ultravioletten Strahlen, Nur bei dem ersten Teil ihrer Versuche hatten sie zwischen Quarzlampe und Pflanze ein dünnes Glas eingeschaltet. Nur in diesem Fall hatten sie Licht, das in der Ausdehnung des Spektrums dem des Tageslichtes etwa gleicht. In den folgenden Versuchen haben

sie das Glas weggelassen. Damit sind in diesen Versuchen Strahlen zur Wirkung gelangt, die für biologische Vorgänge bei der Pflanze in der Natur nicht in Frage kommen. Das Ultraviolett im Tageslicht reicht in Intensitäten die für biologische Wirkungen in Frage kommen, von λ 400 $\mu\mu$ bis etwa λ 295 $\mu\mu$. Innerhalb dieser Grenzen nimmt seine Intensität beim Durchgang durch die Atmosphäre beständig, aber ungleich ab und zwar das äußere Ende mehr als das innere. Diese Intensitätsabnahme muß in der Vegetation ihren Ausdruck finden. Ich glaube, daß mein Versuch dafür die Deutung gibt. Die ultraviolette Strahlung schwankt auch im Laufe des Jahres in viel höherem Maße als die sichtbare Strahlung. Auch diese Schwankung muß in der Vegetation Ausdruck finden, und ich möchte nicht unterlassen, auch hierauf die Aufmerksamkeit zu lenken. Mit Arbeiten, bei denen man Licht von weniger als λ 300 $\mu\mu$ zu den Versuchen verwandt, können wir derartige biologische Vorgänge in der Natur nicht erklären.

Die Abhängigkeit des Vogelzugs von der Witterung.

Von K. Bretscher, Zürich.

Der Zusammenhang des Vogelzuges mit den äußeren Verhältnissen, also mit Wind und Wetter ist schon vielfach erörtert worden, ohne daß es bis jetzt gelungen wäre, die Frage endgültig zu lösen. Im Gegenteil: bald wird der Temperatur, bald dem Wind, bald der Lage der Depressionen eine größere Bedeutung zugeschrieben je nach der Untersuchungsmethode, nach dem vorliegenden Material und wohl auch je nach dem Standpunkt des Verfassers. Die Rücksicht auf die Knappheit des Papiermarktes möge als Entschuldigung dafür gelten, daß diese Behauptungen nicht weiter belegt werden.

In zwei früheren Arbeiten: „Der Vogelzug im Schweizerischen Mittelland in seinem Zusammenhang mit den Witterungsverhältnissen“ (Neue Denkschr. Schweiz. Naturf.-Ges. Bd. 51, 1915) und „Vergleichende Untersuchungen über den Frühjahrszug der Vögel“ (Biolog. Zentralbl. Bd. 36, 1916) bin ich dazu geführt worden, den Witterungseinflüssen einen großen Einfluß auf die Zugerscheinung abzusprechen, ein Standpunkt, früher auch schon vertreten, wenn sie als Betätigung des Instinktens aufgefaßt wurde, der aber nicht recht in die heute gewöhnliche Auffassung der Naturgeschehnisse hineinpassen will.

Dazu kam ich durch die Prüfung der Wind- und Niederschlagsverhältnisse an den Zugstagen, ferner durch das Studium der Lage der Depressionen und namentlich der jeweiligen Temperaturbedingungen in der Schweiz und in Elsaß-Lothringen. Für beide

Nachtrag zu: E. Wasmann, Zur Lebensweise von *Pseudacteon formicarum*

(Nr. 8, S. 317—329).

Nachdem meine Abhandlung bereits gedruckt war, erhielt ich von P. Herm. Schmitz dessen Arbeit „Die Phoriden von Holländisch Limburg“ (Jaarb. Natuurhist. Genootsch. Limburg 1917, p. 79—150) zugesandt. Auf S. 124 erwähnt er das häufige Vorkommen dieser Phoride in Limburg. Es sei hier bemerkt, daß er sie später ebenfalls daselbst fand, nachdem er durch mich auf ihr Vorkommen aufmerksam gemacht worden war.

Berichtigung

zu der Abhandlung: Wirkungen des Lichts auf die Pflanze. Von San.-Rat Dr. Fritz Schanz, Augenarzt in Dresden.

(Nr. 7 dieses Bandes Seite 283—296)

sind folgende Fehler zu berichtigen:

1. Seite 286 u. 287 sind die Abbildungen in Fig. 2 u. 3 zu vertauschen, die Fußnoten sind richtig.
2. Die auf Seite 287 erwähnte Fig. 4 fehlt. Eine solche Abbildung findet sich in Schanz, Lichtreaktion der Eiweißkörper (Pflüger's Arch. Bd. 164. Taf. XV. Aufn. I).
3. In den auf Seite 288 als Fig. 4 bezeichneten Spektren liegen diejenigen der Quarzlampe in Abb. 2 verkehrt.
4. Auf Seite 289 ist mehrmals statt Struma „Stroma“ zu setzen.

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): Schanz Fritz

Artikel/Article: [Wirkungen des Lichts auf die Pflanze. 283-296](#)