

Grundzüge einer neuen Psychologie, Physiologie und Psychophysik der Farbentöne.

Von Julius Pékler, Budapest.

Einleitung.

Unter dem *Purkinjeschen Schritt* zu einem *Farbenton* verstehe ich jene Änderung, welche das diesen Ton im gewöhnlichen Tagesspektrum hervorbringende Licht bei der Überführung des farblosen Dämmerungsspektrums in jenes in bezug auf seine Helligkeitsstufe im Spektrum erfährt¹⁾. Der Purkinjesche Schritt geht für Rot von Dunkel zu Mittelhell, für Gelb von Mittelhell zu Hell, für Grün von Hell zu Mittelhell, für Blau von Mittelhell zu Dunkel. Für die Übergangstöne, die Purpurtöne mitinbegriffen, gelten die entsprechenden Übergangsschritte; diese sind zwischen die soeben genannten Schritte entsprechend einzusetzen. In der obigen Reihe folgen die Purkinjeschen Schritte einander in guter Ordnung; auch ist die obige Reihenfolge die einzige wohlgeordnete Reihenfolge der Purkinjeschen Schritte. Sie ist in sich zurücklaufend, kreisförmig.

Auch die Farbentöne folgen einander in der obigen Reihe in ihrer einzigen guten Ordnung und in sich zurücklaufend, kreisförmig. Wir wollen diese ihre Reihenfolge den *Farbentonkreis* nennen.

Hieraus ergibt sich folgender Satz: *Ersetzen wir im Farbentonkreis die Farbentöne durch die zu ihnen führenden Purkinjeschen Schritte, so bleibt die einzig gute Ordnung und die Kreisform desselben gewahrt.* Oder: *Die Farbentöne stehen in denselben Verhältnissen zueinander wie die zu ihnen führenden Purkinjeschen Schritte.* Ich nenne diesen hier zum ersten Male ausgesprochenen Satz *den Satz von der Kongruenz des Farbentonkreises und des Purkinjeschen Phänomens.* Es obliegt der Physiologie, diese Kongruenz zu erklären.

Die heute gangbare Psychologie schildert den Farbentonkreis, die Ähnlichkeiten und Unähnlichkeiten der Farbentöne, auf eine ungenügende Weise, an welche sich eine physiologische Erklärung der oben festgestellten Kongruenz nicht anlehnen läßt. Sie soll in der vorliegenden Arbeit durch eine neue, die Erklärung dieser Kongruenz anbahnende Psychologie ersetzt werden.

Die heute gangbare Physiologie, sowohl die

Duplizitätstheorie wie die Heringsche Farbentheorie einschließlich ihrer Weiterentwicklungen durch verschiedene Forscher, läßt die oben festgestellte Kongruenz unerklärt. Auch sie soll in der vorliegenden Arbeit durch eine dieselbe erklärende Physiologie ersetzt werden.

Die heute gangbaren Lehren lassen auch eine weitere Kongruenz unerklärt, nämlich die Tatsache, daß die Farbentöne im Spektrum einander wohlgeordnet folgen wie im Farbentonkreis. Auch diese Kongruenz zwischen *Spektrum* und *psychologischem Farbentonkreis* soll in der vorliegenden Abhandlung durch eine neue Psychophysik ihre Erklärung finden.

Diese neuen Ansichten brechen jedoch keineswegs vollkommen mit den bisherigen Lehren, sie verbessern diese nur, sie entwickeln sie weiter.

I. Psychologie.

1. Die Grenzöne.

Die Grenzöne („Urtöne“, „Grundtöne“) Rot, Gelb, Grün, Blau bilden lediglich kraft ihres eigenen Aussehens, ohne dazu die Vermittlung der Übergangstöne („Zwischentöne“, „Mischöne“) Rotgelb, Gelbgrün, Grünblau, Blaurot und der Nichtexistenz der Übergangstöne Rotgrün und Gelbblau zu bedürfen, in der genannten Folge und nur in dieser eine wohlgeordnete Reihe. Auch wenn wir nie Übergangstöne gesehen hätten, würden wir die Grenzöne in dieser Reihenfolge ordnen. Auch der Laie anerkennt, befragt, diese Reihenfolge der Grenzöne als die einzig richtige, und er denkt doch dabei gewiß nicht an die Übergangstöne und an den aus Grenz- und Übergangstönen bestehenden Farbentonkreis des Psychologen.

Jene Reihenfolge ist kreisförmig, denn Blau ist dem Rot wieder ähnlicher als Grün. Kann man nun nicht von Rot aus auch über Blau in diesem Kreise weitergehen und auch den Kreis bei jedem anderen Glied beginnen und beliebig in jeder der beiden möglichen Richtungen fortschreiten, ohne die gute Ordnung zu stören? Man versuche es, es wird nicht stimmen; Rot ist der einzig richtige Anfang, und die angegebene Richtung die einzige gute. Allerdings ist dieselbe Kreisreihe in entgegengesetzter Richtung und auch mit anderen Anfangspunkten in beliebiger Richtung nicht so schlecht wie die Reihen, in welchen Rot neben Grün und Gelb neben Blau steht.

¹⁾ Unter Spektrum meine ich stets das mit gleichmäßiger Zerstreuung aller Strahlen, also das Gitter- oder (vgl. Langley am später a. O.) das auf gleichmäßige Zerstreuung reduzierte prismatische Spektrum.

In dem besagten Kreise ist jedes Glied seinen beiden Nachbarn ähnlich, dem vierten Glied des Kreises unähnlich. Aber es ist natürlich dem einen Nachbarn auf eine andere Weise ähnlich als dem anderen. Die beiden Arten der Ähnlichkeit mit den beiden Nachbarn sind für alle Glieder dieselben. Da es sich nur um vier Glieder handelt, läßt sich der Tatbestand sehr kurz auf die folgende Weise darstellen: Rot und Gelb, Blau und Grün sind einander auf dieselbe Weise ähnlich; auch Gelb und Grün, Rot und Blau sind einander auf dieselbe, aber auf eine von der ersteren verschiedene Weise ähnlich. Rot und Grün, Gelb und Blau sind einander unähnlich.

Trotz jener Ähnlichkeit der Nachbarn sind alle Glieder vollkommen außereinander; Rot hat weder Bläue noch Gilbe, Gelb weder Röte noch Grüne usw. Trotz dieses vollkommenen Außereinanderseins schlägt aber doch jedes Glied eine Brücke von einem seiner Nachbarn zum anderen, es führt von dem einen zu dem anderen.

Wir können auch näher angeben, worin diese Ähnlichkeiten, dieses Außereinander und dieses Brückenschlagen besteht. Ich tue dies vorerst nur auf eine unvollkommene und bildliche Weise: Ich lasse das Kreisbild als ungenügend fallen. Rot hat etwas Aufsteigendes, Gelb setzt dieses Aufsteigen um ebensoviel höher fort; Grün und Blau besitzen etwas Absteigendes, Grün geht den Weg des Gelb abwärts, Blau den des Rot. Rot und Gelb, Grün und Blau sind also einander an Richtung gleich, die Richtung dort und hier ist aber entgegengesetzt; Gelb und Grün, Rot und Blau sind einander gleich in bezug auf das Gebiet, in welchem sie sich (in entgegengesetzter Richtung) bewegen; das Gebiet ist dort höher, hier niedriger. Man ersieht hieraus auch, warum Rot der Anfangspunkt der guten Reihenfolge ist; es ist die erste Phase jener ganzen Bewegung, welche in den vier Grenztönen vorhanden ist. Man sieht auch, warum nach Rot Gelb folgen muß; Gelb setzt den aufsteigenden Sinn des Rot fort, Blau kehrt ihn um. Die vier Grenztöne bilden nicht so sehr einen in seinem ganzen Verlauf sich gleichbleibenden Kreis, als eine Auf- und Abwärtsbewegung. Wir können jetzt hinzufügen, daß nach dem soeben Gesagten auch Rot und Grün, Gelb und Blau eine Gleichheit besitzen, zwar nicht als Töne, als Bewegungen, weder die der Richtung, noch die des Gebietes ihrer Bewegungen, sondern eine in bezug auf die Endpunkte derselben; Rot und Grün gehen von den beiden extremen Punkten der ganzen Bewegung zu ihrer Mitte, Gelb und Blau von der Mitte zu den beiden extremen Punkten.

Ich spreche jetzt das genaue, unbildliche lösende, oder richtiger verknüpfende Wort all dieser Zusammenhänge aus. Es handelt sich dabei nicht um eine Theorie, etwa um eine physiologische — diese soll erst später folgen —, sondern immer noch um das bloße Aussehen der Grenztöne. Aber wir überschreiten jetzt den Kreis

der Töne, wir bestimmen das Verhältnis der Grenztöne zur tonlosen Helligkeit; nur so kann der innerste Kern ihres Aussehens genau und unbildlich bezeichnet werden: *Rot ist Durchhellung des Schwarz zu Mittelhell, Gelb des Mittelgrau zu Hell, Grün ist Durchdunklung des Weiß zu Mittelhell, Blau des Mittelgrau zu Dunkel.* In Zahlen ausgedrückt: Rot ist ein Helligkeitsschritt von 0 zu 1, Gelb von 1 zu 2, Grün von 2 zu 1, Blau von 1 zu 0. Man sieht nun, woher all das oben Gesagte stammt.

Eine Berichtigung ist jedoch nötig. Das Dunkel, Hell, Mittelhell der Grenztöne fällt nicht ganz genau mit der Helligkeit des Schwarz, Mittelgrau, Weiß zusammen, sondern es weicht um ein geringes von dieser ab in der Richtung des Anfangspunktes des Helligkeitsschrittes, dem es entspringt, es nähert sich um ein geringes diesem Anfangspunkte²⁾. M. a. W. die Zahlen 0, 1, 2 besitzen einen etwas verschiedenen Wert, je nachdem sie den Anfangs- oder aber den Endpunkt des Helligkeitsschrittes bezeichnen. Dies ist jedoch für alles folgende bedeutungslos.

Wir dürfen eben darum die tonlosen Grenzhelligkeiten, Schwarz, Mittelgrau und Weiß, und die Grenztöne auf ein und derselben geraden Linie abbilden. Wir wollen diese, um Raum zu ersparen, statt vertikal horizontal zeichnen. Die

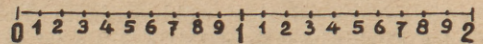


Fig. 1.

beiden Endpunkte und der Mittelpunkt derselben, 0, 1, 2, bezeichnen das Dunkel, Mittelhell und Hell und daher auch Schwarz, Mittelgrau und Weiß. Die beiden Abstände zwischen diesen drei Punkten bezeichnen als gerichtete Größen in der einen Richtung Rot und Gelb, in der anderen Blau und Grün.

2. Die Übergangstöne.

Auch im nun folgenden handelt es sich nicht um eine Theorie, sondern rein um das Aussehen der Übergangstöne. Wer mir bisher zustimmen konnte, wird dies auch in bezug auf das Folgende tun können.

Auch die Übergangstöne sind Durchhellung und -dunklung, Auf- und Abwärtsschritte tonloser Helligkeit mittels Tönung. Und ebenso große Schritte wie die Grenztöne, Schritte von der Größe 1. Nur heben sie zwischen den Anfangs-

²⁾ Rot ist für mein Empfinden um ein geringes dunkler als Grün, nicht heller, wie es zumeist geschildert wird. Auch anderen geht es so; s. z. B. *Ostwald*, *Einf. in d. Farbenlehre*, Leipzig 1919 (Reclams Univ.-Bibl.), S. 99. In einer Textfigur gab ich einmal Rot mit Weiß, Grün mit Schwarz wieder; einer meiner Leser, ein hervorragender Psychologe und Beobachter, sagte mir, nach seiner Empfindung hätte es umgekehrt sein sollen. Auch nach meiner, doch ich hatte damals der verbreiteten entgegengesetzten Darstellung der Helligkeitsverhältnisse nachgegeben.

und Endpunkten der Grenztönschritte an und überschreiten die Endpunkte derselben in entsprechendem Maße. Sie sind Verschiebungen der Grenztönschritte im Sinne eines ihrer Nachbarn. Rotgelb ist ein Schritt, Durchhellung von (s. Fig. 1) 0,1 (Dunkelgrau) zu 1,1, von 0,2 zu 1,2 usw.; Grünblau ist Durchdunklung von 1,9 (Hellgrau) zu 0,9, von 1,8 zu 0,8 usw. Ein mehr gelbliches als grünliches Gelbgrün ist z. B. ein Schritt von 1,1 zu 1,9, der aus zwei Schritten gegensätzlicher Richtung, aus Durchhellung und Durchdunklung, zusammen (ohne Vorzeichen addiert) in der Größe 1, hervorgeht; als solche Teilschritte können ebenso gut die Schritte 1,1 zu 2 und 2 zu 1,9 aufgefaßt werden, wie die Schritte 1,1 zu 1 und 1 zu 1,9, da in beiden Fällen die relative Größe der Gelbe und Grüne und die Verschiebungen des Gelb- und Grünschlittes zum Ausdruck gelangen; die erstere Auffassung bezeichnet die Vergrünung des Gelb, die zweite die Vergilbung des Grün, welche ja in der Tat zwei mögliche Anschauungen der vorliegenden Tatsache bilden. Das reziproke, mehr grünliche als gelbliche Gelbgrün ist ein Schritt von 1,9 zu 1,1, von welchem alles soeben Gesagte in reziprokem Sinne gilt. Vorwiegend gelbliches Gelbgrün sind auch die Schritte von 1,2 zu 1,8, von 1,3 zu 1,7, von 1,4 zu 1,6, im obigen Sinne entsprechend zusammengesetzt; vorwiegend grünliches Gelbgrün sind die umgekehrten Schritte, reziprok zusammengesetzt. Das in gleichem Maße gelbliche und grünliche Gelbgrün ist ein Schritt und Rückschritt, Durchhellung und -dunklung von 1,5 zu 1,5. All das Gesagte ist auch auf Rotblau anwendbar, nur handelt es sich hier nicht um das Gebiet zwischen 1 und 2, sondern zwischen 0 und 1. Fig. 2

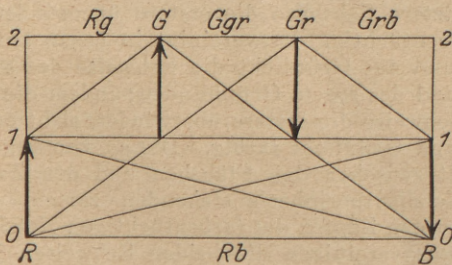


Fig. 2.

Graphische Darstellung der Gesamtheit der Farbentöne.

gibt diese Beschreibung der Übergangstöne anschaulicher als Fig. 1 graphisch wieder; in ihr sind die beiden Hälften der Helligkeitsgeraden der Fig. 1 und die beiden gegensätzlichen Richtungen jeder dieser beiden Hälften, also die Grenztöne, getrennt, durch die vier Pfeile, abgebildet, infolgedessen konnten hier, durch die schrägen Verbindungslinien, auch die Verschiebungen der Grenztöne, die Übergangstöne, anders als in Fig. 1, von den Grenztönen gesondert dargestellt werden.

Aus dieser Beschreibung der Übergangstöne

folgt ohne weiteres, daß es Übergangstöne Rotgrün und Gelbblau nicht geben kann. Denn es kann keine Verschiebung des Schrittes 0—1 im Sinne des Schrittes 2—1 (oder, umgekehrt aufgefaßt, des Schrittes 2—1 im Sinne des Schrittes 0—1) geben, und keine des Schrittes 1—0 im Sinne des Schrittes 1—2 (oder, umgekehrt aufgefaßt, des Schrittes 1—2 im Sinne des Schrittes 1—0); es fehlt hierzu die Kontinuität. Sie fehlt auch für die Übergänge zwischen drei Grenztönen, z. B. für Rotgelbgrün (vgl. die obige ausführliche Beschreibung eines Gelbgrün); darum sind auch solche Übergangstöne unmöglich.

3. Kritisches.

Die Lehre, daß die Grenztöne nach ihrem Aussehen in sie ordnenden Verhältnissen zueinander stehen, und daß das Dasein gewisser Übergangstöne, das Fehlen anderer diesen Verhältnissen zugeschrieben werden kann, wurde m. W. in der vorliegenden Arbeit zum ersten Male ausgesprochen. Jedenfalls ist die heute in der Psychologie und auch in der Physiologie widerspruchsvoll herrschende Lehre ihr diametral entgegengesetzt. Nach dieser — der Lehre vom Farbkreis, welcher erst durch das Nacheinander der Grenz- und Übergangstöne gebildet wird — stehen die vier Grenztöne nicht schon nach ihrem Aussehen, sondern erst insofern in verschiedenen, eine Ordnung abgebenden Verhältnissen zueinander, als gewisse Paare derselben sich an Übergangstönen beteiligen, andere nicht. Dies Sichbeteiligen und Nichtbeteiligen läßt sich also nach der herrschenden Lehre nicht auf das Aussehen der Grenztöne zurückführen; es ist psychologisch eine letzte Tatsache; es läßt sich nur physiologisch und mittels Annahmen erklären, welche nicht auf das Aussehen der Grenztöne zurückgehen und insofern willkürlich sind. Nach dem Obigen ist diese Lehre falsch.

Zu erklären ist aber nach der herrschenden Lehre eigentlich nur, warum gewisse Grenztonpaare, Rot und Grün, Gelb und Blau, keine Übergangstöne besitzen. Denn sie nimmt es als selbstverständliche, keiner Erklärung bedürftige Tatsache an, daß gleichzeitig zwei Grenztöne mit gleichem Ortswert erregt werden und sich zu Übergangstönen vermischen können; es bleibt für sie also nur die Frage übrig, warum Rot und Grün, Gelb und Blau dies letztere nicht tun. Nun aber entstehen nach dem Obigen die Übergangstöne nicht durch Vermischung, sondern durch Verschiebung von Grenztonvorgängen, beruhend — was aber hier nur angedeutet werden kann — letzten Endes darauf, daß das ganze Helligkeitsempfinden vom Mittelhell (Raumhell, Allgemeinhell) als primären Nullpunkt und vom äußersten Dunkel und Hell (Schwarz und Weiß) als sekundären Nullpunkten ausgeht (auch Hell- und Dunkelgrau sind Verschiebungen); dieser Teil der genannten Lehre ist daher falsch. Und

die Frage, warum gewisse Grenztonpaare keine Übergangstöne besitzen, ist unlösbar, wenn man nicht von der sich im Aussehen kundgebenden Eigenordnung der Grenzöne ausgeht. In der Tat gestehen z. B. selbst solche Anhänger *Hering's*, die sonst an ihrem Lehrer kein Fehl zu finden vermögen, daß er auf diese Frage keine klare Antwort gegeben hat³⁾.

Die herrschende falsche Psychologie mußte aber nicht nur in bezug auf die Übergangs-, sondern auch in bezug auf die Grenzöne zu einer falschen Physiologie führen. Indem die psychologischen Verhältnisse der Grenzöne nicht bemerkt wurden, blieb das für die physiologische Theorie Maßgebendste, das eigentlich zu Erklärende unbeachtet. Tatsächlich wurde bisher noch keine physiologische Theorie der Farbentöne aufgestellt, welche mit jenen Verhältnissen im Einklang stünde. Wir wollen auch hier der *Hering'schen* Lehre gedenken. Diese schreibt das Rot und Grün, das Gelb und Blau dem Ab- und Aufbau zweier Substanzen im Körper zu. Nun könnte hieraus noch verständlich sein, daß Rot und Gelb, Grün und Blau einander ähnlich sind, nämlich jene als Ab-, diese als Aufbau; nimmer wird es daraus verständlich, warum auch Gelb und Grün, Blau und Rot einander ähnlich sind, und warum jeder Grenzton von einem seiner Nachbarn zum andern führt. Jene „Theorie der Gegenfarben“ wurde ersonnen, um u. a. die Nichtexistenz von Rotgrün und Gelbblau zu erklären; hierzu ist sie, wie gezeigt würde, ungeeignet; die Tatsachen erheischen jedoch vor allem eine Theorie der *Nebenfarben*, eine solche fehlt bei *Hering* ganz und gar.

Ich will noch kurz darauf hinweisen, wie sich die herrschende falsche Psychologie in einer neuesten Darstellung kundgibt, in der *Ostwald'schen*. Diese beginnt ihre Numerierung der Farbentöne im Farbentonkreise bei Gelb, als dem hellsten und von seinen Nachbartönen sich am klarsten abhebenden Ton; einen wesentlicher begründeten Anfangspunkt kennt sie nicht. Nach ihr gibt es auch keinen Grund, von Gelb eher in der einen als in der anderen der beiden möglichen Richtungen fortzuschreiten; darum schreitet sie „willkürlich“ rotwärts fort⁴⁾. *Ostwald* zählt demgemäß die Grenzöne stets in der Reihenfolge Gelb, Rot, Blau, Grün auf⁵⁾. Ich will nun nicht sagen, daß jene Numerierung unzulässig sei; sie kann auch die zweckmäßigste sein; daß es aber keinen mehr im Wesen der Töne begründeten Anfangspunkt und keine im Wesen

der Töne begründete Entscheidung für die Richtungswahl am Tonkreise gäbe, diese Ansicht ist nach unseren obigen Ausführungen ganz falsch, und die Reihenfolge Gelb, Rot, Blau, Grün tut mir so weh, als träte man mir auf die Zehen. Übrigens ist ja auch die *Ostwald'sche* „Farbenlehre“ keine Lehre vom Wesen, besonders vom physiologischen, der Farbentöne, wie die *Helmholtz'sche* und *Hering'sche*, die *Goethesche* und *Schopenhauer'sche*, sondern nur von der Ordnung, Messung und Normierung der Farben. Seine „Einführung in die Farbenlehre“ und, wenn ich mich gut erinnere, auch seine anderen Werke über die Farben erwähnen nicht einmal jene grundlegende Bedingung der Farbentöne, daß sie nur beim Tages-, nicht beim Dämmerungssehen auftreten, ohne deren Beachtung, wie wir gleich sehen werden und wie selbstverständlich, ein Einblick in das Wesen der Farben ausgeschlossen ist.

4. Das Wesen des Farbentones.

Die Farbentöne stehen nach dem Obigen nicht nur in denselben Verhältnissen zueinander wie die zu ihnen führenden *Purkinjeschen* Schritte, sondern sie sind mit diesen Schritten identisch. Im Farbenton ist sowohl die spektrale Dämmerungs-, wie die spektrale Tageshelligkeitsstufe des betreffenden Lichtes enthalten, die erstere durch die letztere überwunden; der Farbenton besteht in dieser Überwindung⁶⁾. Ähnlich wie die Rundung einer Linie in der Überwindung einer Richtung derselben durch eine andere besteht; so wie die Rundung eine Raum-, ist der Farbenton eine Helligkeitsgestalt. Der Farbentüchtige vereinigt die Sehweise des mit angeborener totaler Farbenblindheit Behafteten und die Sehweise der erworbenen totalen Farbenblindheit; indem in ihm die letztere Sehweise die erstere überwindet, ist er farhentüchtig. Er vereinigt in bezug auf das Rot- und das Grünlicht die Sehweise des sogen. Rot- und des sogen. Grünblinden; indem die letztere Sehweise die erstere überwindet, sieht er das Rot- und Grünlicht farbig. Die an Umfang und Gestalt zwischen den Stäbchen und den Zapfen der Netzhautperipherie stehenden zarten, stäbchenartigen Zapfen des farhentüchtigen Netzhautzentrums vereinigen die beiden Sehweisen jener mit Überwindung der ersteren durch die letztere; dadurch sind sie farhentüchtig.

Die bekannten, einander kreuzenden Kurven der spektralen Dämmerungs- und Tageshelligkeitsverteilung — welche ja mit den schrägen Verbindungslinien in der oben gegebenen Fig. 2 identisch sind — sind ein Abbild des Farbentonkreises; nur muß man, um dies Abbild zu erlangen, die erstere Kurve sich in die zweite verschiebend denken, und zwar nicht in der Zeit, sondern momentan. Der Farbentonkreis ist iden-

³⁾ S. *Fr. Hillebrand*, Ewald *Hering*, Berlin 1918, S. 23 f. Die posthum erschienenen Ausführungen *Hering's* (Grdz. e. Lehre vom Lichtsinn, S. 290) widerlegen jene Deutung, welche seiner diesbezüglichen Lehre von diesem seinen Schüler (a. a. O.) gegeben wurde, um die in ihr vorhandenen Widersprüche auszugleichen.

⁴⁾ S. *Ostwald*, Einf. in die Farbenlehre, Leipzig 1919, S. 90.

⁵⁾ S. z. B. S. 64.

⁶⁾ Bei dem im gleichen Maße gelblichen und grünlichen bzw. rötlichen und bläulichen Gelbgrün und Rotblau führt die Überwindung zur selben Helligkeitsstufe zurück; dies ist ein Grenzfall.

tisch mit der Geraden der tonlosen Helligkeitsstufen (der Schwarzweißreihe), nur sind im Falle des Farbentonkreises in allen Punkten dieser Geraden auch überwundene Dämmerungs-Helligkeitsstufen angezeigt, und alle Punkte, mit Ausnahme der beiden Endpunkte Dunkel und Hell (Blau und Gelb) doppelt besetzt: das Mittelhell durch Rot und Grün, die Stellen zwischen Dunkel und Mittelhell durch Rotblau und Grünblau in allen ihren Stufen, die Stellen zwischen Mittelhell und Hell durch Rotgelb und Grüngelb in allen ihren Stufen. Dies heißt: die beiden Besetzungen sind voneinander unterschieden, indem sie Überwindungen verschiedener Dämmerungs-Helligkeitsstufen enthalten. So hat z. B. sowohl ein sehr wenig gelbliches Rotgelb, wie ein ebenso wenig gelbliches Grüngelb die Helligkeit 1,1; das erstere aber enthält den Purkinjeschen Schritt von 0,1, das letztere den von 1,9 zu jenem 1,1. Ein Licht von bestimmter Wellenlänge ist als solches, mit Ausnahme des Gelb- und des Blaulichtes, weder durch seine spektrale Dämmerungs-, noch durch seine spektrale Tages-Helligkeitsstufe eindeutig gekennzeichnet, wohl aber durch beide zusammen; *der Farbenton ist dieses zusammengesetzte Kennzeichen.*

Nach dieser Anschauung ist der Farbenton nicht mehr, wie nach den bisherigen Anschauungen, ein zwischen Qualität und Helligkeit unendlich Schwankendes, sondern er hat als zweischichtige Helligkeit, als Helligkeitsgestalt, als Überwindung einer Helligkeitsstufe durch eine andere einen deutlichen, bestimmten Charakter. Der Farbentonkreis tritt nicht mehr urplötzlich und ohne Zusammenhang mit den einfachen und wohlverständlichen Geraden der tonlosen Helligkeiten auf. Die Kongruenz zwischen psychologischem Farbentonkreis und Spektrum erklärt sich daraus, daß im letzteren die Purkinjeschen Schritte einander in ihrer guten Ordnung und kreisförmig folgen; es ist nur noch zu erklären, warum dies letztere der Fall ist. Daraus, daß die Dämmerungs-Helligkeits-Verteilung die einfache, grundlegende ist, auf welche sich das farbige Sehen als Gestaltung aufbaut, erklärt sich das gleiche Sehen aller Menschen in der Dämmerung und ihr Auseinandergehen im Tagessehen. Zwischen den dreierlei Größen und Gestalten und den dreierlei Sehweisen der Stäbchen, der netzhautzentralen und der peripherischen Zapfen ergibt sich Übereinstimmung.

II. Physiologie.

1. Kritisches.

Nach der heute allgemein geteilten Auffassung bewirkt ein Licht einen Farbenton, indem es das Sehorgan „erregt“. Hiernach würden durch ihre Erregungen die Lichter von wenig frequenter Schwingung das lebhafteste, glühende Rot und Gelb, die Lichter von frequenter Schwingung das sanfte, dunkelnde Blau und Grün bewirken. Diese Annahme ist verkehrt; wahr-

scheinlich wurde es aus dem unbewußten Streben, dies zu verhüllen, üblich, die Lichter, anders als die Tonwellen, statt mit ihren Schwingungszahlen mit ihren Wellenlängen zu bezeichnen. Jene Verkehrtheit könnte man dadurch aufheben, daß man die erstere Art von Lichtern auf sehr leicht erregbare, die zweite auf sehr schwer erregbare organische Substanz stoßen ließe, aber dies wäre eine ganz willkürliche Annahme.

Auch *Hering* entging dieser Verkehrtheit nicht, obwohl er für das Grün und Blau verkehrte Erregungen, Aufbau-Erregungen, annahm, während man allgemein nur Zerstörungserregungen kennt, wie sie auch *Hering* für das Rot und Gelb gelten läßt. Denn es ist verkehrt, daß die weniger frequenten Lichter Zerstörung, die frequenteren Aufbau bewirken sollen; läßt doch auch *Hering* auf die Schwarzweiß-Substanz den Mangel *allen* Lichtes aufbauend wirken. Kehrt man aber die Hypothese um, läßt man Rot und Gelb aus Aufbau, Grün und Blau aus Zerstörung hervorgehen, so ist zwar Lichtart und Empfindungsvorgang besser im Einklang miteinander, hingegen ist wieder das Verhältnis zwischen Empfindungsvorgang und -inhalt verkehrt. Der Widerspruch zwischen Reiz und Empfindung auf diesem Gebiete läßt sich durch zweierlei Arten von Erregungen, wie sie auch andere außer *Hering*, anders als er, annehmen, nicht beheben, denn wegen jenes Widerspruches ist jede Art entweder mit dem Reiz oder mit der Empfindung in Widerspruch.

Er läßt sich beheben, wenn man einen zweischichtigen Empfindungsvorgang annimmt, dessen erster Teil die direkte Wirkung der Schwingungsfrequenz bildet, dessen zweiter Teil aber zu jenem ersteren kontradiktorisch ist und sein Ergebnis umkehrt. Einen solchen braucht man jedoch gar nicht anzunehmen, er, der Purkinjesche Schritt, ist, wie wir im I., psychologischen, Kapitel sahen, im Farbenton anschaulich enthalten; wir haben bloß den Purkinjeschen Schritt nicht nur als Empfindungsinhalt, sondern auch als Empfindungsvorgang ausdrücklich anzuerkennen. Dies wollen wir jetzt tun. Ja, wir wollen auch zeigen, daß solche zweischichtige Sinnesvorgänge auf allen Sinnesgebieten sehr häufig und wohlbekannt sind⁷⁾. Freilich müssen, damit jener zweischichtige Empfindungsvorgang ganz erklärt sei, auch im Lichtreiz zwei einander widersprechende reizende Elemente aufgewiesen werden, deren eines, die Schwingungsfrequenz, im Dämmerungssehen, deren zweites im Tagessehen zur Geltung gelangt. Dieser Forderung werden wir erst im III., psychophysikalischen, Kapitel nachkommen.

⁷⁾ An anderer Stelle glaube ich erwiesen zu haben, daß es überhaupt nur solche zweischichtige Empfindungsvorgänge gibt, indem alle Empfindungsvorgänge Anpassungen, keiner „Erregung“ ist. S. meine Sinnesphysiologischen Untersuchungen, Leipzig 1917, und Schriften zur Anpassungstheorie des Empfindungsvorganges, I.—IV. Heft, Leipzig 1919—1922.

2. Theorie.

Der Inhalt des vorigen psychologischen Kapitels läßt sich, wie wir sahen, in folgendem Satze zusammenfassen: In den Farbentönen sind die zu ihnen führenden Purkinjeschen Schritte enthalten; jene stehen nicht nur in denselben Verhältnissen zueinander wie diese, sie sind mit diesen identisch.

Hieraus ergibt sich auf die physiologische Frage, wie die Farbentöne entstehen, folgende Antwort: Die Reizung des Gesichtssinnes zur farblosen Dämmerungs-Helligkeits-Verteilung im Spektrum besteht auch während seines Tagessehens; indem er dieser Reizung folgt, ein Licht — zwar im absoluten Maße des Tagessehens, aber — mit seiner Dämmerungs-Helligkeits-Stufe im Spektrum, oder, wie wir sie auch nennen wollen, mit seiner relativen Dämmerungs-Helligkeit farblos beantwortet, diese Helligkeit aber zugleich auf die in der psychologischen Beschreibung der Farbentöne bezeichneten Weise durchhellt bzw. durchdunkelt bzw. beides, entsteht der dem Licht zugehörige Farbenton. *Der Farbentonschakt besteht im Schakt für die farblose relative Dämmerungshelligkeit des betreffenden Lichtes und in der Modifizierung seines Ergebnisses⁸⁾.*

Dieser Schakt ist einer überaus häufigen Klasse von Sinnesakten höchst verwandt: den Verhältnis- (Veränderungs-, Gestalt-) wahrnehmungen, ja er gehört in diese Klasse; ich erwähne dies, um ihn bei jenen besser zu beglaubigen, denen als einzige Art von Sinnesvorgängen jene hypothetische „Erregung“ vor Augen schweben mag, aus der man allgemein die Empfindung hervorgehen läßt. Sehe ich z. B., daß ein Licht heller ist als ein anderes, so stehe ich von diesem letzteren her unter der Nachreizung, die ihm zugehörige Helligkeit auch jenem ersteren Licht gegenüber zu empfinden; ich folge auch dieser Reizung, modifiziere aber zugleich dies Folgen dem geltenden zweiten Reiz entsprechend, dadurch sehe ich die Verschiedenheit der beiden Helligkeiten. Wohlgemerkt, es findet hier nicht ein nachträgliches „Urteilen“ auf Grund der Empfindung der zweiten absoluten, zuerst unvergleichlichen Helligkeit statt, sondern ein unmittelbares Sehen

⁸⁾ Hierbei wird vorausgesetzt, daß es charakteristische Schakte für Helligkeitsstufen, für relative Helligkeiten gibt und Reizbarkeiten zu solchen Schakten, so daß diese Reizbarkeiten beim Wechsel der absoluten Helligkeit fortbestehen und die betreffenden Schakte mit veränderter absoluter Helligkeit hervorrufen können. Über die Richtigkeit dieser Voraussetzung kann kein Zweifel sein; die Tatsache, daß im Tagessehen die Helligkeitsstufen Schwarz, Weiß, Grau in allen Stufen von der absoluten Lichtstärke unabhängig durch das Verhältnis der Stärke der betreffenden Reize zur Stärke der Gesamtbeleuchtung hervorgerufen werden, ist ja höchst auffällig. Wir werden übrigens später sehen, daß für das oben im Text Gesagte Dämmerungs-Helligkeitsverteilung soviel bedeutet wie Wachsen der Helligkeit mit der Schwingungsfrequenz des Lichts; daß die Reizung hierzu von der Lichtstärke, von der absoluten Helligkeit unabhängig fortbestehen kann, ist ganz klar.

des Hellerseins auf Grund schon des zweiten Reizes, ein *vergleichendes Empfinden*; ja dies Sehen vermittelt das Sehen der zweiten absoluten Helligkeit; wird diese nicht sofort vergleichend empfunden, so kann sie auch nicht verglichen werden; in diesem Fall kann nur auf Grund ihrer Erinnerung verglichen werden, aber gleichfalls nur auf Grund der Erinnerung in statu nascendi, der vergleichenden Erinnerung; das Vergleichen muß von einem absoluten Inhalt zum anderen hinführen. Auch wenn ich sehe, daß ein Licht seine Helligkeit ändert, findet das geschilderte Modifizieren statt; während ich aber beim Vergleichen den nicht geltenden Inhalt im Gedanken ausführe und modifiziere, tue ich dies bei der Veränderungswahrnehmung in der zeitlichen Weiterführung einer vorhandenen Empfindung. Beim Sehen der Rundung einer Linie tue ich es in der *räumlichen* Weiterführung einer Empfindung. Man spricht hier von einer *Raumgestalt*, die Veränderung der Helligkeit ist eine gemischte *Zeit- und Stärkegestalt*. Auch im Farbentonschakt modifiziere ich nicht im Gedanken; auch hier modifiziere ich eine aktuelle Empfindung; aber nicht erst ihre Weiterführung, sondern Ausgangsempfindung und Modifizierung sind gleichzeitig und gleichörtlich. Der Farbenton ist *reine Stärke*, des näheren Helligkeitsgestalt; es führt ein Weg von dem Verhältnis- über die anerkannte Gestalt- zur Farbentonempfindung.

Der Farbentonschakt unterscheidet sich jedoch, bei aller Verwandtschaft, in einer höchst wesentlichen Beziehung von den Verhältnis- und den übrigen Gestaltempfindungsakten. In diesen findet die Modifizierung *im Sinne des geltenden Reizes* statt; im Farbentonschakt fehlt diese Anpassung an den geltenden Reiz. Denn ein Licht von bestimmter Wellenlänge hat — von gewissen extremen Fällen abgesehen, die wir hier unbeachtet lassen können — bei seinen verschiedensten Tagesreizwerten und relativen Tageshelligkeiten einunddenselben Farbenton. Allerdings handelt es sich dann nicht mehr um jene, eine feste, unveränderliche relative Helligkeit besitzenden *reinen* Farbentöne allein, von denen wir bisher ausschließlich sprachen, sondern auch um Hellrot, Dunkelrot usw.⁹⁾; aber auch diese entspringen unzweifelhaft denselben Schakten wie die reinen Farbentöne, erst zu diesen Schakten kommt eine verunreinigende Modifikation, eben die Anpassung an den Tagesreizwert¹⁰⁾ hinzu; der Farbentonschakt selbst findet also ganz ohne Rücksicht auf den Tagesreizwert statt. Demgemäß entstehen also auch die reinen Farbentöne nicht aus Anpassung an den Tagesreizwert des

⁹⁾ Es gibt auch Hellgelb und Dunkelblau, da ja (s. oben I, 1, vorletzter Absatz) das Hell und das Dunkel des Gelb und Blau hinter dem des Weiß und Schwarz zurückbleibt, und wie es infolge von Kontrast auch ein s. z. s. Überweiß und -schwarz gibt.

¹⁰⁾ Zum Tagesreizwert müssen wir auch den durch Kontrast gewonnenen Wert hinzurechnen.

Lichtes, obwohl sie diesem ohne Modifikation entsprechen; dies letztere ist ein von aller Anpassung unabhängiger Zufall; eine Anpassung findet auch hier erst sekundär statt; sie ist nullwertig, sie besteht darin, daß der Farbenton mit Rücksicht auf den Tagesreizwert des Lichtes nicht verunreinigt wird. Dieser Unterschied zwischen dem Farbentonsehakt und den Verhältnis- und übrigen Gestaltempfindungen geht aus folgendem Umstand hervor: Bei den letzteren stammt die Modifizierung des nicht geltenden Bewußtseinsinhaltes aus dem Streben nach richtiger Anpassung an den hier und jetzt vorhandenen Reiz; dieses Streben, die Anpassungstätigkeit, gelangt in ein Verhältnis sowohl zum Fehlen des fehlenden, wie zum Dasein des daseienden Reizes; kein Wunder also, daß eine mit Anpassung verbundene Modifikation stattfindet. Daß die Modifikation hier ein Zwischenvorgang der Anpassung ist, zeigt sich auch darin, daß keine Modifikation stattfindet, wenn derselbe Reiz sich wiederholt; bei der Verhältnisempfindung wird dann Gleichheit, bei der Gestaltempfindung Sichgleichbleiben empfunden. Ganz anders beim Farbentonsehakt. Hier stammt die Modifikation nicht aus dem Streben nach richtiger Anpassung an den hier und jetzt vorhandenen Reiz, sie erfolgt, weil die Gesamtbeleuchtung eine gewisse Stärke besitzt, sie ist ein allgemeiner, das ganze Sehfeld einheitlich betreffender Akt, ihr Ausdruck ist jener von Dichtern und besonders von Goethe häufig beschriebene, auf das ganze Sehfeld bezügliche Bewußtseinszustand: *es wird hell*, und die schönen Kinder des Lichts, die Farben, treten aus dem Grau hervor. Darum wird die farblose relative Dämmerungshelligkeit ohne alle Rücksicht auf die einzelnen Tagesreizwerte modifiziert. Die Modifikation erfolgt hier auch in jenen Fällen, wo die relative Dämmerungs- und Tageshelligkeit des betreffenden einzelnen Lichts gleich ist, wie z. B. bei einem Braun — auch hier findet ein Durchhellen bis zu Hell statt, der Gelbsehakt, und dieses Gelb wird sekundär, tonlos, schwarz zurückverdunkelt; in den Farbentönen werden Gestalten gesehen, denen nichts Wirkliches in den Einzeldingen entspricht.

Wenn aber nicht in der Anpassung an den geltenden Reiz, worin besteht dann das Prinzip dieser Modifikation? Vor allem besteht es, wie wir schon sahen, in der Schaffung von Helligkeitsstufen nach Wellenlängen, nach Lichtarten. Dies ist bestbegreiflich, da es sich ja um Umgestaltung, Umwertung einer Helligkeitsverteilung nach Lichtarten, der Dämmerungs-Helligkeitsverteilung, handelt. Es fragt sich nun aber, nach welchem Prinzip die Zuteilung an die einzelnen Lichtarten geschieht. Indem sie im Sinne der Purkinjeschen Schritte, d. h. der von den einzelnen Lichtarten im gewöhnlichen Tagesspektrum eingenommenen Helligkeitsstufen erfolgt, erfolgt sie im Sinne der relativen Helligkeiten oder, wie man auch zu sagen pflegt, der relativen Stärken,

in welchen die verschiedenen Lichtarten im normalen Sonnenlicht vertreten sind. *Der Farbentonsehakt besteht im Sehakt für die relative Dämmerungshelligkeit des betreffenden Lichtes und in der Modifizierung seines Ergebnisses im Sinne der relativen Stärke, in welcher jenes Licht im normalen Sonnenlichte vertreten ist.* Damit stimmt es überein, daß der Gesichtssinn die Helligkeit jener Allgemeinempfindung „es ist hell“, in deren Gefolge das Farbensehen auftritt, m. a. W. die Raumhelligkeit, immer tonlos, weiß, hervorbringt; ist die Beleuchtung tatsächlich nicht weiß, sondern hat eine Lichtart ein Übergewicht, so wird dies, wenigstens unterhalb einer Grenze, s. z. s. abgezogen, aber auch in den einzelnen Sehdingen, das ganze Sehen wird auf weiße Beleuchtung reduziert; hierin ist schon die Beantwortung der einzelnen Lichtarten in jener relativen Stärken enthalten, die sie in einer weißen Lichtquelle besitzen; wir fügen hinzu, daß in dieser Beantwortung, d. h. in der Umgestaltung der Dämmerungs-Helligkeitsverteilung zu dieser Beantwortung eben die Farbentöne bestehen. Die Farbentöne werden also schon im Sehakte für die Allgemein- oder Raumhelligkeit, für das Sehen „es ist hell“ gebildet und in ihrer weißen Gesamtheit gesehen, wie sie ja durch diesen Sehakt bedingt sind; *das Farbentonsehen ist Anpassung der Dämmerungsart dieses Sehaktes an das sozusagen vorausgesetzte normale Sonnenlicht*; das Sehen der Farbentöne in den Einzelgegenständen, das Sehen dieser als rein rot, hellrot, dunkelrot usw. bedeutet nur, daß die Stärke ihrer spezifischen Lichtart ebenso zu der mittels jener Anpassung gewonnenen Stärke dieser spezifischen Lichtart in der Allgemein-helligkeit in Beziehung gesetzt wird, wie die Lichtstärke der tonlosen Gegenstände zur Gesamt-Allgemeinhelligkeit, indem sie schwarz, weiß, mittel-, hell-, dunkelgrau, mehr oder minder hell- oder dunkelgrau gesehen werden. Es fragt sich aber auch, woher diese stets vorhandene spontane Einstellung des Gesichtssinnes auf das normale Sonnenlicht stammt. Wir werden auch sie begreiflich finden, wenn wir in Betracht ziehen, daß der Gesichtssinn vor allem Raumsinn ist. Dieser letztere Sinn ist reizfrei, spontan; das Auge sieht Raum auch bei vollkommener Lichtlosigkeit. Es sieht ihn in diesem Falle dunkel (subjektives Augenrau). Es wäre aber gewiß verkehrt, anzunehmen, daß es spontan, z. B. wenn wir beim Erwachen die Augen öffnen, auf Dunkel eingestellt sei; vielmehr müssen wir annehmen, daß es auf das Sehen eines hellen Raumes ausgeht, dies Hell aber bei Lichtlosigkeit sekundär kompensiert; so ist auch die Positivität des Raumdunkels (im Gegensatz zur negativen Geruch-, Geschmacklosigkeit, Stille) verständlich. Jenes Hell muß aber von irgendeiner bestimmten Art sein, und es ist begreiflich, daß es der weitaus häufigsten Lichtquelle, dem Sonnenlicht entspricht, sich diesem entsprechend entwickelt hat. Im nächsten, psychophysika-

lischen Kapitel will ich die Tatsache verständlich machen, d. h. auf ihre allgemeinsten Elemente zurückführen, daß die einzelnen Lichtarten im normalen Sonnenlicht eben in solchen relativen Helligkeiten vertreten sind, daß sich die höchst überraschende Regelmäßigkeit der Größe 1 für die Purkinjeschen Schritte aller Lichtarten ergibt.

Vorher wollen wir jedoch noch einige Thesen aufstellen, welche aus dem bisher Gesagten fließen:

Der größere ästhetische Wert des Farbentons im Vergleich zur tonlosen Helligkeit erklärt sich daraus, daß jener gestaltet ist, diese nicht, jener also eine höhere Lebenstätigkeit bedeutet als diese. Keine bisherige Theorie erklärt jene Wertverschiedenheit.

Das Sehen des Farbtones ist zur Beantwortung des Tagesreizwertes des betreffenden Lichtes nicht unbedingt notwendig; es ist eben ein entbehrliches ästhetisches Spiel. Dies Spiel ist im Sinne von Rotgrün und Gelbblau, wie wir im psychologischen Kapitel sahen, nicht möglich. Daraus erklärt sich die tonlose Beantwortung der entsprechenden Mischreize; sie ist weder Summierung noch gegenseitige Paralyse der Lichter zu Weiß, sondern Aufgabe des einheitlichen Sehens der Dämmerungs- und Tageshelligkeit, dort, wo solch einheitliches Sehen unmöglich wird, Sichbescheiden mit schlichtem, einschichtigem Sehen in diesem Falle.

Die Zunahme der Farbentüchtigkeit von der Netzhautperipherie zur Netzhautmitte beruht darauf, daß in dieser Richtung zunehmend statt der Zweierheit der Organe für das Dämmerungs- und das Tagessehen ein einheitliches Organ für beide auftritt, statt der Stäbchen und der derben Zapfen ein mittleres Organ, die zarten, stäbchenartigen Zapfen. Ein solches einheitliches mittleres Organ ist zu der geschilderten Vereinigung der beiden Sehweisen, in welcher das Farbentsehen besteht, geeigneter als zwei getrennte Organe. Diese sind dafür wieder für die beiden einzelnen Sehweisen empfindlicher, spezialisierter, die Stäbchen für die Dämmerungs-, die derben Zapfen für die Tageshelligkeit.

Alle Farbenblindheit beruht auf dem Sichbeschränken des Gesichtssinnes auf eine der beiden Sehweisen beim Tagessehen. Die größere Labilität der Tüchtigkeit für Rot und Grün, im Vergleich zu der für Gelb und Blau, beruht darauf, daß Rot und Grün Hervorbringen derselben Helligkeit auf zwei verschiedenen Wegen und daher eine besondere Komplikation des Farbentsehens bedeuten.

Beim Hervorrufen von Farbentönen durch zwei tonfreie Reize von verschiedener Helligkeit (Farbeninduktion, Talbot-Fechner-Benhamsche Scheibe, Streifenmuster usw.) ersetzt die Verschiedenheit der Lichtstärken die Verschiedenheit der Dämmerungs- und Tageshelligkeitswertung bei der Farbentonwirkung eines Reizes. Jene

Anordnungen bilden sozusagen die Farbenton-Stereoskopie oder -Stroboskopie¹¹⁾.

III. Psychophysik.

1. Die Helligkeitsreizungen des Spektrums.

Das Spektrum ist eine Mannigfaltigkeit von zwei Dimensionen, der Schwingungsfrequenz (reziproke Wellenlänge) und der Schwingungsenergie (Intensität). In der ersteren Dimension wächst das Spektrum von seinem weniger brechbaren zu seinem brechbareren Ende, in der zweiten nimmt es ab¹²⁾.

Die Helligkeitsverteilung im Spektrum wird durch folgende Sätze bestimmt:

1. Die Helligkeit wächst mit der Schwingungsfrequenz.
2. Sie wächst mit der Schwingungsenergie.
3. Sie nimmt von den Stellen des Gelb und des Grün (Gegend der Fraunhoferschen Linien *D* und *E*) angefangen nach den beiden Enden zu allmählich ab. Wir wollen diese dritte Variable der Helligkeit die *Exzentrizität* nennen. Es handelt sich in ihr vielleicht in geringerem, anfänglichem Maße um denselben unbekanntem Umstand, demzufolge die äußersten Enden des physischen Spektrums ganz unsichtbar sind.

Diese drei Variablen wirken auf die folgende Weise zusammen:

Beim äußersten Dämmerungssehen richtet sich die Helligkeitsverteilung nach der Schwingungsfrequenz, was aber durch die Exzentrizität modifiziert wird.

Beim guten Tagessehen richtet sich die Helligkeitsverteilung nach der Schwingungsenergie mit Modifikation durch die Exzentrizität.

Zwischen diesen beiden Bedingungen ist eine entsprechende Zwischenverteilung der Helligkeit vorhanden.

Betrachten wir nun das Ergebnis dieser Bestimmungen für jenes progressive, weder im Rot verharrende, noch dasselbe wiederaufnehmende, Gebiet des Spektrums, in welchem die Grenztöne aufgerollt werden, allerdings mit der Einschränkung, daß der Grenztöne Rot nicht, sondern nur sehr rötliches Rotgelb vorhanden ist. Es ist dies das Gebiet zwischen der Schwingungsfrequenz 450 (Gegend von *B*) und 640 Billionen/sec (etwas nach *F*).

Beim äußersten Dämmerungssehen ist die Stelle des Rot schwarz, die des Gelb mittelgrau,

¹¹⁾ Zur Skizzierung einer Theorie des Simultan- und Sukzessivkontrastes, welcher eine über die Farbentöne, ja über den Gesichtssinn hinausgehende allgemeine Erscheinung ist, fühle ich mich hier nicht verpflichtet. Es genügt hier auf die Gegensätzlichkeit der in den kontrastierenden Farbentönen enthaltenen Helligkeitschritte hinzuweisen.

¹²⁾ S. über das letztere *Melloni*, angeführt bei *Helmholtz*, Hdb. d. physiol. Optik, 1. Aufl., S. 316, und *Langley*, Energy and Vision in American Journal of Science, III. Series, vol. 36 (1888), p. 359. Nach *Langley* beginnt allerdings diese Abnahme erst etwa bei $\lambda = 650 \mu\mu$, während vom äußersten Rot bis dahin eine Zunahme der Energie stattfindet; doch ist dies für das Folgende belanglos.

die des Grün weiß, die des Blau wieder mittelgrau; diese Helligkeiten können durch die Zahlen 0, 1, 2, 1 ausgedrückt werden. Sie können auf die obengenannte Zusammenwirkung der Schwingungsfrequenz und der Exzentrizität als Variablen der Helligkeit auf das beste zurückgeführt werden.

Beim guten Tagessehen ist die Rotstelle mittelhell, die Gelbstelle hell, die Grünstelle mittelhell, die Blaustelle nahezu dunkel; diese Helligkeiten können durch die Zahlen 1, 2, 1, 0 bezeichnet werden, also durch die Umkehrung der für das äußerste Dämmerungssehen geltenden Zahlenreihe. Auf diesem Gebiete des Spektrums nimmt nun aber die Schwingungsenergie mit großer Annäherung linear ab, und das Verhältnis der Schwingungsenergien an den beiden Enden dieses Gebietes ist genau umgekehrt dasselbe wie das Verhältnis der Schwingungsfrequenzen; ebenso an den Stellen des Gelb und Grün¹³⁾. Der Gang der Schwingungsenergie ist also sehr annähernd umgekehrt derselbe wie der der Schwingungsfrequenz. Die Helligkeitsverteilung beim guten Tagessehen erklärt sich also wieder auf das beste aus dem obengenannten Zusammenwirken der Schwingungsenergie und der Exzentrizität beim Tagessehen.

Zwischen den Stellen der vier Grenztöne (Rot annähernd) ändert sich die Helligkeit sowohl beim äußersten Dämmerungs- wie beim Tagessehen entsprechend.

Die Tatsache, daß die Farbentöne in dem von uns abgegrenzten Gebiete des Spektrums einander in der Ordnung ihrer Verwandtschaft und kreisförmig folgen, läßt sich also, wenn wir die Farbentöne mit den Purkinjeschen Schritten identifizieren, auf das einfachste darauf zurückführen, daß die Schwingungsfrequenz von dem einen zum anderen Ende dieses Gebietes stetig zunimmt, die Schwingungsenergie zu ihr gegenläufig ist, an beiden Enden aber die Exzentrizität vorhanden ist, also auf die Natur der Reize oder, was die Exzentrizität betrifft, zumindest auf die Helligkeitsreizungen. Dies bildet einen der stärksten indirekten Beweise für die Richtigkeit jener Identifizierung. Hingegen ist nach der gangbaren Theorie, welche in den Farbentönen, von der Zurückführung der Übergangstöne auf die Grenztöne abgesehen, unanalysierbare Qualitäten erblickt und diese aus mit den Reizen in inhaltlichem Zusammenhang nicht stehenden Erregungen hervorgehen läßt, jene Reihenfolge ganz unerklärlich. *Hering* (a. a. O., S. 273) gesteht selbst zu, daß er sie „höchst wunderbar“ findet. Damit richtet er aber selbst seine Theorie.

Wir wollen nun auch die beiden Endgebiete des Spektrums besprechen. Das Rot vor *B* bedarf keiner Erörterung; es genügt der Hinweis auf die Exzentrizität, welche die etwaige zentri-

fugale Zunahme der Schwingungsenergie ausgleicht. Was das Violett am anderen Ende des Spektrums betrifft, so besteht, wie wir sagten, ein mehr blaues als rotes Rotblau im Schritt von 0,9 zu 0,1, von 0,8 zu 0,2, von 0,7 zu 0,3, von 0,6 zu 0,4. Das erste Glied dieser Schritte haben wir nun im Dämmerungsspektrum durch die Exzentrizität, hingegen haben wir im Tagespektrum nicht das zweite Glied, da das Blau schon die Helligkeit 0 besitzt. Nun ist aber das spektrale Violett ein Dunkelrotblau, es geht nach unserer Theorie aus der sekundären Verdunklung jener Schritte hervor. Diese Unreinlichkeit einer spektralen Farbe schädigt unsere physiologische Theorie nicht, denn zur Konstituierung des Farbentonsystems, einschließlich des Rotblau, genügen die Purkinjeschen Schritte im Gebiete von Rot bis Blau. Und besteht reines Rotblau aus den Übergangsschritten zwischen spektralem Rot und Blau, so muß das spektrale Violett als Dunkelrotblau erscheinen und aus sekundärer Verdunklung dieses Rotblau hervorgehen. Wir müssen daher auch schließen, daß die Purkinjeschen Schritte, in denen die Sehakte für die Farbentöne bestehen, nur diejenigen innerhalb des von uns abgegrenzten Spektrumgebietes stattfindenden sind, mit Einschluß der Übergangsschritte zwischen Rot und Blau.

2. Kritisches.

Die Farbentöne, als die Purkinjeschen Schritte angesehen, stehen zu ihren Reizen in einem sehr einfachen Verhältnis, wenn wir in diesen Reizen außer der Dämmerungsvariablen der Schwingungsfrequenz und außer der Tagesvariablen der Schwingungsenergie als fortwährende Variable der Helligkeit auch die Exzentrizität anerkennen. Dieses Verhältnis ist nicht weniger einfach und durchsichtig als das Verhältnis zwischen Empfindungs- und Reizstärke oder zwischen den räumlichen und zeitlichen Eigenschaften der Empfindung und des Reizes auf allen Sinnesgebieten. Der Farbenton ist nicht weniger ein annäherndes Abbild des Reizes, als diese Empfindungsinhalte. Das Glühen (die Wärme) des Rot und Gelb in der einen, das Dunkeln (die Kälte) des Grün und Blau in der anderen Hälfte des Farbentonkreises ist das Abbild der geringen Schwingungsfrequenz, der großen Schwingungsenergie in der einen Hälfte des von uns abgegrenzten Gebietes des Spektrums, des umgekehrten Verhältnisses in der anderen; das Dasein eines dunklen Tones (Rot, Blau) neben einem helleren (Gelb, Grün) in beiden Hälften des Farbentonkreises und die Konvergenz von Rot und Blau ist das Abbild der Exzentrizität in den beiden Hälften dieses Spektrumgebietes. Anders wäre es, wie gesagt, der wunderlichste Zufall, daß die Farbentöne einander im Spektrum in ihrer psychologischen Ordnung folgen. Das Farbtonsehen ist letzten Endes nichts anderes als Weiterregistrieren der Fre-

¹³⁾ Vgl. *Langley*, a. a. O. — S. auch *Wundt*, Grdz. d. physiol. Psychologie, 6. Aufl., Bd. II, S. 146.

quenzhelligkeit bei aller Änderung der Lichtstärke; Rot und Grün z. B. heißt für zwei nach ihrer Schwingungsenergie und Exzentrizität mittelhelle Lichter weiterregistrieren, daß das eine nach seiner Schwingungsfrequenz und seiner Exzentrizität schwarz, das andere weiß ist. Der in sich zurückkehrende psychologische Farbetonkreis, die einander kreuzenden Kurven der relativen Dämmerungs- und der relativen Tageshelligkeiten und die einander gleichfalls kreuzenden Dämmerungs- und Tagesreizkurven, von denen die erstere mit der durch die Exzentrizität modifizierten Frequenzgeraden, die zweite mit der durch die Exzentrizität modifizierten Energiegeraden identisch ist: diese drei Mannigfaltigkeiten sind letzten Endes ein und dieselbe Mannigfaltigkeit, natürlich aber mit der Abweichung der Helligkeitskurven von den Reizkurven. Der durch *Johannes Müller* und *Helmholtz* in der Physiologie und Psychophysik eingebürgerte Satz, daß die Qualität nicht Abbild des Reizes sei — wobei es also zwei in ihrer allgemeinen Natur ganz verschiedene Arten von Empfindungsvorgängen gäbe, eine abbildende für die Stärke, das Räumliche und Zeitliche, und eine nichtabbildende für die Qualität —, gilt für den Farbenton nicht¹⁴⁾. Die Lehre, nach welcher die Farbentöne dadurch entstanden, daß Reize im Organismus ihnen gegenüber ganz heterogene Erregungen oder Auslösungen bewirken würden,

ist unrichtig und beruht auf dem Mangel einer richtigen Analyse sowohl der Empfindung wie des Reizes. Freilich, wer in Rot und Gelb nicht ein Glühen des Schwarz und des Mittelgrau, in Grün und Blau nicht ein Dunkeln des Weiß und des Mittelgrau sieht, der wird dies nicht anerkennen können. Aber ebenso würden Menschen, die die verschiedenen Schallstärken nicht als quantitatives Continuum, sondern als so viele gesonderte Qualitäten empfänden, nicht anerkennen können, daß die Schallstärken das quantitative Continuum der Reizstärken annähernd abbilden. Einem solchen Mangel an Fähigkeit des Anschauens ist keine Theorie gewachsen. Den Verfasser dieser Zeilen führte zu den hier dargelegten Ansichten das geschilderte, für ihn bestehende Aussehen der Farbentöne. In diesem seinem Schauen ist er mit Männern wie *Aristoteles*, *Goethe* und *Schopenhauer* einig. Demjenigen, der dieses Schauen nicht teilt, fällt die Aufgabe zu, jene Tatsache, welche im ersten Satze des I. (psychologischen) Kapitels der vorliegenden Arbeit ausgesprochen wurde, auf eine andere Weise näher zu beschreiben und zu erklären. Denn diese Tatsache wird doch wohl allgemein anerkannt werden.

¹⁴⁾ Er gilt überhaupt für keine Qualität. S. hierüber das 4. Heft der oben angeführten Schriften des Verfassers. Dort wird auch dargelegt, daß alle Qualitäten Stärkegestalten sind.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

Über den Zeemaneffekt bei der Resonanzfluoreszenz.

In einer kürzlich erschienenen Arbeit haben *R. W. Wood* und *A. Ellet* (Proc. of the Roy. Soc. 103, 396, 1923) den Einfluß schwacher magnetischer Felder auf die Polarisation der Resonanzfluoreszenz untersucht. Bei Anregung der Fluoreszenz von Gasen mit linear polarisiertem Licht ist theoretisch zu erwarten, daß die Fluoreszenzstrahlung ebenfalls linear polarisiert ist. Experimentell ist diese Erscheinung von *Dunoyer*, *Wood* und anderen bei den Alkalien und bei Jod bestätigt worden. Darüber hinaus ist festgestellt, daß Zusammenstöße angeregter Atome mit anderen Atomen die Fluoreszenzstrahlung depolarisieren. Der neue Einfluß, den *Wood* beobachtet hat, besteht nun darin, daß bei der Resonanzfluoreszenz von Quecksilber schon Felder von weniger als 1 Gauß einen starken Einfluß auf die Polarisation haben. Daher kommt es, daß bei früheren Untersuchungen im Quecksilberdampf ganz verschiedene Polarisationsverhältnisse beobachtet worden waren, je nach der Orientierung der Apparatur gegen das Erdfeld. Als *Wood* seine Untersuchungen auf Natrium ausdehnte, fand er, daß hier erst Felder von 100 Gauß die Polarisation beeinflussen. Erhöhung der Feldstärke — innerhalb gewisser Grenzen — änderte anscheinend an dem Effekt nichts. Sehen wir vorläufig von diesem quantitativen Unterschied ab, so lassen sich im übrigen die von *Wood* an Na und Hg beobachteten Erscheinungen gemeinsam behandeln.

Die Versuchsanordnung von *Wood* sei in Fig. 1 kurz skizziert. In Richtung \odot falle das erregende

Licht, dessen elektrischer Vektor vertikal in der Zeichenebene liegt, auf das Resonanzgefäß *R*. H_1 , H_2 und H_3 sind die Richtungen der magnetischen Felder

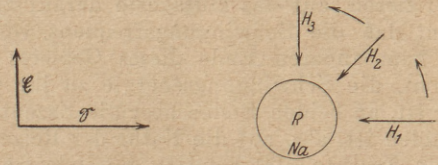


Fig. 1

bei den nacheinander ausgeführten Versuchen. Beobachtet wird senkrecht zur Zeichenebene, und zwar ohne magnetisches Feld lineare Polarisation. Wirkt das Feld H_1 , so wird die Polarisation in der Beobachtungsrichtung verstärkt, in diesem Falle nach Angabe von *Wood* bei Na von 5 %¹⁾ auf 30 %, bei kaltem Hg-Dampf von 50 % auf 90 %. Der elektrische Vektor schwingt hierbei vertikal (parallel \odot). Dreht man das Feld, wie in Fig. 1 angedeutet, so dreht sich auch der elektrische Vektor des polarisierten Anteils des emittierten

¹⁾ *Dunoyer* hat ohne Magnetfeld bei Na unter ähnlichen Bedingungen bis zu 20 % Polarisation, bei Rb und K sogar bis zu 50 % bzw. 40 % beobachtet. Dieser Unterschied der Resultate von *Wood* und *Dunoyer* in bezug auf das Natrium einerseits und die Differenz von *Woods* Resultaten bei Na und Hg andererseits könnten vielleicht durch verschiedene Stärke von beigemengten Gasen erklärt werden. Natrium läßt sich bekanntlich nur bei Anwendung allergrößter Vorsicht genügend entgasen.

Lichtes, verkleinert sich dabei und wird in der 45° -Stellung (Feld H_2) Null (Fig. 2). Dreht man das Feld



Fig. 2.



Fig. 3.

weiter, so vergrößert sich der elektrische Vektor wieder und erreicht in der 90° -Stellung (Feld H_3) seine frühere Größe und Richtung (Fig. 3).

Liegt \mathcal{E} senkrecht zur Zeichenebene (Fig. 4), so

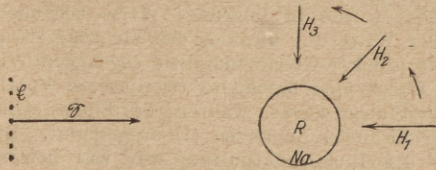


Fig. 4.

wird in der alten Beobachtungsrichtung ohne magnetisches Feld keine, mit Feld H_1 starke Polarisation beobachtet. Der elektrische Vektor schwingt senkrecht wie im ersten Fall. Dreht man das Feld um 90° (von Richtung H_1 über H_2 nach H_3), so dreht sich der elektrische Vektor des polarisierten Anteils des emittierten Lichtes ebenfalls um 90° , ohne seine Stärke zu vermindern (Fig. 5). Beobachtet man jedoch in der



Fig. 5.

Richtung des Feldes H_3 selbst, so erhält man keine, beobachtet man in der Primärstrahlrichtung, so erhält man wieder lineare Polarisation.

Darwin gibt auf Veranlassung von *Wood* hin eine ganz formale Erklärung dieser Erscheinungen. Er nimmt zwei Arten von Erregungen an, eine zirkuläre und eine oszillatorische. Die Ebene der Zirkulation steht senkrecht, die der Oszillation liegt parallel dem Magnetfeld. Je nachdem der elektrische Vektor des einfallenden Strahles parallel der zirkulären oder oszillatorischen Schwingung liegt, wird die eine oder die andere Schwingung angeregt. Diskutiert man nun die einzelnen Fälle durch, so erhält man in der Tat die beobachteten Polarisationsverhältnisse.

Deutet man, was *Darwin* allerdings nicht tut, die zirkuläre bzw. oszillatorische Schwingung nach der Lorentz'schen Theorie des Zeemaneffektes²⁾ als rotato-

²⁾ Die Übertragung dieser klassischen Methode zur Berechnung des Zeemaneffektes in die quantentheoretische ist natürlich nach den bekannten Verfahren aus-

rische bzw. oszillatorische Komponente der Bewegung des Valenzelektrons, so erhält man bei der Absorption des erregenden Lichtes den bekannten inversen, bei der Reemission den direkten Zeemaneffekt, so daß man die von *Wood* beobachteten Erscheinungen nicht als neuen magnetischen Effekt aufzufassen hat, sondern sie wohl auf einen Zeemaneffekt zurückführen dürfte. *Wood* meint einen Zeemaneffekt ausschließen zu müssen, weil die Aufspaltung bei so geringen Feldstärken nur einen kleinen Bruchteil der Verbreiterung der Linien durch den Dopplereffekt der Temperaturbewegung trägt und daher von ihm nicht beobachtet werden konnte. Diese Überlegung besteht jedoch nicht zu Recht, da nach unserer Auffassung nur die Polarisationsverhältnisse maßgebend sind.

Der Fall liegt hier ganz ähnlich wie bei dem von *Hale* geführten Nachweis des Zeemaneffektes im Sonnenspektrum (siehe den zusammenfassenden Bericht von *Emden* in den Naturwissenschaften 9, 916, 1921). Hier sind die Linien breit gegenüber der Aufspaltung. Trotzdem konnte *Hale* die Aufspaltung einiger Linien im Magnetfeld der Sonne (etwa 50 Gauß) dadurch nachweisen, daß er die eine der polarisierten Komponenten durch Anwendung von Polarisationsoptik zum Verschwinden brachte und die hierdurch verursachte Verschiebung der Linien maß. Übrigens hat für die schmale Resonanzlinie 2536,7 Å, wie sie auch hier von *Wood* benutzt wurde, *Malinowski* (Ann. d. Phys. 44, 935, 1914) die direkte Aufspaltung bei Feldern etwas über 100 Gauß nachweisen können, indem er zeigte, daß die durch das Magnetfeld verstimmte Linie von Hg-Dampf weniger absorbiert wird als die unverstimmte.

Die Untersuchung der Polarisationsverhältnisse ist offenbar nur ein bequemerer Mittel zum Nachweis von magnetischen Aufspaltungen, die so klein sind, daß sie sich den normalen Beobachtungsmethoden entziehen. Das legt den Gedanken nahe, kleine Starkeffektaufspaltungen ebenfalls auf diese Art nachzuweisen. Das hat bei wasserstoffähnlichen Spektren ein besonderes Interesse, da hier nach *Bohr* ein äußerst geringer Stark-effekt zu erwarten ist. In der Tat haben auch *Paschen* und *Gerlach* (Phys. Zs. 15, 489, 1914) vergebens versucht, die Beeinflussung der Absorption und der Resonanzfluoreszenz im Hg-Dampf durch elektrische Felder nachzuweisen. *Ladenburg* (Phys. Zs. 22, 549, 1921) ist es dann gelungen, bei Natrium eine Verschiebung der D-Linien in Absorption bei Anwendung extrem hoher Felder zu finden.

Es wird daher zurzeit von mir versucht, durch Untersuchung der Polarisationsverhältnisse für die Resonanzstrahlung des Quecksilbers den Starkeffekt nachzuweisen.

Göttingen, den 28. Juni 1923.

W. Hanle,

II. Phys. Inst. der Universität.

zuführen; sie unterbleibt hier aus Bequemlichkeitsgründen. Auf eine Diskussion der entsprechenden Verhältnisse bei dem anomalen Zeemaneffekt wird aus demselben Grunde verzichtet.

Mitteilungen aus verschiedenen biologischen Gebieten.

Die moderne Insektenbekämpfung in den Vereinigten Staaten. Unter diesem Titel veröffentlicht *I. C. Th. Uphof* (Orlando-Florida) eine sehr interessante Arbeit in der Zeitschrift für angewandte Entomologie Bd. 9, Heft 2 (Verlag P. Parey), Berlin 1923. Der Verfasser weist im ersten Teil auf die Erfolge hin,

welche man in den Vereinigten Staaten mit der biologischen Bekämpfungsmethode erzielte. Letztere besteht darin, die natürlichen Feinde der Großschädlinge zu ihrer Vernichtung heranzuzüchten. Wir entnehmen der Arbeit die wichtigsten Daten. Um den Lesern der Zeitschrift, welche diesem speziellen Arbeitsgebiete

fernerstehen, gerecht zu werden, füge ich den Uphof'schen Angaben einige Bemerkungen hinzu am Schlusse der Ausführungen. Das erste Beispiel, welches Uphof bringt, ist in Fachkreisen schon länger bekannt. Es handelt sich um die Bekämpfung der Schildlaus *Icerya Purchasi* mit Hilfe des Käfers *Novius cardinalis*. Genannte Schildläuse waren aus ihrer australischen Heimat, ohne ihre natürlichen Feinde, in Kalifornien eingeschleppt worden und vermehrten sich katastrophal in den Zitrusplantagen. Erst nach mühevoller Arbeit gelang es den Käfer *Novius cardinalis* ebenfalls in Kalifornien einzuführen und in großem Umfange zu züchten. Der Käfer wurde ausgesetzt und hatte bald ganze Arbeit gemacht, d. h. die verheerenden Schildläuse vernichtet. — Von einem ähnlichen Falle berichtet Uphof von den Hawai-Inseln. In Zuckerrohrplantagen hatte sich um 1902 die Zikade *Perkinsiella saccharicida*, die etwa 1898 erst eingeschleppt worden war, ungeheuer vermehrt. Man holte deshalb die zugehörigen Parasiten, unter anderen vor allem Schlupfwespen, ebenfalls aus Australien, züchtete sie im großen und setzte sie aus. Daraufhin erfolgte im Jahr 1915 ein Massensterben des Schädlings, welches durch die Schlupfwespe *Paranagrus optabilis* hervorgerufen worden war. Durch die gleichen Mittel hatte man die besten Erfolge gegen den auch auf den Hawai-Inseln verheerenden Käfer *Rhabdocnemis obscurus*, dessen Parasiten man aber aus Neu-Guinea holte.

Gegen den Schwammspinner und Goldafter (*Porthesia dispar* und *Euproctis chrysorrhoea*) führte man unter anderen Parasiten auch die Schlupfwespe *Schedius kawanae* aus Japan ein. Gruppenweise wurden sie ausgesetzt, vermehrten sich und finden sich jetzt zu Millionen an Stellen, wo *Porthesia* ihre Eier ablegt. Es ist also, nach mancherlei Fehlschlägen, ein sicherer Erfolg mit der biologischen Bekämpfungsmethode erzielt worden.

Um die auf Citrusarten höchst schädlichen schwarzen Schildläuse *Saissetia oleae* in Kalifornien zu bekämpfen, führte man aus Südafrika einen ihrer Parasiten (*Aphycus Lounsburyi*) ein und hatte mit diesem Vorgehen Erfolg. Letzterer Fall bietet noch ein besonderes Interesse. Bisher hatte man die von den schwarzen Schildläusen befallenen Citrusplantagen mit Blausäure begast. Dieses Vorgehen führte zwar zum Ziel, d. h. die Schildläuse wurden vernichtet, doch befriedigte der Ertrag der Plantage nicht mehr voll, und deshalb ging man zum geschilderten Verfahren über.

Weiterhin macht Uphof Mitteilung über Erfolge der biologischen Bekämpfungsmethode unter Zuhilfenahme von insektenparasitären Pilzen. Man ging, besonders in Florida, in der Weise vor, daß man die Pilze in Reinkulturen züchtete, in Wasser aufschwemmte und an Ort und Stelle verspritzte, wobei sich als beste Spritzzeit die regenreichere Sommerperiode erwies. Die Wirkung der Pilze tritt aber nicht sofort auf, sondern erst nach 3—5 Wochen. Als insektentötende Pilze führt Uphof an: *Aegerita Webberi*, *Sphaerostilbe coccophila*, *Mikrocera fugikuroi*, *Ophionectra coccicola*, *Aschersonia cubensis* und andere mehr. Diese Pilze sind für die so schädlichen Schildläuse: *Dialeurodes citri*, *Aspidiotus perniciosus* (die San-José-Schildlaus), *Lepidosaphes Gloverii* und noch verschiedene andere Arten höchst gefährlich. Welche Bedeutung diese Pilze als Insektenvernichter haben, geht aus diesbezüglichen Versuchen hervor. Bespritzt man nämlich Bäume, deren Schildläuse von Pilzen obiger Art befallen sind, mit Kupfer-Kalkbrühe, so gehen die Pilze durch die Giftwirkung des Kupfers zugrunde. Nach einiger Zeit vermehren sich die schäd-

lichen Insekten von neuem sehr stark. Genannte Pilze halten also die Insekten gleichsam in Schach. Außer den insektentötenden Pilzen sind, wie Verfasser angibt, auch insektentötende Bakterien (z. B. *Micrococcus nigrofaciens*) zur Vernichtung herangezogen worden, und entsprechende Versuche damit wurden bereits in die Wege geleitet.

Der zweite Teil der Arbeit ist nicht minder interessant. Uphof macht Mitteilung über die Benutzung von Flugzeugen zur Schädlingsbekämpfung im Staate Ohio. Die Versuche, die angestellt wurden, brachten ein überraschend glänzendes Resultat. Die Versuchsbedingungen waren folgende:

Eine Plantage von 240 m Länge und 100 m Breite, mit 4815 *Catalpa speciosa*-Bäumen von 8—10 m Höhe bestanden, wurde in folgender Weise behandelt: Bei günstiger Witterung überflog das Flugzeug etwa sechsmal mit 120 km Geschwindigkeit gegen den Wind das Feld. Durch eine besondere regulierbare Vorrichtung zum Zerstäuben wurden während des Fluges etwa 80 kg Bleiarsenat in 54 Sekunden (!) ausgestreut. Die Verteilung des Bleiarsenatpulvers war voll befriedigend, und 46 Stunden später konnte man den Erfolg der Bekämpfung feststellen. Millionen toter Raupen des Falters *Ceratonia catalpae*, welche auf den *Catalpa*-Bäumen gefressen hatten, lagen tot am Boden; die Zahl der überlebenden Tiere wurde auf kaum 1 % geschätzt. Der Versuch hat also gezeigt, daß die Flugzeuge eine große Bedeutung bei der Bekämpfung der Schädlinge zu spielen umstände sind. — Ich kann es mir nicht versagen, bei dieser Gelegenheit darauf hinzuweisen, daß der Gedanke, Flugzeuge in den Dienst der Schädlingsbekämpfung zu stellen, auch in Deutschland aufgetaucht ist. Bereits 1919, also zu einem Zeitpunkt, wo nach Uphof noch niemand in Amerika daran dachte, machte Geh. Prof. Haber (Berlin-Dahlem) den Vorschlag, anlässlich einer Kiefernspinnerplage, von Flugzeugen aus geeignete Vernichtungsmittel auszustäuben. Der Habersche Vorschlag konnte nicht zur Ausführung kommen. Einmal waren die Verhältnisse der Nachkriegszeit derartigen Versuchen nicht günstig, dann waren auch andere Widerstände vorhanden, wie stets bei derartigen neuen Gedanken. Daß aber der Vorschlag an und für sich ausführbar war, zeigt der von Uphof mitgeteilte Versuch. Es wäre also zu wünschen, daß man auch bei uns Versuche dieser Art in die Wege leitete.

Einige Schlußbemerkungen seien noch gestattet. Uphof führt natürlich in seiner Arbeit ausschließlich die Fälle auf, wo die biologische Bekämpfung Erfolg hatte, die vielen Fälle, in denen sie versagen mußte, werden nicht angeführt. Anerkennenswert ist, daß die Amerikaner trotz vieler Mißerfolge immer wieder an dieses Problem herangetreten sind, da sie sich richtig sagten, daß mit dieser Methode in einzelnen Fällen sicher Erfolge erzielt werden können. Übersieht man die Fälle der Erfolge biologischer Bekämpfungsmethode, so ergibt sich stets, daß die Methode nur dann Erfolg hatte, wenn sie gegen eine Form angewendet wird, die in ihrer neuen Heimat (Amerika) zunächst ohne ihre natürlichen Parasiten lebt, wie z. B.: *Icerya Purchasi*, *Perkinsiella*, *Porthesia*, *Euproctis* usw. Führt man also die zugehörigen Parasiten zu den Formen späterhin ein, so finden erstere die allgünstigsten Lebensbedingungen an den massenhaft vorhandenen Wirten (sowie die Schädlinge) und vermehren sich in sehr kurzer Zeit ins Ungeheure. Die Vermehrung wird

so lange gehen, bis das natürliche Gleichgewicht zwischen Parasiten und Wirt wieder hergestellt ist. Diese Tatsache lehrt uns immer wieder, daß man derartige Erfolge nicht kritiklos verallgemeinern darf und die biologische Methode als das Allheilmittel empfehlen. Sondern man muß sich immer klar sein, daß gerade bei dieser Methode eine sehr sorgfältige Voruntersuchung am Platze ist, um zu prüfen, was sie etwa zu leisten imstande ist. Bei unseren Schädlingen ist sie sicher vielfach gar nicht möglich, die Bedingungen ihrer Massenvermehrung hat andere Ursachen als das bloße Fehlen der natürlichen Feinde, wie es in Amerika der Fall war. Es werden also biologische, chemische und mechanische Bekämpfungsmethoden stets Hand in Hand arbeiten müssen, um der Großschädlinge Herr zu werden. Welche von diesen drei Methoden die wirtschaftlichste und die erfolgreichste ist, bedarf eingehender wissenschaftlicher Voruntersuchungen.

Atbrecht Hase.

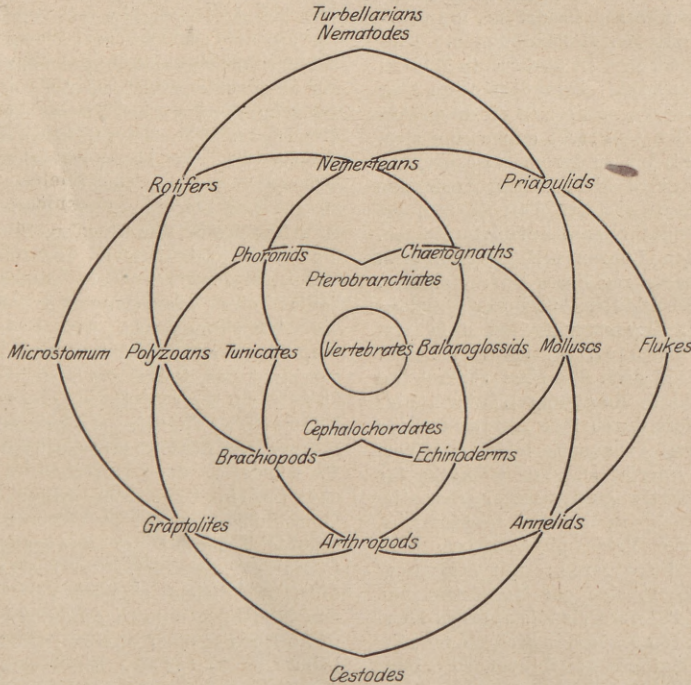
Die Entstehung der Wirbeltiere. Im Journal der Washington Academy of Sciences vom 4. April entwickelt A. H. Clark eine ganz neue Ansicht über den Ursprung der Wirbeltiere. Der Gipfel wirklicher Entwicklung ist für ihn der radiärsymmetrische Cölenteratentypus, die bilateralen Lebewesen sind durch seine Zerspaltung entstanden. Die geometrische Rekombinationsmöglichkeit der dabei auseinandergerissenen Eigenschaften erklärt Entstehung und Notwendigkeit aller Typen!

Das letzte allen Embryogenesen gemeinsame Sta-

3. bilaterale Einzeltiere, jedes einer losgelösten Cölenterateneinheit entsprechend: Turbellarien und Nematoden; 4. bilaterale Einzeltiere, die Kolonien bilden ohne Abhängigkeit voneinander: das Turbellar Microstomum. — Diese 4 Typen vereinigen in sich noch radiäre und bilateralsymmetrische Züge.

Die sogenannte Entwicklung der bilateralen Tiere ist nun keine Entwicklung im Sinne eines Fortschritts von niederen Typen zu höheren, sondern Vereinigung und Auswahl der 4 charakteristischen Züge der 4 Formen, in welche die radiärsymmetrische Cölenteratenkolonie zerfallen ist. Mit anderen Worten: Die sogenannte Entwicklung der Tiere ist in Wahrheit Konvergenz von 4 äquidistanten Punkten zu einem gemeinsamen Zentrum, und die zunehmende Ökonomie kein wirklich phylogenetischer Fortschritt; sie ergibt sich einfach aus der immer innigeren Mischung und dem immer besseren Ausgleich zwischen den Eigenschaften der Bandwürmer, Saugwürmer, Strudelwürmer und des Microstomum: — den 4 Eckpunkten des „ursprünglichen Quadrats“.

Diese 4 Eckpunkte repräsentieren aber je einen Tierkomplex in labilem Gleichgewicht; denn da alle vom gleichen Ahn abstammen, besitzt jeder latent die Eigenschaften der anderen drei. Bei plötzlicher Wiederherstellung des Gleichgewichts müssen intermediäre Typen entstehen, zunächst je einer zwischen je zwei der vier Ecken. (Sie werden als Schnittpunkte runder Figuren in drei Abbildungen veranschaulicht,



dium ist ja ein radiäres: die Gastrula; also muß der gemeinsame Ahn aller Tiere eine „erwachsene Gastrula“ gewesen sein: das Cölenterat. Durch „einen beharrlichen Defekt in der Ontogenie“ sind gleichzeitig 4 bilaterale Haupttypen aufgetreten, die alle in der heutigen Tierwelt verwirklicht sind: 1. Eine lineare Kolonie: die Bandwurmproglottiden, aus radiärem Scolex sprossend; 2. bilaterale Tiere mit nach innen gewendeter Koloniebildung: Trematoden (flukes);

deren wichtigste hier wiedergegeben sei.) Diese Intermediärtypen sind distinkte Schöpfungen und mit keinem der Nachbarn genetisch verknüpft; daß sie ökonomischen Fortschritt zeigen, ist das Resultat der Kombination der Vorzüge der Nachbartypen. Es fehlen ihnen aber noch zwei der vier Grundeigenschaften; daher herrscht noch immer labiles Gleichgewicht und verursacht einen zweiten Ausgleichstoß, an dessen Kreuzungspunkten vier neue Tiertypen die

Charakterzüge der ersten Intermediären vereinigen. Endlich muß logischerweise ein dritter solcher Vorgang („readjustment“ = „Wiederherstellung“) statthaben, welcher die vier Haupteigenschaften jedem Tier zuführt. Welche Typen dabei entstehen, zeigt die Figur.

Aber noch immer ist kein Gleichgewicht eingetreten, weil der Einfluß der vier Eigenschaften in jedem Fall verschieden groß ist. Ein „4th readjustment“ stellt einen Ausgleich her und läßt vier ziemlich ähnliche Typen entstehen: Tunicaten, Cephalochordaten, Balanoglossiden und Pterobranchiaten. Sie stehen einander schon so nahe, daß ein 5th readjustment einen einzigen perfekten Typus entstehen lassen muß, in welchem endlich die vier Hauptzüge der Grundtypen in ökonomischster Form wieder vereint sind: — die *Wirbeltiere*, in welchen die Segmentierung der Cestoden und Anneliden vereint ist mit dem Cölombau der Trematoden, beides eingeschlossen im ungeteilten Körper der Turbellarien. —

(Man weise den Verdacht eines Aprilscherzes von sich! Es handelt sich um ein ernstes Symptom der rücksichtslosen Invasion der Mathematik ins Biologiegebiet.)

T. E.

Über die Geotaxis von *Paramecium*. (O. Koehler, Archiv für Protistenkunde Bd. 45, S. 1—94, 1922.) Die mechanische, die Druck- und die Widerstandstheorie zur Erklärung des negativ geotaktischen Verhaltens von *Paramecium* (P.) sind verfehlt; allein die Statocystentheorie vermag den Tatsachen gerecht zu werden. Da sie jedoch von Lyon nur in ganz allgemeiner Form ausgesprochen wurde, bedarf sie, um überzeugend zu wirken, der näheren Bestimmungen. Einzelne oder wenig zahlreiche Tiere, in senkrechte Röhren verbracht, zeigen keine Geotaxis; bringt man sie aber in mit CO₂ gesättigtes Wasser, so steigen sie ohne Abweichungen von der Geraden senkrecht empor, um sich, am oberen Ende angelangt, bis zu ihrem Tode oben zu halten. Noch auffälliger wird diese streng gerichtete Aufwärtsbewegung in dichtbesetzten CO₂-Röhren, wo alle Tiere parallel und unaufhaltsam aufwärts steigen. In ebenso dicht besiedelten Röhren mit gewöhnlichem Wasser dagegen sieht man ein regelloses Durcheinander, und selbst verfeinerte Beobachtung läßt unter Umständen kaum etwas von der Bevorzugung der aufwärtsgerichteten Bewegungen erkennen, die vorhanden sein muß, da die Tiere zuletzt ja doch alle oben versammelt sind („scheinbar ungerichtete Bewegung“). Auch hier sorgen die zahlreichen Tiere durch ihre Ausatmung für eine gewisse CO₂-Spannung. Demnach bildet das Vorhandensein von CO₂ eine unerläßliche Vorbedingung für das Zustandekommen negativ geotaktischer Orientierung. — Bei geringer CO₂-Spannung sind mechanische, chemische und galvanische Reize physiologisch weit stärker wirksam als der Schwerereiz; mit steigender CO₂-Spannung dagegen kehrt sich das Verhältnis um, bis bei CO₂-Sättigung der Schwerereiz alle anderen überwiegt. Wird z. B. am oberen Ende des Steigrohres eine Anode, am unteren eine Kathode angebracht, so erfolgt in der gewöhnlichen Kulturflüssigkeit streng gerichtete Abwärtsbewegung zur Kathode. In CO₂-gesättigtem Wasser aber steigt alles ebenso streng gerichtet und parallel aufwärts zur Anode, und zwar selbst bei starken Strömen.

Werden P. durch starkes Schleudern an den von der Zentrifugenachse am weitesten entfernten Rohrteilen passiv angesammelt, so bewegen sie sich unmittelbar nach Aufhören des Schleuderns mit mehr als das Doppelte der normalen betragender Geschwindigkeit streng gerichtet zur Zentrifugenachse hin: Steht nach

dem Schleudern das Rohr senkrecht unter der Zentrifugenachse, so steigen sie auf, steht es senkrecht über der Achse, so schwimmen sie abwärts; steht es waagrecht links oder rechts von ihr, so eilen sie nach rechts bzw. nach links. Diese streng gerichteten beschleunigten Bewegungen erfolgen also, unabhängig von der Lage des Rohres im Raume, stets zur Zentrifugenachse hin. Auch für das Zustandekommen dieser „negativen Zentrotaxis“ ist eine gewisse CO₂-Spannung unerläßlich: Einzeltiere in normalem Wasser orientieren sich nicht, verhalten sich aber wie im Massenrohre, wenn sie einzeln in CO₂-gesättigtem Wasser geschleudert wurden.

Bringt man P. in eine Suspension von ferrum reductum, so bilden sich manchmal zahlreiche mit Eisen gefüllte Nahrungsvacuolen. Solche „Eisentiere“ zeigen keine erhöhte Neigung zu negativ geotaktischer Einstellung. Bringt man aber ein enges Röhrchen mit zahlreichen Eisentieren derart mitten auf dem Eisenkern eines einpoligen Elektromagneten an, daß die das Rohr durchsetzenden Kraftlinien alle praktisch parallel und in der Längsrichtung des Rohres verlaufen, so entsteht unter allen Umständen eine polferne Ansammlung. Stellt man das System Magnet-Röhrchen senkrecht auf, so bilden die P. eine negative Ansammlung am oberen Ende des Rohres; legt man es waagrecht, den Magneten links, das Rohr rechts, so gehen die Tiere zum rechten Rohrende; hängt man den Magneten verkehrt senkrecht frei auf, so daß das Rohr unter ihm senkrecht steht, so kommt eine positive Ansammlung am unteren Rohrende zustande, die freilich manchmal unvollständig ist; stets aber bleibt die Polnähe frei von Tieren. Die Geschwindigkeit der schlecht gerichteten Bewegungen, die zur Bildung der Ansammlungen führen, ist im Durchschnitt um die Hälfte größer als die von Eisentieren außerhalb des magnetischen Kraftfeldes unter sonst gleichen Bedingungen. Einzeltiere ließen auch hier in normalem Wasser die für Massenröhrchen beschriebene Orientierung vermissen, für die also wiederum eine nicht zu geringe CO₂-Spannung Vorbedingung ist.

Alle diese Versuchsergebnisse lassen sich durch die Statocystentheorie zusammenfassend erklären. Die „Statocyste“ der Metazoen ist in erster Linie ein tonuserregendes Organ: sie wandelt die Anziehungskraft der Erde in Nervenregung um, die der Muskulatur zugeführt wird; und zwar geschieht das, indem der Druck oder Zug, den im Verhältnis zu ihrer Umgebung spezifisch schwere (Statolithen) oder leichte (Luftblasen der Wasserwanzen) Körper auf Sinneshaare ausüben, als Reiz wirkt. Bei P. würde es der tonischen Wirkung bei Metazoen entsprechen, wenn verstärkter Druck oder Zug, den Einschlußkörper auf das Plasma des Zelleibes ausüben, erhöhte Tätigkeit der Bewegungsorganellen, d. h. des Cilienkleides auslöst. Der Eisenversuch lehrt, daß hier die Eisenteilchen, also im Verhältnis zu den umgebenden Medien spezifisch *schwerere* Körper, die Rolle von Statolithen spielen dürften; nur sie erleiden nämlich beim Einschalten des Elektromagneten eine verstärkte Anziehung und drücken daher stärker auf das Plasma als allein im Felde der Erdschwere; entsprechend steigt die Bewegungsgeschwindigkeit. Wesentlich stärker ist die Zunahme der Drucke auf das Plasma, die während des Schleuderns von schweren Einschlußkörpern (wohl in erster Linie den *Schewiakoffschen* Kristallen (?)) ausgeübt werden, und dementsprechend sehen wir in den Schleuderversuchen noch stärkere Geschwindigkeitszunahmen als bei den Eisentieren am Elektromagneten. — In zweiter Linie üben die Statocysten der Metazoen auch *statische* Funktionen aus: Wenn für ein-

zelne Gruppen von Sinneshaaren getrennte Reizleitung besteht, so wird es möglich, daß bei verschiedener Lage des Organes im Raume bestimmten Muskelgruppen ungleiche Erregungsmengen zufließen, so daß das Organ damit zur Orientierung des Tieres im Raume beiträgt. Auch die P. sehen wir nun im normalen Geotaxisversuche, im Schleuderrohre und im Eisenversuch *gerichtete* Bewegungen ausführen. Der Grad, die Güte der Orientierung zwar hängt von einem Begleitfaktor ab, nämlich der Größe der CO₂-Spannung, der *Sinn* der Orientierung aber läßt sich in allen drei Versuchsgruppen einheitlich durch die folgende Beziehung auf die Statolithen aussprechen: Stets bewegen sich die Tiere in einer Richtung, die derjenigen entgegengesetzt ist, in der die Statolithen auf das Plasma drücken. Vermutungsweise könnte man sich den Mechanismus der Orientierung so vorstellen, daß die subpelliculäre Plasmazone des Vorderendes (in Übereinstimmung mit älteren Befunden) besonders empfindlich gegen die Druckreize der Einschlusskörper ist. Trifft sie ein Druck, was bei jeder *abwärts*führenden Bewegung stattfindet, so löst derselbe die Schreckreaktion aus (scheinbar ungerichtete Bewegung durch *phobisches* Verhalten). In CO₂-gesättigtem Wasser nimmt die Viskosität des Endoplasmas nachweislich zu, und das verfestigte Endoplasma wird die Druckreize wirksamer fortgeben als das flüssigere des normalen Tieres, ebenso wie sich ein Schlag auf eine Gallerte über weitere Strecken auswirken wird als ein solcher auf Wasser; so ließe es sich verstehen, wenn jetzt auch an den weniger empfindlichen übrigen Teilen der subpelliculären Schicht (nicht nur des Vorderendes, sondern des ganzen Körpers) von den Statolithen ausgehende Druckreize perzipiert werden. Somit werden nun auch bei schräg aufwärtsgerichteten Bewegungen Druckreize wahrgenommen, und damit sind die Vorbedingungen gegeben, die zu einer *topischen*, streng gerichteten Reaktionsweise führen könnten, wie wir sie bei den CO₂-Tieren tatsächlich beobachten. So würde die sensibilisierende Wirkung der CO₂ verständlich, und man begriffe zugleich, wie derselbe Außenfaktor je nach der Stimmung des Tieres (hier = Viskositätsgrad des Plasmas) bald phobische, bald topische Reaktionen auslöst.

Autoreferat.

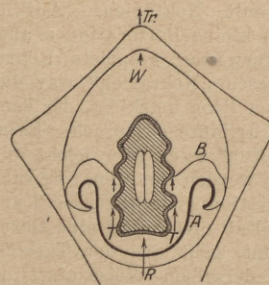
Geotaxis bei dem Seeigel Centrechinus. (G. H. Parker, Biol. bull. of the marine biol. laborat. Bd. 43, Nr. 6, S. 374—383, 1922.) Centrechinus antillarum klettert, unabhängig vom Lichte (auch im Dunkeln) und dem Sauerstoffreichtum der Wasseroberfläche (auch wenn diese mit einer Glasscheibe überdeckt ist) an senkrechten Wänden stets aufwärts. Wird eine wagrecht liegende Glasscheibe, auf der der Seeigel sich festgesetzt hatte, senkrecht aufgestellt, so beginnt das Tier sofort mit der Aufwärtsbewegung. Das Tier zeigt also sehr starke negative Geotaxis. — Bei den wagrechten Ortsbewegungen mancher Seesterne und Seeigel läßt sich eine physiologische Vorderseite unterscheiden, d. h. eine solche, die öfter in der Bewegung vorangeht, als jede andere; bemerkenswerterweise ist der führende Radius des von Cole untersuchten Seesternes Asterias forbesi (links von der Madreporenplatte) dem führenden des Seeigels Mellita (nach Crozier dem exzentrisch gelegenen Anus gegenüber) auch morphologisch gleichwertig, so daß hier Homologie und Analogie zusammenfallen. — Bei der Aufwärtsbewegung von Centrechinus dagegen kann jeder der 5 Radien vorangehen, ja es scheint sogar völlige Gleichberechtigung zwischen ihnen zu bestehen. Während also die streng bilateralsymmetrischen Tiere vor Beginn der geotaktischen Wanderung

ihre Hauptachse in die Richtung der Schwerkraft einstellen, tritt der vorwiegend radiärsymmetrische Centrechinus seinen Aufärtsweg mit beliebiger Stellung seiner Symmetrieebene (durch die Madreporenplatte) an. Die Oro-Aboralachse stellt er zwar auch vorher ein, indem er den Mund der Unterlage zuwendet, bevor er aufwärts kriecht. Doch ist das keine geotaktische, sondern eine lediglich stereotaktische Einstellung, wie folgender Versuch zeigt. Sowie das mit wagerechter Oro-Aboralachse frei aufgehängte Tier die senkrechte Glaswand mit seitlichen Körperteilen berührt, wendet es genau so gut den Mund der Glaswand zu, wie ein mit dem Munde nach oben auf eine wagerechte Unterlage gelegtes Tier es auch tut. Die Anfangseinstellung (Mund gegen die Unterlage, sie mag wie immer im Raume orientiert sein) ist also rein stereotaktisch, und allein die nun folgende Aufwärtsbewegung ist als geotaktische Reaktion zu bewerten. Sie erinnert in dem Punkte an den pilanzlichen Geotropismus, daß auch dort kein Radius der radiärsymmetrischen Pflanzenteile bei den Wachstumskrümmungen bevorzugt wird. — Beim Versuch der Erklärung der negativ geotaktischen Reaktion versagt die mechanische Theorie wieder einmal vollkommen; Verf. hängt grundsätzlich der Statocystentheorie an. Vielleicht wird der gerichtete Druck percipiert, den die Stacheln in ihren Gelenken ausüben, indem ihr Gewicht sie niederzuziehen trachtet. Die Receptorenfrage (sensible Nervenendigungen in den stachelaufrichtenden Muskeln? [Ref.]) ist nicht ange-schnitten.

Kochler, München,

Ber. üb. d. ges. Phys. u. exp. Pharm.
Bd. 18, 1923.

Der Mechanismus der Samenauscheidung von Oxalis. Zu den zahlreichen Gattungen, deren Samen vermittelt eines besonderen Schleudermechanismus verbreitet werden, gehört auch Oxalis (Sauerklee). Während sonst aber das Ausschleudern meistens durch die Fruchtwand erfolgt, spielen sich hier die entscheidenden Vorgänge am Samen selbst ab, und zwar liegen die Dinge nach den Untersuchungen von F. Overbeck (Jahrb. f. wiss. Bot. 62, 1923) folgendermaßen: Die Oxalissamen sind von einer Schleuderschicht umgeben, die sich entwicklungsgeschichtlich vom äußeren Integument der Samenanlage herleitet und mehrere Zellagen dick ist; die äußerste Zellige trägt eine sehr derbe kutikulaähnliche Außenhaut, die durch das Wachstum und die Turgorspannung des darunterliegenden Gewebes mehr und mehr gedehnt wird, bis sie schließlich reißt, und zwar nicht beliebig, sondern stets an der Längskante, die der Oxalissame der Außen-



wand des Fruchtfachs zukehrt. Nunmehr rollt sich die Schleuderschicht mit außerordentlicher Geschwindigkeit zurück (Querschnittsbild, s. Fig.), und dabei wird der Samen, während die innere Fruchtwand (W) als Widerstand dient, mit solcher Gewalt vorwärts

gestoßen, daß er die äußere Fruchtwand durchschlägt und in weitem Bogen die Luft durchläßt. Sowohl die Stelle, an der die Schleuderschicht aufreißt, als auch jene, wo die Fruchtwand durchstoßen wird (*Tr*), sind anatomisch vorgebildet, und biologisch bedeutungsvoll ist, daß die erst nickenden Fruchtsiele in der Phase, wo die Samen schleuderreif werden, sich spontan aufrichten und so freies Schußfeld schaffen. Immer weisen die Samen an ihrer Oberfläche Rauigkeiten auf, die bei dem gewöhnlichen Sauerklee (*O. acetosella*), auf den sich das Querschnittsbild bezieht, in Form von Längsrippen verlaufen. Auf diese Weise wird beim Abschleudern eine feste Führung erzielt, weil nunmehr beim Aufrollen der Schleuderschicht die vorwärtstreibende Kraft nicht bloß hinten (*R*), sondern auch auf beiden Flanken (*T*) angreift. Messungen an der aufgerollten Schleuderschicht ergaben nun, daß sich nicht bloß die Außenhaut um 35 % kontrahiert, sondern die ursprünglich innerste Zelllage, die jetzt infolge der Umkrepelung nach außen schaut, um etwa denselben Betrag gedehnt hat. Es wirken also offenbar bei dem Endergebnis gleichzeitig Kontraktionsbestreben der Außenhaut und Expansionsbestreben der Innenschichten zusammen. Für die Erklärung des hohen Turgordruckes im Innern ist eine Beobachtungstatsache von großer Bedeutung: Während im jungen Samen die Schleuderschicht prall voll ist mit Stärke, verschwindet diese in den letzten Stadien zum größten Teil, wird also zweifellos verzuckert; diese Vermehrung der osmotisch wirksamen Substanz hat zur Folge, daß die Schleuderschicht dem Samen Wasser entzieht und dadurch ihren Turgor so lange steigert, bis die Explosion eintritt.

Der Tierversuch im Dienste der Blütenökologie.

Wohl auf keinem anderen biologischen Gebiet ist so sehr mit Spekulation gearbeitet worden als bei der Blütenökologie, und so ist es lebhaft zu begrüßen, wenn sich neuerdings mehr und mehr das Streben bemerkbar macht, das reiche Hypothesengebäude auf eine experimentelle Grundlage zu stellen. Einen Beitrag nach dieser Richtung liefert eine kurze Mitteilung von *Knoll* (Ber. d. d. bot. Ges. 40, 1922), die sich mit der Frage beschäftigt, ob die Blüte der Muskathazinthe (*Muscari racemosum*) einen für die Anlockung des Taubenschwanzes (*Macroglossum*) wirksamen Schapparat darstellt. Diese Blüte besteht aus einem glockigen violetten Perigon, das an seiner Öffnung einen den Zipfeln der verwachsenen Blütenblätter entsprechenden Kranz von weißen Zähnen trägt, die nach üblicher Interpretierung dem Insekt den Eingang zum Nektar zeigen. *Knoll* konstruierte nun künstliche Blüten mit Nektarien. Auf einer violetten Scheibe wurden kleine Perforationen angebracht, in die eine mit Zuckerwasser gespeiste Röhre führte. Der Eingang zu diesen „Nektarien“ war durch einen aufgeklebten weißen Ring markiert, der dem weißen Zahnkranz der Muscariblüte entsprach. Es zeigte sich, daß die Falter im Flugkasten sehr leicht auf diese Futterquelle dressiert werden konnten. Es bildete sich offenbar eine Assoziation zwischen „Weiß auf Violett“ und „Futter“ aus. Daß nicht etwa eine Geruchsempfindung in Frage kommt, geht aus der Tatsache hervor, daß der Anflug in derselben Weise stattfindet, wenn der Eingang zum „Nektarium“ mit einer durchsichtigen Glasscheibe versperrt wird, die ein Abströmen des Duftes verhindert. An der Stelle des Eingangs ist

dann das Glas mit Rüsselspuren übersät, die den vergeblichen Anflügen entsprechen. Optisch wirksam ist nur Weiß auf Violett und Weiß auf Purpur, nie aber Weiß auf Grau oder Weiß auf Gelb. Es liegen also dem Verhalten des Schmetterlings zweifellos Farbeempfindungen zugrunde, wie dies für andere Insektengruppen schon durch *v. Frisch* (Honigbiene) und von *Knoll* selbst (Blumenfliege) nachgewiesen worden ist.

Ultramikroskopische Mikroben im Waldboden.

Für eine ganze Reihe von Krankheiten — sowohl des tierischen wie auch des pflanzlichen Körpers — ließ sich der Nachweis erbringen, daß sie durch ultramikroskopische Organismen verursacht werden müssen, ohne daß es indes bis jetzt gegliückt wäre, die betreffenden Erreger zu gewinnen. Sie haben alle gemeinsam, daß sie die üblichen Bakterienfilter ungestört passieren. Nach gelegentlichen Beobachtungen von *E. Melin* kommen auch im Waldhumus solche jenseits der Sichtbarkeitsgrenze stehende Mikroben vor. *Melin* gelangte zu dieser Feststellung auf Grund folgender Versuchsreihe. Extrakt von Waldhumus wurde mit 3 Filtersorten von großer, mittlerer und kleinster Porenweite filtriert; mit allen 3 Filtraten wurde in üblicher Weise eine Nährgelatine hergestellt und in Platten gegossen. Die Gelatine aus dem groben Filtrat wurde rasch verflüssigt und erwies sich reich an Bakterien, die offenbar die großen Poren passiert hatten. Die Gelatine des feinen Filtrats blieb fest und war offenbar steril. Die Gelatine des mittleren Filtrats endlich wies mikroskopisch keinerlei Bakterien auf, wurde aber trotzdem verflüssigt. Es müssen also proteolytische Fermente darin vorhanden sein. Daß diese nicht einfach aus dem Humus durchfiltriert sein können, folgt aus dem Festbleiben der Platten des feinsten Filtrats; denn es ist nicht anzunehmen, daß die Fermente die feinen Poren nicht hätten passieren können. *Melin* nimmt daher an, daß durch das mittlere Filter ultramikroskopische Mikroben hindurchgegangen sind, die bei ihrer weiteren Entwicklung die gelatineverflüssigenden Fermente ausscheiden. Weitere Untersuchungen von anderer Seite sollen über die daran anknüpfenden Fragen Aufschluß geben.

Über den tagesperiodischen Farbwechsel von Selaginella.

Man kann bei verschiedenen Selaginellaarten — sowohl an ihren natürlichen Standorten wie auch in gärtnerischer Kultur die Beobachtung machen, daß ihre grüne Farbe rhythmischen Schwankungen unterlegen ist, und zwar in der Weise, daß sie gegen Abend bleicher erscheinen. Nach neueren Beobachtungen von *K. Sueßenguth* (Biol. Centralbl. 43, 1923) beruht diese Erscheinung, wie schon *Al. Braun* vermutungsweise äußerte, auf der lange dauernden Belichtung, die dahin wirkt, daß sich die grünen Chromatophoren, welche die Hinterwände der Oberhautzellen der Blattoberseite auskleiden, von diesen Wänden lösen und unter starker Kontraktion nach der Vorderwand wandern (positive Phototaxis!). So entsteht an Stelle des homogenen grünen Belags ein grünes Mosaik, das von hellen Feldern umrahmt ist. So stellt sich das Bild aber nur bei mikroskopischer Beobachtung dar, während dem unbewaffneten Auge die Farbe einfach ausgebleicht erscheint. In der Dunkelheit nehmen dann die Chromatophoren wieder ihre normale Lagerung ein, so daß sich der Prozeß von Tag zu Tag wiederholt.

Stark.