

## PHYSIK UND CHEMIE.

NEUE FOLGE. BAND 55.

**1. *Farbenphotographie durch Körperfarben  
und mechanische Farbenanpassung in der Natur;  
von Otto Wiener.***

**1. Gang der Untersuchung.**

Bei der Untersuchung stehender Lichtwellen<sup>1)</sup> stiess ich zum erstenmal auf die Frage nach der grundsätzlichen Möglichkeit der Farbenphotographie. Zenker hatte die damals schon vorhandenen Verfahren durch die Wirkung stehender Lichtwellen erklärt.<sup>2)</sup> Gegen diese Erklärung waren aber von Schultz-Sellack<sup>3)</sup> Einwände erhoben worden, welche noch nicht entkräftet waren. Aus diesem Grunde und weil mir die Möglichkeit der Herstellung durchsichtiger dicker photographischer Schichten unbekannt war, glaubte ich die Lösung der Frage fernerliegend. Diese Schwierigkeit überwandt aber bald nachher Lippmann<sup>4)</sup> und gelangte zu einem Verfahren der Farbenphotographie durch absichtliche Hervorrufung stehender Lichtwellen, also durch Anwendung der Zenker'schen Theorie.

Ob diese Theorie aber auch die alten Verfahren erklärte, war damit noch nicht bewiesen; und so fanden meine Gedanken in dieser Richtung keinen festen Ruhepunkt. Ich entschloss mich daher, durch neue Versuche die Ursache der Farbenwiedergabe bei jenen alten Verfahren zu ermitteln.

1) Wiener, Wied. Ann. 40. p. 205. 1890.

2) Zenker, Lehrb. der Photochromie. Berlin, Selbstverlag des Verf. 1868. Bei meiner früheren Untersuchung war mir entgangen, dass auch Lord Rayleigh gelegentlich der Untersuchung der Wellenausbreitung in einem Medium von periodischer Structur (Phil. Mag. (5) 24. p. 158 Anm. 1887) auf die Möglichkeit jener Erklärung aufmerksam gemacht hatte. Andererseits kannte er auch nicht die 19 Jahre früher veröffentlichte Theorie von Zenker.

3) Schultz-Sellack, „Ueber die Färbung der trüben Medien und die sogenannte farbige Photographie.“ Pogg. Ann. 143. p. 449. 1871.

4) Lippmann, Compt. rend. 112. p. 274. 1891.

Sie bilden den Ausgangspunkt und einen wesentlichen Gegenstand der folgenden Mittheilung.

Jene Einwände von Schultz-Sellack sind keineswegs ohne weiteres zu verwerfen. Er bestritt das Zustandekommen regelmässiger stehender Lichtwellen in Pulvern. Pulver hatten in der That zur Farbenabbildung gedient, und zwar schon in dem ersten gefundenen Verfahren von Seebeck, dessen Beobachtungen im Jahre 1810 in Goethe's Farbenlehre<sup>1)</sup> veröffentlicht wurden. Seebeck benutzte feuchtes, am Licht grau gewordenes Chlorsilber, das er auf Papier strich.

Schultz-Sellack's Einwand bezieht sich in erhöhtem Maasse auf die Verfahren, bei denen Papier der Träger der lichtempfindlichen Stoffe ist, indem es dazu in verschiedenen Lösungen gebadet wird, z. B. bei Poitevin's Verfahren.

Keine Geltung hat er natürlich bei solchen, die eine gleichförmige durchsichtige Schicht eines lichtempfindlichen Stoffes mit gut spiegelnder Unterlage benutzen, wie das Verfahren von Becquerel, der blanke Silberplatten durch Electrolyse bis zu einer bestimmten Tiefe chlorirte.

Ein zweiter Einwand von Schultz-Sellack gründet sich auf die Möglichkeit der Entstehung von Farben durch eine mechanische Zertheilung der Schicht, welche durch die Belichtung hervorgerufen werden kann und deren Grad nicht durch die Farbe, sondern durch die Wirkungsstärke des auffallenden Lichtes bestimmt wird. Die Farbenwiedergabe wäre demnach nur eine zufällige. Diese Erklärung wird indess in Abschnitt 5 als irrig nachgewiesen.

Neue Zweifel an der Allgemeingültigkeit der Zenker'schen Theorie bringen aber die Ergebnisse der Untersuchungen Carey Lea's<sup>2)</sup> über die Silberhaloidsalze. Er wies nach, dass die durch farbige Beleuchtung auf vorbelichtetem Chlorsilber entstehenden farbigen Stoffe sich auch auf rein chemischem Wege im Dunkeln herstellen liessen.

---

1) Goethe, Farbenlehre 2. p. 716. Den dort mitgetheilten Aufsatz von Seebeck fand ich in keiner Ausgabe der gesammelten Werke Goethe's, die ich nachschlug, abgedruckt.

2) Carey Lea, „On Red and Purple Chloride, Bromide and Jodide of Silver; on Heliochromy and on the Latent Photographic Image“. Am. Journ. (Ser. III) 33. p. 349. 1887.

Ebenso hat neuerdings H. Krone<sup>1)</sup> für das Poitevin'sche Verfahren eine Reihe von Reactionen angegeben, welche durch die Belichtung ausgelöst werden, wonach auf chemischem Wege verschiedene farbige Körper in dem lichtempfindlichen Stoffe entstehen können. Er äussert daher<sup>2)</sup>: „Die Poitevin'sche Methode beruht auf rein chemischen Vorgängen“ und ist „von Grund aus von der Lippmann'schen verschieden.“

Aber er bedient sich auch der folgenden Worte<sup>3)</sup>: „Dieser causale Zusammenhang“ — nämlich zwischen Farbe der Beleuchtung und der erwähnten chemisch entstehungsfähigen Körper — „ist rein physikalischer Natur und nur unter Bezugnahme auf die Vorgänge und die sich aus der Beobachtung als richtig ergebenden Erfahrungen über die Wellenbewegung und die Natur des Lichtes mehr und mehr zu ergründen.“

Ob nun die Zenker'sche Theorie auf jenes Verfahren keine Anwendung findet, wird nicht ausdrücklich angegeben, wofür auch die Beweise fehlten. Im Gegentheil äussert Krone<sup>4)</sup>, „dass unsere heutige Kenntniss über das Wesen photographischer Farbenerzeugung, soweit diese bis jetzt überhaupt erschlossen ist, auf Zenker's Theorie beruht.“

Er meint also doch wohl, dass sie noch nicht ganz erschlossen ist; und das geht auch hervor aus dem folgenden, dem vorher citirten sich anschliessenden Satze: „Nehmen wir in Bezug auf die von uns bis hierher besprochenen“ — von mir als alte bezeichneten — „Farbenprocesse an, dass uns die Farbenresultate darin deshalb mit dem bestrahlenden farbigen Lichte identisch erscheinen, weil die Molecüle der belichteten Schicht mit denselben Wellenlängen weiterschwingen, unter denen sie von dem bestrahlenden Lichte getroffen wurden.“

Die in dem letzten Satz ausgesprochene Annahme führt

1) In einem Vortrage, veröffentlicht in der Deutschen Photographenzeitung p. 327 ff. 1891 und in seinem Buche „Darstellung der natürlichen Farben durch Photographie“, Verlag der Deutschen Photographenzeitung p. 43. 1894.

2) Zu Beginn desselben Vortrags.

3) Das citirte Buch p. 49.

4) Sein Buch p. 38.

aber zu keiner Erklärung der Farbenwiedergabe; denn da die belichtete Platte nicht selbstleuchtend geworden ist, müsste das Weiterschwingen der Molecüle gerade die Absorption der früheren Beleuchtungsfarben zur Folge haben und die Platte in den jeweils zu diesen complementären Farben erscheinen lassen.

Bei der geschilderten Sachlage musste vor allem die grundsätzliche Frage aufgeworfen werden:

*Sind die bei den alten Verfahren auftretenden Farben Scheinfarben oder Körperfarben, d. h. durch Interferenz oder Absorption entstanden?*

Im ersten Fall, der von der Zenker'schen Theorie gefordert wird, fragt es sich weiter, wie ist es dann möglich, dass auch auf chemischem Wege dieselben Farben sich bilden können? Sollte es denkbar sein, dass durch chemische Wirkung ein Körper mit geschichtetem Bau entsteht, der Interferenzfarben zur Folge hat? In der That führt Krone<sup>1)</sup> diese bemerkenswerthe Möglichkeit an; und es erhellt daraus, dass man dann ein Verfahren als ein chemisches bezeichnen könnte, ohne die Zenker'sche Theorie verwerfen zu müssen.

Im zweiten Fall aber wäre die Zenker'sche Theorie nicht anwendbar, und man stände vor dem merkwürdigen und meines Wissens neuen Ergebniss der grundsätzlichen Möglichkeit, dass farbige Beleuchtung übereinstimmende Körperfarben erzeugen kann.

Doch könnte jemand vielleicht bei solcher Zuspitzung der Frage auf den Gedanken verfallen, Absorptions- und Interferenzfarbe seien nicht grundsätzlich verschieden, jene auf diese zurückführbar. Es würde das auf die von Wrede<sup>2)</sup> entwickelte Interferenztheorie der Absorption hinauslaufen. Eine solche Annahme verträge sich aber nicht mit der That- sache, dass die Metalle schon bei etwa  $\frac{1}{100}$  Wellenlänge Dicke die eigenthümliche Absorptionsfarbe zeigen. Grundsätzlich wird sie widerlegt, wie schon vor langem durch Stokes und Rudberg ausgeführt wurde, durch den Umstand, dass Absorption mit einem Verlust an Licht verbunden ist, dessen

1) In dem citirten Vortrag.

2) Wrede's Theorie und Widerlegung vgl. bei Wüllner, Lehrb. der Experimentalphysik 2. p. 456, 4. Aufl. 1883.

Energie in eine andere Form, z. B. der Wärme oder der chemischen Energie verwandelt wird, während bei Interferenz allein kein Licht verloren gehen kann, reflectirtes und durchgehendes zusammen das einfallende ausmachen, also complementär zu einander sein müssen bei weisser Beleuchtung.

Wie kommt es aber, dass jene Frage des Farbenursprungs bei den alten Farbenphotographien nicht schon längst leicht entschieden werden konnte? Darauf gab schon Zenker<sup>1)</sup> die Antwort. Der Grundbestandtheil derselben ist Chlorsilber, bez. eine niederere Chlorstufe dieses Salzes. Der Brechungsexponent des reinen Chlorsilbers ist etwa zwei, für chlorärmere Verbindungen vermuthlich noch grösser. Wenn also ein Lichtstrahl auch unter beträchtlichem Einfallswinkel auf das Chlorsilber fällt, so wird er innerhalb desselben vermöge der starken Brechung doch nahe senkrecht zur Oberfläche sich fortsetzen und der Gangunterschied der Interferenz wird gegenüber senkrechtem Einfall nur unmerklich geändert.

Der Brechungsexponent der empfindlichen Schicht bei Lippmann's Verfahren dagegen, welche in der Hauptmasse aus Collodium oder Gelatine besteht, ist nur etwa 1,5. Dort ist der Einfallswinkel von Einfluss, die Farben ändern sich mit demselben in unerwünschter Weise.

Die Interferenznatur der Farben und der geschichtete Bau bei Lippmann'schen Gelatineplatten lässt sich noch in anderer Weise erkennen. Verschiedene Beobachter<sup>2)</sup> hauchten auf solche Platten und sahen an die Stelle der ursprünglichen Farben solche von grösserer Wellenlänge treten; dies beweist, dass die Farben von einem veränderlichen Abstand abhängen, nämlich dem der Elementarspiegel im Innern, welcher durch die Aufquellung der Gelatine vergrössert wird.<sup>3)</sup>

---

1) Zenker, Photochromie p. 85.

2) Meslin, Ann. de chim. et de phys. 6. Ser. 27. p. 381. 1892; Krone, „Darst. der natürl. Farben“ p. 66; Valenta, „Die Photographie in natürlichen Farben“, p. 68. Halle a. S., Verlag von Wilh. Knapp. 1894.

3) Mit Unrecht glaubt Dr. Neuhauss (Photogr. Rundschau p. 295. 1894) gegen das Zutreffen der Zenker'schen Theorie bei Lippmann's Verfahren aus einer bei den unentwickelten Platten beobachteten Korngrösse bis 0,0003 mm einen Einwand herleiten zu können. Nicht vollkommene Kornlosigkeit, wie er meint, sondern ausreichende Durchsichtigkeit ist erforderlich für das Zustandekommen stehender Lichtwellen.

Ich habe diesen Versuch wiederholt und vor grösserer Zuhörerschaft das Hauchen durch Anblasen mit einem Dampfstrahl ersetzt; in dem auf die Wand geworfenen Bild des photographirten Spectrums verschoben sich dann die Farben mit grosser Geschwindigkeit nach dem violetten Ende zu und kehrten ebenso wieder zurück, als die Feuchtigkeit durch eine Bunsenflamme aus der Gelatineschicht wieder vertrieben wurde.

Dieser Versuch lässt sich aber bei den alten Verfahren nicht anstellen.

Zenker<sup>1)</sup> versuchte den Lichtstrahlen im Chlorsilber eine grössere Neigung gegen die Oberflächennormale zu geben, indem er sie erst durch eine Flüssigkeit von hohem Brechungs-exponent hindurchschickte; doch ohne Erfolg. Dieser muss ausbleiben, so lange nur eine planparallele Schicht eines solchen Körpers benutzt wird. Denn durch die Brechung in diesem wird der ursprüngliche Einfallswinkel wieder verkleinert.

Eine solche Verkleinerung kann nicht eintreten, wenn der Lichtstrahl durch eine senkrechte Grenzfläche in den aufgelegten Körper eintritt: hier hatte ein neuer Versuch einzusetzen.

Ich benutzte ein rechtwinkliges Glasprisma vom Brechungs-exponent  $n_D = 1,75$ , welches mit der Hypotenusenfläche auf das Farbenbild aufgelegt wurde, indem die zwischenliegende Luftschicht durch Benzol verdrängt wurde. Für die durch eine Seitenfläche senkrecht eintretenden Lichtstrahlen ist dadurch ein Einfallswinkel von  $45^\circ$  in stark brechendem Mittel erzwungen und der in das Chlorsilber eintretende Strahl muss so einen beträchtlichen Winkel mit der Oberflächennormale bilden. Der Gangunterschied der interferirenden Lichtwellen wird dadurch gegenüber senkrechtem Einfall stark verändert; und je nachdem die Farben sich dabei ändern oder nicht, sind sie Interferenz- oder Körperfarben. Beschreibung und Theorie dieses Prismenversuches folgen in Abschnitt 6.

War nun das Spectrum nach dem Verfahren von Becquerel hergestellt, so hat man den überraschenden Anblick, dass ein durch das Prisma betrachteter Theil des Spectrums im Vergleich zu dem freigelassenen, unmittelbar durch Luft betrachteten, bedeutend gegen das äusserste Roth zu verschoben erscheint.

---

1) Zenker, Photochromie p. 85.

Gerade diese Farbenverschiebung ist zu erwarten, wenn die Zenker'sche Theorie richtig ist.

*Zenker gebührt also das Verdienst, die Ursache der Farbenwiedergabe bei dem Becquerel'schen Verfahren schon im Jahre 1868 richtig in der Wirkung stehender Lichtwellen erkannt zu haben.*

Der photographische Stoff ist nun bei dem Seebeck'schen Verfahren derselbe. Der einzige Unterschied liegt in der Form. Seebeck benutzte Pulver, Becquerel eine homogene Schicht von chlorürhaltigem Silberchlorid. Die Farbenverschiebung beim Prismenversuch ist also in der gleichen Stärke wie bei der Becquerel'schen Platte zu erwarten, wenn die Ursache der Farbenentstehung die gleiche ist. Die Verschiebung ist aber in Wirklichkeit nicht vorhanden, ebensowenig bei dem Poitevin'schen Verfahren:

*Der Einwand von Schultz-Sellack erweist sich gerade bei den Verfahren stichhaltig, bei denen er von vornherein zulässig erscheint.*

Denn in feinem Pulver und in Papier können keine regelmässigen stehenden Wellen zu Stande kommen.

Mit Recht wird man aber fragen: warum entstehen auf der Becquerel'schen Platte nicht auch Körperfarben, die doch die gleichen Stoffe enthält wie die Seebeck'sche? Es erscheint ja nicht ausgeschlossen, dass dort neben den nachgewiesenen Interferenzfarben noch Körperfarben auftreten. In der That konnte ich zeigen, dass bei dem Becquerel'schen Verfahren auch Körperfarben mitwirken. Die Beweise dafür sind in Abschnitt 11 enthalten. Die Farben der Platten von Seebeck und Poitevin dagegen sind ausschliesslich Körperfarben.

Es gibt also Verfahren der Farbenphotographie, die sich nicht durch die Zenker'sche Theorie erklären liessen:

*Es gibt Stoffe, in denen farbige Beleuchtung übereinstimmende Körperfarben erzeugt, die ihre Farbe also nicht der Interferenz, sondern einer ihnen eigenthümlichen, durch die chemische Beschaffenheit bedingten Absorption verdanken.*

Wie ist aber solcher Vorgang denkbar? Der Gedanke einer möglichen Antwort kam mir beim Lesen der genannten Arbeit Carey Lea's. Die erwähnten verschiedenfarbigen Ver-

bindungen von Chlor und Silber sind nach ihm Molecularverbindungen von Silberchlorid und -chlorür, jedoch nicht durch bestimmte Verhältnisszahlen ausdrückbar. Er fasst sie unter dem Namen Photochlorid zusammen. Die nämlichen farbigen Verbindungen entstehen auch unter Einwirkung des Lichtes auf einem Grunde, der aus Silberchlorid und -chlorür besteht, wie es z. B. bei Seebeck's Verfahren der Fall ist. Dass solche Verbindungen überhaupt durch Belichtung entstehen, bietet dem Verständniss keine Schwierigkeit.

Warum aber entstehen die mit der Beleuchtungsfarbe gleichfarbigen Verbindungen? Was hat z. B. bei rother Beleuchtung ein rothes Photochlorid für einen Vorzug gegenüber einem andersfarbigen?

Es hat den physikalischen Vorzug, diese Farbe besser zu reflectiren, als die andersfarbigen Verbindungen. Farbiges Licht aber, das reflectirt wird, wird nicht absorbirt und kann daher auch keine Zersetzung hervorbringen, für welche die Absorption des Lichtes Vorbedingung ist. Von allen möglichen Verbindungen, welche aus dem durch die Belichtung gestörten chemischen Gleichgewicht hervorgehen können, besitzt also die rothe Verbindung den Vorzug der Unzerstörbarkeit bei fortgesetzter Beleuchtung. Nach den Vorstellungen der kinetischen und neueren chemischen Theorien müssen wir aber annehmen, dass bei dem gestörten Gleichgewicht alle möglichen Verbindungen zeitweilig thatsächlich von einigen Molecülgruppen gebildet werden. Von diesen bleiben aber nur die rothen dauernd ungestört, während die andersfarbigen das rothe Licht absorbiren und also dadurch auch wieder zerstört werden können.

Dies ist eine Vorstellung von dem Vorgang, der sich ungezwungen aus anerkannten Thatsachen und Anschauungen ergibt.

Ihre Richtigkeit lässt sich leicht prüfen; denn sie verlangt z. B. die Zersetzbarkeit der rothen Verbindung durch andere als die rothe Beleuchtung, die Unzersetzbarkeit durch diese selbst.

Ein solches Experiment liegt bereits unter den Versuchen Carey Lea's<sup>1)</sup> vor. Er entwarf auf rosafarbigem Photochlorid

1) Carey Lea, Amer. Journ. of Sc. (3.) 33. p. 363. 1887.



ein Spectrum; alle Farben veränderten es, indem sie mehr oder weniger gut ihre eigene Farbe demselben aufprägten mit Ausnahme des Roth: „in the red it remained unchanged.“

Ich selbst stellte zur Prüfung der gegebenen Erklärung Versuche an, bei denen die empfindliche Platte der Reihe nach zwei unter rechtem Winkel gekreuzten Spectren ausgesetzt wurde. Dieselben werden in Abschnitt 13 mitgetheilt und erweisen die Richtigkeit der gegebenen Erklärung.

Einen Stoff, welcher die von jener Erklärung behufs vollkommener Farbenwiedergabe geforderten Eigenschaften besitzt, nenne ich einen *farbenempfindlichen Stoff*. Diese Eigenschaften werden im Abschnitt 12 genau erörtert.

Durch jenen Zusammenhang ist eine neue Grundlage für weitere Verfahren der Farbenphotographie geschaffen. Denn der Vorgang ist nicht an bestimmte Stoffe gebunden. Es erscheint jeder Farbstoff, der unter bestimmten Umständen vom Licht zersetzt werden kann, geeignet, bei neuen Verfahren mitzuwirken.

Freilich scheint mit der Entstehungsweise dieser Farben ihre Unfähigkeit sich fixiren zu lassen, grundsätzlich verbunden zu sein. Denn ihr Vermögen der Farbenwiedergabe ist an ihre Zersetzbarkeit im Lichte geknüpft. In der That besaßen die Farben bei jenen alten Verfahren nur einen geringen Grad der Fixirbarkeit. In welcher Weise diese vielleicht doch zu erreichen ist, wird im Abschnitt 14 erörtert.

Was noch das Zustandekommen der Farbenwiedergabe betrifft, so nennt man die Erwerbung der Widerstandsfähigkeit gegen äussere Einwirkungen eine Anpassung. Daher könnte man die so entstandenen Farben *Anpassungsfarben* nennen, wobei man sich bewusst bleibt, dass es sich um einen physikalisch-chemischen, im letzten Grunde mechanischen Vorgang handelt. Eine derartige Anpassung kann man als eine *mechanische Anpassung* bezeichnen.

Es liegt hier die Frage nahe, sollte nicht auch die farbenreiche Natur farbenempfindliche Stoffe hervorbringen, deren Eigenschaften also mit denen der Träger jener Farbenphotogramme übereinstimmen? Sollten nicht gewisse Anpassungsfarben in der Natur sich auch auf diesem Wege erklären?

Freilich denkt man sich die Anpassung in der Natur fast

stets nach dem Darwin'schen Grundsatz der natürlichen Züchtung durch Auslese der vortheilhaft abändernden Lebewesen entstanden. Eine solche biologische Anpassung meine ich nicht, sondern eine mechanische.

Diese Vermuthung scheint sich in der That zu bestätigen durch Beobachtungen, die ich in biologischen, durch die Freundlichkeit von Prof. Dr. Oltmanns aus Freiburg mir empfohlener Werke mitgetheilt fand.

Zunächst stiess ich auf die folgenden Bemerkungen in dem Werke von Theodor Eimer „Die Entstehung der Arten auf Grund von Vererben erworbener Eigenschaften nach den Gesetzen organischen Wachstums. Ein Beitrag zur einheitlichen Auffassung der Lebewelt.“<sup>1)</sup>

Eimer tritt einer zu weitgehenden Werthschätzung der biologischen Anpassung für die Uebereinstimmung der Färbung eines Thieres mit der Umgebung entgegen und weist auf die bei raschen Farbenänderungen mögliche chemische Wirkung des Lichtes hin. Man hat beobachtet, „dass Schmetterlingspuppen während ihrer Entwicklung von der Farbe ihrer Umgebung derart beeinflusst werden, dass sie diese Farbe annehmen“, „z. B. die rothe Farbe eines sie umhüllenden Tuches.“ Zur Erklärung dieser merkwürdigen Beobachtung nimmt er an, dass der Stoff, aus welchem die Puppenhülle gemacht ist, „derart beschaffen ist, dass er das vom Menschen zur Zeit so sehnlich erstrebte Ziel der Farbenphotographie erfüllt.“<sup>2)</sup>

Bei der Möglichkeit solchen Zusammenhanges wird man es als berechtigt anerkennen, dass ich ihn hier zur Sprache bringe, auch ohne ihn durch eigene Versuche bestätigen zu können. Es wäre mir auch kaum möglich, in Kurzem etwas Neues hinzuzufügen zu den vortrefflichen, eingehenden und langjährigen Versuchen, welche Poulton<sup>3)</sup> über die Farbenanpassung der Raupen und ihrer Puppen angestellt hat.

Nach diesen ist man zweifelsohne in den von ihm untersuchten Fällen nicht berechtigt, die Raupenhaut unmittelbar mit einer photographischen Platte zu vergleichen. Es treten noch physiologische Vorgänge hinzu. Gleichwohl werde ich

1) Eimer, Jena, Verl. v. Gustav Fischer 1888.

2) l. c. p. 155.

3) Poulton, Die Citate vgl. in Abschnitt 15.

an Hand der Beobachtungen Poulton's zu zeigen versuchen, dass das Pigment der Raupenhaut während der empfindlichen Stadien in einem gewissen Maasse die Eigenschaften eines farbenempfindlichen Stoffes besitzt.

Wenn aber mechanische Anpassung in diesem Fall vorlag, kann sie dann nicht eine allgemeinere Mitwirkung bei der Gestaltung der Lebewelt haben?

Auch diese Vermuthung fand ich bestätigt, zunächst in einem Aufsatz von August Weismann „Aeusserer Einflüsse als Entwicklungsreize“.<sup>1)</sup>

Er benennt den hier als mechanische Anpassung bezeichneten Vorgang, sofern er sich an Lebewesen abspielt, als „Intraselection“<sup>2)</sup> und beruft sich auf das 1881 erschienene Werk von Wilhelm Roux „Der Kampf der Theile im Organismus, ein Beitrag zur Vervollständigung der mechanischen Zweckmässigkeitslehre“.<sup>3)</sup> Dieser bezeichnet den Vorgang als „functionelle Anpassung“ und bespricht denselben in allgemeiner Weise als entstanden durch den „Kampf der Molecüle“, „Kampf der Zellen“.<sup>4)</sup> Unter „Molecüle“ versteht er die kleinsten organischen Prozesseinheiten. Im vorliegenden Falle wäre „Molecüle“ wörtlich zu nehmen.

In der That lässt sich die Wiedergabe der Beleuchtungsfarbe durch einen Körper treffend in bildlicher Ausdrucksweise erklären durch den Sieg der mit ihr gleichfarbigen Molecüle im Kampfe mit den andersfarbigen, errungen durch die Fähigkeit, das ankommende Licht am besten zurückzuwerfen.

Damit führt die Anwendung der Erklärung alter Verfahren der Farbenphotographie auf die Erklärung gewisser Anpassungsfarben in der Natur zu der Unterordnung dieser Erscheinung unter allgemeinere Erscheinungsgruppen, welche als Vorgänge mechanischer Anpassung anerkannt werden.

Ich gehe nun zu den experimentellen Beweisen und der genaueren Begründung und Ausführung des Gesagten über.

1) A. Weismann, Jena, Verl. v. Gustav Fischer 1894.

2) p. 6.

3) W. Roux, Leipzig, Verl. v. Wilhelm Engelmann.

4) Der Kampf der Gewebe und Kampf der Organe ist, wie Roux selbst bemerkt, nicht auf gleiche Linie zu setzen, weil dabei nicht gleichartige Theile in Kampf treten.

Zuvor drängt es mich aber den Hrn. Arzruni, Grotrian, Holzappel und Wüllner, Professoren an der hiesigen technischen Hochschule meinen Dank für ihre Unterstützung auszusprechen. Da ich leider manche feinere Farbenunterschiede schwer beurtheile, gebe ich keine Farbenbeobachtungen hier wieder, ohne dass sie von einem oder mehreren der Herren angestellt oder als richtig bezeichnet worden wären.

## 2. Apparate und Verfahren.

Zum Photographiren des Spectrums diente ein Steinheil'scher Spectralapparat, dessen Ocular durch eine kleine photographische Kammer ersetzt war. Dieselbe konnte in ein Rohr eingeschraubt werden, das in das Fernrohr passte. Die Einstellung geschah mittels einer Mattscheibe.

Die Spaltweite betrug etwa 1 mm, wo grosse Helligkeit, etwa 0,5 mm, wo mehr Reinheit des Spectrums gewünscht war. Die Länge des Spectrums betrug von  $A$  bis  $H_2$  19,2 mm. Seine Höhe war gewöhnlich auf 15—18 mm abgegrenzt.

Als Lichtquelle diente meist der electriche Bogen einer grossen Schuckert'schen Lampe bei einer durchschnittlichen Stromstärke von etwa 30 Amp. und einer Dicke der positiven Kohle von 23 mm. Die Kohlen hatten eine Neigung von  $45^\circ$  gegen die Lothlinie, sodass die grösste Lichtstärke in nahezu wagrechter Richtung ausgesandt wurde. Die Belichtungszeit betrug meist eine halbe bis eine Stunde, wengleich unter günstigen Bedingungen schon nach wenigen Minuten Farben auftraten.

Als Seebeck'sches<sup>1)</sup> Verfahren bezeichne ich allgemein dasjenige mit vorbelichtetem Chlorsilberpulver.

Ich benutzte dazu reines, im Dunkeln gefälltes und dann getrocknetes Chlorsilberpulver, brachte es dann zwischen zwei Glasplatten und verkittete deren Ränder.

Die Vorbelichtung geschah Anfangs bei einigen Platten mit violettem und ultraviolettem, später rascher mit weissem Licht. Sie wird so lange fortgesetzt, bis das Pulver eine nicht zu dunkle violette Färbung angenommen hat.

---

1) Vgl. Citat p. 226. Die sämtlichen Verfahren finden sich in den Büchern von Zenker (vgl. p. 225) und Krone (vgl. p. 227) beschrieben.

Becquerel<sup>1)</sup> hat unter verschiedenen Abänderungen gearbeitet. Ich benutzte ausschliesslich und bezeichne hier als Becquerel'sches Verfahren das ihm eigenthümliche mit galvanisch chlorirter Silberplatte, jedoch ohne nachfolgende Erwärmung.

Dazu dienten mir blank polirte galvanisch versilberte Kupfer- oder Messingplatten oder dünne Silberblechplatten selbst. Dieselben wurden in einer verdünnten Salzsäurelösung (1:8) als positive Electroden eines Stromes von 2—4 Amp. auf ca. 30 cm<sup>2</sup> Fläche einige Secunden eingetaucht. Die nach Becquerel als günstigste zu erstrebende Dicke des entstehenden Chlorsilberhäutchens wird etwa erreicht bei einer Strommenge, welche für 1 cm<sup>2</sup> Silberoberfläche 0,067 cm<sup>3</sup> Wasserstoff auszuschleiden vermöchte. Jene Dicke beträgt nach einer nicht genau ausführbaren Rechnung etwa 0,0016 mm. Die Platte wird nachher rasch zwischen Fliesspapier getrocknet und dann mit weichem Leder abgerieben.

Poitevin's<sup>2)</sup> Verfahren wurde von Zenker und Krone bearbeitet und vervollkommenet.<sup>3)</sup>

Nach ihren Vorschriften badete ich Rives-Rohpapier in 10 proc. Kochsalzlösung zwei Minuten lang, dann eine Minute in 8 proc. Lösung von salpetersaurem Silber. Das rasch gewaschene Blatt wird dann in einer Zinnchlorürlösung aus 5 g Zinnchlorür auf 100 cm<sup>3</sup> Wasser dem diffusen Tageslicht ausgesetzt, bis es zu einem gewissen nicht zu hohen Grade dunkel geworden, darauf in einer Mischung von einem Theil concentrirter Kaliumbichromatlösung und zwei Theilen concentrirter Kupfervitriollösung gebadet und zwischen Filtrirpapier aufbewahrt. Es ist gut, das etwa getrocknete Papier vor der Belichtung ein wenig anzufeuchten.

Eine Entwicklung findet natürlich bei keinem dieser Verfahren statt, sondern die Farben entstehen während der Beleuchtung.

Eine Fixirung, die bei dem letzten Verfahren in geringem Grade möglich ist, habe ich nicht vorgenommen.

1) Edmond Becquerel, Ann. de chim. et de phys. (3) 22. p. 451. 1848; 25. p. 447. 1849; 42. p. 81. 1854; vgl. auch E. Becquerel „La Lumière“ 2. p. 209. Paris, Firmin Didot Frères, Fils et Cie. 1868.

2) Poitevin, Compt. rend. 61. p. 1111. 1865.

3) Vgl. die erwähnten Werke.

### 3. Chemisches Verhalten des Chlorsilbers bei Belichtung und Electrolyse.

Es ist neuerdings von Guntz<sup>1)</sup> endgültig nachgewiesen worden, dass bei der Belichtung des Chlorsilbers Silberchlorür entsteht.

Das reine, nicht vorbelichtete Silberchlorid erweist sich nach Becquerel<sup>2)</sup> unter dem Spectrum im wesentlichen nur für Violett und Ultraviolett lichtempfindlich und nimmt dabei eine violette Färbung an. Ich habe diesen Versuch mit demselben Ergebniss wiederholt.

Das so vorbelichtete aus Silberchlorid und -Chlorür bestehende Pulver ist aber für alle Spectralfarben empfindlich und gibt dieselben in gewissem Grade wieder.

Es wäre wünschenswerth gewesen zu erfahren, wie das reine Silberchlorür im Spectrum verändert wird. Hr. Dr. Hermens, Assistent am techn.-chem. Laboratorium der hiesigen Hochschule, hatte die grosse Freundlichkeit, mir solches nach den Vorschriften von Guntz<sup>3)</sup> herzustellen. Es scheint aber sehr schwer zu sein, dasselbe ohne jede Beimengung von Silberchlorid zu gewinnen; auch Guntz hatte kein reines Silberchlorür.

Das chemisch hergestellte Silberchlorür verhielt sich unter dem Spectrum wie vorbelichtetes Chlorsilber. Dieser Versuch bildete also nach dem Gesagten eine Bestätigung des Guntz'schen Nachweises der Bildung von Silberchlorür durch Belichtung von Silberchlorid. Jenes Gemisch von Silberchlorür und -Chlorid hatte auch das violette Aussehen des vorbelichteten Chlorsilbers.

Das nach Becquerel galvanisch hergestellte Chlorsilber enthält ebenfalls eine Beimengung von Silberchlorür. Denn es ist für alle Strahlen des Spectrums lichtempfindlich. Es kann aber auch nicht ausschliesslich aus Silberchlorür bestehen. Denn ich erhielt einmal eine Platte, welche nur violett und ultraviolett empfindlich war. Sie enthielt also nur Silberchlorid.

---

1) Guntz, Compt. rend. 113. p. 72. 1891.

2) Becquerel, Ann. de chim. et de phys. (3.) 22. p. 452. 1848; vgl. auch Zenker, Photochromie p. 18.

3) Guntz, Compt. rend. 112. p. 861. 1891.

Ich hatte bei ihrer Herstellung nicht auf die Versuchsbedingungen geachtet. Sie war aber wahrscheinlich bei einem sehr schwachen Strom entstanden. Denn es gelang mir später mit einem Strom von 0,2 Amp. eine Platte herzustellen, welche im Ultravioletten stark, im sichtbaren Spectrum aber nur sehr wenig lichtempfindlich war.

Man muss also annehmen, dass eine solche Becquerel'sche Platte zum grössten Theil aus Silberchlorid besteht, zum geringeren aus Silberchlorür, dessen Menge bei stärkeren Strömen grösser wird. In Uebereinstimmung damit erscheint die von der Silberunterlage abgehobene Schicht in der Durchsicht hellviolett.

#### 4. Die Genauigkeit der Farbenwiedergabe bei den alten Verfahren.<sup>1)</sup>

Becquerel's Platten geben die Farben bei weitem am besten wieder. Sie erscheinen glänzend, ähnlich denjenigen bei Lippmann'schen Platten, und an den richtigen Stellen.

Bei den beiden anderen Verfahren sind die Farben matter und nicht so genau im Farbenton wiedergegeben.

Die Seebeck'schen Platten zeigen ausser Violett nur Blau und Roth deutlich, das Letztere aber als eine Art Rosa-rot, das Erstere oft als Graublau, ausserdem Grün meist sehr undeutlich, Gelb meist nicht zu erkennen; jedoch tritt hier stets eine bedeutende Aufhellung des violetten Untergrundes ein.

Das Poitevin'sche Verfahren ist dem Seebeck'schen überlegen; es erscheinen alle Farben; es herrscht aber leicht ein gelbbrauner Ton vor. Die gelben Theile des Spectrums werden durch ein mehr orangefarbenes Bild wiedergegeben, ähnlich der Farbe eines mit Kaliumbichromatlösung durchtränkten Papiers.

#### 5. Unrichtigkeit der Erklärung der Farbenwiedergabe nach Schultz-Sellack.

Eine durchsichtige Jodsilberschicht, die durch Jodiren eines auf Glas chemisch niedergeschlagenen Silberspiegels entstanden ist, wird nach Schultz-Sellack<sup>2)</sup> durch Belichtung nicht

1) Vgl. auch Zenker l. c.

2) Schultz-Sellack, „Ueber die chemische und mechanische Veränderung der Silberhaloidsalze durch das Licht.“ Pogg. Ann. **143**. p. 439. 1871.

chemisch verändert, da ihr der Jod absorbirende Körper fehlt, dagegen mechanisch: die Oberfläche wird in ein feines Pulver zerlegt.

Ich betrachtete eine solche Schicht unter dem Mikroskop und bestimmte den Durchmesser der Pulverkörner zu etwa  $1 \mu$  (Tausendstel mm), die Zwischenräume zu 0 bis etwa  $3 \mu$ ; durch sie hindurch erschien die gelbe noch unversehrte Jodsilberschicht.

Die Reihenfolge der unter Einwirkung des Sonnenlichtes entstehenden Durchlassfarben ist nach Schultz-Sellack: Gelbbraun, Dunkelbraun bei starker Trübung, Roth, Grün, Blau, Hellbläulichweiss; zuletzt wird die Schicht bei schwacher Trübung fast völlig farblos durchsichtig.

Auch ich beobachtete solche Farben; doch da mir kräftiges und anhaltendes Sonnenlicht fehlte, benutzte ich electricisches Licht, mit dem ich keine gleichmässigen Wirkungen erhielt: gleich lang belichtete Theile einer Jodsilberschicht erhielten verschiedene Farben.

Aber nur die violetten und ultravioletten Strahlen vermögen diese mechanische Zertheilung hervorzubringen, wie ich Schultz-Sellack bestätigen kann.

Es liegt also hier die Möglichkeit vor verschiedene Farben zu erzeugen allein durch verschiedene Stärke und Dauer der Belichtung. Eine Abbildung der Farben kann somit scheinbar erhalten werden „vermöge der verschiedenen Intensität des violetten Lichtes, welches durch rothes, grünes und blaues Glas hindurchgeht.“ Denn in gleicher Reihenfolge entstehen die gleichen Durchlassfarben im Jodsilber.

Diese Farben hält Schultz-Sellack für Beugungsfarben, weil sie am kräftigsten erscheinen, wenn man die Platte aus einem dunkeln Zimmer gegen eine kleine Lichtöffnung hin beobachtet. In der That sind die Farben bei allseitiger Beleuchtung nur sehr matt.

Indess fehlt ihnen die wesentliche Eigenschaft der Beugung: sie erscheinen nicht aus der ursprünglichen Richtung abgelenkt, wie bei Gittern, sondern in Richtung der jeweils durchgehenden und reflectirten Strahlen.

Freilich sind es auch keine gewöhnlichen Dickenfarben des Jodsilbers; denn die Farben ändern sich, „wenn man



die Luft in den Zwischenräumen durch Wasser oder Firniss ersetzt.“

Mit dieser Beobachtung verträglich wäre aber die Annahme, dass sie durch Interferenz des durch die abgetrennten Jodsilbertheilchen und des unmittelbar daneben durch die Zwischenräume dringenden Lichtes entstehen.

Ich verzichte aber der Kürze wegen auf die nähere Begründung dieser Ansicht; denn es fragt sich hier nur: lässt sich die Farbenwiedergabe bei den alten Farbenphotographieen nach Schultz-Sellack durch Farben erklären, welche infolge mechanischer Zertheilung der Schicht auftreten könnten und die daher hier *Zertheilungsfarben* genannt werden sollen.

Eine wesentliche Schwierigkeit für eine solche Erklärung entsteht schon dadurch, dass sie sich auf die Durchlassfarben bezieht, während bei jenen Verfahren die Farben im reflectirten Licht wiedergegeben sind.

Da aber die Zertheilungsfarben aus der Durchlass-, bez. Reflexionsrichtung nicht abgelenkt erscheinen, folgt, weil sie jedenfalls durch Interferenz entstehen, dass reflectirtes und durchgelassenes Licht zu einander komplementär sein müssen, abgesehen von der geringen Absorption im Jodsilber. That- sächlich stellte ich z. B. fest, dass an Stelle eines metallischen Gelbgrün im senkrecht reflectirten Licht, im durchgehenden bläulich Violett, an Stelle von Blau Gelb trat. Somit kann für die Farben des reflectirten Lichtes nicht die Schultz-Sellack'sche Reihenfolge gelten, wonach die brechbareren bei längerer oder stärkerer Lichtwirkung auftreten.

Auch der blosse Anblick der Farben der alten Farbenphotographieen spricht gegen Schultz-Sellack. Sie erscheinen bei allseitiger Beleuchtung z. B. am hellen Fenster sehr gut, während die Zertheilungsfarben hier erblasen. Diese erfordern beim Betrachten von vorn unmittelbar reflectirtes Licht, bei jenen stört das bei glatter Oberfläche, z. B. der Becquerel'schen Platten; das an ihr reflectirte Licht überblendet dann das aus der Tiefe kommende.

Die Zertheilungsfarben erleiden ferner nach seiner Beobachtung im reflectirten Licht eine Aenderung mit wachsendem Einfallswinkel; auch ich stellte eine solche fest z. B. von Metallgelb zu Blaugrau und wieder zu Metallgelb. Bei den alten

Verfahren hatte man bisher eine solche Aenderung überhaupt noch nicht festzustellen vermocht.

Die Erklärungsweise von Schultz-Sellack lässt sich aber einer entscheidenden Prüfung unterwerfen. Wenn den verschiedenen Beleuchtungsfarben keine verschiedenen Arten sondern nur verschiedene Stärken der Einwirkung auf die empfindliche Schicht zukommen, mithin nur durch letztere die Farben bestimmt werden, so müssen alle Beleuchtungsfarben zu Beginn der Belichtung dieselbe Farbe erzeugen und mit wachsender Dauer in gleicher Farbenfolge diejenigen Farben hervorbringen, welche durch ihre verschiedenen Wirkungsstärken bedingt sind.

Einem solchen Verhalten widerspricht die Beobachtung von Becquerel, wonach die mit den Beleuchtungsfarben übereinstimmenden Farben gerade zu Anfang am reinsten, wenn auch schwach ausgeprägt sind. Die Anfangswirkung beginnt also nicht mit untereinander gleichen, sondern verschiedenen Farben.

Zur bequemeren Prüfung setzte ich auf einer empfindlichen Schicht nebeneinander liegende Felder verschieden lange der Beleuchtung durch das Spectrum aus. Dazu wurde vor dem Spalt des Apparates eine Blende ruckweise vorgeschoben. So konnte man nach beendetem Versuch auf der Schicht die Anfangswirkung der verschiedenen Beleuchtungsfarben mit einem Blick übersehen. Es stellte sich dabei heraus, dass diese nicht untereinander gleiche, sondern verschiedene Farben erzeugten, welche den Farben der Beleuchtung jeweils gleich oder ähnlich waren.

Es sei hier eine genauere durch Hrn. Prof. Dr. Grotrian angestellte Beobachtung an einer nach Becquerel's Verfahren hergestellten Platte mitgetheilt:

1. Feld. 1 Min. Belichtungsdauer. Spur Roth. Gelb und Grün nur zu bemerken, wenn Feld 2 noch zur Beobachtung zugezogen wird. Blau fehlt.

2. Feld. 2 Min. Roth stärker. Gelb und Grün zu erkennen. Blau fehlt.

3. Feld. 4 Min. Roth, Gelb, Grün stärker. Blau noch kaum zu erkennen.

4. Feld. 8 Min. Roth, Gelb, Grün stärker. Blau zu erkennen.

5. Feld. 16 Min. Roth, Gelb, Grün stärker. Blau noch schwach.

6. Feld. 32 Min. Alle Farben stärker.

Die Wirkung im Ultraviolett erscheint erst im zweiten Feld, also nach Roth.

Roth ist also hier die zuerst deutlich auftretende Farbe und erscheint unter rother Beleuchtung. Diese müsste also nach Schultz-Sellack bei den bestehenden Stärkeverhältnissen der verschiedenen Beleuchtungsfarben von allen die wirksamste und gleichzeitig Roth die erste Stufe der Zertheilungsfarben sein. Andere Farben, also höhere Stufen derselben dürften demnach zuerst nur durch die rothe Beleuchtung entstehen, die anderen Beleuchtungsfarben dürften zuerst nur Roth erzeugen.

Die Beobachtung lehrt das Umgekehrte: die anderen Farben entstehen unter anderen Beleuchtungsfarben, während das Roth unter der rothen Beleuchtung sich noch nicht in eine andere Farbe verwandelt hat, im Gegentheil kräftiger geworden ist.

Der nämliche Versuch wurde mit Seebeck's und Poitevin's Platten angestellt mit gleichem Ergebniss: ehe die zuerst erschienene Farbe sich verändert hat, treten an anderen Stellen andere Farben auf.

*Schultz-Sellack's Erklärung der Farbenentstehung bei den alten Verfahren der Farbenphotographie durch Zertheilungsfarben ist also unrichtig.*

Natürlich ist damit nicht gesagt, dass die Beleuchtungsstärke ohne jeden Einfluss auf die entstehenden Farben sei. Ein solcher ist so gut vorhanden wie bei dem Lippmann'schen Verfahren<sup>1)</sup>, das erwiesener Maassen auf anderer als der von Schultz-Sellack angenommenen Grundlage beruht, aber aus anderen Gründen. Zur Widerlegung seiner Behauptung ist aber nicht der Nachweis einer vollkommenen Unabhängigkeit der Farben von der Lichtstärke erforderlich, sondern nur des Fehlens der von ihm geforderten Beziehung zwischen beiden.

1) Vgl. z. B. Krone, Wied. Ann. 46. p. 428. 1892.

## 6. Der Prismenversuch.

Das Prisma wird so auf die eine Hälfte des photographirten Spectrums gelegt, dass die Kante zwischen der Hypotenusen- und der Kathetenfläche  $I$  (Fig. 1) senkrecht die Richtung gleicher Farbenlinien durchschneidet. Das Auge des Beobachters wird in der Verlängerung derselben Kathetenfläche  $I$  so eingestellt (der Pfeil bezeichnet die Sehrichtung), dass ein in Richtung gleicher Farben, z. B. im Gelb, vor dem Versuch gezogener Strich ( $S$ ) durch Prisma und Luft betrachtet in derselben Linie erscheint.

Es ist dann zu berechnen, welche Farbenänderung die Stelle beim Strich unter dem Prisma gegenüber der in Luft erleiden muss, wenn das Farbenbild durch stehende Lichtwellen hervorgerufen war.

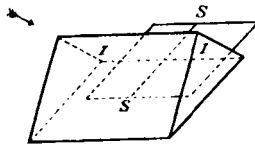


Fig. 1.

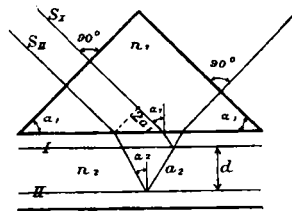


Fig. 2.

Es erscheint allgemein die Farbe, deren Wellenlänge der Gangunterschied zweier an benachbarten Elementarspiegeln reflectirten Strahlen ist.

Seien  $I$  und  $II$  in Fig. 2 zwei solche Elementarspiegel vom Abstand  $d$  in einem Mittel vom Brechungsindex  $n_2$ . Die Strahlen mögen im allgemeinsten Fall unter dem Winkel  $\alpha_1$  einfallen in einem gleichschenkeligen Prisma vom Brechungsindex  $n_1$  und einem Basiswinkel  $\alpha_1$ , so dass die Strahlen auf Hin- und Rückweg die Schenkelflächen senkrecht durchsetzen.

Die planparallele Flüssigkeitsschicht zwischen Prisma und photographischer Schicht hat keinen Einfluss auf den Gangunterschied der interferirenden Strahlen  $S_I$  und  $S_{II}$ , ebenso wenig die übereinstimmenden Phasenänderungen bei Reflexion an  $I$  und  $II$ .

$2\alpha_2$  sei der Wegüberschuss von  $S_{II}$  gegenüber  $S_I$  in der

Schicht,  $\alpha_2$  der Neigungswinkel von  $S_{II}$  innerhalb der Schicht gegen die Spiegelnormale.

$2 a_1$  sei der Wegüberschuss von  $S_I$  über  $S_{II}$  im Prisma.

Der Wegunterschied zwischen  $S_{II}$  und  $S_I$  ist dann in Wellenlängen gemessen, wenn  $\lambda$  diejenige in Luft bedeutet:

$$D = 2 a_2 \frac{n_2}{\lambda} - 2 a_1 \frac{n_1}{\lambda}.$$

Nun ist:

$$a_2 = \frac{d}{\cos \alpha_2}; \quad a_1 = d \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 \sin \alpha_1,$$

also:

$$D = \frac{2 d n_2}{\lambda} - \frac{2 d n_1 \sin \alpha_1 \sin \alpha_2}{\cos \alpha_2},$$

da nun:

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2,$$

so ist auch:

$$D = \frac{2 d n_2}{\lambda} \cos \alpha_2 = \frac{2 d n_2}{\lambda} \sqrt{1 - \frac{n_1^2}{n_2^2} \sin^2 \alpha_1}.$$

Bei der gewöhnlichen Art die photographische Schicht zu betrachten, blickt man in Luft senkrecht auf sie. Dann ist  $\cos \alpha_2 = 1$  und

$$D = \frac{2 d n_2}{\lambda}.$$

Der Gangunterschied der beiden Strahlen ist eine Wellenlänge, wenn  $D = 1$  ist, da  $D$  in Wellenlängen gemessen war. Es erscheint also die Farbe, deren Wellenlänge ist:

$$\lambda_0 = 2 d n_2,$$

also dieselbe, welche die stehenden Wellen erzeugt hatte.

Im allgemeinen Fall aber wird  $D = 1$  für eine andere Wellenlänge:

$$\lambda = 2 d n_2 \cos \alpha_2 = \lambda_0 \cos \alpha_2.$$

Man erhält sie also, indem man  $\lambda_0$  mit einem Factor

$$f = \cos \alpha_2 = \frac{\lambda}{\lambda_0}$$

multiplicirt. Er bestimmt den Grad der Farbenänderung, d. h. das Verhältniss der Wellenlänge der geänderten und ursprünglichen Farbe.

Derselbe werde bei einem Einfall unter  $45^\circ$  in Luft mit  $f_i$ , im Prisma mit  $f_p$  bezeichnet.

Dann ist:

$$(1) \quad f_l = \sqrt{1 - \frac{1}{2n_2^2}},$$

$$(2) \quad f_p = \sqrt{1 - \frac{n_1^2}{2n_2^2}}.$$

Das Verhältniss beider  $f_p/f_l$  sei mit  $f_{pl}$  bezeichnet; es bestimmt die Farbenänderung bei dem eingangs dieses Abschnittes angegebenen Versuch, wobei ein Theil des Farbenbildes durch Luft, ein anderer durch das Prisma betrachtet wird. Es ist:

$$(3) \quad f_{pl} = \sqrt{\frac{2n_2^2 - n_1^2}{2n_2^2 - 1}}.$$

Die Gleichungen 1 bis 3 lehren also, in welchem Verhältniss die Wellenlängen der gesehenen Farben sich ändern müssen, wenn die Brechungsexponenten der photographischen Schicht und des Prismas bekannt sind. Sie können umgekehrt dazu dienen aus einer bekannten Aenderung  $f$  und  $n_1$ , den Brechungsexponenten  $n_2$  der Schicht zu berechnen; oder auch die Frage zu beantworten, wie gross bei bekanntem  $n_2$  der Brechungsexponent des Prismas zu wählen ist, damit  $f$  ausreichend von 1 verschieden wird, um eine deutliche Farbenänderung zu bewirken. Freilich könnte man auch noch zu grösseren Einfallswinkeln als  $45^\circ$  übergehen; doch würde dann die Reflexion an der Oberfläche der Schicht leicht zu stark und den Versuch stören.

### 7. Prismenversuch mit Farbenbildern nach Becquerel.

#### Erster Beweis für ihre Interferenznatur.

Ogleich das Ergebniss des vorigen Abschnittes einer experimentellen Bestätigung nicht bedarf, theile ich doch mit, dass ich beim Prismenversuch mit einem nach Lippmann's Interferenzverfahren photographirten Spectrum gewaltige Farbenänderungen beobachtet habe. So wurde an einer Stelle, wo im senkrecht reflectirten Licht etwa die Farbe der gelben Natriumlinie erschien, durch das Prisma die Farbe der Grenze zwischen Blau und Blaugrün, also etwa diejenige der Wasserstofflinie  $H_\beta$  ( $F$ ) wahrgenommen. Der Einfallswinkel betrug dabei noch nicht  $45^\circ$  und das benutzte Prisma hatte nur den Brechungsexponent  $n_D = 1,52$ .

Bei den folgenden Beobachtungen bediente ich mich ausschliesslich des erwähnten Prismas mit  $n_D = 1,75$  bei einem Einfallswinkel von  $45^\circ$ .

Wurde nun auf einer Becquerel'schen Platte entlang der Mitte von Gelb des photographirten Spectrums ein Strich gezogen, so erblickte man im Prisma an seiner Stelle Grün. Ein anderer Strich längs der Grenze von Grün und Blau gezogen, erschien unter dem Prisma inmitten des Blau liegend. Bei einer anderen Platte wurde der Strich längs der Grenze von Gelb und Grün gezogen, er bildete im Prisma betrachtet die Grenze von Grün und Blau.

Der Versuch wurde auch in der homogenen Beleuchtung einer Natriumflamme wiederholt. Man gewahrt dann beim Gelb des photographirten Spectrums einen hellen Streifen von etwa 1,5 mm Breite, dessen Mitte im Prisma um 2,1 mm nach Roth zu verschoben erscheint bei unabgelenkter Strichmarke; das ist der Mittelwerth der Messungen verschiedener Beobachter. Die Grösse dieser Verschiebung ist zufällig gerade gleich dem Abstand der *D*- und *C*-Linie im Spectrum. Es ist also

$$f_{p\iota} = \frac{\lambda_D}{\lambda_C} = \frac{589}{656} = 0,90.$$

Eine solche verhältnissmässige Aenderung der Wellenlänge des reflectirten Lichtes müsste man erwarten, wenn der photographischen Schicht ein Brechungsexponent zukäme, der sich aus Gleichung (3) mit  $n_1 = 1,75$  berechnet zu  $n_2 = 2,4$ .

Bei einer zweiten Platte wurde nur eine Verschiebung von 1,2 mm beobachtet, woraus sich  $f_{p\iota} = 0,94$  und  $n_2 = 3,1$  ergibt.

Dass der Brechungsexponent der Schichten verschieden ausfallen kann, wenn sie nicht genau unter denselben Bedingungen hergestellt wurden, ist einleuchtend, da er von dem Verhältniss des gebildeten Silber-Chlorürs zum -Chlorid abhängen wird. Nach Abschnitt 3 macht aber das letztere vermuthlich den Hauptbestandtheil der Schicht aus und deshalb wird sie schwerlich einen Brechungsexponenten haben, der den des Chlorids weit übersteigt. Dieser ist nach Beobachtungen von Wernicke<sup>1)</sup>  $n_D = 2,06$ .

1) Pogg. Ann. 142. p. 571. 1871.

Es ist deshalb nicht wahrscheinlich, dass der Brechungs-exponent der Schicht gleich 3 werden könnte. Aus Abschnitt 11 wird sich aber ergeben, dass Vorgänge mit im Spiel sind, die eine kleinere Farbenverschiebung beim Prismenversuch erwarten lassen bei wachsender Lichtwirkung. In der That hatte die zweite Platte eine grössere Lichtmenge als die erste erhalten.

Uebrigens bedingt auch ein kleiner absoluter Fehler bei der Bestimmung der Farbenverschiebung einen grossen in der Berechnung des Brechungsexponenten. Die Beobachtungen machen auch keinen Anspruch auf Genauigkeit. Sie hatten ursprünglich nicht die Berechnung von  $n_2$  zum Zweck, sondern nur die annähernde Bestimmung der Farbenverschiebung.

Die Grösse derselben liess vermuthen, dass sie auch ohne Prisma allein bei Veränderung des Einfallswinkels in Luft festgestellt werden könnte. In der That wurde bei der zweiten Platte eine Verschiebung der Mitte des hellen Streifens beim Licht der Natriumflamme für 0 und  $45^\circ$  Einfall im Mittel zu 0,36 mm gemessen, woraus folgt  $f_i = 0,98$ .

Nun lässt sich aber  $f_i$  auch berechnen aus  $n_1$  und  $n_2$  nach Gleichung (1), wenn man für  $n_2$  den oben gefundenen Werth 3,1 einsetzt. Dann findet man  $f_i = 0,97$ , ein Werth, dessen Abweichung vom beobachteten sich durch die Fehler der Beobachtung erklärt.

Die Möglichkeit der Feststellung einer Farbenänderung mit einem Wellenlängenverhältniss 0,98 gestattet den Bereich der sicheren Anwendbarkeit des Prismenversuchs zu bestimmen.

Es fragt sich, wie gross darf der Brechungsexponent einer Schicht sein, damit man in ihr noch Interferenzfarben mit dem Prisma erkennen kann. Will man die Farbe bei senkrechtem Einfall in Luft mit der bei  $45^\circ$  im Prisma vergleichen, so er-giebt sich mit  $n_1 = 1,75$  und  $f_p = 0,98$  aus Gleichung (2):  $n_2 = 6,2$ ; beschränkt man sich auf die Vergleichung der Farben bei  $45^\circ$  Einfall in Luft und Prisma, so folgt mit  $f_{p,l} = 0,98$  aus Gleichung (3):  $n_2 = 5,2$ .

Soweit mir bekannt, sind grössere Brechungsexponenten für die *D*-Linie noch nicht beobachtet worden.

Derjenige des molekularen Silbers ist nach Wernicke<sup>1)</sup>

1) Wernicke, Wied. Ann. 52. p. 527. 1894



auf Grund der Rechnungen von Drude<sup>1)</sup> gleich 4. Würde seine Berechnung aus dem molekularen Brechungsvermögen gestattet sein, das man aus dem bekannten Refraktionsäquivalent eines Haloids und einer Haloidverbindung des Silbers bestimmen kann, so gelangte man zu einem Werth kleiner als 3.

Demnach würde man mit dem Prismenversuch z. B. die kürzlich von Wernicke gemachte Annahme prüfen können, dass die von Carey Lea beobachteten Farben des Silbers nur Interferenzerscheinungen an molekularem Silber sind. Mit  $n_2 = 4$  und  $n_1 = 1,75$  ergäbe sich  $f_p = 0,95$ : ein in Luft goldgelb ( $\lambda = 589$ ) erscheinendes Silberblättchen müsste unter dem Prisma deutlich grüngelb ( $\lambda = 560$ ) erscheinen. Wenn eine solche Farbenänderung aber nicht einträte, so würden Körperfarben vorliegen und Carey Lea behielte Recht mit der Annahme besonderer Silbermodifikationen.

Um so sicherer wird man Interferenz- und Körperfarben unterscheiden können bei einer beliebigen Chlorstufe zwischen Silberchlorid und reinem Silber. Sie ist getroffen durch die mitgetheilten Versuche beim Verfahren von Becquerel. Die Entscheidung muss also mit gleicher Sicherheit möglich sein beim Verfahren von Seebeck, dem die gleichen Chlorstufen zu Grunde liegen.

Ich möchte hier noch eine Bemerkung anschliessen über eine denkbare Vervollkommnung der Farbenphotographie nach dem Interferenzverfahren.

Lippmann's Farbenbilder haben zwar den Vorzug der Fixirbarkeit und grösseren Lichtempfindlichkeit vor denen Becquerel's voraus. Sie stehen ihnen aber nach durch die grosse Abhängigkeit der Farben vom Einfallswinkel und die Nothwendigkeit in gespiegelm Licht betrachtet werden zu müssen. Beides fällt bei Becquerel's Bildern weg. Die Farben ändern sich hier so wenig mit dem Einfallswinkel, dass man das lange Zeit überhaupt nicht feststellen konnte und sie erscheinen auch im diffusen Licht. Dadurch erhalten sie das Gepräge von körperlichen Farben, ohne es zu sein. Sie verdanken das dem hohen Brechungsvermögen der bildtragenden Schicht.

---

1) Drude, Wied. Ann. 51. p. 98. 1894.

Des gleichen Vortheils könnten die Lippmann'schen Bilder theilhaftig und dadurch auch zum Uebertragen auf Papier geeignet werden, wenn es gelänge, der Gelatine durch geeignete Zusätze ein höheres Brechungsvermögen zu verleihen oder ganz durch einen anderen Stoff von solchem Brechungsvermögen zu ersetzen. Freilich lässt sich nicht von vornherein sagen, ob das möglich ist, ohne andere Vorzüge des Verfahrens zu verlieren.

**8. Becquerel's farbentragende Schicht von der Rückseite betrachtet. Zweiter Beweis für die Interferenznatur der Farben.**

Für den Zweck des Abschnittes 11 musste ich die farbentragende Schicht der Becquerel'schen Platte von der Silberunterlage loslösen. Es geschah das mit Gelatine nach der Vorschrift von Wernicke.<sup>1)</sup>

Dabei beobachtete ich die merkwürdige Erscheinung, dass die Farben von der Rückseite, jedoch gleichfalls im reflectirten Licht, betrachtet sehr stark verschoben waren aus der Lage, die sie ursprünglich beim Betrachten von vorn einnahmen. Zudem war der Farbenton theilweise verändert. Eine solche Farbenänderung ist bei körperlichen Farben undenkbar und nur durch Interferenz zu erklären. Diese Beobachtung liefert also einen zweiten Beweis für die Interferenznatur der Farben, mithin für die Richtigkeit der Zenker'schen Erklärung ihrer Entstehung durch stehende Lichtwellen.

Man hat solche Farbenverschiebungen auch schon an Lippmann'schen Platten beobachtet, wenn man sie von Glas- und Schichtseite betrachtete. Ich kann aber die Erklärungen, welche ich dafür angegeben fand, nicht als richtig anerkennen.

Diese Erscheinungen sind die nothwendige Folge von Thatsachen, die man bisher übersehen hat. Es würde mich indess zu weit von dem Gegenstand dieser Untersuchung abführen, wollte ich hier darauf eingehen. Ich muss das einer besonderen Mittheilung vorbehalten.

---

1) Wernicke, Wied. Ann. 30. p. 462. 1887.

**9. Prismenversuch mit Seebeck's und Poitevin's Farbenbildern.  
Erster Beweis für ihre Körperfarbennatur.**

Dem Prismenversuch mit Seebeck's Platte standen Schwierigkeiten entgegen, welche die vorliegende Untersuchung sehr aufhielten. Das Chlorsilberpulver muss zwischen zwei Glasplatten festgehalten werden. Es genügt nun nicht, zwischen die Deckplatte und das Prisma Benzol zu giessen, um die Farben hindurch zu sehen; denn an den Luftzwischenräumen zwischen Deckplatte und Pulvertheilchen würde Totalreflexion eintreten.

Die Luft muss also vollkommen verdrängt werden durch eine Flüssigkeit von nicht zu kleinem Brechungsexponenten. Dazu wurde Benzol gewählt. Das Zwischengiessen konnte aber nicht nach der Spectralbelichtung geschehen; denn es erwies sich als kaum möglich dies zu thun ohne die Pulvertheilchen aus ihrer Lage zu bringen. Es wurde also umgekehrt zuerst zwischen die beiden Platten Benzol gegossen und dann erst das Pulver dazwischen gestopft.

Zum Tragen des Ganzen diente ein rechteckiger Metallrahmen, der auf der Vorderseite statt durch Glas durch eine etwa 0,08 mm dicke Glimmerplatte abgeschlossen war. Es wurde dadurch eine etwaige scheinbare Verschiebung der darauf zu ziehenden Strichmarke gegen das Spectralbild beim Prismenversuch vermieden.

Die Anwesenheit der Flüssigkeit stört nun das Auftreten der Farben durch die Belichtung nicht; diese kommen wie früher, nur rascher. Denn durch das Aufnehmen des dabei frei werdenden Chlors hatte die Flüssigkeit der Platte eine grössere Lichtempfindlichkeit erteilt.

Diese bildete aber eine wesentliche Erschwerung des Prismenversuchs; er musste jetzt sehr rasch beendet sein, ehe das Tageslicht die entstandenen Farben verändern konnte.

Indess gelang der Versuch schliesslich wiederholt. Der Strich wurde im Rothen durch Diamant auf dem Glimmer gezogen und mit Russ eingeschwärzt: es war keine Verschiebung der Farben gegen ihn zu erkennen.

Gleichwohl war es wünschenswerth, grössere Sicherheit zu erlangen durch eine einfachere Anordnung.

Dazu wurde reines Chlorsilberpulver mit Collodium verührt und die Mischung auf eine Glasplatte gegossen und getrocknet. So entstand eine feste Schicht, in der das Chlorsilber durch Collodium festgehalten war. Sie wurde dann auf eine Glasplatte angekittet.

Der Strich wurde mit Bleistift auf die Schicht selbst gezogen und der Prismenversuch gelang mit Sicherheit.

Freilich durfte man auch diese Platten unter Benzol nicht zu lange am Tageslicht lassen. Es wurde daher das Zimmer zunächst verdunkelt und dann das Licht nur durch ein Loch im Laden und eine doppelte Lage Filtrirpapier diffus zugelassen.

Das neue Verfahren hatte noch den Vortheil, dass die Farben mit grösserer Deutlichkeit erschienen. Unter dem Prisma wurden sie zwar durch die Absorption in dessen schwach gelbem Glase dunkler; es ergab aber der wiederholte Versuch *mit Sicherheit keine Verschiebung der Farben im Prisma gegen die in Luft gesehenen* bei unabgelenktem Strich.

Es war dabei gleichgültig, ob der grobkörnige Bodensatz des Chlorsilbercollodiumgemisches oder die feinkörnige obenauf schwimmende Emulsion benutzt wurde. Die Dicke der Körner wurde im letzteren Fall für die Mehrzahl zu etwa 0,001 mm mit dem Mikroskop bestimmt.

Regelmässige stehende Lichtwellen sind in solchen Körnern von selbst ausgeschlossen. Die Lichtbewegung darin muss sehr verworren sein.

In erhöhtem Maasse ist das bei den Poitevin'schen Blättchen aus Papier der Fall. Der Umstand, dass diese die Farben viel besser wiedergeben, veranlasste mich auch sie dem Prismenversuch zu unterwerfen.

Dabei erwies es sich als unzuträglich, dass das aufgegossene Benzol das ganze Papier durchtränkte, weil dadurch die in Luft betrachteten Farben undeutlicher wurden. Daher wurde das Spectrumbild, nachdem im Gelben ein Strich gezogen war, der Länge nach, also in einer zum Strich senkrechten Richtung, in zwei gleiche Theile zerschnitten. Der eine Theil wurde auf die Kathetenfläche eines Hilfsprismas II (Fig. 3 ist ein Querschnitt der Prismen und Blättchen) und dieses auf eine Glasplatte befestigt, auf dieser ebenfalls die andere Hälfte des Blättchens, und zwar so, dass die Striche

an der Schnittlinie zusammenstiessen, also in einer Ebene lagen. Zuletzt wurde das Prisma I mit dem grossen Brechungs-exponenten auf die zweite Hälfte aufgesetzt, Benzol zwischen gegossen und das Auge in die Schnittlinie der Ebene der Striche und der einen Kathetenfläche des Hauptprismas eingestellt: auch hier konnte man nur beobachten, dass die Farben unter dem Prisma etwas weniger hell waren, das Grün und Blau auch ein wenig undeutlicher. Dieser Umstand war aber auf die gelbe Färbung des Flintglasprismas zurückzuführen; denn auch ein mit Blaustift auf Papier gezogener Strich erhielt unter dem Prisma einen etwas grünlichen Ton. *Eine Verschiebung der Farben beim Prismenversuch trat aber nicht ein.*

Nun ist aber der lichtempfindliche Stoff bei dem Seebeck'schen Verfahren der gleiche wie bei dem Becquerel'schen; beim Poitevin'schen kommen noch Nebenbestandtheile hinzu, die vermuthlich den Brechungsexponenten der Schicht nur her-unterzusetzen vermöchten. Das Aus-bleiben der Farbenverschiebung beweist also, dass die Farben der Seebeck'schen und Poitevin'schen Bilder im Gegen-satz zu den Becquerel'schen *nicht Interferenzfarben sind sondern Körperfarben.*

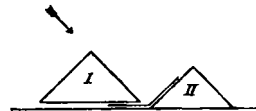


Fig. 3.

#### 10. Seebeck's und Poitevin's Farbenbilder in durchgehendem Licht betrachtet. Zweiter Beweis für ihre Körperfarbennatur.

Die mit Chlorsilbercollodiumemulsion und nach Poitevin's Angabe hergestellten Blättchen sind so durchscheinend, dass sie, von der Rückseite betrachtet, sowohl im reflectirten wie durchgehenden Licht nach der Spectralbelichtung Farben zeigen: *Diese Farben stimmen mit den Farben der Vorderseite an gleicher Stelle überein.* Ja sie erscheinen im durchgehenden Licht zum Theil noch besser ausgeprägt.

Dies ist ein zweiter Beweis dafür, dass die Farben Körperfarben sind, d. h. durch Absorption entstanden.

Jene Beobachtung war schon früher öfter für die genannten und ähnliche Verfahren gemacht worden; ich habe aber noch nirgends den Schluss daraus gezogen gefunden auf die Natur der Farben.

Vielleicht ist dies zum Theil zurückzuführen auf einen

grundsätzlichen Fehler, den Zenker, der Begründer der Interferenztheorie der Farbenphotographie, in dieser Hinsicht gemacht hat. In seinem Lehrbuch der Photochromie sagt er p. 81 in Bezug auf die durch stehende Lichtwellen erzeugten Farbenbilder:

„Ebenso ist es natürlich, dass dieselben Farben auch im durchgehenden Lichte erscheinen, die man im reflectirten sieht. Denn da auch das durchgehende Licht sicherlich nicht die directe Fortsetzung der kommenden Strahlen ist, sondern wenigstens zum Theil auch mehrfache Reflexionen erfahren wird, so müssen in demselben auch diejenigen Farben überwiegen, die den Entfernungen der vorhandenen Punktschichten entsprechen, d. h. die identischen.“

Mit den Punktschichten sind die Elementarspiegel gemeint, die in der empfindlichen Schicht durch stehende Lichtwellen entstanden.

Die Farben, welche aber durch die Gesamtwirkung der Reflexionen an den Elementarspiegeln entstehen, müssen zu den reflectirten Farben an der gleichen Stelle complementär sein, wie bei allen reinen Interferenzfarben.

Denn sie müssen zusammen das auffallende weisse Licht ausmachen. Kann doch davon nichts verloren gehen, da sie nach der Voraussetzung nur durch Interferenz und nicht durch Absorption entstehen sollen.

Fragt aber jemand, wieso bei gleichem Wegunterschied, nämlich der doppelten Entfernung zweier benachbarten Elementarspiegel verschiedene Interferenzfarben im reflectirten und durchgelassenen Licht entstehen können, so vergisst er die bei den Reflexionen entstehenden Phasenänderungen. An derselben geometrischen Ebene, an der ein Strahl des reflectirten Lichtes beim ersten Elementarspiegel durch Eindringen in optisch *dichtere*, bezüglich dünnere Theile zurückgeworfen wird, muss ein im durchgehenden zweimal zurückgeworfener Strahl in optisch *dünnere*, bezüglich dichtere Theile eindringen und erhält dadurch eine entgegengesetzte Phasenänderung. Diejenige am zweiten Spiegel ist in beiden Fällen die gleiche. Mithin verbleibt ein Phasenunterschied von einer halben Wellenlänge, welcher die complementäre Färbung des durchgehenden Lichtes bedingt. An dieser Ueberlegung wird nichts ge-

ändert durch Berücksichtigung einer grösseren Anzahl von Reflexionen.

Hier wird man einwenden, dass die Phasenänderung bei Reflexion an einem Elementarspiegel die gleiche sein muss, einerlei, von welcher Seite das Licht einfällt. Das ist auch der Fall. Man muss aber bedenken, dass der Elementarspiegel nicht als geometrische Ebene, sondern als eine Schicht endlicher Dicke aufzufassen ist. Sonst könnte er bei fehlender Absorption überhaupt kein Licht reflectiren.

Gerade dieser Einwand verhilft zur Bestimmung der Phasenänderung bei Reflexion am Elementarspiegel und nicht an einer geometrischen Ebene seiner Grenzen oder im Innern, wovon oben die Rede war. Da nämlich im durchgehenden Licht der zweimal reflectirte Strahl gegenüber dem unmittelbar durchgehenden einen Phasenunterschied von einer halben Wellenlänge erhalten muss, und da er an jedem der beiden Elementarspiegel die gleiche Phasenänderung erleiden muss, so *beträgt die Phasenänderung bei Reflexion an einem Elementarspiegel eine viertel Wellenlänge.*

Darunter ist natürlich die Phasenänderung verstanden im Vergleich zu einem an der geometrischen Mittelebene des Elementarspiegels ohne Phasenänderung reflectirten Strahl.

Dieses Ergebniss werde ich bei der p. 250 erwähnten Gelegenheit noch in anderer Weise ableiten.

Zugleich sind damit die erwähnten Schwierigkeiten, bez. Einwände beseitigt.

Alles Gesagte bezieht sich natürlich nur auf den Fall fehlender Absorption. Ein solcher liegt vor bei dem Chromgelatineverfahren von Lippmann<sup>1)</sup>, wobei die Durchlassfarben in der That den reflectirten complementär sind.

Ist aber nebenher noch Absorption vorhanden, so wird sie leicht im durchgehenden Licht Ausschlag gebend, weil jene complementären Durchgangsfarben, wie bei den Farben dünner Blättchen, sehr viel Weiss enthalten und daher matt sein müssen.

So hat Krone<sup>2)</sup> bei Lippmann'schen Haloid-Silberplatten im durchgehenden Licht nur die Eigenfarbe des beim

1) Lippmann, Compt. rend. 115. p. 575. 1892.

2) Krone, „Darstellung der natürl. Farben“ p. 54.

Entwickeln entstandenen Niederschlags beobachten können, und ich habe das auch beobachtet. Uebrigens theilt Lippmann selbst mit, dass er bei zwei Bromsilber-Albuminplatten die complementären Farben in der Durchsicht beobachtete.<sup>1)</sup> Bei diesen muss also die Absorption besonders gering gewesen sein.

Wenn also im durchgehenden Licht die gleichen Farben wie im reflectirten auftreten, so können diese nicht durch Interferenz, sondern nur durch Absorption entstanden sein.

Umgekehrt muss Absorption, wofern sie nicht ausreichend stark auswählend ist, um Oberflächenfarben zu erzeugen, die gleiche Farbe dem durchgehenden und reflectirten Licht ertheilen, denn dieses ist ja weiter nichts als doppelt durchgegangenes Licht.

Somit liegt in dieser Feststellung ein *zweiter Beweis*, dass die Farben bei Seebeck's und Poitevin's Verfahren Körperfarben sind.

## 11. Die Mitwirkung von Körperfarben bei Becquerel's Verfahren.

Ich habe in der Uebersicht (1.) darauf hingewiesen, dass es auffallend wäre, wenn der Stoff der Seebeck'schen Platte unter farbiger Belichtung Körperfarben erzeugte, und der chemisch damit fast übereinstimmende der Becquerel'schen Platte dies nicht vermöchte.

Es war aber zu erwarten, dass diese Körperfarben schwer zu beobachten seien, so lange die Interferenzfarben stark ausgebildet waren. Es ist nun leicht verständlich, dass diese geschwächt würden durch eine grössere Belichtungsdauer, infolge deren die photographische Wirkung bis in geringe Nähe der Schwingungsknoten der stehenden Wellen sich erstrecken müsste. Diese Folgerung wurde schon durch Krone<sup>2)</sup> bei Lippmann's Verfahren bestätigt. Ausreichend überbelichtete Stellen des Spectrums werden weiss. Becquerel<sup>3)</sup> selbst gibt

1) Lippmann, Compt. rend. 114. p. 962. 1892.

2) Krone, Deutsche Photographen-Zeitung p. 187. 1892, citirt nach Valenta.

3) Becquerel, La lum. 2. p. 222. 1868.



für sein Verfahren an, dass die Farbenunterschiede mit wachsender Belichtungsdauer verschwinden.

Ich habe daher eine Becquerel'sche Platte 20 Stunden, eine zweite 30 Stunden der Belichtung des Spectrums ausgesetzt.

Der Prismenversuch gab dann bei der ersten eine schwächere, bei der zweiten eine kaum merkbare Farbenverschiebung. Zugleich werden die Farben unter dem Prisma sehr un- deutlich.

Ein strengerer Nachweis der Körperfarben war aber aus der Betrachtung der farbentragenden Schicht im durchgehenden Licht zu erwarten. Diese wurde also von der Silberunterlage abgehoben (vgl. p. 250). Dann erschienen in der That im durchgehenden Licht an den richtigen Stellen Roth und eine Spur Blau, das letztere jedoch im ersten Fall mehr mit grau- blauem, im zweiten mit blauviolettem Farbenton.

Es war aber zu erwarten, dass auch jetzt noch die Interferenzfarben störend wirkten. Es wurde daher die Seite, welche dem Silber angelegen hatte und lebhafte Interferenz- farben im reflectirten Licht zeigte, mit einem Lederlappen so stark abgerieben, bis diese Farben matter wurden. Dann trat in der Durchsicht besonders das Roth kräftiger hervor. Es war aber auch dann nicht ein Spectralroth, so wenig, wie dasjenige beim Seebeck'schen Verfahren. Uebrigens war dasselbe schon bei einer nur  $\frac{3}{4}$  Stunden lang belichteten Schicht, wenn auch viel weniger ausgeprägt, in der Durch- sicht zu beobachten.

Diese Versuche beweisen also, dass auch bei Becquerel'- schen Platten Körperfarben entstehen und im Farbenbild um so stärker mitwirken, je länger die Belichtung dauert.

## 12. Die denkbare Grundlage einer Farbenphotographie mit Körperfarben.

Damit ein lichtempfindlicher Stoff durch eine Lichtart chemisch verändert werden kann, muss er sie absorbiren. Das Umgekehrte gilt nicht allgemein. Das absorbirte Licht kann z. B. ausschliesslich in Wärme umgesetzt werden. Man unterscheidet daher zwischen thermischer und chemischer Licht- absorption.

Zur Vereinfachung des Ausdrucks setze ich fest, dass ein *absorptionsmässig lichtempfindlicher Stoff* ein solcher heissen soll, der für alle Farben lichtempfindlich ist, die er absorbiert, und zwar in einem zum Absorptionsvermögen jeweils im selben Verhältniss stehenden Maasse.

Dass es solche Stoffe gibt, wenigstens mit einem beträchtlichen Grad der Annäherung, ist bekannt. Auf ihrem Vorhandensein beruht der wichtige, von H. W. Vogel aufgestellte Grundsatz der optischen Sensibilisatoren.<sup>1)</sup>

Es ist nun denkbar, dass der absorptionsmässig lichtempfindliche Stoff durch Lichtersetzung farbige Stoffe erzeugt und dass diese selbst wieder absorptionsmässig lichtempfindlich sind.

Es heisse nun ein *farbenempfindlicher Stoff* ein schwarzer absorptionsmässig lichtempfindlicher Stoff, dessen Zersetzungsstoffe nur aus einfarbigen absorptionsmässig lichtempfindlichen Stoffen von mindestens drei ausreichend verschiedenen Farben bestehen sollen und ausserdem einem weissen, dem jedoch die geringste Entstehungsfähigkeit zukommen möge. Ausreichend verschieden sollen diese Farben sein, um durch ihre Mischung untereinander und mit Weiss jegliche Mischfarbe erzeugen zu können. Im Gegensatz zu diesen Mischfarben sollen die ungemischten *Grundfarben* heissen. Die einfarbigen Stoffe reflectiren nur eine Farbe gut; die anderen sollen sie um so stärker absorbiren, je weiter sie von jener abweichen. Dann lässt sich zeigen:

*Ein farbenempfindlicher Stoff bildet die Farben der Beleuchtung richtig ab.*

Die Beleuchtungsfarbe stimme zunächst mit einer Grundfarbe überein. Sie wird von dem schwarzen Körper absorbiert und bewirkt eine Zersetzung, da er nach der Voraussetzung absorptionsmässig lichtempfindlich ist. Bei dieser Zersetzung entstehen die verschiedenen farbigen Stoffe. Die mit der

1) Das Empfindlichkeitsmaximum ist gegen das Absorptionsmaximum bisher stets gegen das weniger brechbare Ende des Spectrums verschoben gefunden worden. Die Verschiebung der beiden jeweils an derselben Platte bestimmten Maxima ist für eine grosse Reihe von Sensibilisatoren durch J. J. Acworth (Wied. Ann. 42. p. 371. 1891) eingehend untersucht worden. Er findet neben grossen auch sehr geringe Verschiebungen. Es ist daher grundsätzlich nicht ausgeschlossen, dass es Farbstoffe gibt, bei denen die Verschiebung unmerklich ist für den betrachteten Zweck.

Beleuchtungsfarbe nicht übereinstimmenden absorbiren das auffallende Licht, da sie nach der Voraussetzung einfarbig sind, mithin alle von ihrer Farbe verschiedenen Beleuchtungsfarben absorbiren müssen. Da diese Stoffe aber auch absorptionsmässig lichtempfindlich sind, so werden sie auch zersetzt durch das Licht, das sie absorbiren. Dagegen kann der mit der Beleuchtungsfarbe gleichfarbige Stoff nicht zersetzt werden, da er das auffallende Licht nicht absorbirt. Auf die Dauer kann also nur er erhalten bleiben und ausserdem der weisse Stoff, doch dieser nach Annahme nur in geringem Maasse und also nur bei grosser Beleuchtungsstärke in merklicher Weise.

Stimmt die Beleuchtungsfarbe nicht überein mit einer Grundfarbe, sondern liegt zwischen zwei solchen, ist z. B. grün, beim Vorhandensein einer gelben und blauen Grundfarbe, so werden diejenigen farbigen Stoffe am wenigsten zersetzt, welche Grün am besten reflectiren, das ist der gelbe und blaue. Es wird also ein grünes Gemisch entstehen, ausserdem Weiss, jedoch nur in geringerem Maasse.

Bei weisser Beleuchtung werden sämmtliche Farbstoffe zerstört, und der weisse bleibt allein übrig.

Bei fehlender Beleuchtung bleibt der Stoff schwarz.

So überzeugt man sich, dass alle Farben richtig wiedergegeben werden; jedoch nur bei einer nicht zu überschreitenden Grenze der Belichtungsstärke oder -Dauer. Wird sie überschritten, so muss das Weiss vorzuherrschen beginnen und die Farben müssen allmählich verblassen.

Es ist möglich, dass ein lichtempfindlicher Stoff die Eigenschaften des farbenempfindlichen nur theilweise besitzt; er wird dann auch nur theilweise oder unvollkommen die Farben wiedergeben können.

Ist er nicht schwarz, so gibt er Schwarz nicht wieder. Ist er nicht absorptionsmässig lichtempfindlich, so bleibt er unverändert für eine Farbe, die er absorbirt, und kann diese daher nicht wiedergeben.

Sind die Grundfarben nicht einfarbig, so wird er die einfarbige Beleuchtung, die eine solche reflectirt, entweder überhaupt unrichtig, oder doch im Farbenton ungenau wiedergeben. Ein gleicher Fehler tritt ein, wenn die Zersetzungstoffe nicht absorptionsmässig lichtempfindlich sind.

Sind endlich an verschiedenfarbigen Zersetzungsstoffen nur weniger als drei vorhanden, oder sind deren Farben nicht ausreichend verschieden, so können nicht alle Farben wiedergegeben werden. Diese Bemerkung bezieht sich auch auf den weissen Zersetzungstoff. Wenn er fehlt, wird Weiss nicht wiedergegeben.

Trotz all solcher Abweichungen wird aber doch jeder lichtempfindliche Farbstoff, der farbige Zersetzungsstoffe liefert, in einem gewissen Maasse Farben abbilden können. Denn die Beleuchtungsfarbe wird die gleichfarbige Verbindung ungestört lassen, da das Licht von ihr zurückgeworfen wird, die andersfarbigen aber leichter zerstören, weil diese die Beleuchtungsfarbe leichter absorbiren.

Man wird die Eigenschaften des farbenempfindlichen Stoffes für sehr verwickelt und schwer erreichbar halten. Indess ist diese Verwickelung durch die Natur bekannter Verfahren gefordert. Sie ist aber nicht nöthig, wenn man sich die Aufgabe stellt, auf einfachstem Wege Farbenphotographien durch Körperfarben zu erzeugen vermöge der Auslese des zersetzend wirkenden absorbirten Lichtes. Ich komme darauf im Abschnitt 14 zurück.

### 13. Erklärung der Farbenwiedergabe bei Seebeck's und Poitevin's Verfahren.

Die Farbenwiedergabe wird erklärt durch den Nachweis, dass die benutzten lichtempfindlichen Stoffe mit einer gewissen Annäherung die Eigenschaften eines farbenempfindlichen besitzen — nicht vollkommen, denn die Farbenwiedergabe ist nicht vollkommen.

Die erste Abweichung besteht schon darin, dass der lichtempfindliche Stoff nicht schwarz ist, sondern bei Seebeck dunkelviolet bis grauviolet, bei Poitevin dunkelgrauviolet bis graubraun. Schwarz kann also nicht wiedergegeben werden, an seine Stelle treten die genannten dunkeln Töne. Indess theilen diese Stoffe mit dem schwarzen die Eigenschaft, alle sichtbaren Strahlen in gewissem Maasse zu absorbiren und gegen alle auch lichtempfindlich zu sein.

Die Zersetzungsstoffe sind, wie schon im Abschnitt 1 er-

wähnt, Stoffe verschiedener Farbe. Sie müssten nach den Angaben von Carey Lea und Krone auch ausreichend an Zahl oder ausreichend verschiedenfarbig sein. Aber sie sind nicht vollkommen einfarbig, und darin liegt ein Grund für die theilweise unrichtige Wiedergabe des Farbentons (vgl. Absch. 4).

Ein weisser Zersetzungsstoff ist nicht entstehungsfähig bei Seebeck's Verfahren; Weiss kann also und wird hier auch nicht wiedergegeben.

Wohl aber trifft beides für Poitevin's Verfahren zu. Auch ist die Entstehungsfähigkeit des Weiss geringer als die der anderen Zersetzungsstoffe. Denn erst bei langer Belichtung werden die Farben blasser.

Von allen Eigenschaften des farbenempfindlichen Stoffes bleibt jetzt nur noch die absorptionsmässige Lichtempfindlichkeit der farbigen Zersetzungsstoffe bei den beiden Verfahren zu untersuchen.

Auch sie darf nur in dem Maasse vorhanden sein, als es der Grad der Genauigkeit der Farbenwiedergabe erfordert.

Bei Seebeck's Verfahren ist das Roth die am besten ausgeprägte Farbe. Damit es unter rother Beleuchtung entstehen konnte, mussten alle anderen Zersetzungsfarben rothempfindlich sein, um durch die rothe Beleuchtung zerstört werden zu können. Dies trifft auch zu.

Zur Prüfung wurde das unter dem Spectrum entstandene Bild in seiner Ebene um  $90^\circ$  gedreht, sodass jetzt jeder einfarbige Streifen des Bildes dem ganzen beleuchtenden Spectrum ausgesetzt war.

Dabei blieb unter dem Roth der zweiten Belichtung allein das Roth des ersten Spectrumbildes erhalten; die übrigen Farben wurden zerstört, indem sie bis zum beginnenden Ultraviolett alle eine rothe Färbung annahmen.

Aehnliches gilt für die anderen Bildfarben. Doch da sie schon nach der ersten Spectralbelichtung nicht gut ausgeprägt waren, so konnten sie nach der zweiten kreuzenden nur noch schwieriger erkannt werden. So viel liess sich jedoch sagen, dass das Bildroth der ersten Belichtung durch die grüne und blaue zweite Belichtung zerstört wurde, wenn auch die mit dem Roth verbundene Aufhellung des Grundtones noch zu sehen war. Es stimmt das mit dem p. 232 erwähnten Ver-

such Carey Lea's überein. Ferner war auch das Grün des ersten Bildes ausser durch das Roth auch durch das Blau der zweiten Belichtung zerstört.

Es war also durch das Blau der zweiten Belichtung sowohl das Roth als das Grün des ersten Bildes zerstört; das Violett kann es natürlich auch verändern, da Blau ja aus dem violetten Grundstoff hervorgegangen war. Da nun Gelb bei diesem Verfahren überhaupt kaum erscheint, so ist damit die Entstehung des Blau unter der blauen Belichtung erklärt, da sie alle andersfarbigen Zersetzungsstoffe zu zerstören vermag. Blau ist aber wohl die nach Roth noch am besten wiedergegebene Farbe.

Beim Poitevin'schen Verfahren sind die Farben durchweg besser ausgeprägt. Der Versuch mit gekreuzten Spectren liess sich daher hier besser ausführen.

Bei einem Versuch hatte die erste und zweite Belichtung je eine halbe Stunde gedauert.

Die Farben des ersten Bildes blieben dann, wie zu erwarten, unter den gleichfarbigen der zweiten Belichtung un geändert. Durch die andersfarbigen Beleuchtungsfarben änderten sie sich nach der Beobachtung von Prof. Dr. Holzapfel in folgender Weise:

Das *Roth* des ersten Bildes wird im Gelb der zweiten Belichtung gelb, unter den anderen Beleuchtungsfarben ebenfalls verändert.

Das *Gelb* des ersten Bildes bleibt im Roth der zweiten Belichtung, ein wenig auch im Grün, wird im Blau grünlich, im Violett zerstört.

Das *Grün* des ersten Bildes wird im Roth der zweiten Belichtung roth, im Gelb gelb, im Blau und Violett verändert.

Das *Blau* des ersten Bildes wird im Roth der zweiten Belichtung roth, im Gelb gelb, im Grün grün, im Violett verändert und dunkler.

Das *Schwarzviolett*, das sich unter dem Violett der ersten Belichtung gebildet, wird unter dem Roth der zweiten Belichtung Roth und nimmt unter den anderen Beleuchtungsfarben eine wenig bestimmte, jedoch zu ihnen jeweils hinneigende Färbung an.

Im allgemeinen wurde also jeder farbige Stoff nur unter

der gleichfarbigen Beleuchtung erhalten, unter einer andersfarbigen verändert oder zerstört.

Eine Ausnahme bildet davon das Gelb oder besser das Orange, da die unter gelber Beleuchtung entstehende Farbe mit einem reinen Gelb verglichen mehr orangefarben erscheint (vgl. p. 239). Diese Farbe wird durch das benachbarte Roth und Grün einer zweiten Belichtung nicht verändert und wird auch durch Blau nicht leicht zerstört, da hier die Mischfarbe Grün entsteht.

Diese Thatsache würde der gegebenen Erklärung der Farbenwiedergabe widersprechen, wenn sie nicht die Ursache zu einem Fehler derselben wäre, welcher die Erklärung rechtfertigt.

Wenn nämlich der orangefarbene Stoff nicht ausreichend lichtempfindlich ist für Roth und Grün, so kann er gleichzeitig mit dem rothen Stoff unter der rothen und mit dem grünen Stoff unter der grünen Beleuchtung entstehen, ohne wieder zerstört zu werden; wenn er aber überhaupt gegen die Belichtung widerstandsfähiger ist, so kann er schliesslich die Oberhand gewinnen; und dies wird in der That beobachtet.

Der ursprünglich schmale orangegelbe Streifen breitet sich mit wachsender Dauer der Spectralbelichtung nach beiden Seiten hin aus. Seine Breite betrug z. B. in einem 24 Minuten lang belichteten Felde etwa 1 mm, in einem daneben liegenden fünfmal so lang belichteten etwa 3 mm.

Diese Verbreitung fand bei einigen Versuchen stärker nach der rothen als nach der blauen Seite des Spectrums statt. Bei anderen Versuchen schien das nicht der Fall zu sein. Es kann dies wohl von kleinen Verschiedenheiten in der Art der Darstellung der empfindlichen Schicht herrühren.

Wo diese Verschiebung vorhanden ist, hängt sie wohl mit der folgenden Erscheinung zusammen.

Eine genauere Untersuchung ergab nämlich, dass bei kurzer Belichtungsdauer, z. B. 4 Minuten, unter gelber Beleuchtung von der Farbe der Natriumflamme nicht ein gelber, sondern ein rother Stoff entsteht, der erst allmählich jene orangegelbe Färbung annimmt. Es scheint also der gelbe Stoff erst aus der Zersetzung eines rothen hervorzugehen.

Dieser Vorgang ist chemisch zu erklären und muss für

die vorliegende Untersuchung nur insofern beachtet werden, als er eine einseitige Verschiebung des orangegelben Streifens bei wachsender Belichtungsdauer erklären kann. Denn nach dem Gesagten wird der rothe Ausgangsstoff leichter bei rother als bei grüner Beleuchtung entstehen können.

Man überzeugt sich so, dass die Abweichungen der Eigenschaften der benutzten photographischen Stoffe von denen eines farbenempfindlichen auch Abweichungen von der richtigen Farbenwiedergabe bedingen.

Für diejenige Farbe beim Poitevin'schen Verfahren aber, welche bei ausreichender Belichtung dauernd richtig wiedergegeben wird, nämlich Orange gelb, sind die Bedingungen erfüllt: alle anderen auftretenden farbigen Stoffe sind für orange gelbes Licht empfindlich und werden dadurch zersetzt.

*Die Farbenwiedergabe und der Grad ihrer Genauigkeit durch die von Seebeck und Poitevin benutzten Stoffe wurde also erklärt durch den Nachweis, dass sie die Eigenschaften eines farbenempfindlichen Stoffes in dem durch jene Genauigkeit geforderten Maasse der Annäherung besitzen.*

#### **14. Die Stellung der Farbenphotographie mit Körperfarben zu dem Farbendruck- und Interferenz-Verfahren. Möglichkeit der Vervollkommnung der Körperfarbenphotographie.**

Die Farbenphotographie mit Hülfe eines farbenempfindlichen Stoffes sei hier als *Körperfarbenphotographie* bezeichnet.

Sie steht dem neuerdings von H. W. Vogel<sup>1)</sup> ausgearbeiteten Verfahren des Farbendrucks insofern nahe, als die Farben in beiden Fällen durch Körperfarben wiedergegeben werden. Ferner bedürfen beide Verfahren des Vorhandenseins absorptionsmässig lichtempfindlicher Stoffe, auf die sich also der Vogel'sche Grundsatz der optischen Sensibilisatoren anwenden lässt. Ein Fortschritt in der Auffindung solcher Stoffe kann unter Umständen beiden Verfahren zu Gute kommen.

Auch das Verfahren mit Körperfarben eignet sich zur Vervielfältigung, da die Farben auch in der Durchsicht erscheinen. Dazu muss man sich natürlich durchsichtiger Platten

1) Verh. d. phys. Ges. z. Berlin, Wied. Ann. **46.** p. 521. 1892.



bedienen, wie sie z. B. neuerdings von Veress<sup>1)</sup> benutzt wurden. Natürlich ist der Farbendruck jedem anderen in der Vervielfältigungsfähigkeit überlegen. Aber es würde das Verfahren mit Körperfarben wenigstens das Interferenzverfahren in dieser Hinsicht übertreffen.

Diesem letzteren steht es aber insofern näher, als die Farben unmittelbar unter der farbigen Belichtung entstehen. Da es aber die Farben nicht als Schein-, sondern als Körperfarben wiedergibt, so wäre es vielleicht als das eigentliche Ideal der Farbenphotographie anzusehen.

Davon ist es augenblicklich freilich noch weit entfernt. Vielleicht wird das anders, nachdem seine Grundlagen aufgedeckt sind.

Dabei erkennt man, dass das Seebeck'sche und Poitevin'sche Verfahren noch einen Umweg wählt. Die Eigenschaften des farbenempfindlichen Stoffes sind sehr verwickelt. Aber nachdem nachgewiesen ist, dass er die Farben richtig wiedergibt, könnte man umgekehrt seine Begriffsbestimmung an die Fähigkeit der richtigen Farbenwiedergabe knüpfen und fragen: welches sind die einfachsten Eigenschaften, die er zu diesem Zwecke haben muss?

Ich glaube, dies wäre aus einem schwarzen Gemisch dreier absorptionsmässig lichtempfindlicher Farbstoffe zu ersehen, welche bei ihrer Zersetzung nur in weisse Stoffe zerfallen.

Doch sind natürlich die verschiedensten Abarten dieses Verfahrens denkbar.

Es sind auch verschiedene Wege denkbar, auf denen sich die Fixirung erreichen liesse. Es erscheint nicht ausgeschlossen, dass die entstandenen Farbstoffe durch chemische Einwirkung in gleichfarbige lichtunempfindliche übergeführt oder durch einen geeigneten Zusatz vor Zersetzung geschützt werden. Einen Fall letzterer Art erwähnt Otto N. Witt in einem bemerkenswerthen Vortrag.<sup>2)</sup>

---

1) Vgl. Eder's Jahrbuch für Photographie. p. 46. 1891.

2) Otto N. Witt, „Ueber Farben und Färben. Eine Studie über Energieverwandlung.“ Vortr. geh. bei Gelegenheit des VI. deutsch. Färbertages. Prometheus p. 625 u. 641. 1894. Sehr treffend bemerkt er, dass Theorie und Praxis aufgehört haben, einander fremd gegenüber zu stehen, da jeder theoretische Fortschritt einen praktischen zur Folge haben kann.

Es lassen sich nämlich lichtunempfindliche, d. h. lichtempfindliche Farben auf Faserstoffen dadurch lichtecht machen, dass man die Faser mit Kupfersalzen imprägnirt. Ohne die Natur der Farbstoffverbindung zu beeinflussen, nehmen diese nach Witt's Vermuthung wegen ihrer leichteren Zersetzbarkeit die Lichtenergie auf und machen sie dadurch für den Farbstoff unschädlich.

Es ist aber auch denkbar, dass die photographische Schicht erst durch Zusatz anderer Stoffe lichtempfindlich und nach deren Wegnahme von selbst wieder unempfindlich wird.

Man könnte fragen, welchen Zweck es hätte, nach neuen Verfahren zu suchen, da bereits vortreffliche vorhanden sind. Aber es zeigt die Erfahrung, dass bei verschiedenen Lösungen einer technischen Aufgabe selten eine einzige alle anderen verdrängt. Sondern jede erhält den Bereich ihrer Verwendungen, für die sie am angemessensten erscheint.

Und wenn das Körperfarben-Verfahren zur Zeit das unvollkommenste ist, so lässt sich doch den künftigen Erfindern nicht vorschreiben, innerhalb welcher Grenzen der Unvollkommenheit sie es lassen sollen, so wenig man künftigen Geschlechtern vorschreiben kann, innerhalb welcher Grenzen der Erkenntniss sie sich halten sollen, wie es von denjenigen geschieht, welche ihre Grenzen bestimmen zu können meinen.

---

Es trifft das gewiss bei der Entwicklung der Farbenphotographie zu und hoffentlich auch in dem vorliegenden Fall. Ich kann aber hier eine Aeußerung des Verf. nicht unwidersprochen lassen, nämlich seine Annahme, dass chemische Wirkung langwelliger Strahlen zu Stande käme dadurch, dass sie nach der Absorption erst in kurzwellige verwandelt würden. Mit gleichem Recht könnte man die Wärmewirkung kurzwelliger Strahlen durch eine Verwandlung in langwellige erklären wollen, ehe sie Erwärmung bewirken könnten. Es wird aber die Art der Lichtwirkung nicht durch die Länge der ankommenden Welle, sondern durch die Beschaffenheit des aufnehmenden Stoffes bestimmt. Meine Versuche über stehende Lichtwellen bewiesen, dass die chemische Wirkung durch die jenen innewohnenden electricen Kräfte hervorgebracht wird, und diese sind vorhanden unabhängig von der Grösse der Wellenlänge. Sie können je nach der Beschaffenheit des betroffenen Körpers Zersetzung oder Erwärmung hervorbringen, so gut wie die electricen Kräfte eines constanten Stroms Zersetzung bei einem Electrolyten, nur Wärme bei einem metallischen Leiter erzeugen.

### 15. Mechanische Farbenanpassung in der Natur.

Man schrieb früher dem Lichte einen weitgehenden Einfluss auf die Entstehung der Farben in der Natur zu,<sup>1)</sup> nicht nur bei den Pflanzen, deren Grün zur Entstehung im allgemeinen unstreitig des Lichtes bedarf, sondern auch bei den Thieren. Ein solcher unmittelbarer Einfluss wurde aber um so mehr geleugnet oder wenigstens nur noch in beschränktem Maasse anerkannt, je mehr man mit Darwin die Färbung der Thiere auf die Wirkung natürlicher und geschlechtlicher Zuchtwahl zurückführen lernte.

Ohne diese Wirkung zu bestreiten, hat aber neuerdings Semper<sup>2)</sup> betont, dass die Erklärung damit noch nicht vollständig ist, dass z. B. das erste Auftreten von Farbstoff im Gewand eines Thieres unerklärt bleibt. Diese Bemerkung kann sich natürlich nicht beziehen auf Farben, welche als die bedeutungslose Eigenschaft der vom Organismus hervorgebrachten chemischen Verbindungen aufgefasst werden können.<sup>3)</sup> Sie hat aber gewiss Berechtigung im Hinblick auf den häufig beobachteten Mangel von Farben bei Thieren, die im Dunkeln leben.

Allgemein führen Semper<sup>4)</sup> und Eimer<sup>5)</sup> aus, dass das Abändern der Lebewesen, welches die Grundlage von Darwin's Lehre bildet, von ihm nur als Thatsache hingenommen wurde und noch selbst der Erklärung bedürftig sei. Als eine Ursache dieses Abänderns betrachtet Eimer<sup>6)</sup> die physikalischen und chemischen Veränderungen, welche die Lebewesen durch die Einwirkung der äusseren Lebensbedingungen erfahren. Er schreibt daher auch der Einwirkung des Lichtes einen bedeutenden Einfluss auf die Bildung und Veränderung der Farben der Thiere zu.<sup>7)</sup>

Mit solchen Betrachtungen hat man den Boden physika-

1) Vgl. Karl Semper, Die natürlichen Existenzbedingungen der Thiere; Leipzig, F. A. Brockhaus 1880. p. 107.

2) Semper l. c. p. 122.

3) Vgl. Darwin „Abstammung des Menschen“, deutsch v. V. Carus, 5. Aufl. p. 298.

4) Semper, l. c. Vorwort.

5) Eimer, Entstehung der Arten I. p. 1.

6) l. c. p. 24.

7) l. c. p. 93. 145. 167 u. a.

lischer Anschauung betreten. Denn diese verlangt die gesetzmässige Zurückführung eines Vorganges auf den ihm zeitlich unmittelbar vorangehenden Zustand. Gegenüber einer derartigen mechanischen Erklärung ist die Darwin'sche Art der Erklärung als eine statistische zu bezeichnen und nimmt zu ihr etwa die Stellung ein, wie die Erklärung der Gasgesetze nach der kinetischen Gastheorie gegenüber der rein mechanischen Erklärung der Bewegung eines einzelnen Molecüls. Nur der Gegenstand der uns zugänglichen Beobachtung nimmt in beiden Fällen eine verschiedene Stellung ein. Er ist bei den Gasen der Gesamtvorgang, in der Natur meist nur der Einzelvorgang. Ich bin auf diese Ueberlegung eingegangen, um zu zeigen, dass die beiden Erklärungsweisen einander nicht ausschliessen, sondern sich gegenseitig ergänzen müssen.

In dieser Hinsicht verdient die Feststellung eines unmittelbaren Einflusses des Lichtes auf die Färbung der Thiere besondere Beachtung. Ein solcher ist genau untersucht bei Raupen und Schmetterlingspuppen. Er wurde entdeckt durch T. W. Wood<sup>1)</sup> im Jahre 1867. Die im Verpuppen begriffenen Raupen wurden in den Sonnenschein gebracht und mit gefärbten Gegenständen umgeben; dann nahmen sie deren Farben an. Wie weit diese Empfänglichkeit bei Puppen und auch bei Raupen verbreitet ist, hat neuerdings Edward B. Poulton<sup>2)</sup> in ausserordentlich eingehenden und sorgfältigen Experimentaluntersuchungen gezeigt.

Als Ursache der Erscheinung wurde von dem Entdecker Wood eine photographische Empfindlichkeit der Haut angenommen. Doch gab er dafür keinen Beweis. Seine Annahme war aber durchaus nicht selbstverständlich. Denn es sind Fälle rascher Farbenanpassung bekannt, die auf anderen Um-

---

1) T. W. Wood, Proc. Ent. Soc. p. 99—101. 1867, citirt nach E. B. Poulton „The Colours of Animals“, London, Kegan Paul, Trench, Trübner & Co. 1890, woselbst die Geschichte der Entdeckung p. 113 ff. mitgetheilt ist; findet sich auch bei Poulton, Phil. Trans. London. 178. p. 312. 1887.

2) Vgl. ausser den erwähnten Schriften die umfassende Abhandlung: „Further experiments upon the colour-relation between certain lepidopterous larvae, pupae, cocoons, and imagines and their surroundings.“ Transactions of the entomological Society of London p. 293. 1892.

ständen beruhen, z. B. bei Fröschen und Fischen. Bei diesen Thieren wird die Farbenanpassung durch das Auge ausgelöst. Verlieren sie ihr Auge<sup>1)</sup>, sei es durch den Eingriff des Experimentators, sei es zufällig, so verlieren sie gleichzeitig die Fähigkeit der Farbenanpassung. Diese beruht aber nicht einmal auf einer Veränderung, sondern nur einer verschiedenen Lagerung des Farbstoffes vermöge der Zusammenziehbarkeit der ihn tragenden Zellen, der sog. Chromatophoren, die auch dem Chamäleon<sup>2)</sup> die merkwürdige Fähigkeit des Farbenwechsels verleihen.

Aus diesem Grunde hielt es Poulton für geboten, zunächst nach einem ähnlichen Zusammenhang bei den Raupen zu suchen. Er bedeckte die Augen einer Anzahl von Raupen mit einem undurchsichtigen Schirm.<sup>3)</sup> Sie verloren aber dadurch nicht die Fähigkeit der Farbenanpassung.

Darauf wurde sein Verdacht auf die behaarten Dornen der untersuchten Raupen gelenkt.<sup>4)</sup> Sie konnten vielleicht ein lichtempfindliches Organ beherbergen. Aber auch diese Vermuthung bestätigte sich nicht. Die geschorenen Raupen behielten ihr Farbenanpassungsvermögen.

Die Haut selbst muss also dieses besitzen. Welches ist nun die physikalische Beschaffenheit ihrer Färbung? Poulton untersuchte dies<sup>5)</sup> bei *Amphidasis betularia*, dem Birkenspanner, der in hervorragendem Maasse die Farbenempfänglichkeit besitzt. Dieser verdankt die grüne Farbe einem in Oelkugeln eingelagerten Farbstoff in der Fettschicht, die sich zwischen Epidermis und den oberflächlichen Muskeln befindet. Die Epidermis selbst kann ausserdem einen dunkeln Farbstoff beherbergen, der dann das grüne Pigment verdeckt und die Haut braun erscheinen lässt.

Die verschiedenen Färbungen entstehen hier also nicht

1) Versuche und Beobachtungen von Lister und Pouchet, vgl. *Semper l. c.* p. 117, Poulton, *Colours of Animals* p. 85.

2) Vgl. Ernst Brücke, *Untersuchungen über den Farbenwechsel des afrikanischen Chamäleons*. 1851 u. 1852; Ostwald's *Klassiker* 43.

3) Poulton, *Phil. Trans.* 178. p. 323 u. 345 ff. 1887; *Colours of Animals* p. 128.

4) Poulton, *Phil. Trans.* 178. p. 335. 1887. *Colours of Animals* p. 128.

5) Poulton, *Trans. ent. Soc.* p. 357. 1892.

durch verschiedene Lagerung der unveränderlichen Farbstoffe, sondern dadurch, dass Farbstoff neu gebildet und unter Einfluss des Lichtes verändert wird. Die wirksamsten Aenderungen erfolgen mit dem dunkeln Farbstoff in den Epidermiszellen, aber auch der darunter liegende grüne wird beeinflusst. Der Bereich der dadurch erzeugbaren Färbungen erstreckt sich vom Braun, Grün und Grau einerseits nach Schwarz, andererseits nach Weiss.<sup>1)</sup>

Sollte nun die Farbenanpassung der Raupen mit der Farbenwiedergabe der Körperfarbenphotographie zusammenhängen, so müsste der dunkle Farbstoff von selbst im Dunkeln gebildet werden und die hellen Färbungen durch die Einwirkung des Lichtes auf ihn zu Stande kommen.

In der That hat Poulton beobachtet, dass im Dunkeln vorzugsweise dunkle Raupen und Puppen, im Lichte dagegen zwischen hellen Gegenständen helle gebildet werden.<sup>2)</sup> Indess ist es auffallend, dass dunkle Umgebung in kräftigem Lichte noch leichter dunkle Formen hervorbringt als vollkommene Dunkelheit.<sup>3)</sup> Ich komme darauf noch zurück.

Wie weit man von den Farbstoffen der Raupenhaut die oben bezeichneten Eigenschaften eines farbenempfindlichen Körpers für die Erklärung der Farbenanpassung fordern muss, hängt von dem Bereich dieser Anpassung ab.

Es hängt diese Frage mit der andern zusammen, ob die Raupen nur die in der Natur ihnen begegnenden Farben oder auch andere davon abweichende nachahmen können. Poulton<sup>4)</sup> hat meist nur den ersteren Fall beobachtet. Aber auch hier hat er gezeigt, dass nicht sonstige Umstände, sondern nur das Licht einen Reiz ausübte. Denn nicht bloss grüne Blätter und braune Zweige waren wirksam, sondern auch grüne und braune Papierstreifen; ebenso z. B. weisse Papierstreifen und verschiedenfarbige Glasfenster.<sup>5)</sup>

Wenn aber von Raupen auch andere Farben als die ihrer

1) Poulton, Trans. ent. Soc. p. 359. 1892.

2) Vgl. z. B. Poulton, Phil. Trans. 178. p. 430. 1887 u. Trans. ent. Soc. p. 328 u. 353. 1892.

3) Poulton, Trans. ent. Soc. p. 329 u. 385. 1892.

4) Poulton, Trans. ent. Soc. p. 470. 1892.

5) Poulton, Trans. ent. Soc. Vgl. z. B. Tabellen p. 461 u. 466. 1892.

natürlichen Umgebung angenommen werden können, wird man sie jedenfalls nicht als Schutzfärbungen verstehen können. Eine derartige Erklärung verwirft auch Poulton<sup>1)</sup> in einem Fall bei *Pieris brassicae* und *Pieris rapae*, die sich in einem zu zwei Drittel mit tief orangefarbenem Papier belegten Glaszylinder verpuppten. Diese Farbe zerstörte mehr als irgend eine andere mit Ausnahme von Weiss den dunkeln Farbstoff und erzeugte so hellgelbgrüne Puppen.

Eine ausgesprochene Abweichung von den Naturfarben erwähnt Beddard<sup>2)</sup>: „Mr. Morris<sup>3)</sup> succeeded in producing white, red, salmon, black and blue pupae of *Danais chrysippus*; they are only green or pink in nature.“ Man muss also annehmen, dass der Farbstoff dieser Raupe in hohem Maasse die Eigenschaft eines farbenempfindlichen Stoffes besitzt in dem oben bezeichneten Sinne (p. 258).

Aus diesen Beispielen folgt, dass die biologische Erklärung der Schutzfärbung nicht genügen kann; es folgt aber keineswegs, dass natürliche Auslese nicht im Spiele war zur Hervorbringung des farbenempfindlichen Pigmentes der Raupen. Denn es ist leicht möglich, dass wenn dasselbe fähig wurde, die natürlichen Farben der Umgebung wiederzugeben, es von selbst, d. h. vermöge der nämlichen chemischen Beschaffenheit auch die Fähigkeit erlangte, andere Farben wiederzugeben.

Für die Annahme, dass diese Beschaffenheit in gewissem Maasse diejenige eines farbenempfindlichen Stoffes ist, spricht noch ein weiterer Versuch von Poulton. Da die Raupenhaut in hohem Grade sich der Farbe des Laubgrüns anpassen kann, so muss das von ihm ausgehende Licht auch besonders im Stande sein, das dunkle Pigment zu zerstören, das sich beim Fehlen des Lichtes in der Haut bildet und ansammelt. Poulton hat nun bei *Pieris brassicae* und *Pieris rapae* genau untersucht, welche Strahlen des Spectrums den dunkeln Farbstoff der Epidermis am stärksten zerstören. Das Ergebniss wird durch einen Linienzug<sup>4)</sup> veranschaulicht, dessen Abscissen die

1) Poulton, Phil. Trans. 178. p. 421. 1887.

2) Frank E. Beddard, „Animal Coloration“, London, Swan Sonnenschein & Co. p. 137. 1895.

3) Morris, Journ. Bombay Nat. Hist. Soc. 1890 nach Beddard.

4) Poulton, Phil. Trans. 178. Fig. 6. p. 431. 1887.

Wellenlängen der Beleuchtungsfarben und dessen Ordinaten den geschätzten Betrag des dunkeln Farbstoffs in der Epidermis darstellen. Ausser dem bereits erwähnten Maximum der Farbstoffzerstörung durch orangefarbene Beleuchtung mit Wellenlängen zwischen 570 und 650  $\mu\mu$  findet sich bei *Pieris rapae* noch ein zweites, jedoch weniger stark ausgeprägtes für hellgrüne Beleuchtung mit Wellenlängen zwischen 510 und 584  $\mu\mu$ . Es ist also besonders der gelbe Bestandtheil des von grünen Blättern ausgesandten Lichtes, welcher in hohem Maasse den dunkeln Farbstoff zu vernichten vermag. Die äussersten rothen und blauen Theile des Spectrums wirken dagegen fast ebenso wie Dunkelheit.

Die Aehnlichkeit mit dem Vorgange bei der Körperfarbenphotographie geht aber noch weiter. Poulton hat nämlich in der Epidermis grüner Raupen von *Amphidasis betularia*, die den dunkeln Farbstoff zu beherbergen vermag, statt dessen einen mattgelben Farbstoff gefunden, der unter dem Mikroskop ein grüngelbes Ansehen hatte: „It is therefore clear that the surroundings determine not only the presence or absence of true pigment in the epidermic cells, but also its constitution and therefore colour when present.“<sup>1)</sup>

Auch der grüne Farbstoff in der Fettschicht kann theilweise vernichtet werden<sup>1)</sup>; z. B. durch weisse Beleuchtung. Dann empfängt er also auch Strahlen, die von ihm absorbirt werden und deshalb auf ihn einwirken können.

Eine Prüfung der gegebenen Erklärung bildete bei den Farbenphotographien der Versuch mit den gekreuzten Spectren (p. 261). Einen diesem ähnlichen Versuch hat auch Poulton angestellt. Er versetzte Raupen aus dunkler in helle Umgebung und umgekehrt, ein Versuch, den er „Transference Experiment“<sup>2)</sup> nannte. Er ergab, dass eine Veränderung der ersten Färbung im Sinne der Einwirkung der zweiten Umgebung bemerklich war, so lange er innerhalb der Stadien stattfindet, in denen die Raupe die Empfindlichkeit besitzt. Gerade hier tritt aber dem Verständniss eine grosse Schwierigkeit entgegen, auf die ich sofort eingehen werde.

1) Poulton, Trans. ent. Soc. p. 359. 1892.

2) Vgl. z. B. Trans. ent. Soc. p. 352 u. 419. 1892.



Es muss zunächst hervorgehoben werden, dass in den bisher besprochenen Erscheinungen die Raupenhaut sich so verhält, als ob sie Farbstoffe beherberge, die in den Stadien der Empfindlichkeit mit verschiedener Annäherung die Eigenschaft des farbenempfindlichen Stoffes besitzen.

Damit man aber einfach sagen könnte, die Raupenhaut verhält sich wie eine farbenphotographische Platte, müsste festgestellt sein, dass zwei verschiedene Stellen der Haut, die verschiedener Beleuchtung ausgesetzt waren, auch eine verschiedene Farbe annehmen.

Eine solche Beobachtung liegt in der That vor. Doch scheint sie die einzige zu sein. Sie wurde mitgetheilt von Mrs. Barber in einer Abhandlung, welche durch Darwin der entomologischen Gesellschaft von London<sup>1)</sup> vorgelegt wurde. Eine Raupe von *Papilio nireus* setzte sich vor dem Verpuppen auf Holz fest, welches an Backstein anstieß. Nach dem Abstreifen der Haut nahm sie mit der unteren Seite die Farbe des Holzes an, an das sie befestigt war, mit der oberen aber diejenige des anliegenden Backsteins. Poulton<sup>2)</sup> bemerkt dagegen, dass eine Verschiedenheit der Rücken- und Bauchseite bei Puppen häufig angetroffen wird. Doch könnte dies vielleicht gerade dem Umstande zugeschrieben werden, dass diese beiden Seiten häufig einer verschiedenen Beleuchtung unterliegen.

Zu dem entgegengesetzten Ergebniss führten aber die Versuche von Poulton. Er brachte den vorderen und hinteren Theil der Raupe in verschiedene Umgebung, ein Versuch, den er als „conflicting colour experiment“<sup>3)</sup> bezeichnet. Es wurde keine örtliche Wirkung beobachtet, sondern eine auf dem ganzen Körper gleichförmige, mittlere Färbung, die von dem Verhältniss der Oberflächen beider Theile abhing, auch ohne vorwiegenden Einfluss des vorderen Theiles.

Gegen die einfache Natur des Vorgangs sprechen auch die Versuche Poulton's, durch die er die Stadien grösserer Empfindlichkeit feststellte. Es sind das die der Häutung oder

1) Ent. soc. trans. p. 519. 1874 nach Poulton.

2) Poulton, Phil. Trans. 178. p. 315. 1887.

3) Vgl. z. B. Phil. Trans. 178. p. 373. 1887. Colours of Animals p. 131. Trans. ent. Soc. p. 420 u. 446. 1892.

Verpuppung vorangehenden. Kurz vor dieser fand meist bei dem „Transference Experiment“ die Uebertragung in andere Umgebung statt und trotzdem erwies sich die erste Umgebung meist als von grösserem Einfluss als die zweite auf die Färbung, welche die Raupe oder Puppe *nach* der Häutung oder Verpuppung annahm. Diese zweite Haut ist natürlich unter der früheren vorgebildet, besitzt aber nach Poulton dann noch keinen Farbstoff. Die zukünftige Farbe dieser Haut wird also beeinflusst, ohne dass sie noch einen Farbstoff enthält.<sup>1)</sup>

Man muss daher Poulton unbedingt zustimmen, wenn er bei diesen Fällen die Annahme eines einfachen photographischen Vorgangs verwirft und verwickelte physiologische Vorgänge voraussetzt.<sup>2)</sup>

Trotzdem halte ich es nicht für ausgeschlossen, dass eine Beziehung zur Körperfarbenphotographie besteht, nämlich insofern, als die Farbstoffe der Raupen die Eigenschaft des farbenempfindlichen Stoffes in gewissem Maasse besitzen. Natürlich konnte Poulton nicht eine solche Beziehung annehmen, da die Natur jener Farbenphotographie noch nicht ergründet war. Es besteht für ihn daher auch eine Lücke im Verständniss der Farbenanpassung der Raupen, die er mit den Worten<sup>3)</sup> ausdrückt: „some quality in the light reflected from surrounding objects forms the cause, but the physiological chain which connects the two“ — (Farbe der Beleuchtung und der Haut) — „has yet to be discovered.“ Die gesuchte Beziehung ist aber vermuthlich die Wirkungslosigkeit des Lichtes, wenn es reflectirt, die Wirkungsfähigkeit wenn es absorbirt wird, je nachdem es an Farbe mit den belichteten Farbstoffen übereinstimmt oder nicht, soweit wenigstens die Farbenanpassung überhaupt besteht.

1) Der Freundlichkeit des hiesigen Lepidopterologen Hrn. Omar Wackerzapp verdanke ich die Mittheilung, dass die Raupe von *Geometra Vernaria* ihr grünes Sommerkleid im Herbst mit dem Braunwerden der Blätter in ein braunes, nach Ueberwinterung im nächsten Frühling wieder in ein grünes verwandelt. In beiden Fällen ist aber *keine Häutung* mit der Farbenänderung verbunden. Vgl. Stett. entomol. Zeit. p. 1. 1889. Es ist aber nicht festgestellt, ob hier das Licht die Ursache der Farbenänderung ist.

2) Poulton, Phil. Trans. 178. p. 317. 1887. Trans. ent. Soc. p. 391. 1892.

3) Poulton, Trans. ent. Soc. p. 359. 1892.

Um aber zu zeigen, dass die merkwürdige Beeinflussung der Beschaffenheit der künftigen Haut und der Beschaffenheit der ganzen Hautoberfläche durch Belichtung eines Theiles der Haut nicht im Widerspruch mit dieser Vorstellung ist, bin ich genöthigt darzulegen, dass Vorgänge denkbar sind, welche im Anschluss an die den Anstoss ertheilende Lichtabsorption jene Wirkung verstehen lassen.

Poulton hält die Annahme für möglich, dass die oberflächliche gefärbte Schicht sich befindet in einem Zustand von „complete physiological unity“<sup>1)</sup> und dass das Nervensystem die Lichtwirkung fortleitet. Es ist nicht schwer sich davon eine genauere physikalische Vorstellung zu bilden.

Ich erinnere an Erscheinungen, die Ostwald<sup>2)</sup> unter dem Namen der chemischen Fernwirkung zusammengefasst hat. Man kann amalgamirtes Zink auflösen durch Zufügung verdünnter Säuren, aber nicht zum Zink, sondern zu einem mit ihm metallisch verbundenen Platindraht, wenn Zink und Platin durch eine Thonwand voneinander getrennt ursprünglich in eine neutrale Lösung eingetaucht waren. Natürlich wird die Wirkung durch den electricischen Strom vermittelt.

In ähnlicher Weise könnte der bei der Belichtung des Farbstoffes einer Zelle entstandene Stoff in Nervenleitungen einen electricischen Strom erzeugen, der die gleiche Zersetzung in anderen Zellen der Raupenhaut hervorbringt, natürlich unter Verminderung der Zersetzung in der betroffenen Zelle selbst. Es entstände dadurch eine gleichmässige Wirkung in der ganzen Haut. Eine solche Uebertragung der Wirkung müsste man vergleichen mit einer Fernsehvorrichtung oder einer Vorrichtung electricisch in die Ferne zu photographiren.

Da aber nach Poulton anscheinend nicht die beleuchtete Haut, sondern die darunter liegende farblose Haut beeinflusst wird, so müsste man annehmen, dass in irgend einer Weise eine Zersetzung auf diese übertragen würde, wobei die in der äusseren Haut rückgängig gemacht wird. Diese Zersetzung müsste die spätere Bildung von Farbstoff verhindern. Solche besonderen Vorstellungen sind freilich noch verfrüht und nur

---

1) Poulton, Trans. ent. soc. p. 392. 1892.

2) Ostwald, Zeitschr. f. phys. Chem. 9. p. 540. 1892.

angeführt, um die Beziehung zur Farbenphotographie nicht ausgeschlossen erscheinen zu lassen; sie sind auch verwickelt; aber dies ist ja der Vorgang selbst. Da indess die Natur vom Einfachen zum Verwickelten aufsteigt, wäre es merkwürdig, wenn nicht auch noch Fälle bekannt werden sollten, in denen der Vorgang auf einer frühen einfacheren Entwicklungsstufe stehen blieb und eine unmittelbarere Beziehung zur Farbenphotographie aufwies.

Poulton<sup>1)</sup> führt auf ähnliche Vorgänge die Fähigkeit der *Haliae prasinana* zurück, einen der Umgebung angepassten Cocon zu spinnen.

Jene Fernleitung in der Raupenhaut erklärt auch die Wirkungsfähigkeit dunkler Umgebung im Lichte. Denn die den dunkeln Gegenständen anliegenden Theile der Haut sind dann ein Entwicklungsheerd für dunkles Pigment, das der ganzen Haut zu Gute kommt.

Dass diese Entwicklung aber noch stärker ist als in vollkommener Dunkelheit und auch stärker bei Raupen, die erst dem Lichte und dann der Dunkelheit, als bei solchen, die nur der Dunkelheit ausgesetzt waren<sup>2)</sup>, hängt vielleicht mit der Wirkung der äussersten violetten und ultravioletten Strahlen des Tageslichtes zusammen. Ich werde später eine ähnliche Erscheinung bei Farbenphotographien besprechen.

Weitere Fälle von Farbenanpassung wurden schon oben erwähnt. Es sind solche, bei denen das Auge den auslösenden Reiz empfängt. Nach Eimer<sup>3)</sup> lassen sie sich zurückführen auf den bei den Raupen, indem zwischen der Stelle des Reizempfanges und der Reizwirkung eine längere Nervenbahn eingeschaltet und die Fähigkeit des Reizempfanges auf das Auge beschränkt wird. Semper<sup>4)</sup> erklärt hier die Farbenanpassung durch die mit den Farben und der Helligkeit der Umgebung wechselnde Stärke des Reizes auf die Netzhaut. Sie erzeugen nach Beobachtungen von Dewar<sup>5)</sup> verschieden starke electricische Ströme; man muss ihnen daher auch verschiedene Fähigkeit

1) Poulton, *Trans. ent. Soc.* p. 392. 1892; *Colours of Animals.* p. 145.

2) *Trans. ent. Soc.* p. 419. 1892.

3) Eimer, *Entstehung der Arten.* p. 156.

4) Semper, *l. c.* p. 119.

5) Dewar, *Nature.* 15. p. 433 u. 453. 1877.

der Zusammenziehung der Chromatophoren zuschreiben. Mit wachsender Stärke der Zusammenziehung erscheint aber die Haut heller. Man sieht, dass diese Erklärung der für die Raupen gegebenen ähnlich ist.

Ferner berichtet Semper<sup>1)</sup> über eine merkwürdige Angabe, wonach „weisse Kaninchen am leichtesten und sicher zu züchten seien in weissem reflectirten Licht.“ Ich glaube aber kaum, dass dies mit dem vorliegenden Gegenstand etwas zu thun hat. Bei ihren Verwandten im hohen Norden hat man wenigstens Gründe<sup>2)</sup> die Anlegung des weissen Winterkleides auf den mittelbaren Einfluss der Kälte zurückzuführen. Und wenn jene Kaninchen nur reflectirtes und nicht directes Sonnenlicht erhielten, hatten sie vermuthlich ihren Aufenthalt an einem kühlen Orte.

Ob der oben betrachteten Art von Farbenanpassung noch eine weitere Verbreitung zukommt, weiss ich nicht. Vielleicht werden aber weitere Fälle bekannt, wenn erst die Aufmerksamkeit der Biologen darauf gelenkt ist.<sup>3)</sup>

Es ist aber auffällig, dass in dem kräftigen Licht der Aequatorialzonen eher dunkle als helle Formen herangewachsen sind. Aber auch hier nimmt man einen Zusammenhang mit dem Licht an. So berichtet Darwin<sup>4)</sup> über die dunklere Färbung vieler Vögel, die den Süden der Vereinigten Staaten Amerikas bewohnen gegenüber denen im Norden, und fügt hinzu: „dies scheint das directe Resultat der Verschiedenheiten zwischen den beiden Gegenden in Bezug auf Temperatur, Licht etc. zu sein.“<sup>5)</sup>

1) Semper, l. c. p. 265.

2) Vgl. Poulton, *Colours of Animals*. p. 94 ff. 1890; Beddard, *Animal Coloration*. p. 76. 1895.

3) Nachträglich finde ich noch in Vogel's *Handbuch der Photographie* 1. 4. Aufl. p. 57 u. 203. 1890 die bemerkenswerthe Angabe, dass schon Herschel (*Phil. trans.* p. 189. 1842) nachwies, dass gewisse Pflanzenfarbstoffe am stärksten durch die zu der ihrigen complementären Beleuchtungsfarbe gebleicht werden. Es hätte demnach die Untersuchung Reiz, ob auch bei der lebenden Pflanze z. B. gewisse Blüten unter farbiger Beleuchtung ähnliche Färbungen annehmen können.

4) Darwin, *Abstammung des Menschen*; deutsch von V. Carus. 5. Aufl. p. 253.

5) Hr. O. Wackerzapp gewährte mir den genussreichen Anblick ganzer Reihen von Schmetterlingen jeweils derselben Art in seiner reich-

Hier muss man nun bedenken, dass unser Urtheil über den Grad der Farbenanpassung getrübt ist durch die Unempfindlichkeit unseres Auges gegen die äussersten violetten und ultravioletten Strahlen einerseits, die ultrarothten andererseits. Jene bringen aber häufig Schwärzung hervor und müssen daher bei der Farbenphotographie fern gehalten werden.<sup>1)</sup>

In dieser Hinsicht verdient der folgende Versuch Beachtung, den ich mit einem Poitevin'schen Blättchen anstellte. Dasselbe wurde heller, wenn von dem beleuchtenden unzerlegten electrischen Licht die ultravioletten Strahlen durch eine Chininlösung zurückgehalten wurden, dagegen dunkler, wenn diese ungehindert hinzutraten. Es ist dies eine Folge des im ersten Fall zersetzten, im zweiten neugebildeten Silberchlorürs. Bei derartigen Versuchen fiel mir auch die schwärzende Wirkung der Erwärmung und die Veränderungen begünstigende der Feuchtigkeit auf.

Nach allem wird man wenigstens bei den Raupen einen Zusammenhang mit der Körperfarbenphotographie anerkennen, insofern sie einen Farbstoff beherbergen, der in gewissem Maasse die Eigenschaften eines farbenempfindlichen Stoffes besitzt.

Und in diesem Sinne muss die Farbenanpassung der einzelnen Raupe als eine mechanische bezeichnet werden. Damit würde aber nicht im Widerspruch stehen, wenn diese Fähigkeit durch biologische Anpassung im Sinne Darwin's erworben wurde. Denn es können diejenigen Individuen am besten geschützt und erhalten worden sein, deren Pigmente am besten farbenempfindlich waren.

Ob jene Fähigkeit aber auch unter Mitwirkung des Lichtes nach Roux und Eimer<sup>2)</sup> oder nur durch zufällige Abänderung des Keimplasmas nach Weismann im Laufe der Zeiten entwickelt wurde, ist wohl nicht leicht zu entscheiden. Dabei

---

haltigen Sammlung, in denen je nach dem Breitengrad oder dem Klima, z. B. auf Nord- und Südseite der Alpen, oder der Höhenlage die Färbungen stufenweise verschieden waren. Die sonst bedeutungslos erscheinenden Unterschiede würden wohl kaum zu verstehen sein, wenn man sie nicht auf den Einfluss von Licht, Wärme etc. zurückführen wollte.

1) Zenker, Photochromie. p. 59.

2) Roux u. Eimer, vgl. Citat p. 235 u. 234.

muss man bedenken, dass es keinen vollkommen echten Farbstoff gibt und also jeder wohl in einem geringen Maasse farbenempänglich sein wird. Dann werden aber auch die frühen Vorfahren der Raupen, welche noch nicht die Farbenanpassung der heutigen besessen haben, ein wenig durch das Licht verändert worden sein. Nach Eimer müsste man sich vorstellen, dass diese chemische Veränderung auch nicht ohne Einfluss auf die Beschaffenheit des Keimplasmas und der Nachkommen geblieben sein konnte und deren individuellen Abänderungen eine bestimmte Richtung verliehen hat. Diese Abänderungen brauchten dann nicht auf einen Zufall zu warten. Aber selbst wenn Eimer's Vorstellung unzulässig wäre, dürfte ein solcher Zufall in physikalischem Sinne nur als das Spiel unbekannter Vorgänge betrachtet werden, die noch der Aufklärung bedürfen.

#### 16. Zusammenfassung und Schluss.

Ich hatte mir die Aufgabe gestellt, die Ursachen der Farbenwiedergabe bei den alten Verfahren der Farbenphotographie zu ermitteln, wie sie in ihren Hauptarten durch die von Seebeck, Becquerel, Poitevin vertreten sind.

Die Erklärung von Schultz-Sellack durch Zertheilungsfarben wurde zunächst als unrichtig erwiesen.

Es war vor allem ein Mittel erforderlich zur Unterscheidung von Interferenz- und Körperfarben, welche an Stoffen von hohem Brechungsvermögen erscheinen.

Dies leistete ein rechtwinkeliges Glasprisma von gleichfalls hohem Brechungsvermögen, durch welches die zu untersuchenden Farben betrachtet wurden.

Durch die dabei eintretende Veränderung der Farben erwies sich das Becquerel'sche Bild auf spiegelnder Silberunterlage als im Wesentlichen durch Interferenz entstanden. Hier hatte also Zenker als Ursache der Farbenwiedergabe richtig die Bildung von stehenden Lichtwellen erkannt.

Bei den Bildern nach Seebeck und Poitevin trat aber keine Farbenänderung ein. Sie bestehen also aus Körperfarben, und die Zenker'sche Erklärung findet auf sie keine Anwendung.

Zu demselben Schluss führt die Thatsache, dass diese Bilder die gleichen Farben im durchgehenden wie im reflectirten Licht zeigen.

Es liess sich nachweisen, dass auch bei Becquerel's Bildern in geringem Grade Körperfarben mitwirken.

Das Verständniss der Entstehung von Körperfarben wird angebahnt durch den für das Seebeck'sche Verfahren von Carey Lea, für das Poitevin'sche von Krone gelieferten Nachweis, dass die in der Platte vorhandenen Stoffe fähig sind farbige Verbindungen zu liefern, unter deren Farben fast alle Spectralfarben, wenn auch nicht mit deren Farbenton vertreten sind.

Es fehlte aber noch die Erklärung, warum die entstehenden Farbstoffe mit der jeweiligen Farbe der Beleuchtung übereinstimmen.

Die Erklärung wurde darin gefunden, dass von allen entstehungsfähigen Farbstoffen nur der mit der Beleuchtungsfarbe gleichfarbige auf die Dauer bestehen kann, weil er dieselbe am besten zurückwirft, also am wenigsten absorbirt und daher am wenigsten verändert werden kann; die andersfarbigen dagegen können jene Beleuchtungsfarbe absorbiren und deshalb auch wieder zersetzt werden.

Diese Erklärung wurde dadurch geprüft, dass auf ein Spectrumbild ein rechtwinklig kreuzendes Spectrum entworfen wurde. Dabei vermochte in der That eine richtig abbildbare Beleuchtungsfarbe alle anderen entstandenen Farbstoffe zu zersetzen; der gleichfarbige blieb allein erhalten.

*Es ist also grundsätzlich möglich, dass farbige Beleuchtung in geeigneten Stoffen gleichfarbige Körperfarben erzeugt.*

Ich habe solche Stoffe als *farbenempfindliche* bezeichnet.

Diese Möglichkeit und die Erkenntniss ihrer Ursache bilden die neue Grundlage einer Art Farbenphotographie, die man als *Körperfarbenphotographie* bezeichnen kann. Die Hoffnung scheint berechtigt, dass auf dieser Grundlage neue Verfahren gefunden werden, welche die alten Körperfarbenverfahren an Genauigkeit der Farbenwiedergabe und Fixirbarkeit der Bilder übertreffen.

Die Farbenwiedergabe kann als *Farbenanpassung* bezeichnet werden; denn sie entsteht durch Auslese der Farbstoffe, welche



der zerstörenden Einwirkung der Beleuchtungsfarbe am besten widerstehen; das sind die gleichfarbigen.

Dieser Umstand legte die Frage nahe, ob Farbenanpassung in der Natur auf gleichem Wege entstehen kann, d. h. durch einen Vorgang *mechanischer Anpassung* im Gegensatz zu der biologischen Anpassung, welche nach Darwin durch natürliche Auslese der Einzelwesen entsteht.

Ein solcher Fall liegt vor bei Raupen und ihren Puppen und ist durch eingehende Versuche von Poulton untersucht. Wenngleich diese das Hinzutreten verwickelter physiologischer Vorgänge erweisen, machen sie doch die Annahme wahrscheinlich, dass der Farbstoff dieser Thiere innerhalb der empfindlichen Stadien der Entwicklung in einem gewissen Maasse die Eigenschaft des farbenempfindlichen Stoffes besitzt.

In diesem Fall würde die Erscheinung zu einer allgemeinen Erscheinungsgruppe mechanischer Anpassung gehören, die durch Wilhelm Roux entdeckt und unter der Bezeichnung „functionelle Anpassung“ zusammengefasst wurde.

Ich glaube, dass mit Vorstehendem die Arbeit des Physikers betreffs der mechanischen Farbenanpassung im Wesentlichen gethan ist, und es hat jetzt die des Chemikers und Photographen einerseits, des Biologen andererseits zu beginnen, beziehungsweise das physikalische Ergebniss nutzbar zu machen.

Phys. Inst. d. techn. Hochschule Aachen, 25. April 1895.

---