

# Ueber Photographie in natürlichen Farben

(Photochromie)

von

Dr. W. Senker.

**N**ie ist eine Erfindung stürmischer vorgeschritten, als die Photographie!

Die dreißig Jahre ihres Bestehens enthalten eine Entwicklung, wie sie bei andern Zweigen der Technik nur in Jahrhunderten gefunden wird. Umgestaltungen, Verbesserungen, Aenderungen drängen sich in staunenswerther Fülle. Auftreten von Ideen, Gelten und Veralten, rücken einander so nahe, daß es scheint, als könne von einer feststehenden Praxis kaum die Rede sein. Nirgends konnte die Neigung für das Althergebrachte sich weniger einbürgern, als in der Photographie. Daguerre erfand 1838 die Photographie auf Silberplatten, Talbot 1839 das Copiren auf Papier, John Herschel 1840 das Fixiren durch unterschwefligsaures Natron, Niepce de St. Victor das Eiveiß-Verfahren auf Glas, Fizeau die Tonung durch Goldbäder, Archer und Fry das jetzt gangbare Collodium-Verfahren auf Glas und endlich Poitevin das sogenannte Pigment-Druckverfahren, welches gerade jetzt im Begriff ist, zu allgemeiner Geltung zu kommen. Und dabei nenne ich nicht die tausend kleineren Erfindungen, nicht die ausgezeichneten Optiker, die in der Construction neuer und verbesserter Linsen und Apparate einander zu überholen suchten.

Noch zahlreicher sind die Anwendungen der Photographie in Kunst und Wissenschaft. Nicht allein nahm die Portrait-, Architektur- und Landschafts-Photographie immer mehr einen künstlerischen Character an; es wurden auch Bilder und Handzeichnungen berühmter Meister copirt, letztere sogar mit Pigmenten von derselben Farbe wie die angewandten Zeichenstifte. Die Photographie würde eine mächtige Rivalin des Kupferstichs und der übrigen vielfältigenden Künste, und zugleich auch ihre Dienerin, da man lernte, auf photographischem Wege Bilder auf Metall oder Stein zu bringen, so daß sie nachher abgedruckt werden konnten. Ich nenne besonders das Verfahren von Woodbury, bei welchem es durch die Anwendung einer etwas durchscheinenden Druckerschwärze möglich wird, selbst Photographien nach der Natur mit allen ihren sanften Uebergängen vom Licht zum Schatten in einer für den Kupferstich unerreichbaren Zartheit wiederzugeben.

Dabei rückte die Stereoscopie die abgebildeten Gegenstände dem Beschauer körperlich nahe. Die Sonnenflecke und die Krater des Mondes, sowie mikroskopische Gegenstände wurden aufs Treueste abgebildet und zur körperlichen Anschauung gebracht. Keine totale Sonnenfinsterniß dürfte mehr vorübergehen, ohne daß ihr Anblick durch die Photographie verewigt würde. Die Schwankungen des Barometers

sowie der Magnetnadel werden photographisch registriert; ja selbst der electriche Funke, dessen Dauer nicht den tausendsten Theil einer Secunde beträgt, mußte sein Bild der photographischen Platte einprägen.

Woher nun dieser Sturm und Drang? Wohin dieses rastlose Vorwärtstreben? Was ist der leitende Gedanke in dieser ganzen Entwicklung? Ich glaube, die Antwort so fassen zu dürfen: Es gilt zu entscheiden, wie weit die Photographie im Stande ist, das zu fixiren, was das Auge sieht.

Dies Ziel ist trotz aller bisherigen Fortschritte weit hinausgesteckt und die Photographie hat noch lange gleichsam nachzuarbeiten, ehe die künstliche Camera obscura gleich vollkommene Bilder liefert wie die natürliche. Aber um so entschiedener ist dem Streben die Richtung vorgezeichnet, um so lebhafter ist der Antrieb, um so werthvoller jeder Schritt vorwärts.

Ein solcher Schritt vorwärts ist die Photochromie, die Wiedergabe der Farben auf photographischem Wege. Dieser Schritt ist ein gewaltiger und wird den Werth, den die photographische Kunst bereits für die Menschheit hat, noch um ein Wesentliches erhöhen. Ist der Photochromie gegenüber, wenn die ihr noch entgegenstehenden technischen Schwierigkeiten überwunden sind, erscheint die bisherige Photographie nur als Vorstufe.

Der Reiz der Farben in einer bildlichen Darstellung ist ein weit größerer, als wir gewöhnlich meinen. Man blicke nur auf die bekannten colorirten Photographien und wird bald zugeben müssen, daß trotz mancher unvermeidlichen Mängel der Farbengebung, und obwohl so manche feine Modellirung damit gleichzeitig verloren gegangen ist, — doch dem colorirten Bilde eine Naturwahrheit, eine Freundlichkeit, eine Anmuth inwohnt, die ihm fast bei allen Beschauern den Vorzug sichern. In noch erhöhtem Maasse ist das bei stereoscopischen Bildern der Fall, weil dort Alles in vollständigster Harmonie mit einander denselben Eindruck der Realität macht, und das Auge des Betrachtenden nichts durch eigene Buthat zu ergänzen findet.

Sehr frappant kann man sich in der Natur selbst von dem Werthe, den die Farben für das Auge haben, überzeugen, wenn man eine an sich hübsche Landschaft durch ein sattgefärbtes, z. B. rothes oder blaues Glas betrachtet. Man sieht dann fast nur Hell und Dunkel, beides je nach Farbe und Beleuchtung vertheilt. So blicke man einige Zeit in die Landschaft hinaus, bis der anfänglich angenehme Eindruck der allgemeinen Färbung und mit ihm die Lust, weiter hindurch zu sehen, schwindet. Nimmt man dann das Glas vom Auge wieder fort, so ist der Reiz des Anblicks nicht zu beschreiben, den nun die wirkliche Natur gewährt. Die schroffen Gegensätze hören auf, täuschende Aehnlichkeiten verschwinden, das Bild wird plastisch und zeigt uns wieder die Natur, in der unser Auge, unser Gemüth, unser ganzes Selbst zu Hause ist.

So groß ist die ästhetische Wirkung der Farben bei der Betrachtung der Natur und fast so groß wird sie auch für die bildliche Darstellung sein. Von jeher ist es daher ein allgemein gehegter Wunsch gewesen, den man aber wie ein Traumgebilde in nebelhafte Ferne rückte, daß es einst gelingen möge, in der Photographie auch die Farben der Natur wieder zu geben.

Aber obwohl dieser Wunsch von Anbeginn der Photographie gehegt wurde, obwohl man auf die Wiedergabe der Farben als auf eine zu lösende Aufgabe hinwies, obwohl der hohe Werth einer solchen Erfindung Jedem in die Augen leuchtete: so wurde sie doch, als Edmond Becquerel im Jahre 1848 damit hervortrat, mit einem fast an Gleichgültigkeit grenzenden Mißtrauen aufgenommen. Dies Mißtrauen hat sich bei Physikern und Photographen, wenigstens in Deutschland, bis auf den heutigen Tag erhalten, und da sich bisher Niemand durch den Augenschein eines Besseren belehren



konnte, so fand es immer von Neuem Nahrung durch die theoretischen Bedenken, die man gegen die Möglichkeit einer Farben-Wiedergabe hegte. Ich habe es mir darum zur Aufgabe gemacht, die herrliche und vielversprechende Erfindung Becquerels in ihr Recht einzusetzen, ihr die verdiente Beachtung zu verschaffen und dadurch eine weitere Entwicklung derselben vorzubereiten. In meinem zu diesem Zweck soeben herausgegebenen Lehrbuch der Photochromie <sup>1)</sup> habe ich deshalb zunächst durch selbst angefertigte farbige Bilder den Beweis für die Möglichkeit der Photochromie gegeben, ferner die dazu angewandten technischen Methoden zusammengestellt und mitgetheilt, und endlich schien es mir von besonderer Wichtigkeit, die erwähnten theoretischen Bedenken, welche bisher vornehmlich die Physiker von dem interessanten Gegenstande fern gehalten, durch eine physikalische Erklärung des Vorgangs zu besiegen, d. h. nachzuweisen, wie sich derselbe ohne Zwang mit den gegenwärtig gültigen Vorstellungen vom Wesen und Wirken des Lichtes vereinigen läßt.

Diese Erklärung, die auch in weiteren Kreisen Interesse finden dürfte, sei der Hauptgegenstand der folgenden Blätter, und möge man nicht glauben, daß eine solche, falls sie wissenschaftlichen Werth hat, nicht auch von praktischer Wichtigkeit sei. Indem wir das, was früher nur wie eine neckische Laune der Natur erschien, als nothwendige Wirkung altbekannter Kräfte erkennen, tritt die Erscheinung unserem Interesse näher; wir können sie mit andern Erscheinungen verbinden, vergleichen; das Zufällige scheidet sich vom Wesentlichen, und wir sind im Stande, über die Erreichbarkeit eines Zieles zu urtheilen, sei dasselbe auch noch weit über das bisher Erreichte hinaus gefeßt.

Da aber meine Erklärung vor allen Dingen klar sein soll, so werde ich Alles zu vermeiden suchen, was die leichte Verständlichkeit beeinträchtigen könnte, einestheils das rein Technische, in Betreff dessen ich auf das schon erwähnte Buch verweise, anderentheils das Mathematische, was ich an einem andern Orte mitzutheilen gedenke.

Die Photochromie ist in gewissem Sinne eine deutsche Erfindung. Denn der Erste, der schon 1809 ein farbiges Bild des Sonnenspectrums durch die chemische Wirkung der Lichtstrahlen hervorbrachte, war der berühmte Physiker August Seebeck, Professor in Jena. Er veröffentlichte seine Entdeckung 1810 in Göthe's Farbenlehre, Band II. S. 716. „Als ich“, sagt Seebeck, „das Spectrum eines fehlerfreien Prisma's auf weißes noch feuchtes und auf Papier gestrichenes Hornsilber fallen ließ, und 15—20 Minuten durch eine schickliche Vorrichtung in unveränderter Stellung erhielt, so fand ich das Hornsilber folgender Maßen verändert: Im Violet war es röthlichbraun (bald mehr violett, bald mehr blau) geworden und auch noch über die vorher bezeichnete Grenze des Violet erstreckte sich diese Färbung, doch war sie nicht stärker als im Violet; im Blauen des Spectrums war das Hornsilber rein blau geworden, und diese Farben erstreckten sich abnehmend und heller werdend bis in's Grüne; im Gelben fand ich das Hornsilber mehrentheils unverändert, bisweilen kam es mir etwas gelblicher vor, als vorher; im Roth dagegen und mehrentheils noch über das Roth hinaus hatte es meist rosenrothe oder hortensienrothe Farbe angenommen.“

„Wenn am Lichte grau gewordenes noch feuchtes Hornsilber ebenso lange der Einwirkung des prismatischen Sonnenlichtes ausgesetzt wird, so verändert es sich im Blau und Violet wie vorhin; im Rothem und Gelben dagegen wird man das Hornsilber heller finden, als es vorher war, zwar nur wenig heller, doch deutlich und unverkennbar. Eine Röthung in oder hart unter dem prismatischen Roth wird man auch hier gewahr werden.“

<sup>1)</sup> Lehrbuch der Photochromie von Dr. Wilhelm Bente, Selbstverlag 1868, zu beziehen durch Gustav Hempel's Verlags-Buchhandlung, Berlin.

„Hornsilber, welches so tief als möglich (am Tageslichte) geschwärzt war, wurde unter dem gelbrothen Glase im Sonnenlichte bald heller, nach sechs Stunden war seine Farbe schmutzig gelb oder röthlich.“

Seebeck hat somit das Hauptfactum, welches der heutigen Photochromie zu Grunde liegt, mit aller Klarheit erkannt. Auch heute gelingt es mit Sicherheit nur auf dem Hornsilber, die Farben wiederzugeben. Dies Hornsilber oder Chlorsilber ( $\text{Ag Cl}$ ), welches frisch dargestellt (aus Höllensteinlösung durch Zusatz von Kochsalzlösung oder Salzsäure) einen dicken käsigen schneeweißen Niederschlag bildet, wird am Lichte schnell grau, braun, dunkelviolet und fast schwarz. Aus ihm bestehen die photographischen positiven Bilder auf Papier, wenn auch der Farbenton derselben oft durch Goldbäder verändert ist. Dieses dunkle Chlorsilber ist nicht mehr von derselben chemischen Zusammensetzung wie das weiße, vielmehr ist schon durch Scheele nachgewiesen worden, daß während des Dunkeln Chlor entweicht. Das dunkle Chlorsilber ist also ein Silberchlorür (wahrscheinlich  $\text{Ag}_2 \text{Cl}$ ) und dieses ist auch heute noch, wie in dem zweiten Seebeck'schen Versuch, die zur Anfertigung von photochromatischen Bildern geeignetste Substanz.

Es ist fast unbegreiflich, wie eine so wichtige Entdeckung, wie die Seebeck's, völlig wieder verloren gehen konnte. Zum Theil liegt der Grund wahrscheinlich darin, daß sie gerade in Göthe's Farbenlehre publicirt wurde. In diesem an Polemik so reichen und an Thatsachen übrigens so armen Buche war sie ein fremdes Element, das weder von den Segnern angegriffen, noch von den Anhängern vertheidigt wurde. Und so blieb die schöne Entdeckung damals völlig unbeachtet und wurde — vergessen.

Obwohl also Seebeck, dessen Entdeckung 30 Jahre später von John Herschel<sup>1)</sup> bestätigt wurde, als der Entdecker der merkwürdigen Eigenschaften des Chlorsilbers gelten muß, so ist doch erst Edmond Becquerel der eigentliche Erfinder der Photochromie zu nennen. Dieser ausgezeichnete Französische Gelehrte, dessen Untersuchungen<sup>2)</sup> in den Jahren 1848—1855 geschahen, erfaßte die Sache in ihrer vollen Bedeutung und ermittelte mit vorzüglicher Genauigkeit und Umsicht die Bedingungen des Zustandekommens farbiger Bilder. Seine Untersuchungen lassen keinen Zweifel darüber, daß die Uebereinstimmung der abgebildeten Farben mit den wirkenden das Gesetz ist, und daß dagegen die etwaigen Abweichungen von störenden Ursachen herrühren. In der Benutzung von Silberplatten als Unterlage des Bildes folgte ihm später Niepce de St. Victor<sup>3)</sup>; dem berühmten photographischen Erfinder Poitevin<sup>4)</sup> gelang es aber in neuester Zeit, auch auf Papier Bilder herzustellen, deren Farben an Schönheit und Klarheit mit den von Becquerel auf Silberplatten erhaltenen gleichstehen; und dies Verfahren hat auch dem Verfasser die vorzüglichsten Resultate gegeben.

Daß es wirklich die identischen Farben sind, welche sich ausprägen, wird sowohl durch die Vergleichung eines photochromatischen Bildes mit seinem Original, als namentlich durch folgenden Versuch Becquerel's entscheidend bewiesen: „Um die Farben des gewonnenen Bildes mit denen des Sonnen-Spectrums zu vergleichen, isolirt man die einzelnen Theile des Bildes nach einander und bringt diese verschieden gefärbten Streifen in das leuchtende Spectrum; alsdann sieht man, daß diese Ab-

<sup>1)</sup> Philosophical Transactions 1840 und 1842.

<sup>2)</sup> Annales de chimie et de physique III. série. T. 22, 25, 42.

<sup>3)</sup> Annales de chimie et de physique III. série. T. 32; Comptes rendus. T. 34, 35, 54, 56, 61, 63.

<sup>4)</sup> Comptes rendus. T. 61.



theilung viel glänzender in dem Theil des Spectrums erscheint, der sie hervorgebracht hat, als in jedem andern. Dies beweist deutlich, daß am reichlichsten solche Strahlen reflectirt werden, welche gleiche Brechbarkeit haben, wie diejenigen, durch welche diese Wirkung veranlaßt worden war“.

Man sieht hieraus unzweifelhaft, daß die identischen Strahlen, wie ich sie nennen will, des Spectrums von der photochromatischen Platte am stärksten reflectirt werden. Sind also dennoch Abweichungen der Farbentöne vorhanden, so müssen diese entweder durch die Grundfarbe des empfindlichen Stoffs veranlaßt sein, oder sind vielleicht nur scheinbar vorhanden und nur hervorgebracht durch die Wirkung des Contrasts.

Ein fernerer Grund der Farben-Abweichung kommt bei der Wiedergabe der Mischfarben hinzu. Die einfachen Farben des Spectrums werden nicht alle mit gleicher Kraft wiedergegeben, und daraus folgt, daß wo mehrere zusammenwirken, die eine Farbe sich kräftiger ausprägen kann als die andere; in welchem Falle also das Bild der Mischfarbe einen Ueberschuß des einen Mischungstheils zeigt. Hierdurch erklärt sich wohl die von Nièpce de St. Victor erwähnte Erscheinung, daß zwar ein einfaches reines Grün (Smaragd) grün abgebildet wird, ein Grün aber, welches durch Vermischung von Gelb und Blau entstanden ist (Blattgrün), blau wird.

Da sich also die scheinbaren Unregelmäßigkeiten, die bei der Wiedergabe von zusammengesetzten Farben auftreten, vollkommen aus der gleichzeitigen Wiedergabe der einfachen Farben herleiten lassen, die als Mischungstheile angewandt worden waren, so werden wir uns für weitere Erörterungen an den einfacheren Vorgang halten können, der bei der Wiedergabe der Spectralfarben stattfindet. Und für diese sehen wir bewiesen, daß durch die chemische Einwirkung der leuchtenden Strahlen die Wiedergabe der identischen Farben bewirkt wird; nur etwa gestört durch Einflüsse, die der hauptsächlichsten Erscheinung gegenüber als zufällige zu betrachten sind.

Aber wie soll man sich die Entstehung der identischen Farben denken? Anfänglich suchte man in der ganzen Erscheinung nur einen chemischen Vorgang. Man erklärte das Dunkeln des Chlor silbers nach Scheele's Vorgänge für eine Reduction und nahm folglich das Aufhellen des violetten Silberchlorürs im Gelb des Spectrums für ein unzweifelhaftes Zeichen der Oxydation, wonach das wieder hell gewordene Chlor silber also wieder für Silberchlorid galt. Seebeck citirt, daß Ritter, der vor ihm die Wirkung des Sonnenspectrums auf das Chlor silber untersucht hatte, das Maximum der Reduction des Hornsilbers noch jenseit des Violet gefunden habe, daß die Reduction aber vom Orte des Maximums außer dem Violet nach dem Blau hin abnehme, mehr hinter dem Grün aufhöre, und daß sie im Orange und Roth „in wahre Oxydation des bereits Reducirten“ übergehe. Nach Sennebier's Untersuchungen fand zwar auch im Orange und Roth eine Reduction statt, wenn auch bedeutend schwächer, als am violetten Ende des Spectrums. Aus seinen eigenen oben citirten Beobachtungen, die übrigens nicht mit chemischen Untersuchungen verbunden waren, schloß Seebeck, daß zwar im prismatischen Roth und noch über dasselbe hinaus, eine „Entsäuerung“ (es handelt sich dabei um das Chlor) stattfindet, daß aber auch hier Gelb und Roth hemmend wirken, und daß die Entsäuerung durch gelbrothe Beleuchtung auf eine niedrigere Stufe derselben zurückgeführt werden kann. „Die blaue Beleuchtung“, fügt er hinzu, „wirkt überhaupt auf alle Substanzen, welche im Licht Veränderung erleiden, wie das reine Sonnen- oder Tageslicht; die rothe Beleuchtung dagegen verhält sich immer entgegengesetzt, häufig bloß wie gänzliche Abwesenheit des Lichts.“

Die Unzulänglichkeit einer Erklärung auf diesem Wege für das Erscheinen der Farben muß durchaus anerkannt werden. Mag die Reduction dunkeln, die Oxydation aufhellen, so wird dadurch

noch keineswegs erklärt, warum Violet, Blau, Grün, Gelb, Orange und Roth auftreten. Nur befangen in den Anschauungen der Götthe'schen Farbenlehre, konnte man glauben, daß dies keines weiteren Nachweises bedürfe. Denn für Götthe waren die Farben nur Uebergänge vom Licht zum Schatten durch „Erübung“, und er betrachtete dabei Gelb, Orange und Roth als sogenannte positive, Blau und Violet als negative Erübungen.

Es ist hier nicht der Ort, die Sätze der Götthe'schen Farbenlehre zu wiederholen und zu widerlegen; die Wissenschaft ist längst über sie hingegangen. Es genügt aber die obige Erklärung, selbst vom Standpunkte der Götthe'schen Farbenlehre nicht. Denn wenn Gelb, Orange, Roth die positive Erübung in steigender Reihenfolge darstellen, so muß unter dem rothen Lichtstrahl zuerst Gelb entstehen, um durch Orange in Roth überzugehen, und ebenso muß an Stelle des Violet zuerst Blau entstehen. Beides aber ist in der Photochromie nicht der Fall; vielmehr läßt sich, diesem ganz entgegen, leicht beobachten und ist von Becquerel hervorgehoben, daß gerade der erste schwache Eindruck des Bildes die Farben meist am reinsten erkennen läßt, wenn auch sehr schwach; so daß also von einem Uebergang aus Gelb durch Orange in Roth, oder aus Blau in Violet nicht das Mindeste zu erkennen ist.

Die erwähnte Ansicht über den chemischen Vorgang hatte offenbar darin ihre Quelle, daß man das unter der Mitte des Sonnenspectrums hell gewordene Chlor Silber für identisch mit dem frisch gefällten weißen Chlor Silber, dem Silberchlorid hielt. Dazu veranlaßte damals die helle Farbe. Betrachten wir aber diese Sache von dem Standpunkte der jetzt bekannten Thatsachen, so ist klar, daß das violette Silberchlorür im Gelb des Spectrums durchaus wieder gelb werden mußte, aus demselben Grunde (wenn wir denselben auch noch unbestimmt lassen), der im blauen Lichte die Entstehung des blauen Bildes bewirkt. Dies wird vollkommen durch Seebeck's Bemerkung bestätigt: „im Gelben fand ich das Horn Silber mehrentheils unverändert, bisweilen kam es mir etwas gelblicher vor als vorher.“ So muß also Seebeck's Deutung des chemischen Vorgangs als eine durchaus verfehlte erscheinen.

Es ergibt sich daraus die Nothwendigkeit, uns erst über das Wesen der Farben klar zu werden und dann zu prüfen, ob die dabei gewonnenen Vorstellungen zur Beantwortung der vorliegenden Frage führen können.

So lange die beobachteten Thatsachen noch durch die Theorie Isaac Newton's, des großen Englischen Physikers, erklärt werden konnten, hielt man das Licht für bestehend aus einer Anzahl kleiner elastischer Lichtkugeln, die mit rapider Geschwindigkeit nach allen Richtungen hin geradlinig von den leuchtenden Punkten ausgeschiedt würden, und deren Anprall in unserm Auge die Empfindung des Lichts bewirkte. Indessen ist nach langen wissenschaftlichen Kämpfen die Unhaltbarkeit dieser sogenannten Emissionstheorie entscheidend nachgewiesen worden zu Gunsten der Undulationstheorie, die ursprünglich von Huyghens aufgestellt, später besonders von Th. Young und Fresnel genauer entwickelt worden ist.

Nach dieser Theorie, die heute als die geltende angesehen werden muß, bestehen die Lichtstrahlen aus sehr kleinen Wellen, welche mit ungeheurer Geschwindigkeit den sogenannten Lichtäther durchheilen und in unserm Auge, gleichsam anbrandend, die Empfindung des Lichts erregen. Diese Wellen gleichen vollständig den Wellen auf der Oberfläche eines Gewässers (natürlich eines stillstehenden), und wie bei diesen die einzelnen Wassertheilchen eigentlich an derselben Stelle bleiben und nur auf und ab vibriren, die fortschreitende Wellenlinie aber ihre gegenseitige Lage in jedem Augenblick darstellt — so entstehen auch die Wellen des Lichtäthers nur durch ein einfaches Hin- und Hervibriren



der Aethertheilchen, ohne daß dieselben in der Richtung des Lichtstrahls mitgerissen würden. Und wie Wasserwellen, von einem Bollwerk zurückgeworfen, nach einer andren Richtung hin fortschreiten, so wird auch bei den Lichtwellen in ähnlicher Weise dem Fortschreiten durch eine Spiegelfläche eine andre Richtung gegeben.

Freilich sind auch mancherlei Unterschiede vorhanden. Zunächst bedenke man, daß das Vibriren der Wassertheilchen ja nur durch die Schwerkraft bewirkt wird, daher nur nach oben und nach unten gerichtet ist. Bei den Lichtwellen hingegen, die sich durch den weiten Weltraum bewegen, giebt es kein Oben unter Unten, giebt es überhaupt keine Schwere; und daher finden die Vibrationen der Aethertheilchen in allen möglichen Ebenen statt, die nur durch den Strahl gelegt werden können. Die Schwingungen durchkreuzen den Strahl wie die Backen eines Quirls die Aze desselben d. h. von allen Seiten her rechtwinklig. Wie groß übrigens diese Vibrationen sind, hat sich noch nicht ermitteln lassen, und nur soviel steht darüber fest, daß sie im Vergleich zur Länge der Wellen verschwindend klein sein müssen.

Die Geschwindigkeit der Lichtwellen ist eine ungeheure. Sie beträgt etwa 41,500 Meilen in der Secunde, so daß das Licht nur  $8\frac{1}{2}$  Minuten braucht, um von der Sonne, freilich fast ebenso viele Jahre, um von den nächsten Fixsternen zur Erde zu gelangen.

Dabei sind die Wellen so außerordentlich klein, daß Tausende von ihnen auf die Länge einer Linie gehen, und es folgt daraus, daß die Anzahl derselben pro Secunde nur nach Billionen anzugeben ist. Aber für die verschiedenen Farben sind diese Wellen von verschiedener Länge, und hierin eben liegt die einzige Unterscheidung der Farben. Die folgende Tabelle giebt die Wellenlänge und die Wellenzahl pro Secunde für die verschiedenen Farben des Sonnenspectrums.

Farben.	Wellenlänge	Wellenzahl
	in $\frac{1}{1,000,000}$ ...	pro Secunde in Billionen.
Äußerstes Roth .....	381	376
Roth .....	344	417
Grenze von Roth und Orange	328	437
Goldgelb .....	294	487
Grün .....	263	545
Cyanblau .....	242	592
Grenze des Indigo und Violet	214	668
Grenze des Violet .....	196	730

Mit der größeren oder geringeren Wellenzahl steht auch die Brechbarkeit der verschiedenen Strahlen im Zusammenhang. Das heißt also: läßt man diese Strahlen durch ein dreiseitig geschliffenes Glasprisma gehen, so werden sie allesammt aus ihrer Richtung abgelenkt, gebrochen, und zwar desto stärker, je größer die Anzahl ihrer Wellen pro Secunde ist. Durch ein solches Prisma lassen sich also die verschiedenartigen Strahlen von einander trennen, die ursprünglich in derselben Richtung mit einander gingen. So zeigt sich, daß das weiße Sonnenlicht auf diese Weise in eine ganze Reihe von Farben zertheilt wird, die unter dem Namen der sieben Regenbogenfarben bekannt sind. Sie bilden hinter dem Prisma einen buntgefärbten Streifen, den man auf einer Papierfläche auffangen kann, und der in der Optik „das Sonnenspectrum“ genannt wird. Die Reihenfolge der Farben in diesem Spectrum ist von den weniger brechbaren zu den stärker brechbaren nach Newton's Unterscheidung folgende:

Roth, Orange, Gelb, Grün, Cyanblau, Indigoblau, Violet. Dabei fehlt es nicht an Uebergängen, so daß eigentlich die Farbe an jedem Punkt eine andre ist und man, streng genommen, eine unendliche Zahl von Farben unterscheiden könnte.

Vereinigt man aber alle diese Strahlen wieder so, daß sie auf denselben Punkt fallen, so erhält man wieder das ursprüngliche Weiß des directen Sonnenstrahls, ein deutlicher Beweis, daß die weiße Farbe eben nur entsteht aus der Vereinigung aller dieser Einzelfarben in den richtigen Verhältnissen, wie sie im Sonnenlichte obwalten, an die sich unser Auge längst gewöhnt hat.

In Wirklichkeit ist aber mit dem was wir sehen, das Sonnenspectrum noch keineswegs abgeschlossen. Vielmehr verlängert es sich, wie ja auch aus Seebeck's Beobachtungen hervorgeht, nach beiden Seiten hin noch sehr bedeutend, und nur die Unempfindlichkeit unsres Auges für jene übrigen Strahlen ist der Grund, warum das Sonnenspectrum nicht 3—5 mal so lang erscheint.

So liegen jenseits des Violet und außerhalb des sichtbaren Spectrums die ultravioletten Strahlen, die auf das bei der Photographie angewandte Jodsilber und noch manche andere Körper chemisch so besonders kräftig wirken. Man nennt sie deshalb wohl auch „chemische Strahlen“, doch sehr mit Unrecht, da auch andre Strahlen des Spectrums und vermuthlich alle, eine chemische Wirkung ausüben. Die Wiedergabe der sichtbaren Farben, die Photochromie wäre unmöglich, wenn nicht Roth, Gelb und Grün ebensowohl eine chemische Wirkung auf die empfindliche Substanz hervorbrächten als Blau und Violet.

Der ultraviolette Theil des Sonnenspectrums ist übrigens, wie sich nach dem Gesagten vermuthen ließ, durch Photographie abgebildet worden. Auch ist er nicht völlig unsichtbar, vielmehr ist es John Herschel und später Helmholtz gelungen, darin noch eine Farbe zu erkennen, das Lavendelgrau, welches auch in der Photochromie, freilich bisweilen sehr störend, wiedergegeben wird.

Auch jenseits des Roth liegen noch viele Strahlen, die sich namentlich durch starke Wärmewirkung auszeichnen. In dieser Hinsicht übertreffen die ultrarothten Strahlen weit die Strahlen des sichtbaren Spectrums, sind aber dem menschlichen Auge ebenso wenig sichtbar, wie jene dunklen Wärmestrahlen, welche von heißen aber noch nicht glühenden Körpern entsendet werden. In der That dürfte zwischen beiden auch kein Unterschied existiren. Doch erwähne ich noch, daß nach Brücke die äußersten rothen Strahlen, ehe sie völlig unsichtbar werden, eine dunkelbraune Farbe zeigen sollen, welche ebenfalls durch die Photochromie wieder gegeben wird.

Da diese beiden Arten von Strahlen für das Auge unsichtbar sind, so finden wir es, wo sie allein vorkommen, dunkel, schwarz. „Schwarz“ bedeutet daher nicht die Abwesenheit aller Strahlen, denn die dunklen Wärmestrahlen fehlen in der That niemals, sondern vielmehr das Vorhandensein nur von unsichtbaren Strahlen, die also dem ultrarothten und dem ultravioletten Theil des Spectrums angehören und in ihrer Wirkung noch sehr verschieden sein können. Man sieht daraus, daß der Begriff „Schwarz“ ein sehr weiter ist, und daß man wenigstens in der Photochromie wohl thun wird, sich bestimmter über die Art der vorhandenen Strahlung auszudrücken.

Erkennen wir so den Lichtstrahl als entstehend aus den Vibrationen der kleinen Theilchen des Lichtäthers, so ist es nun nicht schwer, uns eine ungefähre Vorstellung von dem Vorgang zu machen, welcher stattfindet, wenn ein Lichtstrahl eine chemische Einwirkung ausübt. Wir haben uns nur zu denken, daß die schwingenden Aethertheilchen die materiellen Körpertheilchen (mögen diese zuvor ruhend oder schon bewegt gedacht werden) mit sich fortreißen könnten, so wird dadurch eine andre Anordnung der letzteren herbeigeführt werden, entweder vorübergehend oder dauernd. Eine solche vorübergehende



Wirkung des Lichts scheint bei den phosphorescirenden und fluorescirenden Körpern vorzukommen, welche nämlich durch die Einwirkung gewisser Sonnenstrahlen auf einige Zeit selbstleuchtend werden. Ist dagegen die Anordnung der materiellen Theilchen eines Körpers dauernd verändert, so kann dadurch entweder eine Veränderung nur der Textur des Körpers oder des chemischen Zusammenhangs seiner Bestandtheile bewirkt werden. So würde also in den kleinsten Theilchen des Chlorfilbers durch die Einwirkung der Schwingungen des Lichtäthers das Chlor ganz oder theilweise von dem Silber, so zu sagen, abgerissen werden.

Diese Vorstellung wird wesentlich unterstützt, sowohl dadurch, daß die wirkenden Lichtstrahlen durch einen solchen chemisch veränderlichen Körper ganz oder theilweise absorbiert werden, d. h. daß die Vibrationen der Aethertheilchen in Folge des Mitreisens der materiellen Theilchen entweder völlig unterbrochen oder doch sehr geschwächt werden, als auch andererseits dadurch, daß die Intensität der chemischen Wirkungen immer der Lichtintensität (dem Quadrat der Wellenhöhe) proportional ist.

Es läßt sich nicht absolut behaupten, daß hierbei die Wellenlänge ohne allen Einfluß sein müsse. Im Gegentheil zeigt sich in einzelnen Fällen ein deutlicher Unterschied zwischen der Art der Einwirkung von Strahlen verschiedener Wellenlänge. So z. B. ist die Wirkung der ultrarothten unsichtbaren Wärmestrahlen auf das Chlorfilber und Jodfilber durchaus nicht eine photographische wie die der ultravioletten Strahlen. Ebenso wirken auf die phosphorescirenden Körper, welche durch die Strahlen des sichtbaren und des ultravioletten Spectrums zum Selbstleuchten erregt werden, die ultrarothten Strahlen geradezu auslöschend.

Andererseits kommen innerhalb jeder dieser verschiedenen Wirkungsarten wieder Intensitätsunterschiede vor. Es handelt sich in den chemischen Veränderungen immer nur um das Aufnehmen, Festhalten und Lostrennen eines bestimmten Stoffes oder einiger bestimmten Stoffe, in der Fluorescenz immer um das Entsenden einer bestimmten Strahlengruppe, und diese behält im Allgemeinen dieselben Strahlen bei, welches auch die Wellenlänge der erregenden Strahlen gewesen sei.

Darnach wäre es vorläufig sehr gewagt und willkürlich, wollte man in einer qualitativen Verschiedenheit der chemischen Einwirkung der verschiedenfarbigen Lichtstrahlen den Grund für die Entstehung der verschiedenen Farben im Bilde suchen. Betreffs einer solchen Hypothese sagt Becquerel am Schluß seiner ersten Mittheilung:

„Wie soll man sich nun diese wahrhaft staunenswerthe Thatsache erklären, daß sich das Sonnenspectrum mit Farben, die den feinen entsprechen, photographisch abbildet? Ich weiß es nicht. Und wenn zufällig das violette Chlorfilber unter dem Einfluß des Spectrums mehre chemische Veränderungen erleidet, so ist es in der That eine außerordentliche Vereinigung von Umständen, welche bewirkt, daß das Roth des Spectrums eine rothe Färbung, das Gelb eine gelbe, das Grün eine grüne, das Blau eine blaue und in gewissen Fällen das Weiß eine weiße Färbung u. s. w. giebt. Könnte es nicht sein, daß das Licht, wenn es anfängt, chemisch auf gewisse Substanzen zu wirken, denselben seine eigenthümliche Farbe mittheilt und daß darauf die späteren chemischen Veränderungen diese erste Einwirkung modificiren?“

Später allerdings versucht Becquerel eine Theorie dieser Vorgänge aufzustellen in folgender Art:

„Es ist beim gegenwärtigen Standpunkt der Wissenschaft unmöglich, diese Farbenwirkungen zu erklären; indessen kann ich nicht umhin, den folgenden Vergleich aufzustellen, wonach man sich eine Vorstellung von der Natur dieser Erscheinungen machen kann. Das Licht ist die Wirkung von Vibra-

tionen, welche von den leuchtenden Körpern ausgehend die Netina treffen, und jeder Strahl des Spectrums entspricht einer verschiedenen Vibrations-Geschwindigkeit. So wäre es möglich, daß die empfindliche Schicht, einmal getroffen von einem Lichtstrahl oder von Vibrationen einer bestimmten Geschwindigkeit, die Fähigkeit erhalten hätte, in der Folge unter der Einwirkung von Vibrationen von derselben Geschwindigkeit wie die jenes Strahles, leichter zu schwingen. Unter diesen Umständen würde hier dieselbe Erscheinung auftreten, wie wenn eine Reihe von Tönen eine gespannte Saite trifft; nur Töne von derselben Höhe wie der Eigenton der Saite setzen sie in Schwingung. Ebenso würde hier, wenn ein Bündel zerstreuten Lichts, welches eine Menge verschiedener Vibrationen enthält, auf ein photographisches Bild trifft, jeder Theil des Bildes vorzugsweise unter dem Einfluß derjenigen Strahlen vibriren, die den zuvor wirksamen ähnlich sind, und daher würden die von den verschiedenen Punkten reflectirenden Strahlen identisch sein mit denen, welche die Einwirkung hervorgebracht haben. Aber warum verursachen nicht andre chemisch empfindliche Substanzen ähnliche Wirkungen? und warum hat nur die Substanz in Rede diese Eigenschaft? Dies müssen spätere Untersuchungen lehren."

Das hier aufgestellte System von Hypothesen, denn ein solches ist darin ausgesprochen, führt in Verbindung mit den in neuerer Zeit festgestellten Gesetzen der Lichtabsorption zu Folgerungen, denen die Thatfachen aufs Entschiedenste widersprechen. Denn aus den Untersuchungen von Bunsen und Kirchhoff geht hervor, daß die Lichtstrahlen von denjenigen Körpern, deren Theilchen einen dem ihrigen gleichen Schwingungsrhythmus haben, beim Durchgang sehr energisch absorbirt, d. h. ausgelöscht werden. Im durchgelassenen Lichte müßten also gerade die wirkenden Farben fehlen, während die Beobachtung lehrt, daß sie darin ebenso vorherrschen, wie im reflectirten Lichte.

Ebenso muß ich derjenigen Auffassung entgegentreten, wonach die bei der Photochromie entstehenden Farben nur Farben dünner Blättchen wären, wie sie bei Seifenblasen, den Newton'schen Ringen, und bei manchen Färbungen polirter Metallflächen vorkommen. Die Entstehung dieser Farben wird nur aus der Wellenbewegung der Aethertheilchen verständlich. Man stelle sich nämlich vor, daß von einem Lichtstrahl der eine Theil von der Außenseite, der andere von der Innenseite eines Seifenhäutchens zurückgeworfen werde. Dann ist es leicht möglich, daß die Aethertheilchen bei ihrem Vibriren in dem einen Strahl immer gerade die entgegengesetzte Bewegung machen müßten wie in dem anderen Strahl. Dieser Fall tritt jedesmal ein, sobald die Strahlen einen Gangunterschied von  $\frac{1}{2}$ ,  $1\frac{1}{2}$ ,  $2\frac{1}{2}$  u. s. w. Wellenlängen haben. Alsdann geht das Vibriren des einen Wellensystems an allen den Stellen abwärts, wo das des anderen aufwärts geht. Die beiden Vibrationen heben sich also gegenseitig auf; der Strahl muß verlöschen durch sogenannte Interferenz. War das auffallende Licht aber weiß, so verliert natürlich nur der eine Strahl oder die Strahlen, für deren Wellenlängen das angegebene Verhältniß stattfindet. Alle übrigen bleiben sichtbar und bilden nun zusammen die Farbe, die man an der betreffenden Stelle der Seifenblase sieht.

Es liegt nahe, auf diesem Wege auch die in der Photochromie entstehenden Farben erklären zu wollen, so zwar, daß von der größeren oder geringeren Dicke der vom Lichte veränderten Oberflächenschicht die an jeder Stelle wahrnehmbare Farbe abhinge. Doch reicht dies Princip in seiner gewöhnlichen Fassung hierzu keineswegs aus, und deshalb hat sich auch Becquerel niemals dieser Erklärung angeschlossen. Denn hier müßte wie in der Seebeck'schen Theorie erwartet werden, daß bei längerer Dauer der Lichtwirkung die veränderte Schicht an Dicke zunehmen und infolge dessen die Farbe sich verändern würde. Eine solche Veränderlichkeit der Farben ist aber keineswegs vorhanden, und damit ist diese Vorstellung von der Entstehung der Farben durchaus widerlegt.



Man überfieht, von wie großer Bedeutung hier die theoretische Vorstellung für die Werthfchätzung der erlangten Erfolge fein mußte. Wenn man die Farben der photochromatischen Platte wirklich für Farben dünner Blättchen ansehen durfte, deren Färbung von der Dicke des veränderten Chlorfilberhäutchens abhinge, so war das Gelingen des einen Bildes in den richtigen Farben nur ein Zeichen der Sorgfalt, mit der der Experimentator den richtigen Zeitpunkt wahrgenommen hatte, denn vorher wie nachher mußten die Farben andere fein. Es ist klar, daß unter folcher Vorausfetzung die Erfindung selbst eine ganz andre wird und ihren hohen Werth fast völlig einbüßt; und es mag sich wohl hieraus erklären lassen, warum die Entdeckung Becquerel's in der physikalischen Welt so vielen Unglauben und nirgends die verdiente Anerkennung gefunden hat.

Anders läge die Sache, wenn sich nachweisen ließe, daß die unter den verschiedenen Farben entstehenden „dünnen Blättchen“ für jede Farbe eine bestimmte Dicke von Anfang an haben und immer behalten müßten, eine Dicke, die für jede Farbe eine ihrer Wellenlänge entsprechende wäre. Alsdann würden die entstehenden Farben constant fein müssen; aber es würde dann weniger darauf ankommen, die Farben des Bildes für Farben dünner Blättchen zu erklären, als vielmehr nachzuweisen, auf welchem Wege diesen dünnen Blättchen ihre constante Dicke gegeben würde. Hiermit nimmt also die Frage eine andere Gestalt an. Sie heißt nicht mehr: „wie entstehen die identischen Farben?“ sondern: „wie entstehen Blättchen von der jeder einzelnen Wellenlänge entsprechenden Dicke?“ Diese Frage wird im ferneren Verlaufe dieser Erörterungen ihre Beantwortung finden.

Allerdings würde sich dazu gar kein Anhalt bieten, wenn wir es nur mit den eindringenden Strahlen zu thun hätten. Von diesen würde jeder, von welchem Wellen-Rhythmus er auch sei, nach einander die sämmtlichen Körpertheilchen, die auf seinem Wege liegen, eines wie das andere, in Bewegung setzen und hierbei in gleicher Weise chemisch verändern. Eine Unterscheidung der Farben ist undenkbar; nur eine allgemeine Dunkelung, Färbung oder Bleichung könnte eintreten, aber unter der einen Farbe genau ebenso wie unter der anderen.

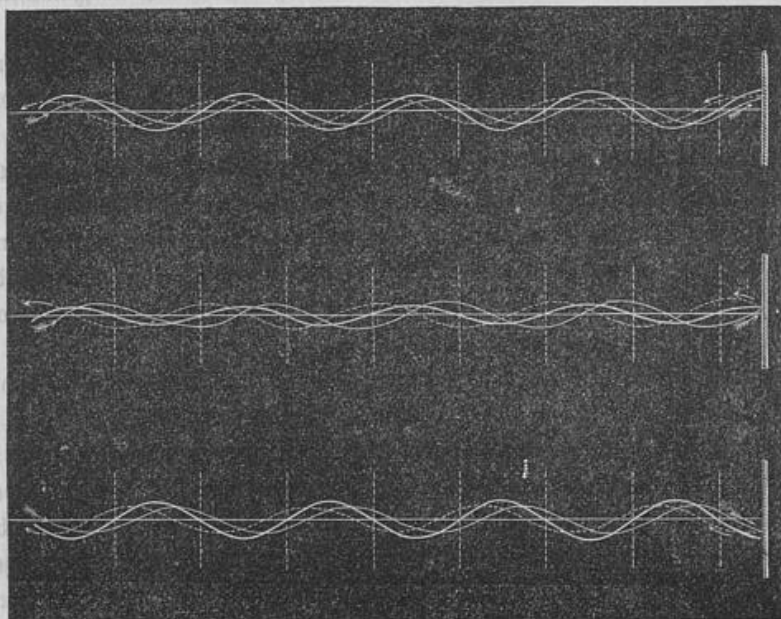
Ganz anders stellt sich aber die Sache, sobald wir beachten, daß den eindringenden Strahlen auch wiederum austretende von derselben Art entgegen kommen, da bei allen diesen photographischen Prozessen die kommenden Strahlen auch wieder reflectirt werden. Am kräftigsten findet dies von der Daguerreotypplatte aus statt; aber auch bei den auf anderer Unterlage ruhenden empfindlichen Schichten kann man sich von der Menge des reflectirten Lichts überzeugen.

Wo so zwei identische Wellensysteme einander begegnen, da entstehen bei Wasserwellen die sogenannten „stehenden Wellen“, und wenn die Schwingungen des kommenden und des zurückkehrenden Lichtstrahls in derselben Ebene vor sich gehen, so müssen auch hier durch ihr Zusammenwirken „stehende Wellen“ hervorgebracht werden.

Ich führte zwar oben gerade als einen Unterschied zwischen den Wasserwellen und den Lichtwellen an, daß die letzteren in allen Ebenen geschehen, die durch die Richtung des Strahls gelegt werden können. Doch kann selbstverständlich das Aethertheilchen nicht gleichzeitig in allen diesen Ebenen schwingen, und es ist auch dem Französischen Physiker Fizeau gelungen, nachzuweisen, daß für wenigstens 50,000 Oscillationen die Schwingungsebene dieselbe bleibt. Man muß sich daher die Vorstellung bilden, daß die Schwingungsebene des Aethertheilchens nur allmählich ihre Lage verändert, vielleicht erst nach Millionen Schwingungen um  $1^\circ$  des Kreises. Selbst unter dieser Vorausfetzung würde sie sich in einer Secunde mehrere tausend Male durch alle Grade des Kreises (um den Strahl als Axe) herumbewegen, und da unser Auge die Lichteindrücke, die es empfängt, vergleichsweise sehr

lange festhält, nämlich etwa  $\frac{1}{2}$  Secunde, so muß es demselben erscheinen, als ob die Schwingungen des Aethertheilchens gleichzeitig in allen diesen verschiedenen Ebenen stattfänden. Für die Wirkungen aber, die wir hier besprechen, hat nur das Fortschreiten des Lichtstrahls auf sehr kurzen Wegstrecken Wichtigkeit, und da kann man also mit voller Sicherheit die Lichtschwingungen als in derselben Ebene stattfindend ansehen, wenn diese Ebene auch freilich jede beliebige Lage annehmen kann. Es müssen also auch hier stehende Wellen sich bilden.

Wenn man die nachstehenden Figuren betrachtet, welche die verschiedenen Momente dieser Wellenbewegung darstellen, (der kommende und der vom Spiegel zurückkehrende Strahl sind durch die Pfeile bezeichnet, die resultirende Bewegung durch die starke Wellenlinie), so sieht man klar, daß es gewisse Punkte giebt, wo unter Voraussetzung gleicher Wellenhöhe für beide Strahlen die Vibrationen sich zu jeder Zeit aufheben. Für die dort liegenden Aethertheilchen ist der Antrieb, der nach der einen Seite durch den kommenden Strahl gegeben wird, gerade so groß wie der Antrieb, der nach der entgegengesetzten Seite durch den reflectirten Strahl gegeben wird. An diesen Ruhepunkten, welche im Holzschnitt durch Verticallinien bezeichnet sind, muß der Wegunterschied des kommenden und des reflectirten



tirten Lichtstrahls eine ungerade Zahl von halben Wellenlängen betragen, dasselbe Gesetz des Gangunterschiedes, welches wir schon bei den Newton'schen Ringen und den Farben dünner Blättchen kennen gelernt haben. Kennen wir daher die Lage eines dieser Punkte, so werden wir die nächsten immer im Abstand von halben Wellenlängen finden, da der Gangunterschied der beiden Strahlen von einem dieser Punkte zum andern immer um eine ganze Wellenlänge vergrößert oder verkleinert sein muß. So erhalten wir also ein System von Ruhepunkten, welche unter sich eine halbe Wellenlänge Abstand haben.

Zwischen ihnen sehen wir dagegen die Schwingungen lebhaft vor sich gehen, am intensivsten in der Mitte zwischen je zwei Ruhepunkten, nach beiden Seiten hin an Intensität abnehmend. Denn in dieser Mitte sind die von den beiden Wellensystemen ausgeübten Impulse stets in gleichem Sinne gerichtet, bald beide aufwärts, bald beide abwärts. Die Wirkungen beider Impulse müssen sich daher



addiren, wie die dort viel höher steigenden Wellenlinien beweisen. Auch diese Punkte größter Oscillation, die ich Maximumpunkte nennen will, haben unter einander Entfernungen von  $\frac{1}{2}$  Wellenlänge, derjenigen Wellenlänge nämlich, die der Farbe des betreffenden Strahles entspricht.

Die eben erwähnte Abwechslung von Ruhepunkten und Maximumpunkten ist eben im Gegensatz zu den „fortschreitenden Wellen“ eine Eigenthümlichkeit der „stehenden Wellen“, auch derjenigen des Wassers, die sich bilden, wo Wellen senkrecht gegen Vollwerke, Mauern und dergleichen anbranden.

Welcher Art die nun stattfindende chemische Veränderung des Silberchlorürs im Lichte sein mag, wissen wir freilich einstweilen nicht. Die Seebeck'sche Ansicht, die auch Poitevin zu hegen scheint, wonach sie in der Rückbildung von Silberchlorid aus dem Silberchlorür bestände, glaube ich zwar oben widerlegt zu haben. Doch ist darum noch nicht ausgemacht, ob, wie ich geneigt wäre anzunehmen, und wie durch das Verhalten aller anderen Silberverbindungen wahrscheinlich gemacht wird, eine völlige Trennung des Chlors vom Silber und demnächst Ausscheidung des letzteren stattfindet, oder ob vielleicht nur ein Chlor Silber gebildet wird von noch niederem Chlorgehalt als das Chlorür. Wie dem auch sei, jedenfalls dürfen wir annehmen, daß der nun ausgeschiedene Körper das Licht kräftig reflectire und also in dieser Beziehung dem Silber gleiche — unter welchem Namen wir ihn daher auch künftig bezeichnen wollen.

Wie vertheilt sich nun diese chemische Einwirkung? Keinenfalls dürfen wir sie an den Ruhepunkten zu finden erwarten, da hier ja jede Veranlassung dazu, jede Vibration fehlt. Vielmehr muß dieselbe offenbar an den Maximumpunkten, wo die Vibration am heftigsten ist, beginnen und erst später von dort aus nach beiden Seiten hin fortschreiten. Aus diesem Zusammenwirken des kommenden und des reflectirten Strahls erhalten wir daher Silberpünktchen, angeordnet zu einem System von Ebenen, deren gegenseitiger Abstand  $\frac{1}{2}$  Wellenlänge der betreffenden Farbe beträgt. Und dieses System ist für jede Farbe ein anderes und daher der Unterschied in der chemischen Wirkung der verschiedenen Farben nachgewiesen.

Wie aber soll diese Verschiedenheit in der Lagerung der Silberpünktchen bewirken, daß die verschiedenen Theile der Platte in verschiedenen Farben erscheinen, und zwar immer in denjenigen, von denen sie zuvor bestrahlt worden waren? Dies erfolgt mit Nothwendigkeit, sobald die Platte von weißem Lichte bestrahlt wird und beruht auf demselben Vorgang wie das Erscheinen der Farben dünner Blättchen.

Wir wollen zuerst erörtern, was mit dem Strahle von identischer Wellenlänge geschieht. Indem dieser von allen Schichten dieser Silberpünktchen reflectirt wird, beträgt der Gangunterschied der Strahlen, die von zwei auf einander folgenden Punktschichten her zurückkehren, immer eine ganze Wellenlänge. Sie werden also den Aethertheilchen, auch nachdem sie das System der Punktschichten verlassen haben und durch die Luft dem Auge zuweilen, übereinstimmende Impulse geben, d. h. solche, die für jedes einzelne Aethertheilchen in jedem einzelnen Augenblick nach derselben Seite hin wirken. Man sagt, daß diese Wellen an jedem Punkt immer gleiche Phase haben, d. h. gleichzeitig die Ruhelage, den oberen Wendepunkt und den unteren Wendepunkt erreichen. Solche Strahlen addiren natürlich ihre Wirkungen und werden also die Farbe von der identischen Wellenlänge kräftig zur Perception bringen.

Wie aber wird es den andern Strahlen ergehen, deren Wellenlänge größer oder kleiner ist, als die der wirkenden Strahlen war? Für die kürzeren ist es klar, daß der Gangunterschied der von zwei auf einander folgenden Punktschichten reflectirten Strahlen größer sein muß als eine Wellenlänge; sie

werden daher nicht in übereinstimmender Phase zurückkehren; wo die einen noch emporsteigen, steigen die andern schon herab und umgekehrt. Solche Strahlen müssen sich gegenseitig schwächen und werden sich, wenn die Anzahl der reflectirenden Schichten und damit die Phasendifferenz der einzelnen Strahlen nur groß genug ist, sogar völlig auslöschen. Dasselbe findet statt für diejenigen Strahlen, deren Wellenlänge größer ist als die des wirkenden Strahles. Denn hier wird der Gangunterschied jedesmal etwas weniger als eine Wellenlänge betragen und wegen der hierdurch herbeigeführten Phasendifferenz werden die einzelnen Strahlen sich einander ebenfalls mehr oder weniger vollständig auslöschen.

Es bleibt also von den sämtlichen Farben, die im weißen Lichte enthalten sind, nur die übrig, deren Wellenlänge übereinstimmt mit der Wellenlänge desjenigen Lichtstrahls, welcher die Punktschichten erzeugt hat. Man wird also überall die identische Farbe sehen.

Da sich in dieser Art die Wiedergabe jeder einzelnen einfachen Farbe erklärt, so ist auch die Entstehung der zusammengesetzten Farben leicht verständlich. Hier muß für jede Theilfarbe ein besonderes System von stehenden Wellen und ein besonderes System von Punktschichten sich bilden. Dann werden wiederum alle die Strahlen des weißen Lichts in's Auge zurück gelangen, die den vorhandenen Systemen reflectirender Punkte entsprechen, d. h. die mit den zuvor wirksamen Strahlen übereinstimmen. Die dabei möglichen Abweichungen sind schon vorher besprochen worden. Die stehenden Wellen des weißen Lichts würden eine fast continuirliche Reihe von Maximumpunkten hervorbringen, so daß nirgends Ruhe, überall chemische Action wäre. Diese Reihe muß also wie jedes ununterbrochene Stück Silber erscheinen, d. h. weiß. Daß sich sogar das Schwarz von Bildern photochromatisch darstellt, ist von Niépce de St. Victor beobachtet worden und erklärt sich aus der oben gegebenen Definition des Begriffs „Schwarz“ (siehe S. 8).

Es ist 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 haben wird, so müssen in demselben auch diejenigen Farben überwiegen, die den Entfernungen der vorhandenen Punktschichten entsprechen, d. h. die identischen. Daß durch diese spiegelnden Pünktchen die Menge des durchtretenden Lichts überhaupt wesentlich vermehrt werden muß, ist ebenso ersichtlich und bestätigt sich an den Papierbildern auffallend.

Viele Erscheinungen sind beobachtet, welche als Bestätigungen dieser Betrachtungsweise dienen können. So der schon citirte Versuch Becquerel's, bei welchem er einen Theil des erhaltenen Spectrumbildes durch die Farben des leuchtenden Spectrums führte und denselben in der identischen Farbe besonders an Glanz gewinnen sah. Offenbar unterstützt diese Beobachtung wesentlich die Vorstellung, daß der obigen Theorie gemäß die photochromatischen Farben einer Spiegelung der einfallenden Lichtstrahlen ihre Entstehung verdanken.

Ferner stimmt hiermit auch die ebenfalls zuerst von Becquerel erwähnte Thatsache überein, daß die Farben sich Anfangs mit der größten Reinheit, wenn auch nur schwach, vom Grunde der Platte abheben, später kräftiger, aber auch unreiner werden, und daß bei noch längerer Exposition endlich ein einförmiges Grauweiß entsteht. Die chemische Action beginnt jedenfalls an den Maximumpunkten, und wenn die hier ausgeschiedenen Silbertheilchen auch noch spärlich sind, so haben ihre Schichten untereinander doch genau den Abstand von einer halben Wellenlänge der identischen Farbe. Später dehnt sich die chemische Wirkung zu beiden Seiten der Maximumpunkte aus, so daß die Spiegelung kräftiger wird; aber dann haben die Schichten selbst eine solche Dicke, daß sich die Reflexion nicht mehr



auf die identische Farbe beschränkt, sondern die nächststehenden Wellenlängen mit einschließt. Allmählich werden die Schwingungen fast der ganzen stehenden Welle ihre Wirkung auf das Silberchlorür ausgeübt und die Ausscheidung einer fast continuirlichen Reihe von Silberpünktchen veranlaßt haben. Dann ist das Bild am hellsten, aber die Farbe tritt mehr und mehr zurück — es entsteht ein mehr oder minder klares Weiß.

Endlich wäre es sogar denkbar, daß eben nur die Gegend um die Ruhepunkte herum dunkel bliebe und dann würden die Strahlen von identischer Wellenlänge, gerade umgekehrt wie bisher, am schwächsten reflectirt werden. Dasselbe müßte erfolgen, wenn das Silber an den Maximumpunkten im dunklen Zustande statt im spiegelnden (da nach H. Vogel beide Zustände vorkommen) ausgeschieden würde. Auf eine von diesen beiden Arten mag wohl die Entstehung der complementären Farben zu erklären sein, die, wie schon Herschel beobachtet hat und wie ich bestätigen kann, bei Jodsilberplatten auftreten.

Ebenso möchte ich hier der folgenden Beobachtung Becquerel's erwähnen, obgleich sie sich vielleicht nicht ganz genügend auf die angeführte Weise erklärt. „Wäscht man“, sagt er, „mit wässerigem Ammoniak das farbige Bild eines Spectrums, so verschwindet alle Färbung und das Spectrum erscheint wie ein graulicher Streifen auf dem gebräunten Grunde der Platte. Untersucht man aber diese Spur aufmerksam, so lange die Platte noch feucht ist, so bemerkt man, daß das Ende, welches vor dem Waschen roth war, eine schwach grünliche Färbung hat, während das zuvor violette Ende ins Bläuliche übergeht; diese Färbungen sind den ersten complementär. Sobald die Platte trocknet, verschwindet diese Erscheinung. Man begegnet ihr auch unmittelbar nach dem Waschen der photochromatischen Bilder farbiger Zeichnungen, so lange die Platte feucht ist. So ist die Neigung vorhanden complementäre Farben hervorzubringen, besonders in den zuvor rothen Strahlen.“

Die Aufgabe der Fixation ist, wenn wir der oben entwickelten Anschauung folgen, in der Photochromie eine ganz andre als in der farblosen Photographie. Während in dieser es darauf ankommt, das unverändert gebliebene Chlor Silber fortzuschaffen, so darf dies in der Photochromie durchaus nicht geschehen, da alsdann die ausgeschiedenen Silberpünktchen haltlos auf einander fallen und nur eine weißliche Spur des früheren Bildes darstellen würden, wie der Versuch bestätigt. Vielmehr muß, um die Farben zu erhalten, die gegenseitige Lage der Silberpünktchen ungestört bleiben und nur das bisher unverändert gebliebene Silberchlorür in einer Weise umgewandelt werden, daß es auch ferner unveränderlich im Lichte bleibe. Dies ist bisher noch nicht gelungen.

So erklärt sich in, wie mir scheint, ungezwungener Weise die Entstehung der identischen Farben aus den Gesetzen der Wellenlehre bei der einzigen Hypothese, daß die aus dem Silberchlorür ausgeschiedenen Pünktchen das Licht kräftig reflectiren. Die Ausbildung stehender Wellen durch zwei einander geradezu begegnende Strahlen von gleicher Wellenlänge ist keineswegs eine neue Hypothese, sondern nur eine nothwendige Folgerung aus der allgemein anerkannten Vorstellung. Auch kennt man in der Physik längst die Phänomene stehender Lichtwellen unter dem Namen der Interferenz-Erscheinungen. Die dunklen Streifen der Interferenzfransen bezeichnen die Lage der Ruhepunkte, die hellen Streifen die der Maximumpunkte. Der einzige Unterschied zwischen den oben erwähnten und den schon früher beobachteten stehenden Wellen besteht nur darin, daß sich in den gewöhnlichen Interferenzversuchen die beiden Lichtstrahlen meist unter sehr spitzem Winkel schneiden (der aber doch bei mikroskopischer Beobachtung der Franssen bis auf  $60^\circ$  und darüber steigen kann), während bei der photochromatischen Platte dieser Winkel  $180^\circ$  beträgt.

Auf einen Punkt aber, in welchem bei oberflächlicher Betrachtung die Consequenzen der Theorie nicht mit dem thatsächlich Beobachteten im Einklang zu stehen scheinen, will ich hier selbst aufmerksam machen.

Hände nämlich die Spiegelung, auf deren Existenz sich die ganze Theorie gründet, an der Fläche statt, die dem Chlor Silber zur Unterlage dient, d. h. an der Silberfläche, Papierfläche oder Glasfläche, so müßte bei schiefer Incidenz der wirkenden Strahlen, wie sich berechnen läßt, die erscheinende Farbe von der wirkenden verschieden sein. Die Schichten der stehenden Wellen treten nämlich unter dieser Voraussetzung weiter auseinander, und so müßte die erscheinende Farbe eine größere Wellenlänge haben, d. h. dem rothen Ende des Spectrums näher liegen, als die wirkende oder als die bei senkrechter Incidenz erscheinende.

Dies wurde aber durch mehrere Versuche, bei welchen ich die Strahlen unter einem halben rechten Winkel Neigung einfallen ließ, nicht bestätigt; vielmehr zeigten sich die Farben stets übereinstimmend mit den bei senkrechter Incidenz erhaltenen. So bedenklich dies im ersten Augenblick auch scheinen mag, so ist doch zunächst die sehr wichtige Frage aufzustellen, ob denn auch der Incidenzwinkel der Strahlen innerhalb des Chlor Silbers eben so groß war wie außerhalb desselben. Bekanntlich gehen ja in Körpern von starker lichtbrechender Kraft die schräg einfallenden Strahlen in einer zur Oberfläche mehr senkrechten Richtung weiter. Zwar suchte ich dem zuvorzukommen, indem ich die Strahlen durch Cassiaöl auf die Platte fallen ließ, welches einen Lichtbrechungs-Indez, ungefähr = 1,680 für die blauen Strahlen hat. Dennoch ist es sehr wohl möglich, daß der Indez des violetten Silberchlorürs noch sehr viel größer ist. Alsdann würde man, unter welchem Winkel auch die Strahlen auf die Platte träfen, doch innerhalb des Chlor Silbers immer nur mit nahezu senkrecht auf die spiegelnde Fläche fallenden Strahlen zu thun haben und die Uebereinstimmung der erscheinenden Farben, unabhängig vom Einfallswinkel, erklärte sich vollständig.

Andererseits muß man bedenken, daß ja auch in jedem einzelnen Körnchen Chlor Silbers eine Spiegelung stattfinden muß und daß dabei die Bildung stehender Wellen ebensowohl erfolgen muß wie bei einer großen Silberfläche. Die Punktschichten werden freilich viel weniger Regelmäßigkeit zeigen, als bei der Spiegelung an ebenen Flächen; aber in der Farbenerscheinung wird doch immer die mit dem wirkenden Strahl identische Farbe vorherrschen müssen. Nur auf diese Weise erklärt sich mir die blaue Farbe, die nach Becquerel weißes Chlor Silber annahm, welches in einer Flasche von blauem Glase einige Wochen dem Lichte ausgesetzt gestanden hatte.

Ich behalte mir vor, über diese Gegenstände und namentlich über den Brechungs-Indez des violetten Chlor Silbers noch weitere Untersuchungen zu machen, da die bisherigen Beobachtungen noch eigenthümlich widersprechende Resultate geben. Ich erinnere überhaupt daran, daß ich schon oben darauf verzichtet habe, für jetzt eine bereits völlig abgeschlossene und ausgebaute Theorie zu geben. Hierzu fehlt noch viel, was zu ergänzen viele schwierige Untersuchungen erfordert, zu denen mir bisher die Zeit mangelte.

Doch, glaube ich, wird sich auch Jeder sagen, daß die theoretische Ergründung des Gegenstandes bei dem heutigen Stande unserer thatsächlichen Kenntnisse über ihn eben noch keine abgeschlossene sein kann. Ich begnüge mich deshalb vorläufig damit, durch die von mir gegebene Erklärung des Vorgangs nachgewiesen zu haben, daß die Thatsache der Farbenwiedergabe sich mit den gangbaren Vorstellungen vom Wesen der Farben sehr wohl vereinen läßt. Ich hoffe, den Gegenstand, wenn nicht erklärt, so doch dem Verständnisse und dadurch dem Interesse näher gerückt zu haben. Die Erschei-



nung ist nicht mehr die allein wunderbare und staunenswerthe; sie ist bereits eine, wenn auch in vielen Punkten noch unaufgeklärte, doch schon verständliche, vorstellbare geworden.

Es ist nicht unbegründet, wenn wir zu der Vermuthung gelangen, daß das hier in Anwendung gebrachte Princip der stehenden Wellen auch in andren Phänomenen, wo Farben auftreten, eine Rolle spiele. Zal man könnte versucht sein, die Entstehung der natürlichen Farben der Körper, die sonst noch keineswegs erklärt ist, sich in ähnlicher Weise vorzustellen. Es müßte dann angenommen werden, daß in den verschiedenen Körpern eine Structur vorhanden sei, durch welche beim Reflex viele Strahlen in derselben Weise wie oben ausgelöscht würden und daher nur die übrig bleibenden (deren Wellenlängen dieser Structur entsprechen müßten) als Farbe des Körpers gesehen würden. So nahe es liegt, diese Vorstellung zur Erklärung der natürlichen Farben und der Absorption überhaupt anzuwenden, so halte ich diese Verallgemeinerung vorläufig doch für zu gewagt. Bei der Absorption werden die Lichtstrahlen in der Regel, indem sie aufhören Licht zu sein, in eine andre Wirkung umgesezt. Entspräche aber der Vorgang der soeben gegebenen Darstellung, so läge dazu gar keine Veranlassung vor. Die Strahlen würden ja, einer wie der andre, reflectirt und nur von der Größe ihrer Phasendifferenz hinge es ab, ob sie einander unterstützen oder auslöschen. Die Wirkung auf die reflectirenden Körpertheilchen muß also dieselbe sein bei den Strahlen, die zur Geltung kommen, wie bei denen, welche ausgelöscht werden.

So wenig ich also einstweilen dieser Vorstellung das Wort reden will, so glaube ich doch mit Recht von demselben Princip Anwendung gemacht zu haben bei der Erklärung des Farbensehens im Auge. Auch hier ist ein Unterschied in der Wirkung der verschiedenen Farben auf die Elemente der Netzhaut nicht ersichtlich, solange es sich nur um die kommenden oder nur um die zurückgeworfenen Strahlen handelt. Die stehenden Wellen dagegen, die sich aus dem Zusammenwirken beider einander begegnenden Wellensysteme ergeben, müssen wiederum für die verschiedenen Farben verschiedene Länge haben. Die Maximumpunkte, an welchen doch auch hier nur die Reizung des nervösen Apparates stattfinden kann, treffen also für jede Farbe auf andre Elementartheilchen und so muß die Empfindung der einen Farbe eine örtlich ganz verschiedene sein von der einer andern.

Ich begnüge mich, hier diese Betrachtungsweise nur anzudeuten, die ich des Genaueren an einem andern Orte<sup>1)</sup> entwickelt habe, und welche durch die neu entdeckte Structur der Netzhaut-Elemente sowohl von Wirbelthieren als neuerlichst auch von Insecten und Krebsthieren<sup>2)</sup> in sehr interessanter Weise bestätigt wird.

<sup>1)</sup> W. Benter, Versuch einer Theorie der Farben-Perception in Mag Schulze's Archiv für mikroskopische Anatomie. Bd. III. 1867 p. 248.

<sup>2)</sup> Mag Schulze über Stäbchen und Zapfen der Retina, ebendasselbst p. 215 und Untersuchungen über die zusammengesetzten Augen der Krebse und Insecten. Bonn 1868.