

# Die Photographie in natürlichen Farben

mit besonderer Berücksichtigung

des Lippmannschen Verfahrens  
sowie jener Methoden, welche bei einmaliger  
Belichtung ein Bild in Farben liefern.

Von

**Eduard Valenta,**

k. k. Professor und Sektionsvorstand an der k. k. Graphischen Lehr-  
und Versuchsanstalt in Wien.

Zweite vermehrte und erweiterte Auflage.

Mit 32 Abbildungen im Text und 6 Tafeln.

*B. N. 1108-7.*

Halle a. S.

Druck und Verlag von Wilhelm Knapp.  
1912.



FOR RESEARCH AND REFERENCE USE ONLY  
Reproduced from the original in the George Eastman House.  
This work may be protected under U.S. Copyright Law.  
The user assumes all responsibility for the legal requirements of copyright.

## Vorwort zur ersten Auflage.

Seit dem Bekanntwerden der Photographie in natürlichen Farben nach der Interferenzmethode des Herrn G. Lippmann in Paris beschäftigte ich mich mit Versuchen in dieser Richtung, und war mein Bestreben dahin gerichtet, nicht nur die Lippmannschen Versuche zu wiederholen und zu studieren, sondern auch sichere Methoden zu deren praktischer Durchführung zu finden.

So klar das Prinzip der Interferenzmethode, wie Professor Lippmann dasselbe geschildert hat, auch ist, so schwierig ist die Durchführung, wenn wirklich brauchbare Resultate erzielt werden sollen. Dies mag auch die Ursache sein, warum so wenige Fachleute bisher diese Versuche mit Erfolg durchführen konnten und nach manchen vergeblichen Bemühungen von weiteren Experimenten abstehen mußten.

Wenngleich die Resultate, welche ich erzielt habe, noch keineswegs das Ideal des Photographen in dieser Richtung erreicht haben, so glaube ich doch, um so mehr als die Photochromie nach Lippmanns System eine der interessantesten Errungenschaften der physikalischen Chemie darstellt, denjenigen, welche sich hierfür interessieren, nicht nur einen Behelf zum Arbeiten, sondern auch Anregung zu weiteren Versuchen mit der Herausgabe dieses kleinen Buches zu bieten, welches die Resultate

tate meiner 1 $\frac{1}{2}$ -jährigen Arbeit auf diesem Gebiet enthält und zugleich einen Überblick über den gegenwärtigen Stand aller einschlägigen Arbeiten gibt.

Wien, den 25. Januar 1894.

**Eduard Valenta.**

### **Vorwort zur zweiten Auflage.**

Nachdem seit Erscheinen der ersten Auflage ein größerer Zeitraum verflossen war, erwies sich eine gründliche Revision und zum Teil eine Neubearbeitung des die Interferenzfarbphotographie betreffenden Teiles als nötig. Die Resultate der seither erschienenen Arbeiten auf diesem Gebiete wurden aufgenommen und die Neuerungen in der Apparatik, welche die Zeilwerke in Jena derzeit herstellen und mit deren Hilfe die Durchführung des so interessanten Interferenzverfahrens jedermann möglich ist, besprochen.

Das Lippmannsche Verfahren war bei Erscheinen der ersten Auflage dieses Buches das einzige, welches die Herstellung einer Photographie in Naturfarben mit einer einzigen Aufnahme ermöglichte. Im Laufe der seither verfloßenen Jahre sind weitere zwei Verfahren, welche dasselbe Ziel verfolgen, dazugekommen. Das eine derselben, das Verfahren mit Farbrasterplatten, hat es erreicht, während das zweite, das Ausbleichverfahren, bisher noch keine wirklich praktisch verwertbaren Resultate gegeben hat. Die Farbrasterplattenphotographie wird heute hauptsächlich von Amateurphotographen geübt; sie liefert

brillante Bilder und leistet dem Gelehrten und Künstler in jenen Fällen, wo es insbesondere auf treue Wiedergabe der Farbe ankommt, treffliche Dienste. Das Problem der Farbphotographie wäre als befriedigend gelöst zu betrachten, wenn es gelingen würde, diese Bilder welche nur in der Durchsicht zur Wirkung gelangen, mittels eines einfachen Prozesses, etwa durch Kopieren, auf Papier zu übertragen. Vielleicht wird dieses Endziel mit dem Ausbleichverfahren erreicht; jedenfalls hat dasselbe Aussicht, diese Hoffnung zu erfüllen.

Ich habe beide Verfahren im Anschluß an das Interferenzverfahren besprochen und hoffe damit den Wünschen derjenigen, welche sich auch für diese Methoden der Naturfarbenphotographie interessieren, entgegengekommen zu sein.

Wien, im Dezember 1911.

**Eduard Valenta.**

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<b>Einleitung</b> . . . . .	<b>I</b>
Ältere photochromische Verfahren, welche auf der Eigenschaft des Silbersubchlorides, die Farben wiederzugeben, beruhen . . . . .	I
Versuche zur Erklärung des Entstehens der Farben bei diesen Photochromien . . . . .	6
<b>I. Photochromie mittels der Interferenzmethode: Gabriel Lippmanns Verfahren</b> . . . . .	<b>22</b>
G. Lippmanns erste Versuche . . . . .	22
Theoretische Betrachtungen über das Zustande- kommen des farbigen Bildes beim Lippmann- schen Verfahren . . . . .	30
Weitere Versuche zur Herstellung von Photo- chromien nach Lippmanns Prinzip . . . . .	42
Versuche von Thwing und Lumière . . . . .	42
Versuche des Verfassers zur Herstellung von Gelatinetrockenplatten, welche zur Photochromie geeignet sind . . . . .	46
I. Bromsilbergelatineplatten . . . . .	46
II. Chlorsilber- und Chlorbromsilbergelatine- emulsionen . . . . .	52
Versuche des Verfassers zur Herstellung farbiger Spektrumbilder . . . . .	54
Anwendung der Methode zur Wiedergabe der Mischfarben . . . . .	58
Versuche von Neuhauß. — H. Lehmanns Ver- suche und Apparate zur Herstellung von Photo- chromien nach der Interferenzmethode . . . . .	60
Über die Korrektheit der Farbenwiedergabe bei Lippmanns Photochromien. — Abnormale Farbenerscheinungen . . . . .	67

Einige Mittel zur Verbesserung und Veränderung der Farben . . . . .	79	Seite
Versuche zur Herstellung von Photochromien nach Lippmanns Prinzip ohne Anwendung von Silbersalzen . . . . .	81	
Betrachtung und Projektion der Lippmannschen Photochromien . . . . .	82	
Betrachtung der Bilder . . . . .	82	
Projektion von Lippmannschen Interferenzbildern	86	
<b>II. Photochromie mittels des Ausbleichverfahrens (Farbeanpassungsverfahren)</b> . . . . .	89	
Verhalten verschiedener Farbstoffe im Lichte. — Sensibilisatoren . . . . .	91	
Neuere Versuche zur Bildherstellung mittels des Ausbleichverfahrens . . . . .	104	
Verfahren von C. Worel . . . . .	104	
Verfahren von Neuhauf . . . . .	105	
Verfahren von Jan Szezepanik . . . . .	107	
Smiths Uto- und Uocolorpapier . . . . .	108	
<b>III. Die Photographie mit Farbrasterplatten und -Films.</b>	115	
Verfahren von McDonough und von Joly . . . . .	116	
Der Autochromprozeß der Gebrüder Lumière	118	
Wirkung des farbigen Lichtes auf die Autochromplatte . . . . .	122	
Empfindlichkeit der Autochromplatten . . . . .	124	
Die Bildherstellung mit Autochromplatten . . . . .	127	
Aufnahme und Dunkelkammerbeleuchtung . . . . .	127	
Entwickeln von Bildern auf Autochromplatten . . . . .	132	
Verstärkung . . . . .	137	
Unterbrechung der Operationen . . . . .	139	
Lackieren . . . . .	139	
Halbbarkeit der Autochromplatten . . . . .	141	
Fehler beim Arbeiten mit Autochromplatten . . . . .	141	
Aufnahmen bei künstlichem Licht . . . . .	144	
Wiedergabe der Spektralfarben . . . . .	147	
Kopieren von Autochrombildern . . . . .	147	
Betrachtung der Autochrombilder . . . . .	149	
Vervielfältigung von Autochromaufnahmen mittels Dreifarbendrucker . . . . .	151	
Projektion von Autochrombildern . . . . .	152	

Die Omnicoloreplatte . . . . .	153	Seite
Dufays Dioplichromplatte . . . . .	155	
Finlays Thames Colourplatte . . . . .	157	
Deutsche Farbenfilms, System Robert Krahn	157	
Verschiedene Patente und Vorschläge zur Herstellung von Farbrastern . . . . .	161	
Vorschläge zur Farbenphotographie unter Verwendung von in den Grundfarben gefärbtem Bromsilber . . . . .	170	

## Einleitung.

**Ältere photochromische Verfahren, welche auf der Eigenschaft des Silbersubchlorides, die Farben wiederzugeben, beruhen.**

Zur Herstellung von Photochromien, d. i. Photographien in natürlichen Farben, wurden bisher verschiedene Wege eingeschlagen. Der älteste derselben beruht auf der Eigentümlichkeit des Silbersubchlorides, einer Verbindung von Silber und Chlor, unter dem Einfluß von farbigem Lichte sich so zu verändern, daß die Farben wiedergegeben werden.

Diese Eigenschaft des Silbersubchlorides ist schon sehr lange bekannt; man findet die ersten Andeutungen über diesen Gegenstand in einem Buche, das nur von wenigen Menschen gelesen wird, nämlich in Goethes Farbenlehre<sup>1)</sup>, in welchem von Seebeck (1810) die Tatsache konstatiert wird, daß feuchtes „Hornsilber“ (Chlor-silber) im farbigen Lichte unter gewissen Bedingungen die entsprechenden Farben annimmt.

Das Silbersubchlorid, dessen Existenz von den Chemikern lange geleugnet wurde, aber heute bereits sicher gestellt ist, ist eine Verbindung von Silber und Chlor, welche doppelt so viel Silber enthält als das gewöhnliche Silberchlorid. Es wurde von Guntz<sup>2)</sup>, welcher das Silber-subfluorid entdeckte, aus diesem Salze durch Einwirkung von Chlorwasserstoff als chemisches Individuum rein dargestellt und dadurch alle Zweifel glänzend widerlegt.

1) Goethes Werke, Ausg. Hempel, Bd. 36, S. 431.

2) Compt. rend. 1891, Bd. 112, S. 861.

Das Silbersubchlorid ( $Hg_2Cl$ , von Carey-Lea Photochlorid genannt) entsteht, wenn man auf überschüssiges Silber Chlor oder gewisse Perchloride ( $Cl_2$ ,  $Hg_2Cl_6$  usw.) einwirken läßt.

Bequerel<sup>1)</sup> und nach ihm Niépce<sup>2)</sup> stellten in der Weise ihre farbenempfindlichen Platten her: sie setzten Silberplatten oder versilberte Kupferplatten der Wirkung des Chlors im Status nascentis aus, wodurch sich dieselben mit einer dunkeln Schicht von Silbersubchlorid überzogen, oder badeten die Platten in einer Lösung von Kupfer- oder Eisenchlorid, wobei Silbersubchlorid und Eisen- oder Kupferchlorür entsteht.

Die auf die eine wie auf die andere Art behandelten Platten geben, besonders wenn dieselben früher erwärmt worden, die natürlichen Farben des Sonnenspektrums recht gut wieder, das Bild verschwindet aber am Lichte wiederum; es ist nicht fixierbar.

Poitouin<sup>3)</sup> benutzte die zweite Darstellungsweise von Silberchlorür; er verwendete keine Platten, sondern Papier, welches er durch Baden in Kochsalzlösung und danach in Silbernitrat mit einer Schicht von Chlorsilber überzogen hatte und verwandelte das Chlorsilber in Silberchlorür, indem er dieses Papier, mit der Schicht nach oben, unter Lösungen von Zinnchlorür usw. den diffusen Tageslichte aussetzte. Das Papier wird bei dieser Behandlung blauviolett gefärbt, indem das Silberchlorid Chlor an das Zinnchlorür abgibt und sich in Silberchlorür verwandelt; es ist dann farbenempfindlich geworden. Poitevin erkannte, daß gewisse Bäder die Farbenempfindlichkeit solcher Papiere zu steigern vermögen; er wandte

1) Annales de Chimie et de Physique, 3me série, t. 22, 25, 42.

2) Compt. rend. de l'Académie des Sciences, Paris 1851 bis 1866.

3) Ibid. 1865, t. 61, S. 1111.

zu dem Zwecke Mischungen von Kupfersulfat- und Kaliumbichromatlösungen an.

Die nach dem Verfahren Poitevins erzielten Bilder sind im allgemeinen sehr wenig haltbar, und alle Mittel, dieselben haltbarer zu machen, zu fixieren, erwiesen sich bisher als unbrauchbar.

Vor etwa 20 Jahren versuchte Veres<sup>1)</sup> in Klausenburg mittels Silberchlorür, welches er in Form einer Emulsion auf Papier auftrug, nach den Poitevinschen Prinzipien farbige Bilder herzustellen, welche Arbeiten aber gleichfalls zu keinem befriedigenden Resultat führten.

Im Jahre 1891 war es ein Schweizer Gelehrter, namens Kopp, in Münster, welcher das Poitevinsche Verfahren wieder aufgriff und es in einer Weise modifizierte, daß man der Hoffnung Raum gab, vielleicht doch auf diesem Wege das Ziel zu erreichen. Kopp starb im Jahre 1891 und ich will im folgenden sein Verfahren wiedergeben, mit welchem es mir seinerzeit gelangen ist, recht gute Spektrobilder auf weißem Grunde zu erhalten. Was ich mit keinem der früheren Verfahren zu erreichen im stande war, und im Ansehlt die von mir mit denselben erzielten Resultate beschreiben.

Kopp überzieht sein Papier durch Schwimmenlassen auf Kochsalzlösung, Silberlösung und abermals Kochsalzlösung mit einer Schicht Chlorsilber, wäscht hierauf gut aus und befindet unter folgender Lösung mit diffusen Tageslichte so lange, bis das Papier eine blaugrüne Farbe angenommen hat.

- Chlorzink . . . . . 0,15 g,
- Schwefelsäure . . . . . 2 Tropfen,
- Wasser . . . . . 150 g.

Die blaugrüne Farbe darf nicht überschritten werden. Das Papier wird nun gewaschen und zwischen Bleibpapier getrocknet. Es hält sich lange Zeit. Um es für alle Farben, einschließlicß Weiß und Schwarz, empfänglich zu machen, verfährt man wie folgt. Man löst heftig:

1) Siehe Eiders Jahrb. f. Photographie, 1891, S. 538.

Keines Kaliumbichromat	15 g.
"    Kupfersulfat	15 "
Wasser	100 cem.

Ferner pulvert man 15 g salpetersaures Quecksilberoxydul, löst es in einem Minimum schwach mit Salpetersäure angesäuerten Wassers und gießt es unter Röhren in die obige kochende Lösung. Es bildet sich ein roter Niederschlag, von dem man nach dem Abkühlen die Flüssigkeit abfiltrirt und das Filtrat durch Wasserzusatz oder Eindampfen genau auf 100 cem bringt. Diese Lösung hält sich in verschlossenen Gefäßen gut. Das blaugrüne gesilberte Papier wird  $\frac{1}{2}$  Minute in dieselbe getaucht, wobei es sich entfärbt, und dann nach dem völligen Abtropfen in eine dreiprozentige Chlorzinklösung gebracht und mit dieser bewegt, bis es wieder blau wird. Dann wird es gut in fließendem Wasser gewaschen, zwischen Filzpapier oberflächentrocken gemacht und noch feucht exponirt. Nach der durch Färbung leicht zu kennenden Belichtung ist das Gelb und Grün bereits vollkommen deutlich, die andern Farben aber sind mit einem gelben Schleier verhüllt und müssen erst entwickelt werden. Da aber die gelbe und grüne Farbe dieser Behandlung nicht widerstehen, müssen die betreffenden Stellen erst durch einen Firnisüberzug geschützt werden. Nach jedem Lackauftrag muß derselbe über Feuer erwärmt werden, um sich gleichmäßig auszubreiten. Nachdem alles vollkommen trocken ist, taucht man das Bild unter Bewegung in ein Entwicklungsbad, welches aus zweiprozentiger Schwefelsäure besteht. Alle Farben, sowie das Weiß, erscheinen darin deutlich. Man wäscht nun schnell in fließendem Wasser und trocknet zwischen Filzpapier. Um nun das Bild zu fixieren, taucht man es noch 5 Minuten in das Quecksilberbad, in welchem die Farben verschwinden, und dann nochmals in das Hervorrufungsbad, bis sie wieder erscheinen. Man stellt nun eine Lösung von Gummiharabkum mit fünfprozentiger Schwefelsäure her, und überzieht mit der klaren filtrirten Lösung das Bild.

Diese Versuche wiederholte ich im Jahre 1892 und beschrieb die Resultate derselben, wie ich sie auf Grund des einstweilen im Druck erschienenen englischen Patentverfahrens erzielte<sup>1)</sup>. Zur Herstellung des farbenempfindlichen Silberchloridpapiers bediente ich mich anfänglich der Koppsehen

Methode, bei welcher das Anlaufen am Lichte unter einer sehr verdünnten Chlorzinklösung erfolgt. Bei einer Versuchsreihe diese Anlaufenlassen des gesilberten Papiers unter anderen Agencien vor sich gehen zu lassen, fand ich, daß eine Lösung von Natriumnitrit in Wasser (0,5 bis 1 g in 100 cem Wasser) günstiger wirkt. Es lassen sich bei sonstiger Einhaltung der Koppsehen Vorschriften mit derartigen Papieren gute Farbenbilder des Sonnenspektrums erhalten, während bei Verwendung von Glasbildern Gelb und Blau häufig sehr mangelhaft erscheinen, was seinen Grund in dem Umstande haben dürfte, daß die Farben dieser Bilder größtentheils Mischfarben sind.

Das Gelb, welches unter Glasbildern meist rein erhalten wird, ist wohl auf nicht ausgewaschenes chromsaures Kalium zurückzuführen und entspricht keineswegs dem photographischen Gelb; dagegen kommt diese Farbe bei Spektrumbildern gut kennlich. Die Bilder sind leider bis jetzt nicht fixirbar.

Trotz aller Unvollkommenheit der Methode ist es ein schönes Experiment, zu sehen, wie rasch das Ausbleichen des sensibilisirten Papierses von Blaugrün in Hellgelb unter dem Einfluß von weißem Licht und das Entstehen ähnlicher Farben, welche sich mit den natürlichen decken, vor sich geht. Die von mir hergestellten Photochromien des Sonnenspektrums erhielt ich bei weit geöffnetem Spalt unter Anwendung eines Steinheil'schen Spektrographen und Aufstellung einer Sammellinse von 10 cm Durchmesser in 30 Minuten, und war die Farberwiedergabe entschieden besser als bei den nach Poitevin oder Vallot hergestellten Papieren.

Bemerkenswert ist, daß der Kopp'sche Prozeß auch auf Chlor Silberemulsionen anwendbar ist, nur dürfen dieselben keinen Überschuß an Silbernitrat oder Zinnrat usw. enthalten. Ist die Emulsion deshalb nicht gleich von Anfang an mit Chloridüberschuß hergestellt, so muß man das betreffende Papier<sup>2)</sup> mit verdünnter Salzsäure und Chlorzinklösung behandeln. Das Anlaufen der Chlor Silberemulsion im Lichte behufs Bildung von violettem Silberchlorid kann durch Zusatz von Hydrochinon zur Emulsion

1) Photogr. Correspond. 1892. Siehe auch Pflüger's Jahrb. f. Photogr. 1893, S. 432.

2) Chlor Silberkolloidum - (Zelloidin -) Papier, Chlor Silbergelatine - (Aniso -) Papier.



befördert werden 1). Zinnsalz- oder Natriumnitritlösungen, unter denen das Anlaufen sich vollzieht, wirken auch hier günstig; das so gewonnene farbenempfindliche Emulsionspapier wird gewaschen, getrocknet und vor dem Gebrauch, wie oben erwähnt, mit der Quecksilberchromlösung sensibilisiert.

### Versuche zur Erklärung des Entstehens der Farben bei diesen Photochromien.

Die Tatsache, daß wirklich die Farben der auffallenden Lichtstrahlen bei den im ersten Kapitel in aller Kürze geschilderten Verfahren, welche sämtlich auf der Verwendung des Silbersubchlorides beruhen, wiedergegeben werden, ist nach den von vielen Forschern angestellten Versuchen zweifellos. Becquerel bewies die Identität der Farben durch Photochromien des Sonnenspektrums, in welches er die Fraunhofer'schen Linien einphotographierte. Bringt man ein solches Spektrumbild, dessen einzelne Farben man voneinander isoliert hat, in das leuchtende Spektrum und bewegt dasselbe hin und her, so wird man bemerken, daß jede Abtheilung in dem Teil des Spektrums, welches sie hervorgebracht hat, viel lebhafter erscheint als in jedem anderen Teile<sup>2)</sup>. Dies beweist aber nur, daß diejenigen Strahlen am reichlichsten reflektiert werden, welche von denselben Brechbarkeit sind, wie jene, welche diese Wirkung hervorgebracht haben.

Die Identität der Farben ist bei den meisten der erhaltenen Spektrumbilder keine absolute. Dies ist aber

1) A. Kitz konstatierte, daß sogen. Obernetter-Papier (Chlorobernetterpapier von Bühler in Mannheim) unter einem farbigen Glasbilde, wenn man es vorher im Lichte anlaufen ließ, die Farben gut wiedergibt (Eder, Jahrb. f. Photogr. für 1894).

2) Becquerel, *Annales de Chimie et de Physique*, III. Serie, Bd. 42, S. 97.

nur zufällig und steht mit der Versuchsanordnung in innigem Zusammenhang.

Bei den Mischfarben, wie man selbige unter farbigen Gläsern erhält, kommen weit beträchtlichere Farbenabweichungen zur Geltung. Hier erklärt sich diese Tatsache sehr leicht, indem die einfachen Farben auf das Silbersubchlorid nicht mit gleicher Kraft einwirken, weshalb hier stets jene Farbe vorherrschend zur Wirkung gelangen wird, welche die kräftiger wirkende ist. Dies erklärt die bereits von Nièpce de St. Victor betonte Tatsache, daß ein einfaches Grün als Grün abgebildet wird, während ein Grün, das durch Vermischen von Blau und Gelb erhalten wurde, Blau gibt.

Theorien zur Erklärung der Farbenbildung bei photochromischen Prozessen wurden von verschiedenen Seiten aufgestellt. Die ersten derselben gingen von der damaligen Ansicht aus, daß die Veränderung des Chlorsilbers im Licht, welche von Scheele (1777) zuerst chemisch festgestellt wurde<sup>1)</sup>, auf einer Reduktion beruhe. Man nahm aus diesem Grunde an, daß die Färbung der im gelben Licht ausbleichenden dunklen Silberchlorüschicht auf einer Oxydation beruhe, wobei wieder gelbes Chlorsilber gebildet werde (Seebeck).

Manche Physiker versuchten das Zustandekommen der Farben bei den geschichteten Prozessen, welche auf der Verwendung von Chlorsilber beruhen, dadurch zu erklären, daß sie eine Entstehung der Farben nach dem Prinzip der „Farben dünner Blättchen“ in der Weise annahmen, daß von der größeren oder geringeren Dicke der von Licht veränderten Oberflächenschicht die an den betreffenden Stellen wahrnehmbaren Färbungen abhängig

1) Siehe Eder, *Geschichte der Photographie* (Bd. I, 1. Teil, 3. Aufl., S. 67, des Ausführl. Handb. d. Photogr.).

sind. Dem Vorhandensein solcher dünnen Blättchen verdanken, wie allgemein bekannt ist, die Farben der Seifenblasen, sowie jene der Newtonschen Ringe, endlich auch jene Farben, welche man, wie Bequerel zuerst zeigte, durch galvanische Niederschläge auf polierten Metallflächen hervorbringen kann, ihre Entstehung. Die letztere Tatsache mag wohl auch dazu beigetragen haben, daß die Physiker sehr geneigt waren, die photochromischen Erscheinungen auf den Bequerelschen Platten als bloße Färbungen von Metallflächen nach dem Prinzip der Farben dünner Blättchen zu erklären, wobei sie annahmen, daß bei längerer Dauer der Lichtwirkung die Dicke der veränderten Schicht wachsen müßte, und daß deshalb die Farben wechseln müßten, und zwar in derselben Reihenfolge, wie man dies bei den Newtonschen Ringen zu konstatieren in die Lage kommt. Eine solche Veränderlichkeit ist aber bei den heliochromischen Bildern keinesfalls vorhanden, womit also eine Erklärung der Entstehung der Farben auf diesem Wege durchaus widerlegt erscheint!

Zenker<sup>1)</sup> war der erste, welcher es versuchte, auf rein physikalischen Wege das Entstehen der Farben bei den photochromischen Prozessen, die auf der Verwendung von Chlor Silber beruhen, zu erklären. Nach seiner Anschauung beruht dieselbe auf der durch stehende Lichtwellen bewirkten Bildung von dünnen Blättchen in der empfindlichen Schicht: Kaleigh (1887) erklärte auch die Entstehung der Bequerelschen Farbphotographie durch stehende Wellen. Prof. Dr. Wiener<sup>2)</sup> stellte (1895) klar, daß diese Erklärung wohl für die Bequerelschen Farbenbilder zuträffe, nicht aber für die Papierbilder Seebecks, Poitevins usw. Er zeigte, daß beim

Bequerelschen Verfahren mit Silberplatten und homogenen Schichten von chlorürhaltigen Silberchlorid stehende Wellen im Vereine mit sogen. Körperfarben zur Wirkung gelangen, während bei Seebecks und Poitevins Bildern die Farben reine Körperfarben sind. Die Richtigkeit von Zenkers Theorie wurde auch durch die ausgezeichneten Versuche Lippmanns erwiesen, welche letztere Versuche uns der vollkommenen Lösung des Problems der Photographie in natürlichen Farben um einen bedeutenden Schritt näher gebracht haben.

Zenker sagte: „Wenn man die Farben dieser photochromischen Platten (der Bequerelschen Platten) wirklich nur für Farben dünner Blättchen, deren Färbung von der Dicke des veränderten Chlor Silberhäutchens abhänge, ansehen dürfte, so wäre das Gelingen des Bildes in den richtigen Farben nur ein Zeichen der Sorgfalt, mit der der Experimentator den richtigen Zeitpunkt wahrgenommen hätte, denn vorher wie nachher müßten die Farben sich ändern.“

„Anders läge die Sache, wenn sich nachweisen ließe, daß die unter verschiedenen Farben entstehenden dünnen Blättchen für jede Farbe eine bestimmte Dicke von Anfang an haben und immer behalten müssen, eine Dicke, die für jede Farbe eine ihrer Wellenlänge entsprechende wäre. Alsdann würden die entstehenden Farben konstant sein müssen, aber es würde weniger darauf ankommen, die Farben des Bildes für Farben dünner Blättchen zu erklären, als vielmehr nachzuweisen, auf welchem Wege diesen dünnen Blättchen ihre konstante Dicke gegeben wurde.“

Zenker gab also der Frage eine andere Gestalt. Er sagte nicht mehr: „wie entstehen die identischen Farben“, sondern: „wie entstehen Blättchen von einer der Wellenlänge jeder einzelnen Farbe entsprechenden Dicke?“ und beantwortete diese Frage in einer Weise, die genügt, die Erscheinungen, welche bei den Versuchen Bequerels auftreten, zu erklären.

Ich will die von Zenker aufgestellte Theorie hier einer eingehenderen Besprechung unterziehen, was um so mehr Berechtigung hat, als diese Theorie ja die Grundlage für das photochromische Verfahren des Franzosen Lippmann bildet.

1) W. Zenker, Lehrbuch der Photochromie, Berlin 1868.

2) Ann. Phys. u. Chem., Neue Folge, Bd. 55, S. 225.

Nach der heute allgemein als gültig angenommenen „Undulationstheorie“ findet sich überall im Raume ein unendlich feiner imponderabler Stoff, den wir mit dem Namen „Lichtäther“ bezeichnen. Durch einen leuchtenden Körper werden nun die einzelnen Äthertheilchen in Schwingungen versetzt, welche Schwingungen sich mit großer Geschwindigkeit (300000 km in der Sekunde)<sup>1)</sup> fortpflanzen. Die Lichtstrahlen selbst bestehen also aus sehr kleinen Wellen, welche mit ungemein großer Geschwindigkeit den Lichtäther durchziehen und in unserem Auge, indem sie die lichtempfindliche Netzhaut desselben treffen, die Empfindung des Lichtes hervorufen.

Die einzelnen Lichtätherwellen haben eine gewisse Ähnlichkeit mit den Wellen, welche sich auf der Oberfläche eines stillstehenden Gewässers bilden. Wie bei diesen die einzelnen Wasserteilchen auf und ab vibrieren und ihre gegenseitige Lage in jedem Augenblick eine Wellenhöhe darstellt, so entstehen auch die Wellen des Lichtäthers durch einfaches Hin- und Herbewegungen der einzelnen Äthertheilchen. Die Lichtwellen werden in analoger Weise, wie dies bei den Wasserwellen der Fall ist, wenn sie auf eine Wand anprallen, von einer spiegelnden Fläche zurückgeworfen und schreiten sodann ebenso wie diese nach einer anderen bestimmten Richtung fort. Freilich ist der Vergleich kein ganz zutreffender, wenn man bedenkt, daß die Wasserteilchen dem Gesetze der Schwerkraft unterworfen sind und daher nur in einer durch diese bedingten Richtung zu schwingen vermögen, während bei den Äthertheilchen, welche sich im ganzen weiten Weltraume vorfinden und imponderabel sind, das Vibrieren nicht nur in einer einzelnen Ebene, sondern in allen Ebenen, welche sich durch die Richtung eines Licht-

strahles legen lassen, stattfindet. Die Größe dieser Vibrationen selbst ist im Verhältnisse zur Länge der Lichtwellen eine verschwindend kleine.

Wenn man einen weißen Lichtstrahl ein dreiseitig geschliffenes Glasprisma passieren läßt, bemerkt man im austretenden Licht eine Anzahl von farbigen Strahlen, welche, auf einer weißen Fläche aufgefangen, ein farbiges Band darstellen, in dem die Farben in einer gewissen Reihenfolge angeordnet erscheinen: Rot, Orange, Gelb, Grün, Grünblau, Indigoblau, Violett. Wir nennen dieses farbige Band „Spektrum“. Je mehr man die weiße Fläche dem Prisma nähert, desto undeutlicher werden die Farben, bis dieselben endlich, wenn man mit der Fläche ganz nahe an das Prisma herantritt, in Weiß übergehen; umgekehrt treten die Farben, je weiter man die weiße Fläche vom Prisma entfernt, desto deutlicher hervor. Aus diesem Verhalten kann man den Schluß ziehen, daß der weiße Sonnenstrahl durch das Prisma in eine Anzahl farbiger Strahlen zerlegt wurde, welche dadurch, daß dieselben verschieden stark von der Richtung des weißen Strahles abgelenkt erscheinen, dem Auge sichtbar werden, während sie, miteinander vereinigt, den Eindruck des „Weiß“ auf das Sehorgan hervorbringen.

Worin liegt aber der Unterschied in der Farbe der einzelnen Lichtstrahlen, wie selbe durch Zerlegung des weißen Lichtes mit Hilfe eines Glasprismas erhalten werden?

Betrachten wir die den einzelnen farbigen Strahlen des Spektrums entsprechenden Lichtwellen etwas näher, so werden wir finden, daß die zwar an und für sich außerordentlich kleinen Wellenlängen für die verschiedenen Farben dennoch verschieden sind. Die Tabelle auf S. 12 gibt die Wellenlängen und die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde für die verschiedenen farbigen Lichtstrahlen.

<sup>1)</sup> Nach Michelson (1879) beträgt die Geschwindigkeit des Lichtes 299820 km.

Wellenlänge des Lichtes,  
ausgedrückt in  $\mu\mu$  ( $\approx$  Millimeter Millimeter) für die wichtigsten  
Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum.

Farbe	Wellenlänge	Entsprechendes Element	Schwingungszahl in Billionen	Farbe	Wellenlänge	Entsprechendes Element	Schwingungszahl in Billionen	
Infrarot	Grenze bei etwa 2700,00		111	Violett	H	410,184	H	
	$\gamma$	1899,04	334		H	396,861	Ca	731
	$\delta$	1898,65	334		A	393,385	Ca	763
	$\epsilon$	880,61	341		Z	382,056	Fe	785
	$\zeta$	866,14	346		M	372,778	Fe	805
	$\eta$	854,18	351		N	358,132	Fe	838
	$\theta$	819,70	353		O	344,107	Fe	872
	$\iota$	822,64	365		P	344,069	Fe	872
	$\kappa$	759,397	395		Q	336,130	Ca	893
	$\lambda$	686,738	437		R	328,687	Fe	913
Grenze des Orange	$\mu$	656,296	457	Übergangviolett	S	318,030	Fe	943
	$\nu$	589,608	509			310,077	Fe	968
	$\xi$	589,013	509			310,038	Fe	968
	$\sigma$	527,043	569			310,004	Fe	968
	$\tau$	526,065	569			302,115	Fe	993
	$\upsilon$	518,373	579			302,070	Fe	993
	$\phi$	486,133	617			291,800	Fe	1018
	$\chi$	486,133	617			291,777	Fe	1018
	$\psi$	430,796	696					

Wie aus dieser Tabelle ersichtlich ist, wächst die Schwingungsgeschwindigkeit vom Rot gegen das Violett, während die Wellenlängen abnehmen. Damit steht auch, wie uns eine einfache Betrachtung des Spektrums zeigt, die Brechbarkeit der einzelnen farbigen Strahlen in innigem Zusammenhange. Wenn ein weißer Lichtstrahl ein Prisma passiert, werden alle farbigen Komponentenstrahlen von der Richtung des ursprünglichen Strahles abgelenkt, die geringste Ablenkung erfahren hierbei die Strahlen von großer Wellenlänge und geringer Geschwindigkeit; die Ablenkung wächst mit der Geschwindigkeit und der Abnahme der Wellenlänge vom roten gegen das violette

Ende des Spektrums. Die Grenze des sichtbaren Teiles des Spektrums im brechbareren Bezirke befindet sich bei der Wellenlänge von  $\lambda = 396 \mu\mu$ ; darüber hinaus sind die Strahlen nicht mehr sichtbar. Man nennt diesen letzteren für unser Auge nicht mehr wahrnehmbaren Teil des Spektrums das „Ultraviolett“; die für das Auge gleichfalls nicht mehr wahrnehmbaren Strahlen oberhalb der Fraunhoferschen Linie A werden als ultra- oder infrarote Strahlen bezeichnet.

Setzt man in einem geeigneten Apparate eine photographische Platte der Wirkung des Sonnenspektrums aus, so wird man bemerken, daß das Maximum der Lichtwirkung im brechbareren Teile liegt, während die Wirkung nach dem roten Ende des Spektrums zu rasch abnimmt, die chemische (photographische) Wirkung der Lichtstrahlen nimmt also mit der Geschwindigkeit der Lichtätherschwingungen zu.

Aus der geschilderten Wellenbewegung des Lichtes lassen sich noch eine Reihe von Erscheinungen erklären, so unter anderem auch, daß dünne Kristallplättchen, Seifenblasen usw. unter Umständen prächtige Farbenerscheinungen zeigen, ferner die Erscheinung, welche sich zeigt, wenn ein schwach konvex geschliffenes Glas auf ein plattes gepreßt wird, wobei verschiedenfarbige Ringe, welche wir mit dem Namen der „Newton'schen Farbringe“ bezeichnen, auftreten. Da Zerkler mit Hilfe dieser Erscheinungen der Interferenzphänomene die Entstehung der Farben auf Bequerels Platten zu erklären suchte, wollen wir auf das Zustandekommen derselben hier etwas näher eingehen.

Bei jedem Lichtstrahle schwingen die einzelnen Äthertheilchen immer an derselben Stelle, in derselben Ebene, nur ihre Lage zueinander, die wellenförmige Anordnung, ändert sich. Die fortschreitenden Lichtwellen sind nun dadurch gekennzeichnet, daß alle Äthertheilchen

in der Richtung eines Strahles die gleiche Bewegung durchmachen (siehe Fig. 1), was in der Weise geschieht, daß die gleichen Ätherteilchen zu verschiedenen Zeiten ihre (gleichgewichtslage) passieren und sich demzufolge auch zu verschiedenen Zeiten an den einzelnen Punkten ihrer Bahn, z. B. an der Spitze eines Wellenberges oder -tales, befinden müssen (Fig. 2).

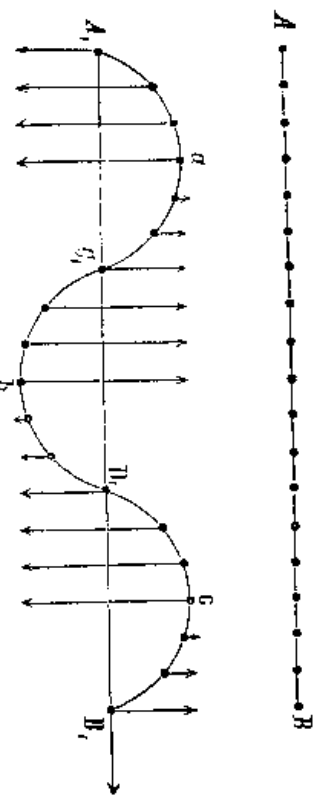


Fig. 1.  $A, B$ , obererwähnte Fortbewegungsrichtung;  $A_1, a, C_1$  Wellenberg;  $a, b, D_1$  Wellental;  $A_1, B_1$  ganze Wellenlänge;  $a_1, C_1, D_1 =$  halbe Wellenlänge; Abstand der Teilchen  $a, b, n, c$  von  $A_1, B_1 =$  Amplitude.

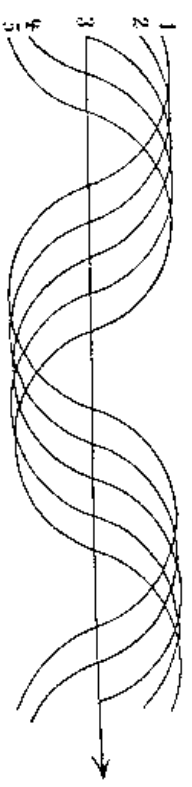


Fig. 2.

Wenn wir uns nun die Frage stellen: wie wirken solche Lichtwellen aufeinander ein und welcher Art wird das Ergebnis dieser Einwirkung (Interferenz) sein?, so ergibt sich die Antwort aus der Betrachtung solcher Wellenzüge, wobei wir vorläufig nur einfaches Licht ins Auge fassen wollen.

Angenommen, die beiden Wellenzüge hätten die gleiche Richtung, so können dieselben dann derart aufeinander treffen, daß Wellenberg auf Wellenberg und Wellental auf Wellental fällt; die Wellenzüge haben dann

entweder gar keinen Gangunterschied (Fig. 3. I und II), oder einen solchen von einer geraden Anzahl von halben Wellenlängen (Fig. 3, I und III oder I und IV). In diesen Fällen stimmen die Wellenzüge in ihren Phasenzuständen überein, sie addieren sich in ihrer Wirkung, es muß also eine Verstärkung der Lichtwirkung eintreten, und zwar ist der resultierende Lichteffect

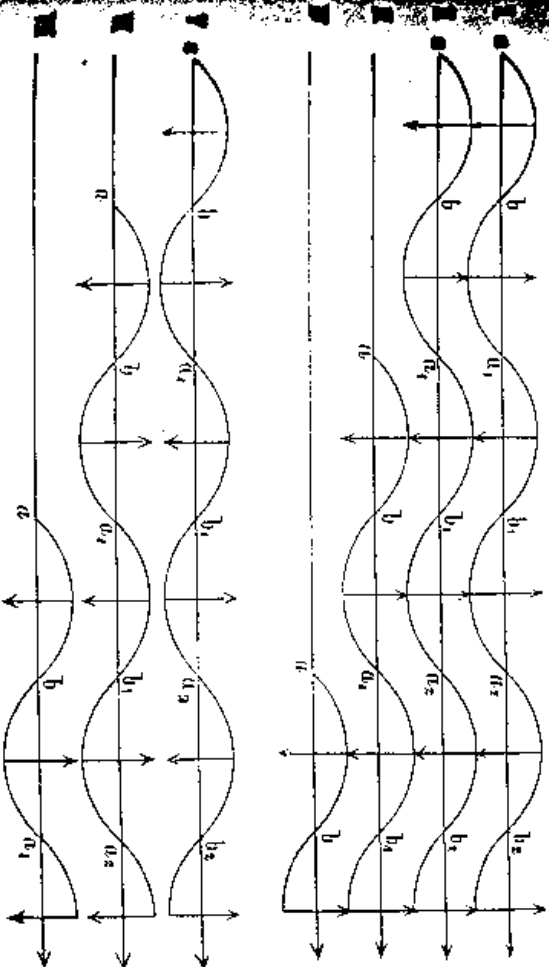


Fig. 3.

gleich der Summe der Lichtwirkung der beiden Wellenzüge.

Stoßen jedoch die beiden Wellenzüge derart aufeinander, daß Wellenberg auf Wellental und Wellental auf Wellenberg fällt (Fig. 3, Nr. V und VI. oder V und VII), dann stimmen sie in ihren Phasenzuständen nicht überein, der Gangunterschied wird in dem Falle eine ungerade Anzahl von halben Wellenlängen betragen und die Lichtwirkung wird gleich der Differenz der Lichtwirkungen beider Wellenzüge sein. Die Ätherteilchen werden also zur Ruhe kommen, d. h. der Lichtstrahl wird erlöschen.

Anders stellt sich die Sache, wenn die beiden Wellenzüge entgegengesetzte Fortpflanzungsrichtungen haben. Gelangen z. B. zwei Wellenzüge derart zur Interferenz, daß ihre Nischen und die Schnittpunkte derselben ineinanderfallen (der Lichtstrahl in sich selbst reflektiert wird), dann tritt jene Erscheinung auf, welche der Physiker mit dem Namen „stehende Wellen“ bezeichnet. Die Fortpflanzungsrichtungen heben sich gegenseitig auf. Die Ätherteilchen verlieren im Augenblicke der Interferenz ihre lebendige Kraft, ihre gegenseitige Lage stellt eine Wellenlinie mit entsprechender Interferenzamplitude der einzelnen Teilchen dar (Fig. 4).

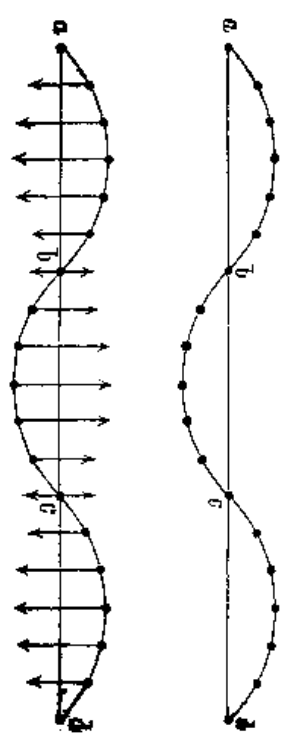


Fig. 4.

Alle jene Ätherteilchen, welche sich zufällig in der Gleichgewichtslage befinden, haben keinen Anlaß, dieselbe zu verlassen (Schwingungsknoten Ruhepunkte), während die zwischen denselben befindlichen Ätherteilchen alle gleichzeitig pendelartig in dieselbe zurückschwingen und ihren Weg in entgegengesetzter Richtung fortsetzen. Die Kräfte, welche ein Teilchen durch das Zurückschwingen gewinnt, und damit auch die Amplitude, wird um so größer sein, je größer der Weg zur Ruhelage ist.

Die Amplitude und Intensität der Bewegung wird daher am größten in der Mitte zwischen zwei Schwingungsknoten sein und gegen dieselben hin abnehmen (Fig. 4, die zwischen zwei Knotenpunkten befindliche Strecke heißt „stehende Welle“).

An den Ruhepunkten *a, b, c, d* beträgt der Wegunterschied des kommenden und des reflektierten Strahles eine ungerade Zahl halber Wellenlängen. Für die dort liegenden Ätherteilchen ist der Antrieb nach der einen Seite ebenso groß wie der Antrieb nach der anderen Seite, und sind diese Punkte je eine halbe Wellenlänge voneinander entfernt. Kennen wir daher die Lage eines dieser Punkte, Knotenpunkte, so finden wir leicht jene der anderen Ruhepunkte und erhalten in der Weise ein System von Ruhepunkten, zwischen denen die Schwingungen der Ätherteilchen gleichmäßig lebhaft vor sich gehen; am stärksten sind diese Schwingungen in der Mitte zwischen je zwei Knotenpunkten (Bäuche), denn hier sind beide von den Wellensystemen ausgeübte Impulse stets im gleichen Sinne gerichtet. Die Wirkungen müssen sich daher addieren, wie die dort viel höher ansteigenden Wellenlinien beweisen. Diese Punkte größter Oszillation, welche wir Maximumpunkte nennen wollen, haben natürlich untereinander Abstände von einer halben Wellenlänge.

Die chemische Wirkung der einzelnen farbigen Lichtstrahlen ist, wie bereits erwähnt wurde, abhängig von ihrer Wellenlänge, resp. von der Schwingungsdauer. Sie nimmt gegen das violette Ende des Spektrums hin zu und ist am geringsten im roten Teile. Wenn man nun berücksichtigt, daß alle farbigen Strahlen des Spektrums chemisch wirksam sind, so werden dieselben, wenn deren Wellen in einen lichtempfindlichen Körper eindringen, bei gleicher Intensität in gleicher Weise wirken müssen. Jeder Strahl, von welcher Wellenlänge er sein möge, muß aber, wenn er eine lichtempfindliche Schicht passiert, nacheinander die sämtlichen Teilchen, welche auf seinem Wege liegen, eins wie das andere, in Bewegung setzen und hierbei in gleicher Weise verändern. So kann also wohl eine allgemeine Nachdunklung, Färbung oder ein Ausbleichen erfolgen, aber diese Wirkung muß bei allen

farbigen Strahlen dieselbe sein. Eine Unterscheidung der Farben ist hierbei undenkbar.

Die Sachlage verändert sich aber sofort, wenn den eintretenden Strahlen auch wieder austretende von derselben Art entgegenkommen, d. h. wenn wir den Umstand ins Auge fassen, daß bei allen photographischen Prozessen die kommenden Strahlen auch wieder reflektiert werden. In diesem Falle begegnen sich also zwei Wellensysteme gleicher Art, und es tritt die Bildung von stehenden Wellen auf.

Die Entstehung der Farben in der Silberchlorürschicht der Bequerel'schen Platten erklärt nun Zenker, auf Grund der Bildung stehender Wellen in der lichtempfindlichen Schicht infolge Reflexion der Unterlage, in folgender Weise: Die chemische Einwirkung der farbigen Strahlen findet vorerst dort statt, wo das Maximum der Bewegung vorhanden ist, also in den Maximumpunkten, von denen sie nach beiden Seiten hin sich ausbreitet, während in den Nullpunkten der stehenden Wellen gar keine Veränderung des Silberchlorüres eintritt. Zenker nimmt an, daß der bei Veränderung des Silberchlorüres auf den Bequerel'schen Platten unter dem Einflusse des farbigen Lichtes ausgeschiedene Körper jedenfalls kräftig reflektiert, und es ist natürlich, daß in diesem Falle die glänzenden Keilchen in einem Systeme von Ebenen ausgeschieden werden, deren Abstand voneinander einer halben Wellenlänge des jeweilig einwirkenden farbigen Lichtstrahles entspricht.

Wie soll nun aber die Verschiedenheit in der Lagerung der ausgeschiedenen glänzenden Partikelchen bewirken, daß die verschiedenen Teile des Bildes farbig erscheinen, und zwar immer in jenen Farben, von denen sie zuvor beleuchtet wurden?

Dieses erfolgt notwendig, wenn das Bild von weißem Lichte bestrahlt wird, und beruht auf demselben Vorgange, wie das Erscheinen der Farben dünner Blättchen.

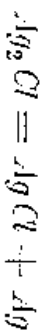
Betrachten wir zu dem Behufe Strahlen von identischer Wellenlänge. Indem dieselben von allen Schichten dieser Silberpunktketten her zurückgeworfen werden, beträgt der Gangunterschied der Strahlen, die von zwei aufeinanderfolgenden spiegelnden Punktschichten reflektiert werden, zwei halbe Wellenlängen. Sie werden also, nachdem sie das System der Punktschichten verlassen haben und dem Auge zufließen, den Ätherteilchen übereinstimmende Impulse geben. Solche Strahlen addieren, wie erwähnt, ihre Wirkungen und werden daher die Farbe von der betreffenden Wellenlänge kräftig zum Ausdruck bringen.

Für die übrigen Strahlen des weißen Lichtes, welche eine größere oder kleinere Wellenlänge haben, wird der Gangunterschied der von zwei aufeinanderfolgenden Punktschichten reflektierten Strahlen größer oder kleiner sein als eine Wellenlänge des identischen Strahles, sie werden daher nicht in übereinstimmenden Phasen zurückkehren. Wo die einen schon emporsteigen, steigen die anderen noch herab: solche Strahlen schwächen einander und werden sich, wenn die Anzahl der reflektierenden Schichten und damit die Phasendifferenz der einzelnen Strahlen nur groß genug ist, sogar völlig auslöschen. Es bleiben also von sämtlichen Farbenstrahlen des weißen Lichtes nur jene übrig, deren Wellenlänge mit der jener Strahlen übereinstimmt, welche die Punktschicht erzeugt haben. — Man wird also überall die identische Farbe sehen.

Daß diese Farben am Lichte nicht haltbar sein können, geht aus dem Gesagten wohl klar hervor, da eben den voränderten, die Lamellen darstellenden Partikelchen noch Silberchlorür vorhanden ist, welches sich am weißen Lichte schwärzt und dadurch das farbige Bild vernichtet.

Eine Fixage, wie sie bei gewöhnlichen photographischen Bildern üblich ist, gelingt bei diesen Bildern aus dem Grunde nicht, weil das Silberchlorür beim Behandeln mit

Fixiration in Silberchlorid und metallisches Silber zerfällt nach der Gleichung



und nur das Silberchlorid gelöst wird, während das ausgeschiedene Silber die gesante Schicht unregelmäßig durchsetzt. Es verschwindet das Bild daher beim Fixieren und es hinterbleibt nur eine allgemeine Trübung des Mediums.

Die Existenz der stehenden Lichtwellen wurde, obwohl durch die Theorie längst sichergestellt, erst durch eine vorzügliche Arbeit von O. Wiener in Stralburg<sup>1)</sup> auf experimentellem Wege bewiesen, indem derselbe die abwechselnden Ruhe- und Maximumpunkte auf photographischem Wege direkt aufgenommen hat, freilich ohne auf die Wiedergabe der Farben Rücksicht zu nehmen.

Was die Erklärung des Entstehens der Farben bei mit Silberchlorür präparierten Papieren anbelangt, so wies O. Wiener, wie bereits erwähnt, nach, daß die Farben in diesem Falle reine Körperfarben seien. Das Entstehen dieser Körperfarben im Lichte läßt sich in folgender Weise erklären<sup>2)</sup>: Eine lichtempfindliche Substanz kann nur durch jene Farbenstrahlen verändert werden, welche sie absorbiert. Es wird daher z. B. ein lichtempfindlicher roter Körper durch alle Strahlen, außer den roten, eine Veränderung erleiden, ein lichtempfindlicher gelber oder blauer Stoff bei Einwirkung gelber bezw. blauer Strahlen intakt bleiben. Wenn daher eine lichtempfindliche Substanz die Fähigkeit hat, bei Einwirkung von Licht verschiedene Farben anzunehmen, so wird sie sich unter dem Einflusse der roten, gelben, grünen usw.

1) Wiedemanns Ann. Phys. u. Chem. Bd. 40, 1869, S. 205.

2) Vergl. O. Wiener, Annal. d. Phys. u. a. O., ferner Eders Jahrb. f. Photogr. 1896, S. 55 — v. Hübl, Die Farbenphotographie mit Hilfe des Ausbleichverfahrens (Photogr. Korresp. 1904, S. 103).

Strahlen so lange verändern, bis sie an der betreffenden Stelle rot, gelb, grün usw. geworden ist, dann werden die Farben auch bei weiterer Belichtung stehen bleiben. Dem Polierinschen Silberbild kommt diese Eigenschaft zu, wodurch sich das Zustandekommen der Farben desselben erklären läßt, aber alle diese Silberphotochromien sind unfixierbar, weil die Fixiermittel die Farben zerstören.

Beide Prinzipie, sowohl das auf der Interferenz beruhende, als das der „Farbenanpassung“, liegen neueren Verfahren zur Herstellung von Photochromien zugrunde. Diese Verfahren, die „Interferenzmethode“ und das „Ausbleichverfahren“, gestatten, mit einer einzigen Belichtung Bilder in Naturfarben herzustellen. Beide sollen im folgenden behandelt werden, und an dieselben anschließend soll ein Verfahren, welches gleichfalls gestattet, mit einer einzigen Aufnahme Bilder in naturtreuen Farben herzustellen, das Verfahren der Photographie mit Farbrasterplatten, zur Besprechung gelangen.



# I.

## Photochromie mittels der Interferenzmethode: Gabriel Lippmanns Verfahren.

Im Februar 1891 ging die Nachricht durch alle Tagesblätter, daß es dem französischen Physiker Professor Dr. Gabriel Lippmann in Paris gelungen sei, das Spektrum photographisch in seinen natürlichen Farben dauernd und haltbar abzubilden.

Der Bericht Lippmanns<sup>1)</sup> über seine Erfindung an die Pariser Akademie der Wissenschaften vom 2. Februar 1891 lautet wie folgt:

„Ich habe mir die Aufgabe gestellt, auf einer photographischen Platte das Bild des Spektrums mit seinen Farben zu erhalten, und zwar derart, daß dieses Bild fixiert bleibt und, ohne eine Veränderung zu erleiden, dem Tageslichte ausgesetzt werden kann.“

„Ich konnte diese Aufgabe lösen, indem ich mit solchen lichtempfindlichen Substanzen, Fotowicklern und Fixiermitteln arbeitete, wie selbe in der Photographie üblich sind, und indem ich einfach die physikalischen Bedingungen des Verfahrens änderte. Die wesentlichen Bedingungen, um die Farben in der Photographie zu erhalten, sind der Zahl nach zwei: 1. Kontinuität der lichtempfindlichen Schicht, und 2. Vorhandensein einer reflektierenden Fläche im Kontakte mit dieser Schicht.“

„Ich verstehe unter Kontinuität die Abwesenheit von Korn; es ist nötig, daß das Jodsilber, Bronnsilber usw. im Inneren einer Schicht von Albumin, Gelatine oder irgend einer anderen durchsichtigen und indifferenten Materie verteilt sei, in gleichmäßiger Weise und ohne Körner zu bilden, die, wenn auch

nur im Mikroskope, sichtbar wären; sind Körner vorhanden, so müssen dieselben von so geringen Dimensionen sein, daß diese im Vergleich zur Länge einer Lichtwelle vernachlässigt werden können.“

„Die Anwendung von grobkörnigen Emulsionen, wie solche heute gebräuchlich sind, ist daher ausgeschlossen. Eine kontinuierliche Schicht ist durchsichtig bis auf eine gewöhnlich vorhandene leichte bläuliche Opaleszenz. Ich habe als Träger des Albumin, das Kolloidum und die Gelatine verwendet, als lichtempfindliche Stoffe Jodsilber und Bronnsilber, alle diese Kombinationen geben gute Resultate.“

„Die trockene Platte ruht auf einem hohlen Rahmen, in dem man Quecksilber gießt; dieses Quecksilber bildet eine reflektierende Oberfläche unmittelbar an der lichtempfindlichen Schicht.“

„Die Belichtung, die Entwicklung, die Fixierung wird gemacht, wie wenn man ein schwarzes Negativ des Spektrums erhalten wollte, aber das Resultat ist ein anderes: wenn nämlich die Platte fertiggestellt und getrocknet ist, erscheinen die Farben.“

„Die erhaltene Platte ist negativ in der Durchsicht, d. h. jede Farbe ist durch ihre Komplementärfarbe dargestellt. Im auffallenden Lichte ist sie positiv und man sieht die Originalfarbe, die man sehr brillant erhalten kann. Um also ein Positiv zu erhalten, muß man das Bild derart entwickeln und sogar verstärken, daß der photographische Niederschlag eine helle Farbe bekommt, was man, wie bekannt, durch Anwendung von sauren Flüssigkeiten erzielt.“

„Man fixiert mit unterschwelligsaurem Natron und wäscht vorfärlig: ich habe beobachtet, daß dann die Farben dem stärksten elektrischen Lichte widerstehen.“

„Die Theorie des Verfahrens ist sehr einfach: das einfallende Licht, welches das Bild in der Kamera erzeugt, interferiert mit dem vom Quecksilber reflektierten Lichte. Es bildet sich infolgedessen im Inneren der lichtempfindlichen Schicht ein System von Fransen, nämlich leuchtende Maxima und dunkle Minima. Die Maxima allein wirken auf die Schicht; infolge der photographischen Operationen bleiben diese Maxima durch mehr oder weniger reflektierende Silberniederschläge, welche deren Platz einnehmen, bezeichnet. Die empfindliche Schicht wird durch diese Niederschläge in eine Reihe von dünnsten Lamellen zerlegt, die zur Dicke den Zwischenraum haben, der

<sup>1)</sup> Compt. rend. de l'Academie des Sciences 1891, S. 274 ff.

zwei Maxima trennte. Diese dünnsten Plättchen haben also genau die notwendige Dicke, um im auffallenden Lichte die einfallende Farbe wiederzugeben.“

„Die auf der Platte sichtbaren Farben sind also von derselben Art wie jene der Seifenblasen, sie sind nur viel reiner und brillanter, namentlich dann, wenn die photographischen Operationen einen gut reflektierenden Niederschlag ergeben haben. Das kommt daher, daß sich in der Dicke der lichtempfindlichen Schicht eine große Anzahl von dünnsten, übereinanderliegenden Plättchen bildet, ungefähr 200, wenn die Schicht  $\frac{1}{50}$  mm Dicke hat. Aus denselben Gründen ist auch die Farbe um so reiner, je größer die Zahl der reflektierenden Schichten ist. Diese Schichten bilden in der That eine Art von Gitter nach der Tiefe, und aus demselben Grunde, wie in der Theorie der Gitter im auffallenden Lichte, nimmt die Reinheit der Farben mit der Zahl der spiegelnden Elemente zu.“

Die gewöhnlichen Bromsilbergelatineplatten des Handels eignen sich, wie bereits erwähnt wurde, nicht für die Durchführung des Lippmannschen Verfahrens. Betrachtet man eine solche Platte unter dem Mikroskope, so wird man leicht die einzelnen Körnchen Bromsilber, wie selbe in der Gelatine verteilt sind, zu erkennen vermögen<sup>1)</sup>. Diese Platten entsprechen also nicht der einen Grundbedingung zum Gelingen des Verfahrens, nämlich: Kontinuität der Schicht. Aus demselben Grunde ist das nasse Verfahren und die Bromsilberkollodiumemulsionen

1) Bei normalen Bromsilbergelatineplatten, wie sie die Trockenplatten des Handels ergeben, beträgt die Korngröße 0,003 bis 0,004 mm, während die Lippmannsche Theorie verlangt, daß, wenn z. B. Blau wiedergegeben werden soll, die Korngröße gegenüber der Wellenlänge der blauen Lichtstrahlen (0,000486 bis 0,000430 mm) verschwindend klein sein soll. Es könnte also selbst jene Jämsdson, welche man erhält, wenn Bromsilber bei Gegenwart von sehr viel Leim gefällt wird, und welche nach den Messungen von Eder (Photogr. Korresp. 1880, S. 310) Silberausscheidungen von 0,0008 bis 0,0015 mm gibt, nicht zur Wiedergabe der Farben benutzt werden.

des Handels zur Herstellung Lippmannscher Photochromien nicht brauchbar. Lippmann verwendete deshalb zu diesem Zwecke Platten, welche er mit Hilfe eines alten photographischen Verfahrens, das von Jaupont vor mehr als 50 Jahren zuerst beschrieben wurde, erhielt. Dieses Verfahren besteht darin, daß man eine Glasplatte mit Kollodium überzieht, welches im Silbernitratbade empfindlich gemacht wird, dann wird die Platte abgespült, mit gewöhnlichem jodierten Eiweiß überzogen und trocken gelassen. Die trockenen Platten erhalten einige Tage vor dem Gebrauch ein neues Silberbad, wodurch sie erst ihre nennmehr genügende Empfindlichkeit erlangen.

Diese Trockenplatten sind sehr feinkörnig, aber gegenüber unseren gewöhnlichen Trockenplatten sehr unempfindlich. Lippmann benutzte daher später an Stelle des Jodsilbers Bromsilber. Er verwendete<sup>1)</sup> statt des jodierten Eiweißes eine Albuminlösung, welche  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{2}{3}$  % Bromkalium enthält und badete die trockenen Platten während 2 Minuten in einer aus Wasser (100), Silbernitrat (10) und Essigsäure (10) bestehenden Lösung.

Auch diese Platten waren nicht sehr empfindlich, und zeigten dabei, wie alle anderen Bromsilberplatten, das Maximum ihrer Empfindlichkeit im Blau, während sie sich für die gelben und noch mehr für die orangefarbenen Strahlen unempfindlich erwiesen. Um dieselben für die genannten Strahlen empfindlich zu machen, wurden sie vor dem Gebrauch in einer wässrigen Zyaninlösung (1 : 25 000) kurze Zeit gebadet.

Was den zweiten Punkt, nämlich die Anbringung einer reflektierenen Fläche hinter der empfindlichen Schicht anbelangt, so löste Lippmann diese Frage in der Weise, daß er die lichtempfindliche Schicht der Platten während der Exposition auf einer Quecksilberschicht aufliegen ließ.

1) Siehe Eders Jahrb. f. Photogr. 1893, S. 321.

Die Kasette, deren sich Lippmann ursprünglich hierzu bediente, ist in Fig. 5 (1) dargestellt; *O* bedeutet

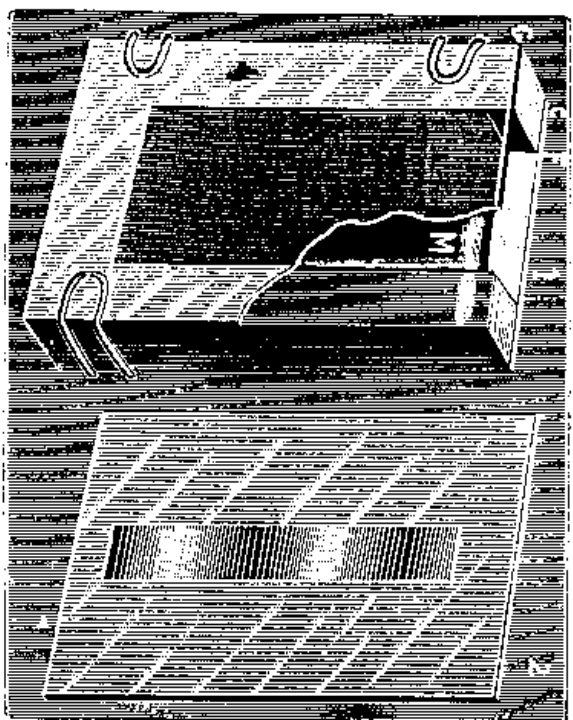


Fig. 5.

die sensibilisierte Platte, aufgestellt vor einer Schicht Quecksilber, Fig. 5 (2) ist eine Skizze des Spektrums in natürlicher Größe. *M* bedeutet das Quecksilber, *C'* ein auf-

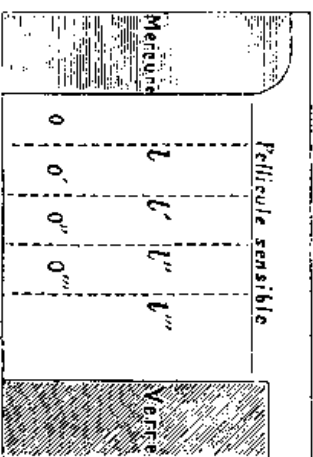


Fig. 6.

naturlicher Größe. *M* bedeutet das Quecksilber, *C'* ein auf-eisenförmiges Stück Kant-schuk. Die rückwärtige Tadel dient nur, um das Behältnis abzuschließen. Fig. 6 ist ein schematisches Bild der Zeichnung und zeigt links das Quecksilber (mercur), rechts das Glas (verre), dazwischen die sehr vergrößerte empfindliche Schicht, ideal in Teile zerlegt. Die Lichtwellen, welche von dem Quecksilberspiegel zurückgeworfen werden, durchschneiden sich in kürzeren oder längeren Zwischenräumen, je nach ihrer Länge, und heben sich an diesen Punkten auf

Die Anordnung des Spektralapparates samt Kamera ist aus Fig. 7 ersichtlich 1).

Dieser bestand aus der Bogenlampe *L*, dem beweglichen Spalt *K*, der Linse *A*, dem Prisma à vision directe *P*, welches die Zerlegung des Lichtes bezweckt, und der Kamera *C*, welche das photographische Objektiv *O* und die Kasette *E* mit der empfindlichen Platte enthält.

Wichtig für das gute Gelingen des Versuches ist die genaue Einhaltung der richtigen Expositionszeit; um zu jeder Zeit eine gleiche Lichtquelle zu haben, benutzte Lippmann daher statt des Sonnenlichtes eine elektrische Bogenlampe von 800 Kerzen Helligkeit.

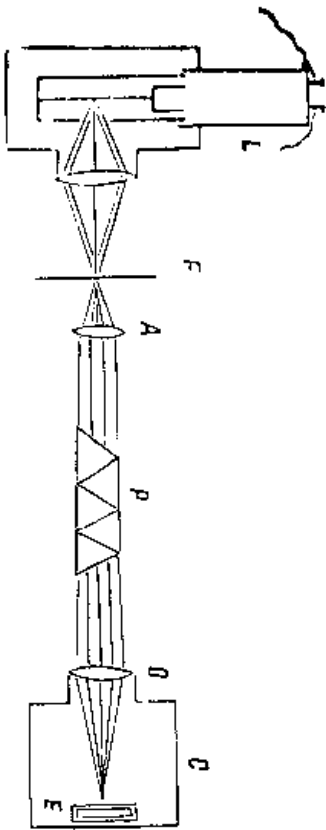


Fig. 7.

Was die Entwicklung der Platten anbelangt, so verwendete Lippmann hierfür sowohl saure als alkalische Entwickler. Der erstere besteht aus einer einprozentigen Pyrogalllösung; es ist nach den Angaben Lippmanns vorteilhaft, mit diesen Entwickler die Hervorbringung einzuleiten und dieselbe mit dem zweiten, einer schwachen ammoniakalischen Pyrogalllösung, welche einen Zusatz von Bromkalium erhielt, zu beendigen. Man erhält in diesem Falle sehr weiße Silberniederschläge, was für das Gelingen des Versuches von hohem Werte ist. Die entwickelte Platte wird gut abgespült und mit einer

1) A. Berget, Photographie des couleurs, Paris 1891, S. 44.

Lösung von Natriumhyposulfit (150 g) in Wasser (1000 cem) behufs Fixierung behandelt. Die Fixage geht bei der dünnen Schicht sehr rasch vor sich. Die gewaschene Platte wird nun zum Trocknen hingestellt, und es erscheinen nach dem völligen Trocknen die Farben im auffallenden Lichte bei einer gewissen Stellung der Platte sehr rein<sup>1)</sup>.

Die Versuche Lippmanns machten großes Aufsehen und wurden von vielen Seiten wiederholt. Von den Experimentatoren, welche Lippmanns Versuche mit Erfolg angriffen, sei H. Krone in Dresden zuerst erwähnt, welchem es 1892 gelang, ohne Verwendung des Quecksilberspiegels mit Hilfe des Lippmannschen Verfahrens Photochromien des Sonnenspektrums zu erzielen, indem er an Stelle der spiegelnden Quecksilberschicht die Reflexwirkung an der Innenseite der Glasplatten zur Erzeugung stehender Lichtwellen in der empfindlichen Schicht verwendete<sup>2)</sup>.

1) In den Sammlungen der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien befinden sich zwei Lippmannsche Originalspektren. Dieselben sind von den ersten, welche der Forscher herstellte und an Direktor Eder in Wien sandte; sie zeigen das Spektrum des elektrischen Bogenlichtes. Die Gesamtlänge des Spektrums beträgt etwa 4 cem, und sind die einzelnen Farben bei entsprechender Stellung der Platte recht deutlich sichtbar. Das eine Spektrum zeigt deutlich Rot, Gelb und Grün, während das Blau fehlt; auf dem zweiten Spektrum sind die Farben zwar schwächer zu sehen, aber dasselbe reicht bis in das Violett.

Im durchfallenden Lichte betrachtet, erscheint das Blau des einen Spektrums orange bis braun, das Grün, Gelb und Rot bei einem der Bilder grünschwarz, beim anderen orange bis gelbbraun gefärbt.

2) Krone benutzte hierzu gleichfalls Eiweißplatten und hinterlegte dieselben mit schwarzem Samt, wodurch die reflektierende Wirkung der Glasfläche in erhöhtem Maße zur Geltung kommt. Die auf diese Weise erhaltenen Photochromien

Doch blieben diese Bilder, was deren Brillanz anbetrifft, weit hinter den mittels Quecksilberspiegels hergestellten zurück. Erst weit später, im Jahre 1908, gelang es H. E. Ives, den Quecksilberspiegel dadurch zu ersetzen, daß er eine Glasplatte versilberte, mit einer dicken Lösung von Zaponlack überzog, nach dem Trocknen des Lackes die Platte unter Wasser brachte und die Zelluloidschicht samt dem Silberspiegel vom Glase abzog. Diesen Film legte er mit der Silberschicht auf die (noch nasse) Lippmannplatte und zog die Schicht der letzteren nach dem Trocknen mit diesem Film ab, worauf er die Belichtung in einer gewöhnlichen Kassette vornahm, die Zelluloidschicht abzog, das Bild entwickelte und fixierte. — Im Jahre 1909 beschrieb H. Lehmann<sup>1)</sup> ein Verfahren, welches darin bestand, daß er eine Spiegelglasplatte mit einem Silberspiegel von sehr geringer Stärke versah, und auf diese die Emulsion abzielbar auftrug. Nach der Belichtung wurde die Emulsionsschicht abgezogen und das Bild entwickelt. Auf diese Weise erhielt Lehmann brillante Bilder.

Überhaupt ist Lehmann derjenige, welcher sich in neuester Zeit mit der Interferenzphotographie am intensivsten beschäftigte; ihm verdanken wir eine Reihe von Verbesserungen der Apparate, die Einführung von geeigneten Filtern u. a., von denen im folgenden noch mehrfach die Rede sein wird.

Das Sonnenspektrum, von denen sich eine in den Sammlungen der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien vorfindet, zeigen bei weitem nicht jene Brillanz und Klarheit der Farben, welche den mittels Quecksilberspiegels hergestellten Photochromien eigenümlich ist, doch sind die Farben alle deutlich erkennbar.

1) Interferenzfarbenphotographie mit festem Metallspezrel<sup>1)</sup>; Vortrag, gehalten in der Sitzung d. phys. Abteil. d. 10. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Salzburg.

### Theoretische Betrachtungen

## über das Zustandekommen der farbigen Bilder beim Lippmannschen Verfahren.

Das Lippmannsche Verfahren ist nicht nur ein glänzender Beweis für die Richtigkeit der Zenkerschen Theorie bezüglich des Entstehens der Farben auf den Bequerelschen Platten, sondern es ist auch als eine praktische Nutzanwendung dieser Theorie zu bezeichnen. Die geringe Brillanz und die Nichtfixierbarkeit der Bilder auf den Bequerelschen Platten erklärt sich, wie bereits gesagt wurde, dadurch, daß die Fransenschichten in eine ziemlich undurchsichtige Grundmasse von Silbernitrochlorid eingebettet sind, welche beim Fixieren zerstört wird, was ein Verschwinden der Schichten zur Folge hat, während die nichtfixierten Bilder am Lichte durch allmähliche Schwärzung der Grundmasse, in welcher die Fransenschichten liegen, verschwinden, also nicht haltbar sein können; anders verhält es sich bei den Lippmannschen Bildern, bei denen die Fransenschicht, aus glänzenden Silberteilchen bestehend, in einer unveränderlichen, durchsichtigen Grundmasse liegt, weshalb dieselben haltbar sein müssen.

Wir wollen, bevor wir zur Betrachtung der praktischen Durchführung des Verfahrens von Lippmann übergehen, den Vorgang, welcher bei der Exposition und der späteren Behandlung der Platte, sowie beim Auffallen von weißem Licht auf die Lippmannschen Bilder stattfindet, im Sinne der Zenkerschen Theorie etwas näher beleuchten.

Wie wir gesehen haben, besteht die lichtempfindliche Schicht bei Lippmanns Verfahren aus einer indifferenten lichtdurchlässigen Materie, wie z. B. Albumin, Gelatine usw., in welche das körnige Silberhaloid eingebettet ist. Die Schicht ist mit einem Quecksilberspiegel im Kontakt, und findet die Belichtung durch das Glas hindurch statt (Fig. 8). Trifft also ein farbiger Lichtstrahl, z. B. ein roter, senkrecht zur Platte *G* durch die empfind-

liche Schicht, den dahinter befindlichen Quecksilberspiegel *Q*, so wird derselbe in sich selbst reflektiert. Es werden also bei der Belichtung stehende Lichtwellen im Sinne Zenkers gebildet, und wird die Maximalwirkung in den Schwingungsmaximas stattfinden, während in den Knotenpunkten keinerlei Einwirkung auf die lichtempfindliche Schicht eintreten wird. Bei der späteren Entwicklung werden dort, wo die Maximalwirkung stattgefunden hat, spiegelnde Silberteilchen, „Elementarspiegel“, abgetrennt: beim Fixieren bleiben diese Teilchen in der

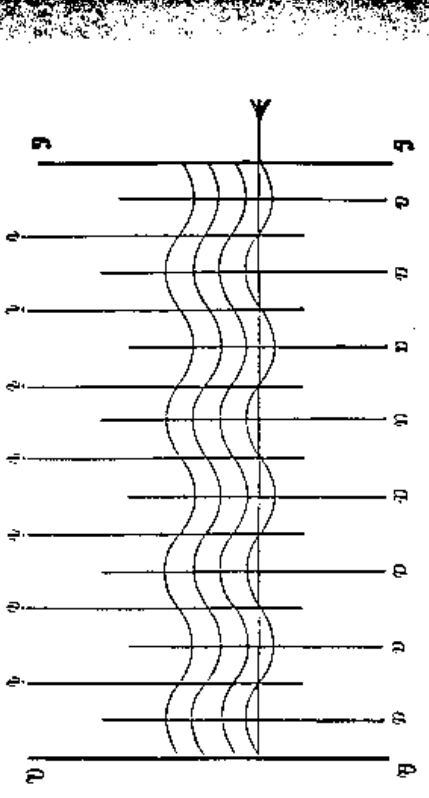


Fig. 8.

richtigen Lage, dagegen wird das in den Knotenpunkten befindliche Silberhaloid vom Fixiermittel gelöst werden. Man erhält also eine Reihe von Franssen (*a*, *a* . . .). Zentersche Blättchen, welche nach dem Trocknen ein Linsensystem aus spiegelnden Silberteilchen ergeben, deren Entfernung genau einer halben Wellenlänge jenes Lichtstrahles entspricht, von welchem sie erzeugt worden sind.

Beim Betrachten im auffallenden Lichte erhält nun das Auge den Eindruck der betreffenden Farbe, indem alle anderen Farbstrahlen des weißen Lichtes vernichtet werden und nur die der entsprechenden Farbe ins Auge

gelangen. Der Eindruck der Farben entsteht also durch die Wirkung der dünnen Blättchen.

Wir wollen in folgendem diese letztere Erscheinung näher betrachten:

Denken wir uns (Fig. 9) auf ein planparalleles Blättchen  $GG$  falle aus der Luft ein Lichtstrahl  $AB$ , so wird ein Teil nach bekannten optischen Gesetzen in das dünnere Medium nach der Richtung  $BC$  zurückgeworfen, während

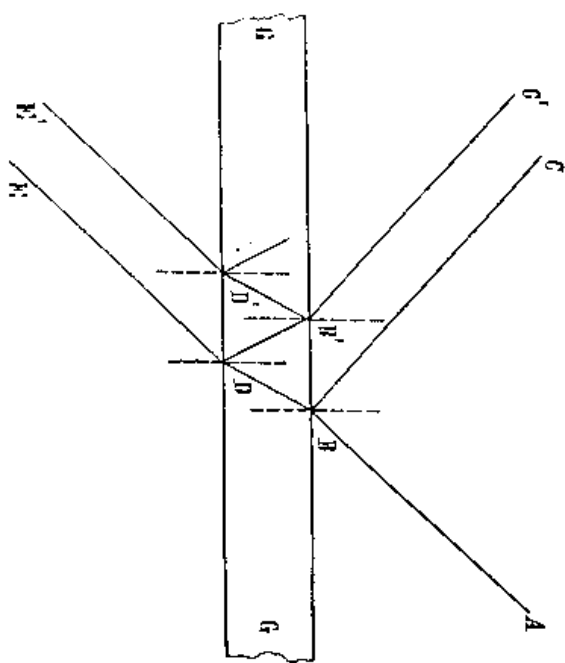


Fig. 9.

der andere Teil in das optisch dichtere Medium eindringt, daher zum Einfallslot gebrochen wird und nach  $D$ , also abermals an die Grenze zweier optisch verschieden dichter Medien gelangt. Es wird nun abermals ein Teil des Strahles in das eigene Medium nach  $B'$  zurückgeworfen, während der andere Teil von Lot in der Richtung  $DE$  ins optisch dünnere Medium tritt.

Der nach  $B'$  reflektierte Anteil des Lichtstrahles tritt wieder an die Grenze optisch verschiedenen dichter Medien, wieder wird ein Teil nach  $D'$  zurückgeworfen, von welchem abermals ein Teil reflektiert und ein anderer nach  $E'$

gebrochen, während ein Teil vom Lot ins optisch dünnere Medium gebrochen wird ( $B'C'$ ), und zwar wird derselbe beim Austritte genau so viel vom Lote gebrochen als der einfallende Strahl  $AB$  beim Eintritt zum Lote gebrochen wurde, weshalb  $BC$  mit  $B'C'$  ... parallel sein muß.

Denken wir uns nun, daß zur selben Zeit zwei parallele Lichtstrahlen auf das Blättchen auffallen (Fig. 10),

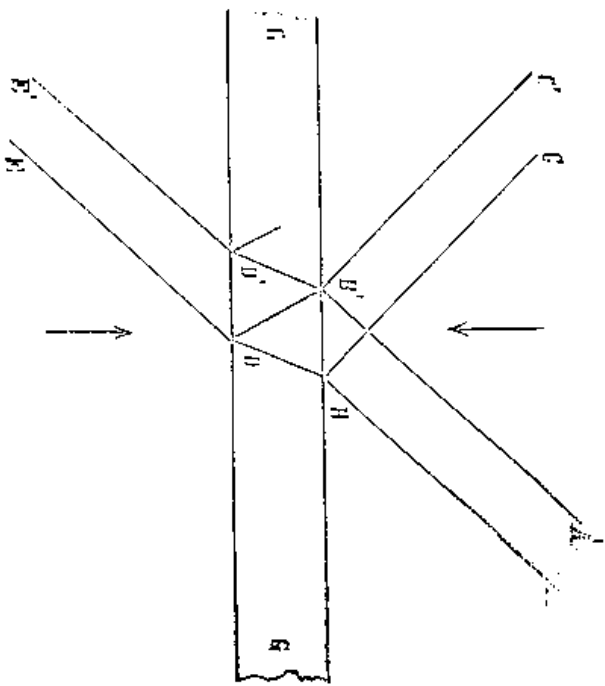


Fig. 10.

von denen der eine den Weg  $A'B'D'$  nimmt, während der andere  $AB$  infolge von Brechung und innerer Reflexion den Weg  $ABDB'$  nimmt. Die beiden Strahlen besitzen einen Wegunterschied  $BDB'$ , welcher Ursache ist, daß selbe in der Strecke  $B'D'$  interferieren. Das Ergebnis der Interferenz zweier gleichlaufenden gleichartigen Strahlen hängt von dem Gangunterschiede ab.

Nehmen wir an, das Blättchen habe die Dicke einer halben Wellenlänge des roten Lichtes, und die Reflexionen seien, wie dies bei den Lippmannschen Bildern ja der

Fall ist, bedingt durch äußerst feine molekulare Silberteilchen. Der weiße Strahl des auffallenden Sonnenlichtes hat nun in dem Blättchen eine halbe rote Wellenlänge bis  $D$  und wieder eine halbe bis  $B'$  zurückzulegen und wird deshalb in  $B'$  mit einem Gangunterschied von zwei halben Wellenlängen mit dem direkt reflektierten Strahl  $B'$  interferieren, d. h. es werden nur die roten Wellen des weißen Lichtstrahles mit einem Gangunterschiede von zwei halben Wellenlängen in  $B'$  ankommen, während die übrigen Wellen des weißen Strahles, da sie einen Gangunterschied von zwei halben Wellenlängen des roten Strahles erleiden, mit irgendeinem anderen Gangunterschied ihrer eigenen Wellenlänge eintreffen werden.

Die roten Wellen des einen Strahles werden nun in  $B$  mit den roten Wellen des anderen Strahles interferieren und ebenso die Wellen der übrigen Farben mit ihresgleichen.

Da aber nur die roten Wellen einen Gangunterschied von zwei halben Wellenlängen haben, die übrigen Strahlen aber nicht, so werden sich oben nur die roten Wellen in ihrer Lichtwirkung verstärken, während sich die übrigen Wellen in ihrer Wirkung subtrahieren, daher schwächer werden, ja sogar ganz aufheben können.

Dieser Vorgang wiederholt sich der Tiefe nach bei den einzelnen Blättchen, überall findet eine Verstärkung der roten Lichtwellen statt, während die übrigen Wellen anderer farbiger Strahlen nahezu oder ganz vernichtet werden; wir erhalten daher denn auch im gegebenen Falle einen deutlichen lebhaften Eindruck der roten Spektralfarbe, der um so kräftiger wird, je größer die Anzahl der Blättchen ist.

Es gelangen daher ganz im Sinne von Zenkers Theorie bei der Lippmannschen Platte, wenn man letztere im auffallenden Lichte betrachtet, von jener Stelle, an der die roten Strahlen bei der Aufnahme zur Wirkung ge-

langt sind, nur rote Strahlen in unser Auge, wie denn auch die übrigen Blättchen, je nach ihrer Dicke, nur die entsprechenden Spektralfarben, welche bei der Aufnahme wirksam waren, aufweisen werden. Man wird also überall die identische Farbe sehen. Wir haben bisher nur die einfachen Farben des Spektrums in den Kreis dieser Betrachtungen gezogen; wie verhält es sich aber mit der Wiedergabe von Mischfarben? Lippmann hat durch seine Versuche in dieser Richtung zuerst bewiesen, daß es möglich ist, auch alle die verschiedenen Mischfarben wiederzugeben.

Die zusammengesetzteste Farbe ist Weiß, in welchem die Strahlen des ganzen sichtbaren Spektrums vereinigt sind; es wird daher als Weiß wiedergegeben werden, jedoch nur dann, wenn nicht auch Ultraviolett in der leuchtenden Farbe mitgewirkt hat. Theoretisch dürfte das Ultraviolett nicht stören; in Wirklichkeit stört es aber deshalb, weil die Bildung der Zenkersehen Blättchen unvollkommen wird (ihre Anzahl wird geringer); auch tritt leichter Überbelichtung ein. Deshalb ist es unter Umständen, z. B. wenn man mit Hilfe der Lippmannschen Platten farbige Glasbilder kopieren wollte, notwendig, daß in den Gang der Strahlen Strahlenfilter eingeschaltet werden, welche das Ultraviolett absorbieren, wie Lösungen von Chininsulfat, das mit einigen Tropfen Schwefelsäure angesäuert wurde, eine geeignete (Fälschselbe und dergl. 1).

G. Lippmann hat die Theorie des Zustandekommens der einfachen und zusammengesetzten Farben durch die Interferenzmethode in einer Abhandlung besprochen.

1) Bei Aufnahmen in der Kammera ist die Störung durch das ultraviolette Licht übrigens durchaus nicht so groß, als man gewöhnlich annimmt, weil das Glas der Linsen meistens einen guten Teil der ultravioletten Strahlen absorbiert, so daß dasselben nicht zur Wirkung gelangen können.

welche er im Journal de Physique<sup>1)</sup> veröffentlichte, und auf welche an dieser Stelle verwiesen werden soll.

Bezüglich des Zustandekommens der Mischfarben sagt die Theorie, daß hierbei jeder Elementarwellenlänge ein Lamellensystem der Zenkerschen Blättchen entspricht, derart, daß diese Systeme sich gegenseitig durchdringen und jedes für sich so wirkt, als ob die übrigen nicht vorhanden wären.

Lippmann (a. a. O.) erklärte die Reflexion durch Annahme von „molecules réfléchissantes dissimulés“. Diese Erklärung wurde durch die Versuche O. Wieners<sup>2)</sup> gestützt, welcher zeigte, daß die beobachtete Lage der Maximalen Interferenzstreifen auf eine Phasenänderung bei der Reflexion an jedem Zenkerschen Blättchen (Elementar Spiegel) von der Größe einer halben Wellenlänge schließen läßt, nachdem er vorher nachgewiesen hatte, daß eine Phasenverzögerung von dieser Größe nur dann eintritt, wenn die Zenkerschen Blättchen aus kleinen Teilen mit metallischer Reflexion bestehen. Ein Beweis für die Richtigkeit der Annahme von Lippmanns Theorie der „molecules réfléchissantes dissimulés“ ergibt sich aus dem Resultat der mikroskopischen Untersuchungen von Schnittten durch die Schicht von Lippmann-Photogrammen.

Solche mikrographischen Aufnahmen wurden von R. Neubaur (1898) und von H. Lehmann (1906) gemacht und Abbildungen derselben veröffentlicht. H. Lehmanns Mikrophotographien derartiger Schnitte sind auf Tafel I bis III abgebildet.

Der Genannte bespricht in seinen darauf Bezug nehmenden Abhandlungen an der Hand der Theorie die Helligkeitsverteilung im Raum und vergleicht die Resultate

1) Bd. III, 1894, S. 97, 107.  
2) Wiedemanns Ann. Phys. u. Chem. 1899, S. 318.

rate der Hauptfälle (siehe unten) mit seinen Beobachtungen und Messungen an diesen Mikrophotographien. Er bemerkt diesbezüglich folgendes<sup>1)</sup>:

„Wir haben (bezüglich der Wirkung des Lichtes beim Zustandekommen der Farben) drei Hauptfälle zu unterscheiden: Die Wirkung des homogenen Lichtes, der homogenen Mischfarbe, deren Komponenten einzeln aus homogenen Lichtbündeln bestehen, und der heterogenen Mischfarbe, die sich aus unendlich vielen homogenen Lichtstrahlen zusammensetzt.“

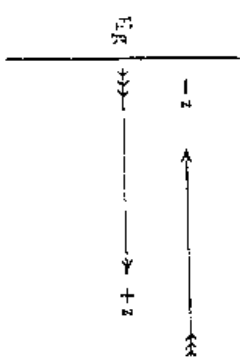


Fig. 11.

Wir geben von der Voraussetzung aus, daß die Verteilung des Niederschlages eine Funktion der Intensität des wirksam gewesenen Lichtes ist. Bezeichnet man nach Fig. 11 mit  $-z$  die Richtung des ankommenden, mit  $+z$  die des reflektierten Strahles,

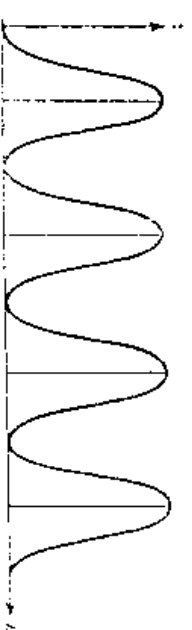


Fig. 12.

so ist die Intensität der stehenden Welle  $\lambda$  eine Funktion des Ortes  $x$ :

$$i = c \cdot \sin^2 \frac{2\pi x}{\lambda} \dots \dots \dots (1)$$

wenn man von Verlusten durch Absorption, Reflexion usw. der Einfachheit halber absieht. Hierbei ist  $c$  die Amplitude der Welle. Fig. 12 stellt die Kurve  $i$  dar, während Tafel I die Mikrophotographie eines Schnittes

1) Eders Jahrb. f. Photogr. 1908, S. 157.



durch den roten Teil einer Spektralaufnahme zeigt. Es sind hier deutlich die Querschnitte durch die einzelnen Blättchen zu erkennen. Das Präparat ist infolge der benutzten Substanzen bei seiner Herstellung aufgequollen, wodurch der Blättchenabstand auf einer größeren Strecke erweitert wurde. Um genaue Messungen anstellen zu können, mußte daher erst der „Quellungsfaktor“ bestimmt werden, welcher angibt, wievielmal sich der Blättchenabstand vergrößert hat, was experimentell sehr genau ausgeführt werden konnte<sup>1)</sup>. Folgende Tabelle gibt die Messungsergebnisse an:

Präparat	$\lambda$	$d$ gemessen	$d$ berechnet	Quellungsfaktor
Homogenes Rot	625 $\mu$	0,75 $\mu$	0,21 $\mu$	3,6

Die Berechnung von  $d$ , des Blättchenabstandes, geschah unter Berücksichtigung der Lichtgeschwindigkeit in Gelatine. Die Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung ist also eine gute.

Besonders auffallend ist noch auf Tafel I, daß sich die Blättchenquerschnitte aus lauter Punkten, den einzelnen Körnern des Niederschlags, zusammensetzen. Die Form der Körner ist trotz der sehr starken Vergrößerung nicht wiedergegeben, da die Teilchen größtenteils „ultramikroskopisch“ sind. Daß die Teilchen aber so diskret gesehen werden, ist eine Folge der geringen Dicke des Schnittes, die 0,3 bis 0,4  $\mu$  beträgt.

Läßt man zu gleicher Zeit an denselben Orte zwei homogene Lichter verschiedener Wellenlängen auf die Platte

<sup>1)</sup> Näheres hierüber siehe H. Lehmann, Beiträge zur Theorie und Praxis der direkten Farbphotographie mittels stehender Lichtwellen nach Lippmanns Methode, C. Trömer, Freiburg i. B. 1906.

wirken, so stellt sich die resultierende Intensität einfach durch Superposition der Einzelwellen dar: nach (1) ist dann:

$$I = I_1 + I_2 = \left( \sin^2 \frac{2\pi x}{\lambda_1} + \sin^2 \frac{2\pi x}{\lambda_2} \right) \quad (2)$$

Hierbei ist die einfachere Annahme gemacht, daß beide Wellen gleiche Amplitude besitzen.

In Fig. 13 ist die Kurve  $I$  für das Wellenlängenverhältnis  $\frac{563}{482}$  gezeichnet, während die Tafel II die

Mikrophotographie durch einen Schnitt der entsprechenden Aufnahme wiedergibt. Wir haben hier einen ähnlichen

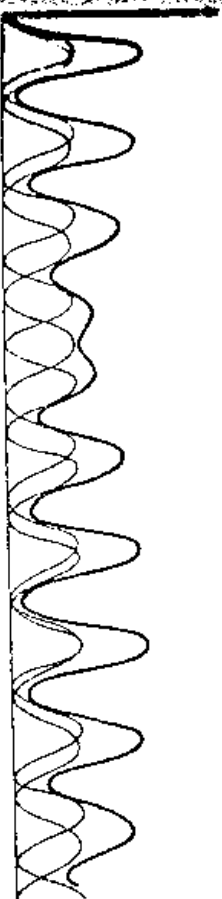


Fig. 13.

Vorgang wie in der Akustik: wenn zwei Töne angeschlagen werden, hören wir einen dritten, den Schwebungston. Die Kurve  $I$ , sowie der Schnitt zeigen deutlich eine siebenenteilige Schwebungsperiode, die sich am Schnitt fünfmal wiederholt. Folgende Tabelle gibt die Messungsergebnisse wieder:

Präparat	$\lambda$	$d$ gemessen	$d$ berechnet	Quellungsfaktor
Homogene Mischfarbe	563 und 482 $\mu$	0,85 $\mu$	0,17 $\mu$	5

Tra hier die Abstände  $d$  auch theoretisch nicht konstant sind in der Richtung vom Spiegel fort, so beziehen sich die Werte für  $d$  auf ihre Maxima.

Wenn wir jetzt dieselbe Untersuchung für heterogenes Licht anstellen wollen, so brauchen wir nur die Gleichung (1) über  $\lambda$  zu integrieren:

$$J = \int e \cdot \sin^2 \frac{2\pi x}{\lambda} d\lambda$$

Den Beweis für die Berechtigung hierzu erbrachte ich dadurch, daß ich an derselben Stelle der Platte zwei homogene Lichter zeitlich getrennt einwirken ließ. Es ergab sich genau dieselbe Struktur wie beim Fall der simultanen Einwirkung, d. h. also, daß die einfache Superposition gestattet ist.

Die Größe  $e$  ist jetzt aber keine konstante mehr, sondern abhängig von  $\lambda$ , und zwar setzt sich  $e$  aus drei Faktoren zusammen:

$$e = S(\lambda) \cdot F(\lambda) \cdot E(\lambda).$$

Hierin ist  $S(\lambda)$ , die Intensität der Lichtquelle, also die Farbe z. B. des Sonnenlichtes.  $F(\lambda)$  ist der Bruchteil, welchen das Objekt von der auf dasselbe fallenden Intensität reflektiert; also ist  $S(\lambda) \cdot F(\lambda)$  die Farbe des zu photographierenden Objektes.  $E(\lambda)$  ist die Empfindlichkeit der photographischen Platte in bezug auf die Intensität  $I$ . Der gesamte Lichteindruck ist also proportional der Größe  $e$ :

$$J = \int S(\lambda) \cdot F(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot \sin^2 \frac{2\pi x}{\lambda} d\lambda. \quad (3)$$

Wir wollen uns auf den wichtigsten Fall der Wiedergabe eines weißen Objektes beschränken. Die Bedingung hierfür ist:

$$F(\lambda) = \text{konstant.}$$

Wir fassen ferner die Faktoren  $S(\lambda)$  und  $E(\lambda)$  zusammen in  $f(\lambda)$ , in die Empfindlichkeit der Platte in bezug auf Sonnenlicht; für den Isochromatismus der Platte welchen wir zunächst einmal voraussetzen, gilt dann:

$$f(\lambda) = \text{konstant.}$$

Für diesen Fall reduziert sich also die Gleichung (3) bei der Wiedergabe von Weiß auf:

$$J = c \int \sin^2 \frac{2\pi x}{\lambda} d\lambda. \quad (4)$$

$\lambda$  rot  $\lambda$  violett

In Fig. 14 ist die Kurve 4 gezeichnet. Die Intensität der periodischen Maxima klingt hier nach Art einer gedämpften Schwingung rasch ab. In Wirklichkeit ist das Abbildgen ein noch schnelleres<sup>1)</sup>, wie die in Tafel III wiedergegebene Mikrophotographie eines Schnittes durch ein (gelbliches) Weiß zeigt. Es sind hier nur etwa zwei

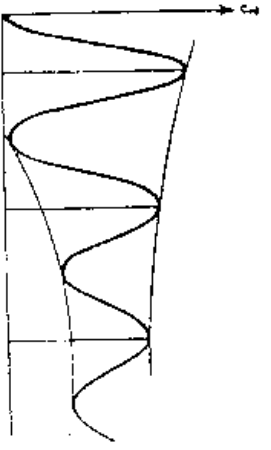


Fig. 14.

Maxima sehr gut ausgeprägt. Es werden also auch nur diese hauptsächlich bei der Farbenwiedergabe im reflektierten Lichte am fertigen Bilde beteiligt sein, welches Resultat mir auch Experimente ganz anderer Natur vollhaft bestätigten. Die Messungsergebnisse des vorliegenden Falles sind folgende:

Präparat	$\lambda$	gemessen	berechnet	Qualitätsfaktor
Heterogene Mischfarbe	Schwaches Maximum bei 575 $\mu\mu$	0,9 $\mu$	0,9 $\mu$	4,7

Die Berechnung des Abstandes  $d$  geschah numerisch nach den strengeren Formeln. Man sieht also, daß auch hier für den uns besonders interessierenden Fall die Berechnung mit der Messung übereinstimmt.

Aus den Beobachtungen, welche Lehmann an den von ihm hergestellten Mikrophotogrammen von Schnittten durch die Bildschicht von Interferenzbildern machte,

<sup>1)</sup> Infolge der endlichen Korngröße usw. vergl. I. c.

geht ferner hervor, daß wir es bei der entwickelten kom-  
losen (relativetrockeneplatte (siehe S. 47) mit einer kolloidalen  
Silberlösung zu tun haben!).

### Weitere Versuche zur Herstellung von Photochromen nach Lippmanns Prinzip. Versuche von Thwing und von Lumière.

Die von Lippmann ursprünglich verwendeten  
Albuminplatten haben verschiedene Nachteile; in erster  
Linie ist es die ziemlich unständliche Präparation der-  
selben und die große Unempfindlichkeit, welche ihrer  
praktischen Anwendung hindernd im Wege stehen. aber  
sie waren damals die einzigen, welche ein so feines Korn  
ergeben, wie es die Theorie erfordert, weshalb auch  
Hermann Krone, welcher eine Reihe von guten Spektra-  
bildern nach dem Lippmannschen Verfahren herstellte,  
sich derselben bediente (s. o.).

(Charles R. Thwing<sup>2)</sup> schlug vor, an Stelle der  
Albuminplatten Bromsilberkolloidplatten zu ver-  
wenden.

Derselbe empfiehlt folgende Präparation der Platten:

Bromkalium	25 g,
Alkohol	250 ccm,
Salzsäure	5 "

Von dieser Lösung werden 5 ccm mit 40 ccm Äther  
und 2 g Pyronin in Gemischt und nun tropfenweise zehn-  
prozentige alkoholische Silbernitratlösung zugefügt. Die  
Flüssigkeit wird zum Erleben der Platten benutzt, bevor  
sich eine Emulsion gebildet hat. Die resultierende Schicht  
ist schwach blau opalisierend und fast vollkommen durch-  
sichtige.

1) H. Lehmann, Beiträge zur Theorie und Praxis der  
direkten Farbenphotographie, S. 71. Freiburg 1906.

2) Rechl. Annal. Phys., 1892.

Nach Thwing erfordern diese Platten eine Exposition  
von etwa 20 Minuten in der Sonne, wenn nicht nach-  
träglich entwickelt werden soll (?). Überexpositionen zer-  
stören in jedem Falle die Farbe.

Im Jahre 1892 zeigte Louis Lumière in einer  
Sitzung der „Société des sciences industrielles in Lyon“  
Spektrumbilder in natürlichen Farben, nach Lippmanns  
Prinzipien hergestellt, welche an Pracht der Farben die  
Originalbilder Lippmanns sowohl als alle von anderer  
Seite bisher hergestellten dertartigen Bilder weitaus über-  
trafen. Diese Spektrumphographien waren mit Hilfe von  
Bromsilbergelatineplatten gemacht worden.

Lumière sagt in den Berichten der genannten Ge-  
sellschaft über die Herstellung dieser Platten folgendes:  
„Une solution de 5% de gélatine est additionnée de  
1 à 2% d'une bromure, chlorure, jodure soluble. J'autre  
part une solution semblable de gélatine est additionnée de  
2 à 3% de nitrate d'argent. Il suffit de mélanger ces deux  
solutions pour former l'émulsion, si l'on peut appeler ainsi  
le résultat du mélange, puis de dialyser, pour obtenir la  
préparation dont nous nous sommes servis.“

Diese allerdings sehr kurzen Angaben, welche gar  
keine Details über die Herstellung solcher Platten ent-  
halten, gingen, da sie in keinem photographischen Fach-  
Blatte veröffentlicht worden waren, gar nicht in die photo-  
graphische Literatur über.

Mir waren dieselben aus dem genannten Grunde bis  
dahin unbekannt, und ich verdanke die Kenntnis dieser  
Angaben den Herren Lumière selbst, welche mir, nach-  
dem ich meine Erfahrungen über die Herstellung von  
Bromsilbergelatineplatten (s. u.) publiziert hatte, mitteilten,  
daß sie ebenfalls etwas über diesen Gegenstand veröffent-  
licht haben und mir diese Daten sandten.

Da damals in photographischen Kreisen nichts über  
die Herstellung einer brauchbaren Bromsilbergelatine-

emulsion zu genannten Zwecke bekannt war, versuchte ich es auf experimentellem Wege, Bromsilbergelatine-trockenplatten herzustellen, welche den Anforderungen Lippmanns, bezüglich Feinheit des Kornes usw., entsprechen und dabei eine größere Empfindlichkeit zeigen als die nach dem Taupenotschen Verfahren hergestellten Albuminplatten. Diese Versuche, welche ich zuerst in der Photographischen Korrespondenz (1892, S. 432) beschrieben habe und deren Resultate ich in Form sehr brillanter Spektrumbilder einem großen Auditorium bei Gelegenheit von Vorträgen im „Verein zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse“ und im „Niederösterreichischen Gewerbeverein“ in Wien vorlegte, haben sehr günstige Resultate ergeben, so daß ich 1899 mit Hilfe dieser Emulsion instande war, in der Kamera gelungene Aufnahmen verschiedener farbiger Objekte zu machen.

Ein Jahr, nachdem meine ersten Versuche (Phot. Korresp. 1892, S. 435) zur Herstellung von Photochromien publiziert worden waren, haben die Gebrüder Lumière ihre Methode der Bausilberbereitung<sup>1)</sup> veröffentlicht, so daß jetzt die Darstellungsweise einer korrosiven Gelatine-emulsion hinlänglich genau bekannt ist, um danach mit Sicherheit arbeiten zu können.

Ich gehe in folgendem das Lumière'sche Verfahren nach dessen letzter, 1899 veröffentlichter Vorschrift<sup>2)</sup>, 4 g Gelatine werden in 100 ccm Wasser quellen gelassen, dann geschmolzen und mit 0,53 g Bromkalium und sodann mit einer Mischung von 6 ccm Chinolinblau (1:500) und 3 ccm Chinolinrot (1:500) versetzt, dann wird auf 40 ° C abkühlen gelassen und 0,75 g feinstgepulvertes trockenes Silbernitrat zugegeben, worauf man mit einem Glasstabe 1 bis 2 Minuten umrührt und durch Glaswolle filtriert

Hierauf werden die Platten mit der Emulsion übergossen und der Überschuß ablaufen gelassen, wie beim Gießen von Kollodiumplatten.

Die Emulsion darf eine Temperatur von 40 ° C nicht überschreiten. Man läßt die Schichten fest werden und reibt dann in fließendem Wasser aus. Da die Schicht sehr dünn ist, erfordert das Auswaschen nur sehr kurze Zeit, und es wird durch diese Art der Herstellung der Platten das Reifen des Bromsilberkornes in vorteilhafter Weise vermieden.

Nach genügendem Waschen werden die Platten getrocknet und vor der Belichtung in eine Auflösung von 1 g Silbernitrat in 200 ccm absolutem Alkohol, welchem 1 ccm Essigsäure zugefügt wurde, getaucht. Dies hat den Zweck, die allgemeine Empfindlichkeit der Platten, welche keine große ist, zu heben und die Brillanz der Bilder gleichzeitig zu steigern. Allein es hat diese Behandlung gleichzeitig den Nachteil, daß sich die so behandelten Platten nur kurze Zeit halten. Nach dem Baden werden die Platten getrocknet und müssen aus dem letztangeführten Grunde baldigst verwendet werden.

Für die Entwicklung der Bilder empfehlen die Gebrüder Lumière folgenden Entwickler:

- a) Wasser . . . . . 100 ccm,
  - Pyrogallol . . . . . 1 g,
  - b) Wasser . . . . . 100 ccm,
  - Bromkalium . . . . . 10 g,
  - c) Ammoniak (1) = 0,960 bei 18 ° C),
- Zum Entwickeln werden gemischt:

- a) 10 ccm,
- b) 15 „
- c) 5 „
- Wasser 70 „

Die Konzentration des Ammoniaks ist von großem Belange, indem die Brillanz der Farben mit der Konzen-

1) Bull. Soc. Franç. de Photogr. 1893, S. 249.  
2) Bull. Soc. Franç. 1899, S. 84.

tration des Ammoniaks im Entwickler in einem gewissen Zusammenhange steht.

Nach dem Entwickeln werden die Bilder gewaschen, mit Hilfe einer wässrigen Zyankaliumlösung (5 : 100) durch Einlegen während 10 bis 15 Sekunden fixiert, abgewaschen und getrocknet.

Zur Abhaltung der Wirkung der ultraviolethen, bei gleichzeitiger Herabminderung derjenigen der blauen und violetten Strahlen wird die Anwendung von Strahlensfiltern empfohlen.

Das Verfahren der Gebrüder Lumière ist in mancher Beziehung meinem (früher publizierten Verfahren) zur Herstellung von Bromsilbergelatineplatten für die Zwecke der Photographie in natürlichen Farben nach der Lippmann'schen Methode ähnlich. Vorteilhaft erwies sich mir das Auswaschen der Emulsion auf den Platten selbst, da es rasch durchzuführen ist und daher die Vergrößerung des Kornes verhindert, welche, wenn sie auch noch so gering ist, insbesondere bei Wiedergabe des Blau und Violetstönend wirkt.

In nachstehenden gebe ich eine genaue Darlegung des bei Herstellung von Photochromen erforderlichen Arbeitsganges auf Grund meiner eigenen zahlreichen Versuche und bemerke ausdrücklich, daß derselbe zum großen Teile noch vor Bekanntgabe der Lumière'schen Recepte publiziert und öffentlich demonstriert wurde und ich somit selbständig den Weg zur Bereitung der Emulsions-schichten fand, auf welchen Lumière ihre ausgezeichneten Photochromen herstellten.

**Versuche des Verfassers zur Herstellung von Gelatine-trockenplatten, welche zur Photochromie geeignet sind**

**1. Bromsilbergelatine.**

Die gewöhnlichen Bromsilbergelatinetrockenplatten, wie selbe in der photographischen Praxis heute allgemein Verwendung finden, sind zwar sehr lichtempfindlich, zeigen

aber, wie ich bereits erwähnt habe, ein so großes Korn, daß sie der ersten Grundbedingung des Lippmann'schen Verfahrens „Kontinuität der Schicht“ nicht auch nur annähernd entsprechen. Es ist eine bekannte Tatsache, daß die Empfindlichkeit des Bromsilbers in Gelatineemulsionen mit der Vergrößerung des Kornes wächst \*) und daß dieses Wachsen des Kornes in rohen Emulsionen durch Zusatz von Ammoniak oder durch Wärme hervorgerufen werden kann (Reifen des Bromsilbers).

Wenn man also eine Emulsion hat, welche sich dadurch auszeichnet, daß sie fast kein Korn besitzt, handelt es sich darum, beim Verarbeiten dieser Emulsion alles zu vermeiden, was ein Reifen des Bromsilbers resp. eine Vergrößerung des Kornes zur Folge haben könnte.

Solche „kornlose“ Emulsionen erhält man, wenn man bei möglichst niedriger Temperatur (30 bis 35 °) einerseits die erforderliche Menge Silbernitrat, andererseits das Bromid mit Gelatine in Wasser löst und die Silberlösung in die Bromidlösung gießt; dabei tritt keine starke Trübung der Mischung auf, sondern man erhält eine schwach opalisierende Flüssigkeit, welche möglichst rasch verarbeitet werden muß, um jede Vergrößerung des Kornes zu vermeiden.

Die folgende Bromsilbergelatineemulsion, welche das Resultat zahlreicher mühsamer Versuche ist und mir sehr befriedigende Resultate gegeben hat, ist auf die genannte Weise hergestellt.

Man bereitet sich zwei Lösungen:

- A) Gelatine . . . . . 10 g.
- Wasser . . . . . 300 .
- Silbernitrat . . . . . 6 .

\*) Siehe J. M. Eder, Die Photographic mit Bromsilbergelatine 1903 (Verlag von Wilhelm Knapp in Halle a. S.).

B) Gelatine . . . . .	20 g,
Wasser . . . . .	300 „
Bromkalium . . . . .	5 „

Diese Lösungen werden auf etwa 35° C abgekühlt, dann wird im Dunkelzimmer (bei Ausschluß des Tageslichtes) Lösung A unter Umrühren langsam in Lösung B gegossen, wobei eine fast durchsichtige, nur sehr schwach opalisierende Flüssigkeit entsteht.

Diese Emulsion (wenn man die Flüssigkeit so nennen darf) muß, um jedes Reifen zu verhindern, möglichst rasch verarbeitet werden.

Man begießt sofort nach dem Mischen, Filtrieren und eventuell Semsibilisieren) die Glasplatten mit der Emulsion, bringt dieselben dann auf eine waagrecht gestellte Glas- oder Marmorplatte, woselbst die Schicht rasch erstarrt, und wäscht hierauf, wie unten beschrieben, in fließendem Wasser durch etwa 15 Minuten, was vollkommen genügt, die löslichen Salze aus der Schicht zu entfernen.

Die Emulsion muß vor dem Gusse filtriert werden, wozu man sich am besten einer Haufschiebt<sup>1)</sup> bedient, welche man die flüssige Emulsion mittels eines Trichters passieren läßt.

Man hat beim Gießen der Platten darauf zu achten, daß die Schicht eine gewisse Dicke nicht übersteigt; ich habe die besten Resultate erzielt, wenn ich mit dünnen Schichten arbeite. Man kann sich beim Gießen mit Vorteil des kleinen Apparates Fig. 15 bedienen, bei welchem die Platten nach dem Gusse auf eine rotierende Scheibe gebracht werden, woselbst der Überschuß von Emulsion durch die Zentrifugalkraft entfernt wird.

<sup>1)</sup> Italienischer Hauf wird mit verdünnter Kalilauge und hierauf mit Wasser mehrere Male ausgekocht, dann gut in fließendem Wasser gewaschen und getrocknet. Statt der Haufschiebt kann man auch sehr feine Glaswolle verwenden.

Bei der Präparation der Platten ist es ferner notwendig, darauf zu achten, daß die gegossenen und erstarrten Platten vor dem Waschen mit verdünntem Alkohol behandelt werden, da anderenfalls zahlreiche kleine Luftblasen den Platten zähe anhaften und nach dem Auswässern die Schicht wie von kleinen Nadelstichen bedeckt erscheint. Man legt, um dies zu verhüten, die Platten, wenn die Schicht erstarrt ist, in verdünnten Alkohol und bewegt die Flüssigkeit so lange, bis die einzelnen Luftblasen verschwunden sind; hierauf wird unter der Brause gut

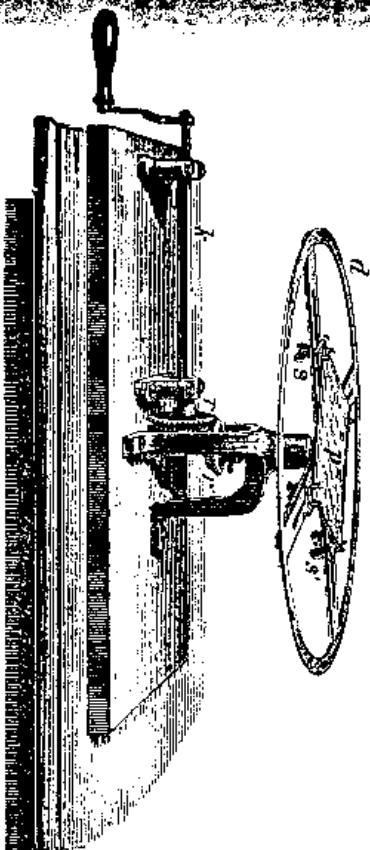


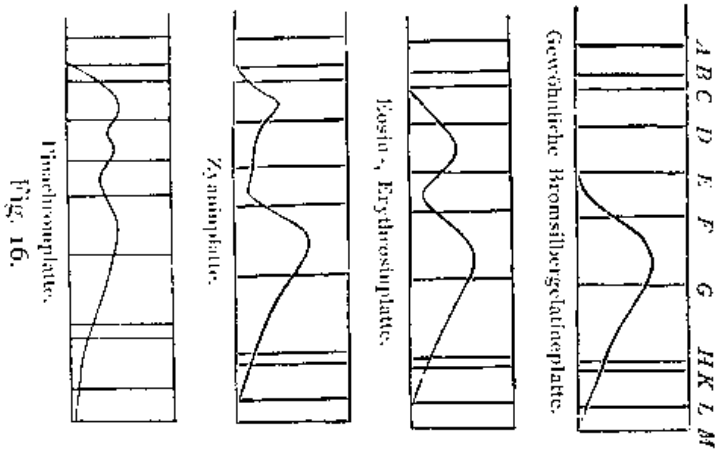
Fig. 15.

abgespült. 12 bis 15 Minuten in fließendem Wasser gewaschen und sodann am besten unter Benutzung eines rotierten Trockenkastens rasch getrocknet. Die trockenen Platten sind durchsichtig und lassen im durchfallenden Lichte fast gar keine Präparation erkennen; man bemerkt nur, wenn man dieselben im auffallenden Lichte betrachtet, ein schwaches Opalisieren der Schicht.

Setzt man eine solche Platte der Minwirkung von Ammoniakdämpfen aus, so wird das Bromsilberkorn augenfällig vergrößert, die empfindliche Schicht wird weiß und fast undurchsichtig, ist aber dann zu photographischen Aufnahmen unbrauchbar geworden.

Die empfindliche Schicht dieser Platten hat im allgemeinen, mit gewöhnlichen Bromsilbergelatineplatten ver-

gleichem, nur eine sehr geringe Empfindlichkeit<sup>1)</sup>, dieselbe ist am größten zwischen den Fraunhofersehen Linien *G* und *H*, also für die blauen Strahlen (Fig. 16), während sie gegen das weniger brechbare Ende des Spektrums hin rasch abnimmt. Um diese Platten, welche an und für sich für gelbe und rote Strahlen unempfindlich sind, für diese



Strahlen empfindlich zu machen, verwendet man bekanntlich Lösungen gewisser Farbstoffe, welche entweder der Emulsion vor dem Gießen der Platten einverleibt werden oder in welchen die mit der ungefärbten Emulsion begossenen trockenen Platten vor dem Gebrauche gebadet werden. Farbstoffe, welche in der genannten Richtung wirksam sind z. B. Zyanin, Chinolinrot, Erythrosin, Eosin und Eosinsilber. Diese Farbstoffe sensibilisieren die betreffenden Platten in einzelnen Bezirken des Spektrums, so wirkt das Eosin im Gelbgrün, das Zyanin im Rot. Die in neuester Zeit zur Herstellung von sogen. panchromatischen Platten verwendeten Farbstoffe der Isozyaningruppe wirken sowohl im Rot als im Gelbgrün, und die damit behandelten Platten sind mit Aus-

1) Die völlig ungeriffelten, korrosiven Bromsilbergelatineplatten, welche die besten Farbenbilder geben, sind mehr als tausendmal unempfindlicher, als die gewöhnlichen Trockenplatten des Handels.

nahme eines kleinen Bezirkes im Grün für alle Strahlen des Spektrums vom Rot bis ins Violett empfindlich. Derartige Farbstoffe sind unter anderem das Äthylrot, Orthochrom und Pinachrom (siehe Fig. 16). Ives verwandte einen derselben Gruppe angehörigen Farbstoff der Elberfelder Farbwerke, das Isocol, zur Sensibilisierung korrosiver Trockenplatten.

Ich verwendete, um meine Platten für die orangefarbenen Strahlen (bis zur Fraunhofersehen Linie *C*) empfindlich zu machen, eine alkoholische Zyaninlösung (1 : 500), von derselben wurden 1 bis 2 cem zu je 100 cem der Emulsion gegeben und dann die Platten gegossen, oder es wurden die ungefärbten trockenen Platten in einem Bade, bestehend aus 1 bis 5 cem obiger Lösung in 100 cem Wasser, welche Lösung vor dem Gebrauche filtriert werden muß, während 2 Minuten gebadet und trocken gelassen.

Wenn man Spektrumphotographien auf mit Zyanin sensibilisierten Platten herstellt, erhält man meistens und insbesondere bei verhältnismäßig kurzen Belichtungen nicht geschlossene Spektrumbilder indem das Maximum zwischen *C* und *D* überwiegt. Man kann diesem Uebelstande dadurch abhelfen, daß man das Blau und Grünblau unter Anwendung geeigneter Lichtfilter nachbohrt. Dies ist aber durchaus nicht unbedingt notwendig, und man erzielt bessere Resultate, wenn man die Platten kurz vor dem Gebrauche in einer Lösung von 5 g Silbernitrat in 1 Liter Alkohol, welcher Lösung man etwa 5 g Essigsäure zusetzt, badet. Durch dieses Bad wird die Allgemeinempfindlichkeit der Platten und damit die Blauempfindlichkeit gehoben und man erhält bei kürzerer Belichtung geschlossene Spektren, welche ein brillantes Blau zeigen.

Das Zyanin erteilt den Bromsilberplatten ein Maximum der Empfindlichkeit zwischen den Fraunhofersehen Linien *C* und *D*, während das Erythrosin ein

Maximum zwischen *D* und *E* liegend ergibt (siehe Fig. 16). Es erschien deshalb vorteilhaft, Gemische dieser beiden Farbstoffe zur Sensibilisierung der Emulsion zu verwenden, und es hängt die richtige Wirkung nicht nur von der Quantität des Gesamtfarbstoffes, sondern auch vom Mischungsverhältnis der beiden Stoffe zueinander ab. Zahlreichen von mir angestellten Versuchen zufolge ist das folgende Mischungsverhältnis das beste:

Auf je 100 cem Emulsion setzt man 1 bis 2 cem eines Gemenges von:

4 cem Zyaninlösung (1 : 500),

2 „ Erythrosinlösung (1 : 500).

Vorteilhaft erwies sich mir ferner in manchen Fällen die Verwendung des Vogelschen Azalins<sup>1)</sup>, welches in einem ähnlichen Verhältnis wie die Zyaninlösung der Emulsion zuzusetzen ist. An Stelle des Zyanins kann das Pinazyanol von Meister Lucius & Brüning in Höchst a. M. bei dieser Art zu sensibilisieren benutzt werden, wobei Platten von sehr guten Eigenschaften erhalten werden. Bromrosin läßt sich gleichfalls als Sensibilisator, mit Pinazyanol oder Pinachron kombiniert, benutzen. Das Silbersalz des Eosins ist besonders für Badepfatten gut brauchbar, und habe ich mit diesem Sensibilisator bei Wiedergabe von Mischfarben unter Umständen sehr gute Resultate erzielt.

## II. Chlor Silber- und Chlorbromsilbergelatineemulsionen<sup>2)</sup>

Bereitet man sich in der geschilderten Weise und unter Einhaltung derselben Kautelen, wie beim Bromsilber, eine Chlor Silberemulsion, so erhält man eine Flüssigkeit, welche zwar, was Feinheit des Kornes anbelangt, das denkbar Beste

<sup>1)</sup> Dasselbe ist ein Gemenge von Chinolinblau (0,1 g in 50 cem Alkohol gelöst) und Chinidinrot (1 g in 500 cem Alkohol gelöst).

leistet, aber noch unempfindlicher ist als die Bromsilberemulsion. Wenn man aber diese Emulsion vor dem Gießen mit 1,5 cem Zyaninlösung auf 100 cem Flüssigkeit versetzt, erhält man Platten, welche eine relativ große Empfindlichkeit für die roten, gelben und grünen Strahlen zwischen den Fraunhoferschen Linien *r'* und *k* zeigen; dagegen sehr unempfindlich über *k* hinaus gegen das brechbarere Ende des Spektrums sind. Die Tatsache, daß das Chlor Silber verhältnismäßig mehr für Farbensensibilisatoren zugänglich ist, d. h., daß die Sensibilisierungsmaxima kräftiger und rascher hervortreten als bei Bromsilber, wurde bereits von Adler<sup>1)</sup> vor längerer Zeit konstatiert. Das Eigenmaximum des Chlor Silbers liegt in der Nähe von *H* an der Grenze des Violett und Ultraviolett, es kommt bei Spektroskopen „à vision direct“ infolge der dicken Glaskörper nicht zur Geltung. Bei der geringen Empfindlichkeit des Chlor Silbers für Hellblau kommt diese Farbe in den mit solchen Emulsionen hergestellten Photochromen nicht zur Wirkung; es erscheint aber das Blau sofort mit vollkommen befriedigender Lebhaftigkeit, wenn man der Chlor Silbergelatineemulsion 30 bis 50 % Brom Silberemulsion zusetzt und bei etwas höherer Temperatur, als dies bei Brom Silberemulsion beschrieben ist (etwa 40° C), arbeitet.

Wenn man Chlor Bromemulsionen herstellt, indem man das Chlor- und Bromsilber gleichzeitig emulgiert und der flüssigen Emulsion sofort die Farbstoffe zusetzt, schießt sich das Spektrum und man erhält nahezu ein kontinuierliches Band, in welchem das Rot, Gelb und Grün mit besonderer Brillanz hervortritt.

Nach vielen Versuchen ergab sich, daß die folgenden Vorschriften Emulsionen geben, welche zur Herstellung von Lippmannschen Photochromen sehr gut geeignet sind.

<sup>1)</sup> Siehe Eders Handb. d. Photographie III. T., 4. Auflage 1890, S. 175.



## I.

a) Wasser . . . . .	200 cem,
Gelatine . . . . .	10 g.
b) Wasser . . . . .	15 cem,
Silbernitrat . . . . .	1,5 g.
c) Wasser . . . . .	15 cem,
Bromkalium . . . . .	0,35 g.
Chlornatrium . . . . .	0,35 "

a wird in zwei gleiche Teile verteilt, der eine Teil bei etwa 35 bis 40° C in b, der andere in c gegossen, gut gemischt und hierauf b in c gegossen.

## II.

a) Wasser . . . . .	300 cem,
Gelatine . . . . .	10 g.
Silbernitrat . . . . .	6 "
b) Wasser . . . . .	300 cem,
Gelatine . . . . .	20 g.
Bromkalium . . . . .	2,4 g.
Chlornatrium . . . . .	1,5 "
Mischungstemperatur	35° C.

### III. Versuche des Verfassers zur Herstellung farbiger Spektrobilder.

Zur Herstellung von Spektrobildern bediente ich mich eines ähnlichen Apparates wie jener, welchen Lippmann bei seinen Versuchen benutzt hatte, mit dem Unterschiede, daß ich an Stelle der offenen Kassette eine völlig geschlossene anwendete, welche direkt mit dem kleinen Steinheil'schen Spektrographen, wie Fig. 17 zeigt, in Verbindung gebracht werden kann, indem man sie einfach an Stelle der gewöhnlichen Kassette einschiebt.

Die von mir konstruierte Kassette besteht aus einem hölzernen Kistchen, welches einerseits einen Schieber, andererseits einen aufklappbaren Deckel besitzt, durch

welch letzteren der eiserne Rahmen, der die Platte und das Quecksilber enthält, leicht eingesetzt werden kann. Dieser letztere Teil des Apparates (Fig. 18a u. b) besteht aus der Rückplatte *M*, welche auf 2 mm ausgehöhlt und zur Aufnahme des Quecksilbers bestimmt ist. Diese Platte ist mit Kautschukdichtungen versehen und wird mittels des Rahmens *D* und zweier Federn *KK*, an die empfindliche Schicht der Bromsilbergelatineplatte angepreßt. Die eiserne Rückplatte ist an zwei Stellen durchbohrt und es dienen diese Löcher *SS*, welche mittels Eisenschrauben verschließbar sind, zum Einfüllen des Quecksilbers.

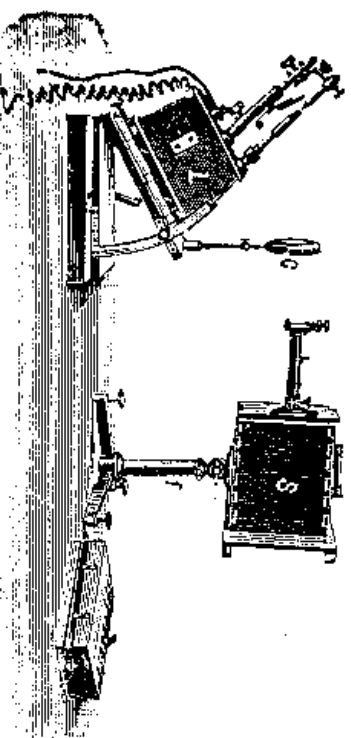


Fig. 17.

Die Handhabung der Kassette ist eine sehr einfache. Die lichtempfindliche Platte wird auf die Kautschukdichtung des Rahmens, Schicht nach oben, gelegt und hierauf die Rückplatte eingesetzt, welche mittels der mit Federn versehenen Hebel *KA*, an dieselbe angeedrückt wird. Hierauf wird das Quecksilber eingefüllt und der Apparat nach Verschiebung der Füllöffnungen in das Holzkästchen gelegt, welches mit Nuten, wie eine gewöhnliche Kassette, versehen ist, und an Stelle einer solchen sowohl an Steinheil'schen Spektrographen als auch an einer geeigneten Landschaftskamera angebracht werden kann.

Die Exposition dauert bei Anwendung von Sonnenlicht und einer Spaltöffnung des Spektrographen von etwa

0,3 mm  $\frac{1}{2}$  bis 1 Minute, während dieselbe bei weit geöffnetem Spalte und Anwendung einer Sammellinse auf 10 bis 20 Sekunden herabgedrückt werden kann.

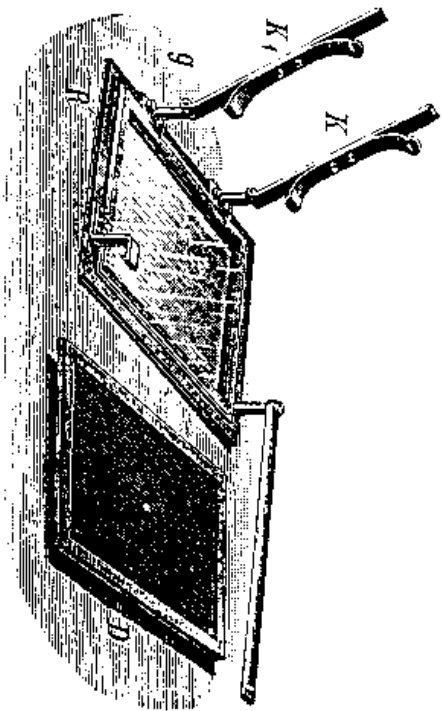


Fig. 18a.

Das Entwickeln der exponierten Platte kann nicht mit jedem beliebigen Entwickler vorgenommen werden: es

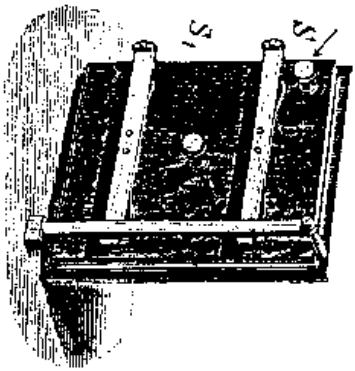


Fig. 18b.

nutzt werden, da in diesem Falle ebenfalls ein weißer Silberniederschlag verlangt wird.

Ich benutze hierzu den folgenden Entwickler:

a) Pyrogallol . . . . .	4 g.
Wasser . . . . .	400 "
Salpetersäure . . . . .	6 Tropfen.

b) Bromkalium . . . . .	10 g.
Wasser . . . . .	400 "
Ammoniumsulfid . . . . .	12 "
Ammoniak (D=0,911) . . . . .	14 cem.

Man mischt 2 bis 3 Teile von b mit 1 Teil von a und 12 bis 14 Teilen Wasser.

Der Silberniederschlag ist hell, und es tritt die Bildung der Farben nach dem Fixieren, Waschen und Trocknen lebhaft hervor.

Sehr gute Dienste erwies mir auch der von Lamière empfohlene Entwickler (siehe S. 45), welchen ich in etwas geänderter Form häufig benutzte, und zwar:

a) Wasser . . . . .	100 cem,
Pyrogallol . . . . .	1 g.
b) Wasser . . . . .	200 cem,
Bromkalium . . . . .	20 g.
Ammoniak (D=0,96 bei 18° C)	67 cem.

Man mische von:

a) . . . . .	10 cem,
b) . . . . .	20 "
Wasser . . . . .	70 "

Für Chlorbromplatten verdünnt man diesen Entwickler auf das Doppelte und belichtet reichlich; man entwickelt so lange, bis die nötige Dichte erreicht ist (bei Spektrumanfahmen das Band fast geschlossen erscheint).

Fixiert werden sowohl die reinen Bromsilber- als auch die Chlorbromplatten nach dem Abwaschen am besten in einer vier- bis fünfprozentigen Zyankaliumlösung<sup>1)</sup>. Die Fixage nimmt sehr kurze Zeit, 10 bis 20 Sekunden, in Anspruch, wenn die Platten dünn gegossen oder nach dem Gieß zentrifugiert wurden. Das Auswaschen in fließendem Wasser dauert ebenfalls nur sehr kurze Zeit (einige

<sup>1)</sup> Schwache Schleier werden hierbei entfernt.

Minuten); auch trocknen diese Platten vermöge ihrer dünnen Schicht sehr schnell und gleichmäßig.

Die Bilder zeigen bei richtiger Expositionszeit und Entwicklung nach dem Waschen und Trocknen die natürlichen Farben sehr brillant. Die Lebhaftigkeit der Farben ist eine größere bei Verwendung von Zyankaliumlösung als Fixiermittel, als bei Anwendung von Fixiernatronlösung.

Interessant erschien mir die bei meinen Versuchen gemachte Beobachtung, daß man sehr kurz belichtete und entwickelte Farbenbilder, wenn selbe im Fixiernatron fixiert und gewaschen wurden, verstärken kann<sup>1)</sup>. Solche Bilder zeigen ursprünglich fast keine Farben. Legt man dieselben in schwache Quecksilberchloridlösung und reduziert nach dem Waschen das weiße Bild mit Amidol und Natriumsulfidlösung, so entsteht ein schwarzes Bild, welches nach dem Trocknen ein recht deutliches Farbenbild gibt, dessen Nuance allerdings mit einem direkt gewonnenen Lippmannschen Spektralbilde nicht ganz übereinstimmt: dasselbe zeigt nämlich die Farben nur auf der Schichtseite, in der Durchsicht und auf der Glasseite ist es braunschwarz gefärbt.

#### Anwendung der Lippmannschen Methode zur Wiedergabe von Mischfarben.

Nachdem es Lippmann gelungen war, die Farben des Spektrums richtig wiederzugeben, versuchte er es auch Mischfarben mittels seines Verfahrens zu photographieren. Er legte der Pariser Akademie der Wissenschaften am 25. April 1892 vier Bilder vor, welche ebenso viele farbige Gegenstände wiedergaben, nämlich eine in vier Farben, Gelb, Blau, Grün und Rot, ausgeführte Glasnadeln, ferner einen Teller mit Orangen, auf denen

eine rote Mohlblume liegt, eine Fahnengruppe, einen Tegel. Die Expositionszeit betrug im Sonnenlichte 5 bis 10 Minuten, während im zerstreuten Tageslichte bei einigen Aufnahmen eine stundenlange Exposition nötig war. So z. B. bei Aufnahme einer Landschaft, welches Bild übrigens das Grün des Laubes, sowie das Grau der Gebäudesteine gut erkennen ließ, während das Blau des Himmels einer tiefen Indigofärbung entsprechend aussah.

Auf einer internationalen Ausstellung zu Paris waren von Lippmann weitere Bilder ausgestellt, und zwar ein farbiges Glasfenster, einen Zweig mit roten Beeren und einen farbigen Papagei darstellend. Diese Bilder, deren im Quadrat groß, waren von mehreren Seiten als nicht sehr gelungen bezeichnet worden, ja hatten sogar einen englischen Berichterstatter<sup>1)</sup> veranlaßt, ein Urteil über das Verfahren Lippmanns zu fällen, das demselben jeden praktischen Wert abspricht.

Daß das Interferenzverfahren bereits wenige Jahre nach seiner Erfindung durch Lippmann einen sehr großen Fortschritt zu verzeichnen hatte, haben die von Lumière in Lyon am 11. Mai 1893 im Pariser „Photo-Club“ und später im selben Jahre auf der Ausstellung der „Union internationale de Photographie“ in Genf ausgestellten Bilder gezeigt, woselbst sogar Porträts auf Bronsilber-Gelatineplatten ausgestellt waren, fernereinige Landschaften, welche die einzelnen Farben von Bäumen, Rasen, Blumen usw. wirklich naturgetreu wiedergaben. Die Exposition dieser Bilder nahm allerdings, unter Anwendung von direktem Sonnenlicht, die Zeit von 5 bis 10 Minuten in Anspruch. Seither ist von vielen Seiten an der Verbesserung des Verfahrens mit Erfolg gearbeitet worden. Zur Herstellung von Bildern in der Kammera bediente ich mich seinerzeit derselben Kassette, welche ich S. 55

<sup>1)</sup> Jahrb. f. Photogr. 1893, S. 137.

<sup>1)</sup> W. Swan Photographie Works, Juni 1892.

ausführlich beschrieben habe. Diese Kassette wurde einer Kamera für das Format  $13 \times 18$  cm angepaßt. Ich habe mit dieser Einrichtung unter Verwendung von mit Zyanin-Erythrosin sensibilisierten Platten, wie ich deren Herstellung bereits ausführlich beschrieben habe (siehe S. 47 u. 52), eine Reihe von Aufnahmen gemacht, welche meist Blumenstücke und dergl. zum Gegenstande hatten. Hierbei ergab sich die Notwendigkeit der Anwendung eines schwach gelben Lichtfilters zur Abhaltung der violetten und ultravioletten Strahlen. Man kann zu diesem Zwecke Glasscheiben, welche mit gefärbtem Kolloidum überzogen sind, benutzen, oder, wie ich es vorziehe, in den Strahlengang eine Glaswanne mit planparallelen Spiegelscheiben einschalten, in welche man eine schwache Lösung von Primulin oder einen ähnlich wirkenden Farbstoff gibt. Bei der Aufnahme von farbigen Gegenständen gilt das, was ich bei Besprechung der Aufnahme von Spektren bereits betonte: sorgfältiges Abstimmen des Sensibilisators und Treffen der richtigen Belichtungszeit, in noch erhöhtem Maße. Die Belichtungszeit war für die oben genannten Objekte 10 bis 15 Minuten bei Anwendung eines lichtstarken Porträtobjektivs mit mittlerer Blende und direktem Sonnenlichtes<sup>1)</sup>. Als Entwickler bediente ich mich des bereits erwähnten modifizierten Lumière'schen Pyrammoniakentwicklers.

### Versuche von Neuhauf. H. Lehmanns Versuche und Apparate zur Herstellung von Photochromien nach der Interferenzmethode.

Vier Jahre nach dem Erscheinen der ersten Auflage dieses Buches (1894) legte R. Neuhauf seine Erfahrungen

1) Kleine Versuche wurden im Oktober und November, wo die Lichtverhältnisse sehr ungünstig sind, gemacht, die Expositionszeit wird daher im Sommer nur einen Bruchteil der angegebenen Zeit ausmachen.

auf dem Gebiete der Interferenzphotographie in einem weiteren Bande der „Encyclopädie“<sup>1)</sup> nieder, welcher Publication später noch weitere über diesen Gegenstand folgten<sup>2)</sup>. Neuhauf fand anfangs, daß das Diweißverfahren sicherere Resultate ergebe als das Gelatineverfahren, da man nicht leicht eine Gelatine findet, welche gute Resultate gibt. Später fand er eine brauchbare Gelatine und erhielt damit sehr gute Resultate. Neuhauf empfahl das von mir als Sensibilisator zuerst eingeführte Glycerinrot zur Sensibilisierung der kornlosen Platten, ferner das Arbeiten mit stark verdünntem Amidolentwickler, Bleichen der so entwickelten Platten mit Sublimat und Schwärzen des gebleichten Bildes mit dem erwähnten Amidolentwickler. G. Goddard<sup>3)</sup> empfiehlt gleichfalls den Amidolentwickler und den Verstärkungsprozeß mit Sublimatlösung. Er entwickelt mit einer auf das Zehnfache mit Wasser zu verdünnenden Lösung von 1 Teil Amidol, 10 Teilen Sulfit und 100 Teilen Wasser. Dann wird im 15prozentigen Fixiernatronbade fixiert, gewaschen, mit einprozentiger Sublimatlösung gebleicht und mit dem Amidolentwickler geschwärzt. Auch Lüppo-Cramer verwendet als Fixiermittel statt des Zyankaliums Fixiernatron und etwas Bisulfit, „wenn man es nicht vorziehen sollte, das Fixieren überhaupt zu unterlassen“.

Die bedeutendste Vervollkommnung der Apparate zur Herstellung von Lippmann-Photographien verdanken wir den in den letzten Jahren (1905 bis 1909) durchgeführten Arbeiten von H. Lehmann<sup>4)</sup>, welcher

1) Bd. 33.

2) Phot. Rundsch. 1901, S. 100.

3) Bull. Soc. Franç. Photogr. 1903, S. 343.

4) Beiträge zur Theorie und Praxis der direkten Farbenphotographie 1906. — „Über die direkten Verfahren der Farbenphotographie nach Lippmann und Lumière. Verhandl. d. Deutsch. phys. Gesellsch. IX, Nr. 26 (1907). — Interferenzfarben-

auch Trockenplatten für dieses Verfahren herstelle und zu denselben Filter abstimme. Die Herstellung seiner Trockenplatten beschreibt H. Lehmann nicht näher, dieselben werden von der Firma Jahr in Dresden, die Apparate zur Bilderstellung und Betrachtung, Kassetten, Lichtfilter, Benzolküvetten usw. von der Firma Zeiß in Jena in den Handel gebracht.

Diese Trockenplatten zeigen bei Spektromaufnahmen zwei Sensibilisierungsbänder, welche jenen von mit Planzynol sensibilisierten Platten entsprechen. Die Sensibilisierung reicht im roten Bezirke bis zur Kraunhofersehen Linie B.

H. Lehmann zieht es bei seinem Verfahren vor, statt den Sensibilisator so zu wählen, daß eine dem Eindruck des Gegenstandes auf das Auge entsprechende Wirkung in den einzelnen Spektralbezirken zustande kommt, die Korrektur der differierenden Wirkung des Sensibilisators mittels eines Strahlenfilters vorzunehmen (siehe S. 73).

Lehmann empfiehlt möglichst intensive Beleuchtung und die Verwendung eines lichtstarken Objektives von etwa  $f/4.5$  bis  $f/3.5$  (Lessaer von Zeiß). Die Expositionszeit beträgt unter diesen Umständen für eine Landschaft im Sonnenlicht etwa 1 bis 2 Minuten, wenn mit dem Verstärkungsverfahren gearbeitet wird, welches Lehmann für diesen Zweck empfiehlt.

Bei diesem Verfahren wird die exponierte Platte mit Amidol entwickelt, gewaschen, das Bild mit Sublimat gefärbt und nach kurzem Waschen mit dem Amidolentwickler geschwärtzt. Zur Durchführung des Verfahrens bereitet man sich zwei Vorratslösungen:

photographie mit festem Metallspiegel, ebenda XI, Nr. 20 (1909). Die Praxis der Interferenzfarbphotographie, Phot. Rundsch. 1909.

- 1. Destilliertes Wasser . . . . . 25 cem,
- Natriumsulfit . . . . . 5,0 g,
- Amidol . . . . . 0,5 "

Man löst zuerst das Natriumsulfit allein im Wasser und fügt erst dann das Amidol hinzu. Hierauf filtriert man.

- II. Destilliertes Wasser . . . . . 100 cem,
- Sublimat . . . . . 2 g.

Lösung I wird nach einiger Zeit unbrauchbar, sobald sie sich braun gefärbt hat.

Zum Gebrauche mischt man:

- Wasser . . . . . 100 cem,
- Lösung I . . . . . 1—5 "

Die Entwicklung soll 2 bis 5 Minuten dauern. Bei großen Kontrasten nimmt man wenig von Lösung I und entwickelt länger. Da die Schwärzung nur sehr wenig dicht sein darf, entwickelt man am besten in einer weißen Schale, um das Fortschreiten der Entwicklung besser beobachten zu können. Darauf erfolgt ein kurzes Abspülen der Platte, Fixieren in einer 25 procentigen Fixieratronlösung (1 bis 2 Minuten) und abermaliges Waschen der Platte.

Für die Herstellung von Spektraaufnahmen wird von Lehmann folgender Pyrogallolentwickler empfohlen.

Man bereitet sich zwei Lösungen, bestehend aus:

- 1. Destilliertes Wasser . . . . . 100 cem,
- Kaliummetabisulfit . . . . . 0,2 g,
- Pyrogallol . . . . . 1,0 "

Man löst zuerst das Kaliummetabisulfit und setzt dann das Pyrogallol zu.

- 2. Bromkalium . . . . . 15 g,
- destilliertes Wasser . . . . . 150 cem,
- Ammoniak, spezifisches Gewicht 0,91 30 "

Zum Gebrauche mischt man der Reihe nach:

Lösung 1 . . . . .	3 ccm,
Wasser . . . . .	100 "
Lösung 2 . . . . .	6 "

Will man sehr zarte und reine Farben erlangen, so nimmt man weniger von Lösung 2, etwa nur 2 bis 4 ccm.

Ein stärkerer Zusatz von Lösung 2 hat eine höhere Leuchtkraft, aber geringere Sättigung der Farben zur Folge.

Die Pyro-Ammoniakentwicklung darf bei einer Temperatur des Bades von 15 bis 18° C nur 1 bis 1½ Minute dauern. Darauf wird die Platte etwa 1 Minute lang in fließendem Wasser gewaschen und hierauf, falls man es für nötig hält, bis zu 1 Minute in 20-prozentiger Lösung von unterschwefligsauren Natrium fixiert.

Zuletzt wird die Platte nochmals 3 Minuten gewaschen und zum Trocknen aufgestellt.

Bei der geringen Empfindlichkeit der korrosionsplatte kann man das Fortschreiten der Hervorrufung von Zeit zu Zeit bei gewöhnlichem gedämpften Lampenlicht beobachten.

Die von H. Lehmann, in den optischen Werken von C. Zeiß in Jena konstruierte Apparatur zur Herstellung von Lithpinnacsen Photochromen ist in folgendem beschrieben.

Fig. 19a zeigt einen Schnitt durch die Quecksilberkassette, bei Plattenrahmen A, welcher durch den Schieber B verschließbar ist, liegt die photographische Platte C mit ihrer transparenten Schicht D vom Objektiv abgewendet. Auf diese Schicht wird mittels Schraube G, Riegel H und Buckel I ein Gummirahmen J gepreßt, wonach man in den entstandenen Hohlraum K vor der Belichtung Quecksilber einfließen läßt. Dies geschieht, indem man das Füllrohr X mit dem Füllgefäß (Fig. 19b) mittels Kautschukschlauches verbindet, das Ventil durch Drehen

des Ringes F öffnet und das Füllgefäß langsam hebt, bis das Quecksilber im Sammeltrichter M erscheint, worauf man die Ventile des stählernen Füllgefäßes schließt und dasselbe mittels des Hakens G an den Apparat hängt.

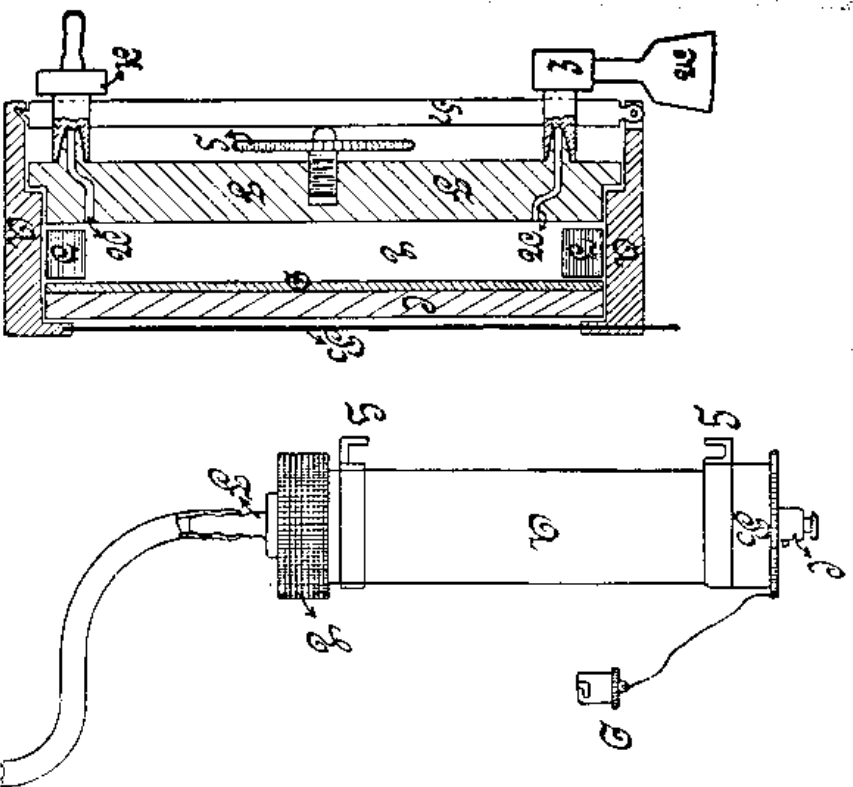


Fig. 19a.

Fig. 19b.

Nach der Belichtung verfährt man in umgekehrter Weise, um die Kassette wieder zu entleeren. Fig. 20 zeigt die Quecksilberkassette zum Transport fertig mit abgenommenem Stegrohr, sowie das Füllgefäß, in dessen Schlauch das Füllrohr X (Fig. 19a) gesenkt ist.

Hat man eine Anzahl Platten nacheinander zu exponieren, so kann dies mit Hilfe der „Wechsel-

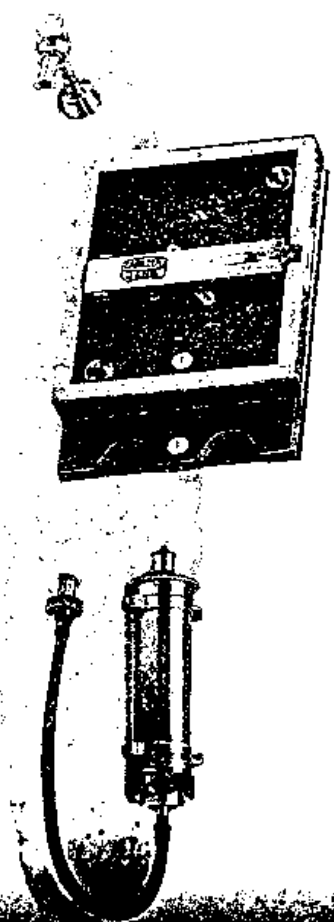


Fig. 20.

kassette" rasch geschoben. Diese Kassette gleicht im Prinzip der oben beschriebenen einfachen Kassette, ersetzt aber das Wechselschloß bei Tageslicht während sich die Kassette an der Kamera befindet. Die Platte befindet sich nämlich in einem lichtdichten Behälter mit zwei Schiebern, welche an einem Ende verbunden sind und daher gleichzeitig herausgezogen werden können.

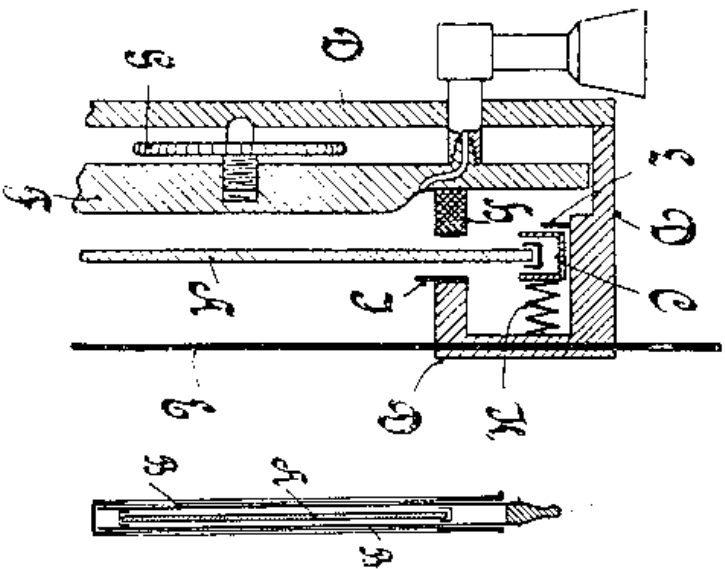


Fig. 21a.

Fig. 21b.

„Durchschnitt durch die Wechselskassette. Das durch den Schieber *F* verschließbare Gehäuse *D* enthält eine mittels der Schraube *G* parallel mit sich selbst verschiebbare Platte *K*, an welcher der Gummirahmen *H* befestigt ist. Diese Figur zeigt die photographische

Platte *A* im Rahmen *C* des lichtdichten Behälters, nachdem der Doppelschieber (*B*, Fig. 21b) entfernt worden ist. Man preßt nun den Rahmen *H* durch Drehen der Schraube *G* an die Platte, welche dabei an *I* angefrickt wird. Dann wird, wie bei der gewöhnlichen Kassette, Quecksilber eingelassen, belichtet, das Quecksilber entleert der Schieber nach Lüften von *G* eingeschoben, der Behälter entfernt, ein solcher mit einer frischen Platte eingeschoben usw.

Das Quecksilber zur Füllung der Kassette soll sogen. chemisch reines, destilliertes Metall sein. Dasselbe soll nach einer gewissen Zahl von Aufnahmen in der üblichen Weise (Pressen durch Wildleder) filtriert werden.

Lehmann empfiehlt nach der Belichtung, vor dem Entwickeln, die Schicht mit trockenem Rehdleder unter kräftigem Druck gleichmäßig abzureiben, wie dies von Neuhaß angegeben wurde. Selbst schwache Poliermittel können hierbei unter Umständen vorteilhaft verwendet werden, doch ist dies nur bei größerer Übung empfehlenswert.

Härten der unbelichteten Bromsilbergelatineschicht mit Formalinlösung (40 prozentiges Formalin 5 ccm, Wasser 100 ccm) und Waschen ist ein gutes Mittel, das Auftreten von Flecken in der Schicht zu verhindern.

### Über die Korrektheit der Farbenwiedergabe bei Lippmanns Photochromien. — Abnormale Farbenerscheinungen.

H. Krownel) stellte eine Anzahl Regeln für das korrekte Zustandekommen der Farben beim Lippmannschen Verfahren auf, welche zum großen Teil mit meinen Erfahrungen übereinstimmen. Die Bedingungen, unter

1) Deutsche Photographenzeitsung 1892, S. 187. Vergl. auch Eders Jahrb. f. Photogr. 1893.

denen eine korrekte brillante Wiedergabe der Farben möglich ist, sind nach dem genannten Autor aus folgenden Regeln ersichtlich:

„1. Ist es unerlässlich, daß die empfindliche Schicht durchaus homogen sei und das Vorhandensein einer Spiegelung in Berührung mit dieser Schicht, deren (reflektierte) resultierende Strahlen mit den direkt einfallenden interferieren und so in der Schicht stehende Wellen erzeugen.“

„2. Überschreitet die Bildschicht eine gewisse Dicke, so kommen die Farben entweder gar nicht oder anders gefärbt (d. h. in anderen Wellenlängen) zum Ausdruck.“

„Überall dort, wo die reguläre Schicht ein Staubeilchen umhüllt, kommt diese Erscheinung in allen Variationen zur Geltung.“

„3. Das wahrheitsgetreue und lokalrichtige Auftreten der Farben im Bilde ist nicht absolut, sondern relativ und hängt ohne Ausnahme ab von:

- a) einem prinzipiell genauen grünstigen Zusammenstimmen des in der Schicht aufs feinste verteilten Haloids silbers mit dem Farbensensibilisator und dessen Position;
- b) von dem Wärmegrade beim Trocknen der Schicht;
- c) von der Belichtungsdauer bei der Aufnahme;
- d) von der Entwicklung.“

„So kann es sich ereignen, daß bei minder grünstigem Zusammenstimmen der erwähnten Faktoren, z. B. in der Region des Blau, Grün, in jener des Rot, Gelb, usw. auftritt. Dies ist auch Veranlassung, daß im Farbenresultat manchmal Umschwingungen einer ganz anomalen Farbendispersion auftreten, daß manche Farbe ganz ausbleibt usw.“

„4. Jein vermehrter oder verminderter Feuchtigkeitsgehalt im Resultat verändert die Farben.“

„5. Bezüglich der Sonnenhöhe bei der jeweiligen Aufnahme des Spektrums bemerkt Krone, daß bei zu niedrigem Sonnenstande (kurz nach Sonnenaufgang oder vor Sonnenuntergang), wengleich das Spektroskop alle Farben anscheinend kräftig zeigt, die Strahlen um so größerer Brechbarkeit eine um so geringere Aktivität zeigen, so daß endlich selbst bei verlängerter Belichtung, z. B. kurz vor Sonnenuntergang, das Violett, Blau und Ultraviolett nicht mehr fertig werden. Es verschwindet zuerst das Ultraviolett, dann das Blau, dessen Region durch Verlängerung von Grün übertüncht erscheint oder einen stahlgrauen Farbenton zeigt.“

„6. Bei genügend kräftiger Belichtung erscheint das dem Auge unsichtbare Ultrarot (außerhalb der Linie  $\lambda$ ) im photographischen Resultat als Dunkelpurpur. Das Ultraviolett (außerhalb der Linie  $H$ ) abklingend in gelblich-rosenrötlicher Lavendelfarbe.“

„7. Innerhalb der ultravioletten Partie (außer der Fraunhoferschen Linie  $H$ ) tritt bei Verwendung von elektrischem Bogenlicht als Lichtquelle, von der  $H$ -Gruppe getrennt durch eine farblos bleibende Gruppe von Kohlenlinien, ein höchst intensives Lichtmaximum auf, welches schon optisch erkennbar, bei ausreichender Belichtung tiefer und intensiver dunkelblau als das Indigoblau des Sonnenspektrums erscheint.“

„8. Die Aktivitätsintensität des elektrischen Bogenlichtes bei 36 cm Abstand des Spektroskopspaltes vom positiven Pol der Kohlenspitzen verhält sich zu der des direkten Sonnenlichtes (Mittag, April, klarer Himmel) wie 1 : 38 bis 1 : 40.“

„9. Nur bei Benutzung des Lippmannschen (Quecksilber-)spiegels ist es unter Einhaltung der Bedingungen (Punkt 3) möglich, die dem optischen Spektrum entsprechenden Farben im photographischen Farbenresultat gleichzeitig und an der richtigen Stelle darzustellen.“



Hierzu ist nach den seither veröffentlichten Erfahrungen verschiedener Experimentatoren folgendes zu bemerken.

Ad 1. Es wurde bereits erwähnt (S. 24), daß die Größe des Kornes der zu verwendenden Platten ein gewisses Maß nicht überschreiten dürfe.

Wird diese Bedingung nur unvollkommen erfüllt, so erhält man anomale Spektrumbilder. So kann es geschehen, daß durch verschiedene Einflüsse bei der Emulsionsbereitung (z. B. Temperaturen von nur wenig mehr als 40° C, längeres Stehen der Emulsion bei 40° C usw.) Platten erhalten werden, welche wohl das Rot, Gelb und Grün, aber nur sehr wenig Blau und gar kein Violett geben. Solche Platten sind durchaus noch nicht den gewöhnlichen unreifen Bromsilberemulsionen ähnlich, sondern zeigen höchstens eine etwas stärkere Opaleszenz, als dies bei korrekt bereiteten Bromsilbergelatinetrockenplatten für den Lippmann-Prozeß, wie ich deren Beschreibung in den vorhergegangenen Abschnitten ausführlich gegeben habe, der Fall ist. Das Silberkorn dieser Platten ist mikroskopisch noch immer nicht erkennbar, aber dieselben geben selbst bei starker Überbelichtung kein Violett mehr.

War die Temperatur bei der Herstellung der Platten eine viel höhere als 10° C und hat man längere Zeit digeriert, so geben solche Platten, welche dann eine starke Trübung erkennen lassen, gar keine Farben mehr.

Ad 2 ist zu bemerken, daß man entweder die Menge der Gelatine in der Emulsion herabsetzen kann, wodurch erreicht wird, daß beim Abtauchen durch Lotrechtstellen der Platte nach dem Güsse während kurzer Zeit der größte Teil der Emulsion von der Platte abrinnt und nur eine sehr dünne Emulsionshaut verbleibt, oder daß man die normale Menge Gelatine nimmt und die Platten anschließend, wie ich dies bereits angegeben habe. Zu

dick gegessene Platten geben anomale Bilder. Die Farben solcher Platten zeigen geringe Brillanz und sind häufig nicht an ihrem richtigen Platze. Betrachtet man ein solches Spektrum von der Glassseite, so sieht man die Farben verschoben. Diese Verschiebung hat Stolze<sup>1)</sup> auch an einem von Krone mittels Albuminplatten hergestellten Spektrum konstatiert und daraus Schlüsse auf das Nichtstimmen der Theorie mit den praktischen Resultaten gezogen, welche von Zenker widerlegt wurden. Sie tritt um so stärker auf, je dicker die Schicht ist. Zenker<sup>2)</sup> erklärte diese Umwandlung der Farben aus der Plattenstruktur der Schicht, indem er annimmt, daß störende Einflüsse verändernd auf die Farben gewirkt haben. Der rote Spektralbezirk der Vorderseite erscheint bei solchen Spektren in einem orangefarbenen, gelben und gelbgrünen ungewandelt.

Eine richtige Erklärung des Auftretens unrichtiger Farben auf der Oberfläche von Interferenzbildern gab O. Wiener<sup>3)</sup>. Wie derselbe zeigte, liegt die Hauptursache dieser Erscheinung in einer Phasenänderung des Lichtes bei der Reflexion am Quecksilberspiegel. Diese Phasenänderung ist verschieden und ihre Größe ist von der Oberflächenbeschaffenheit der Gelatineschicht abhängig. Das ganze System der reflektierenden Lamellen gegen die Quecksilberoberfläche wird also um ein solches Stück verschoben sein, daß im allgemeinen die farbige „Tiefenwelle“ gegenüber der „Oberflächenwelle“ eine andere Phase hat. Die Intensität des von der Oberfläche der Schicht reflektierten Lichtes kann, wie Wiener nachgewiesen hat, unter Umständen größer sein, als jene des von den Lamellen reflektierten Gesamtlichtes und darf

1) Photogr. Nachrichten 1892, S. 272.

2) Féders Jahrb. f. Phot. 1893, S. 114.

3) Ann. d. Phys. u. Chem. 1899, Bd. 69, S. 488.

durchaus nicht vernachlässigt werden, da die aus weißem Licht bestehende „Oberflächenwelle“ (welche wegen des geringen Abstandes der Oberfläche vom Lamellensystem mit der Tiefenwelle zur Interferenz kommt) bewirkt, daß der Schwerpunkt der wiedergegebenen Farbe gegenüber dem der Belichtungsfarbe verschoben wird, und zwar, wie die Erfahrung lehrt, nach Rot. Dies ist der Grund, weshalb die nach dem Lippmannschen Verfahren hergestellten Bilder fast immer mehr oder weniger rötlich oder gelblich überfossen erscheinen.

Zur Beseitigung der Oberflächenwelle taucht O. Wiener die Photogramme in eine mit Benzol gefüllte Kirtle oder versieht die Bilder mit einer mit Kanadabalsam auf die Schicht aufgetragenen Glasplatte von schwach keilförmiger Gestalt, damit das an ihrer Oberfläche zurückgeworfene weiße Licht, das natürlich wegen des großen Abstandes nicht mehr mit der Tiefenwelle interferiert, am Auge vorbei reflektiert wird.

H. Lehmann<sup>1)</sup> empfiehlt zur Beseitigung des störenden Einflusses der Oberflächenwelle auf der Oberfläche des Bildes eine feine Mattschicht anzubringen, indem man eine (sehr dünne) Mattscheibe mit Kanadabalsam auf die Oberfläche des Bildes aufträgt.

Ad 3a. Was diesen Punkt anbelangt, so habe ich bereits in einem früheren Abschnitte die Wichtigkeit des Zusammenstimmens von Sensibilisator und Emulsion, sowie der Dosierung erwähnt. Verwendet man z. B. Platten, welche mit einem Gemenge von Zyanin und Erythrosin sensibilisiert wurden, so erhält man, wenn das richtige Verhältnis nicht eingehalten wurde, sondern das Erythrosin in zu großer Menge vorhanden ist, Spektrumbilder, bei denen das Grün dominiert.

<sup>1)</sup> Beiträge zur Theorie und Praxis der direkten Farbenphotographie 1906, S. 31.

H. Lehmann<sup>1)</sup> legt den Hauptwert nicht auf die Abstimmung der Sensibilisatoren, sondern auf jene des Filters. Er dosiert die Sensibilisatoren so, daß amgenähert ein Maximum der Sensibilisierung erreicht wird und nimmt die eigentliche Abstimmung durch das Filter vor. Er verwendete für seine Platte, welche im Handel erhältlich ist, ein Zyanin-Erythrosin-Äskulinfilter, oder als Ersatz für Zyanin, das bekanntlich im Lichte sehr rasch entfärbt wird, das weniger lichtempfindliche Methylviolett. Zur Abstimmung des Filters für die Emulsion ging Lehmann in folgender Weise vor: er machte von möglichst vielfarbigen Gegenständen einige Aufnahmen ohne Kompensationsfilter mit verschiedenen Belichtungszeiten und Ausschaltung des ultravioletten Lichtes. Diese Aufnahmen betrachtete er in geeigneter Weise nach Beseitigung der Oberflächenwelle (siehe S. 72) und stellte fest, welche Farben im Weiß überwiegen. Dann wählte er Farbstoffe, welche in verdünnter Lösung diese störenden Eigenschaften abschwächen, und änderte die Konzentration so lange, bis das durch das Filter betrachtete Bild den besten Effekt gab. Durch dieses Filter wurde bei den Aufnahmen belichtet.

Ad 3b und 4 will ich bemerken, daß sowohl die durch verschiedenen Feuchtigkeitsehalt, als auch die durch die verschiedenen stark differierenden Temperaturen bewirkte Ausdehnung resp. Zusammenziehung der Schicht Anomalien hervorbringen kann. Wenn man ein nach dem Lippmannschen Verfahren hergestelltes Spektrumbild anhaut, so wird man sofort bemerken, wie der rote Spektralbezirk sich vergrößert, das Rot und desgleichen die folgenden Farben nach dem brechbaren Ende des Spektrums zu wandern beginnen. Der Grund dieser auffallenden Erscheinung liegt in dem Umstande, daß

<sup>1)</sup> A. a. O.

beim Anhauchen die Gelatine Feuchtigkeit annimmt und aufquillt; dadurch werden die einzelnen spiegelnden Silberschichten voneinander entfernt und wie es die Theorie bedingt, werden nur jene Strahlen des auffallenden weißen Lichtes zur Reflexion gelangen, deren halbe Wellenlänge der durch das Anhauchen erweiterten Distanz der Lamellen voneinander entspricht.

Ist der Feuchtigkeitsgehalt der Luft in jenem Lokale, in welchem die Platten aufbewahrt und in die Kassette eingelegt wurden, ein wesentlich verschiedener von jenem, in welchem dieselben nach dem Entwickeln und Fixieren getrocknet wurden, so kann eine Verschiebung der Farben eintreten, welche sich manchmal, z. B. bei Aufnahme von farbigen Gegenständen, sehr unangenehm bemerkbar macht, indem ganz unrichtige Farben im Bilde erscheinen.

Den Einfluß, welchen ein verschiedener Feuchtigkeitsgehalt der Gelatineschicht zur Zeit der Exposition und später beim fertigen Spektrumbild hervorbringt, kann man in sehr treffender Weise demonstrieren, wenn man eine mit Eosin sensibilisierte Platte vor der Exposition bei 100° C trocknet und sodann in die Kassette einlegt und exponiert. Das fertige, bei gewöhnlicher Temperatur an der Luft getrocknete Bild wird infolge des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft nicht mehr jenen Grad von Trockenhait annehmen können, welchen die Gelatineschicht zur Zeit der Exposition der Platte besaß; die Folge davon ist, daß im fertigen Bilde alle Farben nach dem weniger brechbaren Ende zu verschoben erscheinen, der rote Spektralbezirk erscheint demart verbreitert, daß die Platten den Eindruck macht, als wäre die Emulsion mit Zyanin oder Chlorophyll und nicht mit Eosin sensibilisiert worden.

Es ist aus diesem Grunde zu empfehlen, die Platten in einem nicht zu warmen, trockenen Lokale aufzubewahren und einzulegen (nach dem Füllen der Kassette mit Quecksilber kann sich der Feuchtigkeitsgehalt der Schicht kaum

mehr ändern, da dieselbe von der Luft abgeschlossen ist) und in demselben Lokale das fast trockene Bild fertig trocknen zu lassen. — Um die Bilder, welche richtige Farben zeigen, gegen die Einflüsse von Feuchtigkeit und die damit verbundenen Farbenverschiebungen zu sichern, ist es am besten, auf dieselben mit Hilfe von Kanadabalsam ein dünnes, mattiertes Deckglas oder besser den S. 72 bereits erwähnten flachen Glaskel, aufzukitteten, wodurch nicht nur das Bild geschützt, sondern auch die Brillanz und Klarheit desselben wesentlich gehoben wird, indem der metallische Glanz der Oberfläche verschwindet und den reinen Farben Platz macht.

Ad 3c. Es muß hervorgehoben werden, daß zu kurz belichtete Platten, welche mit Farbstoffen, z. B. Zyanin, sensibilisiert worden sind, bei den Spektrumaufnahmen das Zyaninmaximum im Orange scharf hervortreten lassen, solche Bilder zeigen Rot, Gelb und Grün deutlich, dann kommt das Minimum und sodann undeutlich Blau und Violett. Das Spektrumbild erscheint zerissen.

Bei zu langer Belichtung tritt nun das Maximum die Bildung einer Aureole ein und die Farben verlieren stark an Brillanz.

Bei richtiger Belichtung werden stets reine Farben erzielt, wenn man sich an die bereits angegebenen Vorschriften hält; eine Unterbelichtung ergibt entweder gar keine Farben oder die bereits beschriebene Färbescheinung des unterbrochenen Spektrumbildes.

Diese Tatsache läßt sich auch leicht aus der Theorie erklären. An den Interferenzstellen, den Knotenpunkten der stehenden Lichtwellen, findet gar keine Lichtwirkung und folglich bei der Entwicklung keine Silberausscheidung statt. Die Silberausscheidung beginnt aber gleich neben denselben und wird am stärksten in den Lichtmaxima sein. Wir werden also die besten Resultate und die reinsten Farben dann erhalten, wenn die Belichtung so

gewiß ist, daß in den Maxima eine genügend re-  
schlossene Silberauscheidung stattfindet, ohne daß die  
ganze geforderte Wellenlänge von dazwischen geschobenen  
kürzeren Wellenlängen und entsprechenden Reduktions-  
niederschlägen im Resultat beeinträchtigt wird (Kronel  
Bei Überbelichtungen tritt, wie Kronel<sup>1)</sup> an seinen  
Spektrumbildern konstatierte, ein Ausbleichen der Farben  
ein, welches der genannte Autor wie folgt erklärt:

„Der Bleichvorgang bei der photographischen Farben-  
darstellung von Spektren ist ein Solarisationsvorgang.“

„Die durch Überbelichtung der fordernden Farben-  
bestrahlung ausgebleichten Farberegionen erscheinen im  
Farbenresultat in derjenigen Farbe, welche dem Vorwalten  
relativ begleitender Farbenlängen in den lokal interferierten  
Wellen entspricht, und zwar solange die Überbelichtung  
sich nur auf die Lichtmaxima erstreckt.“

„In diesem Falle ist das Auftreten von Mischfarben  
unausbleiblich, da die Partien jeder einzelnen Welle in  
ihren unter sich durchaus verschiedenen Entfernungen  
von nächsten Interferenzpunkte unter sich verschiedene  
Wellenlängen zum Ausdruck bringen, deren aktinische  
Beschaffenheit sich nach Maßgabe der erfolgenden Be-  
lichtungsdauer ungefähr in größerer oder geringerer In-  
tensität im Farbenresultat äußert.“

„Erstreckt sich die Überbelichtung nicht bloß auf  
die Lichtmaxima, sondern auf die ganze stehende Welle,  
so daß die reduzierende Tätigkeit des Lichtes in der fort-  
geschrittenen Solarisationsintensität überhaupt so lange  
nicht mehr wahrzunehmen ist, bis die Solarisation in ein  
noch höheres Stadium getreten ist, so tritt der Bleich-  
vorgang durch die ganze stehende Welle von einem Inter-

1) Kronel, Über Farbephotogramme des Spektrums.  
Photogr. Korresp. 1893, S. 226.

ferenzpunkte bis zum nächsten in voller Intensität auf und  
die ganze überbelichtete Partie erscheint weiß.“

„Bei noch weiter fortgesetzter Überbelichtung färbt  
sich dieses Weiß wieder von neuem, und zwar als Polari-  
sationsnegativ, niemals mehr in den Spektralfarben.“

Ad 3d. Von hoher Wichtigkeit ist die richtige Ein-  
haltung der Dosierung des Entwicklers. Ich benutze, wie  
dies auch Lumière tut, zur Entwicklung der Bilder Pyro-  
Ammoniakentwickler (siehe S. 57). Bei diesem Entwickler  
hängt die Farbe des Silberniederschlags wesentlich von  
der Konzentration des Ammoniaks ab.

Enthält derselbe bei richtiger Dosierung der anderen  
Bestandteile zu viel Ammoniak, so ist die Folge, daß sich  
beim Entwickeln ein metallischer Schleier über das Bild  
legt, welcher, wenn er eine gewisse Stärke erreicht hat,  
bei der Fixage mit Zyanalkaliumlösung nicht mehr entfernt  
werden kann. Besonders solche Bilder zeigen nach dem  
Trocknen die Farben inkorrekt und als metallischen Anflug  
auf der Oberfläche der Schicht, also ein Oberflächenbild  
welches anomal ist.

Ähnliche Oberflächenbilder entstehen, wenn man ein  
unterexponiertes Bild mit Hilfe geeigneter Mittel ver-  
stärkt. In diesem Falle wird ein Oberflächenbild er-  
halten, welches die Farben des Spektrums mit eigen-  
tümlichem, metallischen Glanze und verschoben zeigt.  
Durch Behandlung der Spektrumbilder mit dem Lumière-  
schen Persulfatabschwächer (100 cem zweiprozentige Am-  
moniumpersulfatlösung und 10 Tropfen Schwefelsäure)  
kann man nach neueren Versuchen von H. Lehmann<sup>1)</sup>  
Bilder, welche mit zu viel Ammoniak entwickelt sind,  
wesentlich verbessern. Es werden hierdurch die Zenkor-  
schen Blättchen sehr rein ausgebildet, da dieser Ab-  
schwächer nur die Lichter angreift, d. h. also die an der

1) Private Mitteilungen an den Verfasser.

Oberfläche befindlichen, zu stark gewordenen Blättchen. Zur Beseitigung des Grünschleiers, der auch in den Lichtminimas (Schwingungsknoten) störend wirken kann, kann man nach H. Lehmann den Fernerschen Abschwächer verwenden, dergleichen bei Überbelichtungen. Bisweilen sind diese Abschwächer bei Verwendung der Fahrsehenplatten (s. S. 62) überhaupt nicht zu vermeiden.

Ad 6 wäre zu bemerken, daß nach Untersuchungen O. Wieners<sup>1)</sup> das vermeintliche Ultrarot nur ein scheinbares, hervorgerufen durch die Mitwirkung der Oberflächenwelle, welche die wesentliche Farbe ändert, darstellt. Das äußerste Rot wird bläulich. Die Farbe im ultravioletten Bezirke des Spektrums ist ebenfalls nicht durch das Ultraviolet bedingt, sondern reflektiert die ebenfalls von Zenkerschen Blättchen durchsetzte Schicht in Ultraviolet außer dem bei Tageslichtbeleuchtung unsichtbaren Ultraviolet auch noch ziemlich viel Blau, da doch das von der Lippmannphotographie reflektierte Licht nicht absolut homogen ist; ferner wirkt hier die Reflexion der Rückseite der Glasplatte durch die Schicht mit, woher der rötliche Schein im Blau und Violett stammt, welcher sofort verschwindet, wenn man die Platte auf der Rückseite lackiert. Besonders deutlich kommt diese Erscheinung an einer mit Glaskoil versehenen Aufnahme zur Geltung (H. Lehmann).

Betrachtet man ein Lippmannsches Spektrum in der Durchsicht, so lassen sich in einzelnen Fällen Andeutungen der Komplementärfarben erkennen. Bei den nach den Lippmannschen Prinzipien auf Bromsilbergelatineplatten hergestellten Spekten konnte ich jedoch, obwohl die Spektrumbilder im auffallenden Lichte die prachtvollsten Farbenerscheinungen zeigten, in der Durchsicht

vom Rot angefangen bis zum Purpurviolett nur eine einzige Farbe, nämlich Orangegelb konstatieren, welches bei einzelnen kürzer oder länger exponierten Bildern verschiedene Nuancen zeigt. Diese Erscheinung erklärt H. Lehmann<sup>1)</sup> dadurch, daß der photographische Silber-niederschlag eine sehr starke Absorption im Blau, also eine Eigenfarbe besitzt. Das Auge nimmt bei sattem Farben aber eine geringe Nuancenänderung nicht mehr wahr. Dagegen erscheint bei der Prüfung des durchfallenden Lichtes einer Spektrumphotographie mit Hilfe des Spektroskopes ein dunkler Streifen im Spektrum, welches Verhalten beweist, daß das durchfallende Licht in der Tat dem reflektierten komplementär ist.

#### Einige Mittel zur Verbesserung und Veränderung der Farben.

Bezüglich einiger Mittel zur Verbesserung und Veränderung der Farben gibt Lehmann<sup>2)</sup> folgendes an:

Bei zu starker Unterbelichtung erscheinen die Farben zu schwach, bei zu kräftiger Überbelichtung hinter dem Korrektionsfilter zu weißlich; ohne dieses Filter tritt schon bei beginnender Überbelichtung überhaupt keine Farbe mehr auf (infolge der ultravioletten Strahlen).

Aber auch bei normaler Exposition hinter dem Filter kann der allerdings seltene Fall eintreten, daß die Farben mehr oder weniger stark verschoben erscheinen.

Der eine Grund hierfür kann in der bereits erwähnten Störung durch das Quecksilber liegen; in diesem Falle läßt sich nämlich die Oberflächenreflexion durch die Wienersche Benzollösung oder den Glaskoil nicht vollkommen beseitigen. Der Fall ist dadurch leicht erkennbar;

<sup>1)</sup> Beiträge z. Theorie u. Praxis d. direkten Farbenphotographie 1906, S. 15.

<sup>2)</sup> Die Praxis der Interferenzfarbenphotographie, Photogr. Rundschau 1909, S. 125.

daß die Farben blaß und matt erscheinen. (Vorbeugungsmaßregeln siehe S. 67).

Ein weiterer Grund kann nur noch darin liegen, daß der Feuchtigkeitsgehalt der empfindlichen Schicht und des Quecksilbers bei der Belichtung ein wesentlich anderer war, als nach dem Trocknen des Bildes, was im allgemeinen nur selten vorkommen dürfte. Geringe Temperatur- und Feuchtigkeitsänderungen, wie sie gewöhnlich vorkommen, sind vollkommen belanglos. War also die Feuchtigkeit der Schicht bei der Aufnahme zu groß, so tritt nach dem Trocknen der entwickelten Platte eine Verschiebung nach Blau ein. Gegenmittel: leichtes Anhauchen oder Abkühlen der Platte vor dem Betrachten in der Wienerschen Benzolküvette. War sie zu gering, so erscheint das Bild später zu rot. Gegenmittel in diesem Falle: schwaches Erwärmen vor dem Verkitten mit dem Keile. (Die zur Abkühlung oder Erwärmung erforderliche Temperatur läßt sich durch geeignete Vorrichtungen genau festlegen, wenn sie einmal für eine Platte aus einer Serie gleicher Aufnahmen ausprobiert wurde.)

Ganz ähnlich verfährt man bei den (in der gewöhnlichen Weise hergestellten) Aufnahmen, welche für den katoptrischen Betrachtungsapparat (Fig. 25) bestimmt sind. Ein zu rotes Bild kann man ferner auch durch geeignete Vergrößerung des Reflexionswinkels bei Betrachtung oder Projektion wieder in den richtigen Farben erscheinen lassen.

Ebenso wird eine auf einem normal belichteten Portrait dargestellte Person „erlassen“, wenn man sie stark von der Seite ansieht.

Handelt es sich nur um ganz geringe Farbenverschiebungen, so kann man diese für die Betrachtung oder Projektion in der Küvette einfacher dadurch korrigieren, daß man den Brechungsexponenten der Küvettenflüssig-

keit ändert. Will man das Rot mehr hervorheben, so verwendet man Äther oder absoluten Alkohol: soll das Blau kräftiger erscheinen, so wähle man Schwefelkohlenstoff oder, zur Vermeidung des scharfen Geruches dieser Substanz nach einem Vorschlage von Dr. E. König,  $\alpha$ -Chlornaphthalin. Durch Mischung von Benzol mit einer der beiden letztgenannten Substanzen in beliebigen Verhältnisse kann man alle möglichen Effekte erzielen. Es ist sehr interessant und lehrreich, zu beobachten, wie sich hierdurch die „Stimmung“ einer Landschaft z. B. von „warm“ nach „kalt“ ändert.

### Versuche zur Herstellung von Photochromen nach Lippmanns Prinzip ohne Anwendung von Silbersalzen.

Lippmann legte der Pariser Akademie der Wissenschaften in der Sitzung vom 24. Oktober 1892 Photochromien vor, welche ohne Silbersalze hergestellt worden waren. Er benutzte als empfindliche Schicht eine Mischung von Albumin oder Gelatine und Kaliumbichromat, mit welcher er Glasplatten überzog und dieselben in analoger Weise wie bei Verwendung von gelbten Albuminplatten in der Quecksilberkassette exponierte.

Legt man die exponierte Platte in Wasser, so kommen die Farben zum Vorschein, wobei das Bild gleichzeitig fixiert wird<sup>1)</sup>. Nach dem Trocknen verschwindet das Bild,

<sup>1)</sup> Wenn man Mischungen von Eiweiß oder Gelatine mit Kaliumbichromat dem Lichte aussetzt, so entsteht bekanntermaßen eine unlösliche Verbindung dieser ersten Körper mit Chromoxyd, während das vom Lichte nicht getroffene, unzersetzte Chromat ausgewaschen wird. Es ist zu bemerken, daß bei Verwendung von Eiweiß die Schicht vor dem Sensibilisieren mit chromsaurem Kali durch Baden in einer Sublimatlösung koaguliert werden muß, weil selbe sonst beim Waschen mit Wasser weggehoben werden würde.

beim Befechten erscheint es jedoch wieder: Die Farben sind sehr brillant und in allen Richtungen im reflektierten Licht sichtbar. In der Durchsicht bemerkt man sehr gut die Komplementärfarben, was, wie ich bereits erwähnt habe, bei Verwendung von Bronsilbergelatineplatten zur Herstellung von Photochromen meist nicht der Fall ist. Die Theorie dieser Art von Photochromen ist einfach. Nach Lippmann bilden sich in der Chromat-Eiweißschicht Serien von Maxima und Minima der Interferenz. Die Maxima allein machen die Schicht unlöslich und es kommt beim Behandeln mit Wasser die Lamellenstruktur in Form von Schichten zum Ausdruck, welche teils mit Wasser vollgesogen, teils unanfechtbar sind, also trocken bleiben. Der Brechungsindex der Lamellen in der mit Wasser behandelten Schicht variiert also periodisch; im selben Grade gilt das von Reflexionsvermögen und dadurch werden die Interferenzstreifen in der Photochromie sichtbar.

## Betrachtung und Projektion der Lippmannschen Photochromien.

### Betrachtung der Bilder.

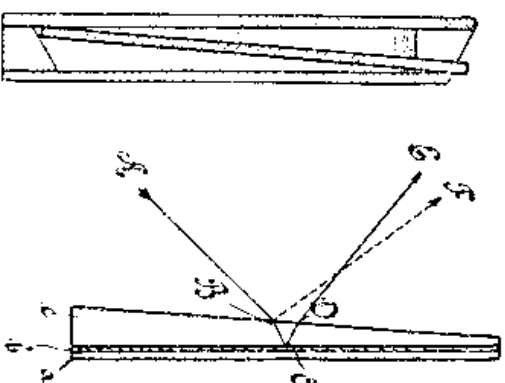
Die gedruckten Bilder zeigen nur bei Betrachtung im reflektierten Lichte, also nur in der Aufsicht, Farben. Diese Farben sind jedoch noch nicht ganz richtig, da die Wirkung der Oberflächenreflexion sich unangenehm bemerkbar macht. Zur Beseitigung dieses störenden Einflusses kann man zwei Wege einschlagen.

Das einfachste Verfahren besteht nach dem Vorgange von O. Wiener darin, daß man das Bild schräg in eine mit Benzol gefüllte Küvette eintaucht und durch die Küvette hindurch betrachtet.

1) Lippmann demonstrierte dieses Phänomen vor einem zahlreichen Publikum in der Academie des Sciences in Paris mit Folie.

Fig. 22 zeigt den Querschnitt durch eine Benzolküvette des Zellwerkes mit eingetauchter Platte. Damit letztere immer schräg steht, wurde dem Boden der Küvette eine Neigung gegeben. Das Verfahren eignet sich besonders zur provisorischen Beurteilung der Farbenwiedergabe.

Denselben Effekt erreicht man durch Aufkitzen einer keilförmigen Glasplatte auf die Bildschicht mittels dickflüssigen Kanadabalsams, ohne zu erhitzen (vgl. Fig. 23). Man gebe das Kittmittel reichlich auf, um Blasenbildung an Rande zu vermeiden. Den infolge des Druckes, der ziemlich stark sein muß, am Rande herausquellenenden Balsam sammelt man mit einem Spatel wieder auf und säubert die Ränder mit Spiritus. Darauf wird das Bild am Rande mit schwarzem Papier umklebt. Fig. 22.



Die Rückseite muß noch mit einem schwarzen Mattlacke (am besten mit schwarzem Zapon- oder Zelloidinmattlack) überstrichen werden. Diese Lackeschicht wird durch schwarzes Papier geschützt; das man an den Rändern festklebt.

Fig. 23 voranschautlich den Strahlengang für eine derartige Vorrichtung: Die photographische Platte  $a$  steht mit ihrer Schicht  $b$  in Verbindung mit dem Keile  $c$ . Von den in der Richtung  $AB$  einfallenden farblosen Strahlen wird ein kleiner Teil in der Richtung  $BB'$  reflektiert, während der größere Teil nach  $C$  gebrochen wird. Dort findet lediglich aus den innerhalb der Schicht liegenden „Zenkerschen Blättchen“ durch Interferenz

die Erzeugung oder vielmehr Auswahl der farbigen Strahlen statt, welche nach *D* reflektiert werden und in der Richtung *DE* ins Auge gelangen.

Soll ein Bild ausschließlich in frei aufgestelltem Zustande betrachtet werden, so verwendet man für dasselbe aus nahelegenden Gründen einen Glaskel mit möglichst großem Keilwinkel. Das Zeißwerk hat hierfür Glaskette im Formate  $9 \times 12$  (hoch und quer) mit einem Winkel von etwa  $10^\circ$  vorgesehen. Als Richtung der brechenden Kante wählt man am vorteilhaftesten die vertikale.

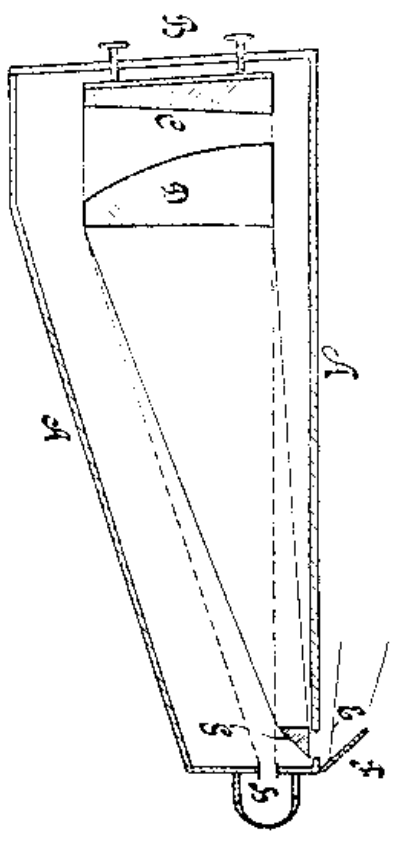


Fig. 24.

Natürlich sind hier auch Bilder in der für die weiteren beschriebenen Betrachtungsapparate geeigneten Aufmachung verwendbar.

Die Firma O. Zeiß in Jena bringt zwei Apparate zur Betrachtung von Lippmannphotographien in den Handel, den dioptrischen und den katoptrischen Apparat. Der erstere ist in Fig. 24 skizziert. In dem Gehäuse *A* befindet sich das durch drei Stellschrauben in einfacher Weise justierbare, mit dem Glaskel verschene Bild *C*. Davon steht die Linse *D*, welche aber zum Zwecke der Vermeidung von störenden Reflexen nur einen Teil einer zentrierten Linse darstellt. Nahezu in der Brounebene befindet sich die Eintrittsöffnung *E* für das Licht, welches durch den Spiegel *F* und das total reflektierende Prisma

*G* nach *D* gelenkt wird, sowie die Öffnung *H* für das Auge. Letzteres findet innerhalb des Lichtschutzes um *H* seinen Platz.

Einfacher in der Konstruktion und der Handhabung ist der katoptrische Betrachtungsapparat des Zeißwerkes (D.R.G.M.). Sein Prinzip erläutert die Fig. 25; in dem pyramidenförmig gebauten Gehäuse *A* befindet sich an einem aufklappbaren Deckel das mit drei Stellschrauben justierbare Bild *B*. Letzteres wird vom Hohlspiegel *C* beleuchtet. Als Lichtquelle dient die mit einer Mattscheibe versehene und durch den Planspiegel *E* beleuchtete Eintrittsöffnung *D*, welche vom Spiegel *C* in *B* abgebildet werden würde, wenn *B* nicht vorhanden wäre. Die Interferenzfarbenphotographie fängt aber den Lichtkegel auf und wirft ihn kraft ihrer Spiegelwirkung nach *F*, dem Augenort, vor welchem eine Betrachtungslinse von geeigneter Form und Stärke angebracht ist. Eine Muschel schützt das Auge vor Nebenlicht.

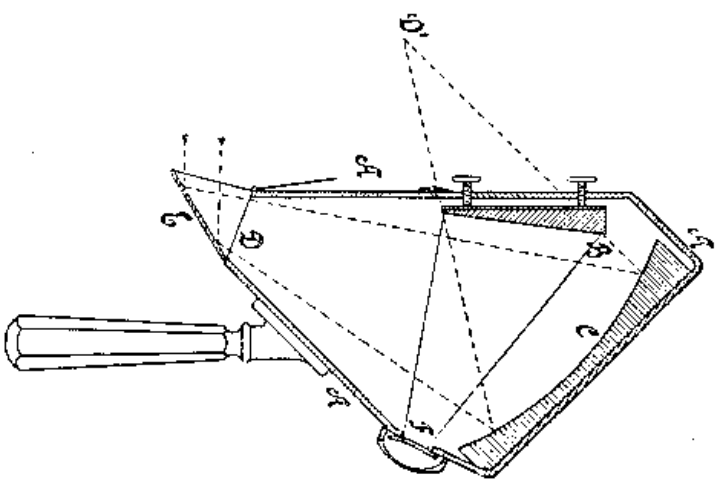


Fig. 25.

Der beschriebene Apparat ist mit Vorteil für solche Bilder (vom Format  $9 \times 12$ ) verwendbar, welche mit der für Lippmannsbilder vielfach üblichen kurzen Brennweite von 15 cm aufgenommen sind. Der Strahlengang bei der Betrachtung entspricht vollkommen



genau demjenigen, wie er bei der Aufnahme verläuft.

Es ist dies für die Erfüllung der Gesetze der Perspektive und zugleich derjenigen der Farbenwiedergabe bei der Interferenzfarbphotographie erforderlich.

Vorausgesetzt ist hierbei, daß die Aufnahme mit hochgehobenen Objektive geschieht, so daß seine optische Achse die Platte möglichst nahe an ihrem oberen Rand trifft.

### Projektion von Lippmannschen Interferenzbildern.

Die nach den Lippmannschen Prinzipien hergestellten Photochromien ergeben sehr schöne Effekte, wenn man dieselben mit Hilfe von elektrischen oder Sonnenlicht unter Anwendung von geeigneten Apparaten auf eine transparente weiße Fläche projiziert.

Louis Lumière führte der Versammlung der „Union internationale de Photographie“ in Genf am 22. August 1893 einige von ihm auf Bromsilbergelatineplatten aufgenommene Photochromien vor, unter denen sich Porträtaufnahmen und Landschaften befanden. Die Bilder waren in sehr kleinem Format gehalten und kamen die Farben sowie die Zeichnung selbst bei der Betrachtung im auffallenden Lampenlichte nicht recht zur Geltung.

Um nun diese Bilder einem größeren Publikum vorführen zu können, verwendete Louis Lumière einen Projektionsapparat und projizierte die Bilder vergrößert auf einen weißen Schirm von 40 × 70 cm.

Der Erfolg war ein überraschender, indem die Farben brillant wiedergegeben wurden.

Der Apparat, welchen L. Lumière damals verwendete, ist in Fig. 26 abgebildet: er bestand aus einer Bogenlampe A welche in einem mit Kondensator (C) versehenen Kasten (Fig. 26a) montiert war. Die Strahlen der 15 Ampere-lampe wurden von dem Kondensator auf das unter einem

bestimmten Winkel zur Achse des Kondensators aufgestellte Bild geworfen und von demselben reflektiert, das reflektierte farbige Bild wurde mittels eines geeigneten photo-

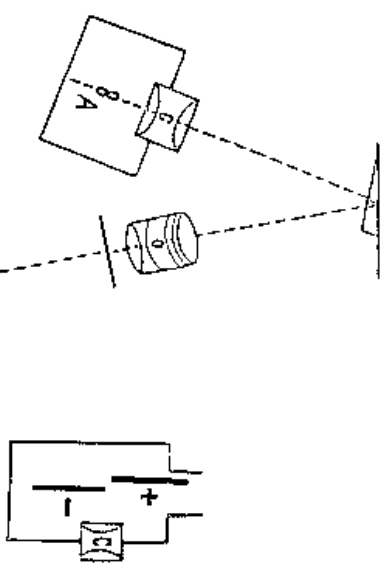


Fig. 26.

Fig. 26a.

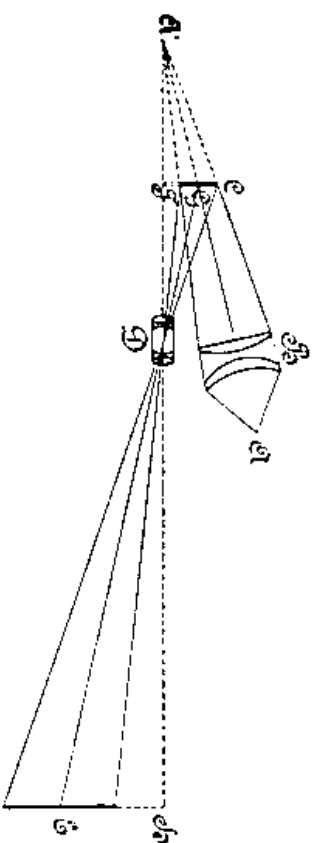


Fig. 27.

graphischen Objektives vergrößert und auf einen mit mattem transparenten Papier überzogenen Schirm geworfen.

Eine einfache Apparatur für die Projektion von Lippmannphotographien wird von den „Zeitwecken“ hergestellt<sup>1)</sup>; dieselbe kann an jedem gewöhnlichen Pro-

<sup>1)</sup> Siehe H. Lehmann, Die Praxis der Interferenzfarben-photographie.

jektionsapparate angebracht werden. Mit Hilfe dieser Vorrichtung können mit vollkommener Schärfe Bilder von größerer Ansehnung projiziert werden, als es bisher möglich war. In Fig. 27 ist das Prinzip dargestellt: der Kondensator  $K$  entwirft vom Krater  $A$  der Bogenlampe ein Bild in  $M$ . Letzteres ist jedoch dort nicht reell, sondern in der Bildebene des Projektionsobjektives  $D$ , da auf halbem Wege die reflektierende Bildfläche  $C$  eingeschaltet wird. Die optische Achse  $K^*$ ,  $D$ ,  $M$  des Projektionsobjektives nun steht senkrecht auf der Bildebene  $C$  und der Schirmebene  $ME$ , bezw. deren Verlängerungen, während bei dem bisher üblichen Verfahren die optische Achse mit der Verbindungslinie  $CE$  von Bild- und Schirmmitte zusammenfällt.