Über die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen der modernen Farbenphotographie.

Von Hans Karl Opfermann.

Mit 3 Abbildungen und 3 Tafeln.

Vortrag am 14. Dezember 1938.

Es darf ohne Übertreibung behauptet werden, daß die Photographie durch die, seit etwa zwei Jahren der breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemachten Dreischichtenfarbverfahren in ein neues Stadium getreten ist. Die außerordentliche Vereinfachung und Sicherheit, mit der diese Farbverfahren zu handhaben sind, machen ihre rasche Verbreitung und insbesondere auch ihr Eindringen in zahlreiche wissenschaftliche Disziplinen wohl verständlich.

Gegenstand dieser Betrachtung ist vornehmlich der Agfacolor-Neu-Film, der sich im Laufe der Jahre 1936 und 37 die Kleinbildphotographen Europas in bemerkenswertem Umfange erobert hat. Selbstverständlich ist dieses farbenphotographische Verfahren nicht das erste, das wir kennen.

Schon einige Zeit vor der Erfindung der Daguerrotypie entdeckte Seebeck im Jahre 1810 die Eigenschaft des Chlorsilbers, durch Belichtung in farbigem Licht die Farbe des Lichtes anzunehmen. Seit jener Zeit hat es Hunderte von neuen Farbverfahren gegeben, von denen einige wenige eine — allerdings immer nur beschränkte — praktische Bedeutung erlangten, die meisten jedoch nicht über den Laboratoriumsversuch hinauskamen.

Lediglich in der Kinematographie konnten sich bestimmte Farbverfahren weitere Kreise erobern, doch haben auch diese Linsenraster- und Kornrasterverfahren, auf die gesondert einzugehen der Rahmen dieser Darstellung nicht ausreicht, eine in

keiner Weise mit der Wichtigkeit der beiden modernsten Verfahren, dem Agfacolor Neu- und dem Kodachromverfahren, vergleichbare Bedeutung erlangt.

Betrachten wir zunächst den Aufbau des Objekts. In Bild 1 [1]) haben Sie in schematischer Darstellung ein Stück Agfa-

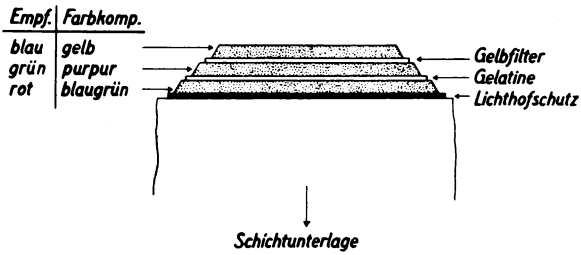


Abb. 1.

color-Neu-Film. Zuunterst den Schichtträger, das Celluloid, auf diesem eine dünne, dunkelbraunrot gefärbte Lichthofschutzschicht und auf dieser die erste farbenempfindliche Halogensilberschicht. Das Halogensilber dieser Schicht ist ausschließlich für Rot sensibilisiert, es ist also, da das Halogensilber bekanntlich eine Eigenempfindlichkeit für violette Strahlen besitzt, violett- und rotempfindlich. Damit durch diese Schicht ein reiner Rotauszug des aufzunehmenden Objekts gewährleistet wird, muß die Violettempfindlichkeit des Halogensilbers dieser Schicht vernichtet werden. Das geschieht durch ein Gelbfilter, das dieser und der über ihr liegenden, für die grünen Strahlen sensibilisierten Halogensilberschicht, vorgeschaltet ist.

Auf die nur für die roten Strahlen des Objekts empfindliche Schicht ist zunächst noch eine klar durchsichtige, aber gehärtete Gelatineschicht aufgebracht und erst dann folgt die Schicht, die den Grünauszug des Objekts besorgt. Diese gehärtete Gelatineschicht hat die wichtige Aufgabe, im Laufe der Herstellungs- und Entwicklungsprozesse eine Diffusion der, in die Schichten eingelagerten Farbstoffkomponenten in die Nachbarschichten zu verhindern.

Auf der grün sensibilisierten Emulsionsschicht befindet sich dann eine, wiederum aus gehärteter Gelatine bestehende, aus den bereits dargelegten Gründen jedoch gelb gefärbte Schicht

1) Entnommen, Veröffentlichungen Agfa Bd. V, S. 34.

und dann folgt als letzte und oberste Schicht eine einfache, unsensibilisierte Halogensilberschicht, die infolge ihrer Lichtempfindlichkeit in dem Spektralbereich von violett bis blau den Blauauszug ganz von selbst besorgt.

Man kann sich, cum grano salis, eine gute Gedächtnishilfe dadurch schaffen, daß man die oberste Schicht als unsensibilisierte, die zweite als orthochromatische und die dritte als panchromatische Schicht auffaßt. In jede der drei Schichten finden sich Farbstoffkomponenten eingegossen, die im Verein mit einem entsprechenden Entwickler Farbstoffe entstehen lassen, die den Farbempfindlichkeiten der einzelnen Emulsionsschichten komplementär entsprechen.

Betrachten wir nun die einzelnen Etappen des Belichtungs- und Entwicklungsvorganges des Agfacolor-Neu-Films und vergegenwärtigen wir uns den Weg, auf dem ein farbiges Objekt zum farbigen Positivbild wird (Bild 2).

Als Objekt, das photographiert werden soll, wählen wir ein Farbband, das in entsprechenden Feldern die wichtigsten Farben rot, gelb, grün, blau und ein weißes und schwarzes Feld enthält. Nach erfolgter Belichtung erhalten wir in der besprochenen Weise in jeder der drei Schichten einen Farbauszug als sog. latentes Bild, d. h. die Halogensilberkörner sind entsprechend der Menge und Intensität der jeweils auf sie einwirkenden farbigen Helligkeiten für eine Entwicklung bzw. Reduktion zum elementaren Silber reif gemacht worden.

Da wir die Voraussetzung gemacht haben, daß alle Farben unseres Objekts von gleicher Helligkeit sind, erfolgt die Beeinflussung der einzelnen Emulsionsschichten, soweit sie an der Farbe mitbeteiligt sind, völlig gleichmäßig.

Das rote Feld beeinflußt ausschließlich die unterste panchromatische Schicht. Das gelbe Feld beeinflußt die orthochromatische und panchromatische Schicht. Das grüne Feld wirkt allein in der grünempfindlichen, orthochromatischen Schicht und das blaue Feld schließlich in der blauempfindlichen, unsensibilisierten, obersten Emulsionsschicht. Das weiße Feld übt, da sich Weiß ja im allgemeinen aus der Summe aller Spektralfarben zusammensetzt, in allen drei Schichten seine Wirkung aus, zum Unterschied vom schwarzen Feld, durch das keine der drei Schichten beeinflußt wird.

Es erfolgt nunmehr zunächst die von der Schwarz-Weiß-Photographie her bekannte, ganz normale Reduktion des lichtgetroffenen Halogensilbers zu elementarem Silber, etwa durch einen Metol-Hydrochinonentwickler. Durch diesen Vorgang werden überall da, wo elementares Silber entsteht, gleichzeitig die ursprünglich in die Emulsionsschicht an das Halogensilberkorn angelagerten Farbstoffkomponenten zerstört und können damit bei einer späteren, farbigen Entwicklung nicht mehr störend auftreten.

Nun wird das bisher unangegriffene, noch in den Emulsionsschichten vorhandene Halogensilber mit Hilfe einer diffusen Lichtquelle so kräftig nachbelichtet, bis angenommen werden darf, daß bei erneuter Entwicklung das gesamte übriggebliebene Halogensilber in elementares Silber umgewandelt würde, und dann erfolgt die erste farbige Entwicklung, die gleichzeitig mit der Reduktion des Halogensilbers zu elementarem Silber vor sich geht.

So erscheint in dem Film an der Stelle des bisher n e g a t i v erhaltenen, entwickelten Silberbildes ein farbiges Positivbild, das sich entsprechend der Natur der in die Emulsionsschichten eingebrachten Farbstoffkomponenten jeweils aus der Komplementärfarbe jeder, der einen Farbauszug liefernden Schichten, aufbaut.

Die oberste, unsensibilisierte Schicht, die den Blauauszug lieferte, entwickelt in ihrer komplementären, der gelben Farbe, die mittelste, orthochromatische Schicht, die den Grünauszug lieferte, entwickelt in ihrer komplementären, der purpurnen Farbe. Die unterste panchromatische Schicht, die den Rotauszug lieferte, entwickelt in ihrer komplementären, der blaugrünen Farbe.

Es entsteht also neben dem Silberbild nunmehr ein Farbstoffbild, das, löst man das gesamte Silber etwa mit dem Farmerschen Abschwächer heraus, als farbiges Restbild verbleibt.

Bei der Auflösung des Silbers wird gleichzeitig der gelbe Farbstoff, der in der Gelatineschicht zwischen der obersten und mittelsten Emulsionsschicht das blauabsorbierende Gelbfilter bildete, mitzerstört.

Es ergibt sich, daß bei Durchstrahlung des Films mit weißem Licht das aufgenommene Objekt als positives Farbbild erscheint.

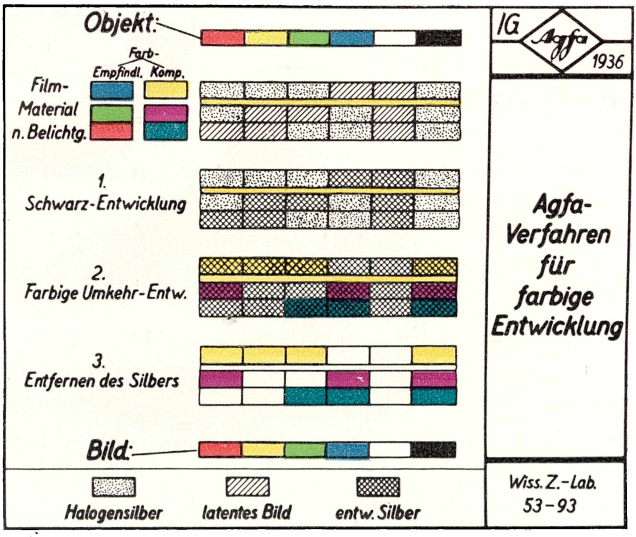


Abbildung 2

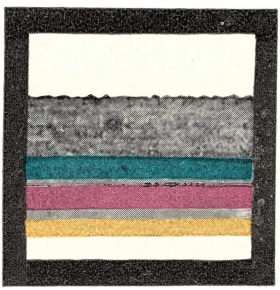


Abbildung 3

Mikroaufnahme eines Schnittes durch ein zum fertigen Positiv entwickeltes Filmstück (schwarze Bildstelle) Agfa-Colo-Film

Das rote Feld entsteht aus Purpur und Gelb der obersten und mittelsten Schicht, das gelbe Bild aus dem Gelb der obersten Schicht allein, das Grün aus dem Gelb der obersten und dem Blaugrün der mittelsten Schicht, das Blau aus dem Purpur der mittelsten und dem Blaugrün der untersten Schicht, das Weiß aus der Farblosigkeit aller drei Schichten und schließlich das Schwarz aus der vollkommenen Lichtabsorption durch alle drei übereinanderliegende, durchgefärbte Schichten, von denen jede einzelne den entsprechenden spektralen Anteil des durchgestrahlten weißen Projektionslichtes so weit entfernt, daß schließlich nichts mehr übrig bleibt.

Die Dicke der einzelnen, die Farbkomponenten enthaltenden Schichten beträgt 0,004—0,005 mm, die der Zwischenschichten nur 0,002 mm. Die Schwankungen in der Dicke der einzelnen Schichten dürfen 0,001 mm nach oben und unten nicht überschreiten, da sich sonst bereits unerträgliche Farbschwankungen im fertigen Positivbild ergeben. Da nun diese Schichten durch geeignete Gießmaschinen auf das laufende Celluloidband übereinander gegossen werden, können Sie schon an diesen Größenordnungsangaben die Schwierigkeiten ahnen, die sich der praktischen Durchführung derartiger Fabrikationsprozesse entgegenstellen.

Bild 3 zeigt Ihnen die Mikroaufnahme eines Schnittes durch ein zum fertigen Positiv entwickeltes Filmstück. Da es sich um eine in der Projektion auf der Leinwand schwarz erscheinende Bildstelle handelt, ist jede einzelne Schicht in voller Farbkraft ausentwickelt. Sie erkennen deutlich die ungefärbten, gehärteten Zwischenschichten und die scharf abgesetzten, gleichmäßig dicken einzelnen Farbschichten.

Die bei der Farbaufnahme und der nachfolgenden Entwicklung in der Praxis auftretenden Vorgänge hatten die Anwendung und Lösung zahlreicher chemischer, optischer und physiologischer Probleme zur Voraussetzung, die in ihren Grundzügen eine kurze Darstellung finden sollen.

Beginnen wir mit den optischen Problemen oder besser gesagt den physiologisch-optischen Problemen.

Alle in der Natur auftretenden Farben entstehen, weil der farbige Gegenstand aus dem, auf ihn fallenden Lichtstrom nur

diejenigen Wellen, dessen Farbe er trägt, reflektiert. Die andersfarbigen Wellen verschluckt er.

Wir sind gewöhnt, als Norm für die Farbzusammensetzung des Lichtes das Sonnenlicht anzusehen.

Das menschliche Auge empfindet den Zusammenklang aller einzelnen farbigen Lichtwellen im Sonnenlicht als „Weiß". Die Zerlegung des Sonnenlichtes in seine farbigen Anteile bezeichnen wir als das Sonnenspektrum.

Ein Verfahren, das darauf ausgeht, eine der Natur entsprechende Wiedergabe farbiger Objekte zu erzielen, muß also in der Lage sein, die einzelnen Farbanteile, die im aufzunehmenden Objekt vorhanden sind, mit hinreichender Genauigkeit aufzuzeichnen und für eine entsprechende Wiedergabe bereitzumachen. Der Idealfall wäre naturgemäß dann erreicht, wenn es gelänge, möglichst jede einzelne Welle gesondert zu erfassen.

So aussichtslos, wie dem forschenden Praktiker ein solcher Versuch auch zunächst erscheinen mag, so muß er sich doch davon überzeugen lassen, daß die technische Lösung dieses Idealfalls mit größter Annäherung tatsächlich möglich ist.

Das Verfahren von Lippmann erzeugt stehende Wellen in der photographischen Schicht, ist aber wegen allzu geringer Lichtempfindlichkeit und allzu großer Umständlichkeit in der Handhabung nicht allgemein anwendbar.

Es bleibt also dem Praktiker nichts anderes übrig, als eine summarische Erfassung größerer Spektralbereiche zur Erzeugung und Wiedergabe der Farben zu versuchen. Dabei kommt ihm die Erscheinung, daß die spektrale Zusammensetzung fast aller in der Natur vorkommenden Farben in hinreichender Genauigkeit mit den Spektren dreier Grundfarben nachgeahmt werden kann, glücklich zu Hilfe. Diese drei Grundfarben umfassen je das langwellige, mittlere und kurzwellige Drittel des Sonnenspektrums und entsprechen den Farbtönen Rot, Grün und Blau.

Natürlich hat es seinen besonderen Grund, warum gerade diese Teile des Spektrums als Grundfarben gewählt werden und dieser Grund läßt sich durch das Bezold-Brückesche Phänomen gut veranschaulichen. Betrachtet man nämlich ein Gitterspektrum unter einem kleinen Gesichtswinkel, also schräg, oder bei nur geringer Helligkeit, so verändern sich die Spektralfarben derart, daß das gesamte Spektrum nur noch aus den drei

Farbtönen Blau, Grün und Rot zu bestehen scheint. Erst unter größerem Gesichtswinkel oder bei stärkeren Intensitäten betrachtet, treten auch die schmalen Zwischenfarbengebiete, das Orange, Gelb, Gelbgrün, Blaugrün und Violett, wieder auf.

Es dürfen also die Gesamtfarben des Spektrums in annähernder Genauigkeit durch drei Farbbänder ersetzt werden, die gleichmäßig rot, grün und blau gefärbt sind.

Die Frage bleibt, wie entstehen bei einer Mischung dieser drei Farben die übrigen Farben des Spektrums? Denn die Farbenphotographie ist ja von dieser Erfassung aller übrigen möglichen Farbtöne durch die drei Grundfarben abhängig. In der Demonstration läßt sich das folgendermaßen gut veranschaulichen:

Zunächst ein roter Kreis, dessen Farbe durch eine Mischung aller Strahlen vom langwelligen Ende des Spektrums etwa von 700 mμ bis 600 mμ gewonnen werden kann, dazu ein grüner Kreis, der ein ausgelesenes Gemisch aller Strahlen von etwa 600 mμ bis 500 mμ darstellt.

Sie sehen deutlich an der Stelle, an der sich die beiden Farbkreise überschneiden, ein Gelb entstehen, das erwartungsgemäß auftreten muß, wenn alle Strahlen des Spektralbereiches von 700 mμ bis 500 mμ miteinander gemischt werden.

Nunmehr der noch übrig bleibende Teil des Spektrums durch einen blauen Kreis dazugeschaltet, ergibt in der Mitte der Überschneidung der drei Kreise erwartungsgemäß Weiß, da dort jetzt sämtliche Strahlen des gesamten Spektrums vereinigt sind und alle Spektralfarben in Summa Weiß ergeben. Der Teil, in dem sich der blaue und der grüne Kreis überdecken, nimmt die, bei einer Mischung der Strahlen von 600 mμ bis 400 mμ zu erwartende, blaugrüne Färbung an, während der Teil der Überdeckung des roten mit dem blauen Kreis purpurfarben wird, welche Farbe aus einer Mischung der Strahlen von 700 mμ bis 600 mμ einschließlich derjenigen von 500 mμ bis 400 mμ entsteht.

Zweierlei läßt sich aus diesem Experiment deutlich erkennen:

Einmal, daß die Komplementärfarben, d. h. jene Farben, die irgendeine Spektralfarbe zur weißen Farbe ergänzen, von unseren Grundfarben Blau, Grün und Rot, Gelb, Purpur und

Blaugrün sein müssen, da dem Gelb, das durch Mischung aller Strahlen des Spektrums von Rot bis Grün entsteht, nur noch das Blau fehlt, damit Weiß entstehen kann, und das gleiche für Rot das Blaugrün und für Grün das Purpur sein muß.

Zum zweiten erkennen Sie nunmehr deutlich, warum der Farbfilm im Laufe des Entwicklungsverfahrens seine Farben nicht aus den Farben, von denen er in den drei übereinanderliegenden Schichten die blauen, grünen und roten getrennt aussondert, direkt, sondern auf dem Umweg über die Komplementärfarben aufbaut.

Das kommt daher, weil aus dem bei der Projektion durch die drei Teilauszüge geschickten Licht für beispielsweise alle blauen Teile des aufgenommenen Objektes alle Strahlen bis auf die blauen herausgefiltert werden müssen. Blau entspricht dem Wellenlängenbereich von 400 mμ bis 500 mμ, also werden durch die Einfärbung der einen Schicht mit Purpur die Farbanteile der Wellen 600 mμ bis 500 mμ entfernt und der dann noch verbleibende störende Rest in dem Bereich von 700 mμ bis 600 mμ durch eine Einfärbung mit Blaugrün, das den gesamten Wellenbereich von 600 mμ bis 400 mμ durchläßt. Analog wie für das Blau lassen sich auch die beiden anderen Farbauszüge durch die entsprechende Wegnahme der Farben der anliegenden Spektralbereiche isolieren. Das geschieht für Rot durch ein Gelbfilter, das den Bereich von 500 mμ bis 400 mμ, also blau, und ein Purpurfilter, das den Bereich von 600 mμ bis 500 mμ, also grün entfernt, so daß rot übrigbleibt, und für das Grün durch ein Gelbfilter, das wiederum von 500 mμ bis 400 mμ, und ein Blaufilter, das von 700 mμ bis 600 mμ alles entfernt, so daß Grün übrigbleibt.

Die Entstehung der einzelnen Farben durch die entsprechende Überlagerung der drei Farbbilder zeigen Ihnen Schiebebilder, die als Farbkreise übereinandergeschaltet werden. Das Dreieck in der Mitte, das hier leicht dunkelgrau gefärbt erscheint, hat bei ausgewogener Farbintensität der drei Schichten natürlich schwarz zu sein, da durch die drei Schichten bei völliger Ausfärbung jeder einzelnen ja sämtliche Wellen absorbiert werden müssen, also kein Anteil des weißen Projektionslichtes mehr durch solche Stellen hindurchtreten kann.

Für die praktische Verwirklichung des Farbfilms ist es bedeutsam, daß die Spektralkurven fast aller Naturfarben in mehr oder weniger flachen Kurvenzügen verlaufen. Es ist daher auch möglich, derartige stetige Kurven durch Treppenkurven zu ersetzen, deren einzelne Stufen das gesamte Spektralgebiet einer der drei Grundfarben erfassen, während die Intensitäten dieser einzelnen Gebiete entsprechend gegeneinander variiert werden, damit der gewünschte Farbeindruck erzielt wird.

In Abbildung 4 [2]) ist beispielsweise ersichtlich, wie das durch

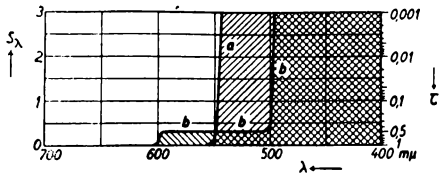


Abb. 4. **Ersatz eines Orange durch Rot und Grün.**

a) Orange 700 ⟶ 550 mμ Absorptionsgebiet

b) Gesamtes Rot 700 ⟶ 600 mμ
plus gesamtes Grün 600 ⟶ 500 mμ in halb. Stärke } Absorpt.-gebiet.

Mischung der Wellen von 700 mμ bis 650 mμ zu erreichende Orange durch Strahlen, die sowohl alle roten wie alle grünen Wellen enthalten, ersetzt werden kann. Das Mehr an grünen Strahlen des Wellenbereiches 650 mμ bis 500 mμ, das im eigentlichen Orange nicht vorhanden ist, kann dadurch, daß das grüne Gesamtgebiet dem roten gegenüber nur in halber Intensität auftritt, in seiner Wirkung ausgeschaltet werden.

Mit diesen, im wesentlichen durch die Anwendung der von Young und Helmholtz entwickelten Dreifarbenlehre, gewonnenen Ergebnissen konnte der mutige Chemiker versuchen, den Farbenfilm einem praktischen Lösungsversuch zu unterziehen. Die entscheidenden Vorarbeiten auf diesem Gebiet liegen wiederum über zweieinhalb Jahrzehnte zurück.

Am 7. Februar 1912 wurde Rudolf Fischer ein Patent erteilt, das ein Verfahren zur Herstellung farbiger photographischer Bilder durch die Entwicklung von Halogensilberschichten mit Entwicklern unter Schutz stellte, die neben der entwickelnden Substanz einen Körper enthielten, der sich mit

2) Entnommen Veröffentlichungen Agfa Bd. V, S. 9.

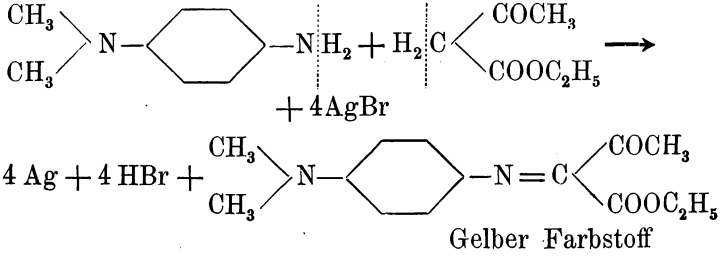
dem Oxydationsprodukt des Entwicklers zu einem schwer löslichen, gefärbten Körper kuppelt.

Fischer hatte beobachtet, daß die Entwicklung von Halogensilberschichten mit beispielsweise Pyrogallol zu einem gelbbraunen, mit Indoxyl zu einem blauen und mit Thioindoxyl zu einem roten Bild führt. Durch Herauslösen des Silberbildes mit einem der bekannten Abschwächer lassen sich dann reine Farbstoffbilder isolieren.

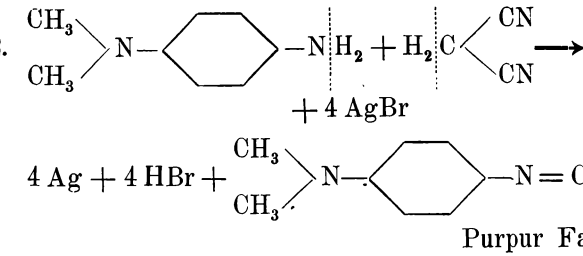
Fischer fand in den p-Phenylendiaminen, wenn er sie mit Phenolen, Thiophenolen, Aminen und Verbindungen mit sauren Methylengruppen kuppelte, geeignete Stoffe, die zu kräftigen, farbigen Bildern führten. Gleichzeitig waren die entstehenden Farbkörper schwer löslich.

Diese Beobachtung legt natürlich nahe, gleich einen Dreischichtenfarbfilm auf gemeinsamer Unterlage herzustellen. Es schien wenig mehr notwendig, als durch Zusatz der entsprechenden Farbstoffkomponenten zu den einzelnen Schichten und eine Empfindlichkeitslenkung jeder Schicht für ganz bestimmt abgegrenzte Teile des Spektrums drei übereinander gelagerte Farbauszüge eines Aufnahmegegenstandes anzustreben. Dann den so gewonnenen Farbfilm durch Entwicklung aller drei Schichten mit dem gleichen Entwickler in den Komplementärfarben einzufärben und damit ein reproduzierbares, naturfarbenes Abbild zu erzeugen.

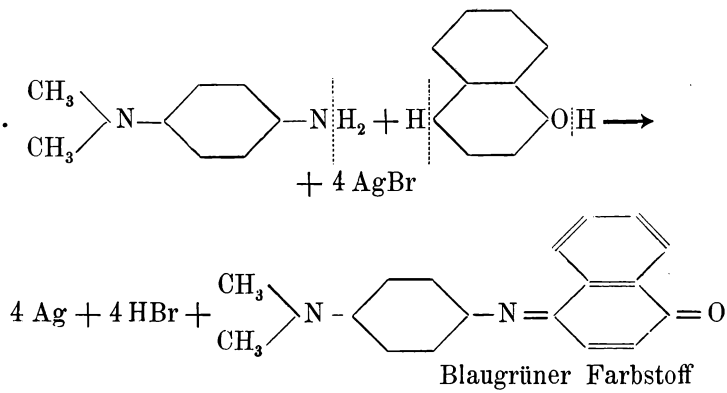
Kann zur Erzielung eines einfarbigen Restbildes etwa Pyrogallol gewählt werden, so kann bei der Einlagerung der Farbstoffkomponenten in die drei übereinander zu gießenden Schichten vom p-Aminodimethylanilin ausgegangen werden. Dieser Körper liefert z. B. mit Acetessigester einen gelben Farbstoff, also die Komplementärfarbe des Blauauszuges nach folgendem Schema:



Desgleichen läßt sich mit ihm und Methylencyanid ein purpurner Farbstoff, die Komplementärfarbe des Grünauszuges, nach folgendem Schema bilden:



Und schließlich läßt sich auch mit α-Naphthol ein blaugrüner Farbstoff, das Indophenolblau, die Komplementärfarbe des Rotauszuges, nach folgendem Schema bilden:



Stellt man also einen Dreischichtenfilm auf die beschriebene Weise her und verleibt der obersten Schicht eine abgemessene Menge eines entsprechenden Acetessigesterderivats, der mittleren Schicht Methylencyanid und der untersten Schicht α-Naphthol ein, so müßte man theoretisch nach dem bereits besprochenen Entwicklungsschema unter Verwendung des p-Aminodimethylanilins als Entwickler den gewünschten Dreifarbenauszug erhalten.

Die praktische Durchführung dieses Verfahrens stößt jedoch auf ungeahnte Schwierigkeiten. Die Farbstoffkomponenten bleiben nicht in den ihnen zugewiesenen Schichten, sie diffundieren

im Verlauf des Herstellungs- und Entwicklungsprozesses in die Nachbarschichten und die Entwicklerflüssigkeit hinein und bewirken so das Auftreten stark farbenverwaschener Bilder. Durch diese Erscheinung ist naturgemäß eine scharfe Abbildung farbiger Gegenstände unmöglich gemacht.

Trotz der außerordentlichen Schwerlöslichkeit des α-Naphthols treten diese Diffusionserscheinungen bereits bei diesem Körper in einem so erheblichen Maße auf, daß seine Verwendung für den Aufbau einer Farbschicht ausgeschlossen bleibt.

Entwickelt man in einem Dimethylamidoanilinentwickler zwei Platten, von denen die eine α-Naphthol in der Schicht enthält, so wird die zweite Platte, in der sich keine Farbstoffkomponente vorfindet, gleichfalls farbis entwickelt.

Aus diesem Versuch geht hervor, daß es also auch nicht möglich ist, die Diffusion der Farbstoffkomponenten aus einer Schicht in die andere, beispielsweis ein einem Zweifarbenfilm, dadurch zu verhindern, daß man die beiden Schichten durch eine Glasplatte trennt und auf der oberen Seite etwa die Schicht mit der Blaukomponente, auf der unteren Seite die der Rotkomponente aufbringt. Bei der Entwicklung treten die blauen und roten Farbkörper in beiden Schichten auf.

Es gibt verschiedene Wege, dieser störenden Diffusionserscheinungen Herr zu werden, und auch Fischer hat schon angegeben, daß man zwischen die Schichten dicke, gehärtete Gelatineschichten bringen solle, doch führten diese Maßnahmen allein nicht zu dem gewünschten Erfolg. Eine geringe Diffusion war nicht zu verhindern und so wurde die Verfolgung des von Fischer vorgeschlagenen Weges nach einigem fruchtlosem Experimentieren schließlich ganz aufgegeben. Das Verfahren geriet in Vergessenheit.

Vor einigen Jahren erhielt jedoch der Wunsch, Farbfilme im Sinne der Fischerschen Vorarbeiten herzustellen, durch ein in USA. ausgearbeitetes, von Fischer stark abweichendes Verfahren, auch in Deutschland einen erneuten, nachhaltigen Auftrieb.

Die inzwischen erfolgte mächtige Aufwärtsentwicklung der Farbstoffchemie ließ die Suche nach diffusionsechten Komponenten der gewünschten Farbstoffe aussichtsreich erscheinen und

so begannen deutsche Chemiker sich wieder mit dem Problem zu beschäftigen.

Bei den neuen Versuchen, die daraufhin angestellt wurden, traten jedoch neue, unerwartete Schwierigkeiten auf, die in der enormen Entwicklung der Herstellungsverfahren photographischer Schichten ihren Grund hatten und die geradezu unüberwindliche Mauern für die Erreichung des erstrebten Zieles aufzurichten schienen.

Die hohe Lichtempfindlichkeit, bis zu der man photographische Schichten inzwischen entwickelt hatte, mußte auch für das Farbfilmverfahren, wenigstens annähernd, erzielt werden. Das war um so mehr nötig, als das vorerwähnte amerikanische Verfahren diese hohe Lichtempfindlichkeit tatsächlich besaß.

Nun verändern aber schon geringste Spuren fast aller Substanzen die Empfindlichkeit einer photographischen Emulsion häufig ganz entscheidend.

Gewisse Sensibilisatoren, die man photographischen Emulsionen zusetzt, ändern den Charakter dieser Emulsionen bis zum Auftreten völlig neuer Eigenschaften, obwohl diese Sensibilisatoren nur in Mengen von einem Milligramm pro Kilogramm, der Emulsion beigemischt sind.

Andere Körper zerstören weitgehendst die Lichtempfindlichkeit; so würde ein Zusatz der von Fischer vorgeschlagenen Komponenten zu einer sensibilisierten Emulsion bereits eine starke Empfindlichkeitsvernichtung dieser Emulsion im Gefolge haben.

Es war also die Aufgabe, Komponenten zu entdecken, die zunächst einmal wasserlöslich waren, damit sie während des Gießprozesses in die Emulsion hineingebracht werden konnten. Ferner mußten sie, einmal dorthin gelangt, so fixiert werden, daß sie nicht mehr herausdiffundieren konnten. Komponenten, die die Lichtempfindlichkeit der Emulsion herabsetzen, mußten vermieden oder so weiter behandelt werden, daß ihre emulsionsschädigende Wirkung aufgehoben wurde.

Man machte sich zunächst die Beobachtung, nach der sich solche Farbstoffkomponenten in geringer Menge direkt an Gelatine und auch Bromsilber adsorbieren lassen, zunutze und versuchte so zu einer Fixierung der Komponenten zu kommen. Dieses Verfahren stellte sich in beschränktem Umfange als

brauchbar heraus und führte zur Entwicklung des Agfa-Tripofilms.

Doch war es für die beabsichtigte Herstellung des Dreischichtenfilms nicht brauchbar, weil die Menge der auf diese Weise in einer photographischen Schicht unterzubringenden Farbstoffkomponenten zu gering ist.

Es sind, wie die Gleichungen auf Seite 162/63 zeigen, auf ein Mol Farbstoffkomponente vier Mol Silberbromid nötig. Das ist zur Erzielung leuchtender Farbstoffbilder viel zu wenig. Damit mußte der Versuch, die benötigten Mengen durch Absorption in die Schichten zu bringen, aufgegeben werden.

Eine weitere Möglichkeit schien durch die Bildung schwerlöslicher Komplexe gegeben, etwa so, wie sich Basen mit hochmolekularen Säuren und umgekehrt fixieren lassen; doch führte auch dieser Weg zunächst zu keinem Ziele, weil trotz der gehärteten Zwischenschichten eine geringe, für das endgültige Farbbild jedoch untragbare Diffusion der Komponenten in die Nachbarschichten nicht zu vermeiden war.

Nichtsdestoweniger gelang es schließlich, in langwieriger Entwicklungsarbeit diffusionsechte Komponenten aufzubauen, die allen an sie zu stellenden Anforderungen entsprachen und die auch eine höchstempfindliche, sensibilisierte Emulsion in ihrer Lichtempfindlichkeit nicht beeinflußten.

Mußte auch in den ersten beiden Jahren eine, im Vergleich zu dem in USA. entwickelten Verfahren etwa um 200% geringer empfindliche Emulsion in Kauf genommen werden, so sind heute bereits Emulsionen auf den Markt gekommen, die bei gleichzusetzender Güte der Farbwiedergabe das amerikanische Verfahren hinsichtlich seiner Lichtempfindlichkeit um 100% übertreffen. Damit marschiert der in Deutschland von den I. G. Farben entwickelte Farbfilm in der Welt unbestritten an der Spitze.

Es bleibt nun noch übrig, einen kurzen Blick auf das amerikanische Verfahren zu werfen.

Hier waren es zwei mit der Eastman Kodak Company zusammenarbeitende Amateure, Manes und Godowsky, die den Fischerschen Grundgedanken wieder aufgriffen und auf einem besonderen Wege zu verwirklichen versuchten. Die

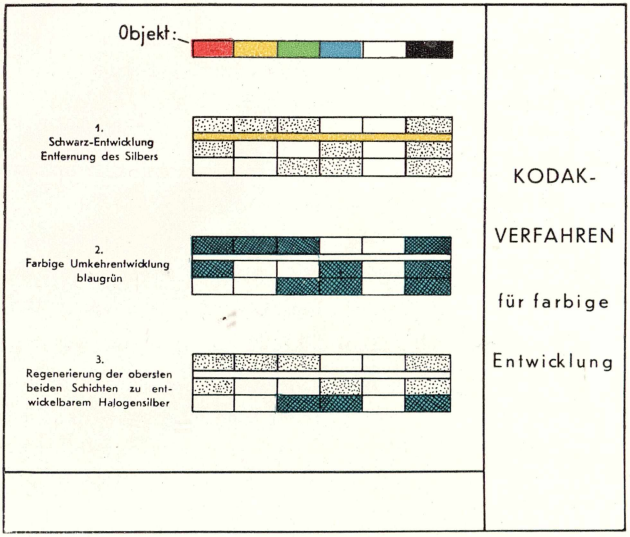


Abbildung 5

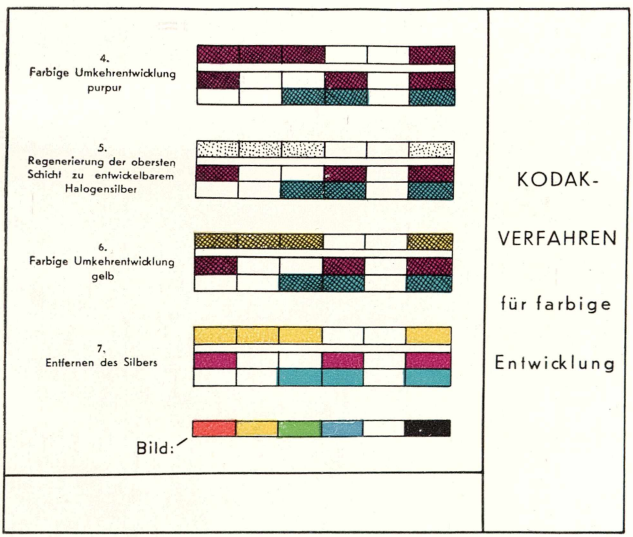


Abbildung 6

Fischersche Idee eines Zusatzes von Komponenten zur Schicht wurde von vorneherein als undurchführbar betrachtet.

Der Film, ein gewöhnlicher Schwarz-Weiß-Film, der einen ebensolchen Schichtenaufbau besitzt, wie das bereits besprochen wurde, und der durch die gleichen Methoden einen Blau-, Grün- und Rot-Auszug des aufgenommenen Motivs liefert, wird zunächst ganz normal entwickelt (Bild 5 und 6). Das ausgeschiedene Silber wird jetzt aber vollständig entfernt, so daß durch das übrigbleibende, unbelichtete Bromsilber gewissermaßen ein Positiv des Aufnahmemotivs gebildet wird.

Es erfolgt die Nachbelichtung und die erste farbige Entwicklung durch einen Farbstoffentwickler, der alle drei Schichten in ein blaugrünes Bild umwandelt.

Nun folgt durch einen komplizierten, genau beobachteten Diffusionsvorgang eine Zerstörung des Farbstoffes in den beiden obersten Schichten. Dieser Prozeß wird im gleichen Augenblick, in dem die farbstoffzerstörende Substanz bis an die Grenze der untersten Schicht vorgedrungen ist, unterbrochen. Gleichzeitig wird das, durch die Entwicklung gebildete, Silber der beiden oberen Schichten wieder in entwickelbares Halogensilber zurückverwandelt und nun erfolgt ein gleicher Entwicklungsvorgang, der diesmal in den beiden obersten Schichten einen purpurnen Farbstoff zur Ablagerung bringt.

Ein erneuter Diffusionsprozeß zerstört den in die oberste Schicht nicht hineingehörenden purpurnen Farbstoff, regeneriert das Silber der obersten Schicht wiederum zu entwickelbarem Halogensilber und nun erfolgt endlich der letzte farbige Entwicklungsprozeß mit dem, einen gelben Farbstoff bildenden Entwickler.

Zum Schluß wird das gesamte Silber in üblicher Weise aus allen drei Schichten entfernt und das neue, projezierbare Farbstoffbild bleibt zurück.

Soviel über die chemischen Probleme, die bei der Entwicklung dieser modernen Farbverfahren auftraten.

Es bleibt nun noch ein Gebiet zu streifen übrig, das bisher noch verhältnismäßig wenig beachtet worden ist, das aber nichtsdestoweniger für diese Farbverfahren von ausschlaggebender Bedeutung sein kann; ich meine das rein physiologische Gebiet.

Es leuchtet ein, daß die schließliche Wirkung einer Farbaufnahme davon abhängig ist, ob sie auf den Betrachter einen Natürlichkeitseindruck macht oder nicht.

Es handelt sich also bei einer Farbaufnahme, wie bei jeder Nachbildung, grundsätzlich um die Abstraktion eines Umweltausschnittes auf eine Sinnesempfindung, und zwar in diesem Falle auf die optische.

In welchem Umfang die Technik der Farbenphotographie in der Lage ist, die im Motiv auftretenden Farbwerte registergetreu wiederzugeben, wurde in seinen Grundzügen angedeutet. Der technische Prozeß kann demnach den gesamten Umfang eines Motivs in bezug auf Farbton, Sättigung und Helligkeit nur unvollkommen erfassen, doch reicht die mit ihm zu erzielende Genauigkeit durchaus hin, beim Betrachter ein ungezwungenes Erinnerungs- bzw. Gedächtnisbild zu wecken, das demjenigen seines komplizierten psychischen Wahrnehmungsprozesses gleichwertig ist.

Voraussetzung ist allerdings, daß die sorgfältig ermittelten Bedingungen für die Aufnahme ebenso sorgfältig bei der Wiedergabe der Farbaufnahmen Berücksichtigung finden.

Nun sind auf dem Gebiet der Wiedergabe von Farbaufnahmen bisher nur ganz vereinzelte Untersuchungen, die rein empirischen Charakter tragen, vorgenommen worden, obgleich ihre Wichtigkeit für den Gesamtkomplex der Farbaufnahme eine außerordentliche zu sein scheint.

Es kann daher an dieser Stelle auch nur ganz summarisch über das, was in dieser Richtung bereits unternommen wurde, berichtet werden.

Das normale Schwarz-Weiß-Bild wird, soweit es nicht Porträtbild ist, weniger nach seiner Naturtreue, als vielmehr nach ästhetischen Regeln hinsichtlich einer befriedigenden Komposition von Licht- und Schattenelementen beurteilt.

Mit dem Auftreten der Farbe im Bild erhält jedoch die Frage nach der naturentsprechenden Abbildung eine ganz überragende Bedeutung.

Es wird vor allen Dingen die ausreichende Imitation des aufgenommenen Gegenstandes gefordert, und zwar eine Imitation, die bei vielen Motiven durch den farbenphotographischen Prozeß allein gar nicht bewältigt werden kann. Es wird beispiels-

weise vom Betrachter die Wiedergabe einer Landschaft gefordert, die, ganz unabhängig davon, ob alle in der Aufnahme enthaltenen Gegenstände konturengetreu, perspektivisch richtig, ihren Helligkeitsabstufungen entsprechend und farbenrichtig wiedergegeben sind, auch noch einen überzeugenden Natürlichkeitseindruck ausstrahlen soll.

Man könnte zunächst annehmen, daß bei Erfüllung der oben angegebenen Forderungen sich dieser Natürlichkeitseindruck von selbst einstellen müßte; das wird aber sogleich zweifelhaft, wenn man sich überlegt, daß der Gesamteindruck, den der Betrachter einer Landschaft in der freien Natur empfängt, nicht nur aus optischen, sondern einer ganzen Anzahl weiterer Eindrücke, die sich an die Geruchs-, Tast-, Wärme-, Gehörs- und noch differenziertere Empfindungsmodalitäten des Menschen wenden, besteht. Nun enthält aber die Farbaufnahme, so wie sie heute erzielbar ist, bereits einen so überzeugenden Teil der von einer Landschaft ausgehenden Sinnenreize, daß deren Ergänzung zu der im Betrachter als Erinnerungsbild entstehenden Gesamtempfindung, bei der Wiedergabe der Farbaufnahme unbewußt mitgefordert wird.

Es ist jedoch — unabhängig von diesen rein psychologischen Problemen — wesentlich, eine Reihe vor Erscheinungen zu berücksichtigen, die rein physiologischer Natur sind und die bei der Wiedergabe einer einmal aufgenommenen Farbaufnahme für den Betrachter auftreten.

Es ist verständlich, wenn die Forderung erhoben wird, daß alle bei der Wiedergabe möglicherweise störend auftretenden Einflüsse, die eine dauernde oder zeitweise Verschiebung der Farben zum Gegenstand haben können, ausgeschaltet werden, da das Auge insbesondere für kurzzeitige Farbänderungen relativ empfindlich ist. Es darf als durchaus wahrscheinlich angenommen werden, daß solche Farbverschiebungen den Aufbau des Erinnerungsbildes, das für den endlichen Natürlichkeitseindruck maßgebend ist, ganz erheblich stören können. Die störenden Einflüsse, die in dem gekennzeichneten Sinne bei der Wiedergabe auftreten können, sind abhängig von der Projektionshelligkeit, der Projektionsgröße und der Art des Bilderwechsels.

Für die Projektionshelligkeit ist eine Erscheinung von ganz entscheidenden Einfluß, die der Physiologe unter dem Begriff des Purkinjeschen Phänomens kennt. Es handelt sich um jene spektrale Verschiebung der Augenempfindlichkeit, die bei zunehmender Dämmerung eintritt und die das Maximum der Farbenempfindlichkeit des Auges vom Gelbgrünen ins Blaugrüne verschiebt.

Der Betrag, um den es sich hier handelt, ist — wie Ihnen Bild 7 [3]) zeigt — recht erheblich und führt, wie der bekannte

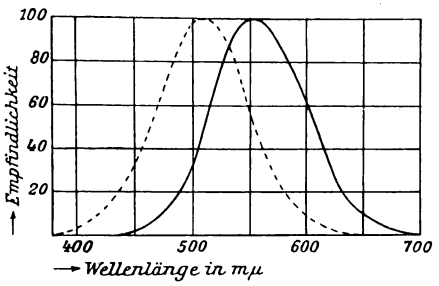


Abb. 7.
Purkinjesche Verschiebung
ausgezogene Kurve: helladaptiertes Auge
gestrichelte Kurve: dämmerungsadaptiertes Auge.

Versuch beweist, dazu, daß zwei bei Tageslicht nach ihren ungefähren Helligkeitswerten gleich abgestimmte, blaue und rote Flächen sich mit einfallender Dämmerung soweit verändern, daß schließlich die blaue Fläche ganz hell und die rote fast schwarz erscheint.

Diese Erscheinung ist darauf begründet, daß mit fortschreitender Verringerung der ins Auge einfallenden Lichtintensität in immer stärkerem Maße das bei hellem Tageslicht allein stattfindende Zapfensehen durch das Stäbchensehen, das sich mit Hilfe des Sehpurpurs vollzieht, ersetzt wird. Die Zapfen, die allein farbenempfindlich, aber relativ wenig lichtempfindlich sind, werden in immer geringerem Maße zum Sehen herangezogen, während der von den Stäbchen produzierte Sehpurpur, der farbenblind, aber hoch helligkeitsempfindlich ist, fortschreitend am Sehen teilnimmt.

3) Entnommen Grimsehl, Lehrbuch der Physik, Bd. II, Teil 1, S. 625.

Die Umstellung des Auges vom Zapfensehen auf das Stäbchensehen erfolgt — auch bei schlagartigem Übergang von Tageslichthelle zur Dämmerungshelle — nicht unmittelbar, wie jedes Betreten eines verdunkelten Raumes aus der Tageslichthelle heraus beweist. Es bedarf vielmehr einer Adaptionszeit, die mindestens zehn, bis zu ihrer vollen Wirksamkeit jedoch 30 bis 40 Minuten beträgt. Der umgekehrte Vorgang, die Helladaption, dagegen vollzieht sich innerhalb weniger Sekunden.

Betritt ein helladaptierter Mensch also einen, nur durch eine Projektionsfläche, auf die ein farbiges Bild geworfen ist, erhellten Raum, so setzt sofort der Prozeß der Dunkeladaption ein, und damit erleidet sein Auge eine fortschreitende Veränderung seiner Farbenaufnahmefähigkeit. Alle roten Töne des Bildes werden zunächst heller, alle blauen und grünen Töne des Bildes dunkler gesehen, als sie ihm nach zehn bis zwanzig Minuten erscheinen. Daß diese Verschiebung bei der Betrachtung von Farbbildern tatsächlich eine Rolle spielt, konnte durch entsprechend geleitete Versuche experimentell festgestellt werden.

Der Grad, in dem sich das Purkinjesche Phänomen bei der Projektion bemerkbar machen kann, ist naturgemäß von der Projektionshelligkeit und vom Abstand des Betrachters von der Bildwand abhängig. Hier die günstigsten Bedingungen auszumitteln und festzulegen wäre eine verdienstvolle Aufgabe von großer praktischer Bedeutung.

Im Zusammenhang mit diesem und zugleich einem bisher unbesprochenen, physiologischen Problem steht die Frage der Umfeldbeleuchtung bei der Projektion.

Hierbei wird eine besondere Form des Simultankontrastes, also der gegenseitigen Beeinflussung nebeneinander liegender Farbflächen im Sinne der Komplementärfarben, der sog. Randkontrast, wirksam. Es handelt sich hier um Probleme, deren sich bekanntlich Goethe in seiner Farbenlehre mit besonderem Nachdruck angenommen hat.

Ein Versuch der Projektion der gleichen Aufnahme einmal mit und einmal ohne Umfeldbeleuchtung läßt deutlich erkennen, daß die Farben des mit besonders breiter Umfeldbeleuchtung projezierten Bildes verhüllt werden, sodaß also in dieser Hinsicht ein allzu farbfreudiges Bild unter Umständen günstig beeinflußt werden kann. Wir übertreiben diesen Effekt etwas,

damit er besonders deutlich sichtbar wird. Zunächst das Bild, dann das Umfeld. Sie sehen, die Verhüllung ist im ersten Augenblick so stark, daß sich ein regelrechter Schleier über das Bild zu legen scheint, der erst nach einigen Augenblicken wieder verschwindet.

Eine schmale Umfeldbeleuchtung hat dagegen die Wirkung, das ganze Bild heller und klarer erscheinen zu lassen. Diese Erscheinung tritt besonders bei vorhergehender Projektion des Umfeldes in Erscheinung.

Farbaufnahmen wenig kontrastierender Farbzusammensetzung, die bildwichtige, dunkle Farbteile enthalten, werden durch eine Projektion mit geringer Umfeldbeleuchtung im Sinne einer Verstärkung der Helligkeits- und damit Farbenkontraste günstig beeinflußt. Doch wäre zur Gewinnung brauchbarer, allgemeingültiger Regeln eine systematische Durchforschung dieses Gebietes von Wichtigkeit.

Ferner hat das Experiment ergeben, daß auch eine richtig belichtete Aufnahme durch eine entsprechende Schwächung des Projektionslichtes als deutlich unterbelichtet bei gleichzeitigem Auftreten eines Farbstiches erscheinen kann, während der Eindruck von Überbelichtung durch überhelle Projektion im gleichen Maße nicht zu erzielen ist.

Ich zeige Ihnen zunächst zwei unter völlig gleichen Licht- und Farbverhältnissen nur Sekunden nacheinander aufgenommene Farbbilder im gleichen Projektor. Sie sehen, daß beide Bilder einen völlig übereinstimmenden Farbeindruck machen (zweimal Bild 8).

Nun projeziere ich das eine Bild im gleichen Projektor weiter, während ich das andere mit einem Projektor schwächerer Helligkeit in gleicher Größe neben das erste Bild projeziere. Sie sehen, daß die Änderung der Projektionshelligkeit eine deutliche Änderung der Farben bewirkt (Bild 9). Der Grund für diese Erscheinung mag darin zu suchen sein, daß die Schwächung einer elektrischen Projektionslichtquelle gleichzeitig den spektralen Charakter des von dieser Lichtquelle ausgesandten Lichtes erheblich zum Rot hin verändern kann, so daß beispielsweise alle blauen Töne im Bild eine Verschiebung zum Purpur hin erleiden.

Abbildung 8
Projektor mit starker Helligkeit

Projektionsvergleich zweier Farbaufnahmen von übereinstimmendem Farbcharakter und gleicher Dichte, bei unterschiedlicher Projektionshelligkeit, auf gleiche Bildgröße projeziert.

Abbildung 9
Projektor mit schwacher Helligkeit

Umgekehrt tritt eine ähnliche Erscheinung bei einer Verstärkung der Projektionshelligkeit deshalb nicht in Erscheinung, weil die spektrale Verschiebung in Richtung des blauen Anteils sich farbig kaum bemerkbar macht und nur ein verstärktes weißes Licht auftreten läßt.

Es ist also notwendig, eine unterste Grenze der Projektionshelligkeit festzulegen. Die technische Durchführung solcher Normen ist selbstverständlich eine Angelegenheit des Ingenieurs. Die entscheidenden Unterlagen hierzu müßte jedoch der Physiologe liefern.

In unmittelbarem Zusammenhang mit diesen Problemen steht die Frage nach der Projektionsgröße und des Wechsels der einzelnen projezierten Bilder. Läßt man sich bei dieser Frage von rein psychologischen Forderungen leiten, so wirkt — innerhalb gewisser Grenzen natürlich — eine Farbaufnahme um so überzeugender, je größer sie projeziert wird. Doch tritt hierbei die Frage auf, inwieweit der Sukzessivkontrast hier eine Rolle spielt, d. h. also jene Erscheinung, die beim Fixieren einer Farbfläche mit nachfolgendem Übergang des Auges auf eine neben dieser gelegenen Fläche als — gewöhnlich komplementär gefärbtes — Nachbild auftritt. Es ist deshalb schon von Weil vorgeschlagen worden, Farbbilder nicht so groß zu projezieren, da ein unter kleinem Gesichtswinkel projeziertes Bild wenig Anreiz zur Blickwanderung bietet. Doch muß man, wenn man so vorgeht, auf zwei wesentliche Vorteile verzichten.

Einmal auf den Gewinn im psychologischen Bereich, der oben schon erwähnt wurde, und zum zweiten auf die Beseitigung einer anderen Wirkung des Sukzessivkontrastes, die viel störender und unangenehmer beim Übergang von einem projezierten Bild auf das nächste in Erscheinung tritt.

Je kleiner das projezierte Bild ist, um so mehr wird es für den Betrachter zur Voraussetzung jener Punktfixierung, die bekanntlich das Erscheinen des komplementären Nachbildes besonders leicht und überzeugend auftreten läßt. Ein solches Nachbild kann beim Wechsel kleiner Farbbilder derart störend in Erscheinung treten, daß eine völlige Veränderung des Gesamtfarbcharakters auftreten kann.

Es ist jedem Vortragenden, der nacheinander farbige Bilder zu projezieren beabsichtigt, geläufig, seine Bilder auf das Auf-

treten des Nachbildes hin mühsam und sorgfältig so zusammenzustellen, daß diese Erscheinung möglichst wenig störend auftritt. Bei rascher Aufeinanderfolge der projezierten Bilder muß berücksichtigt werden, daß kein komplementäres, sondern ein positives Nachbild auftritt. Dementsprechend wird man in solchen Fällen möglichst Bilder gleichfarbigen Charakters aneinanderreihen, während bei langsamer Aufeinanderfolge von relativ dunklen Bildern Nachbilder von komplementärem Farbcharakter erscheinen können.

Ein weiterer Weg, diese sehr störende Erscheinung unwirksam zu machen, besteht eben darin, die Projektionsgröße so hoch wie möglich zu treiben.

Die Wanderung des Auges im Farbbild verhindert seine Festlegung auf bestimmte Farbpunkte und schaltet damit das Auftreten des störenden Nachbildes beim Bilderwechsel erfahrungsgemäß nahezu aus.

Damit sind alle Fragen, die im Bereiche des modernsten Zweiges der Farbenphotographie auftreten, soweit sie im Rahmen dieser Darstellung abgehandelt werden konnten, berührt worden.

Es ist naturgemäß unmöglich, noch auf die nicht minder wichtigen zahlreichen Aufnahmeprobleme, die der Benutzer einer mit Farbfilm geladenen Kamera zu lösen hat, einzugehen; das würde eine gesonderte Darstellung notwendig machen.

Benutzte Literatur.

1. Veröffentlichungen des wissenschaftl. Zentral-Laboratoriums der photographischen Abteilung Agfa, Bd. V, 1937.
2. Grimsehl, Lehrbuch der Physik, 1936, Bd. II, Teil 1.
3. Höber, Lehrbuch der Physiologie des Menschen, 1934.
4. Grabner, Farbenphotographie. Verlag „Die Galerie", Wien.
5. Patentschrift Nr. 253 335 Kl. 57 b Gruppe 14.
6. Emmermann, Kontraste bei Farbaufnahmen, Kleinfilm-Photo, Heft 3, Jahrg. 8, 1938.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen

Jahr/Year: 1939

Band/Volume: 71

Autor(en)/Author(s): Opfermann Hans Karl

Artikel/Article: Über die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen der modernen Farbenphotographie. 153-174