

Farbphotographie — Entwicklung und heutiger Stand.

Von Univ.-Doz. Dr. Walter U r l, Wien.

Vortrag, gehalten am 25. Oktober 1961.

Die Farbphotographie im modernen Sinn feierte in den Jahren 1960/61 ihren 25. Geburtstag. Ungünstige Zeitumstände, vor allem der 2. Weltkrieg waren der Grund, warum erst in der jüngsten Vergangenheit die Farbphotographie die ihr zukommende große Rolle zu spielen begann. Heute entfällt schon 50% und mehr des Umsatzes der großen Werke auf Farbmaterial. In der Farbphotographie sind nun Theorie und Praxis so eng verbunden, daß es von Vorteil ist, von den grundlegenden Prinzipien und Problemen zu wissen. Die folgenden Ausführungen sollen auch zeigen, zu welcher großer Vollkommenheit die Farbphotographie gewachsen ist, aber auch welche Grenzen ihr heute noch gesetzt sind.

Es ist interessant, daß Beobachtungen, welche man als farbphotographische bezeichnen könnte, viel älter sind als die Photographie selbst. So

beobachtete schon 1782 — also 57 Jahre vor D a -
g u e r r e — S e n e b i e r, daß Silberchlorid unter
der Einwirkung von violetter Licht einen Stich
ins blaue annimmt, im roten Licht aber andere
Farbnuancen. Solche Versuche hat später — 1810
— S e e b e c k wiederholt und es gelang ihm auf
Silberchlorid die annähernde Wiedergabe eines
Spektrums. Um die weitere Ausgestaltung dieser
Methode — der sog. Photochromie — haben sich
später besonders der jüngere H e r s c h e l und
Edmond B e q u e r e l (der Vater des Entdeckers
der Radioaktivität Henry B.) verdient gemacht.
Edmond B e q u e r e l arbeitete mit Silberplatten
auf denen Silberchlorid niedergeschlagen wurde.
Die theoretische Deutung der Photochromie
knüpfte an dieses Verfahren an. Wilhelm Z e n -
k e r erklärte 1868 das Phänomen aus dem Auf-
treten stehender Lichtwellen. Da die photoche-
mische Wirkung auf das Silberchlorid an den
Stellen der Knoten der Wellen anders ist als an
den Wellenbäuchen, werden je nach der Wellen-
länge des Lichtes verschieden geartete Verände-
rungen hervorgerufen. Obwohl beim Zustandekommen der direkten Silberchlorid-Photochromien
wahrscheinlich auch andere Faktoren mitspielen,
ist es gegen Ende des 19. Jhd. dem französischen
Physiker Gabriel L i p p m a n n gelungen, allein
auf der Basis der Z e n k e r s c h e n Theorie hervor-
ragende Photochromien herzustellen. L i p p m a n n s

„Interferenzmethode“ bestand darin, daß er sehr feinkörnige Emulsionen durch die Glasseite belichtete, wobei hinter der Emulsion in optischem Kontakt ein Quecksilberspiegel angebracht war. Die Lichtstrahlen werden dabei in sich selbst reflektiert. Die Platten waren fixierbar und zeigten — unter einem bestimmten Winkel betrachtet — prächtige Interferenzfarben. Es liegt im Wesen der Methode, daß sie besonders Spektralfarben prächtig wiedergibt. Für Mischfarben ist sie wenig oder nicht geeignet. Obwohl der Höhepunkt der sog. direkten farbphotographischen Methoden, konnte sich das Lippmann-Verfahren nicht durchsetzen. Es war zu umständlich in der Handhabung, erforderte sehr lange Belichtungszeiten und war teuer.

Die Zukunft der Farbphotographie lag auf dem Gebiet der „indirekten“ Verfahren. Die Basis dafür waren sinnesphysiologische Beobachtungen, die zum Grundfarbenprinzip führten. Erfahrungen nach denen aus wenigen „Grundfarben“ alle in der Natur möglichen Farbtöne gemischt werden können, sind sehr alt und stammen vor allem aus dem Gebiet des farbigen Buchdrucks. Zielbewußtere Untersuchungen setzten hier aber erst nach Newtons Nachweis der zusammengesetzten Natur des weißen Lichtes ein. Diese Erkenntnis hat zunächst der Maler *le Blond* für die Praxis nutzbar zu machen gesucht. Er darf als Begründer

des Dreifarbenbuchdrucks gelten und hat 1706 in London darüber eine prinzipielle Schrift veröffentlicht. Ein von Christian W ü n s c h 1792 eingeführtes Grundfarbentriplett, nämlich rot, grün und violett, wurde dann die Basis für die berühmte Farbenempfindungstheorie von Thomas Y o u n g. Nach dieser enthält die Netzhaut des Auges drei verschiedene Arten von Zäpfchen, welche für die drei Grundfarben empfindlich sind. Alleinige oder gleichzeitige verschieden starke Reizung der drei Arten von Zäpfchen ergibt die Empfindung der verschiedenen Farben, gleichzeitige und gleich starke Reizung die Empfindung weiß. Alle in der Natur vorkommenden Farben setzen sich demnach also aus nur drei Grundfarben zusammen. Wenn man diese drei Grundfarben aus einer mischfarbigen Vorlage „herauszieht“ und später wieder mischt, so muß sich das ursprüngliche Bild wieder ergeben. Ein solches Verfahren war z. B. beim Dreifarbenkupferstich notwendig, doch bedurfte es einer speziellen Begabung des Stechers, die Grundfarben aus den viele hunderte Mischfarben enthaltenden Vorlagen gleichsam herauszulesen. Wenn man diese ganz und gar subjektive, von der Fähigkeit des Druckers abhängige Methode auf eine objektive Basis stellen konnte, war offensichtlich viel gewonnen.

Der Vater des Gedankens, mit Hilfe der Photographie aus einem Farbgemisch die drei Grund-

farben auszuondern und so völlig objektiv „Farbauszüge“ zu gewinnen, ist der berühmte englische Physiker James Clerk Maxwell. Sich auf die wissenschaftliche Begründung der Theorie von Young stützend, machte er sogar erste Ansätze zu einer praktischen Anwendung eines photographischen Dreifarbenverfahrens (1855, ausführlicher dargetan 1861). Maxwell sagte, man müsse nur drei Aufnahmen eines farbigen Gegenstandes je einmal hinter einem roten, grünen und violetten (besser blauen) Filter anfertigen. Man erhält so Farbauszüge der drei Grundfarben. Kopiert man die erhaltenen Negative zu Positiven und projiziert diese — mit entsprechenden vorgeschalteten Filtern — mit drei Projektoren genau passend aufeinander, so erhält man das ursprüngliche Farbbild. Weil bei diesem Verfahren Licht auf Licht projiziert wird, Lichter also addiert werden, nennt man solche Farbverfahren additive. Addiert man alle drei Grundfarben durch Projektion entsteht der Eindruck weißen Lichtes gemäß der gleichzeitigen Reizung aller drei Arten von Zäpfchen. Abb. 1a gibt ein Schema dieser Methode für den Rotauszug. Durch eine transparente Vorlage fällt weißes Licht. Diese enthält je ein Feld mit den drei Grundfarben. Da jede der drei additiven Grundfarben nur ein Drittel des sichtbaren Spektrums passieren läßt (vgl. die schematischen Absorptionskurven in Abb. 2),

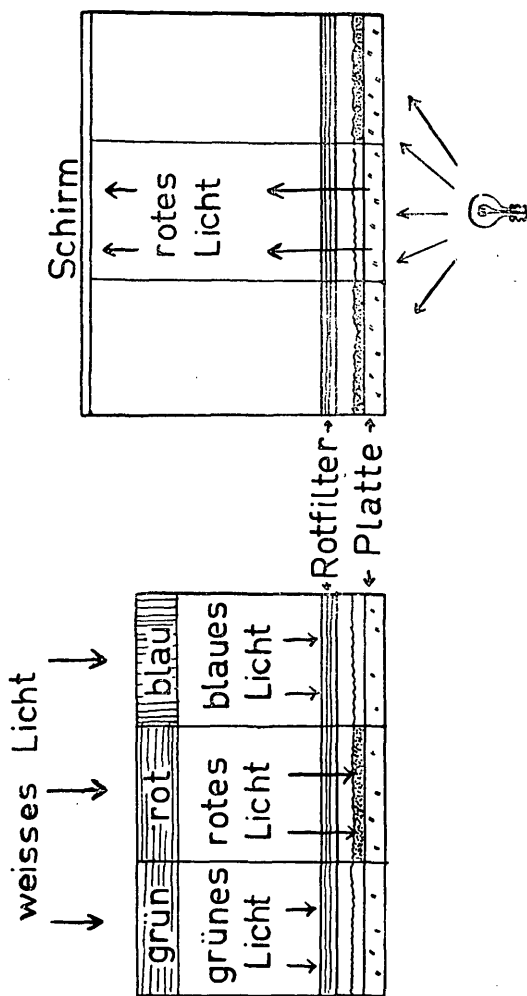


Abb. 1 a. Additives Verfahren. Aufnahme (1 a) und Wiedergabe (1 b) einer roten Bildstelle (Beispiel für den Rotauszug). Abb. 1 b.

wird beim Rotauszug durch das Rotfilter sowohl das grüne wie das blaue Licht absorbiert. Nur rotes Licht passiert und schwärzt die lichtempfindliche Schicht. Wird das Rotauszug-Negativ zum Positiv kopiert, und dieses in einem Projektor bei vorgeschaltetem gleichem — also rotem — Filter mit weißem Licht durchstrahlt, entsteht am Schirm ein entsprechendes rotes Bild (Abb. 1 b). Die Steuerung der Stärke der auf den Schirm gelangenden Lichtmenge, also der Intensität der Grundfarben, erfolgt durch das Bildsilber. Wie man sieht, erfordert dieses Verfahren nichts, was photochemisch über die Schwarz-Weiß-Technik hinausgeht. Doch schien die praktische Durchführbarkeit des Verfahrens lange zweifelhaft, weil

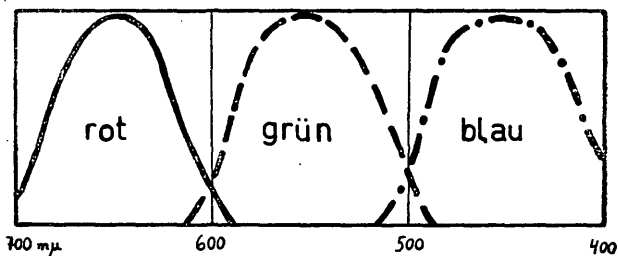


Abb. 2. Absorptionskurven des additiven Grundfarbentriplets (schematisch).

die Silbersalze im wesentlichen zunächst nur für kurzwelliges Licht empfindlich waren. Die Herstellung eines Grünauszuges schien höchst zwei-

felhaft, die eines Rotauszuges unmöglich. Daran scheiterte zuerst Maxwell und wenig später der Franzose Ducos du Hauron, der bedeutendste Wegbereiter der additiven Farbphotographie im 19. Jhd. Frei wurde der Weg für eine Farbphotographie auf diesem Prinzip erst nach der Entdeckung der Sensibilisation der Bromsilbergelatine durch H. W. Vogel 1873. Trotzdem waren bis zur Durchführung der Maxwellschen Idee der Dreifarbenprojektion noch viele Schwierigkeiten zu überwinden. Vor allem suchte man lange Zeit nach geeigneten Filtern, die damals übrigens fast immer Flüssigkeitsfilter waren.

Die Methode hat von vornherein viele Nachteile. Man muß drei Aufnahmen hintereinander machen, was eine zeitliche Parallaxe ergibt, also z. B. die Aufnahme bewegter Objekte verbietet. Eine Kopplung von drei Kameras ergibt wieder eine räumliche Parallaxe. Die Verwendung von Strahlenteilungskameras vermeidet diese Nachteile, doch erfordern diese wieder enorm viel Licht. In allen Fällen aber bleibt das Problem der genau passenden Projektion und der große Aufwand von drei Projektoren.

Für die Dreifarbenphotographie bzw. -projektion im Sinn Maxwells wurden zahlreiche Apparate konstruiert, die im wesentlichen alle auf Ideen von Ducos du Hauron zurückgehen. Die erste wirklich gelungene Dreifarbenprojektion er-

zielte wohl der Amerikaner Frederic Eugen Ives im Jahre 1888. In Europa zeigte der Franzose Leon Vidal 1892 in Paris die ersten brauchbaren Bilder. Interessant ist hier, daß am 22. Februar 1893 Vidalsche Aufnahmen von Eduard Valenta im Rahmen eines Vortrages unseres Vereins (vgl. Band 33, S. 419) mit Hilfe Plösslscher Projektionsapparate gezeigt wurden. Es waren Bilder eines Blumenstraußes und eines Fächers.

Die erwähnten Nachteile dieses additiven Verfahrens schlossen eine auch nur mäßige Verbreitung von vornherein aus. Trotzdem führte nach langem, vergeblichem Bemühen ein modifiziertes additives Verfahren schließlich zur ersten kommerziellen Farbphotographie. Es war das „Autochrom“-Verfahren der Brüder Lumiere. Bei diesem wirklich genialen Verfahren — es wurde zuerst 1904 genau angegeben, stammt aber im Prinzip schon von Ducos du Hauron — werden die drei Farbauszüge ineinandergeschachtelt. Es werden in den drei Grundfarben eingefärbte Stärkekörnchen auf einer Platte ausgebreitet. Darauf kommt dann die lichtempfindliche Schicht. Die Belichtung erfolgt durch das Glas der Platte hindurch. Nach einer Umkehrentwicklung ergeben sich projektionsfertige Diapositive. Abb. 3 a zeigt schematisch die Aufnahme, Abb. 3 b die Wiedergabe einer roten Bildstelle. Das Auto-

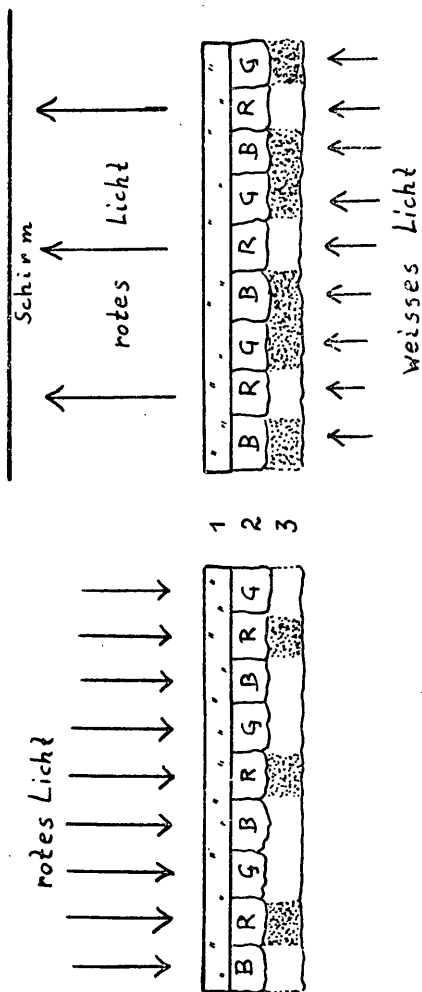


Abb. 3 a.

Abb. 3 b.

Aufnahme (3a) und Wiedergabe (3b) einer roten Bildstelle beim Autochrom-Kornrasterverfahren.

1 = Platte, 2 = Stärkekörnchen in den additiven Grundfarben blau, grün und rot eingefärbt, 3 = lichtempfindliche Schicht.

chromverfahren vermeidet sowohl die zeitliche wie die räumliche Parallaxe bei der Aufnahme und braucht nur einen Projektor zur Wiedergabe. Trotzdem haften auch ihm erhebliche Nachteile an. Neben der Unschärfe der Bilder, hervorgerufen durch die doch relativ großen Körner (etwa 15μ) ist besonders die erhebliche Lichtschwäche störend. Aus Abb. 3 b ist ja ersichtlich, daß wegen des die Grundfarben steuernden aber lichtschluckenden Bildsilbers theoretisch bei der Projektion nur ein Drittel des Lichtes durchgelassen wird. Additive Farbverfahren nach dem Lumiere-schen Autochrom-Kornrasterplattensystem behaupteten sich aber von 1908 bis etwa 1935 auf dem Markt.

Die moderne Farbenphotographie beruht nun auf einem völlig anderen Prinzip, nämlich auf einem s u b t r a k t i v e n Grundfarbentriplett. Additive Verfahren arbeiten mit dem Mischen von verschiedenen farbigen Lichtern, im extremen Fall erhält man weiß, nämlich bei Übereinanderprojizieren aller drei Farben des additiven Triplets in gleicher Stärke. Die Möglichkeit, alle Farben der Natur durch Mischen von drei Grundfarben zu erhalten, ist aber auch bei Benützung anderer Grundfarbentriplette möglich. Solche Grundfarbentriplette ergeben sich aus den Eigenschaften der Körperfarben, die sich von farbigen Lichtern dadurch unterscheiden, daß sie Teile des weißen

Lichtes absorbieren und den Rest als „ihre Farbe“ reflektieren. Die Malerei und der farbige Buchdruck beruhen auf Körperfarben. Während dem Künstler aber sehr sehr viele verschiedene Farben zur Verfügung stehen, muß der Buchdrucker im wesentlichen wieder mit drei Farben, also mit einem Grundfarbentriplett, auskommen. Ein solches Triplett muß aber jedenfalls andere Farben beinhalten als rot, grün und blau. Durch Übereinanderdrucken der additiven Grundfarben kann keine Farbmischung entstehen, denn jede Grundfarbe reflektiert ja nur ein Drittel des Spektrums. Je zwei zusammen ergeben daher bereits schwarz (vgl. Abb. 2).

Aufsichtsbilder erfordern ein Grundfarbentriplett, bei welchem jede Farbe mehr als ein Drittel, z. B. zwei Drittel des Spektrums reflektiert, und dann nur ein Drittel absorbiert. Ein solches Triplett bewirkt das Entstehen der Zwischenfarben dadurch, daß aus dem weißen Licht verschiedene Anteile weggenommen — subtrahiert — werden. Ein subtraktives Triplett erhält man recht einfach, wenn man aus dem additiven Triplett immer je eine Farbe herausnimmt (Abb. 4). Entfernt man rot, so bleibt blau + grün = blaugrün übrig, aus rot + blau (minus grün) ergibt sich purpur. Entfernt man blau, so ergibt sich, was zunächst verwundert, aus rot + grün, gelb. Der Grund liegt darin, daß gleichzeitige Reizung der rot- und grün-

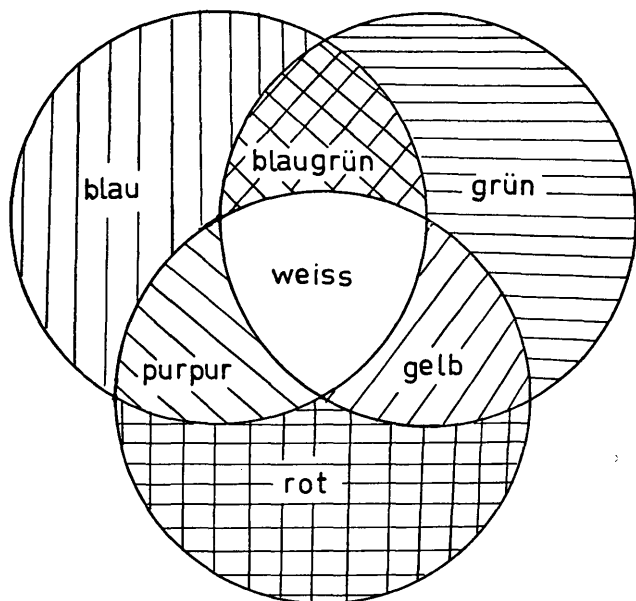


Abb. 4. Prinzip der additiven Farbmischung.

empfindlichen Netzhautelemente die Empfindung gelb ergibt. Gelbe Körperfarben haben also die Eigenschaft blau zu verschlucken und grün + rot zu reflektieren. Spektrales gelb ist sehr selten und z. B. als gelbes Licht der Natriumdampflampen anzutreffen.

Die Absorptionskurven unseres subtraktiven Tripletts zeigt schematisch Abb. 5. Man sieht, daß jede Farbe zwei Drittel des Spektrums passieren läßt und ein Drittel absorbiert. Alle drei Farben

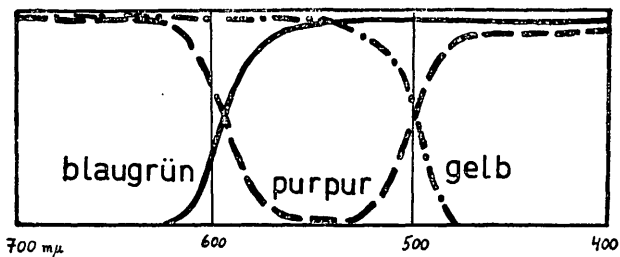


Abb. 5. Absorptionskurven des subtraktiven Grundfarbentriplets (schematisch).

zusammen absorbieren alles Licht, ergeben also schwarz. Für das Problem der Dreifarbenphotographie ergibt sich nun folgendes: Jede der drei subtraktiven Grundfarben verschluckt eine der additiven Grundfarben, nämlich die ihr „komplementäre“. Purpur verschluckt grün, blaugrün absorbiert rot, und gelb blau. Man kann also das subtraktive Triplet zur Steuerung der additiven Grundfarben bei einer Dreifarbenprojektion benutzen, d. h. mit den subtraktiven Grundfarben die Menge des roten, grünen und blauen Lichtes regeln, welches unser Auge trifft. Dabei ergeben sich mehrere Vorteile. Zunächst ist kein lichtschluckendes Bildsilber notwendig wie etwa beim additiven Autochromverfahren, vor allem kann man aber Filter, die in den subtraktiven Farben eingefärbt sind, übereinanderlegen. Während also beim additiven Autochromverfahren der Eindruck „rot“ dadurch hervorgerufen wird, daß hinter den

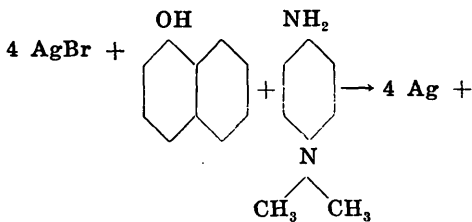
grünen und blauen Stärkekörnchen Bildsilber liegt, kann man mit subtraktiv eingefärbten Filtern den Eindruck „rot“ dadurch hervorrufen, daß man ein Purpur- und ein Gelbfilter übereinanderlegt. Purpur verschluckt dann grün, gelb verschluckt blau, und rot bleibt übrig. Dieses rot wird hier aber mit dem vollen Licht des Projektors geboten, da ja kein abdeckendes Bildsilber nötig ist.

Eine Farbphotographie auf der Grundlage des subtraktiven Farbtupletts erscheint also einfach. Wie beim alten M a x w e l l schen Verfahren macht man also Farbauszüge für jede der drei additiven Grundfarben. Diese Auszüge werden aber nun jeweils in den komplementären subtraktiven Farben eingefärbt, übereinandergelegt und projiziert. Der Rotauszug wird also blaugrün eingefärbt. Wo viel rot in der Vorlage ist, wo beim Rotauszug also viel Bildsilber im Negativ entsteht, darf nachher nur wenig blaugrün sein, weil dieses ja rot verschluckt. Die Farbauszüge müssen also entsprechend der bei der Entwicklung entstehenden Silberdichte eingefärbt werden und zwar in den Farben des subtraktiven Tripletts. Gerade daran aber scheiterte zunächst die Verwirklichung einer subtraktiven Farbphotographie. Ja das Einfärbe-
problem schien so unlösbar, daß an eine Farb-
photographie auf diesem Weg zunächst wohl gar nicht gedacht wurde. Dem Genie Rudolf Fi-

s c h e r s (1881—1957) bleibt hier für alle Zeit der Dank, Weg und Lösung prinzipiell gezeigt zu haben.

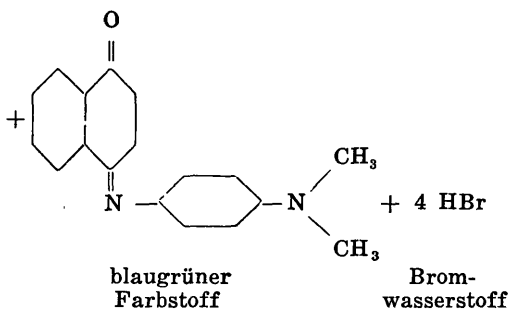
In der Zeit vor dem 1. Weltkrieg waren verschiedenfarbig getonte Bilder modern. Die Tonung erforderte aber immer eine gesonderte Nachbehandlung. F i s c h e r, der in Berlin bei der „Neuen Photographischen Gesellschaft“ (NPG) als Chemiker angestellt war, untersuchte in diesem Zusammenhang die Möglichkeit, während der Entwicklung der Bilder gleichzeitig ein Farbstoffbild zu erzeugen. Nach mehr oder minder fruchtlosen Versuchen mit Farbstoff-Leukoverbindungen kam F i s c h e r die geniale richtungweisende Idee für seine Zwecke die bekannte Naphtholblaubildung zu benutzen. Wenn man nämlich Silberbromid mit Entwicklern aus der p-Phenylendiamingruppe reduziert (z. B. mit Dimethyl-p-phenylendiamin) bei gleichzeitiger Anwesenheit von α -Naphthol, so wird zunächst bei der Reduktion des Bromsilbers der Entwickler oxydiert. Dieses Oxydationsprodukt ist sehr reaktionsfähig und reagiert mit α -Naphthol zu einem blau-grünen Farbstoff, es tritt eine „Kuppelung“ ein.

Bei Anwendung anderer Kupplungskomponenten („Kuppler“) konnten auch andere Farbtöne erzielt werden. F i s c h e r nannte den Vorgang „chromogene Entwicklung“ und auf dieser Basis brachte die NPG 1914 sog. „Chromalpapiere“ in

Bromsilber α -Naphtol

Silber

Dimethyl-p-Phenylendiamin

blaugrüner
FarbstoffBrom-
wasserstoff

mehreren Sorten für verschiedene Farbtöne in den Handel, wobei die Kuppler in den Schichten enthalten waren. Fischer hat in seinem grundlegenden DRP vom 14. 6. 1911 darüber hinaus aber klar die Verwendbarkeit der chromogenen Entwicklung für farbphotographische Zwecke vorgezeichnet. Er schlägt ein Mehrschichtenmaterial mit untrennbaren Schichten vor, in denen durch chromogene Entwicklung die entsprechenden Farbstoffbilder in den Farben des subtraktiven Trip-

letts hervorgerufen werden. Es kam ja nur ein Mehrschichtenmaterial in Frage. Getrennte Schichten würden ja wieder umständliche Handhabung bedingen und erhebliche Deckungsschwierigkeiten verursachen. An eine kommerzielle Verwendung war vorerst nicht gedacht.

Der vorgeschlagene Mehrschichtenfilm müßte also drei Schichten enthalten, je eine rot-, grün- und blauempfindliche. In diesen Schichten müssen nun komplementäre Farbstoffbilder entwickelt werden, also in der blauempfindlichen Schicht ein Gelbbild, in der grünempfindlichen Schicht ein Purpurbild und in der rotempfindlichen Schicht ein Blaugrünbild. Das ist viel einfacher gesagt als getan. Wie soll man die Kupplungskomponenten dazu bringen, gerade in der richtigen Schicht zu kuppeln? Auch dazu hat Fischer schon den Weg vorgezeichnet. Er schlägt vor, die Kuppler in die Schichten selbst einzubringen, also in die rotempfindliche Schicht einen Blaugrünkuppler, in die blauempfindliche Schicht einen Gelbkuppler und in die grünempfindliche Schicht einen Purporkuppler. In einem Arbeitsgang könnte dann der Farbentwickler mit den verschiedenen Kupplern die Farbstoffbilder erzeugen. Doch sah Fischer ein, daß die Realisierung einer subtraktiven Farbphotographie nach seinen Vorschlägen mit den technischen Hilfsmitteln seiner Zeit unmöglich war. Vor allem ein Problem schien völlig unlösbar,

nämlich zwei Forderungen zu erfüllen, die sich offenbar gegenseitig ausschlossen. Die Kuppler müssen löslich sein, da sie ja sonst nicht mit den Oxydationsprodukten des Entwicklers reagieren, andererseits dürfen die Kuppler aber nicht löslich sein, da sie in ihrer Schicht verankert bleiben müssen. Der Blaugrünkuppler darf also nicht etwa in die Schicht wandern, wo der Purpurkuppler sitzt. Sonst sind Farbverschiebungen und Unschärfen unkontrollierbaren Ausmaßes unvermeidlich. Die Unmöglichkeit, die Kuppler in den Schichten zu halten, aber auch andere Umstände, so das Fehlen brauchbarer, den theoretischen Anforderungen entsprechender Farbkuppler, ließen jede weitere Verfolgung des *Fischer*-Patents aussichtslos erscheinen. Als aber die Arbeiten an verschiedenen additiven Farbverfahren trotz größten Kapitalaufwands nicht die erhofften Resultate brachten, begann man sich wieder an die fast vergessenen Vorschläge *Fischers* zu erinnern. Zunächst waren es zwei amerikanische Musiker, also Außenseiter, die das Problem anpackten, *Leopold Mannes* und *Leopold Godowsky*. Mit den großen Hilfsmitteln der *Eastman Kodak Co.* gelang ihnen schließlich die Ausarbeitung des ersten kommerziell verwendbaren subtraktiven Farbverfahrens. Sie lösten aber das Problem aber auf eine geradezu unheimlich komplizierte Art. Der *Kodachrome*-Film, der im April 1935 auf den

Markt kam, war so aufgebaut, wie heute noch alle Dreischichtenfarbfilm (Abb. 6). Auf dem Schicht-

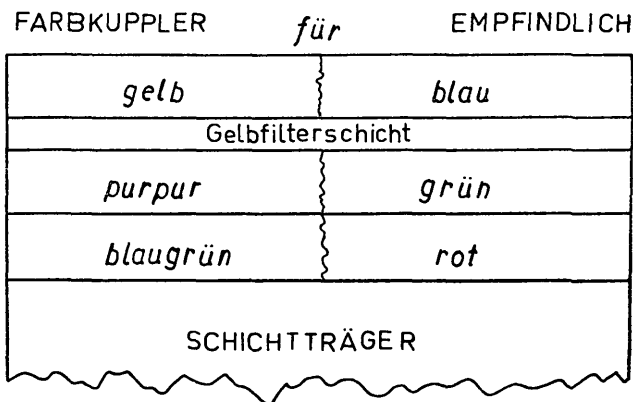


Abb. 6. Schema des Aufbaus eines subtraktiven Dreischichten-Farbfilms.

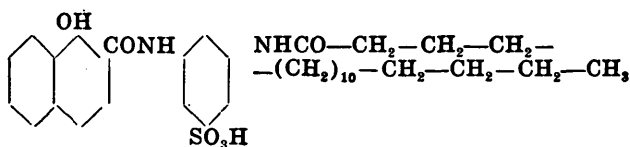
träger liegt eine rotempfindliche Schicht, darauf eine grünempfindliche. Nach einer Gelbfilterschicht kommt zuoberst die blauempfindliche Schicht. Die Gelbfilterschicht ist notwendig, um blaues Licht von den unteren Schichten fernzuhalten. Bromsilber ist ja zunächst nur für blau empfindlich. Man kann es nun für rotes und grünes Licht sensibilisieren, ihm aber nicht die „angeborene“ Blauempfindlichkeit wegnehmen. In der untersten rotempfindlichen Schicht wird bei der Farbentwicklung nun ein Blaugrünbild gekuppelt, in der mittleren grünempfindlichen Schicht ein

Purpurbild und in der obersten blauempfindlichen Schicht ein Gelbbild. M a n n e s und G o d o w s k y hatten nun keine Kuppler, die „diffusionsfest“ waren, also in ihrer Schicht blieben, sondern die Kuppler waren im Farbentwickler gelöst. Es konnte daher nicht in einem Arbeitsgang in allen Schichten die entsprechende Farbe gekuppelt werden. So wurde ein äußerst kompliziertes Verfahren gewählt. Es wurde zunächst in allen Schichten ein Blaugrünbild gekuppelt und danach die zwei obersten Schichten wieder gebleicht. Mit den Reduktionsprodukten des Bleichvorganges wurde dann das Purpurbild gekuppelt und schließlich nach selektiver Bleichung der obersten Schicht das Gelbbild. Das erforderte viele Arbeitsgänge und ein überaus genaues Arbeiten, die Schichten sind ja nur wenige tausendstel Millimeter dick. Heute wird das Kodachrome-Verfahren in geänderter Form durchgeführt. Statt der kontrollierten Bleichung wird selektiv mit farbigem Licht nachbelichtet, sodaß immer nur eine der Schichten entwicklungsfähig wird. M a n n e s und G o d o w s k y verwirklichten im Kodachrom-Verfahren nur einen Teil der Ideen F i s c h e r s, sie benutzten nur die chromogene Entwicklung.

Die Schaffung eines ganz auf F i s c h e r s Konzept beruhenden subtraktiven Farbverfahrens, eines Dreischichtenverfahrens mit den Kupplern in den Schichten und einer einzigen Farbentwick-

lungsstufe gelang schließlich den Chemikern der Agfa. In dem unter Leitung von Dr. Gustav Wilmanns stehenden technisch-wissenschaftlichen Laboratorium hatte hier der organische Chemiker Dr. Wilhelm Schneider gefunden, daß man Farbstoffe — ohne daß diese ihre Löslicheitseigenschaften verlieren — diffusionsfest in Gelatine einbringen könne, wenn diese in bestimmter Weise substituiert werden. Wohl im März oder Anfang April 1935 muß Schneider den Gedanken gefaßt haben, Fischers Ideen mit Hilfe diffusionsfester substituierter Kuppler in die Tat umzusetzen. Das grundlegende Patent stammt vom 10. April 1935 (DRP 746135), ist aber sichtlich übereilt abgefaßt, beinhaltet keineswegs ein wirklich brauchbares Verfahren und ist wohl unter dem Druck des angekündigten Kodachrome-Verfahrens eingereicht worden. Schneider und Wilmanns vertrauten aber ihrer Idee und übernahmen die Verantwortung für die sofort auf breiter Basis aufgenommenen Arbeiten. Diese führten bald zu guten Ergebnissen. Man entdeckte, daß brauchbare Kupplungsfähigkeit bei gleichzeitiger Diffusionsfestigkeit dann erreicht wird, wenn die Kuppler mit Fettresten bei gleichzeitiger Anwesenheit von Sulfo- oder Carboxylgruppen substituiert sind. Das nachstehende Formelbild zeigt z. B. einen diffusionsfesten Blaugrünkuppler.

Es stellt dem Können der Chemiker und Tech-



niker der Agfa das höchste Zeugnis aus, daß schon im Oktober 1936, also nur $1\frac{1}{2}$ Jahre nach den ersten tastenden Versuchen, der Agfacolorfilm im Handel erscheint. Wie der Kodachrome ist auch der Agfacolorfilm zunächst als Umkehrmaterial verfügbar. Der Aufbau des Films entspricht völlig der Abb. 6. Die Kuppler liegen diffusionsfest in den Schichten. Die Entwicklung ist im Prinzip sehr einfach. Sie soll nun an Hand von Abb. 7 erläutert werden. Die Entwicklungsstufen sind für alle nach dem Agfa-Prinzip arbeitenden subtraktiven Dreischichtenfilme gleich. Die erste Entwicklung (a) ist beim Umkehrverfahren eine reine schwarz-weiß-Entwicklung, die zu einem Negativ führt. Je nach dem Gehalt der Vorlage (I) an blau, grün und rot wird dabei in den dafür empfindlichen Schichten bei der Entwicklung Silber ausgeschieden, es werden also Farbauszüge hergestellt wie bei den additiven Verfahren. Blaues Licht z. B. (Feld 2 in Abb. 7) wirkt nur auf die oberste Schicht. Das bei der Aufnahme belichtete Bromsilber wird also bei der Entwicklung geschwärzt. (Volle schwarze Körper.) Als Entwicklersubstanzen kommen für die Erstentwicklung

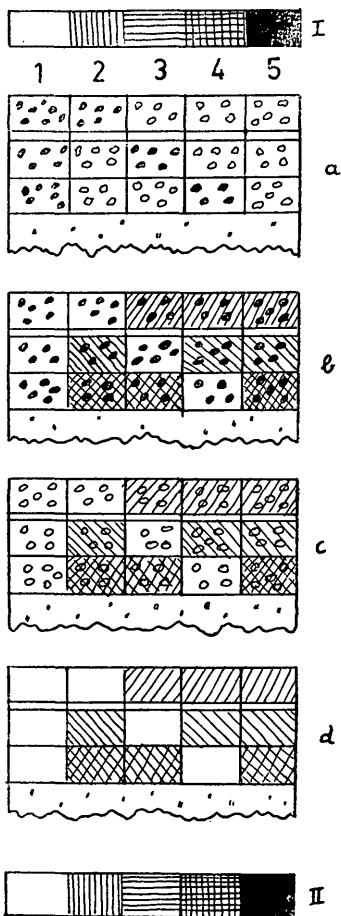


Abb. 7. Arbeitsgänge bei der Entwicklung eines auf dem Agfa-Prinzip beruhenden Dreischichten-Farbfilms. Die Signatur der Farben entspricht der in Abb. 4.

natürlich nur solche in Frage, deren Oxydationsprodukte nicht mit den in den Schichten lagernden Kupplern reagieren. Meist werden Methol-Hydrochinon oder Amidol-Entwickler gewählt.

Nach der Erstentwicklung wird gründlich gewässert, um die Reste des Entwicklers zu entfernen. Alle weiteren Arbeitsgänge können nun bei Licht durchgeführt werden. Ja zunächst muß der Film sogar mit starkem Glühlampenlicht nachbelichtet werden, um das verbliebene Bromsilber (die nicht voll schwarzen Körper in Abb. 7) entwickelbar zu machen. Das verbliebene Bromsilber wird nun in der folgenden Farbentwicklung (b) vom Farbentwickler zu Silber reduziert. Überall dort, wo aber Bromsilber reduziert wird, fallen jetzt Oxydationsprodukte des Farbentwicklers an, die sofort mit den in den Schichten liegenden Kupplern zu Farbstoff kuppeln. Im Fall unseres blauen Lichtes wird also jetzt in der grünempfindlichen Schicht purpur, und in der rottempfindlichen Schicht blaugrün gekuppelt. In der blauempfindlichen Schicht kann kein gelber Farbstoff entstehen, weil hier ja kein durch den Farbentwickler reduzierbares Bromsilber mehr vorliegt. Aus blaugrün und purpur ergibt sich aber in der Durchsicht blau, da blaugrün rot und purpur grün verschluckt! (vgl. Abb. 5.) Gleiche Überlegungen gelten auch für das Entstehen der anderen Farben bzw. für schwarz und weiß.

Doch kann man nach der Farbentwicklung noch kein Farbbild sehen. Neben den gekuppelten Farben liegt ja das Bildsilber in den Schichten, sodaß der Film völlig schwarz erscheint. Um das Bildsilber zu entfernen, muß dieses zunächst rehalogenisiert, also in ein lösliches Silbersalz verwandelt werden. Der Film kommt dazu in ein Bleichbad (c), welches als wesentliche Bestandteile rotes Blutlaugensalz (Kaliumferrizyanid) und Kaliumbromid enthält. Danach (d) wird mit reiner (nicht saurer) Fixiersalzlösung alles Silbersalz entfernt. Das reine Farbstoffbild verbleibt, der Farbstoff der Gelbfilterschicht war schon bei der Entwicklung zerstört worden (II).

Das Agfacolor-Prinzip enthält auch die Möglichkeit für ein Negativ-Positiv-Verfahren. Um ein Farbnegativ zu erhalten, muß man nur den Film sogleich in einem Farbentwickler entwickeln. Es kuppeln dann komplementäre Farben, bei blauem Licht also in der obersten Schicht gelber Farbstoff, bei grünem Licht in der mittleren Schicht purpur, bei rotem Licht in der untersten Schicht blaugrüner Farbstoff. Dieses Farbnegativ kann dann zu einem Positiv kopiert werden. Die praktische Ausführung war allerdings nicht einfach, weil Farbstoffe mit ganz speziellen Absorptionseigenschaften erforderlich waren. Man kann so z. B. Umkehrmaterial nicht als Negativfilm verwenden. Bei der Agfa wurden die Arbeiten am Ne-

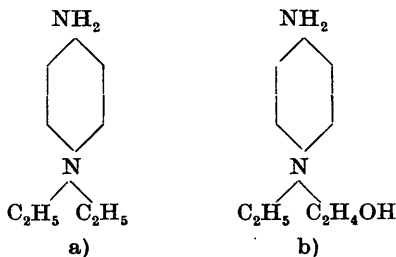
gativ-Positivverfahren schon im August 1936 intensiv aufgenommen, also noch vor Erscheinen des Umkehrmaterials. 1939 begann die Produktion. Der erste farbige deutsche Spielfilm „Frauen sind doch bessere Diplomaten“ wurde nach dem Agfa-Negativ-Positivverfahren hergestellt, dem ersten direkt kopierfähigen subtraktiven Farbverfahren der Welt. Der Film wurde 1941 uraufgeführt. 1942 hatte die Agfa auch ein Farbpapier fertig, auf dem von den Negativen Positive angefertigt werden konnten. Dieses erste subtraktive Farbpapierverfahren der Welt kam aber während des Krieges nicht mehr in den Handel.

Knapp vor und während des 2. Weltkrieges entwickelte Kodak ein subtraktives Farbverfahren nach den Prinzipien F i s c h e r s, also mit Kupplern in den Schichten. Es wurden aber nicht substituierte Kuppler verwendet, sondern ausgehend von einer Erfindung M a r t i n e z ' sog. „geschützte“ Kuppler. Diese Kuppler sind in Wasser sehr schwer oder nicht löslich, leicht löslich jedoch in organischen Substanzen. Mit Kupplern beladene organische Stoffe werden als winzige Tröpfchen („globules“) in die Schichten eingelagert. Die Kuppler können nicht in die gequollene Gelatine heraus, die reaktionsfähigen Oxydationsprodukte der Farbentwickler jedoch herein. Das auf dieser Basis beruhende Ektachrome-Verfahren ist genau so einfach zu handhaben wie das Agfa-

Verfahren. Der Ektachrome-Film erschien jedoch erst nach dem Krieg auf dem Markt.

Die Agfa-Patente wurden nach dem Kriege von den Alliierten freigegeben. Heute beruht so eine große Zahl von Farbverfahren auf dem Agfa-Prinzip. Um die Qualität der Farbwiedergabe zu steigern, hat man zum Teil eine Kombination der verschiedenen Verfahren gewählt. So enthält z. B. der Adoxcolor in der rotempfindlichen Schicht einen geschützten Blaugrünkuppler, in den anderen Schichten aber diffusionsfeste Kuppler.

Abgesehen vom komplizierten Kodachrome-Verfahren könnten heute im Prinzip alle Farbfilme einfach und leicht von jedermann entwickelt werden. Einige Firmen verkaufen zu ihren Umkehr- und Negativmaterialien Entwicklersätze, ganz wenige, denen die Interessen des Amateurs noch vor jene des eigenen Kapitalstandes gehen, (z. B. Ferrania) geben auch die Rezepte an. Die Entwicklung ist ja im Prinzip überall gleich. Vor allem wird bei fast allen Verfahren dieselbe Farb-



entwicklersubstanz verwendet, nämlich das Diaethyl-p-Phenylendiamin (a), manchmal nächste Verwandte, z. B. Diaethyl-hydroxaethyl-p-Phenylendiamin (b).

Auf diesem Gebiet hat sich also seit F i s c h e r s Arbeiten nichts geändert. Die Schwierigkeiten liegen heute ausschließlich auf fabrikatorischem Gebiet. Es ist schon eine Kunst, drei überaus dünne Schichten und etwaige Zwischenschichten (Stärke 4μ und darunter) mit größter Genauigkeit zu gießen. Das größte Problem sind aber heute noch die Kuppler. Das sind ja sehr komplizierte und empfindliche Substanzen. Sie müssen nicht nur die verschiedenen Fabrikationsvorgänge überstehen, sondern sich auch mit den notwendigen Beimischungen, z. B. den Sensibilisatoren vertragen. Vor allem müssen sie aber ganz bestimmte Absorptionseigenschaften besitzen. Hier sind wir bei den Grenzen der modernen Farbphotographie angelangt. Es gibt jetzt z. B. gute bis ideale Gelbkuppler. Alle Purpur- und Blaugrünkuppler haben aber die Eigenschaft, etwas blau zu absorbieren. Sie besitzen eine „konkurrierende Absorption“ und steuern so die Blaudurchlässigkeit mit. Man könnte das nun berücksichtigen, wenn man schwächere Gelbkupplung nimmt. Dann aber werden wieder die Gelbtöne zu schwach. Es ist also praktisch unmöglich, alle Farbtöne gleich gut wiederzugeben, ganz abgesehen davon, daß die Stärke

der subtraktiven Dreischichtenfilme in der Wiedergabe der Mischfarben liegt. Im Gegensatz zum Lippmann-Verfahren werden Spektralfarben dagegen nur unvollkommen wiedergegeben, das heißt, ein Spektrum wird in wesentlich weniger Farbstufen reproduziert als darin enthalten sind. Die Filmhersteller wissen das alles natürlich und denken realistisch. Da festgestellt wurde, daß die meisten Photos Menschen abbilden, oder doch falls solche im Bild enthalten sind, diese bevorzugt betrachtet werden, versucht man die Balance der Filme auf eine möglichst gute Wiedergabe der Hautfarbe zu legen.

An Anfang war alles besonders schwierig, man hatte z. B. nur recht unzulängliche Purpur- und Blaugrünkuppler. Auch heute aber, nach 25 Jahren rastlosen Bemühens und stetiger Verbesserung, geben unsere Farbfilme natürlich nicht unter allen Umständen gleich gute Resultate. Vor allem sind sämtliche Farbfilme einer ganz bestimmten „Farbtemperatur“ angepaßt. Das heißt, im Licht muß ein ganz bestimmtes Verhältnis zwischen roten und blauen Anteilen vorhanden sein. Die Tageslichtfarben sind meist auf eine Farbtemperatur von $5600\text{--}6000^\circ\text{K}$ (= Grad Kelvin, die Farbtemperatur wird vom absoluten Nullpunkt gemessen) abgestimmt. Eine Farbtemperatur von etwa 6000°K ist z.B. bei Mittagsonne und weißen Haufenwolken gegeben. Im Schatten bei klar-

blauem Himmel kann man aber bis über 10.000° K messen, eine Glühlampe von 100 Watt wieder besitzt eine Farbtemperatur von etwa 2800° K. Ein bei zu hoher Farbtemperatur aufgenommenes Bild bekommt einen Blaustich, bei zu niedriger Farbtemperatur einen Rotstich. Während sich das Auge an sehr wechselnde Farbtemperaturen ohne weiteres anpaßt, muß man beim Farbfilm Korrekturen vornehmen. Das geschieht mit Hilfe von speziellen Filtern, doch sind diese wirklich erfolgreich nur in Verbindung mit einem (recht teuren) Farbtemperaturmesser einzusetzen. Solche „Konversionsfilter“ — in der wissenschaftlichen Farbphotographie vielfach unentbehrlich — sind deshalb in Amateurreisen recht wenig verbreitet. Selbst die von den Firmen oft dringend empfohlenen zart rosa „Skylightfilter“ werden kaum verwendet, obwohl damit bei vielen Filmsorten (Perutz, Kodachrome) eine oft wesentlich verbesserte Farbwiedergabe, besonders im grün, erreicht werden kann. Besonders bei klarblauem Himmel ist nämlich das Grün der Blätter immer blaugrün. Dieser Farbton ist richtig, er stammt vom reflektierten Himmelslicht, wird aber vom Betrachter meist negativ beurteilt, weil dem menschlichen Auge ein wärmeres, d. h. etwas gelbhaltiges Grün angenehmer erscheint. Ein eleganter Weg zur Erzielung eines blaustichfreien Grün ist die Benützung eines Polarisationsfilters. Das reflektierte

Licht ist ja polarisiert und wird in LÖschstellung des Polfilters nicht durchgelassen. Doch sind Polfilter ziemlich teuer und ihre Benützung erfordert auch einige Erfahrung. Sie sind deswegen in Amateurräumen unverdient wenig in Gebrauch.

Die Farbwiedergabe verschiedener Filmsorten ist, wie allbekannt, nicht gleich. Das resultiert neben der Einstellung auf verschiedene Farbtemperaturen noch aus etlichen anderen Umständen. Einige Filmsorten haben kräftige brillante Farben (Kodachrome, Perutzcolor), andere weichere pastellartige (Ansochrome). Jede Filmsorte hat so einen bestimmten „Charakter“. Hier kommen wir auf das rein subjektive Gebiet des individuellen Geschmacks und auf den Punkt, der bei der Herstellung der Farbfilme am schwersten zu kalkulieren ist, nämlich zur enormen Anpassungsfähigkeit des menschlichen Auges. Es ist uns ja eine wohlvertraute Tatsache, daß unser Auge eine weiße Fläche sowohl bei Sonnen- als auch bei Kerzenlicht weiß sieht. Im letzteren Fall hat aber das Licht wesentlich mehr Rotgehalt, die Farbtemperatur ist viel niedriger. Es erweist sich, daß die Sensibilität der rot- und blauempfindlichen Netzhautelemente schwankt. Das ist natürlich bei den Schichten des Farbfilms nicht der Fall. Wenn wir eine Beleuchtung mit zwei in der Farbtemperatur sehr verschiedenen Lichtquellen wählen, so stellt sich unser Auge sofort auf eine dazwischen-

liegende Lichtqualität ein. Auch das kann der Farbfilm nicht und die Hersteller warnen deshalb vor Aufnahmen bei Mischlicht.

Die weitgehende Adaptationsfähigkeit des Auges ist auch der Grund, warum man Farbdiapositive nur projiziert und nur bei verdunkeltem Raum betrachten soll. Da die Farben der Umgebung dann nicht zum Vergleich herangezogen werden können, haben sie keinen Einfluß auf die Betrachtung des Bildes. Das Auge stellt sich dann über einen weiten Bereich auf die Farbbalance des Filmes und selbst auf erhebliche Stiche ein. Deswegen und auch aus anderen Gründen sehen projizierte Farbbilder richtiger aus, als sie wirklich sind. Daraus folgert, daß es ungünstig ist, bei der Projektion verschiedene Filmmarken zu mischen, also Bilder mit verschiedener Farbbalance wechselweise darzubieten, da die Adaptation dann immer wieder gestört wird. Die vorstehenden Erörterungen erklären übrigens auch zum Teil die Überlegenheit des projizierten Diapositivs über das farbige Papierbild. Die Adaptation des Auges geht soweit, daß, wenn man etwa zwei Diapositive gleichzeitig projiziert, von denen das eine richtig, das andere z. B. etwas zu grün in der Balance ist, ein Beobachter nicht entscheiden kann, welches wirklich richtig ist. Als richtig wird dann meist eine dazwischenliegende Nuance angenommen.

Im Rahmen dieses Aufsatzes war es natürlich

weder möglich noch beabsichtigt auch nur eines der vielfältigen Probleme der Farbphotographie erschöpfend zu behandeln. Die Aufgabe bestand darin, die grundlegenden Prinzipien und Probleme in Verknüpfung mit der historischen Entwicklung darzulegen und Grenzen aufzuzeigen, die der Farbphotographie vor allem vom Betrachtungsvermögen des Auges her gezogen sind.

Literatur (Auswahl).

- Angerer, E. v. und G. Joos: Wissenschaftliche Photographie, 7. Aufl. 1959, Akad. Verlagsges. Leipzig.
- Berger, H.: Agfacolor. W. Girardet Verl. Wuppertal. Color as seen and photographed. Kodak Color Data Book, 1956, 3. Aufl.
- Donath, B.: Die Grundlagen der Farbphotographie. F. Vieweg Verl. Braunschweig 1906.
- Eder, J. M.: Geschichte der Photographie. Verlag W. Knapp, Halle 1932, 4. Aufl.
- Hübl, A.: Die Dreifarbenphotographie. W. Knapp, Halle 1902.
- Die Theorie und Praxis der Farbenphotographie mit Autochromplatten. W. Knapp, Halle 1908.
- Haselmann, H.: Farb-Mikrophotographie-Grundlagen und Praxis. Zeiss-Mitteilungen 2, 1961, 4. Heft.
- Kluth, H.: Wege zur Farbenphotographie. Orionbücherei, Verl. S. Lux. 1953.
- Meyer, K.: Zur Geschichte des Agfacolor-Verfahrens. 3 Hefte 1960, herausgeb. v. d. VEB Filmfabrik Agfa Wolfen.
- Neuhauss, R.: Die Farbenphotographie nach Lippmanns Verfahren. W. Knapp, Halle 1898.
- Schultze, W.: Farbenphotographie und Farbfilm. Springer Verl. 1953.
- Farbenlehre und Farbmessung. Springer Verl. 1957.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1962

Band/Volume: [102](#)

Autor(en)/Author(s): Url Walter Gustav

Artikel/Article: [Farbphotographie - Entwicklung und heutiger Stand. 1-34](#)