

Die wichtigsten Verfahren der Farbenphotographie^{1,3}

Von JOHN EGGERT², Zürich

Redaktionelle Vorbemerkung

Der nachfolgende Übersichtsartikel war ursprünglich mit farbigen Abbildungen geplant. Trotzdem haben wir uns zu einer einfarbigen Wiedergabe entschlossen. Bei den schematischen Abbildungen wurden zur Kennzeichnung anstelle der Farbtöne geeignete Schraffuren angebracht, die zwar weniger übersichtlich sind, jedoch ein hinreichendes Verständnis ermöglichen.

Mit der farbigen Darstellung der Gegenstände auf photographischem Wege hat man sich schon bald nach der Entdeckung der Photographie (1839) befaßt. Den einfachsten Weg fand der Schweizer Kupferstecher und Photograph J. B. ISENING schon ein Jahr danach in St. Gallen, indem er seine Daguerrotypen nach sehr kunstfertigem Verfahren kolorierte. Man war sich aber klar darüber, daß eine zwangsläufige Farbenphotographie erst möglich ist, wenn es gelang, die ursprüngliche Blauempfindlichkeit der Silberhalogenide auf das ganze sichtbare Spektrum auszudehnen. Praktisch brauchbare Verfahren konnten also erst nach der Entdeckung der Sensibilisation durch H. W. VOGEL (1873) entstehen.

Das vom rein physikalischen Standpunkte aus am meisten einleuchtende Verfahren mußte bei der Lösung

des Problems folgendermaßen vorgehen: Das z. B. auf der Mattscheibe aufgefangene Bild ist zunächst (etwa wie bei der Fernsehabtastung) in möglichst viele Elemente zu trennen, darauf jedes einzelne Bildelement spektral zu zerlegen und die Anteile der in jedem Lichtpunkt enthaltenen spektralreinen Lichter quantitativ zu registrieren. Zum Aufbau des wiedergegebenen Bildes ist nach jenen Angaben aus einer gegebenen Lichtquelle, wiederum auf spektralem Wege, jeder einzelne Bildpunkt nach Lage und spektraler Zusammensetzung genau zu synthetisieren.

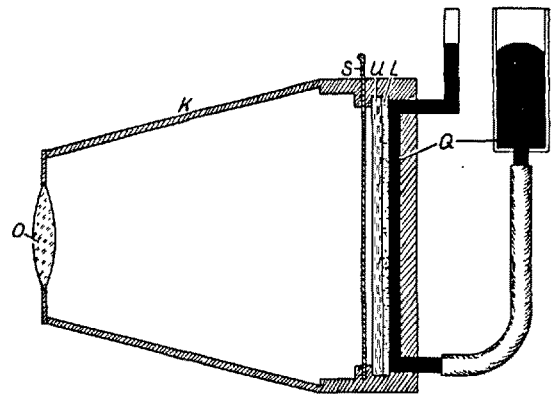


Abb. 1. Schematische Darstellung des Interferenzverfahrens von G. LIPPMANN (1891). O = Objektiv; K = Kamera; S = Kassettenschieber; L = Lippmannsche Schicht; U = Unterlage; Q = Quicksilber.

¹ Nach zwei Vorträgen in den Naturforschenden Gesellschaften Schaffhausen (17. 12. 47) und Winterthur (20. 1. 50).

² Photographisches Institut der Eidg. Techn. Hochschule, Zürich.

³ Es wurde davon abgesehen, zu dieser kleinen Übersicht Originalarbeiten zu zitieren. Man findet Einzelheiten in:

H. BERGER, *Agfacolor* (Verlag W. Girardet, Wuppertal 1950).

L. P. CLERC, *Principes et applications de la correction par masques dans la photographie en noir et en couleurs*. Schweiz. Photo-Rundschau 13, 384 (1948).

J. S. FRIEDMAN, *History of Color Photography* (American Photographic Publishing Company, Boston, 1947).

G. HEYMER, *Die neuere Entwicklung der Farbenphotographie*, in: *Handbuch der wissenschaftlichen und angewandten Photographie* (A. HAY), Ergänzungswerk, S. 337-463. Springer-Verlag, Wien 1943.

H. LUMMERZHEIM, *Farbenphotographie* (Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik GmbH., Berlin-Bersigwalde 1950).

C. E. K. MEES, *Moderne Farbenphotographie*, Endeavour 7, 131 (1948).

K. MEYER, *Die farbenphotographischen subtraktiven Mehrschichtenverfahren* (Fortschritte der Photographie 2, 367, Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig 1940).

T. H. MILLER, *Masking: A Technique for improving the Quality of Color Reproductions*. J. Soc. Mot. Pict. Eng. 52[2], 133 (1949).

J. ROBINS und L. E. VARDEN, *Photoelectric Controls for Color Printing*, Electronics (June 1946).

W. SCHNEIDER und R. SPERLING, *Die farbenphotographischen subtraktiven Mehrschichtenverfahren* (Fortschritte Photographie 3, 180, Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig 1944).

D. A. SPENCER, *Colour Photography in Practice*. 3rd Edit. (Henry Greenwood and Co. Ltd., London, 1948).

Diese Möglichkeit des Vorgehens klingt in ihrer Kompliziertheit undurchführbar. Und doch hat G. LIPPMANN, Paris (1891) eine äußerst elegante Methode dieser Art gefunden, für die er 1908 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet wurde. Er benutzte für sein Verfahren eine höchst feinkörnige, also sehr unempfindliche Schicht, die panchromatisch sensibilisiert war. Auf diese Schicht wurde das aufzunehmende Objekt in einer normalen Kamera projiziert, jedoch so, daß das Licht von der durchsichtigen Unterlage her auf die Rückseite der Schicht fiel. Die Kassette, in der die Platte lag, war nun so gebaut, daß die freie, vom Kameraobjektiv abgewandte Schichtoberfläche in innigen Kontakt mit einer spiegelblanken Quicksilberoberfläche gebracht werden konnte (Abb. 1). Da die lichtempfindliche Schicht wegen der ungewöhnlich kleinen Korngröße sehr durchsichtig ist (etwa wie eine ganz schwach getrübbte Gelscheibe), dringt der größte

Teil des Lichtes durch die Schicht hindurch, fällt auf den Quecksilberspiegel, wird von dort reflektiert und läuft bei (ungefähr) senkrechtem Einfall den gleichen Weg zurück. Hierbei kommt es in der 20–30 μ dicken Schicht zu stehenden Wellen, die man dadurch nachweisen kann, daß man einen Dünnschnitt von der spektralrein belichteten und entwickelten Schicht senkrecht zu ihrer Oberfläche mikroskopisch betrach-

Verständnis dieser Methode betrachten wir eine ältere additive Anordnung, die in Abb. 3 schematisch dargestellt ist. Im oberen Teil ist ein farbiges Original

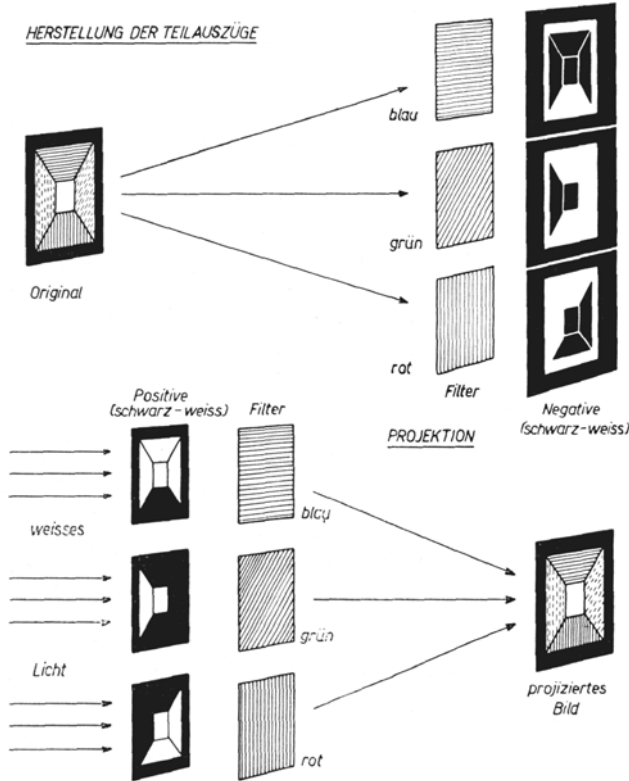


Abb. 3. Schematische Darstellung des additiven Farbenverfahrens. Oben: Herstellung der Teilnegative hinter den Trennfiltern Rot, Grün und Blau. Unten: Additive Synthese des Schirmbildes durch Übereinanderprojektion der Teilpositive hinter den zugehörigen Farbfiltern. (Seitenverkehrung durch die optischen Strahlengänge nicht berücksichtigt.)

tet (Abb. 2). Man erkennt eine Ablagerung von Silber in äquidistanten Lamellen, das jeweils an den Stellen entstanden ist, an denen sich die maximalen Amplituden der stehenden Lichtwellen bei der Exposition befanden. Betrachtet man eine solche Aufnahme im durchfallenden Licht, so hat man in der Regel nur den Eindruck eines bräunlichen Negativs, während bei geeigneter Aufsichtsbetrachtung in weißem Licht die verschiedenen Farben sehr deutlich sichtbar werden, weil durch die Wirkung jener Lamellen aus dem weißen Licht alle Lichter durch Interferenz ausgelöscht werden, bis auf diejenigen, durch deren stehende Wellen die Lamellen entstanden waren. Eigenartigerweise werden so auch sehr komplizierte Lichtmischungen sehr naturgetreu wiedergegeben – nur hat das interessante Verfahren so viele praktische Nachteile, daß es lediglich eine Zeitlang als Laboratoriumsmethode bearbeitet wurde. Die Praxis geht daher den von J.C. MAXWELL 1857 auf Grund der Gesetze der Farbwahrnehmung durch das menschliche Auge (YOUNG, HELMHOLTZ, GRASSMANN) vorgeschlagenen Weg, die Zerlegung und den Wiederaufbau der Bildelemente nicht rein spektral, sondern nach den drei Dritteln des sichtbaren Gesamtspektrums: Rot (etwa 700 bis 600 $m\mu$), Grün (etwa 600 bis 500 $m\mu$) und Blau (etwa 500 bis 400 $m\mu$) vorzunehmen. Fast alle sich aus diesem Prinzip ergebenden Wege hat DUCOS DU HAURON seit 1869 gezeigt. Die klarsten und übersichtlichsten sind diejenigen beiden, bei denen die Bildherstellung in einem Zuge geschieht.

Beim ersten, dem Rasterverfahren, entsteht das Farbbild durch *additive* Mischung von Lichtern. Zum

dreimal hinter Filtern photographiert zu denken, die die oben genannten Spektralgebiete Rot, Grün und Blau hindurchlassen. Dabei entstehen drei kontur-

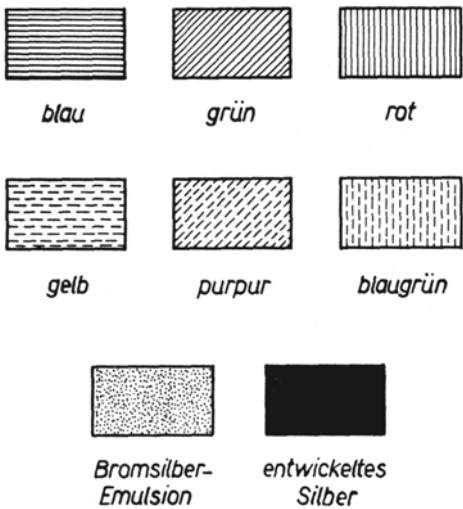


Abb. 4. Kennzeichnung der verschiedenen, im vorliegenden Aufsatz verwendeten Farbfelder.

gleiche, aber je nach den Originalfarben verschieden gedeckte Schwarz-Weiß-Negative. Stellt man von ihnen transparente Positivkopien her, bedeckt sie mit den entsprechenden Aufnahmefiltern und projiziert man die drei Kombinationen mit weißem Licht so, daß sie auf dem Schirm genau zur Deckung kommen, so entsteht durch die Mischung der Lichter Rot, Grün und Blau in den verschiedensten Intensitäten ein farb-

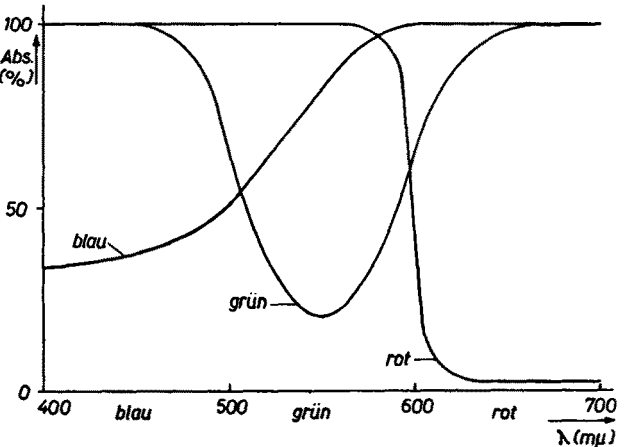


Abb. 5. Die Absorptionskurven der beim additiven Verfahren verwendeten Farbstoffe (schematisch).

treues Bild des Originals (Abb. 3 unten); diesen Weg bezeichnet man als *additive* Synthese. (In Abb. 4 sind die Kennzeichen zusammengestellt, die für die Farbdarstellungen in den Abb. 3 bis 13 benötigt werden.)

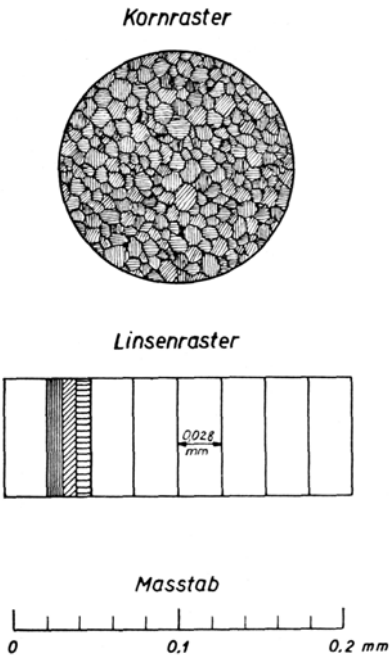


Abb. 6. Aussehen eines Kornrasters (oben) und eines Linsenrasters (unten) vergrößert, schematisch, nebst Maßstab.

In Abb. 5 sind die Absorptionskurven der Filterfarbstoffe wiedergegeben, die bei additiven Farbverfahren Verwendung finden. Man sieht an diesen der Praxis etwa entsprechenden Kurven, daß rote Farb-

stoffe der Forderung, ein Drittel des Spektrums durchzulassen und den Rest zu verschlucken, am nächsten kommen. Für die Grünfilter läßt sich diese Forderung schon schlechter erfüllen, da hier schon Absorption eintritt, wo völlige Durchlässigkeit stattfinden sollte; auch sind die Flanken der Kurven nicht von der wünschenswerten Steilheit. Beim Blau sind die gleichen Fehler noch erheblich vermehrt.

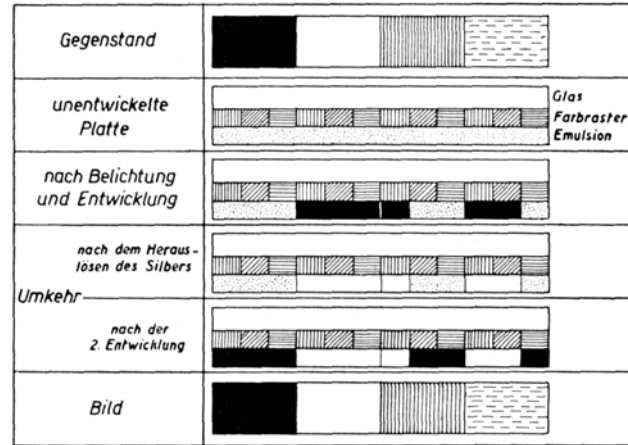


Abb. 7. Arbeitsweise des Farbrasterverfahrens.

Ohne optische Hilfsmittel findet diese additive Lichtmischung psychologisch statt, wenn die Aufnahme- und Wiedergabefilter in ein Mosaik von winzigen Einzelteilen aufgelöst werden, so daß das unbewaffnete Auge diese Elemente nicht mehr voneinander unterscheiden kann (Abb. 6). Die Arbeitsweise nach dieser Methode ist folgende (Abb. 7). Bei der Be-

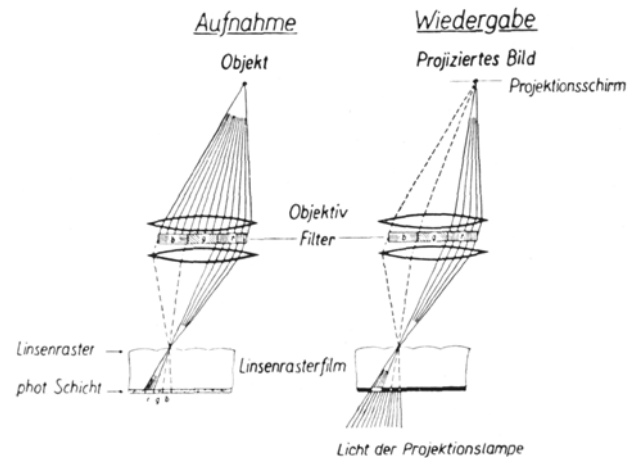


Abb. 8. Schematische Darstellung der Wirkungsweise des Linsenrasterverfahrens (links: Aufnahme; rechts: Projektion), das sich eines Schwarz-Weiß-Bildes bedient und die Färbung desselben auf optischem Wege additiv bewirkt. Linsen zum Objektiv gerichtet; Darstellung der Aufnahme und Wiedergabe für Rot. Verarbeitung der Schicht wie Abb. 7.

lichtung ist die Unterlage dem Objektiv zugewendet, so daß das Licht zunächst das Filtermosaik passieren muß, ehe es auf die dahinter liegende (mit dem Raster untrennbar verbundene) panchromatische photogra-

phische Schicht fällt. Die entwickelte Schicht wird nicht fixiert, sondern einer «Umkehrbehandlung» unterworfen, bei der das soeben entwickelte Silber wieder gelöst wird. Sodann wird der stehengebliebene Rest der lichtempfindlichen Schicht in hellem Licht entwickelt, so daß dadurch ein positives Bild entsteht. Es ist aber auch farbrichtig, denn das Licht eines z. B. rot gefärbten Objektes gelangte bei der Aufnahme nur durch die rot gefärbten Rasterteile, so daß die dahinter liegende Schichtstelle bei der ersten Entwicklung geschwärzt und durch den Umkehrvorgang wieder durchsichtig wurde, während die Schicht hinter den grünen und blauen Rasterteilen zum Schluß geschwärzt ist und diese verschließt. Vor einer weißen Lichtquelle erscheint jene Bildstelle somit wie das Objekt rot gefärbt.

Ohne auf die Methode näher einzugehen, werfen wir noch einen Blick auf das Linsenrasterverfahren, das an Stelle des Filtermosaiks geprägte Linsen auf der Rückseite des Schichtträgers verwendet und bei dem das Objektiv bei Aufnahme und Projektion mit einem dreifarbigen Streifenfilter ausgestattet ist (Abb. 8). Allen Rasterverfahren ist der Nachteil gemeinsam, daß sie sehr lichtschwach sind, was sich besonders bei der Wiedergabe der Bilder auf dem Wege der Projektion störend bemerkbar macht.

Das andere Verfahren, bei dem die Bildherstellung in einem Zuge geschieht, ist das Farbstoff-Ausbleichverfahren. Diese Methode würde zwar ähnlich elegant arbeiten wie das Farbrasterverfahren, konnte aber bisher trotz vieler Versuche noch niemals zu der erforderlichen Vollendung gebracht werden, die für die praktische Verwendung nötig ist. Wegen ihrer prinzipiellen Bedeutung ist uns die Farbstoff-Ausbleichmethode aber wichtig. Auch sie arbeitet mit drei Farbstoffen, die den genannten drei Dritteln des sichtbaren Spektrums verwandt sind. Während aber die Spektralgebiete Rot, Grün und Blau von den bei den Rasterverfahren benutzten Farbstoffen durchgelassen werden, werden diese Gebiete von der neuen Dreiergruppe von Farbstoffen absorbiert. Die drei Farbstoffe

führen die Bezeichnungen: Blaugrün, Purpur und Gelb. Während bei den Filtern Rot, Grün und Blau eine Überdeckung dazu führt, daß überhaupt kein Licht mehr passieren kann, lassen sich mit den neuen Farbfilttern «subtraktiv» die alten Farbwerte erzeugen: Überdecken der Filter oder Vermischen der Farbstoffe Blaugrün und Purpur liefert subtraktiv Blau, weil nur das blaue Licht von beiden Farbstoffen durchgelassen wird; entsprechend liefert Überdecken oder Vermischen von Purpur und Gelb subtraktiv Rot; Überdecken von Gelb und Blaugrün liefert subtraktiv Grün. Erst das Überdecken aller drei Filter läßt gar kein Licht mehr hindurchtreten (= Schwarz!). Die vorstehend beschriebenen Schritte lassen sich leicht an Abb. 9 verfolgen, wobei die drei Kreise als angefärbte Filterscheiben zu denken sind, die sich teilweise gegenseitig überdecken. Die in der Praxis verwendeten Farbstoffe zeigen (schematisiert) die in Abb. 10 wiedergegebenen Absorptionskurven. Wie bei den in Abb. 5 dargestellten Farbstoffen sind die Forderungen nur angenähert erfüllt: Gelb arbeitet mit der steilen Flanke seiner Kurve am besten, schlechter die Purpurfarbstoffe, die zuviel im Blau absorbieren, und am wenigsten geeignet verhalten sich die blaugrünen Farbstoffe, die in ihrem Durchlässigkeitsgebiet vergleichsweise am meisten von den drei Farbstoffen absorbieren.

Man erkennt die innere Verwandtschaft der drei «komplementären» Farbgruppen: 1. Rot/Blaugrün; 2. Grün/Purpur; 3. Blau/Gelb, die man auch Kompen-sationsfarben nennt, da sie sich gegenseitig ergänzen, aus untenstehender Zusammenstellung.

Denkt man sich nun eine solche Farbstoffgruppe: Blaugrün, Purpur und Gelb in Gelatinelösung gemischt und auf einer Unterlage aufgetrocknet, so erscheint die Schicht schwarz, weil jeder der drei Farbstoffe ein Drittel des Spektrums absorbiert. Macht man nun noch weiter die Annahme, daß das jeweils absorbierte Licht zur Zerstörung des zugehörigen Farbstoffes, also zu seinem Ausbleichen führt, so ist zunächst einleuchtend, daß weißes Licht die anfangs schwarze Schicht

Farbstoffe, verwendet für		
additive		subtraktive
Farbverfahren		
1. Rot	Blaugrün
2. Grün	Purpur
3. Blau	Gelb
		} Kompensationsfarben
«Additive» Lichtmischung (wie bei Abb. 3)		
Rot + Grün = Gelb		
Grün + Blau = Blaugrün		
Blau + Rot = Purpur		
Rot + Grün + Blau = Weiß		
«Subtraktive» Farbstoffmischung (Abb. 9)		
oder Überdecken von		
Blaugrün und Purpur liefert Blau		
Purpur und Gelb liefert Rot		
Gelb und Blaugrün liefert Grün		
Blaugrün und Purpur und Gelb liefert Schwarz		

mit der Zeit zu farblos – also weiß ausbleicht. Was ereignet sich aber, wenn nur rotes Licht auf jene schwarze Schicht auftrifft? Rotes Licht kann nur *den* Farbstoff zerstören, der rotes Licht absorbiert; das ist Blaugrün. Es bleiben also Gelb und Purpur übrig, und diese er-

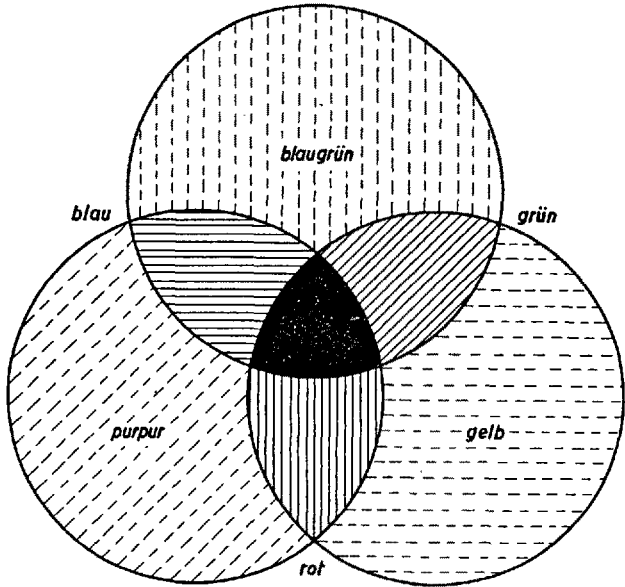


Abb. 9. Kreisförmige Farbfilter, sich teilweise überdeckend, in den drei Grundfarben Blaugrün, Purpur und Gelb. Bei zweifacher Überdeckung entstehen subtraktiv die Farben der Filter in Abb. 3.

geben nach obiger Übersicht Rot, also gerade den Farbwert, der aufgestrahlt wurde. Man würde somit eine solche schwarze Schicht nur in der Kamera zu exponieren brauchen, um ihr ohne weitere Entwicklung das völlig farb-, licht- und schattenrichtige (allerdings seitenverkehrte) Bild zu entnehmen. Die Versuche, diese verblüffend einfache Methode in die Praxis umzusetzen, sind an der Unempfindlichkeit organischer Farbstoffe beim Ausbleichen, an der verschiedenen Ausbleichgeschwindigkeit und an der Schwierigkeit gescheitert, das fertige Bild «lichtecht» zu fixieren. Um das Jahr 1907 wurde in Zürich, später in Paris, unter der Bezeichnung «Utocolorpapier» ein solches Material durch J.H. SMITH und W. MERKENS in den Handel gebracht, konnte aber aus den genannten Gründen auf die Dauer nicht bestehen. Man mußte sich also zu einer Trennung der Aufnahme- und Wiedergabeverfahren entschließen.

Tatsächlich hat, wie wir wissen, diese Trennung zu vollem Erfolge geführt; denn täglich sehen wir in Illustrationsbuntdrucken Papierbilder, und jederzeit können wir in den Kineothekern nach der Technicolor-Methode Farbfilme ansehen, die beide (theoretisch wenigstens) ebensogut nach dem soeben geschilderten Farbstoff-Ausbleichverfahren entstanden sein könnten. Welche Schritte werden also in allergrößtem Maßstabe getan, um den praktisch so schwer durchführbaren Farbstoff-Ausbleichvorgang auf Umwegen mit

Hilfe der Photographie zu verwirklichen? Durch die drei spektral getrennten Absorptionsgebiete in den drei Farbstoffen wird offenbar zunächst das wiederzugebende Objekt darauf untersucht, wo und wieviel rotes, blaues und grünes Licht es an seinen Bildelementen aussendet. Das läßt sich, wie schon Abb. 3 lehrte, photographisch durch die Herstellung der drei Teilnegative oder «Auszüge» hinter den drei Filtern Rot, Grün und Blau erreichen. Es besteht nun die Aufgabe, die verschiedenen Schwärzungen der Auszüge an den einzelnen Bildteilen dazu zu benutzen, um mit Hilfe der drei subtraktiven Farbstoffe Gelb, Purpur und Blaugrün das ganze Bild aufzubauen, wie es beim Farbstoff-Ausbleichverfahren geschah. Hierzu stellt man von den drei Auszugs-Negativen Positive her und führt deren Silberbilder in Farbstoffbilder über, wobei man darauf achtet, daß der Bildfarbstoff, z.B. Purpur, und die Farbe des Aufnahmefilters der zugehörigen Negativschicht, Grün, Kompressionsfarben sind. Im Sinne des früheren Beispiels liefert also ein rot gefärbter Gegenstand auf dem Negativ hinter Rotfilter (dem Rotauszug) eine kräftige Schwärzung, während das rote Licht auf den beiden anderen Auszügen keine Schwärzung erzeugt, weil das rote Licht vom Grün- und Blaufilter absorbiert wird. Auf dem Positiv vom Rotauszug entsteht somit an jener Bildstelle kein Silber, während die Positive vom Grün- und Blauauszug dort beide geschwärzt sind. Beim Übergang zu den Farbstoffbildern werden also nur die beiden letzten Positive verwandelt und in Purpur und Gelb übergeführt, deren Überdeckung Rot liefert, wie es verlangt war.

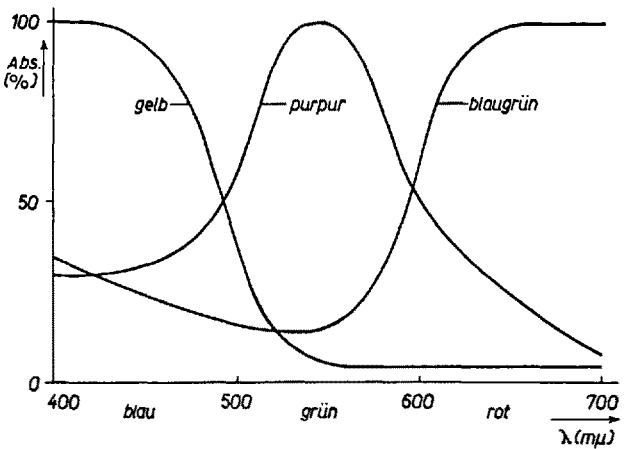


Abb. 10. Die Absorptionskurven der beim subtraktiven Verfahren verwendeten Farbstoffe (schematisch).

Beim Illustrationsbuntdruck werden von den drei Auszügen Clichés hergestellt, mit denen man das Bild in den drei Farben Gelb, Purpur und Blaugrün paßrichtig übereinanderdruckt. Ähnlich wird das Technicolor-Verfahren für Kinofilm (Abb. 11 und 12) durchgeführt. Diese technischen Prozesse arbeiten jedoch für den normalen photographischen Bedarf zu kompli-

ziert, wenn auch der Kodak-Dye-Transfer-Prozeß sowie das Duxochromverfahren grundsätzlich ähnliche Wege gehen und vielfach Verwendung finden. Man war daher bestrebt, die Methode noch weiter an den

maler Entwicklung dieses «integralen Dreipacks» bleibt in jeder Schicht (wenn sie nicht fixiert wird!) ein Rest an Silberbromid zurück, der, wenn er in der obersten Schicht in einen gelben, in der mittleren in

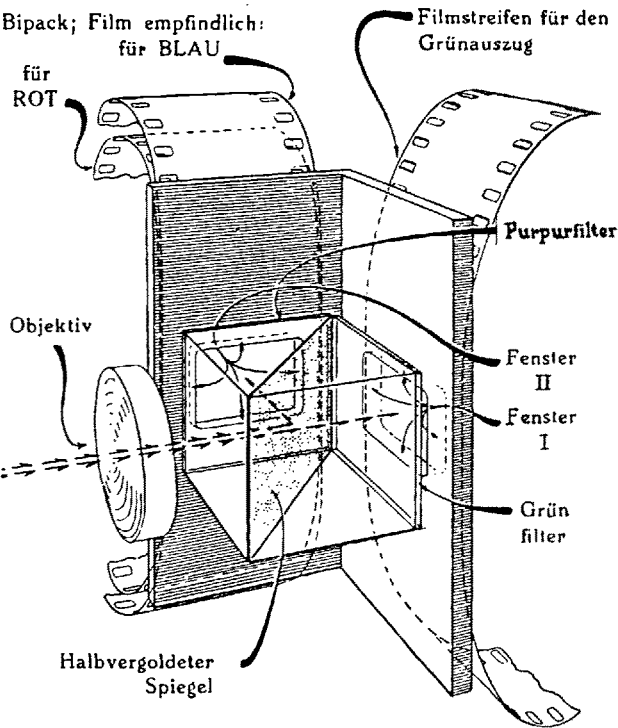


Abb. 11. Aufnahmegerät des Technicolor-Verfahrens. Das Licht wird innerhalb der Kamera geteilt in ein Bild, das hinter Grünfilter auf einem Einzelfilm aufgenommen wird (rechts), während der Rest auf einem «Zweipack»-Film registriert wird; Vorderfilm: Blau-Auszug; Rückfilm: Rot-Auszug.

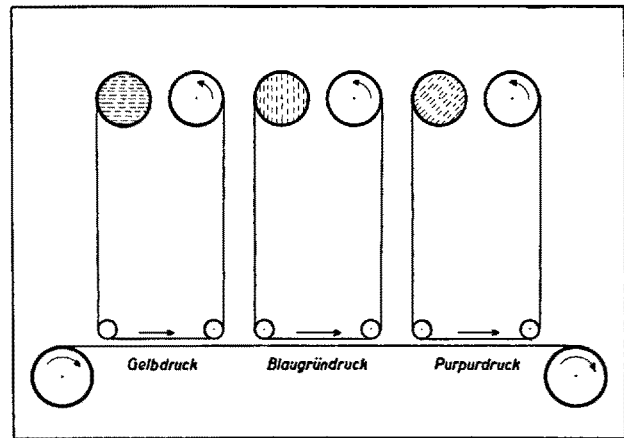
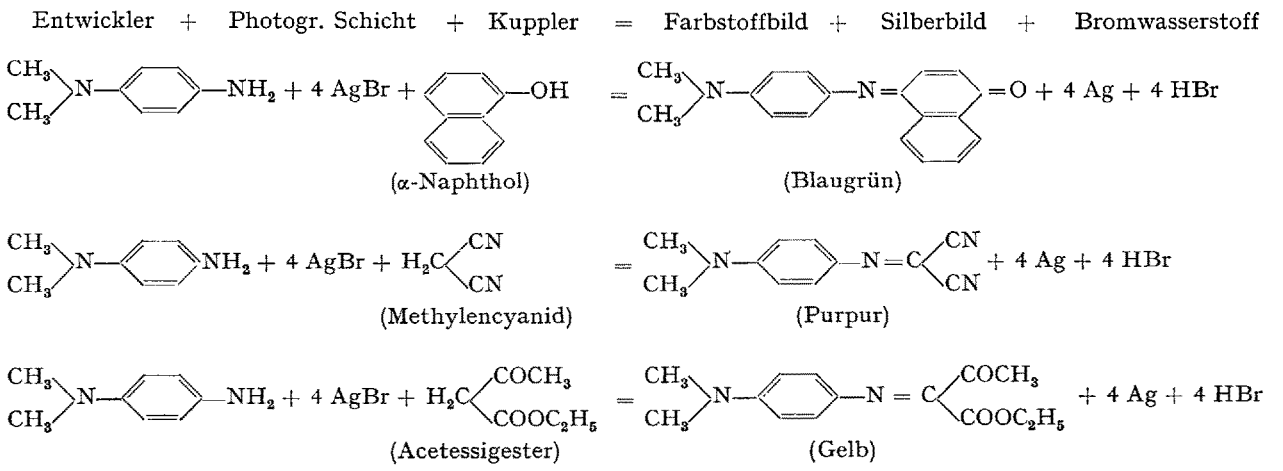


Abb. 12. Von diesen drei Negativfilmen werden drei (positive) «Druckfilme» hergestellt, mit denen der endgültige Spielfilm in den drei Farben Gelb, Purpur und Blaugrün wie mit Gummistempeln auf einen «Blankfilm» gedruckt wird, dessen Unterlage nur eine klare Gelatineschicht trägt. (Die Tonspur besteht aus einem Silberbild.)

Farbstoff-Ausbleichprozeß anzunähern. Die ideale Arbeitsweise wäre die folgende: Die empfindliche Schicht besteht aus drei übereinandergelagerten Teilschichten, von denen die oberste nur blau-, die mittlere nur grün- und die unterste nur rotempfindlich ist. Bei Belichtung mit farbiger Strahlung wird somit – ohne Verwendung von Filtern – in jeder dieser Schichten das latente Bild eines Teilauszuges erzeugt. Nach nor-

einen purpurnen und in der untersten in einen blaugrünen Farbstoff verwandelt würde, nach Entfernung des zuerst entstandenen Silbers das farbrichtige Bild ergäbe. Dieser idealen Arbeitsweise ist man seit knapp 15 Jahren sehr nahe gekommen, indem man sich der Beobachtung bediente, daß manche Entwickler (nämlich die der *p*-Phenylendiamin-Klasse) neben dem Reduktionsprozeß, der das Silberbild ergibt, auch noch Farbstoffbilder liefern. Die zuerst beobachteten Farbstoffbilder waren zwar unansehnlich braun; bei Zugabe bestimmter organischer Substanzen zum Entwickler, die man Kuppler nennt, lernte man jedoch, als gefärbte Nebenbilder wahlweise solche in blaugrüner, purpurner oder gelber Farbe entstehen zu lassen (R. FISCHER, 1911).

Die Eastman Kodak Company benützt diese drei Prozesse, freilich mit wesentlich verbesserten Kupplern,



um farbige Umkehrbilder (unter anderem) auf folgendem Wege herzustellen. Der Aufnahmefilm besteht aus vier übereinandergelagerten Schichten: 1. zuoberst eine blauempfindliche, darunter 2. eine Gelbfilter-schicht, die nur noch grünes und rotes Licht hindurchläßt, 3. eine grün- und 4. eine rotsensibilisierte Schicht. Nach der Belichtung werden im gleichen Bade die drei in den selektiv empfindlichen Schichten entstandenen Auszüge als untrennbare Negative schwarz-weiß entwickelt. Sodann wird die vierte Schicht durch die Unterlage hindurch mit rotem Licht belichtet und anschließend das restliche Silberbromid in Gegenwart einer Blaugrünpigmente «farbentwickelt». Darauf wird die erste Schicht von oben mit blauem Licht bestrahlt und gelb entwickelt und endlich die mittlere Schicht von beiden Seiten mit grünem Licht belichtet und purpur entwickelt. Zum Schluß wird in einem Ausbleichbade das gesamte Silber zusammen mit dem Gelbfilter entfernt, das ebenfalls aus (kolloidem) Silber besteht, so daß lediglich die drei Farbteilbilder übrigbleiben, die subtraktiv das bunte Gesamtbild ergeben.

Die Agfa hat diese zahlreichen Teilvorgänge in einen einzigen zusammengezogen, indem sie die nötigen Kuppler zur Bildung der Farbstoffe, die bei dem soeben berichteten Verfahren noch in drei *getrennten* Bädern verwendet wurden, gleich in die drei Teilschichten (in jede den entsprechenden) hineinbrachte, um bei der Farbentwicklung mit einem einzigen Bade auskommen zu können. Das zu lösende Problem bestand darin, durch geeignete Maßnahmen zu verhindern, daß

die Kuppler während der Naßbehandlung durch Diffusion in benachbarte Teilschichten einwandern, was zu starken Farbverfälschungen führen würde. Die Lösung dieser Aufgabe gelang mit Hilfe des Kunstgriffes, daß man als kuppelnde Komponenten zunächst Stoffe verwendete, die zur Gelatine substantiven Charakter zeigten. Dann führte man in die Kupplermoleküle langkettige aliphatische Radikale ein, die der entstehenden Verbindung den erforderlichen Grad von «Diffusionsechtheit» verleihen. In der Folgezeit gelang es, die Kuppler in einem gesonderten Kolloid zu emulsionieren, das in Gestalt winziger Teilchen in die Silberbromid-Gelatineemulsion gebracht wird und erst zur Reaktion kommt, sobald der Entwickler in die Schicht eintritt (Kodak). Schließlich hat man gelernt, sich von der Gelatine als Bindemittel ganz frei zu machen und die Kuppler in dem neuen Bindemittel – hydrophile, quellbare Polyvinyl-derivate – chemisch zu verankern (DUPONT). – Die Arbeitsgänge gehen im einzelnen aus Abb. 13 hervor.

Nach diesen Farb-Umkehr-Verfahren können farbige Bilder aller Formate und Schmalfilme als transparente Unikate hergestellt werden, unter sparsamer Verwendung von Filtern, da zwei Schichtsorten in verschiedener Abstimmung für Tages- und Kunstlicht in den Handel kommen. Auch die Kopien oder Vergrößerungen von solchen Originalen sind möglich, da lediglich der gleiche Umkehrvorgang auf ein prinzipiell gleich aufgebautes, aber selektiver sensibilisiertes Material wiederholt zu werden braucht. Allerdings ist hierbei mit einem gewissen Farbverlust zu rechnen,

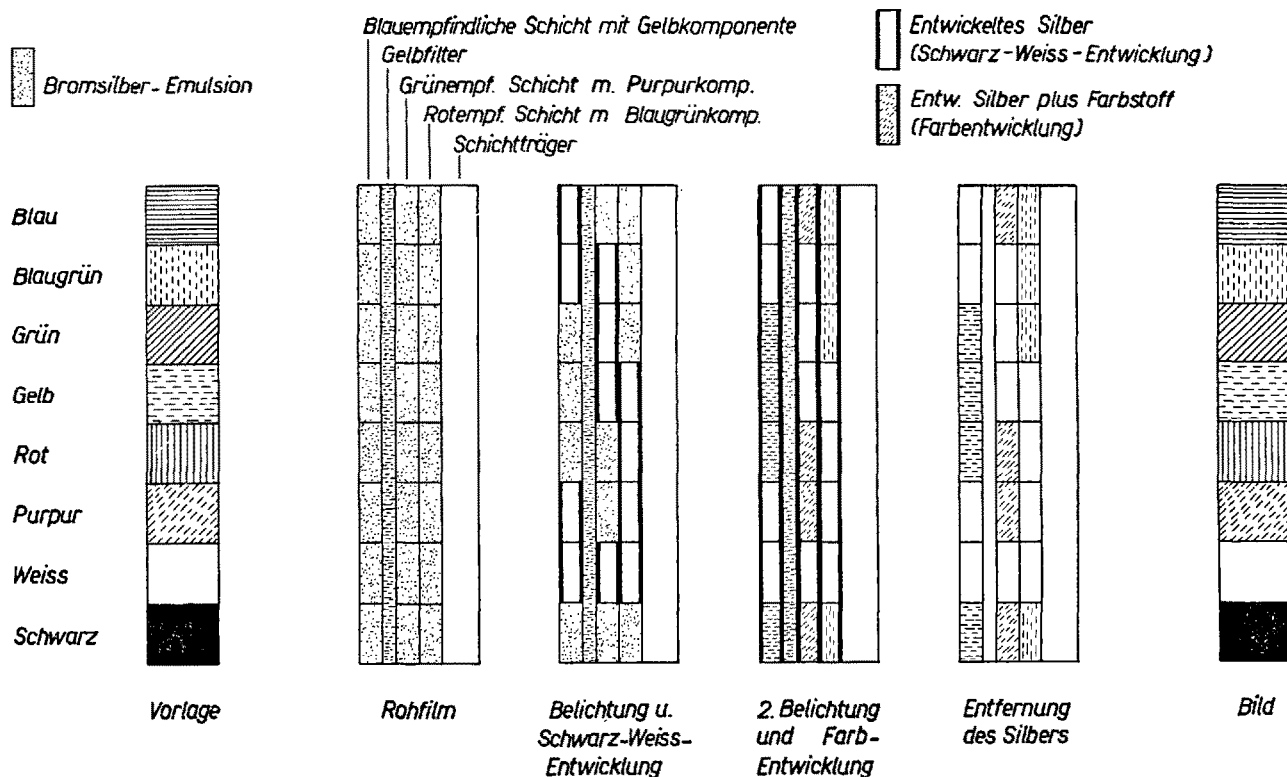


Abb. 13. Schema des Agfacolor-Farbentwicklungs-Umkehr-Verfahrens.

weil die zum Bildaufbau des Originals verwendeten Farbstoffe in manchen Spektralgebieten nicht mit den wünschenswerten Absorptionskurven arbeiten, wie aus den Kurven in Abb. 10 hervorgeht. Dennoch hat es sich gezeigt, daß bei sorgfältiger Abstimmung aller Variablen sogar Aufskizzen von befriedigender Qualität in großem Maßstabe hergestellt werden können, wie die Verarbeitung des Ansco-Printon-Films (die gleiche Schichtfolge auf opak-weißer Filmunterlage) erwiesen hat. In einer Großanlage in New York werden die Originale in einem elektronisch gesteuerten Gerät auf ihre Farbzusammensetzung abgetastet, auf 12,5 cm oder 20 cm breiten Ansco-Printonfilm in Rollenform kopiert oder vergrößert und diese Rollen in einer Entwicklungsmaschine kontinuierlich im Sinne von Abb. 13 behandelt, so daß das Band die Maschine fertig getrocknet verlassen kann und nur noch in die Einzelbilder zerschnitten zu werden braucht.

Zuletzt ist auch der eigentlich am nächsten liegende Weg für die Lösung des Problems beschränkt worden, der dem normalen Schwarz-Weiß-Prozeß entspricht: Auf einer im Prinzip ebenso wie bisher aufgebauten Dreischichtenfolge wird nach der Belichtung zunächst eine Farbentwicklung durchgeführt, sodann anschließend das gebildete Silber entfernt und das restliche Silberbromid fixiert. In diesem Zustand liegt ein in den *Lichtwerten* negatives und in den *Farbwerten* kompensatives (oder komplementäres) Bild vor. Durch Kopieren dieses «kompensativen Negativs» auf ein ähnliches Material entsteht bei gleicher Behandlungsweise ein farbrichtiges Positiv. Dieses Verfahren läßt sich auch auf Papierkopien- und Vergrößerungen anwenden, so daß eine wenigstens teilweise Umstellung des normalen Schwarz-Weiß-Negativ-Positiv-Prozesses auf die geschilderte farbige Variante mit der Zeit zu erwarten steht, zumal die *Ansco* und die *Eastman-Kodak* in den USA., die *Agfa* in Deutschland, die *Ferrania* in Italien und die *Tellko* in der Schweiz ihre Verfahren bereits gestartet haben und andere Firmen vermutlich kurz davor stehen. Allerdings darf nicht vergessen werden, daß neben den bisher beim Schwarz-Weiß-Verfahren geübten Arbeitsregeln zur Erzielung optimalen Kontrastes und bester Schärfe der Bilder noch zusätzlich die sehr wichtige Farbabstimmung für Originalbeleuchtung und Kopierlichtfarbe zu beachten ist, um befriedigende Ergebnisse zu erhalten. Dazu kommt noch das weitere Problem, die von den verschiedenen Herstellern herausgegebenen Materialien in der Praxis untereinander austauschbar zu gestalten, so daß möglichst jeder Kolornegativfilm auf die übrigen Kolorpositivpapiere kopierfähig wird.

Faßt man alle bisher auf dem Weltmarkt erschienenen Farbfilmsorten zusammen, so gelangt man zu nebenstehender tabellarischer Übersicht.¹

Wie man aus dieser Tabelle ersieht, hat das Verfahren bereits viele Abwandlungen und Anwendungsgebiete gefunden, wobei auch noch mancher weitere Ausbau zu erwarten steht. So wurden zwar schon während und nach dem zweiten Weltkriege etliche farbige Kinofilme nach dem Agfacolor-Negativ-Positiv-Verfahren hergestellt, so z. B. «Münchhausen» von der Ufa, «Die steinerne Blume» von russischer Seite und ähnlich mit Gevacolor-Negativ-Positiv einige Reklamefilme; der Anscofilm «Der Mann vom Eiffelturm» entstand dagegen nach einem «Umkehr-Umkehr»-Verfahren. Indessen wich man bei allen diesen Arbeiten insofern von der gebräuchlichen Kinopraxis ab, als man die Kopien unmittelbar vom Original-Negativ zog und auf die übliche Einschaltung duplizierter Negative (über ein Dup-Positiv) verzichtete. Hier stehen also noch Verbesserungen in Aussicht, und zwar auf folgenden Wegen, die für die Amateurpraxis bereits beschränkt wurden:

Wir wiesen schon bei Besprechung der Abb. 5 darauf hin, daß die Absorptionen der Filterfarbstoffe für die additiven Methoden dem idealen Verlauf nur wenig nahe kommen. Für die in Abb. 10 gezeigten Kurven, die die Absorption der Farbstoffe für die subtraktiven Verfahren zeigen, sind nun die Fehler noch weit störender. Um diese Fehler zu korrigieren, ist die Eastman-Kodak-Gesellschaft (in Anlehnung an eine in der Reproduktionstechnik für Schwarz-Weiß schon lange benutzte Methode) zur Anwendung von «Masken» übergegangen, deren Wirkung wir uns an den Eigenschaften des Blau-Grün-Farbstoffes klarmachen wollen. Ein «ideales» Blaugrün sollte nur Rot absorbieren, Blau und Grün jedoch vollkommen durchlassen. Alle blaugrünen Farbstoffe, die uns in der Farbenphotographie zur Verfügung stehen, absorbieren jedoch außerdem bedeutende Anteile von Blau und Grün (Abb. 10), d. h. sie verhalten sich wie eine Mischung von «idealem» Blaugrün mit Rot (Rot absorbiert nach Abb. 5 Blau und Grün). Dadurch nun, daß man dem Blaugrünkuppler eine rote Färbung gibt, die bei der Entwicklung in Blaugrün übergeht, erreicht man, daß zusammen mit dem Blaugrünbild ein aus dem unverbrauchten Kuppler bestehendes positives rotes Farbstoffbild stehen bleibt, das den unerwünschten Rotgehalt des negativen Bildes kompensiert. Wir erhalten so ein ideales Blaugrünbild zusammen mit einem gleichmäßigen Rotschleier, der beim Kopieren weggefiltert wird. In gleicher Weise wird die unerwünschte Blauabsorption des Purpurbildes dadurch kompensiert, daß der entsprechende Kuppler eine gelbe Eigenfarbe hat. Diese zusätzlichen Farbpapiere, eingebettet in die eigentlichen Farbnegative, bezeichnet man als Farbmasken (F), mit denen nach unserer Tabelle die Sorten Kodacolor und Ektacolor ausgestattet sind. Anfänglich, z. B. bei den älteren Kodacolorfilmen, heute noch bei denen von Ansco, Ferrania und Tellko, diente eine Maske aus Silber zur

¹ Bei der Aufstellung dieser Übersicht war mir freundlicherweise Herr cand. phil. II W. GROSSMANN behilflich, wofür ich ihm auch an dieser Stelle danken möchte.

Die Farbenfilme des Weltmarktes

Hersteller	Bezeichnung	Art	Typen	Kuppler	Verarbeitung	Format	Maskierung	Kopierprozesse
Agfa, Deutschland	Agfacolor	Umk.	T u. K	A	H	Kl. R.	—	Agfacolor Papier
	Agfacolor	Neg.	T u. K	A	V	Kl. R. F.	—	
Anso, USA.	Anscocolor	Umk.	T u. K	A	V	Kl. R. F.	—	Anso Printon Kopien (Seite 408 besprochen)
	Plenacolor	Neg.	T	A	H	R.	S	Anscocolor Papier
	Anscocolor							
DuPont, USA.	Kinokopierfilm	Kop.	K	A	H	Ki	—	nur für Kopierkinozwecke
	DuPont Color-Kinokopierfilm Typ 275	Kop.	K	D	H	Ki	—	nur für Kinokopierzwecke
Ferrania, Italien	Ferraniacolor	Neg.	T	A	H	Kl. R.	S	Ferraniacolorpapier
Gevaert, Belgien	Gevacolor	Umk.	T u. K	A	V	Kl. R. F.	—	
	Gevacolor	Neg.	K	A	V	Kl.	—	Gevacolor Positivfilm
Ilford, England	Ilford Color	Umk.	T u. K	C	H	Kl.	—	
Kodak, USA. und England	Kodachrome	Umk.	T u. K	C	H	Kl. F.	—	Kodachrome Prints und Duplikate, auch auf Opakfilm
	Ektachrome	Umk.	T u. K	B	V	R. F.	—	Dye Transfer (Hinweis Seite 406)
	Kodacolor	Neg.	T u. K	B	H	R.	F	Kodacolor Prints
	Ektacolor	Neg.	K	B	V	F.	F	Dye Transfer (Hinweis Seite 406)
Kodak, USA.	Eastmancolor	Neg.	T u. K.	B	H	Ki	F	Eastmancolor-Positiv
Tellko, Schweiz	Telcolor	Neg.	T	A	H	Kl.	S	Telcolor Papier

Erklärungen

Bezeichnung: Bei den Kodakfarbenfilmen für den Amateur bedeuten die Silben «Koda-» Fabrikentwicklung, «Ekt-» Entwicklung durch den Verbraucher; «-color» bedeutet Negativfilm, «-chrome» Umkehrfilm.

Art: Umk. = Umkehrfilm, Neg. = Negativfilm, Kop. = Kopierfilm.

Typen: T = Tageslichtfilm, K = Kunstlichtfilm (3200 bis 3400° K).

Kuppler: A = Diffusionsechte Kuppler in der Gelatine.
B = Kuppler in hydrophile Kunstharzmasse gebettet, die in Form kleinster Partikel in der Schichtgelatine verteilt ist.

C = Kuppler im Farbentwickler enthalten.

D = Kuppler *chemisch* im Bindemittel gebunden; dieses selbst ist ein quellbares Polyvinyl-Derivat.

Verarbeitung: H = Verarbeitung wird durch die Herstellerfirma oder durch von ihr konzessionierte Laboratorien vorgenommen.

V = Verarbeitung durch den Verbraucher möglich.

Formate: Kl. = Kleinbildfilm, R = Rollfilm, F = Formatfilm (Planfilm).

Ki = Kinefilm 35 mm. Bei manchen Firmen wird Kunstlichtfilm nicht in allen Formaten hergestellt, in denen Tageslichtfilm geliefert wird.

Maskierung: S = Silbermaske.
F = Farbmasken.

Farbverbesserung (S). Solche Schwarz-Weiß-Masken gestatten eine allgemeine Hebung der Farbsättigung, indem sie den Hell-Dunkel-Kontrast reduzieren, so daß der Farbkontrast relativ größer wird. Farbverschiebungen werden dadurch nicht korrigiert. Die Silbermasken können im Verlauf der Verarbeitung durch eine dosierte Nachbelichtung (meist mit farbigem Licht) und geeignete Schwarz-Weiß-Entwicklung des restlichen Silberbromids erzeugt werden. Im entwickelten Film besteht dann neben dem negativen Farbstoffbild ein schwaches, positives Silberbild.

Diese Erfahrungen werden nun schrittweise auf die Kinoindustrie übertragen, wobei auch der Kopierfilm, namentlich hinsichtlich der Bildschärfe noch verbesserungsfähig ist. Das Auflösungsvermögen eines Farbfilms ist immer kleiner als das eines normalen Schwarz-Weiß-Filmes. Das Bild in der ersten Schicht ist am schärfsten, durch Lichtstreuung entsteht eine gewisse Unschärfe in der zweiten und besonders in der dritten Schicht. Unser Auge beurteilt die Gesamtbildschärfe nach der Schärfe der relativ dunkeln Purpur-

und Blaugrünbilder, während beim Gelbbild eine leichte Unschärfe in Kauf genommen wird. Aus diesem Grunde hat man versucht, das Gelbbild in die unterste Schicht zu verlegen, indem man die Schichtreihenfolge gegenüber den üblichen Farbfilmen umgestellt hat. Die erste Schicht ist grünempfindlich und enthält die Purpurkomponente, die zweite Schicht ist rotempfindlich und trägt die Blaugrünkomponente, und die unterste Schicht ist blauempfindlich und enthält die Gelbkomponente. Die Blauempfindlichkeit der beiden oberen Schichten wird sehr gering gehalten, die unterste Schicht besitzt hingegen höchste Blauempfindlichkeit.

In einer anderen Kino-Kopierfilm-Sorte, die von DuPont hergestellt wird, ist über die Umstellung der Farbschichten hinaus auch noch die Zuordnung der spektralen Empfindlichkeit geändert worden, so daß dieses Material nur von Schwarz-Weiß-Teilnegativen, nicht aber von normalen Farbnegativen kopiert werden kann. Außerdem enthält die Schicht keinerlei Gelatine mehr, sondern sie besteht aus einem quellbaren Polyvinylderivat, an das die Kuppler chemisch ge-

bunden werden und auf diese Weise diffusionsecht festgelegt sind. Die Anordnung ist diese: Die oberste, blauempfindliche Schicht enthält die Purpurkomponente, dann folgt die rotempfindliche Schicht mit der Blaugrünnkomponente und schließlich die grünempfindliche Schicht mit der Gelbkomponente. Das Auflösungsvermögen dieses Materials übersteigt 100 Linien je mm.

Schon diese kurze Übersicht zeigt, daß sich die Fortschritte der Farbenphotographie gerade jetzt wieder in lebhaftem Fluß befinden, nachdem ihr durch das Prinzip der Farbentwicklung erneut ein starker Anstoß zuteil wurde.

Summary

In the early days of photography daguerrotypes were stained with specific pigments (ISENRING). LIPPMANN'S "interference procedure", working with the pure

colours of the spectrum is of great interest theoretically, but cannot be used practically. Only after the division of the visible spectrum into 3 regions: 400–500 m μ (blue), 500–600 m μ (green) and 600–700 m μ (red) and the discovery of sensitizers by VOGEL did the modern colour photography become possible for practical purposes. DUCOS DU HAURON recommended several different ways for colour photography based on that principle and even followed some of them up by himself; however, only a few have proved valuable. The method of microscopic-coloured mosaic filters and the lenticular film method work with an additive process. For coloured prints in books and journals one first produces separate exposures from the original by the aid of filters that are transparent in the before-mentioned regions of the spectrum. By means of these separate negatives the print is produced with printing stains that are complementary to the filter stains, i.e. yellow, magenta and cyan. The Technicolor-method now widely used in cinematography works under similar conditions. Beside that only the method of colour development in different varieties and ways of application is in use today.

Chemical Factors Involved in the Induction of Infectious Allergy¹

By SIDNEY RÄFFEL,² Stanford, Cal.

The allergy which accompanies tuberculosis is an outstanding example of the hypersensitivity of "infectious type", termed also "tuberculin-type" or "delayed" allergy. The studies to be discussed here are mainly concerned with tuberculous allergy and with the hypersensitivity which may be induced to unrelated antigens by the use of a constituent of the tubercle bacillus. However, for the sake of a more general orientation it has seemed desirable to include in this review a discussion not only of allergy, but of the other basic responses of the host to the tubercle bacillus as well. We may then see how far our current information permits us to match up these host responses with individual chemical components of the bacillus.

I. Basic Responses of the Host to the Tubercle Bacillus

The fundamental responses of the infected host to the tubercle bacillus include (a) tubercle formation, (b)

the development of allergic reactivity, and (c) the acquisition of specific resistance. The various aspects of the disease process will stem from the interplay of the latter two factors especially.

II. The Chemical Constituents of the Tubercle Bacillus

Only a brief survey can be given here of the detailed investigations of the past thirty years relative to the chemical composition of the tubercle bacillus, and this must be kept pertinent to the factors which are to be discussed. The accompanying diagram charts these substances.

(a) *Proteins*.—SEIBERT¹ especially has made detailed studies of the protein constituents of the human tubercle bacillus. These are not homogeneous in their physico-chemical properties nor entirely so in their biological properties^{1,2}, but for immunological purposes, as discussed below, the proteins may be considered as a single substance in respect to their qualitative relationship to host responses.

(b) *Lipids*.—Tubercle bacillary lipids have been extensively studied by R. J. ANDERSON and his associ-

¹ Based upon a lecture delivered on March 22, 1950, to a meeting of the Naturforschende Gesellschaft of Basle.

² Department of Bacteriology and Experimental Pathology, School of Medicine, Stanford University, California. The author's work represented here has been supported by grants from the National Tuberculosis Association, the California Tuberculosis and Health Association, and the Alameda County Tuberculosis and Health Association.

¹ F. B. SEIBERT, Chem. Rev. 34, 107 (1944).

² E. B. BEVILACQUA and J. R. McCARTER, J. Exp. Med. 87, 229 (1948). — J. R. McCARTER and E. B. BEVILACQUA, J. Exp. Med. 87, 245 (1948).