

Fehlerquellen beim Agfacolor-Prozeß

Das Agfacolor-Farbverfahren ist im Prinzip genau so einfach wie die Schwarzweiß-Fotografie: man belichtet ein Negativmaterial in einer normalen Kamera ohne Zusatzgerät; der belichtete Film wird in einem normalen Entwicklungsprozeß ver-

maligen Fotoschule der Agfa in Berlin wurde ein Versuch durchgeführt, bei dem ein Objekt mit 1/100 Sek. und 100 Sek. Belichtungszeit und einigen Zwischenwerten aufgenommen wurde, also im Verhältnis 1 : 10 000 verschieden; die richtige

völliger Dunkelheit in genau temperierten Bädern und nach der Stoppuhr. Wenn diese strengen Bedingungen nicht eingehalten werden, entstehen Fehlergebnisse, von denen im folgenden einige an Hand von Sensitometerkurven betrachtet werden sollen.

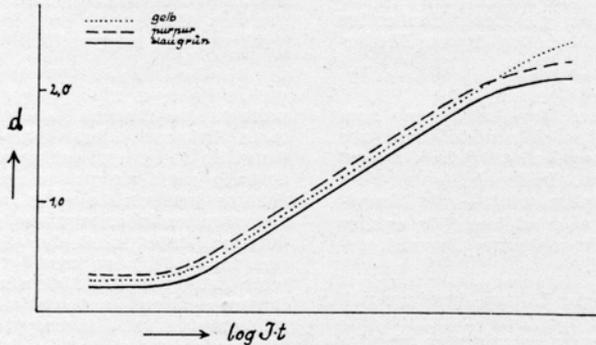


Abb. 1

arbeitet; das Negativ wird durch einen normalen Kopierprozeß ohne Zusatzgerät (allerdings mit gefiltertem Licht) auf ein Positivmaterial kopiert; das belichtete Kopiermaterial wird in einem normalen Verarbeitungsprozeß zum fertigen Bild entwickelt. »Normaler« Entwicklungsprozeß bedeutet dabei, daß ein Filmstreifen der Reihe nach verschiedene Bäder passiert und daß nicht mehrere Teilbilder getrennt behandelt werden müssen. Entsprechend soll »normaler« Kopierprozeß bedeuten, daß von einem Negativstreifen auf ein Kopiermaterial kopiert wird, also keine Strahlenteilung und keine Behandlung verschiedener Teilbilder usw. vonnöten ist.

Trotz der äußerlichen Ähnlichkeit beider Verfahren besteht aber ein grundsätzlicher Unterschied darin, daß man beim Verarbeiten von Schwarzweiß-Material in mehrfacher Beziehung einigen Spielraum hat, während das Agfacolor-Material eine Präzision erfordert, die bisher nicht üblich war. Da ist zunächst der Belichtungsspielraum eines z. B. zweischichtigen Schwarzweiß-Negativmaterials zu nennen. Wenn er auch von einer großen Gruppe der Verbraucher (z. B. Kinefilm-Industrie, Fachfotografen) nicht ausgenutzt wird, so ist doch nicht zu leugnen, daß sich von stark unter- und überbelichteten Negativen befriedigende Bilder anfertigen lassen. In der ehe-

Belichtung lag bei 1 Sek. Von allen diesen Negativen, die sich auf einem im Tank normal entwickelten Rollfilm befanden, ließen sich gleich gute Kopien herstellen. Ferner braucht die Entwicklungszeit nicht übertrieben genau eingehalten zu werden; die Beurteilung des Negativs unter der Dunkelkammerlampe ersetzt häufig die Uhr. Dementsprechend ist es nicht von großer Bedeutung, ob der Entwickler 18° oder 21° warm ist, ob er frisch oder schon länger in Gebrauch ist. Und falls die Gradation des Negativs wirklich nicht erwartungsgemäß herauskommt, ist auch nichts verloren; eine entsprechend andere Papiergradation behebt den Mangel. Beim Entwickeln von Papierbildern wird im allgemeinen überhaupt ohne Uhr gearbeitet, nur nach Augenschein und persönlicher Beurteilung.

Diese verhältnismäßig weiten Toleranzen sind beim Agfacolor-Prozeß nicht mehr zulässig. Der Belichtungsspielraum des Negativmaterials ist klein; die Verarbeitung geschieht im Dunkeln oder bei so strengem Dunkelkammerfilter, daß eine Beurteilung des Negativs unmöglich ist; Temperatur, richtige Konzentration der Bäder und sehr genau eingehaltene Entwicklungszeit sind von entscheidender Bedeutung für Farbwiedergabe und Gradation; das Kopiermaterial steht bisher nur in einer Gradation zur Verfügung; die Entwicklung der Bilder geschieht ebenfalls bei fast

Der Agfacolor-Film zeigt folgenden Aufbau. Die oberste Schicht ist empfindlich für blaues Licht und wird später gelb; die mittlere Schicht ist empfindlich für grünes Licht und wird purpur, und die untere Schicht ist rot empfindlich und wird blaugrün. Zwischen der oberen und der mittleren Schicht liegt ein dichtes Gelbfilter, das blaues Licht von den darunter liegenden Schichten fernhalten soll; denn diese haben mit der Sensibilisierung für Grün und Rot ihre ursprüngliche Blau-Empfindlichkeit nicht verloren. Die Gelbfilter-Schicht wird beim Entwicklungsprozeß ausgebleicht und braucht uns für die folgenden Betrachtungen nicht weiter zu interessieren.

Die farbige Abbildung vollzieht sich in folgenden Schritten. Ein z. B. heller blauer Gegenstand bildet sich in der obersten Schicht als gelbes Negativ ab. Das Negativ wirkt beim Kopierprozeß gewissermaßen als Farbfilter für das weiße Kopierlicht. Wo dieses Filter gelb ist, läßt es kein blaues Licht durch; also kann an diesen Stellen in der obersten Schicht des Positivs keine Belichtung und keine gelbe Farbe hervorgerufen werden. Der Unterschuß an Gelb läßt diese Stellen des Positivs dann als blau erscheinen. Die gelbe Schicht des Negativs steuert also die Menge durchgelassenen blauen Lichtes, die beim Po-

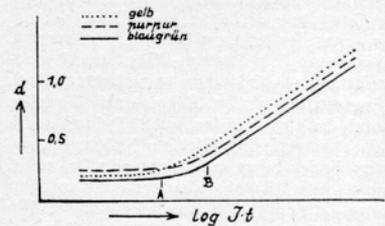


Abb. 2

sitiv die oberste Schicht belichtet und gelbe Farbe bewirkt. Die Gelb-Schicht des Negativs bildet sich somit auf die Gelb-Schicht des Positivs ab, entsprechend Purpur-Schicht Negativ auf Purpur-Schicht Positiv und Blaugrün-

Schicht Negativ auf Blaugrün-Schicht Positiv. Jede dieser Schichten hat eine eigene Gradationskurve. Wie man diese Gradationskurven gewinnen kann, sei zuvor an einigen Worten über die Sensitometrie des Farbfilms¹⁾ erläutert.

Man kopiert auf den zu prüfenden Film einen neutral grauen Stufenkeil, dessen aufeinanderfolgende Stufen immer im gleichen Dichteverhältnis, z. B. 1 : 2, zueinander stehen. Dabei wählt man eine den praktischen Aufnahmebedingungen angepaßte Belichtungszeit (z. B. $\frac{1}{25}$ Sek.) und die

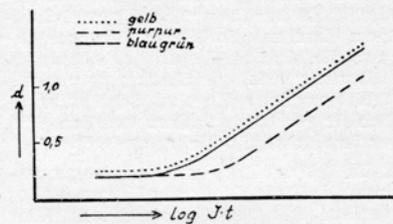


Abb. 3

der jeweiligen Filmsorte angemessene Lichtart, also Bogenlicht für Agfacolor-Negativ T oder B und Nitalicht für Agfacolor-Negativ K oder G und für Agfacolor-Positivfilm oder -papier. Die so belichteten Proben werden der jeweils normalen Entwicklung unterworfen und dann ausgemessen. Die Ausmessung kann nach zwei Methoden geschehen.

Wenn man sich mit den Farbstoffen, die in den einzelnen Schichten des Agfacolor-Films entstehen, also mit Gelb, Purpur und Blaugrün, einen keilförmig ansteigenden Dichteverlauf herstellt und diese drei Farbkeile so in den Strahlengang eines Vergleichsphotometers legt, daß man sie einzeln und meßbar verschieben und jede erforderliche Dichte einstellen kann, so läßt sich jedes Feld der im anderen Strahlengang liegenden Filmprobe nach Dichte und Farbe aus den drei Keilen bei passender Einstellung nachbilden.²⁾ Für jedes gemessene Feld erhält man jeweils eine Gelb-, eine Purpur- und eine Blaugrün-Dichte. Trägt man diese als Punkte in ein Diagramm ein und mißt man alle Stufen der Filmprobe durch, erhält man, wenn man jeweils alle gelben, alle purpurnen und alle blaugrünen Punkte miteinander verbindet, für jede Schicht des Films eine Gradationskurve. Dieses Resultat stellt eine getreue Abbildung des Films im Aufbau seiner drei Schichten dar und kann dem Filmhersteller wichtige Aufschlüsse über sein Material geben. Für die Bedürfnisse der Kopierpraxis ist dieses Resultat aber mit einem gewissen Mangel behaftet.

Die gelbe Schicht absorbiert vorwiegend blaues Licht und läßt grünes

¹⁾ Eine ausführliche Abhandlung zu diesem Thema ist von Dr. Werner Behrendt in Vorbereitung.

²⁾ Diese Methode wurde für Farbfilm zuerst angegeben von Evans, Journ. Soc. Mot. Pic. Eng. 31, 1938, 194—201.

und rotes durch; die purpurne Schicht absorbiert grünes Licht und läßt blaues und rotes durch; und die blaugüne Schicht absorbiert rotes Licht und läßt blaues und grünes durch. Das stimmt allerdings nur in erster Näherung. Jede Farbschicht absorbiert auch einen kleinen Teil der Farbe, für die sie vorwiegend durchlässig ist. Also wird die Menge blauen Lichtes, die beim Kopieren vom Negativ auf das Kopiermaterial gelangt, nicht allein durch die Dichte der Gelb-Schicht des Negativs, sondern auch durch die beiden anderen Schichten

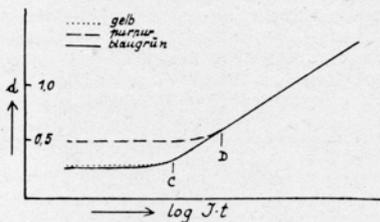


Abb. 4

mit bestimmt. Die Gradationskurve der Gelb-Schicht allein gibt also dafür keinen genauen Maßstab. Entsprechendes gilt für die beiden anderen Gradationskurven, und die oben geschilderte Methode der Ausmessung der Sensitometerstreifen würde für Kopierzwecke unzureichende Ergebnisse liefern.

Deshalb hat sich für die praktischen Bedürfnisse die zweite Methode der Ausmessung¹⁾ eingebürgert. Man mißt die Dichte des Probefilms hinter strengen Filtern und nennt den hinter einem strengen Blau-Filter sich erge-

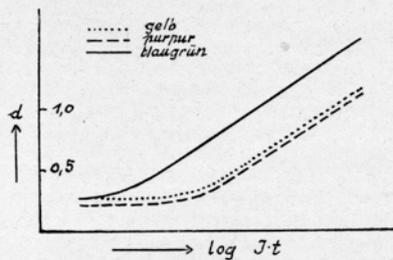


Abb. 5

benden Dichteverlauf die Gelb-Kurve. Diese Gelb-Kurve stimmt mit der Gradationskurve der Gelb-Schicht nur ungefähr überein, stellt aber den genauen Verlauf der Blau-Absorption dar, ist also die tatsächliche Gelb-Gradation des kompletten Negativs (nicht seiner Gelb-Schicht allein). Entsprechend ergibt sich hinter einem strengen Grün-Filter die Purpur-Kurve und hinter einem strengen Rot-Filter die Blaugrün-Kurve. Die Messung selbst geschieht mit Fotoelement und Galvanometer, dessen Skala in fotografischen Dichten geeicht ist; wo 10 Prozent des maximalen Fotostromes fließen, erhält man die Dichte 1, bei 1 Prozent die Dichte 2

¹⁾ Objektiver Farbdichtemesser von Dr. Werner Behrendt.

usw. Die im folgenden betrachteten Gradationskurven beruhen ausschließlich auf dieser zweiten Methode.

Den Idealfall eines Agfacolor-Negativ-Materials hätte man, wenn alle drei Kurven aufeinander fielen und wie eine Kurve aussähen. Dieser Idealfall läßt sich nicht realisieren. Schon im Schleier zeigen die drei Kurven kleine Unterschiede. Auch in der maximalen Dichte brauchen sie nicht gleich zu sein. Es wäre eine unnötige Erschwerung für die Herstellung des Films, falls man das erzielen wollte. Wenn man erreicht, daß die einzelnen Empfindlichkeiten (Dichte 0,1 über dem Schleier) gleich sind oder mindestens eng beieinander liegen, und wenn die drei Kurven in den bildwichtigen Teilen parallel verlaufen, dann hat man damit ein in jeder Hinsicht gutes Negativmaterial. Ein solcher praktischer Fall ist in Abbildung 1 dargestellt.

Kopiert man dieses Negativ auf ein Positiv, so muß das Kopierlicht durch Filter gefärbt werden. Für die vorliegenden Betrachtungen soll diese Filterung in zwei Teile zerlegt werden: einen dafür, daß das Positivmaterial neutral grau wird, wenn man es ohne Negativ nur mit dem Kopierlicht belichtet, und den anderen dafür, daß das Negativ selbst neutral grau wird. Beide Teile addieren sich zur endgültigen Kopierfilterung. Hier soll vorerst nur dieser zweite Teil betrachtet werden. Das Negativ der Abb. 1 sieht in Wirklichkeit gelblich rot aus: in allen Teilen ist die Purpur-Dichte die höchste, die Blaugrün-Dichte die geringste. Wenn dieses Negativ grau erscheinen soll, muß man ein bestimmtes Blaugrün-Filter und ein etwas

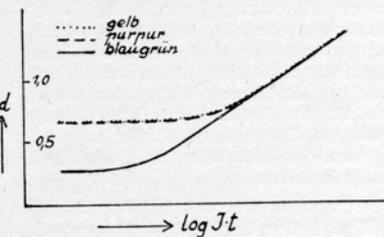


Abb. 6

dünneres Gelb-Filter darauf legen. Das erstere erhöht die Blaugrün-Dichte in allen Punkten um den gleichen Betrag, hebt also die Blaugrün-Kurve bis zur Purpur-Kurve; das letztere hebt die Gelb-Kurve bis zur Purpur-Kurve. Wenn alle drei Kurven sich decken, ist das Negativ neutral grau.

Es ist keineswegs erforderlich, daß die drei Kurven wie in Abb. 1 bis in den Schleier parallel verlaufen; es kann durchaus vorkommen, daß die Schicht mit der geringeren Dichte den höheren Schleier hat, wie das Beispiel der Abb. 2¹⁾ zeigt, wo die Purpur-Kurve im geraden Teil unter der Gelb-Kurve liegt, im Schleier aber darüber. Auch mit diesem Material lassen sich

¹⁾ In den Abb. 2 bis 6 ist nur der untere Teil der Gradationskurven gezeichnet.

einwandfreie Aufnahmen machen, wenn man richtig belichtet. Sobald alle bildwichtigen Details auf dem geradlinigen Teil der Kurve (rechts von B) liegen, läßt sich eine neutrale Kopie herstellen. Erst wenn die Aufnahme unterbelichtet ist und bildwichtige Teile noch im Bereich zwischen A und B der Kurve liegen, kann die Kopie nicht mehr einwandfrei werden. Rechts vom Schnittpunkt der Gelb- und Purpur-Kurve muß man ein Purpur-Filter hinzufügen, um auf die

belichtet angenommen wurde (Bild-details im Durchhang), während hier eine richtige Belichtung vorlag, allerdings ein fehlerhafter Film (Purpurschicht zu unempfindlich).

Dieser hypothetische Fall der Abb. 3 kann in der Praxis eine Bedeutung gewinnen, wenn zur Belichtung die falsche Lichtart verwendet wird, also z. B. ein Negativfilm für Tageslicht bei Kunstlichtaufnahmen benutzt wird. Das Glühlampenlicht enthält einen wesentlich größeren

nicht in gleicher Weise beeinflusst, sondern die am schwersten zugängliche unterste Schicht dann stärker angreift als die beiden anderen). Auch durch die normale Alterung geht die ursprüngliche Parallelität der drei Kurven allmählich verloren. Deshalb hat das Agfacolor-Material eine wesentlich kürzere Garantiezeit als Schwarzweiß-Film. Man hüte sich davor, mit verfallenem Agfacolor-Film Aufnahmen zu machen, und es empfiehlt sich außerdem, seiner Aufbewahrung besondere Aufmerksamkeit zu widmen (kühl und trocken). Das Farbgleichgewicht des Agfacolor-Films ist mit großer Sorgfalt eingestellt. Es beruht auf drei verschiedenen, hochempfindlichen Fotoschichten, die sich im Laufe der normalen Alterung nicht gleichartig zu verhalten brauchen: die eine Schicht kann schleiriger und flacher werden, die andere unempfindlicher und steller.

In Abb. 7 ist der Fall angenommen, daß die Blaugrün-Kurve steller verläuft als die beiden anderen. Hier läßt sich durch keine Filterung (im Diagramm: Verschiebung der einzelnen Kurven gegeneinander in vertikaler Richtung) ein über die ganze Kurve neutrales Negativ bewerkstelligen. Immer wird es einen Schnittpunkt der Gradationskurven geben. Dieser Schnittpunkt ist der einzige neutrale Punkt der Grauskala, darunter und darüber wird es gegenläufige Verfärbungen geben. Im Negativ sind die dünnen Partien (Schatten) zu rot. Dementsprechend wird die Kopie dieser Schattenpartien im Po-

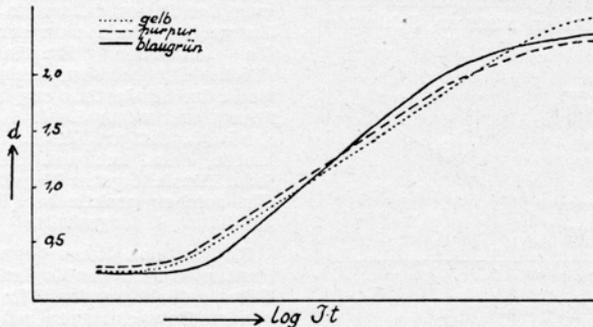


Abb. 7

Dichte der Gelb-Kurve zu kommen; links vom Schnittpunkt müßte man ein Gelb-Filter hinzufügen, damit der Gelb-Schleier auf die Dichte des Purpur-Schleiers kommt. Macht man den geradlinigen Teil neutral, werden die Schattenpartien (Bereich A—B) purpurn; in der Kopie werden die Schatten dann nicht schwarz, sondern dunkelgrün.

In diesem Sachverhalt liegt der tiefere Grund dafür, daß ein richtig belichtetes Agfacolor-Negativ kräftiger gedeckt sein muß als ein richtig belichtetes Schwarzweiß-Negativ. Dieses gilt als richtig, wenn in den Schattenpartien gerade eine zarte Zeichnung erkennbar ist; bei jenem müssen auch die Schattenpartien schon eine kräftige Zeichnung aufweisen. Sonst besteht die Gefahr, daß bildwichtige Teile im Durchhang liegen und die Kopie nicht mehr in allen Teilen neutral sein kann.

Betrachten wir den hypothetischen Fall, daß eine der drei Kurven merklich unempfindlicher ist, also etwas weiter hinter den beiden anderen liegt (Abb. 3), so ergibt die Neutralstellung dieses Negativs das Aussehen der Abb. 4. Hier treten sicher Mängel bei der Kopie auf. Der geradlinige Teil der Gelb- und Blaugrün-Kurve beginnt bei C, der der Purpur-Kurve erst bei D. Wenn hier die Aufnahme nicht überbelichtet war, sondern bildwichtige Details schon zwischen C und D liegen (also auf dem geradlinigen Teil), tritt in verstärktem Maße der an Abb. 2 erläuterte Fehler auf. Bei der vorliegenden Annahme (Purpur-Schicht zu unempfindlich) bekommen die Schattenpartien des Negativs durch die Filterung eine zusätzliche Purpur-Färbung, die Kopie wird also grüne Schatten aufweisen. Der grundsätzliche Unterschied zwischen Abb. 2 und Abb. 4 liegt darin, daß dort das Negativ als zu knapp

Anteil roter Strahlen als das Tageslicht. Bei der hier betrachteten Aufnahme wird daher zu viel rotes Licht im Vergleich zum blauen und grünen Anteil auf den Film gelangen, d. h. die Blaugrün-Kurve (rotempfindliche Schicht) wird viel empfindlicher herauskommen als die beiden anderen Kurven (Abb. 5). Will man hier das Negativ neutral stellen, werden im

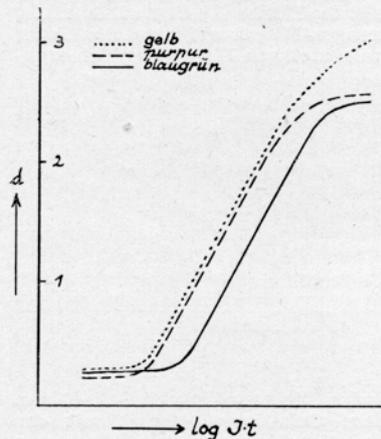


Abb. 8

Schleier die Gelb- und Purpur-Kurve hoch über der Blaugrün-Kurve liegen (Abb. 6); die Kopie wird grüne Schatten haben.

Betrachten wir noch den Fall, daß die Gradationskurven nicht parallel verlaufen. Dieser Umstand kann an einem ursprünglich richtigen Negativmaterial durch Behandlungsfehler hervorgerufen werden: durch falsche Entwickler-Konzentration, durch zu stark verbrauchten Entwickler oder durch zu lange Entwicklungszeit. (Es ist verständlich, daß eine Verlängerung der Baddauer die Schichten

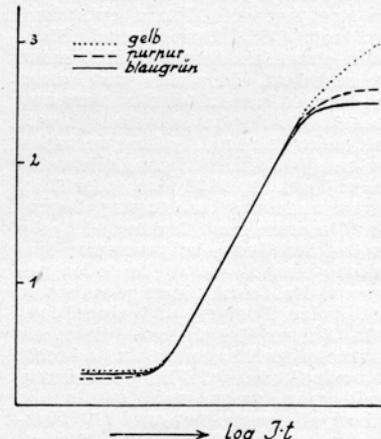


Abb. 9

sitiv (dunkle Stellen) zu grün. Die Kopie wird im vorliegenden Falle also grünliche Schatten und rötliche Lichter haben. Die Extremfälle bei geeigneter Filterung wären: neutrale Lichter und stark grüne Schatten oder neutrale Schatten und stark rote Lichter. Man wird sich aber auf den schon angedeuteten mittleren Wert als das kleinste Übel einstellen. Auch in den vorher besprochenen Beispielen, bei denen der Einfachheit halber nur eine falsche Färbung der Schattenpartien erwähnt wurde, kann die Kopierfilterung stets so eingestellt werden, daß die Fehlfärbung der Schat-

tenpartien verringert und dafür eine kleine komplementäre Verfärbung der hellen Partien in Kauf genommen wird.

Bei der bisherigen Betrachtung wurden aus der Vielzahl der Möglichkeiten mit Absicht solche gewählt, die den gleichen Fehler, nämlich grüne Schatten, bewirken. Das ist bei weitem nicht der einzige Fehler, der vorkommen kann. Aber daran sollte erläutert werden, wieviel verschiedene Ursachen die gleiche Wirkung auslösen können. Dabei ist nicht zu vergessen, daß dies erst die Betrachtung des Negativmaterials war. Beim Positivmaterial können grundsätzlich die gleichen Fehler entstehen. Hier ist allerdings als Einschränkung zu erwähnen, daß das Positivmaterial eine wesentlich steilere Gradation hat und außerdem praktisch ausentwickelt wird; verschiedene der vorhin behandelten Ursachen (z. B. verlängerte Entwicklungszeit) können hier nicht so großen Schaden anrichten.

Die Kopierfilterung war vorhin in zwei Bestandteile zerlegt worden, einen für das neutrale Aussehen des fertig entwickelten Negativs und den anderen für die Herstellung eines neutralen Positivs, wenn es ohne Negativ (oder mit einem Schwarzweiß-Negativ) belichtet wird. Dieser zweite Teil der Filterung macht sich in den Gradationskurven hier etwas anders

bemerkbar als vorhin. Wenn man nämlich das Kopierlicht z. B. rot filtert, hebt man damit die Empfindlichkeit der rotempfindlichen Schicht und drückt die der blau- und grünempfindlichen. Man verschiebt also die Gradationskurven im Diagrammblatt hierbei in *horizontaler* Richtung gegeneinander. Im Beispiel der Abb. 8, wo die Blaugrün-Kurve als zu unempfindlich angenommen ist und das entwickelte Positivmaterial sehr rot aussieht (in allen Punkten des geradlinigen Teiles liegt die Gelb- und Purpur-Kurve höher als die Blaugrün-Kurve), erzielt man ein neutral graues Kopiermaterial dadurch, daß man das Kopierlicht stark rot färbt, also die Empfindlichkeit der Blaugrün-Kurve erhöht und die der beiden anderen Kurven verringert. Man erhält dann bei passender Filterwahl das neutrale Material der Abb. 9.

Die Zerlegung der Kopierfilterung in einen Bestandteil für das Negativ und einen für das Positiv hat rein hypothetischen Charakter und diente nur zur Erleichterung der vorliegenden Betrachtungen. Für die Praxis hat sie aus folgenden Gründen keine Bedeutung. Wenn das Agfacolor-Negativ mit Hilfe von Filtern so betrachtet wird, daß es dem menschlichen Auge als grau erscheint, so ist dies kein echtes Grau, an dem alle Wellenlängen des Spektrums beteiligt sind, sondern eine Summe von drei

diskreten Farben. Daß diese Farbsumme dem Auge als Grau erscheint, hängt mit seinen speziellen Eigenschaften zusammen. Dem Agfacolor-Positivfilm mit seiner vom Auge abweichenden Sensibilisierung braucht diese Farbsumme nicht als Grau zu erscheinen. In der Kopierpraxis gibt es nur *eine* Filterung, nämlich die, die man benötigt, um ein Agfacolor-Negativ auf ein Agfacolor-Positiv farblich zu kopieren. Die speziellen Werte dieser Filterung werden an einer Probekopie ermittelt und gegebenenfalls an einer zweiten Probe einer Feinkorrektur unterworfen.

Es soll zum Schluß nicht unerwähnt bleiben, daß die Fehlergebnisse, die auf einer zu steilen Einzelgradation des Negativs beruhen (Abb. 7), durch eine entsprechend flachere Gradation der gleichen Farbschicht beim Positivmaterial kompensiert werden können. Es war eingangs erwähnt worden, daß sich jeweils gleich gefärbte Schichten aufeinander abbilden, also Gelb (Negativ) auf Gelb (Positiv) usw. Dann kann die Abbildung einer zu steilen Blaugrün-Kurve des Negativs auf eine entsprechend flachere Blaugrün-Kurve des Positivmaterials wieder zur richtigen Gradation und Farbwiedergabe führen. Aber das ist schwankender Boden, den man lieber meidet. Die solidere Basis der Farbenfotografie sind parallel verlaufende Farb-Gradationskurven.