



DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR FORSCHUNG IM GRAPHISCHEN GEWERBE EV · MÜNCHEN  
MITTEILUNG DES INSTITUTES

Untersuchung über  
Farbtonänderungen von Druckfarben

Die auf Grau abgestimmte Farbwiedergabe  
im Dreifarbenbuchdruck

*Dipl.-Phys. K.-H. Schirmer*

Nr. 11/1

WISSENSCHAFTLICHE LEITUNG: PROF. DR. HABIL. J. ALBRECHT

FOGRA - Ausgabe als Manuskript gedruckt · Nur für Mitglieder  
Zu beziehen als Forschungsbericht Nr. 155 bei Westdeutscher Verlag Köln und Opladen



DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR FORSCHUNG IM GRAPHISCHEN GEWERBE EV · MÜNCHEN  
MITTEILUNG DES INSTITUTES

Untersuchung über  
Farbtonänderungen von Druckfarben

Die auf Grau abgestimmte Farbwiedergabe  
im Dreifarbenbuchdruck

*Dipl.-Phys. K.-H. Schirmer*

Nr. 11/1 — 1955

WISSENSCHAFTLICHE LEITUNG: PROF. DR. HABIL. J. ALBRECHT

## G l i e d e r u n g

I. Einleitung	
Schwierigkeiten in der Grauwiedergabe beim Dreifarbenbuchdruck . . . . .	S. 5
II. Grundlagen der Reproduktion von Grau insbesondere bei der autotypischen Farbmischung . . . . .	S. 6
A. Grauwiedergabe bei farbigen Reproduktionsverfahren . . .	S. 6
B. Grundlagen der autotypischen Farbmischung . . . . .	S. 9
C. Deutung der Schwierigkeiten der Grauwiedergabe aus den Eigenschaften der Druckfarben . . . . .	S. 10
III. Die charakteristischen Kurven der Teilbilder für den Dreifarbenbuchdruck . . . . .	S. 17
A. Methoden zur Bestimmung der charakteristischen Kurven .	S. 17
B. Experimentelle Prüfung der Ergebnisse . . . . .	S. 27
IV. Praktische Bedeutung der Graubedingung für die Herstellung von Druckformen für den Dreifarbenbuchdruck . . . . .	S. 29
V. Zusammenfassung . . . . .	S. 32
VI. Literaturverzeichnis . . . . .	S. 33
Anhang . . . . .	S. 35

## I. Einleitung

### Schwierigkeiten der Grauwiedergabe im Dreifarbenbuchdruck

Auf der letzten Tagung des Fachnormenausschusses Farbe im Deutschen Normenausschuß im August 1953 wurde durch den Arbeitsausschuß "Farbe in Druck und Photographie" das Normblatt DIN 16508 "Farbskala für den Buchdruck"<sup>1)</sup> endgültig angenommen. Dadurch fand die mehrjährige Arbeit zur Vorbereitung dieses Normblattes ihren Abschluß. Während man sich über die Grundfarben Gelb und Blau ohne weiteres einigen konnte, zeigten sich Schwierigkeiten in Bezug auf die Festlegung des Rot, und zwar besonders hinsichtlich der Farbstärke dieser Grundfarbe. Es traten hier die Erscheinungen zutage, die der Fachmann ebenfalls aus der Praxis kennt; denn es ist allgemein bekannt, daß es mit dem Rot eine besondere Bewandtnis hat.

Die Abstimmung des Rot und der übrigen Grundfarben muß bekanntlich so erfolgen, daß die Mischfarben 1. Ordnung (Übereinanderdruck von zwei Farben) möglichst gleichabständig zu den Grundfarben sind und bei Übereinanderdruck der drei Farben (Mischfarbe 2. Ordnung) ein optimales Schwarz entsteht. Stimmt man nach diesen Gesichtspunkten ab, so erhält man bei Übereinanderdruck von drei Klischees einer Skala mit gleichen Rasterpunktgrößen für die einzelnen Stufen kein Grau, wie man es erwarten sollte, sondern eine wesentliche Verschiebung des Farbtones nach Braun bis Rot. Um diese Schwierigkeit zu beseitigen, zog man bei Andruck des genannten Normblattes zunächst nur zwei Möglichkeiten in Erwägung. Entweder man druckte das Rot heller oder das Blau noch kräftiger. Es zeigte sich jedoch, daß man auch in diesem Falle nicht alle Stufen der Grauskala farbstichfrei erhält und außerdem in Kauf nehmen muß, daß die Tiefe nicht mehr neutral abgestimmt ist.

Auf Grund dieses Ergebnisses könnte nun der Eindruck entstehen, daß die drei Grundfarben für den Dreifarbenbuchdruck nicht richtig gewählt seien und sich eventuell eine Farbskala finden ließe, welche diese Eigentümlichkeit nicht aufweist. Bekanntlich ist man zu dieser jetzt durch Norm festgelegten Farbskala dadurch gekommen, weil man erkannt hat, daß diese die größtmögliche Anzahl an Farbnuancen zu erreichen gestattet.

Um diese Schwierigkeiten zu klären, wird von einigen Überlegungen berichtet, die im Institut der Deutschen Gesellschaft für Forschung im graphischen

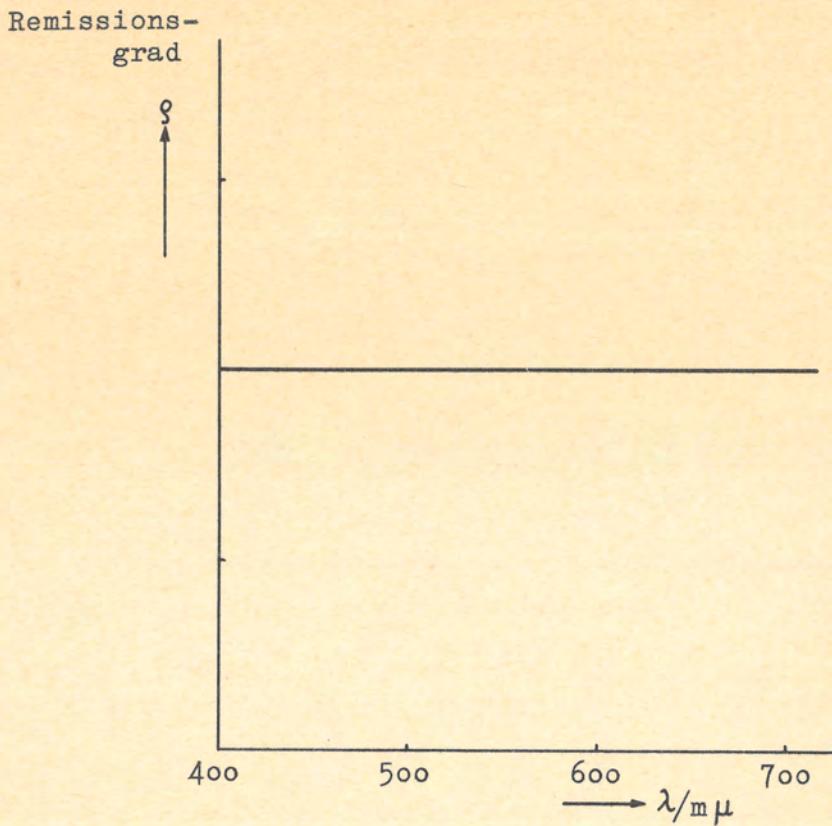
Gewerbe über diese Erscheinung angestellt wurden und die ergaben, daß die Rotverschiebung in den Mitteltönen durch das charakteristische optische Verhalten der zur Verfügung stehenden Pigmente bedingt ist. Es soll im folgenden eine anschauliche Deutung des Problems gegeben und der Weg gezeigt werden, den man einschlagen muß, um im Dreifarbenbuchdruck eine auf Grau abgestimmte Wiedergabe zu erhalten, wie sie für eine farbstichfreie Reproduktion einer Grauleiter notwendig ist. Mathematische Ableitungen sollen nur soweit gebracht werden, wie sie für das Verständnis des Folgenden und für die Erklärung der Farbverschiebung so wie der Berechnung der charakteristischen Kurven erforderlich sind.

## II. Grundlagen der Reproduktion von Grau insbesondere bei der autotypischen Farbmischung

### A. Grauwiedergabe bei farbigen Reproduktionsverfahren

Eine Grundforderung an jedes farbige Reproduktionsverfahren ist es, das Verfahren in seinen Einzelschritten (Herstellung der Farbauszüge und der Teilbilder) so abzustimmen, daß man ein Grau der Vorlage automatisch als ein Grau richtig wiederzugeben vermag. Denn das menschliche Auge empfindet Abweichungen in der Wiedergabe eines Grau als besonders störend, während es im allgemeinen gegenüber Farbverschiebungen bei der Wiedergabe farbiger Objekte wesentlich toleranter ist. Aus diesem Grunde ist der Grauwiedergabe besondere Beachtung zu schenken.

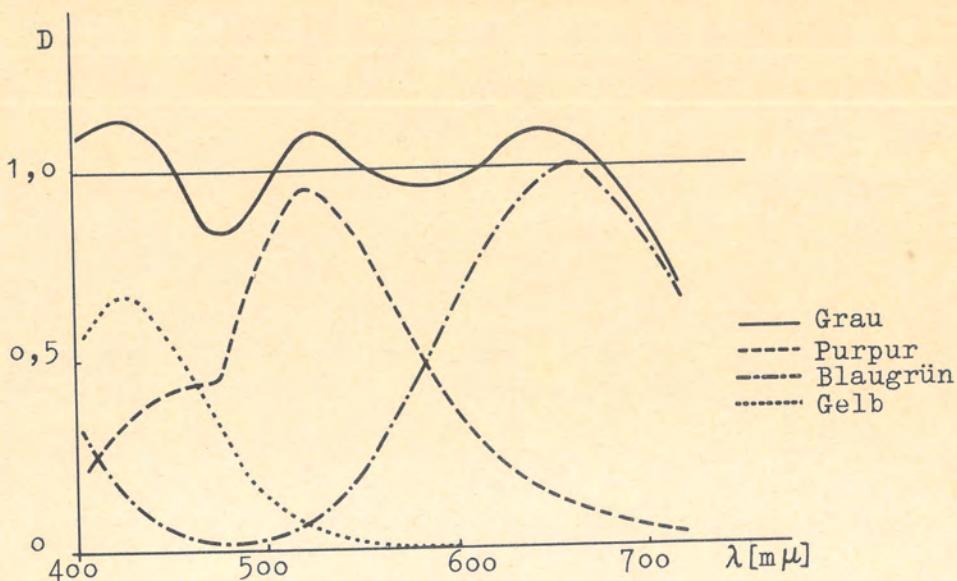
Ehe auf den speziellen Fall der Grauwiedergabe für die hier interessierende autotypische Farbmischung, wie sie beim Mehrfarbenbuchdruck auftritt, eingegangen wird, muß man sich fragen, wie in der Reproduktionstechnik überhaupt der Eindruck eines Grau zustande kommt. Da man Grau keinem Farbton zuordnen kann, spricht man auch von einem sogenannten Unbunt. Den Eindruck von Unbunt hat man dann, wenn die Oberfläche des Druckes Licht aller Spektralgebiete zu einem konstanten Bruchteil zurückwirft, oder ein Filter in allen Spektralgebieten einen konstanten Bruchteil durchläßt. Man sagt, der Remissionsgrad bzw. Transmissionsgrad ist für alle Gebiete des sichtbaren Spektrums konstant, und man stellt dies in der graphischen Darstellung durch eine Gerade dar (Abb. 1). Diese Eigenschaft haben angenähert die schwarzen Druckfarben, wie man sie z.B. als vierte Farbe im Vierfarbendruck verwendet. Man bezeichnet ein solches



A b b i l d u n g 1  
Spektrale Remissionsfunktion von Echtgrau

Grau, das durch einen konstanten Remissionsgrad zustande kommt, als sogenanntes Echtgrau.

Man kann aber auch bei den farbigen Reproduktionsverfahren ohne Schwarz als vierte Farbe ein Grau erzeugen. In diesem Falle wird durch additive bzw. subtraktive Mischung der entsprechend gewählten drei Grundfarben des Verfahrens ein Grau nachgemischt. Das Grau ist in diesem Falle jedoch ein Unechtgrau, d.h. der Remissionsgrad des Grau ist nicht für alle Spektralgebiete konstant, der Verlauf der sogenannten Remissionkurve gibt aber im Mittel ein Grau. Man sucht jedoch das Echtgrau möglichst anzunähern, um bei Änderung des beleuchtenden Lichtes die Abweichungen vom Eindruck Unbunt möglichst klein zu halten. Bisher war stillschweigend vorausgesetzt worden, daß die Lichtquelle, welche die Probe beleuchtet, praktisch für alle Spektralgebiete gleich viel Energie aussendet (sogenannte energiegleiche Beleuchtung), wie dies beim mittleren Sonnenlicht und beim Hochintensitätsbogenlicht praktisch der Fall ist.



A b b i l d u n g 2  
Spektrale Dichtefunktionen der Agfacolorfarbstoffe  
und des daraus ermischbaren Grau

Bei den Agfacolorfarbstoffen ist die Annäherung an Unbunt schon sehr gut (Abb. 2). Es handelt sich beim Agfacolor-Verfahren bekanntlich um eine subtraktive Mischung oder, wie man anschaulicher sagen kann, um eine sogenannte subtraktive Siebung. Denn durch das aus drei Schichten bestehende Farbstoffbild entsteht der Farbeindruck durch Herausfiltern bestimmter Spektralgebiete aus dem weißen Projektionslicht. Unbunt wird dann entstehen, wenn in allen Spektralgebieten praktisch gleich viel durchgelassen wird, d.h. der Transmissionsgrad oder die daraus ableitbare optische Dichte  $D$  sich zu einem über das ganze sichtbare Spektralgebiet etwa konstanten Wert ergänzen. Bei einer derartigen Abstimmung der drei Farbstoffe in den Teilschichten kann man eine Grauskala praktisch farbstichfrei wiedergeben, wenn man gleiche Gradationen in den Teilbildern einhält. In geringem Maße treten dabei zwar Abweichungen auf; diese sind jedoch für praktische Verfahren ohne störenden Einfluß.

Bei additiven Reproduktionsverfahren entsteht der Farbeindruck bekanntlich durch das Übereinanderprojizieren von drei durch Schwarz-Weiß-Diapositive gesteuerte Farblichter, wobei die Diapositive über die Farbausübung gewonnen werden. Es werden also Farblichter addiert und ein Unbunt entsteht dann, wenn bei der Mischung der Anteil des roten, grünen und

blauen Farblichtes für die Empfängerelemente des menschlichen Auges gleich groß ist. Durch geeignete Wahl der Filter entsprechend der Lichtfarbe des Projektionslichtes läßt sich dies leicht erreichen. Bei Einhaltung von gleichen Gradationen in den Teilbildern kann eine Grauskala praktisch farbstichfrei wiedergegeben werden.

Beim Dreifarbenbuchdruck liegen hinsichtlich der Wiedergabe von Grautönen andere und schwierigere Verhältnisse vor, da die hier wirksame autotypische Farbmischung die subtraktive und additive Mischung gleichzeitig enthält. Die Schwierigkeiten wurden in letzter Zeit besonders anschaulich demonstriert durch den Skalendruck im Normblatt DIN 16508 für den Dreifarbenbuchdruck und durch die Mischtabellen der Farbordnung von HICKETHIER<sup>2)</sup>. Dieselbe Erscheinung der Farbtonverschiebung tritt auch bei der autotypischen Mischung im Offsetdruck auf.

Wie oben bereits erwähnt, zeigt sich, daß bei Abstimmung auf ein Schwarz in der vollen Fläche bei Übereinanderdruck von Klischees mit gleicher Rasterpunktgröße bzw. gleichem bedruckten Flächenanteil im Druck in den Stufen einer Grauskala kein Grau erhalten wird, sondern eine deutliche Verschiebung nach Braun bis Rot auftritt. Über dieses zu starke Hervortreten des Rot klagt man auch im allgemeinen im Dreifarbenbuchdruck bei bildmäßigen Vorlagen, und man kann es nur durch manuelle Retusche vermeiden. Die Tatsache, daß auch im bildmäßigen Dreifarbendruck in den Mitteltönen leicht Farbverschiebungen nach Rot auftreten, weist darauf hin, daß die hier angestellten Betrachtungen nicht allein für die Reproduktion von Grautönen wichtig sind, die in den Bildvorlagen verhältnismäßig selten vorkommen, sondern auch allgemeine Bedeutung für den Dreifarbenbuchdruck haben.

#### B. Grundlagen der autotypischen Farbmischung

Um die Verhältnisse, die zu der beobachteten Farbverschiebung führen, deuten zu können, muß man sich zunächst die Entstehung des Farbeindruckes beim Dreifarbenbuchdruck vor Augen führen und dabei berücksichtigen, welche optischen Eigenschaften die heute üblichen Druckfarben haben.

Für die autotypische Farbmischung werden bei der Herstellung der Farbauszüge durch Vorschalten eines Rasters die echten Halbtöne der Vorlage in unechte zerlegt, wie sie für den Druckprozeß erforderlich sind. Ein Teilbild besteht also aus einzelnen Rasterpunkten. Im Druck zeigen die

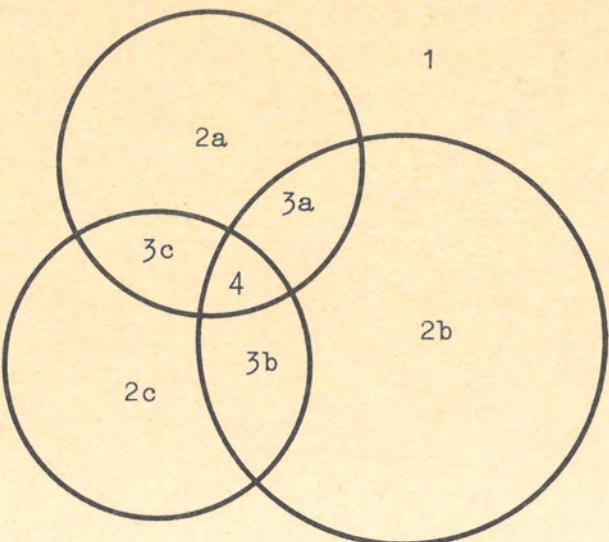
einzelnen Rasterpunkte infolge Ausquetschens der Farbe am Rand eine Wulst, eine Erscheinung, deren Auswirkung noch näher betrachtet werden soll.

Bei Übereinanderdruck der Teilbilder entsteht die Mischfarbe für den Fall hochtransparenter Druckfarben an den Stellen, wo sich zwei oder drei Druckfarben überdecken, rein subtraktiv, d.h. in der gleichen Weise, als ob Farbfilter in den Strahlengang gesetzt würden. Hier absorbieren die Schichten der transparenten Druckfarben Teile des einfallenden und vom Papierweiß reflektierten Lichtes, werden also zweimal wirksam und erzeugen so die subtraktive Mischung. Die idealen Druckfarben eines Drei-farbenbuchdruckes entsprechen also denen eines subtraktiven Verfahrens und sie sollen daher für diese Betrachtungen entgegen dem üblichen Sprachgebrauch im graphischen Gewerbe in der physikalischen Betrachtungsweise mit Gelb, Purpur und Blaugrün bezeichnet werden. Im Übereinanderdruck der drei Teilbilder sind wie in Abbildung 3 schematisch angedeutet außer den drei Grundfarben noch folgende Elemente vorhanden: als Zusammendruck von je zwei Druckfarben die Mischfarben 1. Ordnung (rote, grüne und blaue Elemente) und an Stellen, wo sich die drei Grundfarben überdecken die Mischfarbe 2. Ordnung (Schwarz). Zu diesen Elementen tritt noch das unbedruckte Papier hinzu, so daß insgesamt acht verschiedene Bildelemente vorhanden sind. Infolge der Kleinheit der Elemente kann diese das Auge nicht mehr auflösen und sie mischen sich daher additiv zu einem einheitlichen Farbeindruck.

### C. Deutung der Schwierigkeiten der Grauwiedergabe aus den Eigenschaften der Druckfarben

Daß sich der Farbeindruck im Dreifarbenbuchdruck additiv aus acht Bild-elementen zusammensetzt, wird durch die sogenannte NEUGEBAUER-Gleichung ausgedrückt, die in den USA für die elektronische Farbkorrektur praktisch angewandt wird. An Hand dieser Gleichung hat NEUGEBAUER<sup>3)</sup> bereits darauf hingewiesen, daß man bei Übereinanderdruck drei gleicher Klischees zwangsläufig eine Farbtonverschiebung nach Braun bis Rot erhält, wenn man reale Druckfarben verwendet.

In der NEUGEBAUER-Gleichung werden die Farbvalenzen der acht Bildelemente der autotypischen Mischung in bestimmten Anteilen additiv gemischt dargestellt. Die Größe der Anteile richtet sich danach, welcher Flächenanteil in den Teildrucken mit Druckfarbe bedeckt ist.



1 Papierweiß    3 Mischfarben 1. Ordnung

2 Druckfarben    4 Mischfarbe 2. Ordnung

### A b b i l d u n g 3

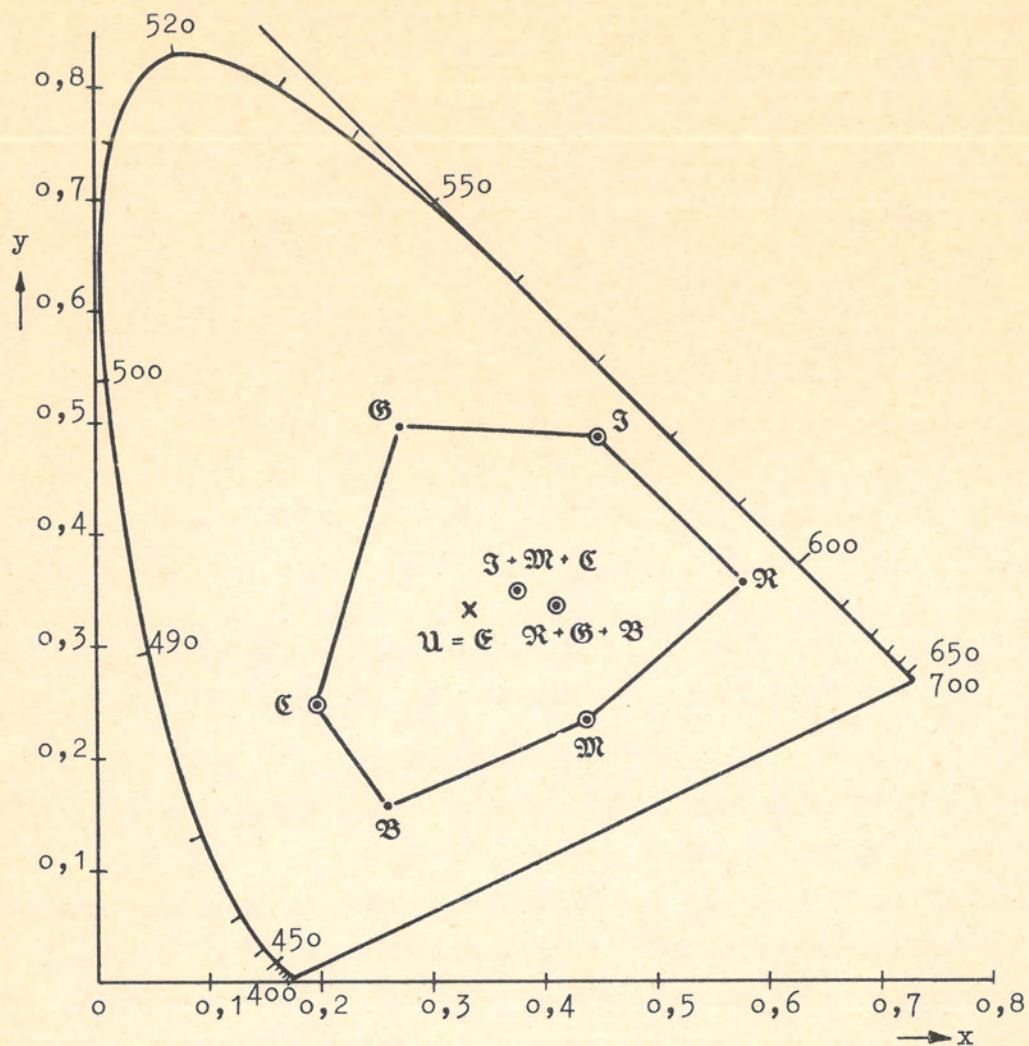
#### Bildelemente der autotypischen Mischung

Auf Grund von Betrachtungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung konnte NEUGEBAUER zwischen den bedruckten Flächenanteilen der Teildrucke  $j$  (Gelbdruck),  $m$  (Purpurdruck) und  $c$  (Blaugründruck), den Farbvalenzen der Bildelemente und der Farbvalenz der resultierenden autotypischen Mischung folgenden Zusammenhang aufstellen<sup>4)</sup>.

$$(1) \quad \mathfrak{F} = (1 - j)(1 - c)(1 - m) \mathfrak{W} + j(1 - m)(1 - c) \mathfrak{S} \\ + (1 - j)m(1 - c) \mathfrak{M} + (1 - j)(1 - m)c \mathfrak{C} + jm(1 - c) \mathfrak{R} \\ + j(1 - m)c \mathfrak{G} + (1 - j)m c \mathfrak{B} + jm c \mathfrak{S}$$

Die Farbvalenz  $\mathfrak{F}$  einer Mischfarbe läßt sich nach dieser Gleichung aus den Farbvalenzen der Bildelemente und der bedruckten Flächenanteile der Teildrucke ermitteln. Soll sich als Ergebnis der Mischung ein Grau ergeben, so muß der resultierende Vektor für die Farbvalenz in Richtung des sogenannten Unbuntvektors fallen. Der Unbuntvektor gibt die räumliche Darstellung für den Farbeindruck Grau.

Stellt man die drei Druckformen für das gelbe, purpurne und blaugrüne Teilbild gleichmäßig her, so wird  $j = m = c = \varphi$  und man erhält für den Zusammendruck, von dem man annehmen müßte, daß er ein neutrales Grau ergibt:

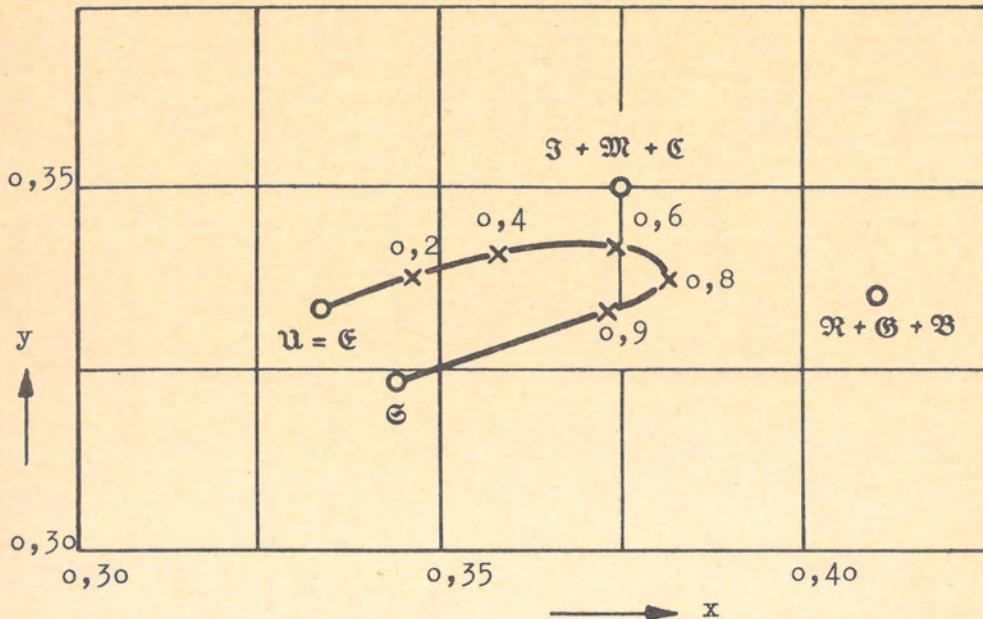


A b b i l d u n g 4

Lage der additiven Mischung der Grundfarben und Mischfarben  
1. Ordnung in der Farbtafel

$$(2) \quad \begin{aligned} \mathfrak{F} &= (1 - \varphi)^3 \mathfrak{W} + \varphi (1 - \varphi)^2 \{ \mathfrak{S} + \mathfrak{M} + \mathfrak{E} \} \\ &\quad + \varphi^2 (1 - \varphi) \{ \mathfrak{R} + \mathfrak{G} + \mathfrak{B} \} + \varphi^3 \mathfrak{S} \end{aligned}$$

Grau kann dies nur ergeben, wenn sämtliche Glieder zusammengefaßt einen Vektor darstellen, der im Farbraum in Richtung des Unbuntvektors, d.h. in Richtung der Verbindungsgeraden zwischen Schwarz- und Weißpunkt liegt. Das Papierweiß soll als Bezugspunkt ein neutrales Weiß sein, der Übereinanderdruck der drei Grundfarben kann bei geeigneter Wahl ebenfalls als neutrales Schwarz angesehen werden. Unter Berücksichtigung dieser Vereinfachung wird im Druck dann Unbunt erreicht, wenn die restlichen beiden Vektoren in Gleichung (2), für die Grundfarben und Mischfarben 1. Ordnung,

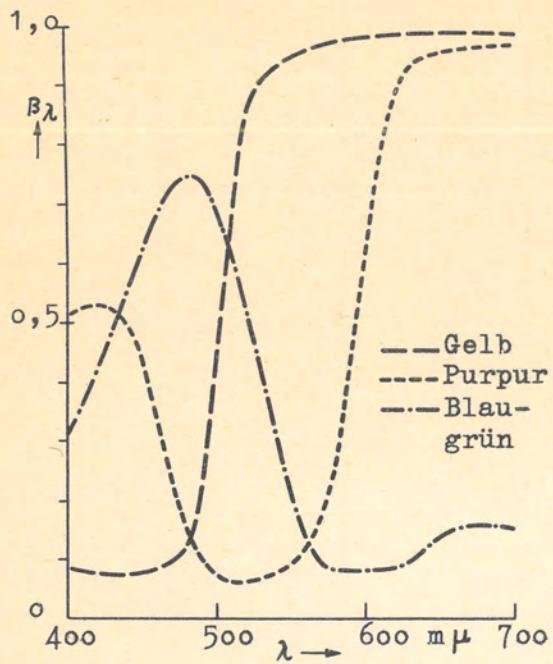


A b b i l d u n g 5  
Farbtafelausschnitt mit den Farborten einer Skala  
bei gleicher Rasterpunktgröße

einen resultierenden Vektor ergeben, der in der Richtung des Weißvektors liegt. Die Summe der beiden Vektoren zeigt jedoch eine wesentliche Verschiebung nach Rot, da sowohl die additive Mischung der Grundfarben  $I + M + C$  als auch der Mischfarben 1. Ordnung  $R + G + B$  nach Rot verschoben sind.

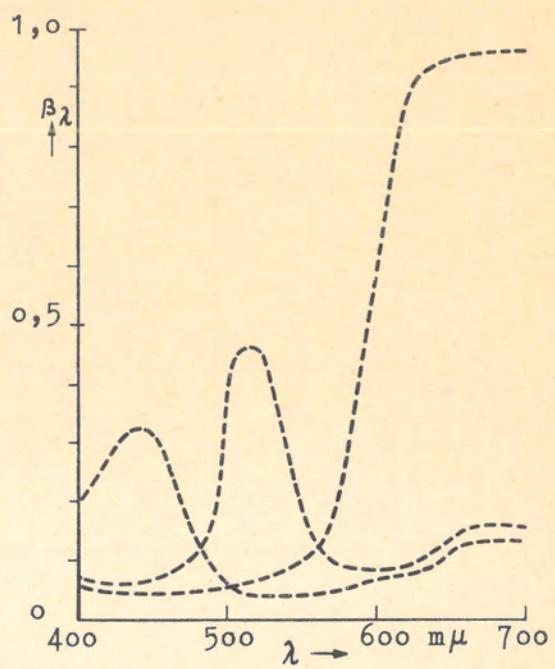
In Abbildung 4 ist die Lage der additiven Farbmischung der Grundfarben und Mischfarben 1. Ordnung in der Farbtafel für eine Druckfarbenskala dargestellt, die hinsichtlich der optischen Erscheinung der genormten Skala für den Dreifarbenbuchdruck entspricht. In die Darstellung sind auch die Farbwertanteile der Grundfarben und Mischfarben 1. Ordnung dieser Skala eingetragen. Das Papierweiß wurde als Bezugspunkt in den Unbuntpunkt verlegt.

In Abbildung 5 sind in einem Ausschnitt der Farbtafel (vgl. Abb. 4) die Farborte des Skalendruckes bei gleicher Rasterpunktgröße eingetragen. Die Punkte sind mit dem bedruckten Flächenanteil beziffert. Es zeigt sich, daß die Farbe für kleine bedruckte Flächenanteile annähernd mit der additiven Mischfarbe der drei Grundfarben zusammenfällt. Für größere bedruckte Flächenanteile biegt der Verlauf der Reihe nach dem Farbort der additiven Mischung der Mischfarben 1. Ordnung um, ohne auch diesen zu erreichen, da



A b b i l d u n g 6

Spektrale Remissionsfunktionen der  
Grundfarben



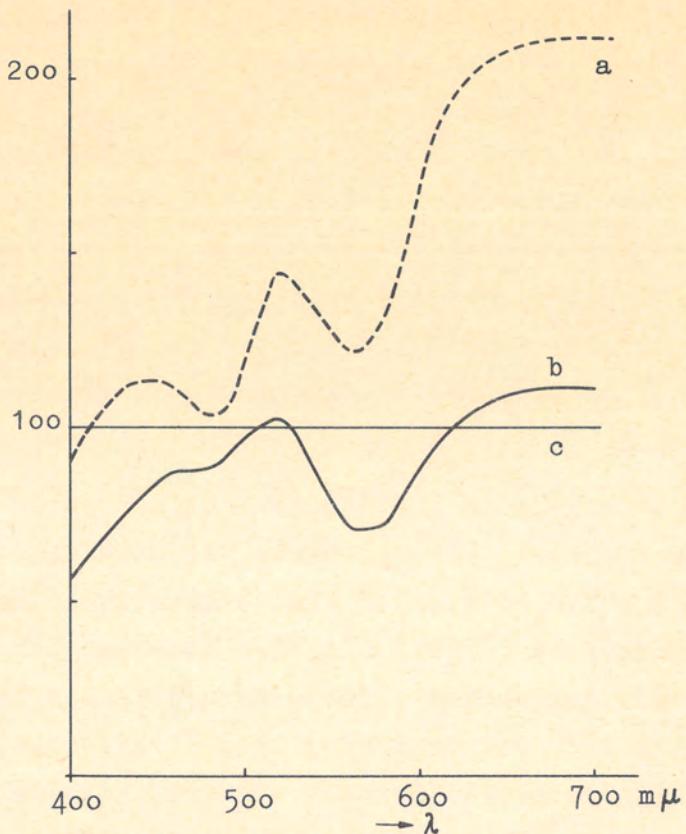
A b b i l d u n g 7

Spektrale Remissionsfunktionen der  
Mischfarben 1. Ordnung

die Faktoren in der Gleichung (2) stets kleiner als 1 bleiben. Für hohe bedruckte Flächenanteile läuft die Reihe auf den Punkt der Mischfarbe 2. Ordnung (Schwarz) zu. Dieser ist nicht mit dem Unbuntpunkt identisch, da man das Schwarz bei der Farbskala etwas nach Rot verschoben wählt, um dadurch "wärmere" Tiefen zu erhalten.

Eine anschauliche Deutung der Farbtonverschiebung kann man sich leicht aus den sogenannten Remissionskurven (Abb. 6 und 7) überlegen, die an den Grundfarben und Mischfarben 1. Ordnung einer Farbskala gemessen wurden, welche die Anforderungen an die Normskala erfüllt. Die Remissionskurve erhält man, wenn man den Remissionsgrad für die verschiedenen Spektralgebiete aufträgt. Der Remissionsgrad ist dabei gegeben durch das Verhältnis des von der Probe diffus reflektierten spektralen Lichtes zu dem vom unbedruckten Papier remittierten Licht.

Zur Vereinfachung des Gedankenganges sollen zwei Sonderfälle des Übereinanderdruckes von drei Teilbildern betrachtet werden. Der erste Fall ist der kleiner bedruckter Flächenanteile, bzw. kleiner Rasterpunktgröße. Man stellt fest, daß die Rasterpunkte vorwiegend nebeneinander liegen und solche Bildstellen also eine additive Mischung der drei Grundfarben zeigen.



A b b i l d u n g 8  
Additive Mischung der Grundfarben

Im zweiten Falle, bei großen bedrucktem Flächenanteil, treten vorzugsweise die Mischfarben 1. Ordnung auf.

Betrachtet man zunächst den ersten Fall, bei dem in der Hauptsache Rasterpunkte der drei Grundfarben nebeneinander gedruckt vorliegen. Das Auge mischt die Punkte infolge ihrer Kleinheit additiv. Der Eindruck eines Unbunt kann nur dann entstehen, wenn die von den gelben, purpurnen und blaugrünen Teilbildern hervorgerufenen Farblichter gleich stark zur additiven Mischung beitragen. Die Remissionskurven zeigen jedoch, daß unter Voraussetzung einer angenähert energiegleichen Beleuchtung in der additiven Mischung ein starkes Übergewicht des roten Spektralgebietes gegenüber dem blauen auftritt. Dies zeigt sich besonders deutlich, wenn man das Ergebnis der additiven Mischung der Farblichter der Grundfarben grafisch darstellt (Kurve a in Abb. 8). Nur im Falle von Optimalfarben - das sind Farben mit einem Remissionsgrad, der im Spektralgebiet der Absorption gleich Null, im Spektralgebiet des Durchlasses gleich 100 % ist

(Kurve c in Abb. 8) -, würde sich als additive Mischung Unbunt als Echtgrau ergeben, und man würde in allen Stufen der Skala bei gleicher Rasterpunktgröße der Teilbilder Grau erhalten. Da jedoch die realen Druckfarben wesentlich vom Charakter der Optimalfarben abweichen und alle in der Praxis verwendeten Druckfarben etwa die in Abbildung 6 gezeigten charakteristischen Remissionskurven aufweisen, d.h. hoher Remissionsgrad von Gelb und von Purpur im Rot und niedriger Remissionsgrad von Blaugrün und von Purpur im blauen Spektralgebiet, treten diese Schwierigkeiten stets auf und es gibt bisher keine Farbskalen, bei denen diese Mängel nicht vorhanden sind.

Besonders deutlich zeigt sich das Übergewicht des roten Spektralgebietes bei den Mischfarben erster Ordnung, deren additive Mischung man in dem zweiten Sonderfall hoher bedruckter Flächenanteile betrachten muß. Schon Betrachtung des Farbortes für die additive Mischung der Mischfarben 1. Ordnung (Abb. 4) fiel auf, daß für diesen Fall die Rotverschiebung besonders stark ist. Der Grund hierfür läßt sich leicht aus den Remissionskurven der Mischfarben 1. Ordnung erkennen, da die Mischfarben Blau und Grün gegenüber Rot eine sehr starke Verschwärzung zeigen. Da es sich auch in diesem Falle um eine Rotverschiebung handelt, erklärt sich die etwa konstante Farbtonverschiebung über die ganze Skala von kleinen bis zu hohen Werten des bedruckten Flächenanteiles.

Es hat sich somit gezeigt, daß die Farbtonverschiebung bei Übereinanderdruck von drei gleichen Klischees eine Gesetzmäßigkeit der autotypischen Farbmischung ist, wenn man reale Druckfarben benutzt. Um die Farbverschiebungen zu vermeiden, bleibt nur die Möglichkeit einer Korrektur. Es muß die Intensität von Gelb und Purpur bei der additiven Mischung so herabgesetzt werden, daß ein Unbunt möglichst gut angenähert wird (Kurve b in Abb. 8). Beim Dreifarbenbuchdruck erreicht man dies dadurch, daß die Rasterpunktgrößen des gelben und purpurnen Teilbildes herabgesetzt werden und zwar soweit, daß sich ein Unbunt in den einzelnen Stufen ergibt.

Zur Abstimmung auf Grau für die autotypische Farbmischung des Dreifarbenbuch- und Offsetdruckes muß daher im Gegensatz zu den Verfahren der additiven und subtraktiven Farbenphotographie eine besondere Graubedingung eingeführt werden, welche man in folgender Form ausdrücken kann:

Um im Dreifarbenbuchdruck durch additive Mischung der Bildelemente ein neutrales Grau zu erhalten, muß die Größe der Rasterpunkte bzw. der bedruckten Flächenanteile in den Teilbildern je nach Grauhelligkeit verschieden abgestimmt werden.

### III. Die charakteristischen Kurven der Teilbilder für den Dreifarbenbuchdruck

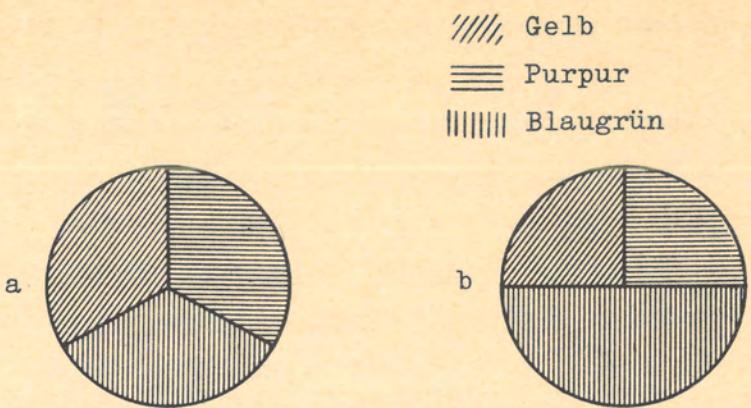
#### A. Methoden zur Bestimmung der charakteristischen Kurven

Es war gezeigt worden, daß im Dreifarbenbuchdruck, um die Teilbilder auf Unbunt abzustimmen, die Rasterpunktgrößen von Gelb und Purpur gegenüber denen im blaugrünen Teilbild herabgesetzt werden müssen. Wie weit man die Rasterpunktgrößen zueinander verändern muß, kann man zunächst für die beiden Sonderfälle an einem einfachen Versuch zeigen.

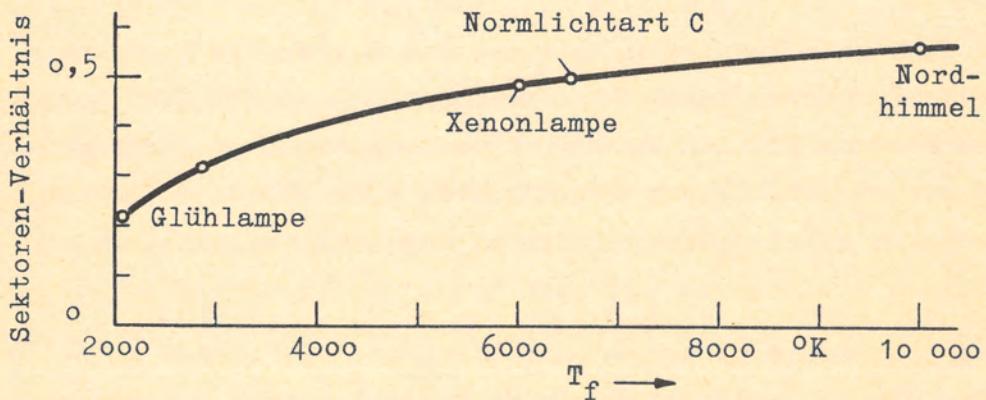
Dazu muß man sich überlegen, daß man das Papierweiß angenähert als ein ideales Weiß ansehen kann. Die Abweichungen der üblichen holzfreien Kunstdruckpapiere vom idealen Weiß sind vernachlässigbar klein gegenüber den Korrekturen zur Einhaltung der Graubedingung. Ebenso kann man den Übereinanderdruck aller drei Grundfarben angenähert als neutrales Schwarz ansehen.

Man kann sich daher darauf beschränken, die restlichen sechs Bildelemente (drei Grundfarben und drei Mischfarben) auf Unbunt abzustimmen. In dem ersten Sonderfall kleiner bedruckter Flächenanteile kann man sich Sektoren der Grundfarben auf einen Kreisel aufspannen und bei Rotation dieser Sektoren die additive Mischung der Rasterpunkte nachbilden. Wählt man die drei Sektoren gleich groß (Abb. 9a), das entspricht drei Klischees mit gleicher Rasterpunktgröße, so erhält man die übliche bräunliche bis rötliche Farbtonverschiebung. Erst wenn man die Sektoren für Gelb und Purpur erheblich herabsetzt (Abb. 9b), erhält man ein Grau. Und zwar ergibt sich Unbunt, wenn man das Sektorenverhältnis von Gelb zu Purpur zu Blaugrün etwa wie  $0,5 : 0,5 : 1$  wählt. Der genaue Wert schwankt etwas mit der Lichtfarbe des beleuchtenden Lichtes.

Die Abbildung 10 zeigt die Abhängigkeit der Sektoreneinstellung für Grauabgleich von der Farbtemperatur der Beleuchtungslichtquelle. Ein Sektorenverhältnis von  $0,5 : 0,5 : 1$  für Gelb : Purpur : Blaugrün ist danach gültig



A b b i l d u n g 9  
Kreiselversuch



A b b i l d u n g 10  
Sektorenverhältnis zur Ermischung von Grau bei verschiedener  
Farbtemperatur der Beleuchtung

für Tageslichtbeleuchtung, d.h. in einem Farbtemperaturbereich von etwa 5000 bis  $6000^{\circ}\text{K}$ . In die Abbildung sind die genauen Meßwerte für eine Beleuchtung mit Normlichtart C (etwa  $6500^{\circ}\text{K}$ ) und einer Xenonlampe mit einer gemessenen Farbtemperatur von  $6000^{\circ}\text{K}$  eingetragen. Wird der Versuch bei einer Beleuchtung mit stärkerem Blaugehalt (am Nordfenster bei klarem Himmel, FT etwa  $10\ 000^{\circ}\text{K}$ ) ausgeführt, so wird bereits mit einem Verhältnis von  $0,56 : 0,56 : 1$  Unbunt erreicht. Benutzt man dagegen für die Beleuchtung Glühlampenlicht (FT  $2850^{\circ}\text{K}$  bzw.  $2048^{\circ}\text{K}$ ), so darf der Anteil von Gelb und Purpur nur noch 32 % bzw. 22 % des blaugrünen Teilbildes betragen. Es zeigt sich somit, daß im Bereich hoher Farbtemperaturen,

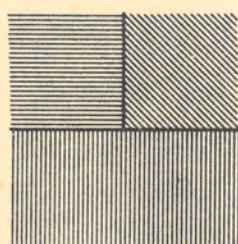
wo nur geringe Abweichungen von der energiegleichen Beleuchtung auftreten, die Einstellung für Ermischung eines Grau nur wenig variiert. Bei Farbtemperaturen unterhalb  $5000^{\circ}\text{K}$ , bei denen sich die Energieverteilung bei abnehmender Farbtemperatur wesentlich stärker ändert, tritt auch eine stärkere Verschiebung der Sektoreneinstellung für Abstimmung auf Grau zutage.

Der andere Sonderfall ist der hoher bedruckter Flächenanteile. Hier treten in der Hauptsache die Mischfarben 1. Ordnung auf.

Spannt man solche Flächenandrücke auf den Kreisel, so bestätigen sich die Betrachtungen, die an Hand der Remissionskurve aufgestellt wurden. Erst, wenn man den Rotanteil erheblich herabsetzt, kann man ein Unbunt erzielen. Schlüsse auf das dafür notwendige Rasterpunktverhältnis lassen sich in diesem Falle nicht ziehen.

Die Bestimmung des Sektoren- bzw. Rasterpunktverhältnisses mit dem Kreisel führt zwar die Verhältnisse der additiven Mischung der Rasterpunkte sehr anschaulich vor Augen, eine exakte Meßmethode stellt dieses Verfahren jedoch nicht dar. Es kann zwar Hinweise geben, wie groß das Rasterpunktverhältnis etwa sein muß, eine exakte Bestimmung der Rasterpunktgrößen für die Reproduktion einer Grauskala ist auf diesem Wege nicht möglich, da es für das Rasterpunktverhältnis nur einen bestimmten Wert ergibt. Wie eine exakte rechnerische Ermittlung der Rasterpunktgrößen jedoch zeigt, ändert sich das Verhältnis mit der Helligkeit der Graustufe.

Das gleiche gilt auch für ein Verfahren, daß praktisch nach demselben Prinzip arbeitet (Patent der AGFA, Leverkusen). Man bringt in den einen Strahlengang eines Pulfrich-Photometers drei Felder der Farbskala, deren Größe meßbar verändert werden kann (Abbildung 11). In den anderen Strahlen-



A b b i l d u n g 11  
Nachmischen von Grau

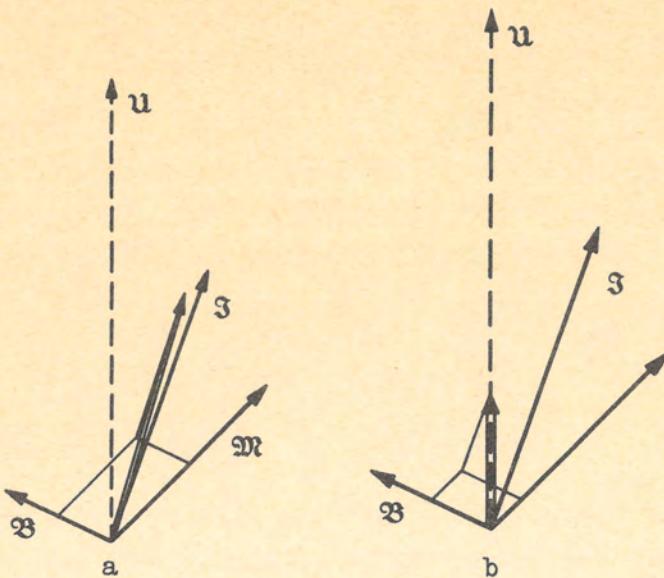
gang bringt man das nachzumischende Grau. Durch Veränderung der im Strahlengang wirksamen Größe der Felder kann man Unbunt nachmischen. Auf Helligkeit wird durch die Blende des Photometers abgestimmt. Aus der Größe der Felder kann man auf das notwendige Rasterpunktverhältnis schließen. Wie beim Kreiselversuch erhält man für alle Stufen der Grauskala das gleiche Rasterpunktverhältnis. Dies ist jedoch, wie die exakte Berechnung zeigen wird, eine nicht zulässige Vereinfachung.

Das Verfahren des Nachmischens mit den Sektoren eines Kreisels oder mit den Farbfeldern im Pulfrich-Photometer gestattet es jedoch, schnell und ohne zeitraubende Rechnung für jede beliebige Farbskala das ungefähre Rasterpunktverhältnis abzuschätzen. Ferner kann man wie oben gezeigt wurde, sehr anschaulich den Einfluß verschiedener beleuchtender Lichtquellen (Tageslicht, Glühlampenlicht, usw.) studieren. Außerdem kann man feststellen, wie groß Abweichungen in der Rasterpunktgröße sein dürfen, ohne daß sich störende Abweichungen von Unbunt bemerkbar machen. Es wurde mit Hilfe dieser Methode festgestellt, daß eine Veränderung des Rasterpunktverhältnisses um etwa 5 % bereits eine deutliche störende Farbtonverschiebung verursachen kann.

Mit der beschriebenen Methode des Nachmischens am Kreisel läßt sich das für Abstimmung auf Grau notwendige Rasterpunktverhältnis nur für kleine bedruckte Flächenanteile bestimmen. Es interessierte natürlich, den genauen Verlauf des Verhältnisses der Rasterpunktgrößen bzw. bedruckten Flächenanteile im Druck für die Reproduktion einer Grauskala zu kennen. Dieses Problem kann rechnerisch für eine bestimmte Farbskala gelöst werden, wenn deren Grundfarben und Mischfarben 1. Ordnung hinsichtlich der optischen Erscheinung festgelegt sind. Der Berechnung liegen die Farbmaßzahlen der Normfarbenskala für den Dreifarbenbuchdruck nach DIN 16508 bei Normlichtart C zugrunde.

Die folgenden Ausführungen sind für das Allgemeinverständnis der praktischen Ergebnisse nicht unbedingt erforderlich und können daher im gegebenen Falle übergangen werden.

Der Weg, der beschritten werden muß, um die bedruckten Flächenanteile in den Teilbildern für eine farbstichfreie Wiedergabe einer Grauskala zu berechnen, kann aus der Graubedingung abgelesen werden, die man zu diesem Zweck in eine vektorielle Form bringt. Sie lautet dann:



A b b i l d u n g 12

Schema der Korrektur der Anteile der Grundfarben

Um im Dreifarbenbuchdruck ein neutrales Grau zu erhalten, müssen die Vektoren, welche die Farbvalenzen der Bildelemente darstellen, in solchen Anteilen addiert werden, daß der resultierende Vektor in die Richtung des Unbuntvektors fällt.

Zu einer angenäherten Lösung des Problems kommt man, wenn man wiederum den Sonderfall kleiner und großer bedruckter Flächenanteile betrachtet. Den Einfluß von Papierweiß braucht man nicht zu berücksichtigen, da die Farbmaßzahlen der Farbskala so bestimmt wurden, als ob der Beobachter sich auf das Papierweiß adaptiert habe, d.h. der Farbort von Papierweiß in der Farbtafel wurde in dem Unbuntpunkt verlegt.

Für den Fall kleiner bedruckter Flächenanteile braucht man nur die Farbvalenzen der Grundfarben der Farbskala zu betrachten. Grau wird dann erreicht werden, wenn nicht, wie in Abbildung 12a gezeigt, gleiche Anteile gemischt werden, sondern durch geeignete Wahl der Anteile eine Mischung erhalten wird, deren räumliche Darstellung in Richtung des Unbuntvektors fällt (Abb. 12b).

Der mathematische Zusammenhang für diesen Fall, der auch beim Kreiselversuch benutzt wird, lautet:

$$j \mathfrak{S} + m \mathfrak{M} + c \mathfrak{C} = \mathfrak{R},$$

wobei  $\mathbf{R}$  der resultierende Vektor der additiven Mischung ist. Diese Gleichung erhält man aus der NEUGEBAUER-Gleichung für sehr kleine bedruckte Flächenanteile. Für die hier angestellten Berechnungen wurde jedoch angenommen, daß zwar in der Hauptsache die Elemente der Grundfarben wirksam werden, jedoch die bedruckten Anteile gegen 1 nicht vernachlässigbar klein sind. Es wurde daher die Bedingung für ein neutrales Grau nach der NEUGEBAUER-Gleichung in folgender Form aufgestellt:

$$(3) \quad j(1-m)(1-c)\mathfrak{I} + (1-j)m(1-c)\mathfrak{M} + (1-j)(1-m)c\mathfrak{C} = \mathbf{R}$$

Hierin müssen die bedruckten Flächenanteile  $j$ ,  $m$  und  $c$  so gewählt werden, daß  $\mathbf{R}$  in Richtung des Unbuntvektors zeigt, d.h. die Normfarbwerte  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  von  $\mathbf{R}$  müssen gleich groß sein.

In den der Gleichung (3) entsprechenden drei skalaren Gleichungen stehen die für die Normlichtart C berechneten Farbwerte von  $\mathfrak{I}$ ,  $\mathfrak{M}$  und  $\mathfrak{C}$ . Der unbekannte Farbwert von  $\mathbf{R}$  wird mit  $K$  bezeichnet:

$$(4) \quad \begin{aligned} j(1-m)(1-c) & 79,4 + (1-j)m(1-c) 48,8 + (1-j)(1-m)c 22,0 = K \\ j(1-m)(1-c) & 86,3 + (1-j)m(1-c) 26,2 + (1-j)(1-m)c 27,5 = K \\ j(1-m)(1-c) & 11,7 + (1-j)m(1-c) 36,7 + (1-j)(1-m)c 61,8 = K \end{aligned}$$

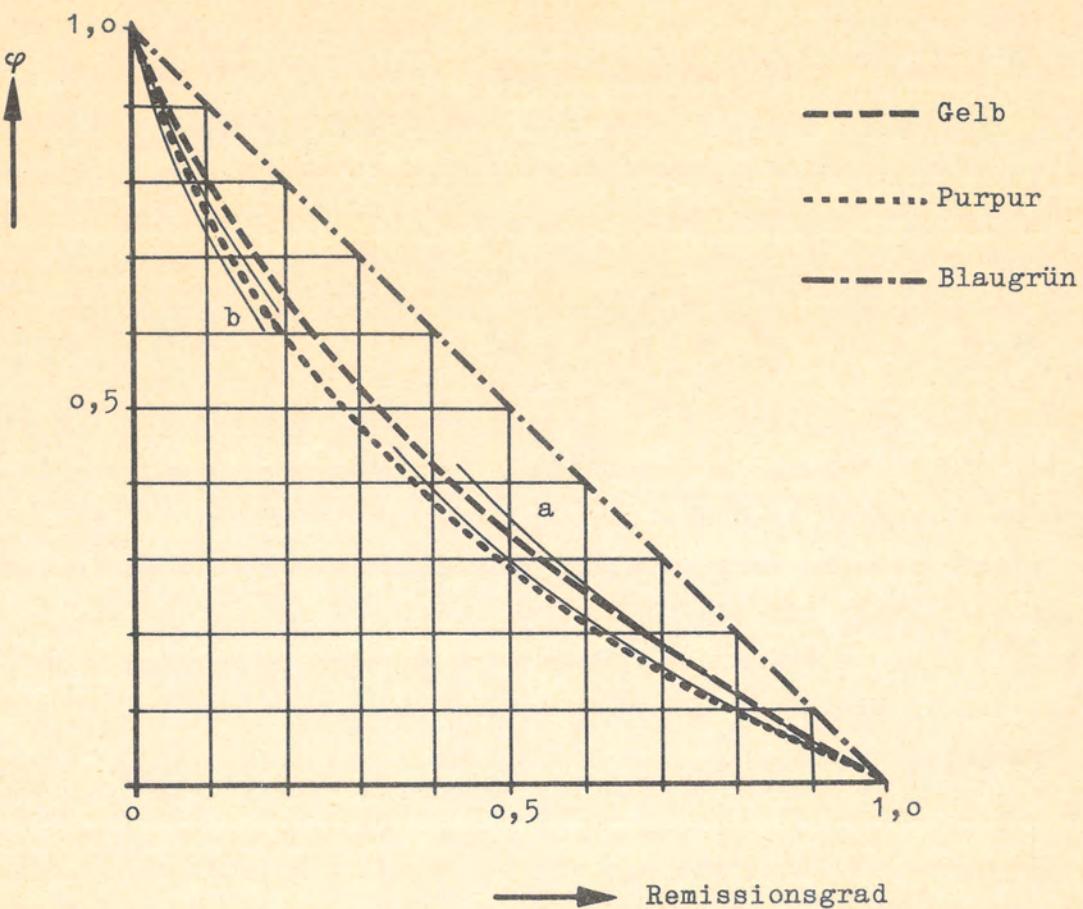
Zur Lösung des Gleichungssystems (4) kann man die drei Produkte mit den gesuchten Größen  $j$ ,  $m$  und  $c$  als Unbekannte auffassen und nach diesen auflösen. Man erhält dann folgendes Gleichungssystem:

$$(5) \quad \begin{aligned} j(1-m)(1-c) & = C_1 \cdot K \\ (1-j)m(1-c) & = C_2 \cdot K \\ (1-j)(1-m)c & = C_3 \cdot K \end{aligned}$$

Bei vorgegebenem Wert des bedruckten Flächenanteiles  $c$  des blaugrünen Teilbildes kann man durch entsprechende Kombinationen aus (5) Bestimmungsgleichungen für  $j$  und  $m$  gewinnen. Man erhält Gleichungen von der Form

$$(6) \quad j \text{ bzw. } m = \frac{1}{1 + \frac{1 - c}{c} k}$$

wobei  $k$  sich als Verhältnis der in den Gleichungen (5) auftretenden Konstanten  $C_1$  ergibt. Diese Beziehung führt zu dem charakteristischen durch-



A b b i l d u n g 13  
Charakteristische Kurven für die autotypische Mischung

gebogenen Verlauf von  $j$  und  $m$  für verschiedene Helligkeitswerte des Grau, wenn man für  $c$  eine lineare Abhängigkeit annimmt (Kurven a in Abb. 13). Bei dieser Annahme stimmen die auf der Abszisse angegebenen Helligkeitswerte in guter Näherung mit dem Druckausfall überein. Führt man die gleiche Überlegung für die additive Mischung der Mischfarben 1. Ordnung durch, so erhält man die notwendige Korrektur für die Bereiche mit guter Näherung, in denen die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein von Übereinanderdrucken der Grundfarben, d.h. von Stellen mit Mischfarben 1. Ordnung, besonders groß ist, also für große Werte des bedruckten Flächenanteiles. Wie man infolge der größeren Farbverschiebung für die Mischfarben 1. Ordnung erwartet, sind die aus der Graubedingung berechneten Kurven in diesem Bereich stärker durchgebogen (Kurven b in Abb. 13).

Der insgesamt notwendige Verlauf der drei bedruckten Flächenanteile wird zwischen diesen beiden Grenzkurven liegen und sich für kleine bedruckte

Anteile an die Kurven a, für große Anteile an die Kurven b anschmiegen. Um den interessierenden Gesamtverlauf rechnerisch zu ermitteln, muß man verlangen, daß die additive Mischung der drei Grundfarben und der drei Mischfarben 1. Ordnung ein Grau ergibt. Die mathematische Formulierung dafür lautet in Vektorschreibweise:

$$(7) \quad j(1-m)(1-c)\mathfrak{J} + (1-j)m(1-c)\mathfrak{M} + (1-j)(1-m)c\mathfrak{C} \\ + jm(1-c)\mathfrak{R} + j(1-m)c\mathfrak{G} + (1-j)m c\mathfrak{B} = \mathfrak{R}$$

Die Auflösung des Gleichung (7) entsprechenden skalaren Gleichungssystems bereitet einige Schwierigkeiten, die aber überwunden werden, wenn man folgendes Verfahren anwendet. Man benutzt die Tatsache, daß man bei Annahme eines linearen Verlaufes des bedruckten Anteiles  $c$  in Abhängigkeit von der Helligkeit für ein bestimmtes gesuchtes Verhältnis von  $j$ ,  $m$  und  $c$  dem Anteil  $c$  einen bekannten festen Wert zuordnen kann. Man kann damit die Glieder in Gleichung (7) so zusammenfassen, daß man diese in folgende Form bringen kann:

$$(8) \quad jA + mB + jmC = \mathfrak{R} - D$$

Die Größen  $A$ ,  $B$ ,  $C$  und  $D$  sind bei einer bestimmten Wahl von  $c$  bekannte, feste Größen.  $\mathfrak{R}$  ist hier wiederum der Vektor, der sich aus der additiven Mischung der drei Grundfarben und der drei Mischfarben 1. Ordnung bei geeigneter Wahl von  $j$ ,  $m$  und  $c$  in Richtung des Unbuntvektors ergibt und zunächst unbekannt ist.

Man löst nun für einen bestimmten Wert von  $c$  das der Gleichung (8) entsprechende skalare Gleichungssystem nach  $j$ ,  $m$  und dem Produkt  $j \cdot m$  auf und erhält dabei drei Gleichungen von der Form

$$(9) \quad j, m \text{ bzw. } j \cdot m = C_{1i}K + C_{2i}$$

wobei  $i = 1, 2, 3$ , für  $j, m, j \cdot m$ .

Faßt man die drei Gleichungen (9) zusammen, so ergibt sich eine quadratische Gleichung zur Bestimmung des Wertes von  $K$ . Nach Kenntnis des Beitrages  $K$  des von der additiven Mischung gebildeten Vektors  $\mathfrak{R}$  kann man aus den Gleichungen (9) für den vorgegebenen Wert des bedruckten Flächenanteils  $c$  die Werte für  $j$  und  $m$  bestimmen.

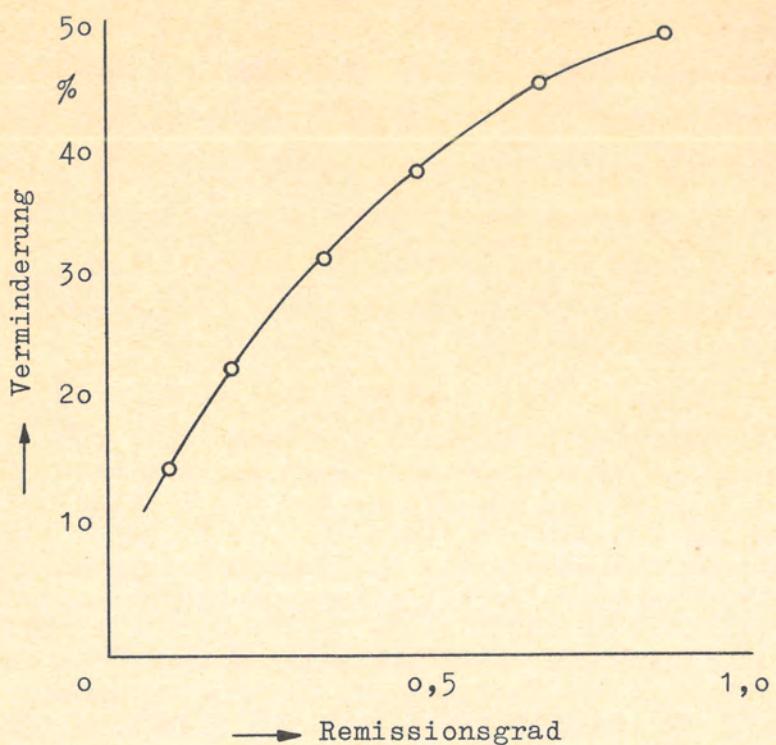
Wiederholt man die Berechnung für verschiedene Werte von  $c$ , so erhält man für die Rasterpunktgrößen bei Reproduktion einer Grauskala einen Kurvenzug, der sich an die für die Sonderfälle berechneten Kurven gut anschmiegt. Allerdings ist hierzu ein beträchtlicher Rechenaufwand erforderlich, der sich jedoch lohnen dürfte, wenn es sich wie in diesem Falle um eine festgelegte Druckfarbenskala handelt. Das Ergebnis der Berechnung für die in dieser Arbeit verwendeten Normfarbenskala zeigt ebenfalls Abbildung 13.

Soll der Verlauf der bedruckten Flächenanteile für eine andere Farbskala berechnet werden, so muß man natürlich zunächst die Farbwerte von Grund- und Mischfarben bei Abstimmung auf Schwarz ermitteln und mit diesen Werten die Berechnung neu ausführen. Qualitativ ändert sich dabei an dem Kurvenbild für den Zusammenhang von bedrucktem Flächenanteil und Helligkeit der Grauskala nichts, da die verschiedenen Druckfarbenskalen stets einen ähnlichen Verlauf in den Remissionsfunktionen aufweisen. Lediglich die Durchbiegung der Kurven dürfte sich für eine andere Wahl der Druckfarbenskala (z.B. ein rötliches Purpur usw.) etwas ändern.

In einem großen Bereich stimmen die für die Sonderfälle berechneten Kurven, die ebenfalls in Abbildung 13 eingezeichnet sind, praktisch mit den exakt berechneten überein, so daß man in einem großen Gebiet etwa bis Kreuzlage mit der Näherungsrechnung auskommt.

Wie das Ergebnis der Berechnung (Abb. 13) zeigt, ist der mit dem Kreiselversuch gefundene Wert nur in einem sehr kleinen Bereich richtig. Nur zwischen Weiß und einem Grau von etwa 80 % Remissionsgrad darf zur Erzielung eines Grau die Rasterpunktgröße von Gelb und Purpur bis auf 50 % der von Blaugrün herabgesetzt werden. Für höhere Schwärzungswerte der Graustufe ist diese starke Korrektur nicht nötig, und man kommt mit einer wesentlich geringeren Verminderung der Rasterpunktgröße aus, wie dies Abbildung 14 zeigt, in der die Verminderung der Rasterpunktgröße von Gelb und Purpur gegenüber Blaugrün für die Stufen der Grauskala in Prozent angegeben ist. Es ist somit gezeigt, daß die Meßmethode durch Nachmischen mit den Grundfarben nur in einem sehr kleinen Bereich richtige Werte ergibt und daher, wie oben bereits angeführt, nur für Vergleichsversuche anwendbar ist.

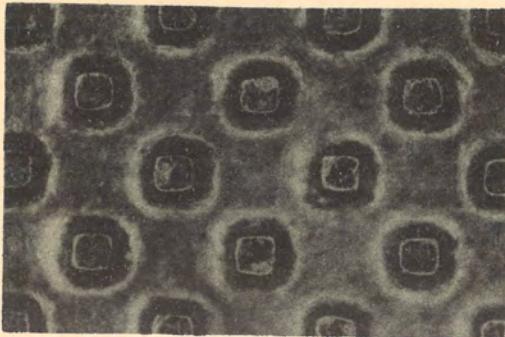
Aus den berechneten Kurven kann man folgende für die Praxis wichtige Tatsache ablesen: Soll bei einem Druck mit der Normskala für den Dreifarben-



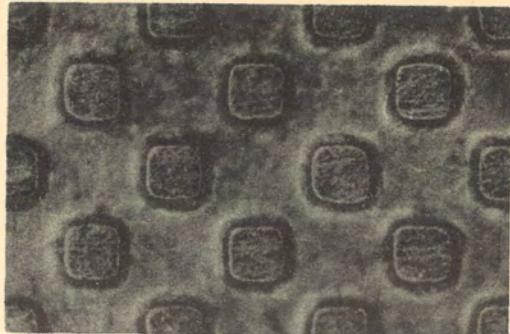
A b b i l d u n g 14  
Verminderung der Rasterpunktgröße von Gelb und Purpur  
gegenüber Blaugrün

buchdruck ein Grau entstehen, z.B. ein Grau vom Remissionsgrad 50 %, so muß ein blaugrünes Teilbild mit einem bedruckten Flächenanteil von etwa 0,5 mit einem gelben Teilbild mit 0,33 und einem purpurroten Teilbild von 0,18 bedruckten Flächenanteil kombiniert werden. Oder, wenn man sich überlegt, daß die Werte für das gelbe und purpurrote Teilbild nur wenig differieren und man sie daher angenähert gleich setzen kann: Es muß bei einem bedruckten Flächenanteil von 0,5 für das blaugrüne Teilbild das gelbe und purpurrote Teilbild so gehalten werden, daß in diesen der bedruckte Flächenanteil etwa 0,3 beträgt; d.h. die bedruckten Flächenanteile müssen im Verhältnis 1 : 0,6 stehen.

Den Chemigraphen dürfte es interessieren, welche Punktgrößen im Klischee zur Einhaltung der Graubedingung kombiniert werden müssen. Das Grau von 50 % Remissionsgrad soll wieder als Beispiel gewählt werden. In Abbildung 15 sind Mikroaufnahmen von zwei Versuchsklischees bei gleichem Abbildungsmaßstab wiedergegeben, welche diese Bedingung erfüllen. Verwendet man das Klischee (Mikroaufnahme 15a) mit der kleineren Rasterpunktgröße



A b b i l d u n g 15a  
Mikroaufnahme des Gelb-  
(bzw. Purpur-) Klischees



A b b i l d u n g 15b  
Mikroaufnahme des Blau-  
grün-Klischees

für das gelbe und purpurne Teilbild, für die man die Rasterpunktgröße wie oben bereits gezeigt, angenähert gleich setzen kann, so muß man für das blaugrüne Teilbild eine Rasterpunktgröße verwenden, wie sie uns die Mikroaufnahme 15b zeigt. Das Ergebnis des Druckes ist dann ein Grau mit einem Remissionsgrad von 50 %. Der genaue Zusammenhang zwischen Rasterpunktgröße im Druck und Rasterpunktgröße im Klischee, der hier eine Rolle spielt, ist wesentlich von der Kombination Druckfarbe-Druckpapier abhängig. Die Betrachtungen gelten für ein normales, weißes holzfreies Kunstdruckpapier.

#### B. Experimentelle Prüfung der Ergebnisse

Um die Richtigkeit der für die Normfarbenskala berechneten Kurven nachzuprüfen, wurden Skalendrucke mit sogenannten Sechseckklischees hergestellt. Das sind Klischees mit einer sechseckigen Begrenzung. Die beim Dreifarbenbuchdruck notwendige verschiedene Rasterwinkelung kann man durch Drehen des Klischees erreichen. Man kann also mit ein und demselben Klischee die drei Teildrucke ausführen. Das Ergebnis eines Andruckes mit gleichem bedruckten Flächenanteil in den Teilbildern zeigt die übliche bräunliche bis rötliche Farbtonverschiebung (siehe Anhang Seite 35). Druckt man dagegen mit einem Rasterpunktverhältnis, das den Ergebnissen der Berechnung entspricht, so erhält man eine sehr gute Annäherung an Grau. Dabei werden die beiden berechneten Kurven für Gelb und Purpur durch eine Mittelwertkurve ersetzt. Lediglich für sehr hohe bedruckte Flächenanteile zeigten sich kleine Abweichungen von dem zu erwartenden

Unbunt. Hier machen sich als Auswirkung des ungleichmäßigen Punktaufbaues infolge Ausquetschens beim Druck Abweichungen von dem Mischungsgesetz bemerkbar, das der Berechnung zugrunde gelegt wurde.

Die Druckversuche wurden zunächst in der Druckreihenfolge Gelb, Rot, Blau ausgeführt. Aber auch bei einer Reihenfolge von Rot, Gelb, Blau und Blau, Gelb, Rot waren prinzipiell die gleichen Erscheinungen feststellbar. Es zeigte sich, daß die Farbverschiebungen durch die verschiedene Druckreihenfolge klein gegenüber der charakteristischen Rotverschiebung sind, und daß sie auch an der erforderlichen Korrektur zur Einhaltung der Graubedingung nichts wesentliches ändern.

Für die Ableitung des Kurvenverlaufes zur Einhaltung der Graubedingung ist die NEUGEBAUER-Gleichung benutzt worden. In dieser tritt der sogenannte bedruckte Flächenanteil auf. Das ist ein Maß dafür, welcher Anteil der Oberfläche bedruckt ist. Bei Betrachtung eines Rasterpunktes erhebt sich infolge der ungleichmäßigen Bedeckung des Punktes mit Farbe und des Ausquetschens natürlich die Frage, was man dabei als bedruckten Flächenanteil bezeichnen will, wenn man die Ergebnisse der obigen Berechnung praktisch anwendet. Wir können diese Schwierigkeiten vollkommen umgehen, wenn wir diesen Wert photometrisch an einem vom Klischee hergestellten Andruck mit der jeweiligen Normfarbe feststellen. Die Messung erfolgt so, daß man mit einem Aufsichtsschwärzungsmesser den Remissionsgrad der voll bedruckten Fläche  $\beta_F$  und der mit der unbekannten Rasterpunktgröße bedruckten Fläche  $\beta$  bestimmt. Dabei wird ein Farbfilter eingeschaltet, welches komplementärfarbig zur Druckfarbe ist, d.h. für die gelbe Druckfarbe ein Blaufilter, für die purpurne ein Grün- und für die blaugrüne ein Rotfilter. Aus der Größe des Remissionsgrades für Halbton und volle Fläche läßt sich der bedruckte Flächenanteil berechnen.

Bei dieser von LINDECKER<sup>5)</sup> für Schwarzdrucke angegebenen Methode denkt man sich den von dem zu untersuchenden Halbton des Druckes zurückgeworfenen Lichtstrom  $\Phi$  zusammengesetzt aus dem von der bedruckten Fläche zurückgeworfenen Anteil

$$\Phi_0 \beta_F \cdot \varphi$$

und dem vom unbedruckten Papier reflektierten Anteil  $\Phi_0 \beta_P (1 - \varphi)$ . Bezieht man die Messung des Remissionsgrades auf Papierweiß ( $\beta_P = 1$ ), so

ergibt sich für den der Messung zugänglichen Remissionsgrad des Halbtones:

$$\beta = \frac{\phi}{\phi_0} = \beta_F \cdot \varphi + (1 - \varphi)$$

Der bedruckte Flächenanteil läßt sich dann aus der Messung des Remissionsgrades von Halbton  $\beta$  und voller Fläche  $\beta_F$  leicht errechnen. Es ist:

$$(10) \quad \varphi = \frac{1 - \beta}{1 - \beta_F}$$

Bei dieser Methode mittelt man über viele Rasterpunkte und über die Form des Punktes und ersetzt die ungleichmäßig bedruckte Fläche durch eine gleichmäßig bedruckte mit einer Fläche, welche die gleiche Wirkung hervorruft. Man erhält den sogenannten wirksamen bedruckten Flächenanteil, der mit den Werten in der NEUGEBAUER-Gleichung übereinstimmt und nach dem bei unseren Probbedrucken zur Prüfung der Graubedingung die Klischees ausgewählt wurden. Damit ist der Anschluß der theoretisch abgeleiteten Beziehungen an den praktischen Druckprozeß gewährleistet.

#### IV. Praktische Bedeutung der Graubedingung für die Herstellung von Druckformen für den Dreifarbenbuchdruck

Vielfach treten in den Vorlagen, welche reproduziert werden, keine Grauwerte auf, und es könnte der Eindruck entstehen, als ob solche Betrachtungen keinerlei Bedeutung für die Praxis haben. Überlegt man sich jedoch, daß man unabhängig davon, ob Grautöne in der Vorlage vorhanden sind, eine ausgeglichene Farbwiedergabe im Druck verlangen muß, so erkennt man, daß diese ermittelten charakteristischen Kurven für die Teilbilder allgemeine Bedeutung haben. Um nämlich einen ausgeglichenen Bildcharakter zu gewährleisten, muß stets darauf geachtet werden, daß ein Bild auf Grau abgestimmt ist. Dies ist aus der Farbenphotographie allgemein bekannt, wo man in der Kopie in erster Linie so abstimmmt, daß eine gleichzeitig aufgenommene Grauleiter in der Wiedergabe Grau erscheint. Nur wenn so auf Grau abgestimmt ist, kann man eine farbstichfreie, ausgeglichene Wiedergabe erwarten, bei der kein Gebiet der Farbtöne bevorzugt wiedergegeben wird.

Aus diesen Überlegungen folgt, daß auch im Dreifarbenbuchdruck für eine ausgeglichene Farbwiedergabe stets darauf geachtet werden muß, daß die Graubedingung eingehalten ist. Dies erreicht man jedoch im Falle der

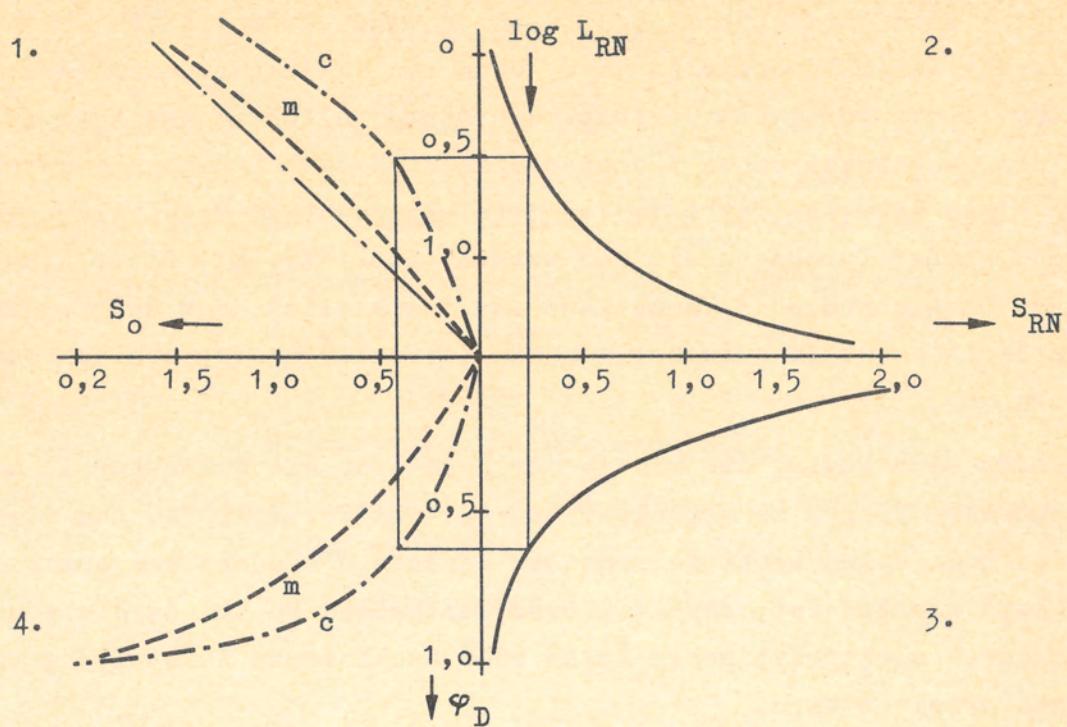
autotypischen Farbmischung nur, wenn man die rechnerisch ermittelten charakteristischen Kurven für die Teilbilder einhält.

Auch spielen diese Überlegungen für den in der Praxis gebräuchlicheren Vierfarbenbuchdruck eine Rolle. Hier strebt man an, als Endprodukt nicht ein koloriertes Schwarz-Weiß-Bild zu erhalten, sondern man versucht vielmehr nach dem Dreifarbenprinzip zu arbeiten und die schwarze Platte nur dazu zu benutzen, um die Tiefe und die Konturen zu verstärken und die neutralen Tonwerte zu unterstützen. Der Bildcharakter muß demzufolge auch hier neutral abgestimmt sein, um eine ausgeglichene Wiedergabe hervorzurufen.

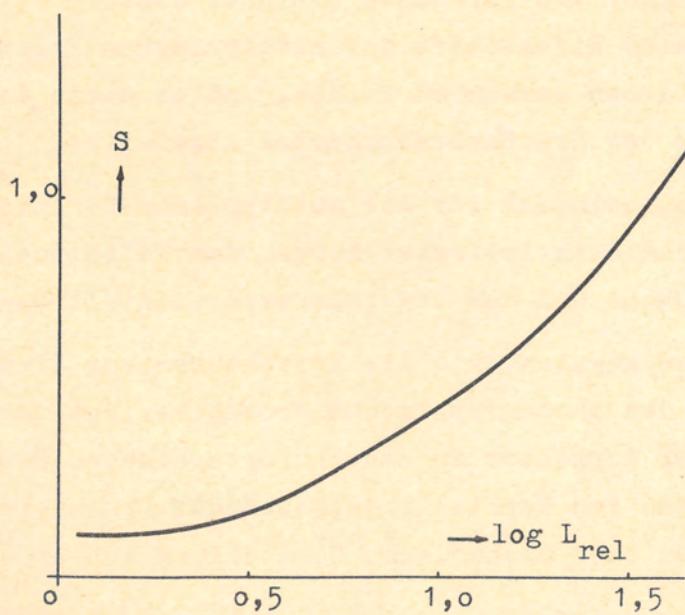
Im allgemeinen wird im Mehrfarbenbuchdruck so verfahren, daß der Farbätzer die Korrektur des zu starken Rot meist unbewußt in der geforderten Weise bei der Klischeeherstellung ausführt. Man kann die Korrektur aber auch in den photographischen Prozeß verlegen oder wenigstens dadurch vorbereiten, wenn man über einen Halbtonauszug geht. Dazu wird man den Auszug für das blaugrüne Teilbild in den Durchgang der Schwärzungskurve legen, während der Auszug für Gelb und Purpur geradlinig gehalten wird. Die Richtigkeit dieser Methode, die vielfach schon angewandt wird, läßt sich an Hand eines aus der Photographie bekannten Umzeichnungsdiagramms zeigen.

In der Photographie interessiert man sich für das Ergebnis eines Negativ-Positiv-Prozesses hinsichtlich der Tonwertwiedergabe eines Originals. Die Aufgabe kann gelöst werden, wenn man die Gradationskurven des Negativ- und des Positivmaterials kennt.

Um dieses Verfahren den hier interessierenden Betrachtungen anzupassen, zeichnet man in dem II. Quadranten die charakteristische Kurve des Rasternegativs (Abb. 16), in den III. die Schritte zwischen Kopieren des Rasternegativs auf die Zinkplatte bis zum fertigen Druckergebnis, d.h. den bedruckten Flächenanteil im Druck. Trägt man im IV. Quadranten den Kurvenverlauf zur Einhaltung der Graubedingung ein, so kann man mit der gleichen Umzeichnungsmethode im I. Quadranten zeigen, daß der Übergang von der Leuchtdichte des Objektes zur Belichtung des Rasternegativs, d.h. der Halbtonprozeß, für das purpurne Teilbild (das gleiche gilt für das gelbe Teilbild) geradlinig, für das blaugrüne gekrümmt verlaufen muß. Dabei ist ein üblicher Ätzprozeß mit drei Tonätzungen zugrunde gelegt worden.



A b b i l d u n g 16  
Umzeichnungsdiagramm



A b b i l d u n g 17  
Durchhang der Schwärzungskurve für ein panchromatisches  
phototechnisches Material B

Man kann sich leicht überlegen, daß man den gekrümmten Verlauf für das blaugrüne Teilbild erzielen kann, wenn man den entsprechenden Halbtonauszug in den Durchhang verlegt, d.h. unterbelichtet und hart entwickelt. Für ein panchromatisches phototechnisches Material B konnte unter Anwendung eines sehr steilarbeitenden Metol-Hydrochinon-Entwicklers ein genügend großer Durchhang erzielt werden (Abb. 17). Mit Hilfe eines ähnlichen Umzeichnungsdiagramms kann man feststellen, daß der Durchhang die erforderliche Größe aufweist, um die Korrektur photographisch durchzuführen.

Es zeigt sich somit, daß man in der Lage ist, die Korrektur in den photographischen Prozeß zu verlegen. Das hat den Vorteil, daß man die Teilbilder beim Ätzen nicht getrennt zu behandeln braucht und somit die Möglichkeit gegeben ist, den Ätzprozeß weitgehend zu standardisieren, wie dies durch elektrolytisches Ätzen oder mechanische Herstellung von Druckformen erreicht wird.

#### V. Zusammenfassung

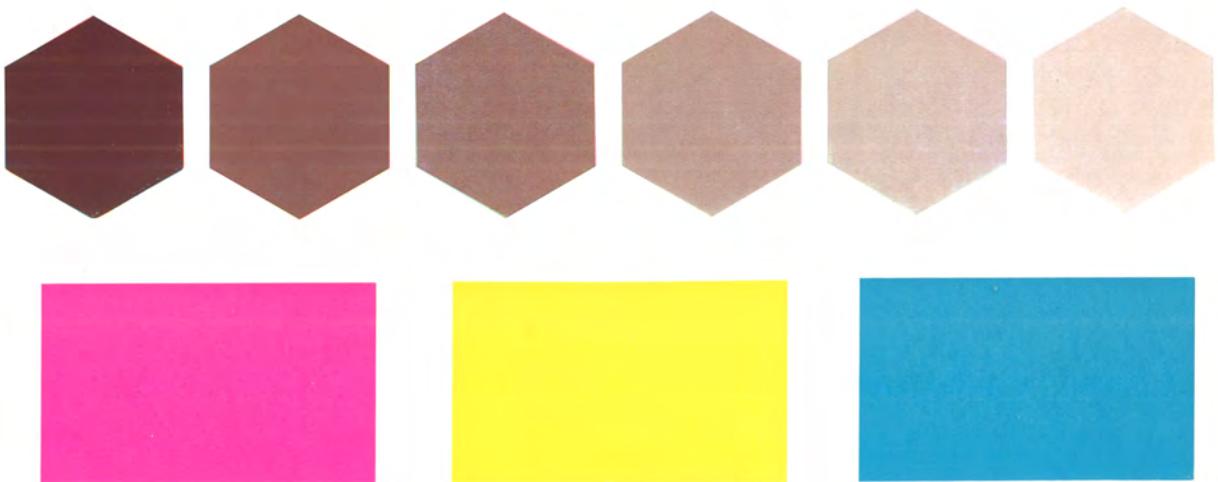
1. Es wurde gezeigt, daß die bräunliche bis rötliche Farbtonverschiebung bei Übereinanderdruck von Klischees gleicher Rasterpunktgröße im Dreifarbenbuchdruck eine Eigenschaft der autotypischen Farbmischung ist, wenn reale Druckfarben verwendet werden, und es wurde daraus eine Graubedingung für den Dreifarbenbuchdruck abgeleitet.
2. Auf Grund der Graubedingung für die autotypische Farbmischung wurde der Verlauf der charakteristischen Kurven der Teilbilder für die Normfarbenskala berechnet und das Ergebnis experimentell bestätigt.
3. Es wurden Hinweise gegeben, wie die Korrekturen zur Einhaltung der Graubedingung in den photographischen Prozeß verlegt werden können. Eine Verlegung der Korrektur in den photographischen Prozeß wird dann notwendig, wenn man den Herstellungsprozeß der Druckformen durch elektrolytisches Ätzen oder mechanische Herstellung von Druckformen systematisieren will.

Dipl.-Phys. Karl-Heinz SCHIRMER, München

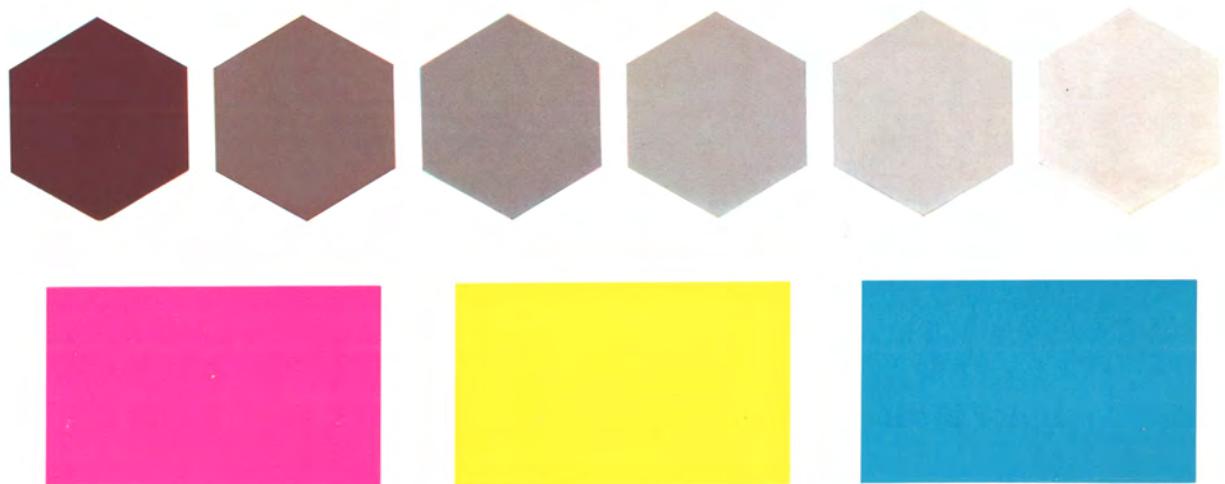
## VI. Literaturverzeichnis

- 1) Normblatt DIN 16 508, Farbskala für den Buchdruck 1954
- 2) HICKETHIER, A. Farbordnung HICKETHIER, Hannover 1952
- 3) NEUGEBAUER, H.E.J. Theory of Masking for Color Correction  
J.Opt.Soc.America 42 (1952) Heft 10 S. 740-47
- 4) NEUGEBAUER, H.E.J. Zur Theorie des Mehrfarbenbuchdruckes  
Dissertation TH Dresden 1935
- 5) LINDECKER, W. Untersuchung der Zusammenhänge bei der retuschenlosen Herstellung einer Autotypie nach einem photographischen Halbtonebild Z.wiss.Photogr. 40 (1941), H. 3/6, S. 57 ... 87

ANHANG



Gleiche bedruckte Flächenanteile der Teilbilder

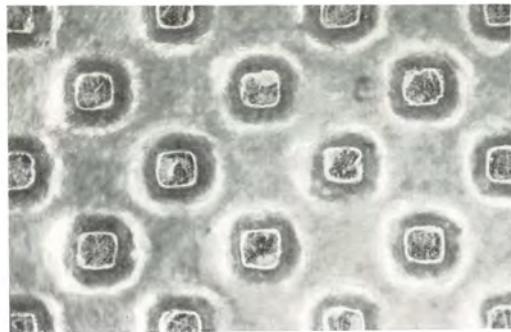


Korrigierte bedruckte Flächenanteile der Teilbilder

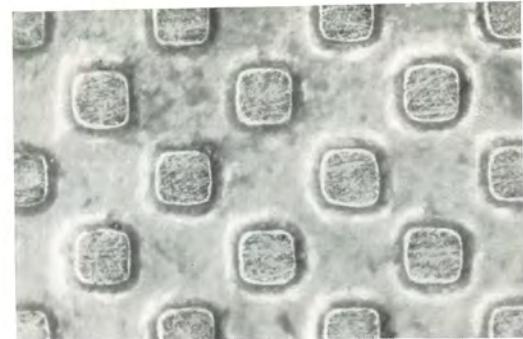
Dreifarbenbuchdruck mit Normfarben nach DIN 16508  
Druckreihenfolge: Purpur, Gelb, Blaugrün



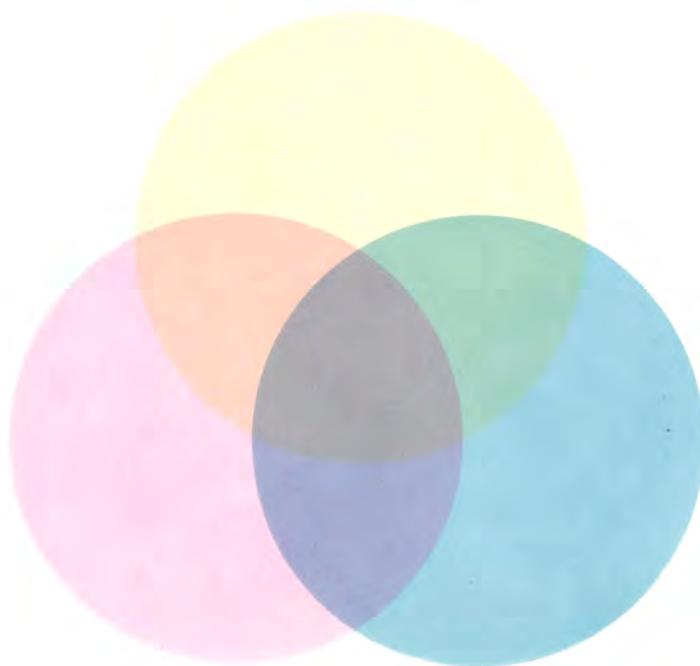
Wie groß die Korrektur der Rasterpunktgröße im gelben und purpurne Teilbild sein muß, wird noch an einem Beispiel erläutert: Soll bei einem Druck mit der Normfarbenskala ein mittleres Grau von 50% Reflexionsgrad entstehen (vgl. mittelste Rasterstufe des Druckes auf der vorhergehenden Seite), so muß bei 50% bedruckter Fläche im blaugrünen Teilbild die bedruckte Fläche für das gelbe und purpurne Teilbild etwa 30% betragen. Für den Chemigraphen ist es wichtig zu wissen, welche Punktgrößen im Farbsatz dazu kombiniert werden müssen. In den Mikroaufnahmen, die mit gleichem Abbildungsmaßstab hergestellt wurden, sind Druckstücke wiedergegeben, welche diese Bedingung erfüllen. Verwendet man den Druckstock mit der kleineren Rasterpunktgröße für das purpurne und gelbe Teilbild (linke Mikroaufnahme), so muß für das blaugrüne Teilbild eine Rasterpunktgröße eingehalten werden, wie sie die rechte Mikroaufnahme zeigt. Das Ergebnis ist bei normaler Farbgebung (vgl. Farbenskala für den Buchdruck DIN 16508) ein Grau von etwa 50% Reflexionsgrad. Dies bestätigt der gezeigte Dreifarbenbuchdruck, bei dem die Flächen so übereinandergedruckt sind, daß man die Punktgrößen in den Teildrucken mit der Lupe erkennt.



Mikroaufnahme des Druckstocks für das gelbe und purpurne Teilbild



Mikroaufnahme des Druckstocks für das blaugrüne Teilbild



Dreifarbenbuchdruck mit korrigierten bedruckten Flächenanteilen