DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

(12) **Wirtschaftspatent**

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

PATENTSCHRIFT

(19) **DD** (11) **231 866 A1**

4(51) **G 03 F 3/00**

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP G 03 F / 266 035 7	(22)	07.08.84	(44)	08.01.86

(71) VEB Robotron Büromaschinenwerk Sömmerda, 5230 Sömmerda, Weißenseer Straße 52, DD
(72) Flechtner, Volker, Dipl.-Ing., DD

(54) Verfahren zur Korrektur des Farbeingangssignals beim Mehrfarbendruck

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Korrektur des Farbeingangssignals beim Mehrfarbendruck in Abhängigkeit vom spektralen Fehlverhalten der Druckfarben. Ziel der Erfindung ist, eine bessere Wiedergabequalität bei Reproduktionsverfahren zu erreichen. Es soll die Aufgabe gelöst werden, ein Verfahren zu finden, das mit der maximal möglichen Berücksichtigung der spektralen Fehler der Druckfarben die Druckparameter ermittelt, welche beim Druck ein vorgegebenes Druckergebnis liefern. Die erfindungsgemäße Lösung besteht darin, daß nach einmaliger Ermittlung der Remissionsanteile der verwendeten Körperfarben im spektralen Blau-, Grün- und Rotbereich die notwendigen Farbzumessungen für die jeweiligen Körperfarben unter wechselseitiger Berücksichtigung der spektralen Farbfehler nach einem vorgegebenen Gleichungssystem errechnet werden und anschließend eine Ergebnisselektion durchgeführt wird.
Fig. 11

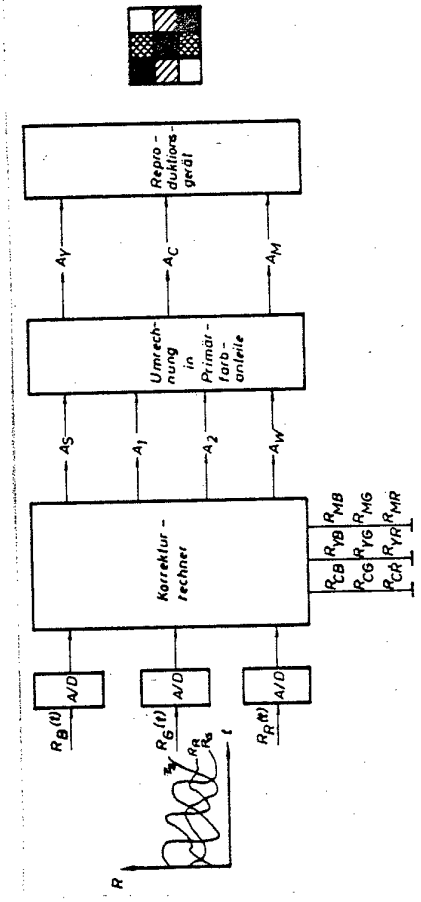


Fig. 11

ISSN 0433-6461

35 Seiten

Titel der Erfindung

Verfahren zur Korrektur des Farbeingangssignals beim Mehrfarbendruck

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Korrektur des Farbeingangssignals beim Mehrfarbendruck in Abhängigkeit vom spektralen Fehlverhalten der Druckfarben.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Eine Korrektur eines eingehenden Farbsignals kann mit verschiedenartigen Verfahren und Mitteln und mit sehr unterschiedlichen Zielstellungen erfolgen. Die in der Praxis angewendeten Verfahren gehen in der Mehrzahl von analogen Signalen für die Blaufarbe, die Grünfarbe und die Rotfarbe aus, welche als Videosignal für einen Farbmonitor verwendet werden können. Eine Gewinnung dieser Signale kann auf verschiedene Art und Weise erfolgen, zum Beispiel durch eine Farbbildaufnahmekamera oder die Abtastung einer mehrfarbigen Vorlage durch einen Scanner, bei dem die drei Signale über entsprechende Filter gewonnen werden. Ein Farbkorrekturziel kann darin bestehen, die bei der Aufnahme des Bildes entstandenen Fehler entsprechend der be-

kannten Fehlercharakteristik zu kompensieren; ein anderes Ziel wäre die Korrektur von zu erwartenden Wiedergabefehlern durch die in ihrem Verhalten bekannte Reproduktionseinrichtung.
Wenn ein nichtlineares Übertragungsverhalten vorliegt, dann kann eine einfache Beeinflussung der Farbsignale erfolgen, indem die Signale durch Schaltungskreise geführt werden, die dieses Signal in Abhängigkeit von der Signalstärke nichtlinear verändern. Beispiele sind bekannt geworden durch die DE-AS 1 772 234, die DE-AS 1 522 488 und die DE-PS 2 313 195, welche eine gleichbleibende Korrekturfunktion (Potenzfunktion, logarithmische Funktion, lineare Funktion) zur Anwendung bringen. Ähnlich einfache Korrekturen werden durch Additionen und Subtraktionen zwischen den drei Farbsignalen erreicht. Die DE-PS 1 900 266, DE-AS 1 447 945, DE-AS 2 600 901, DE-OS 1 622 768 und die DE-OS 2 360 720 verwenden derartige Maßnahmen in verschiedener Reihenfolge, auch jeweils paarweise usw. Eine geeignete Korrektur eines spektralen Fehlverhaltens von Druckfarben für die Reproduktion läßt sich damit jedoch nur äußerst unvollständig erreichen.
Es sind weiterhin Einrichtungen und Verfahren bekannt geworden, welche ausgehend von vorhandenen Farbauszugssignalen diese in Abhängigkeit von den speziellen bekannten Eigenschaften des Reproduktionsverfahrens so verändern, daß nach Umformung in Videosignale das voraussichtliche Druckergebnis auf einem Farbmonitor dargestellt wird. Eine manuelle Einstellung von Korrekturparametern durch den Bediener erfolgt dann so, daß nach Sicht ein Optimum der Darstellung erfolgt. Die nun abgelesenen Verstellwerte dienen zur Festlegung der Druckparameter.
Beispiele für dieses Verfahren findet man in der DE-OS 2 949 102, der DE-OS 3 049 349 und der DE-PS 2 054 099. Diese Verfahren können aus den vorbekannten Druckparametern das Ergebnis rechnerisch vorausbestimmen, jedoch nicht die notwendigen Druckparameter rechnerisch eindeutig bestimmen, wenn ein Druckzielergebnis vorgegeben ist.

Eine Reihe von Bekanntmachungen beschreibt ein Hilfsmittel für die Farbkorrektur, welches aus einem Speicher besteht, der durch die Farbeingangswerte indiziert wird und die korrigierten Farbsignale enthält. In einigen anderen Fällen sind Korrekturwerte abgelegt, die in irgendeiner Weise mit den Farbeingangswerten verarbeitet werden und sich so daraus das korrigierte Signal ergibt. Solche sogenannten "look-up-tables" bestimmen mit ihrer Speicherkapazität die notwendige Stufung der Signalgrößen. In einigen Fällen wird eine Interpolation durchgeführt. Beispiele für eine Korrekturwertspeicheranordnung sind in den DE-OS 30 15 337, DE-OS 26 37 055 und DE-AS 26 21 008 sowie in weiteren Anmeldungen beschrieben. Ein wesentlicher Mangel ist jedoch all diesen Verfahren anbehaftet: es wird kein Verfahrensweg zur Erstellung der Korrekturwerte beschrieben und benutzt, welcher alle spektralen Fehler der verwendeten Grundfarben und der entstehenden Mischfarben vollständig berücksichtigt. Man versucht hier lediglich, sich einem angestrebten Zustand mit einfachen Mitteln zu nähern.

Ziel der Erfindung

Ziel der vorliegenden Erfindung ist, die bestehenden Mängel der oben beschriebenen Verfahren und Einrichtungen zu vermeiden und damit eine bessere Wiedergabequalität bei Reproduktionsverfahren zu erreichen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

- Die technische Aufgabe, die durch die Erfindung gelöst wird

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu finden, daß mit der vollständigen oder maximal möglichen Berücksichtigung der spektralen Fehler der Druckfarben die Druckparameter ermittelt, welche beim Druck ein vorgegebenes Druckergebnis liefern.

- Merkmale der Erfindung

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im kennzeichnenden Teil des Punktes 1 des Patentanspruches aufgeführten Verfahrensschritte gelöst. Weiterbildungen sind in den Unterpunkten des Anspruches angegeben.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel erläutert werden.
In der zugehörigen Zeichnung zeigen:

Fig. 1: das ideale spektrale Verhalten der primären Grundfarben

Fig. 2: ein Beispiel des realen spektralen Verhaltens von Körperfarben

Fig. 3: ein Beispiel des realen spektralen Verhaltens der Tertiärfarbe "Schwarz"

Fig. 4: eine grafische Darstellung der Fehlerkorrekturbereiche

Fig. 5 bis
Fig. 10: Diagrammdarstellung des Farbmischverhaltens zur Erzeugung spektral reiner Grundfarben (Gelb, Magenta, Rot, Blau, Zyan, Grün)

Fig. 11: ein Schema eines Signalflusses in einer die Erfindung enthaltene Einrichtung.

Beim Mehrfarbendruck werden die Farbnuancen des Druckbildes durch subtraktive Farbmischung von Körperfarben erzielt. Dabei wird entweder die Farbdichte der gedruckten Grundfarben im Bildpunkt variiert oder man verändert den Rastertonwert. Letzteres bedeutet, daß der Anteil der mit Vollfärbung bedruckten Flächen einer Bildpunktfläche verändert wird. Auf den letzten Fall bezieht sich die Erfindung. Dabei ist beim Druck mit Körperfarben mit Verfälschungen der Farbergebnisse zu rechnen. Eine spektrale Reinheit existiert bei Körperfarben nicht. Es kommen als Farbstoffe in den Druckfarben eine ganze Reihe von chemischen Verbindungen zur Anwendung, die die spektralen Forderungen des Druckes jede für sich nur zu einem bestimmten Teil erfüllen kann.

Geht man von den Forderungen für das spektrale Verhalten der primären Grundfarben Zyan, Magenta und Gelb aus, dann müßte sich das in Fig. 1 gezeigte Bild ergeben.

Praktisch jedoch weisen die Körperfarben Nebenabsorptionen und Nebenremissionen im Spektrum auf. Dabei ist der entstehende Fehler durch die Nebenabsorptionen höher als der durch die Nebenremissionen verursachte Fehler. Besonders die primäre Grundfarbe Zyan ist davon betroffen. Am reinsten ist die Grundfarbe Gelb erzielbar.

Die Nebenremissionen bewirken eine Verweißlichung der Farbe, während die Nebenabsorptionen einen Schwarzanteil in das Druckergebnis einbringen. Da sich beim subtraktiven Mischen realer Körperfarben diese spektralen Fehler erhöhen, ist bei den sekundären Mischfarben ein noch größerer Fehler festzustellen. Der Unbuntanteil (Schwarz und Weiß) steigt bei der Farbenmischung noch an. Beispielsweise sind für gebräuchliche Körpergrundfarben folgende durchschnittliche reale spektrale Remissionsgrade anzusetzen (die Kurzzeichen stehen im folgenden für: C = Zyan, Y = Gelb, M = Magenta):

Remissionsgrad in den spektralen Bereichen		Körperfarben C	Y	M
ideal	Blau	1	0	1
	Grün	1	1	0
	Rot	0	1	1
real	Blau	0,6	0,15	0,5
	Grün	0,4	0,9	0,2
	Rot	0,15	0,95	0,9

Die Remissionsangaben können allerdings nur als Anhaltswerte dienen. Sie sind bei einer Rechnung zur Fehlerkompensierung durch die tatsächlich gemessenen Werte der verwendeten Druckfarben zu ersetzen. Die Durchschnittsangabe für die Remissionsgrade in jeweils einem der Spektralbereiche (Blau, Grün, Rot) ist ein nützliches Zugeständnis, das eine vereinfachte Rechnungsführung bei der Fehlerkorrekturrechnung ermöglicht. Mit dieser Durchschnittsangabe stellt sich das reale spektrale Verhalten der Körperfarben beispielsweise wie in Fig. 2 gezeigt dar.

Bestimmung des Druckergebnisses unter Berücksichtigung der Farbfehler

Wenn die Remission der drei gedruckten Grundfarben (Zyan, Gelb, Magenta) im Blau-, Grün- und Rotbereich des Spektrums bekannt ist, also beispielsweise

Zyan: $R_{CB} = 0,6$ $R_{CG} = 0,4$ $R_{CR} = 0,15$

Magenta: $R_{MB} = 0,5$ $R_{MG} = 0,2$ $R_{MR} = 0,9$

Gelb: $R_{YB} = 0,15$ $R_{YG} = 0,9$ $R_{YR} = 0,95$,

dann kann man die Remissionen der Mischfarben (B = Blau, G = Grün, R = Rot, S = Schwarz) aus diesen drei Werten berechnen. Es gilt:

$$R_{Misch} = R_1 \cdot R_2 \qquad (1)$$

(R_1, R_2 - Remissionen der zu mischenden Grundfarben).

Somit ergibt sich:

<u>Rot:</u>
$$\begin{pmatrix} R_{RB} \\ R_{RG} \\ R_{RR} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{YB} \\ R_{YG} \\ R_{YR} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_{MB} \\ R_{MG} \\ R_{MR} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,075 \\ 0,18 \\ 0,855 \end{pmatrix}$$

<u>Grün:</u>
$$\begin{pmatrix} R_{GB} \\ R_{GG} \\ R_{GR} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{YB} \\ R_{YG} \\ R_{YR} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_{CB} \\ R_{CG} \\ R_{CR} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,09 \\ 0,36 \\ 0,143 \end{pmatrix}$$

<u>Blau:</u>
$$\begin{pmatrix} R_{BB} \\ R_{BG} \\ R_{BR} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{MB} \\ R_{MG} \\ R_{MR} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_{CB} \\ R_{CG} \\ R_{CR} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,3 \\ 0,08 \\ 0,135 \end{pmatrix}$$

<u>Schwarz:</u>
$$\begin{pmatrix} R_{SB} \\ R_{SG} \\ R_{SG} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{MB} \\ R_{MG} \\ R_{MR} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_{CB} \\ R_{YG} \\ R_{CR} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_{YB} \\ R_{YG} \\ R_{YR} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,045 \\ 0,072 \\ 0,128 \end{pmatrix}$$

Beim Rasterdruck, bei dem das Verhältnis des mit der Vollfarbe bedruckten Flächenanteiles der Bildpunktgesamtfläche zur Bildpunktgesamtfläche die erreichte integrale Färbung bestimmt, entstehen bei der subtraktiven Farbmischung in diesem Bildpunkt Flächenabschnitte,

- die das unbunte Weiß enthalten (A_W),
- die Primärfarben enthalten (A_C, A_M, A_Y),
- die bunte sekundäre Mischfarben enthalten (A_B, A_G, A_R),
- die die unbunte tertiäre Mischfarbe Schwarz enthalten (A_S).

Diese acht Farben bestimmen entsprechend ihrer bedruckten Fläche A das integrale vom menschlichen Auge wahrgenommene Farbmischergebnis. Dabei können selbstverständlich eine oder mehrere Farben dieser Reihe überhaupt nicht im Bildpunkt enthalten sein.

Die Flächenanteile der 8 Farben ergänzen sich stets zu 1:

$$A_S + A_B + A_G + A_R + A_Y + A_M + A_C + A_W = 1 \qquad (2)$$

Für die Remission des Bildpunktes in den Spektralbereichen Blau, Grün und Rot gilt unter der Annahme, daß der Aufzeichnungsträger ein ideales Weiß besitzt:

$$\begin{aligned}\begin{pmatrix} R_B \\ R_G \\ R_R \end{pmatrix} &= A_S \cdot \begin{pmatrix} R_{CB} \\ R_{CG} \\ R_{CR} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_{YB} \\ R_{YG} \\ R_{YR} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_{MB} \\ R_{MG} \\ R_{MR} \end{pmatrix} + A_B \cdot \begin{pmatrix} R_{MB} \\ R_{MG} \\ R_{MR} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_{CB} \\ R_{CG} \\ R_{CR} \end{pmatrix} \\ &+ A_G \cdot \begin{pmatrix} R_{YB} \\ R_{YG} \\ R_{YR} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_{CB} \\ R_{CG} \\ R_{CR} \end{pmatrix} + A_R \cdot \begin{pmatrix} R_{YB} \\ R_{YG} \\ R_{YR} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_{MB} \\ R_{MG} \\ R_{MR} \end{pmatrix} \\ &+ A_Y \cdot \begin{pmatrix} R_{YB} \\ R_{YG} \\ R_{YR} \end{pmatrix} + A_M \cdot \begin{pmatrix} R_{MB} \\ R_{MG} \\ R_{MR} \end{pmatrix} + A_C \cdot \begin{pmatrix} R_{CB} \\ R_{CG} \\ R_{CR} \end{pmatrix} + A_W \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}\end{aligned} \qquad (3)$$

Es entsteht also hier ein Gleichungssystem aus drei Gleichungen, die nach dem Einsetzen der Remissionswerte der Grundfarben in den drei Spektralbereichen wie folgt zu lesen sind:

$$\begin{aligned}R_B = {} & 0{,}045 \cdot A_S + 0{,}300 \cdot A_B + 0{,}090 \cdot A_G + 0{,}075 \cdot A_R \\ & + 0{,}150 \cdot A_Y + 0{,}500 \cdot A_M + 0{,}600 \cdot A_C + A_W\end{aligned} \qquad (4)$$

$$\begin{aligned}R_G = {} & 0{,}072 \cdot A_S + 0{,}080 \cdot A_B + 0{,}360 \cdot A_G + 0{,}180 \cdot A_R \\ & + 0{,}900 \cdot A_Y + 0{,}200 \cdot A_M + 0{,}400 \cdot A_C + A_W\end{aligned} \qquad (5)$$

$$\begin{aligned}R_R = {} & 0{,}128 \cdot A_S + 0{,}135 \cdot A_B + 0{,}143 \cdot A_G + 0{,}855 \cdot A_R \\ & + 0{,}950 \cdot A_Y + 0{,}900 \cdot A_M + 0{,}150 \cdot A_C + A_W\end{aligned} \qquad (6)$$

Durch Einsetzen der zu bedruckenden Flächenanteile für die acht Grund- und Mischfarben in die Gleichungen (4), (5) und (6) kann man das Druckergebnis unter Berücksichtigung des spektralen Fehlverhaltens errechnen.

Sehr stark verfälscht wird die Tertiärfarbe Schwarz beim Überlagern der drei subtraktiven Grundfarben Gelb, Magenta und Zyan zu vollen Anteilen. Es ist hier:

$$R_B = 0{,}045 \cdot 1$$
$$R_G = 0{,}072 \cdot 1$$
$$R_R = 0{,}128 \cdot 1 \ ,$$

da alle weiteren Summanden des Gleichungssystems zu Null werden.

Dieses Druckergebnis entspricht in keiner Weise einem idealen Schwarz, das aus der additiven Mischung von Blau = 0, Grün = 0 und Rot = 0 entstehen soll. Fig. 3 verdeutlicht das praktisch erreichbare "Schwarz".

Der Dreifarbendruck liefert ein sehr ungenügendes Schwarz. Es ergibt sich eine Mischung aus Dunkelgrau und Rotorange. Eine Korrekturmöglichkeit besteht nicht.

Wird jedoch zum Druck Schwarz als vierte Druckfarbe benutzt, dann verbessern sich die Verhältnisse erheblich. Es sind dann in die Gleichungen (4), (5) und (6) die Koeffizienten für A_S entsprechend dem Remissionsverhalten dieser schwarzen Druckfarbe im Blau-, Grün- und Rotbereich zu verändern. Ein "Idealschwarz" würde diese Koeffizienten zu Null machen.

Erfindungsgemäße Bestimmung der fehlerlosen Farbmischung

Setzt man keine Korrekturmaßnahmen an, dann muß man mit dem entstehenden Fehler, der durch die Nebenabsorptionen und -remissionen der Druckfarben entsteht, leben. Das Druckergebnis wird mehr oder weniger befriedigend sein. Ein Optimum der Reproduktion ist nicht erreicht.

Mögliche Korrekturmaßnahmen bestehen darin, diese Nebenabsorptionen und -remissionen in gegenseitiger Abhängigkeit bei der

Farbbemessung zu berücksichtigen. Dies kann natürlich nur dann vollzogen werden, wenn z. B. ein "Zuviel an Grün" beim Magentadruck als ein "Weniger an Grün" beim Gelbdruck in dieser Mischung berücksichtigt werden kann. Natürlich funktioniert das nur dann in vollem Umfang, wenn der Anteil "Grün" in dem zu druckenden "Gelb" für diese Kompensierung ausreicht. Zur Fehlerkompensierung ist also u. a. die Lösung des Gleichungssystems (4), (5) und (6) notwendig. Es wird das zu erzielende Ergebnis als R_B, R_G und R_R vorgegeben und nach den Flächenanteilen A_S, A_B, A_G, A_R, A_Y, A_M, A_C und A_W gefragt. Wie man sieht, handelt es sich hier um ein inhomogenes lineares Gleichungssystem, bestehend aus drei Gleichungen und acht Unbekannten. Es ist in dieser Form unlösbar und hat sicherlich nicht zuletzt deshalb an vielen Stellen zum Abbruch des Versuches einer analytischen Bestimmung der Fehlerkorrekturwerte geführt.

Es gibt jedoch eine Reihe von einschränkenden Bedingungen, deren Kenntnis die rechnerische Lösung des Problems ermöglichen. So muß man sich die Wirkungen einer reinen subtraktiven Mischung der drei primären Grundfarben Zyan, Magenta und Gelb in einem Bildpunkt vor Augen halten. Es gilt hier:

1. In der Mischung kann nur eine der Primärfarben (Zyan, Gelb oder Magenta) enthalten sein, denn zwei Primärfarben mischen sich zu einem Sekundärfarbflächenanteil, der durch einen Primärfarbflächenanteil ergänzt wird, wenn die Primärfarbflächen unterschiedlich groß waren.
2. In der Mischung kann nur eine der Sekundärfarben (Blau, Rot oder Grün) enthalten sein, denn für zwei Sekundärfarben sind bereits Flächenanteile von allen drei Primärfarben erforderlich. Dieser gemeinsame Dreifarbenanteil ist aber in der Mischung das Schwarz.
3. In der Mischung sind keine Komplementärfarbflächenanteile enthalten. Es gibt also keine gleichzeitige Anwesenheit von Gelb und Blau, Zyan und Rot, sowie Magenta und Grün, denn eine subtraktive Mischung von Komplementärfarben zu gleichen Anteilen ergibt Schwarz.

4. Schwarz- und Weißanteile können in jeder Mischung anwesend sein.

Unter Anwendung dieser Regeln sind insgesamt nur sechs verschiedene Grundmischungen möglich, wobei in den Mischungen nur maximal vier verschiedene Farbflächen nebeneinanderliegend die Bildpunktfläche bilden. Es sind dies die Mischungen:

1. Schwarz - Rot - Gelb - Weiß
2. Schwarz - Grün - Gelb - Weiß
3. Schwarz - Rot - Magenta - Weiß
4. Schwarz - Blau - Magenta - Weiß
5. Schwarz - Grün - Zyan - Weiß
6. Schwarz - Blau - Zyan - Weiß

In allen sechs Grundmischungsvarianten können bis zu drei der Komponenten Null werden. So würde man zum Beispiel die Mischung Schwarz-Blau-Magenta in die 4. Variante einordnen müssen. Unter Einbeziehung der Gleichung (2) in das Gleichungssystem besteht dieses nunmehr aus vier Gleichungen. Ist die prinzipielle Farbzusammensetzung der Bildpunktfläche bekannt - und sie muß nach dem oben gesagten einer der sechs Varianten entsprechen, dann kann man das inhomogene lineare Gleichungssystem lösen. Für die 1. Grundmischungsvariante stände dann z. B.:

$$R_B = 0{,}045 \cdot A_S + 0{,}075 \cdot A_R + 0{,}150 \cdot A_Y + 1 \cdot A_W \quad (7)$$

$$R_G = 0{,}072 \cdot A_S + 0{,}180 \cdot A_R + 0{,}900 \cdot A_Y + 1 \cdot A_W \quad (8)$$

$$R_R = 0{,}128 \cdot A_S + 0{,}855 \cdot A_R + 0{,}950 \cdot A_Y + 1 \cdot A_W \quad (9)$$

$$1 = 1 \cdot A_S + 1 \cdot A_R + 1 \cdot A_Y + 1 \cdot A_W \quad (10)$$

(R_B, R_G, R_R sind die Vorgabewerte, während A_S, A_R, A_Y und A_W die reellen Wurzeln des Gleichungssystems darstellen.) Das Gleichungssystem ist beispielsweise mit Hilfe der Determinantenrechnung lösbar. Man bestimmt die Koeffizientendeterminante D und die Determinanten D_S, D_R, D_Y und D_W mit

$$D = \begin{vmatrix} 0{,}045 & 0{,}075 & 0{,}15 & 1 \\ 0{,}072 & 0{,}18 & 0{,}9 & 1 \\ 0{,}128 & 0{,}855 & 0{,}95 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad D_S = \begin{vmatrix} R_B & 0{,}075 & 0{,}15 & 1 \\ R_G & 0{,}18 & 0{,}9 & 1 \\ R_R & 0{,}855 & 0{,}95 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix},$$

$$D_R = \begin{vmatrix} 0{,}045 & R_B & 0{,}15 & 1 \\ 0{,}072 & R_G & 0{,}9 & 1 \\ 0{,}128 & R_R & 0{,}95 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad D_Y = \begin{vmatrix} 0{,}045 & 0{,}075 & 0{,}15 & 1 \\ 0{,}072 & 0{,}18 & 0{,}9 & 1 \\ 0{,}128 & 0{,}855 & 0{,}95 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix},$$

$$D_W = \begin{vmatrix} 0{,}045 & 0{,}075 & 0{,}15 & R_B \\ 0{,}072 & 0{,}18 & 0{,}0 & R_G \\ 0{,}128 & 0{,}855 & 0{,}95 & R_R \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix},$$

Die allgemeine Lösung einer Determinante der vorliegenden Form

$$D = \begin{vmatrix} B_1 & B_2 & B_3 & B_4 \\ G_1 & G_2 & G_3 & G_4 \\ R_1 & R_2 & R_3 & R_4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$ lautet:

$$D = B_1 \cdot \begin{vmatrix} G_2 & G_3 & G_4 \\ R_2 & R_3 & R_4 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} - B_2 \cdot \begin{vmatrix} G_1 & G_3 & G_4 \\ R_1 & R_3 & R_4 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} + B_3 \cdot \begin{vmatrix} G_1 & G_2 & G_4 \\ R_1 & R_2 & R_4 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} - B_4 \cdot \begin{vmatrix} G_1 G_2 G_3 \\ R_1 R_2 R_3 \\ 1\ 1\ 1 \end{vmatrix}$$

dann ist D:

$$\begin{aligned} D = {} & B_1 \cdot (G_2 \cdot R_3 + G_3 \cdot R_4 + G_4 \cdot R_2 - G_2 \cdot R_4 - G_3 \cdot R_2 - G_4 \cdot R_3) \\ & - B_2 \cdot (G_1 \cdot R_3 + G_3 \cdot R_4 + G_4 \cdot R_1 - G_1 \cdot R_4 - G_3 \cdot R_1 - G_4 \cdot R_3) \\ & + B_3 \cdot (G_1 \cdot R_2 + G_2 \cdot R_4 + G_4 \cdot R_1 - G_1 \cdot R_4 - G_2 \cdot R_1 - G_4 \cdot R_2) \\ & - B_4 \cdot (G_1 \cdot R_2 + G_2 \cdot R_3 + G_3 \cdot R_1 - G_1 \cdot R_1 - G_2 \cdot R_1 - G_3 \cdot R_2) \end{aligned} \quad (11)$$

Ist die Koeffizientendeterminante D des Systems ungleich Null (und das ist hier stets der Fall), dann besitzt ein solches Gleichungssystem eine und nur eine Lösung. Die

Wurzeln A_S, A_R, A_Y und A_W ergeben sich nach der Kramerschen Regel nach den Formeln:

$$A_S = \frac{D_S}{D} \quad A_R = \frac{D_R}{D} \quad A_Y = \frac{D_Y}{D} \quad A_W = \frac{D_W}{D} \quad (12),(13),(14),(15)$$

Wenn der durch die Nebenabsorptionen und Nebenremissionen verursachte Fehler voll kompensiert werden kann, dann sind alle 4 Wurzeln des Gleichungssystems positiv. Positiv sind aber in jedem Falle die Wurzeln für die Buntfarbenanteile (in diesem Beispiel für A_R und A_Y).

Für den Fall, daß irgendeiner der Flächenanteile kleiner als Null ist, dann bedeutet dies, daß hier von dieser Farbe etwas aus dem Bildpunkt heraussubtrahiert werden müßte, was natürlich praktisch nicht möglich ist. Bestenfalls kann hier dieser Flächenanteil gleich Null gesetzt werden. Der Fehlbetrag wirkt sich als nichtkompensierbarer Fehler aus.

Ähnliches gilt, wenn die Lösung des Gleichungssystems für einen Flächenanteil einen Wert ergibt, der größer als 1 ist. Mehr als die Gesamtfläche kann nicht bedruckt werden; der nichtbedruckbare Flächenrest wirkt als nichtkompensierbarer Fehler.

Wie soll man nun aber erkennen, welche der sechs Grundmischungsvarianten für die Lösung des Farboptimierungsproblems heranzuziehen ist? Es zeigt sich, daß, wenn man alle 6 Gleichungssysteme löst, nur jeweils eine Lösung innerhalb der 6 möglichen Lösungen existiert, bei der die Flächenanteile für die beiden Buntfarben positiv sind. Diese Lösung ist dann als gesuchte Lösung zu verwenden. Es bleibt also nichts anderes übrig, als alle 6 Gleichungssysteme zu lösen und dann die gesuchte Lösung nach dem oben geschriebenen Kriterium zu selektieren.

Es können als Lösung drei verschiedene Fälle eintreten:

1. Alle Flächenanteile sind positiv. Die durch Nebenabsorptionen und -remissionen verursachten spektralen Fehler sind voll kompensiert worden, d.h. das Druckergebnis entspricht voll der Vorgabe.

2. Die beiden Flächenanteile für die Unbuntfarben (Schwarz und Weiß) sind negativ. Die spektralen Farbfehler sind nicht in vollem Umfang kompensierbar. Es ist eine nachfolgende Optimierungsrechnung nach dem minimalen Fehler nötig. Das Druckergebnis enthält maximal 3 Farben.
3. Einer der Flächenanteile der Unbuntfarben ist kleiner als Null. Das Druckergebnis besteht aus maximal 3 verschiedenen Farbflächen. Die spektralen Fehler sind nicht in vollem Umfang kompensierbar. Das Fehlerminimum ist durch eine nachfolgende Optimierung berechenbar.

Die Rechnung ergibt beispielsweise folgende Varianten:

Vorgabe: Blau: $R_B = 0,7$
Grün: $R_G = 0,7$
Rot: $R_R = 0,3$
(Zyan mit 30 % Schwarz- und 30 % Weißanteil)

1.	$A_S = 0,911$	$A_R = -0,673$	$A_Y = 0,061$	$A_W = 0,700$
2.	$A_S = -0,684$	$A_G = 1,544$	$A_Y = -0,531$	$A_W = 0,672$
3.	$A_S = 0,907$	$A_R = -0,552$	$A_M = -0,112$	$A_W = 0,756$
4.	$A_S = 0,008$	$A_B = 0,875$	$A_M = -0,641$	$A_W = 0,758$
5.	$A_S = -0,699$	$A_G = 0,693$	$A_C = 0,842$	$A_W = 0,164$
6.	$A_S = 0,620$	$A_B = -1,254$	$A_C = 1,463$	$A_W = 0,170$

Bei diesem Beispiel wäre es nötig gewesen, die Rechnung bis zur Variante 5 auszuführen, um festzustellen daß

- die Mischung nicht fehlerlos herstellbar ist (es existiert keine Variante ohne neg. A)
- die optimale Mischung aus Flächenanteilen der Komponenten Schwarz, Grün, Zyan und Weiß besteht (wobei Komponenten aus dieser Mischung auch Null sein können)
- eine Optimierungsrechnung zur Quantifizierung dieser Flächenanteile angestellt werden muß.

Im folgenden wird die Berechnung der Farbmischung mit dem minimalen Fehler beschrieben.

Festlegung des Fehlerkriteriums

In den Fällen, wo ein Farbausgleich praktisch nicht mehr möglich ist, bei denen also die Lösung des linearen Gleichungssystems eine negative Schwarz- und/oder Weißfläche fordert, sind Optimierungsrechnungen anzustellen. Das Ergebnis ist eine Farbmischung, die im Vergleich zur Vorgabe den kleinstmöglichen Fehler zeigt.

Die absolute Abweichung als Fehlerkriterium heranzuziehen, ist für dieses Problem nicht sinnvoll. Die Lösung besteht darin, beim Vergleich der Vorgabe mit dem Farbmischungsergebnis die Streuung bzw. die Standardabweichung zu minimieren. Dazu wird zunächst durch Differenzbildung der jeweilige absolute Fehler ermittelt.

Die Standardabweichung beträgt dann bei diesen drei Differenzwerten:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{3}\left[(R_B - R_B')^2 + (R_G - R_G')^2 + (R_R - R_R')^2\right]} \qquad (16)$$

Dabei sind R_B, R_G und R_R die Remissionswerte der Farbvorgabe; R_B', R_G' und R_R' beschreiben die Remissionen des Druckergebnisses in den drei Spektralbereichen.

Die jeweils optimale Mischung entsprechend der Vorgabe ist dann erreicht, wenn keine andere Lösung existiert, die eine geringere Standardabweichung hat.

Es ist bei der Notwendigkeit der Optimierung ($A_S < 0$ und/oder $A_W < 0$) vorab nicht eindeutig festzulegen, ob die optimale Mischung aus drei oder zwei Komponenten oder sogar nur aus einer Komponente bestehen muß (nur eine fehlerlose Mischung hat maximal 4 verschiedenfarbige Flächenanteile). Insgesamt sind 14 verschiedene Fälle möglich:

Fälle 1 bis 4: (nur eine Farbe beteiligt)

1. $A_4 = 1$
2. $A_1 = 1$
3. $A_3 = 1$
4. $A_2 = 1$

Fälle 5 bis 10: (2 Farben beteiligt)

5. $A_2 + A_3 = 1$
6. $A_1 + A_3 = 1$
7. $A_1 + A_2 = 1$
8. $A_1 + A_4 = 1$
9. $A_2 + A_4 = 1$
10. $A_3 + A_4 = 1$

Fälle 11 bis 14: (3 Farben beteiligt)

11. $A_1 + A_3 + A_4 = 1$
12. $A_1 + A_2 + A_4 = 1$
13. $A_1 + A_2 + A_3 = 1$
14. $A_2 + A_3 + A_4 = 1$

Stellt man die Optimierung für diese 3 prinzipiell verschiedenen Varianten (mit den insgesamt 14 Fällen) an, dann ergibt sich eine Lösung mit dem geringsten Fehler.

Optimierung des 1-Farben-Problems

Dies stellt den einfachsten Fall dar, denn die Beziehungen

$$R'_B = R_{nB} \cdot A_n$$
$$R'_G = R_{nG} \cdot A_n$$
$$R'_R = R_{nR} \cdot A_n$$

ergeben das Druckergebnis für die 4 möglichen Fälle mit n = 1 bis 4. Der Index n bezeichnet die jeweilige mögliche Farbe (S, B, G, R, Y, M, C, W). Für B_n, G_n und R_n sind die zu der jeweiligen Farbe der Flächen A_n gehörenden Remissionen in den jeweiligen Spektralbereichen zu wählen. Nach (16) ermittelt man dazu die Standardabweichung.

Optimierung des 2-Farben-Problems

Hierbei bedeuten

A_1, A_2 - zu optimierende Flächenanteile der 2 Farben

R'_B, R'_G, R'_R - damit erreichtes Druckergebnis (Remissionen in den drei Spektralbereichen)

R_B, R_G, G_R - Vorgabe, an die das Druckergebnis angenähert werden soll

B_1, G_1, R_1

B_2, G_2, R_2 - Remissionen der beiden Farben in den Spektralbereichen

Es gilt nach den Gleichungen (2) und (3):

$$R'_B = B_1 \cdot A_1 + B_2 \cdot A_2 \qquad (17)$$

$$R'_G = G_1 \cdot A_1 + G_2 \cdot A_2 \qquad (18)$$

$$R'_R = R_1 \cdot A_1 + R_2 \cdot A_2 \qquad (19)$$

$$A_1 = 1 - A_2 \qquad (20)$$

Ein Einsetzen von Gleichung (20) in die Gleichungen (17), (18) und (19) liefert:

$$R'_B = B_1 - (B_1 - B_2) \cdot A_2$$

$$R'_G = G_1 - (G_1 - G_2) \cdot A_2$$

$$R'_R = R_1 - (R_1 - R_2) \cdot A_2$$

Eine Fehlerminimierung kann durchgeführt werden, indem man danach strebt, die mittlere quadratische Abweichung der Ergebniswerte R'_B, R'_G und R'_R von den Vorgabewerten R_B, R_G und R_R gegen ein Minimum laufen zu lassen. Für diese Rechnung ist es genauso möglich, die Summe der Quadrate der Abweichungen zu minimieren.

Mit diesem Kriterium gilt:

$$\Delta X = (R_B - R_B')^2 + (R_G - R_G')^2 + (R_R - R_R')^2 \qquad (21)$$

(ΔX soll gegen ein Minimum laufen)

Nach dem Einsetzen der Werte ergibt sich:

$$\begin{aligned}\Delta X = {} & ((R_B - B_1) + (B_1 - B_2) \cdot A_2)^2 \\ & + ((R_G - G_1) + (G_1 - G_2) \cdot A_2)^2 \\ & + ((R_R - R_1) + (R_1 - R_2) \cdot A_2)^2\end{aligned}$$

Setzt man dabei $R_B - B_1 = B_D$, $R_G - G_1 = G_D$, $R_R - R_1 = R_D$,

$B_1 - B_2 = B_E$, $G_1 - G_2 = G_E$, $R_1 - R_2 = R_E$,

dann steht für ΔX:

$$\begin{aligned}\Delta X = f(A_2) = {} & B_D^2 + G_D^2 + R_D^2 \\ & + 2 \cdot (B_D \cdot B_E + G_D \cdot G_E + R_D \cdot R_E) \cdot A_2 \\ & + (B_E^2 + G_E^2 + R_E^2) \cdot A_2^2 \qquad (22)\end{aligned}$$

Das Minimum für ΔX läßt sich ermitteln, indem die 1. Ableitung von ΔX nach A_2 gebildet und dann gleich Null gesetzt wird:

$$f'(A_2) = 2.(B_D.B_E + G_D.G_E + R_D.R_E) + 2.(B_E^2 + G_E^2 + R_E^2) \cdot A_2 \qquad (23)$$

Es ist also mit $f'(A_2) = 0$:

$$A_2 = - \frac{B_D \cdot B_E + G_D \cdot G_E + R_D \cdot R_E}{B_E^2 + G_E^2 + R_E^2} \qquad (24)$$

Das zugehörige A_1 ist dann nach Gleichung (20) zu ermitteln. Damit sind die Flächenanteile A_1 und A_2 der beiden Farben ermittelt, bei denen die mittlere quadratische Abweichung der Ergebniswerte von den Vorgabewerten das Minimum hat.

Optimierung des 3-Farben-Problems

Hier kommt zu den behandelnden Größen noch der Flächenanteil A_3 hinzu, der für einen weiteren Farbanteil einer dritten Farbe steht.
Nach (2) und (3) gilt hier:

$$R'_B = B_1 \cdot A_1 + B_2 \cdot A_2 + B_3 \cdot A_3 \quad (25)$$

$$R'_G = G_1 \cdot A_1 + G_2 \cdot A_2 + G_3 \cdot A_3 \quad (26)$$

$$R'_R = R_1 \cdot A_1 + R_2 \cdot A_2 + R_3 \cdot A_3 \quad (27)$$

$$A_1 = 1 - A_2 - A_3 \quad (28)$$

Wird die Größe A_1 nach Gleichung (28) in die Gleichungen (25), (26) und (27) eingesetzt, dann stellt sich dar:

$$R'_B = B_1 + (B_2 - B_1) \cdot A_2 + (B_3 - B_1) \cdot A_3$$
$$R'_G = G_1 + (G_2 - G_1) \cdot A_2 + (G_3 - G_1) \cdot A_3$$
$$R'_R = R_1 + (R_2 - R_1) \cdot A_2 + (R_3 - R_1) \cdot A_3$$

Setzt man hierbei $B_2 - B_1 = B_{D'}$ $G_2 - G_1 = G_{D'}$ $R_2 - R_1 = R_{D'}$
$B_3 - B_1 = B_{E'}$ $G_3 - G_1 = G_{E'}$ $R_3 - R_1 = R_{E'}$
dann ist die obenstehende Gleichung wie folgt zu lesen:

$$R'_B = B_1 + B_D \cdot A_2 + B_E \cdot A_3$$
$$R'_G = G_1 + G_D \cdot A_2 + G_E \cdot A_3$$
$$R'_R = R_1 + R_D \cdot A_2 + R_E \cdot A_3$$

Nach dem Einsetzen von B, G und R in die Gleichung (21), wo die Summe der Quadrate der Abweichungen gebildet wird, findet man:

$$\Delta X = (R_B - B_1 - B_D \cdot A_2 - B_E \cdot A_3)^2 + (R_G - G_1 - G_D \cdot A_2 - G_E \cdot A_3)^2 + (R_R - R_1 - R_D \cdot A_2 - R_E \cdot A_3)^2 \quad (29)$$

Innerhalb der Klammern kann man ersetzen:

$$R_B - B_1 = B_F, \quad R_G - G_1 = G_F, \quad R_R - R_1 = R_F$$

Nun steht für die Summe der Quadrate der Abweichungen nach dem Einsetzen und Umstellen:

$$\begin{aligned}\Delta X = {} & B_F^2 + G_F^2 + R_F^2 \\ & + (B_D^2 + G_D^2 + R_D^2) \cdot A_2 \\ & - 2 \cdot (B_F \cdot B_D^2 + G_F \cdot G_D + R_F \cdot R_D) \cdot A_2 \\ & + 2 \cdot (B_D \cdot B_E + G_D \cdot G_E + R_D \cdot R_E) \cdot A_2 \cdot A_3 \\ & - 2 \cdot (B_F \cdot B_E + G_F \cdot G_E + R_F \cdot R_E) \cdot A_3 \\ & + (B_E^2 + G_E^2 + R_E^2) \cdot A_3^2 \end{aligned} \quad (30)$$

Es ist also $\Delta X = f(A_2, A_3)$.
Zur Bestimmung des Funktionsminimums geht man vor wie bei der Berechnung der Senke einer gekrümmten Fläche. Es wird zunächst die 1. Ableitung der Funktion nach der 1. Variablen gebildet und gleich Null gesetzt und anschließend die 1. Ableitung der Funktion nach der 2. Variablen gebildet und Null gesetzt. Es entsteht ein Gleichungssystem, dessen Wurzeln die Stellen A_2, A_3 des Minimums der Funktion darstellen.

$$\begin{aligned} f'_{A2}(A_2, A_3) = {} & 2 \cdot (B_D^2 + G_D^2 + R_D^2) \cdot A_2 \\ & - 2 \cdot (B_F \cdot B_D + G_F \cdot G_D + R_F \cdot R_D) \\ & + 2 \cdot (B_D \cdot B_E + G_D \cdot G_E + R_D \cdot R_E) \cdot A_3 \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} f'_{A3}(A_2, A_3) = {} & 2 \cdot (B_E^2 + G_E^2 + R_E^2) \cdot A_3 \\ & - 2 \cdot (B_F \cdot B_E + G_F \cdot G_D + R_F \cdot R_D) \\ & + 2 \cdot (B_D \cdot B_E + G_D \cdot G_E + R_D \cdot R_E) \cdot A_2 \end{aligned} \quad (32)$$

$$f'_{A2}(A_2, A_3) = 0 \tag{33}$$

$$f'_{A3}(A_2, A_3) = 0 \tag{34}$$

Setzt man $B_D^2 + G_D^2 + R_D^2 = H_1$

$B_F \cdot B_D + G_F \cdot G_D + R_F \cdot R_D = H_2$

$B_D \cdot B_E + G_D \cdot G_E + R_D \cdot R_E = H_3$

$B_F \cdot B_E + G_F \cdot G_E + R_F \cdot R_E = H_4$

$B_E^2 + G_E^2 + R_E^2 = H_5$

dann steht für (31) und (32) mit (33) und (34):

$$H_1 \cdot A_2 - H_2 + H_3 \cdot A_3 = 0$$

$$H_3 \cdot A_2 - H_4 + H_5 \cdot A_3 = 0$$

Nach der 2. Gleichung ist

$$A_3 = -\frac{H_3}{H_5} \cdot A_2 + \frac{H_4}{H_5} \tag{35}$$

Das Einsetzen von A_3 in die 1. Gleichung liefert:

$$H_1 \cdot A_2 - H_2 + H_3 \cdot \left(-\frac{H_3}{H_5} \cdot A_2 + \frac{H_4}{H_5}\right) = 0$$

die Umstellung nach A_2 ergibt:

$$A_3 = \frac{H_2 \cdot H_5 - H_3 \cdot H_4}{H_1 \cdot H_5 - H_3^2} \tag{36}$$

Damit ist mit (36), (35) und (28) die Berechnung der Farbflächenanteile der drei beteiligten Farben erfolgt, für die die mittlere quadratische Abweichung des Druckergebnisses von den Vorgabewerten minimal ist. Der Vergleich der Standardabweichungen der insgesamt 14 Lösungen erbringt das Optimum des zu erzielenden Mischungsergebnisses.

Erläuterung der Optimierungsergebnisse des erfindungsgemäßen Verfahrens

Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist es möglich, den Mischungsfehler, der durch die spektralen Fehler der Körperfarben verursacht wird, zu minimieren. In weiten Bereichen ist der Fehler voll kompensierbar. Dabei existieren 4 qualitativ abgegrenzte Bereiche in der Lösung des Gleichungssystems, das aus den 6 möglichen Gleichungssystemen ausgewählt worden ist. Diese 4 Bereiche sind in Fig. 4 grafisch dargestellt.
Der horizontal schraffierte Bereich ist der, in welchem die spektralen Fehler vollständig kompensiert werden können. Liegt der Arbeitspunkt auf der Unbuntlinie, dann ist nur Schwarz und Weiß gefordert. Liegt er auf der Grundlinie, dann ist kein Schwarz gefordert. Wenn er auf der rechten senkrechten Begrenzung liegt, dann ist kein Weißanteil gefordert. Die gestrichelte Linie teilt das Arbeitsdreieck in zwei Teile. In diesen Teilen bilden jeweils andere Buntfarbenkomponenten den Buntanteil (z.B. Schwarz, Blau, Magenta und Weiß im oberen Bereich und Schwarz, Rot, Magenta und Weiß im unteren Bereich). Ein Arbeitspunkt auf der gestrichelten Linie beschreibt eine Mischung, bei der die Übergangskomponenten der Buntfarben Null sind (im Beispiel: Blauflächenanteil = 0, Rotflächenanteil = 0, die Mischung enthält nur Schwarz, Weiß und Magenta). Im Bereich des Arbeitsdreieckes sind mehrere solcher Buntfarbenübergänge möglich.
In den Figuren 5 bis 10 ist in der beschriebenen Diagrammdarstellung das Farbmischverhalten zur Erzeugung spektral reiner Grundfarben Rot, Blau, Grün, Gelb, Magenta und Zyan gezeigt, wobei in diesem Beispiel die Druckfarben mit der in der Fig. 2 dargestellten Charakteristik verwendet werden. Der hier schraffierte Bereich ist der Bereich, in dem die spektralen Fehler der Körperfarben kompensiert werden können. Man erkennt, daß auch zur Bildung reiner Primärfarben eine Sekundärfarbe hinzugesetzt werden muß, um die spektrale Reinheit zu erreichen. Um zum Beispiel reines Gelb mit einem

bestimmten Unbuntanteil (Schwarz und Weiß) zu erhalten, wird immer Körperfarbengelb mit Körperfarbenzyan als zweiter bunter Farbe gemischt, wobei ein grüner Flächenanteil gebildet wird. An der Mischung von reinem Rot können sowohl Magenta als auch Zyan als auch Gelb beteiligt sein. Hier sind 3 Farbübergänge zu beobachten.
Die größten Bereiche der vollständigen Korrigierbarkeit sind bei Rot und Gelb festzustellen. In den anderen Farben gelingt es nur bei hohem Unbuntanteil, die spektral reine Farbe zu drucken.
Wie den Diagrammen zu entnehmen ist, liegt der Punkt der maximalen Buntheit des Druckergebnisses einer spektral reinen Grundfarbe bei folgenden Farbflächenanteilen:

Farbe	spektral reiner Buntfarbenanteil	Schwarz-anteil	Weiß-anteil
Rot	68 %	13 %	19 %
Gelb	66 %	20 %	14 %
Magenta	25 %	64 %	11 %
Zyan	24 %	61 %	15 %
Blau	22 %	64 %	14 %
Grün	22 %	64 %	14 %

Es zeigt sich, daß der Korrekturbetrag, um den eine oder mehrere Körperfarbenkomponenten verändert werden muß, um das bestmögliche Druckergebnis zu erhalten, zwischen 0 % und etwa 20 % liegt. Mit dem Verfahren ist die Korrektur von beliebigen Eingangssignalen auf dem Rechenwege möglich oder aber die Signale liegen diskret gestuft vor, wobei im zweiten Fall die Anzahl der zu verarbeitenden verschiedenen Signale begrenzt ist. Geht man davon aus, daß bei dem angewendeten Druckverfahren die Variation der Flächenanteile der zur subtraktiven Mischung benutzten 3 Primärfarben in diskreten Stufen erfolgt und man sich im konkreten Fall,

wenn das Ergebnis des Korrekturverfahrens einen Betrag fordert, der zwischen zwei Stufen liegt, für eine der beiden Stufen entscheiden muß, dann sind einer Korrektur bei einer groben Stufung Grenzen gesetzt.

Wenn das Korrekturverfahren sinnvoll angewendet werden soll, dann darf der Stufenabstand für die Flächenanteile der Druckfarben im Bildpunkt nicht größer sein als der maximal zu erwartende Korrekturwert. Aus dieser Überlegung folgt, daß das Verfahren der Fehlerkorrektur sinnvoll bei Druckverfahren angewendet werden kann, die die Farbflächenanteile in mehr als 5 diskreten Stufen bilden können.

Bei einer ausreichend großen Verarbeitungsgeschwindigkeit der das erfindungsgemäße Verfahren nutzenden Einrichtung kann die Korrektur der Eingangssignale auf direktem Wege erfolgen und die korrigierten Ausgangssignale können der Reproduktionseinrichtung zugeführt werden.

Bei einer begrenzten Anzahl von erreichbaren Farbkombinationen besteht auch die Möglichkeit der vorherigen Ermittlung der Farbwertzuordnungen der Forderungswerte zu den Druckwerten und des anschließenden Ablegens der Ergebnisse in einen Halbleiterspeicher. Bei einer derartigen "look-up-table" kann nach dem Einlesen der Farbsignale in den Drucker die direkte korrigierte Zuordnung der Druckdaten abgefordert werden.

Wird zum Beispiel jede Primärfarbe in 16 Stufen abgedruckt, dann ergeben sich 4096 Farbkombinationen. Der für die look-up-table notwendige Speicheraufwand hält sich in Grenzen.

Das Korrekturverfahren, welches hier beschrieben wurde, entstand für die Korrektur der Farbeingangssignale für einen Tintenstrahl-Matrixdrucker. Die Signale stammen z. B. aus dem Bildspeicher eines Mehrfarbenmonitors. Das Remissions- bzw. Absorptionsverhalten der im Drucker verwendeten Drucktinten ist durch eine einmalige spektrale Messung zu ermitteln. Die pro Tropfen auf den Aufzeichnungsträger gebrachte Farbmenge ist sehr konstant. Eine Farbdichteabstufung ergibt sich durch die Anzahl der nebeneinander in

einem sektorunterteilten Bildpunkt konstanter Größe abgelegten Tintentropfen.
Das Verfahren ist jedoch nicht auf diese Technik beschränkt - es ist auf alle anderen Verfahren der Druck- und Aufzeichnungstechnik übertragbar, bei denen die Farbfehler des verwendeten Farbmittels die Mischung verfälschen.

Anhand der schematischen Darstellung entsprechend Fig. 11 soll abschließend noch einmal das erfindungsgemäße Verfahren in seinem Umfeld erläutert werden. Als Eingangssignale können beispielsweise analoge Videosignale $R_B(t)$, $R_G(t)$ und $R_R(t)$ dienen, wie sie dem Farbmonitor zugeführt werden. Für die Verarbeitung der Signale in Digitalrechnern ist eine Analog/Digitalumwandlung erforderlich. Anschließend erfolgt im Korrekturrechner die Signalverarbeitung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren, in dessen Ergebnis für den augenblicklich zu druckenden Bildpunkt fester Größe die zu bedruckenden Unbuntflächenanteile (A_S - Schwarzflächenanteil, A_W - Weißflächenanteil) und die Buntflächenanteile (A_1 - Primärfarbflächenanteil, A_2 - Sekundärfarbflächenanteil) vorliegen. Da bei einem Dreifarbendrucker jedoch die Sekundärfarben und die Schwarzflächen durch Überlagerung der drei Primärfarben gebildet werden, muß eine weitere einfache Farbumrechnung erfolgen, deren Ergebnis dann direkt für die Steuerung des Reproduktionsgerätes genutzt werden kann. So ist hier beispielsweise umzurechnen:

1 Flächeneinheit Rot = 1 Flächeneinheit Magenta über
1 Flächeneinheit Gelb gedruckt

Die in den Korrekturrechner einfließenden Signale R_{CB}, R_{CG}, R_{CR} ... R_{MR} sind die für die verwendeten Druckfarben einmalig bestimmten Konstanten.

Patentanspruch

1. Verfahren zur Korrektur des Farbeingangssignals beim Mehrfarbendruck in Abhängigkeit vom spektralen Fehlverhalten der verwendeten Druckfarben, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

a) einmalige Bestimmung der Remissionsanteile der verwendeten Körperfarben im spektralen Blau-, Grün- und Rotbereich

(Primärfarben: R_{CB}, R_{YB}, R_{MB},
R_{CG}, R_{YG}, R_{MG}
R_{CR}, R_{YR}, R_{MR})

b) einmalige Bestimmung der resultierenden Remissionen für die Mischfarben, die sich durch die subtraktive Farbmischung ergeben

(Sekundärfarben: R_{GB}, R_{RB}, R_{BB},
R_{GG}, R_{RG}, R_{BG},
R_{GR}, R_{RR}, R_{BR},

Tertiärfarbe: R_{SB}
R_{SG}
R_{SR})

c) Bestimmung der Remissionsvorgabe in den drei Spektralbereichen (Blau, Grün und Rot) für das zu erzielende Ergebnis in der jeweiligen Bildpunktfläche (R_B;R_G;R_R)

d) Berechnung der reellen Wurzeln (A_S; A_1; A_2; A_W) des inhomogenen linearen Gleichungssystems

$$R_B = R_{SB} \cdot A_S + R_{1B} \cdot A_1 + R_{2B} \cdot A_2 + A_W$$
$$R_G = R_{SG} \cdot A_S + R_{1G} \cdot A_1 + R_{2G} \cdot A_2 + A_W$$
$$R_R = R_{SR} \cdot A_S + R_{1R} \cdot A_1 + R_{2R} \cdot A_2 + A_W$$
$$1 = A_S + A_1 + A_2 + A_W$$

nacheinander für die sechs Fälle

Fall	R_{1B}	R_{1G}	R_{1R}	A_1	R_{2B}	R_{2G}	R_{2R}	A_2
1	R_{RB}	R_{RG}	R_{RR}	A_R	R_{YB}	R_{YG}	R_{YR}	A_Y
2	R_{GB}	R_{GG}	R_{GR}	A_G	R_{YB}	R_{YG}	R_{YR}	A_Y
3	R_{RB}	R_{RG}	R_{RR}	A_R	R_{MB}	R_{MG}	R_{MR}	A_M
4	R_{BB}	R_{BG}	R_{BR}	A_B	R_{MB}	R_{MG}	R_{MR}	A_M
5	R_{GB}	R_{GG}	R_{GR}	A_G	R_{CB}	R_{CG}	R_{CR}	A_C
6	R_{BB}	R_{BG}	R_{BR}	A_B	R_{CB}	R_{CG}	R_{CR}	A_C

wobei der Farbflächenanteil von Schwarz mit A_S, von Weiß mit A_W, von Rot mit A_R usw. angegeben ist, bis zu dem Fall, bei dem die Lösung des Gleichungssystems sowohl für den Buntflächenanteil A_1 als auch für den Buntflächenanteil A_2 einen positiven Wert ergibt,

e) ist in diesem Fall sowohl $A_S \geq 0$ als auch $A_W \geq 0$, liegt fehlerfreie Lösung und damit korrigiertes Farbeingangssignal vor; wenn jedoch $A_S < 0$ und/oder $A_W < 0$ müssen ein oder mehrere der verbleibenden Flächenanteile so lange verändert werden, bis die Summe dieser Flächenanteile 1 ist und der Flächenanteil mit dem negativen Wert 0 ist;

f) Umwandlung der korrigierten Farbeingangssignale in entsprechende Farbzumessungen für die jeweils beteiligten Körperfarben.

2. Verfahren nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß die Bestimmung der Remissionsanteile der verwendeten Körperfarben durch Bildung der Remissionsmittel für jede der verwendeten Körperfarben nach der Formel

$$\frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda) \, d\lambda$$

für jeden der drei Bereiche (Blau, Grün, Rot) erfolgt, wobei λ_1 den Beginn und λ_2 das Ende des jeweiligen spektralen Bereiches darstellt.

3. Verfahren nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß für den Fall $A_S < 0$ und/oder $A_W < 0$ eine Optimierungsrechnung zur Fehlerminimierung durchzuführen ist mit dem Optimierungskriterium des quadratischen Fehlers

$$\Delta x = (R_B - R_B')^2 + (R_G - R_G')^2 + (R_R - R_R')^2$$

wobei R_B', R_G' und R_R' die Remissionen des Optimierungsergebnisses darstellen und Δx gegen ein Minimum laufen soll.

4. Verfahren nach Punkt 3, gekennzeichnet dadurch, daß getrennte Optimierungsrechnungen durchgeführt werden für die 14 Fälle, daß

$A_W = 1$	$A_2 + A_1 = 1$	$A_S + A_2 + A_W = 1$
$A_S = 1$	$A_S + A_2 = 1$	$A_S + A_1 + A_W = 1$
$A_2 = 1$	$A_S + A_1 = 1$	$A_S + A_1 + A_2 = 1$
$A_1 = 1$	$A_S + A_W = 1$	$A_1 + A_2 + A_W = 1$
	$A_1 + A_W = 1$	
	$A_2 + A_W = 1$	

und daß die Ergebnisse bezüglich des im Punkt 3 des Patentanspruchs dargestellten Optimierungskriteriums verglichen werden und die Optimallösung für den Druck herangezogen wird.

Hierzu 6 Seiten Zeichnungen.

-7884-0190251

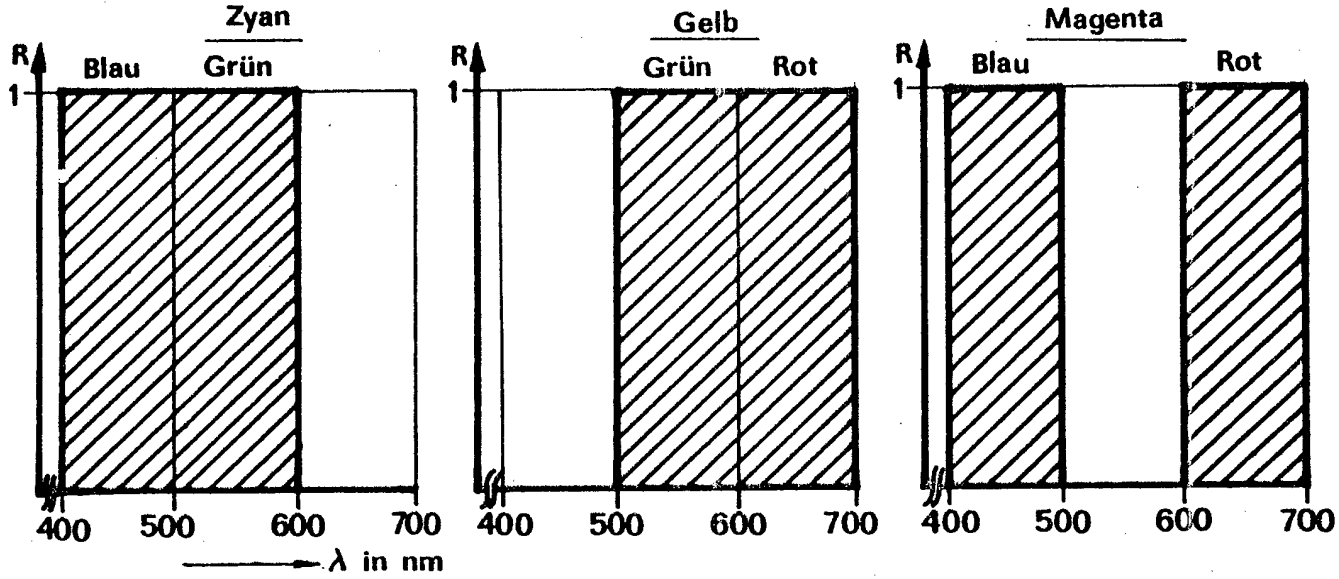


Fig. 1

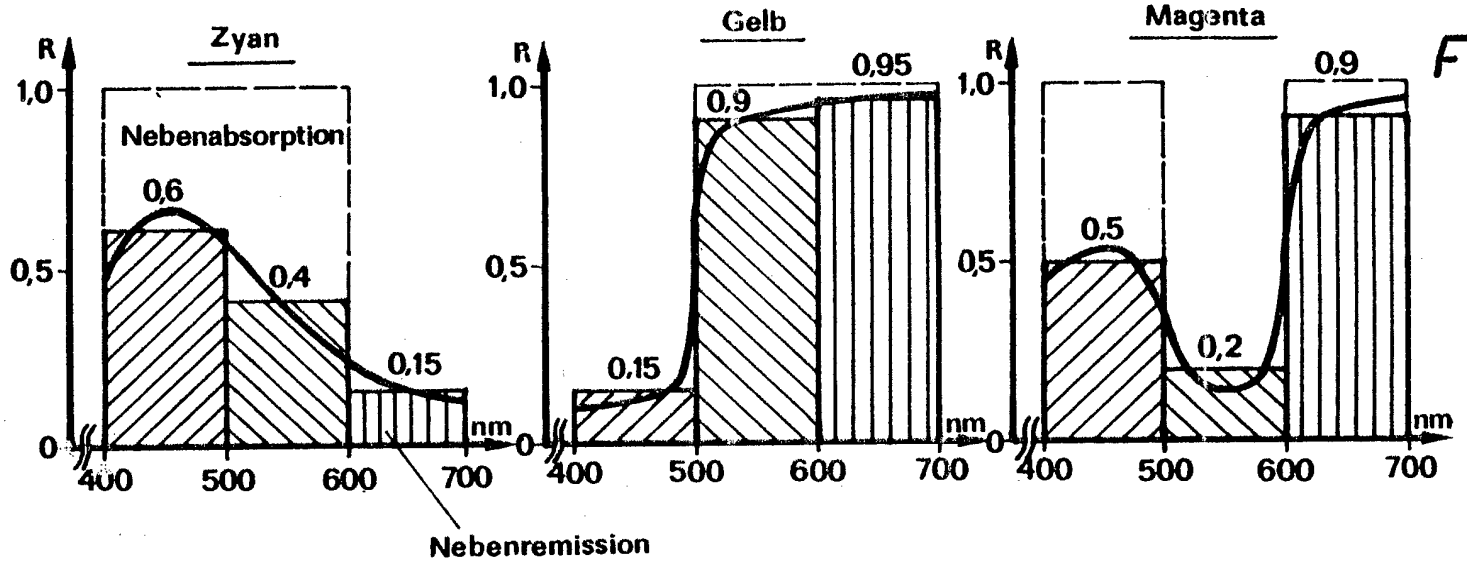


Fig. 2

Fig. 4

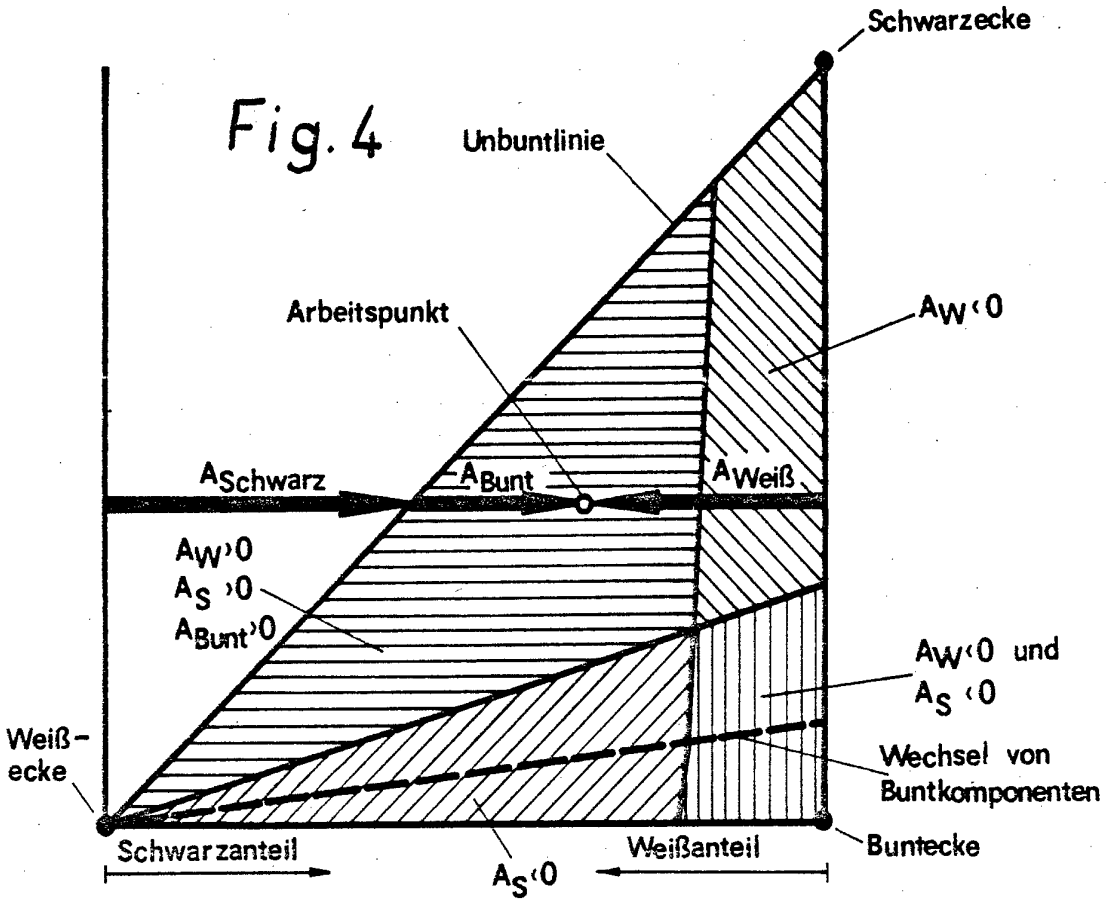
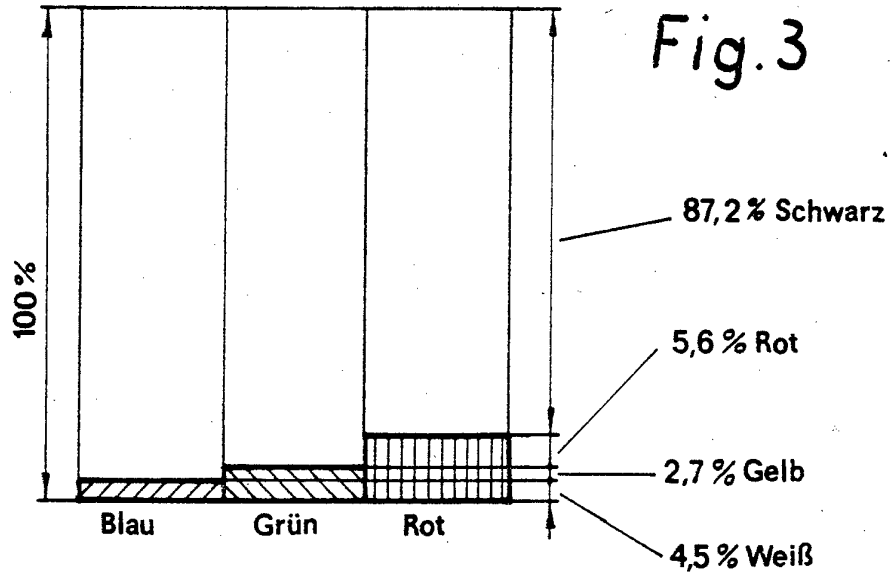
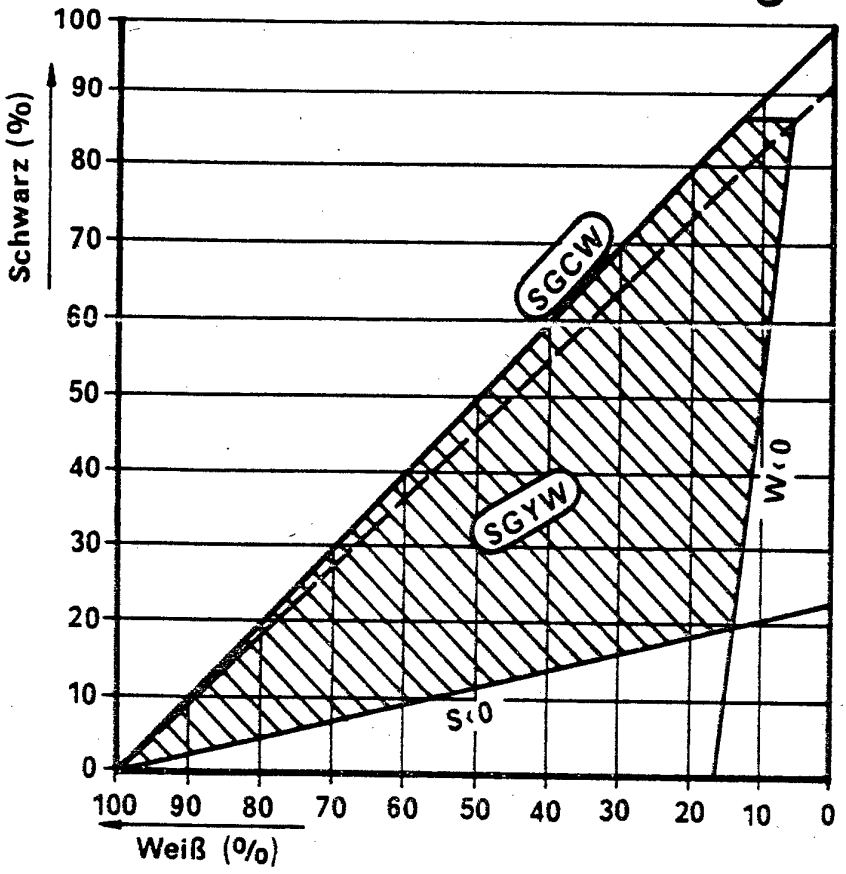

Schwarzecke
Unbuntlinie
Arbeitspunkt
$A_W < 0$
$A_{Schwarz}$
A_{Bunt}
$A_{Weiß}$
$A_W > 0$
$A_S > 0$
$A_{Bunt} > 0$
$A_W < 0$ und
$A_S < 0$
Weiß-
ecke
Wechsel von
Buntkomponenten
Schwarzanteil
$A_S < 0$
Weißanteil
Buntecke

Fig. 3


100 %
87,2 % Schwarz
5,6 % Rot
2,7 % Gelb
4,5 % Weiß
Blau
Grün
Rot

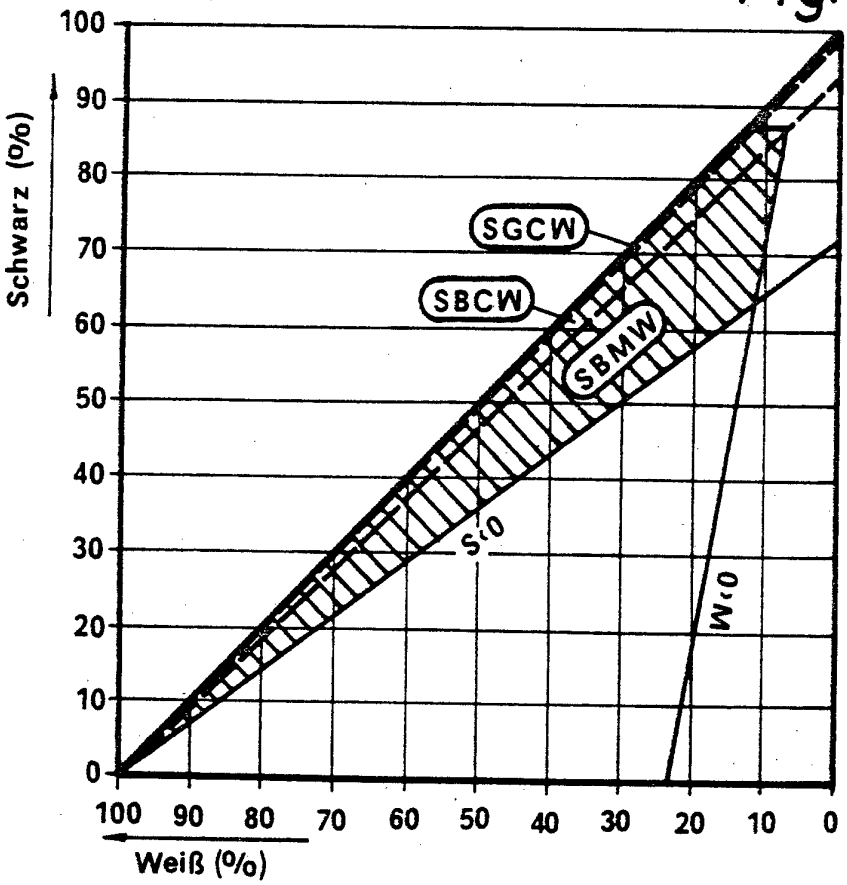
Reingelb

Fig.5



Reinmagenta

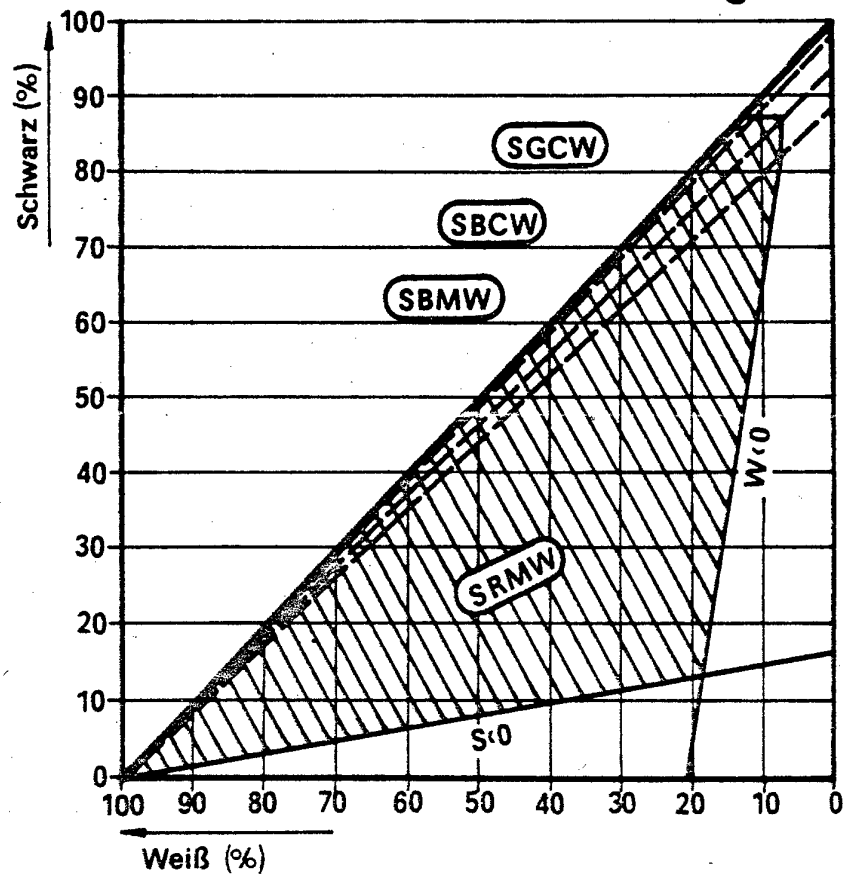
Fig.6



-7.8.84-0190251

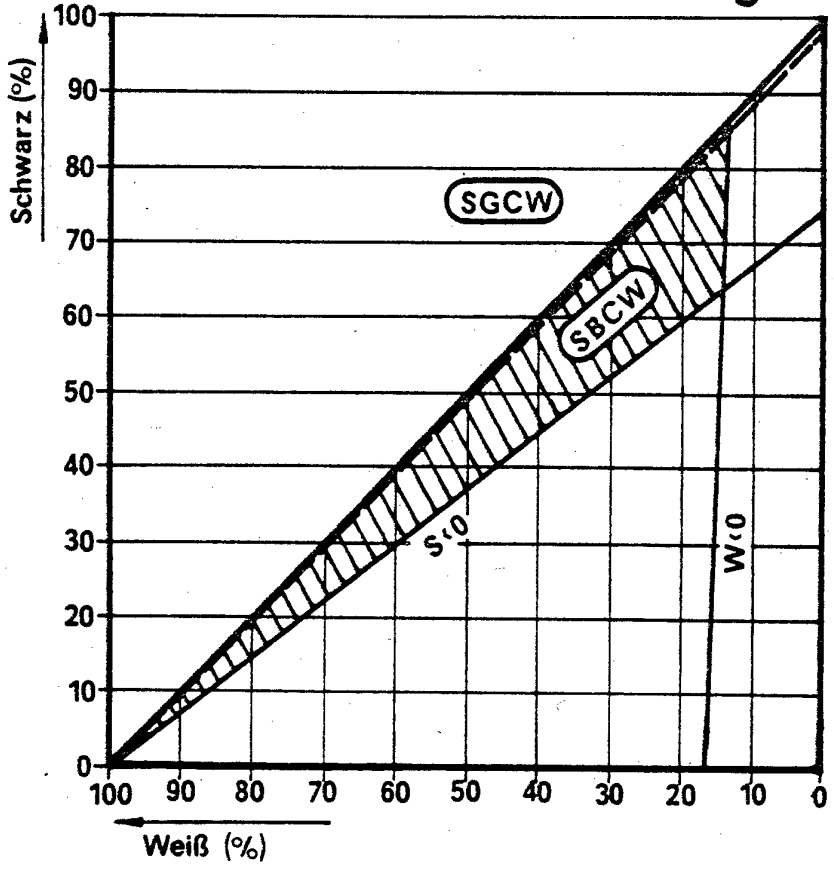
Reinrot

Fig. 7



Reinblau

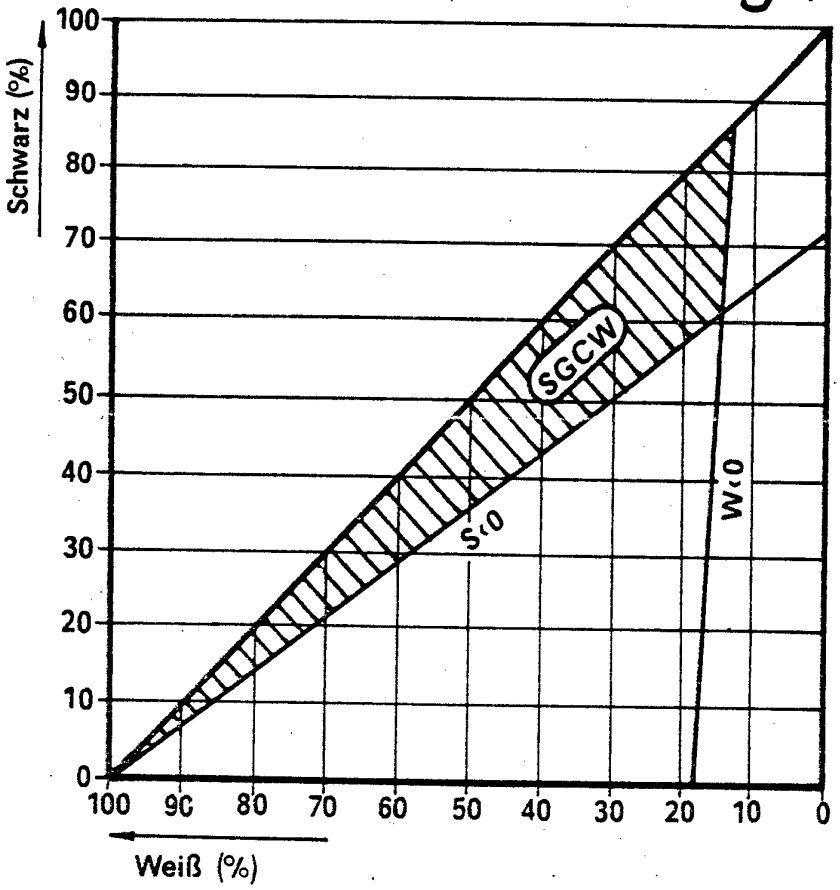
Fig. 8



-7.8.84-0190251

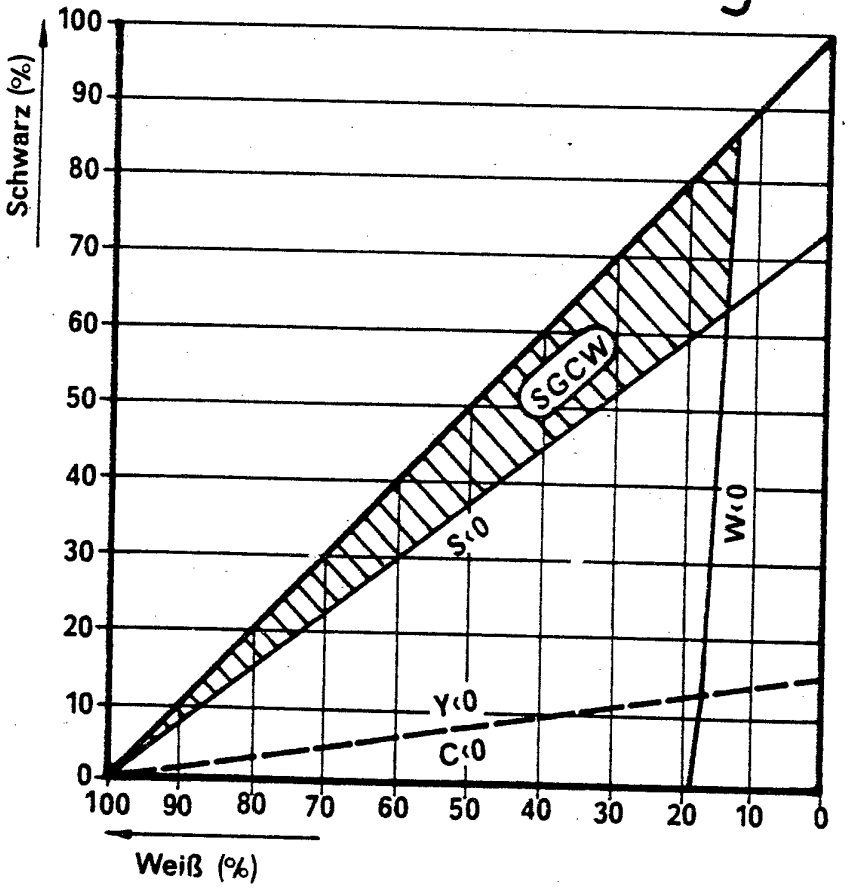
Reinzyan

Fig.9



Reingrün

Fig.10



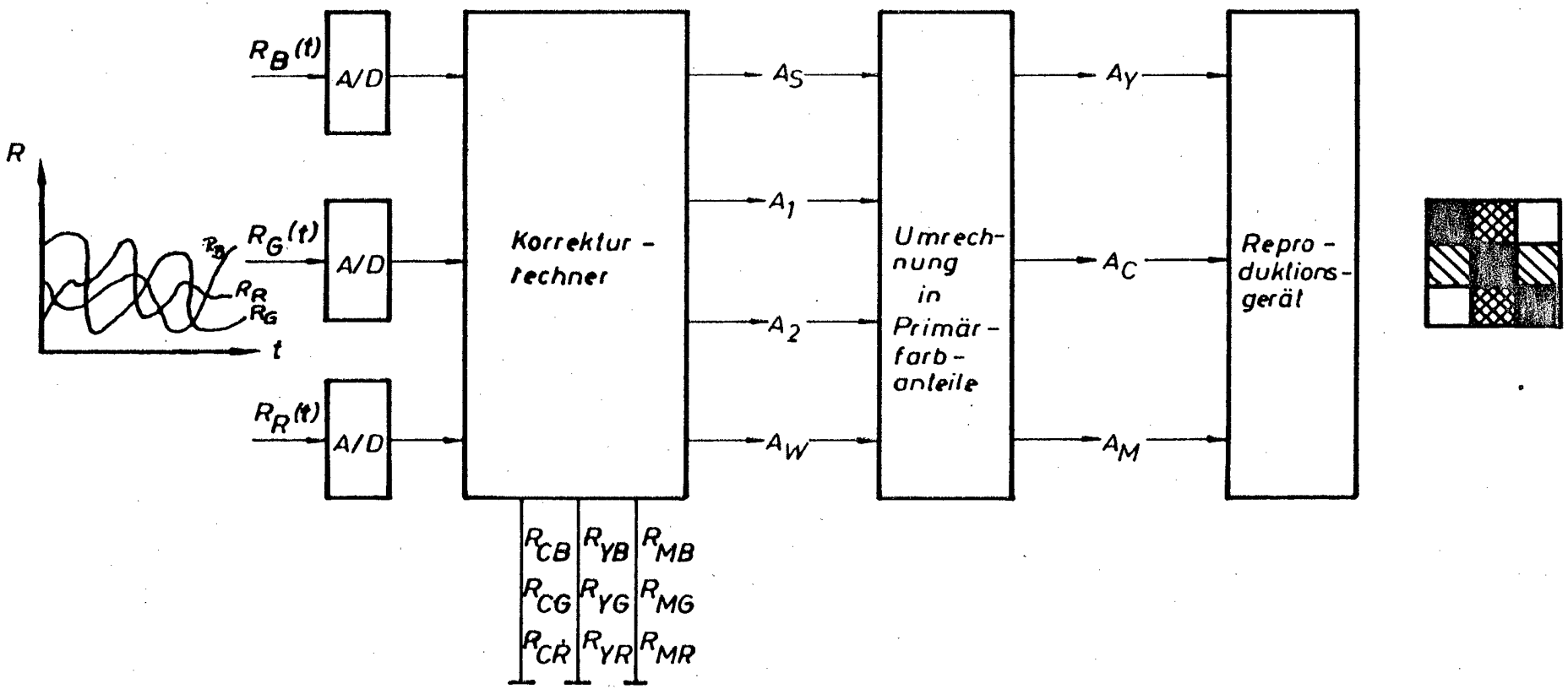

R
t
R_B
R_G
R_R
$R_B(t)$
$R_G(t)$
$R_R(t)$
A/D
A/D
A/D
Korrektur-rechner
A_S
A_1
A_2
A_W
Umrechnung in Primärfarbanteile
A_Y
A_C
A_M
Reproduktionsgerät
R_{CB} R_{YB} R_{MB}
R_{CG} R_{YG} R_{MG}
R_{CR} R_{YR} R_{MR}

Fig. 11