

Farbe & Qualität

2. Auflage

Copyright © 1995/1999

Heidelberger Druckmaschinen AG

Kurfürsten-Anlage 52-60

D-69115 Heidelberg

Telefon +49-6221-92-00

Fax +49-6221-92-6999

00.992.6401a D (Farbe & Qualität)

Farbe & Qualität

HEIDELBERG

Farbe & Qualität

Printed in the Federal Republic of Germany.
Übersetzung, Weitergabe an Dritte sowie jede
Vervielfältigung sind ohne unsere schriftliche
Zustimmung untersagt und werden nach den
geltenden Gesetzen gerichtlich verfolgt.

Fotos
Heidelberger Druckmaschinen AG
Tony Stone, Seite 8
Bavaria, Seite 31

2. überarbeitete und erweiterte Auflage
Copyright © 1995/1999
Heidelberger Druckmaschinen AG
Kurfürsten-Anlage 52–60
D-69115 Heidelberg
Telefon +49-6221-92-00
Fax +49-6221-92-6999

Schutzgebühr: DM 15,-

Licht und Farbe

1

1.1	Licht ist Farbe	8
1.2	Farbe sehen	10
1.3	Farbmischung	12
1.4	Farbsysteme	16

Farbe im Druck

2

2.1	Farbschichtdicke	22
2.2	Rastertonwert	24
2.3	Relativer Druckkontrast	34
2.4	Farbbebalance/Bildaufbau	35
2.5	Farbannahme und Farbreihenfolge	40
2.6	Farbmeßstreifen	43

Densitometrie

3

3.1	Meßprinzip des Auflichtdensitometers	48
3.2	Filter im Densitometer	52
3.3	Densitometrische Meßwerte	55
3.4	Messung	56
3.5	Auswertung	58
3.6	Standardisierung im Druck	60
3.7	Grenzen der Densitometrie	62

Farbmehrheit

4

4.1	Farbe messen	68
4.2	Normfarbwerte/Weißbezug	70
4.3	Normlichtarten	70
4.4	Normalbeobachter/Spektralwertfunktionen	72
4.5	Auswertung beim Spektralfotometer	74
4.6	Farbabstand ΔE	76
4.7	Munsell	86
4.8	Dreibereichsverfahren	87
4.9	Spektralverfahren	88
4.10	Meßprinzip der spektralen Qualitätskontrolle Heidelberg	90
4.11	Proof- und Farbmeßstreifen	91
4.12	Farbregelung mit Heidelberg	93
4.13	Vorteile der Farbmehrheit für den Offsetdruck	98



Licht und Farbe



1 Licht und Farbe

1.1	Licht ist Farbe	8
1.2	Farbe sehen	10
1.3	Farbmischung	12
1.3.1	Additive Farbmischung	12
1.3.2	Subtraktive Farbmischung	13
1.3.3	Autotypische Farbmischung	15
1.4	Farbsysteme	16

1.1 Licht ist Farbe

Wir leben in einer farbigen Welt. Mit Farbe gestalten wir unseren Lebensraum, um uns darin wohlzufühlen.

Raum- und Farbgestaltung haben unmittelbaren Einfluß auf unsere Empfindungen und Gefühle. Richtig aufeinander abgestimmte Farben erzeugen eine Harmonie, die uns positiv stimmt.

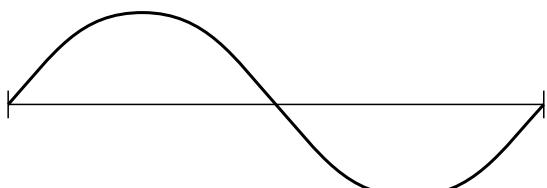
Auch die Druckindustrie setzt Farben ein, um wirkungsvolle Präsentationen zu erzeugen. Dem Kunden sollen immer hochwertigere Drucksachen geliefert werden. Dies setzt voraus, daß vermehrt Qualitätsstandards geschaffen werden. Um Farben beurteilen zu können, müssen wir sie »sehen«. Dazu benötigen wir Licht.

Die Sonne sendet Licht aus – sie ist ein Selbstleuchter. Im Gegensatz dazu geben die meisten Gegenstände in unserer Umgebung kein Licht ab. Sie sind sogenannte Nichtselbstleuchter. Wir können sie und ihre Farben daher nur sehen, wenn sie von Licht angestrahlt werden.



Licht ist Strahlung, die sich sehr schnell – mit einer Geschwindigkeit von 300 000 Kilometern pro Sekunde – ausbreitet. Genaugenommen besteht Licht aus elektromagnetischen Schwingungen, die sich wellenförmig fortpflanzen. Wie eine Wasserwelle besteht jede Lichtwelle aus einem Wellenberg und einem Wellental.

Wellenberg



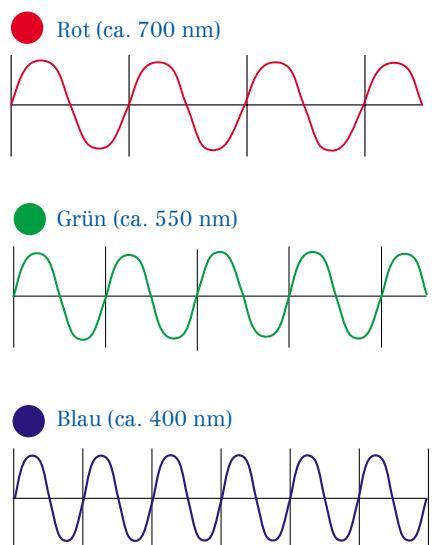
Wellental

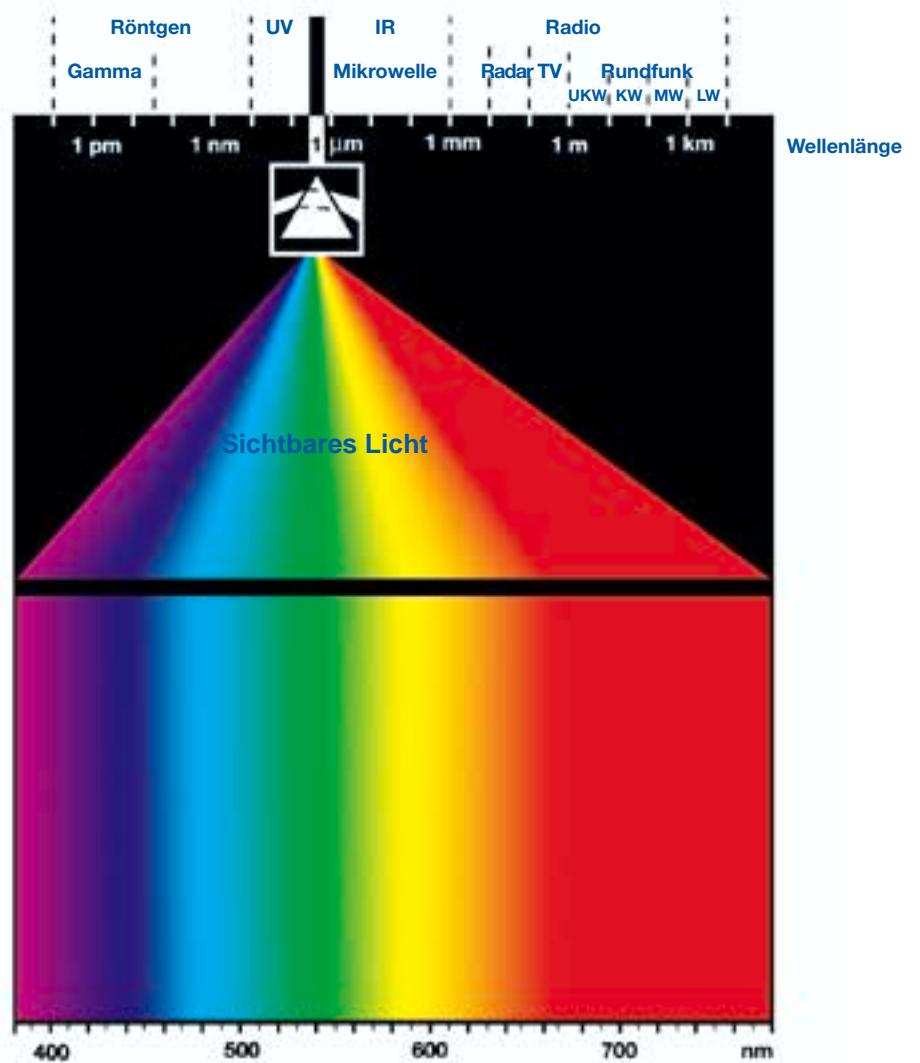
Man kann Wellen entweder über ihre Länge oder aber über die Anzahl ihrer Schwingungen pro Sekunde beschreiben. Wellenlängen werden in bekannten Einheiten wie Kilometer, Meter, Zentimeter, Millimeter, Nanometer oder Pikometer angegeben. Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde – die Frequenz – wird in Hertz angegeben.

Verschieden lange Wellen haben unterschiedliche Eigenschaften. So werden Röntgenstrahlen in der medizinischen Diagnostik verwendet, während viele Haushalte mit Mikrowellenherden ausgestattet sind. Wieder andere Wellen dienen zur Übermittlung von Telefongesprächen, Rundfunkprogrammen und Fernsehsendungen.

Nur einen ganz kleinen Bereich der elektromagnetischen Wellen nehmen wir als farbiges Licht wahr. Der sichtbare Wellenlängenbereich liegt zwischen 380 Nanometer (ultraviolettes Licht) und 780 Nanometer (Infrarotlicht). Mit einem Prisma kann man Licht in seine Farbbestandteile aufspalten. Da weißes Licht aus allen Spektralfarben besteht, sieht man alle Farben des Regenbogens (Abbildung Seite 10).

Die nebenstehende Abbildung zeigt, wie die Wellenlängen von Rot über Grün nach Blau immer kürzer werden.





1.2 Farbe sehen

Farben werden durch Licht erst »sichtbar« – aber warum?

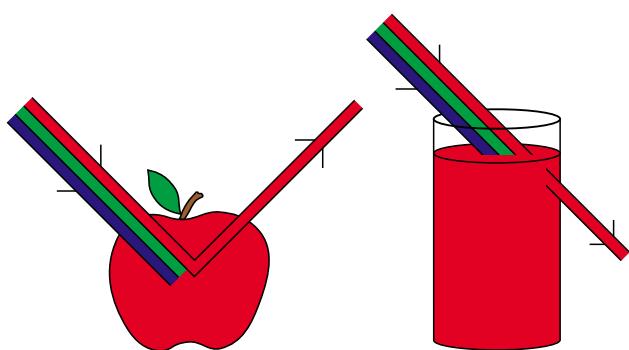
Farbe ist keine Eigenschaft eines Gegenstands wie seine Form. Allerdings haben Körper die Eigenschaft, Licht bestimmter Wellenlängen zu schlucken (zu absorbieren) oder zurückzuwerfen (zu reflektieren). Wir sehen nur die Farben, die den zurückgeworfenen Wellenlängen entsprechen.

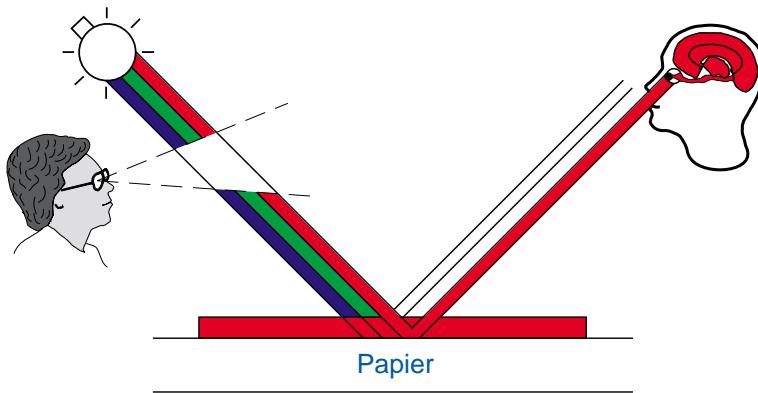
Wenn weißes Licht auf einen Gegenstand trifft, tritt einer der folgenden Fälle ein:

- Alles Licht wird absorbiert. In diesem Fall empfinden wir den Gegenstand als schwarz.
- Alles Licht wird reflektiert. In diesem Fall erscheint der Gegenstand weiß.
- Alles Licht wird durch den Körper hindurchgelassen. In diesem Fall ändert sich die Farbe des Lichts nicht.
- Ein Teil des Lichts wird absorbiert, der Rest reflektiert. Wir sehen eine Farbe, deren Farbton davon abhängt, welche Wellenlängen reflektiert und welche absorbiert werden.
- Ein Teil des Lichts wird absorbiert, der Rest hindurchgelassen. Wir sehen eine Farbe, deren Farbton davon abhängt, welche Wellenlängen absorbiert und welche hindurchgelassen werden.
- Ein Teil des Lichts wird reflektiert, der Rest hindurchgelassen. Dabei verändert sich sowohl die Farbe des reflektierten als auch des hindurchgelassenen Lichts.

Welcher Fall jeweils eintritt, hängt von den Eigenschaften des beleuchteten Gegenstandes ab.

Das von einem Gegenstand zurückgeworfene oder hindurchgelassene Licht wird von unseren Augen empfangen und in Nervenimpulse umgewandelt, die im Gehirn die Farbempfindung auslösen.





In der Netzhaut des Auges befinden sich lichtempfindliche Zellen. Es gibt zwei Arten von Zellen: Stäbchen und Zapfen. Die Stäbchen unterscheiden hell und dunkel, während die Zapfen auf Farben reagieren. Drei verschiedene Zapfenarten sind jeweils für bestimmte Wellenlängenbereiche empfindlich.

Die einen reagieren auf Licht von etwa 400 bis 500 Nanometer und sind damit blauempfindlich. Andere Zapfen »sehen« nur im Bereich von 500 bis 600 Nanometer und somit nur grünes Licht. Die dritte Zapfenart ist für rotes Licht zuständig, das im Bereich von 600 bis 700 Nanometer liegt.

Dieser Aufbau mit Stäbchen und unterschiedlichen Zapfen macht das menschliche Auge so empfindlich, daß wir viele Millionen Farben empfinden und unterscheiden können.

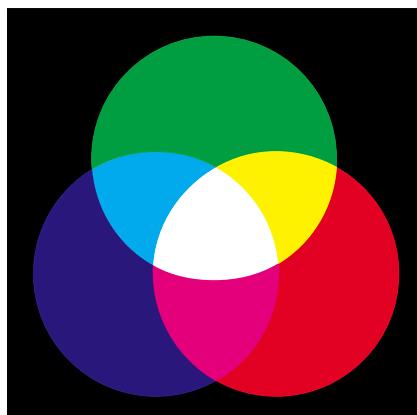
1.3 Farbmischung

1.3.1 Additive Farbmischung

Bei der additiven Farbmischung wird Licht unterschiedlicher Farben überlagert. Wenn man alle Farben des Spektrums überlagert, entsteht die Farbe Weiß.

Die additiven Grundfarben sind Rot, Grün und Blau. Sie sind sogenannte Eindrittelfarben, weil sie jeweils ein Drittel des sichtbaren Spektrums repräsentieren.

Das Prinzip der additiven Farbmischung läßt sich mit drei Diaprojektoren gut verdeutlichen. Dazu erzeugt jeder Projektor auf einer Leinwand einen Lichtpunkt in einer der drei additiven Grundfarben.



Grün	+	Rot	=	Yellow
Grün	+	Blau	=	Cyan
Blau	+	Rot	=	Magenta
Blau	+	Rot	+	Grün
Kein Licht			=	Weiβ
			=	Schwarz

In den Überlagerungsbereichen der drei Lichtpunkte entstehen folgende Mischfarben:

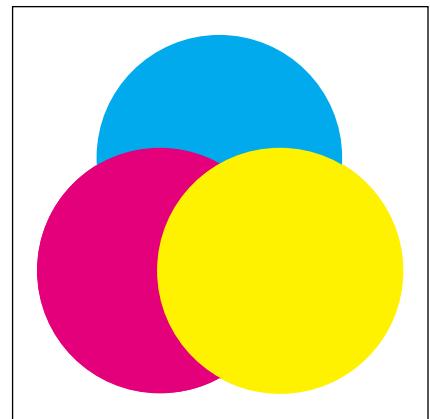
Die additive Farbmischung wird beim Farbfernsehen und im Theater zum Erzeugen aller Farben des sichtbaren Spektrums angewendet.

1.3.2 Subtraktive Farbmischung

Bei der subtraktiven Farbmischung werden weißem Licht unterschiedliche Farbbestandteile entnommen. Durch Wegnehmen aller Farbbestandteile entsteht Schwarz.

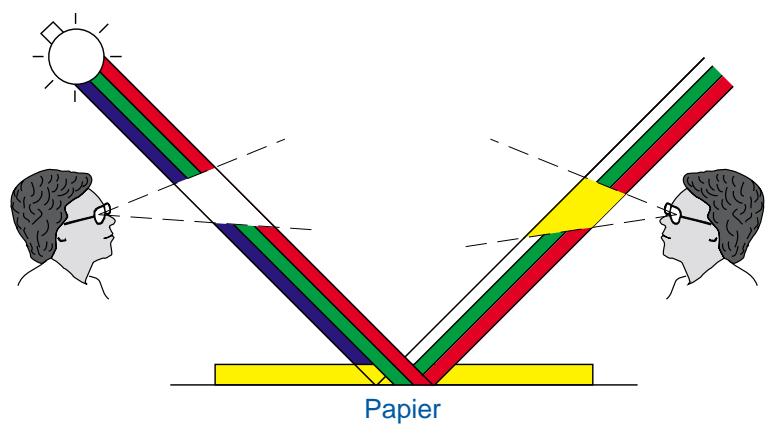
Die subtraktiven Grundfarben sind Cyan, Magenta und Yellow. Sie sind Zweidrittelfarben, weil sie jeweils zwei Drittel des sichtbaren Spektrums repräsentieren.

Man kann sie erzeugen, indem man entweder weißem Licht eine additive Grundfarbe entnimmt (zum Beispiel mit einem Filter) oder indem man Licht zweier additiver Grundfarben überlagert.



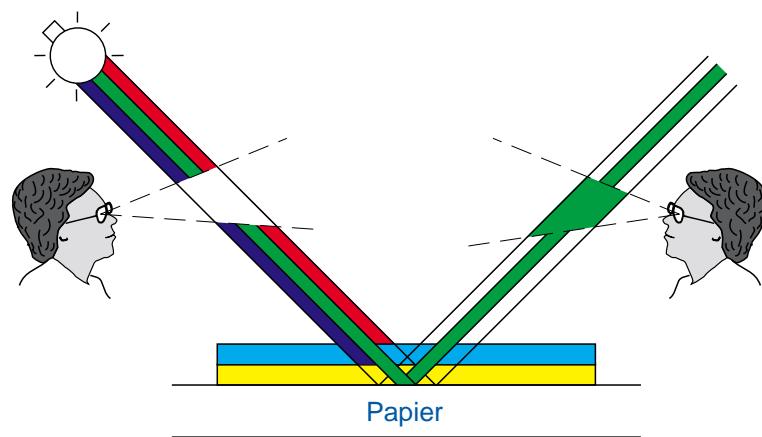
Druckfarben sind durchscheinende (lasierende) Substanzen, die wie Farbfilter wirken. Welche Farbe erhält man also, wenn man eine Blau absorbierende Substanz auf weißes Papier druckt?

Aus dem weißen Licht wird Blau entfernt; die anderen Bestandteile (Grün und Rot) werden reflektiert. Bei der additiven Überlagerung dieser beiden Farben entsteht Gelb. Dies ist die Farbe, die wir sehen.

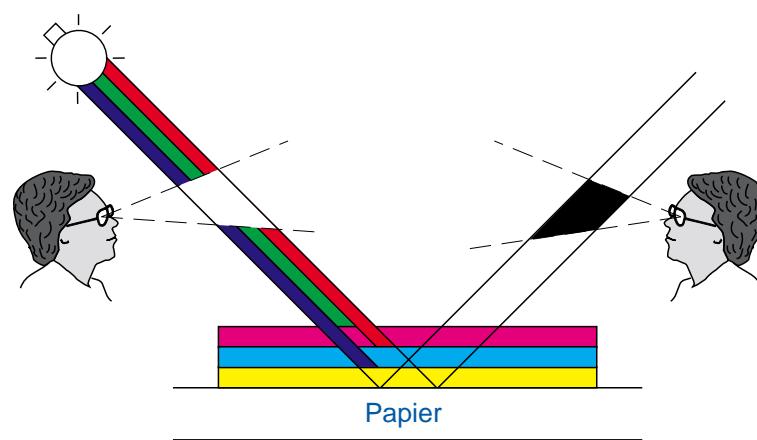


Die Druckfarbe hat also aus dem weißen Licht (bestehend aus Rot, Grün und Blau) ein Drittel (Blau) subtrahiert.

Angenommen, zwei lasierende Substanzen werden übereinander gedruckt. Nehmen wir beispielsweise die Druckfarben »Yellow« und »Cyan«. Die beiden Substanzen filtern nacheinander den blauen und den roten Anteil aus dem weißen Licht. Als Ergebnis nehmen wir grünes Licht wahr. Die beiden Druckfarben haben aus dem weißen Licht insgesamt zwei Drittel der Farbbestandteile subtrahiert.



Beim Übereinanderdruck von Cyan, Magenta und Yellow wird das gesamte einfallende Licht absorbiert (es gibt also keine Reflexion): wir sehen Schwarz.



Cyan	+	Yellow	=	Grün
Yellow	+	Magenta	=	Rot
Magenta	+	Cyan	=	Blau
Cyan	+	Magenta	+	Yellow = Schwarz
keine Farbe			=	Weiβ

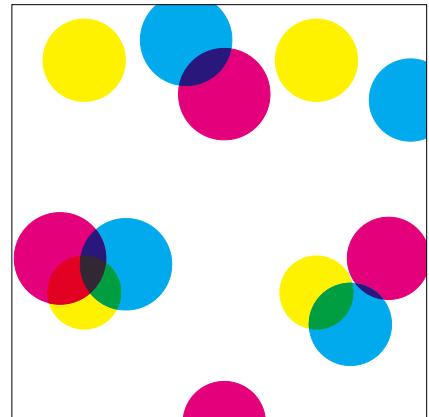
Bei der subtraktiven Farbmischung entstehen beim Übereinanderdruck von Cyan, Magenta und Yellow folgende Mischfarben:

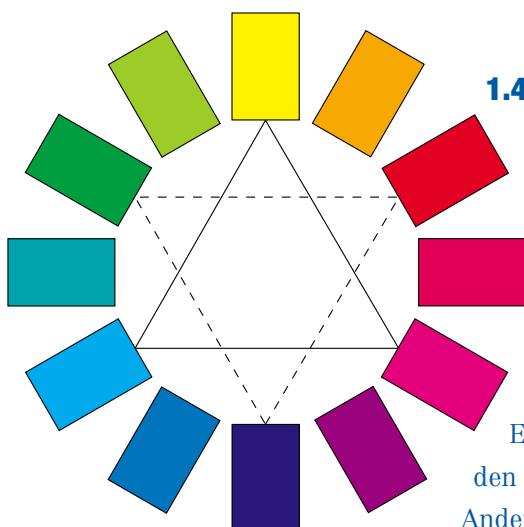
1.3.3 Autotypische Farbmischung

Farbige Bilder werden mit den vier Druckfarben Cyan, Magenta, Yellow und Schwarz gedruckt. Die schwarze Druckfarbe verbessert Schärfe und Tiefenwirkung von Bildern. Das aus Cyan, Magenta und Yellow subtraktiv gemischte Schwarz ist nämlich wegen der Pigmenteigenschaften der Buntfarben nie wirklich tiefschwarz.

Im klassischen Offsetdruck sind die Rasterpunkte in Abhängigkeit vom gewünschten Farbton unterschiedlich groß (siehe Kap. 2.2). Im Zusammendruck stehen die Punkte der einzelnen Farben zum Teil nebeneinander oder überlagern sich ganz oder teilweise. Betrachten wir die Punkte mit der Lupe (siehe Abbildung), sehen wir Farben, die – mit Ausnahme des Papierweiß – durch subtraktive Farbmischung entstehen. Ohne Lupe und mit normalem Betrachtungsabstand kann unser Auge bei einem gedruckten Bild keine Einzelpunkte mehr unterscheiden. In diesem Fall werden die vorhandenen Farben additiv gemischt.

Das Zusammenspiel von additiver und subtraktiver Farbmischung heißt autotypische Farbmischung.





1.4 Farbsysteme

Jeder Mensch nimmt Farben anders wahr. Eine Beschreibung von Farbtönen durch mehrere Personen wird daher zu höchst unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Drucker benötigen jedoch einheitliche Bewertungsmaßstäbe, um ihre Farben beschreiben zu können. Dazu wurden verschiedene Beurteilungssysteme geschaffen.

Einige Farbenhersteller stellen Musterbücher her und geben den Farben Bezeichnungen wie Novavit 4F 434.

Andere verwenden Farbfächer wie HKS und Pantone.

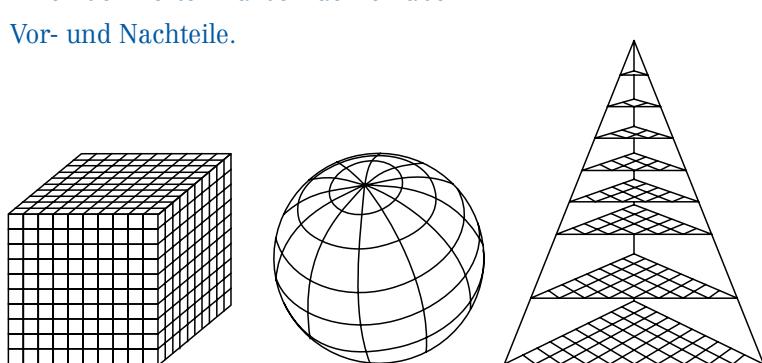
Ein weiteres Hilfsmittel ist der Farbkreis. Er kann aus 6, 12, 24 oder mehr Teilen aufgebaut sein.

Alle diese Systeme zeigen die einzelnen Farbtöne anhand von Beispielen und ordnen ihnen Bezeichnungen zu. Sie sind allerdings nie umfassend und für Berechnungen zumeist ungeeignet. Wie wir gesehen haben, hängt unsere Farbempfindung vom Reizzustand der rot-, grün- und blauempfindlichen Rezeptoren unseres Auges ab. Zur eindeutigen Beschreibung aller möglichen Farben sind daher drei Zahlenwerte erforderlich.

Mit einem solchen System ließe sich Grün beispielsweise wie folgt beschreiben: Grün = 0 × Rot + 1 × Grün + 0 × Blau oder noch kürzer: $G = 0 \times R + 1 \times G + 0 \times B$.

Wenn man sich die Grundfarben als Achsen eines Koordinatensystems vorstellt und aufzeichnet, erhält man einen sogenannten Farbenraum.

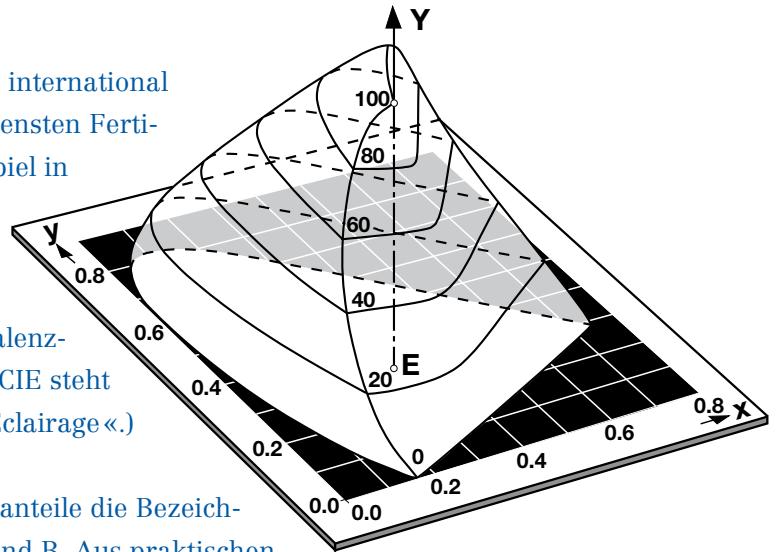
Viele Experten haben sich mit der Farbsystematik auseinander gesetzt und unterschiedliche Vorstellungen darüber entwickelt, wie ein Farbenraum aufgebaut sein soll. Alle von ihnen definierten Farbenräume haben Vor- und Nachteile.



Die wichtigsten Farbenräume wurden international genormt. Sie werden in den verschiedensten Fertigungsbereichen verwendet, zum Beispiel in der Farben- und Lackindustrie, von Textilfabrikanten, bei der Nahrungsmittelherstellung oder in der Medizin.

Als Standard hat sich das CIE-Normvalenzsystem durchgesetzt. (Die Abkürzung CIE steht für »Commission Internationale de l'Eclairage«.)

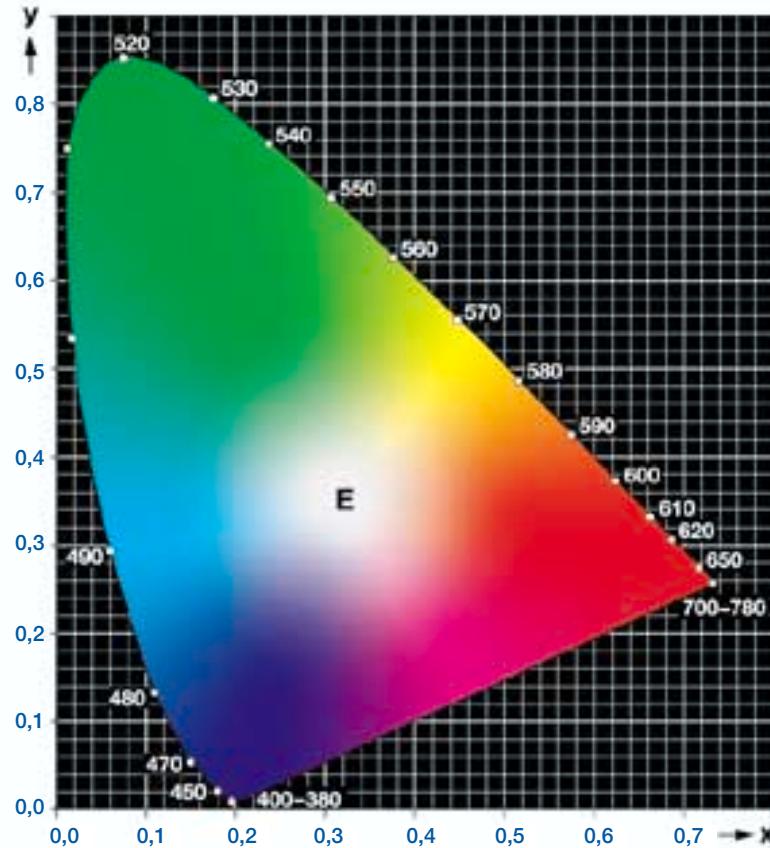
Dieses System verwendet für die Farbanteile die Bezeichnungen X, Y und Z anstelle von R, G und B. Aus praktischen Erwägungen ermittelt man daraus üblicherweise die Farbwertanteile x und y und den Hellbezugswert Y. (Der Hellbezugswert dient bei Körperfarben als Helligkeitsmaß.) Der Farbort kann mit diesen drei Koordinaten eindeutig beschrieben werden.



Farben mit demselben Hellbezugswert können zweidimensional in einer Ebene dargestellt werden. Ein Querschnitt durch den CIE-Farbenraum in der entsprechenden Helligkeitsebene ergibt eine CIE-Normfarbtafel (»Schuhsohle«, Abbildung Seite 18). Spektralfarben sind die Farben mit dem höchsten Sättigungsgrad, die in den einzelnen Farbtönen (Wellenlängen) erzeugt werden können. Sie liegen am Rand der CIE-Normfarbtafel. In der Abbildung sind am Spektralfarbenzug jeweils die zugehörigen Wellenlängen in Nanometer angegeben. Die gerade Verbindungsline zwischen den Wellenlängen 380 und 780 Nanometer wird Purpurlinie genannt. Innerhalb der von Spektralfarbenzug und Purpurlinie umschlossenen Fläche liegen alle Farbvalenzen, die durch additive Mischung der Spektralfarben erzeugt werden können.

Die Mittelpunktvalenz hat die Koordinaten $x = 0,333$ und $y = 0,333$. Bei Selbstleuchtern wird sie mit einem E (für »energiegleiches Spektrum«) und bei Körperfarben mitunter auch mit einem U (»Unbunt«) gekennzeichnet.

Visuell wahrnehmbare Farben in einer Helligkeitsebene des CIE-Farbenraumes (Normfarbtafel gem. »Schuhsohle«).

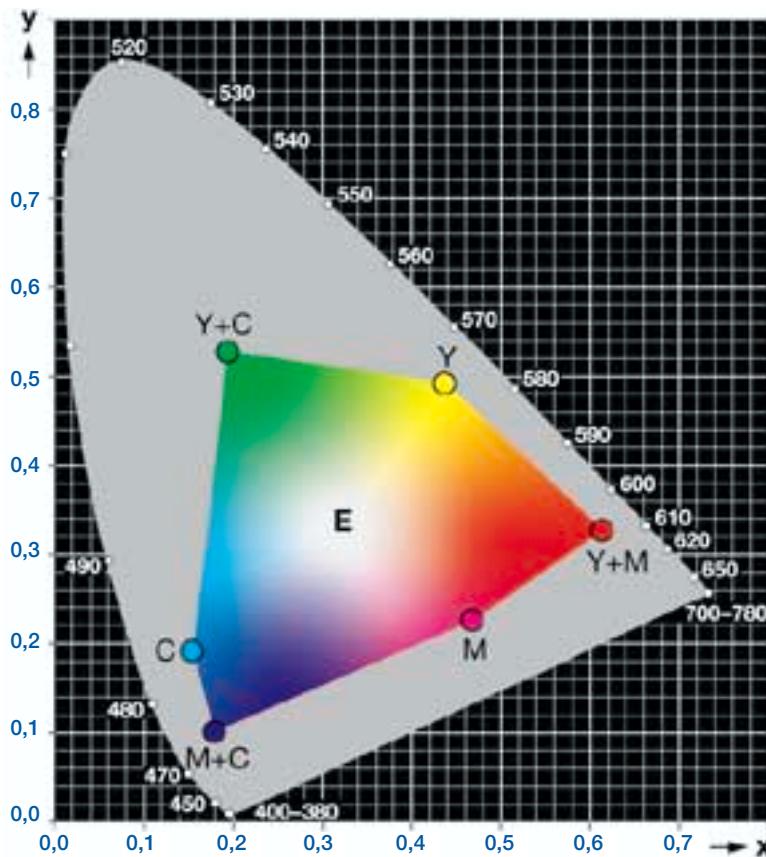


Die Sättigung aller Farben nimmt von der Mittelpunktwalenz zum Spektralfarbenzug zu.

In der Europaskala DIN 16 539 ist die Lage der Farborte für die Farben Cyan, Magenta und Yellow für den Drei- und Vierfarbendruck definiert. Ebenfalls festgelegt sind die Farborte der subtraktiven Sekundärfarben Rot, Grün und Blau.

Auf der folgenden Normfarbtafel sind die in DIN 16 539 festgelegten Farborte sowie der im Druck erzeugbare Farbumfang eingezeichnet. Diese Verteilung sieht für alle Hellbezugswerte ganz ähnlich aus.

Farbtöne, die innerhalb des Sechseckes liegen, können im Vierfarbendruck mit Farben der Europaskala reproduziert werden. Außerhalb dieses Bereichs liegende Farben lassen sich nur mit Hilfe von zusätzlichen Sonderfarben erzeugen.



Reproduzierbarer Farbumfang der Europaskala DIN 16 539.

In der Europaskala DIN 16 539 wurden die folgenden Werte für Kunstdruckpapier bei definierten Druck- und Meßbedingungen festgelegt:

Grund- und Mischfarben	Normfarbwertanteile		Hellbezugs- wert Y
	x	y	
Yellow	0,437	0,494	77,8
Magenta	0,464	0,232	17,1
Cyan	0,153	0,196	21,9
Yellow-Magenta	0,613	0,324	16,3
Yellow-Cyan	0,194	0,526	16,5
Magenta-Cyan	0,179	0,101	2,8

Die Zahlenwerte für x, y und Y werden mit Hilfe von Dreibereichs- oder Spektralfotometern ermittelt. Diese werden als Handmeßgeräte oder als zentrale Meßstationen mit Online-Farbregelung eingesetzt (beispielsweise in CPC 21 und CPC 24 von Heidelberg).



Farbe im Druck



2 Farbe im Druck

2.1	Farbschichtdicke	22
2.2	Rastertonwert	24
2.2.1	Rastertonwertveränderungen	24
2.2.2	Tonwertzunahme	31
2.2.3	Druckkennlinie	32
2.3	Relativer Druckkontrast	34
2.4	Farbbalance/Bildaufbau	35
2.4.1	Buntaufbau	35
2.4.2	Unbuntaufbau	36
2.4.3	Unbuntaufbau mit Buntfarben-Addition	37
2.4.4	Buntaufbau mit Unterfarbenreduzierung	37
2.4.5	Buntaufbau mit Graustabilisierung	38
2.4.6	Buntaufbau mit Graukomponentenreduzierung	38
2.4.7	Fünf-, Sechs- und Siebenfarbendruck	38
2.5	Farbannahme und Farbreihenfolge	40
2.5.1	Farbannahme	40
2.5.2	Farbreihenfolge	42
2.6	Farbmeßstreifen	43
2.6.1	Volltonelemente	44
2.6.2	Vollton-Übereinanderdruck-Elemente	44
2.6.3	Farbbalanceelemente	44
2.6.4	Rasterelemente	45
2.6.5	Schiebe- und Dublierelemente	45
2.6.6	Plattenkopieelemente	45



Ziel der Qualitätssicherung beim Drucken ist eine richtige und gleichbleibende Farbwiedergabe über die gesamte Auflage. Neben der Druckfarbe und der Farbigkeit des Bedruckstoffes sind die wichtigsten Einflußgrößen dafür die Farbschichtdicke, der Rastertonwert, die Farbbebalance sowie Farbannahme und Farbreihenfolge.

2.1 Farbschichtdicke

Im Offsetdruck beträgt die maximale auftragbare Schichtdicke aus verfahrenstechnischen Gründen etwa 3,5 Mikrometer.

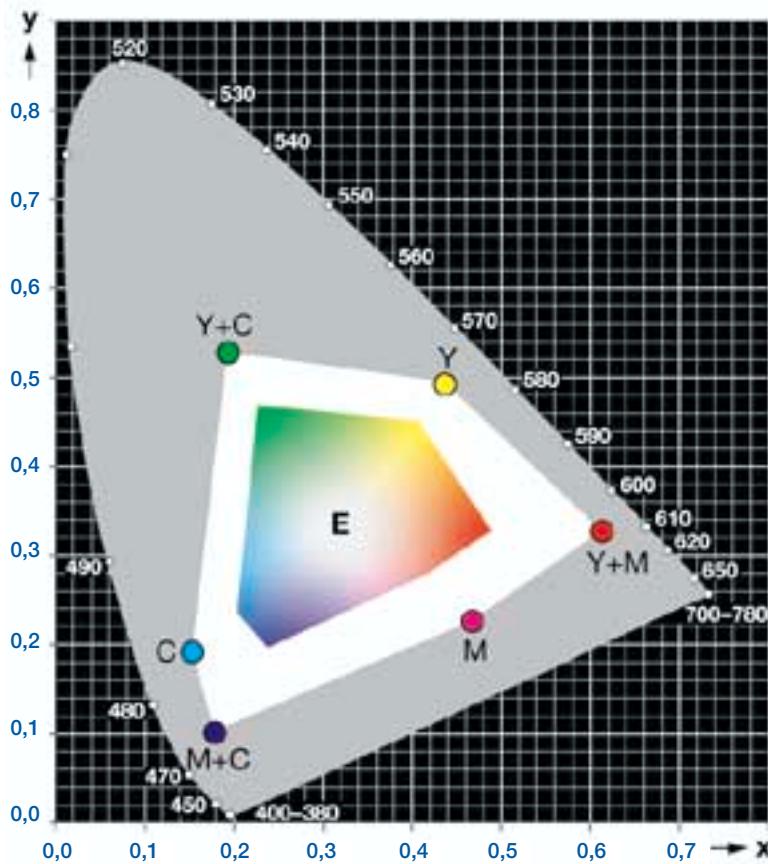
Bei Kunstdruckpapier in Verbindung mit Skalenfarben nach DIN 16 539 sollten die richtigen Farborte bei Schichtdicken zwischen 0,7 und 1,1 Mikrometer erreicht werden.

Durch Verwendung ungeeigneter Lithografien, nicht abgestimmter Bedruckstoffe oder ungeeigneter Druckfarben kann es vorkommen, daß die genormten Eckpunkte der CIE-Normfarbtafel nicht erreicht werden.

Auch bei nicht optimaler Sättigung verkleinert sich der reproduzierbare Farbumfang. In der Abbildung ist weiß eingezeichnet, wie der Farbumfang durch Unterfärbung aller drei Skalenfarben eingeengt wird.

Physikalisch lässt sich der Einfluß der Farbschichtdicke auf die optische Erscheinung wie folgt erklären:

Druckfarben sind nicht deckend, sondern durchscheinend (lasierend). Das Licht dringt in die Druckfarbe ein. Es trifft beim Durchgang durch die Farbe auf Pigmente, die einen mehr oder weniger großen Teil bestimmter Lichtwellenlängen verschlucken (absorbieren).



Je nach Pigmentkonzentration und Farbschichtdicke trifft das Licht auf mehr oder weniger Pigmente; dadurch werden unterschiedlich große Anteile des Lichts absorbiert.

Die Lichtstrahlen erreichen schließlich die (weiße) Bedruckstoffoberfläche und werden von dieser reflektiert (zurückgeworfen). Dabei muß das Licht erneut durch die Farbschicht dringen, bevor es das Auge erreicht.

Eine dicke Farbschicht absorbiert mehr Lichtanteile und reflektiert weniger als eine dünne; der Betrachter sieht daher einen dunkleren und gesättigteren Farbton.

Der im Auge ankommende Lichtanteil bildet also die Beurteilungsgrundlage für die jeweilige Farbe.

2.2 Rastertonwert

Der Rastertonwert ist neben der Druckfarbe die wichtigste Einflußgröße für die optische Erscheinung einer Farbnuance. Bezogen auf den Film entspricht der Rastertonwert dem bedeckten Anteil einer bestimmten Fläche. Je heller der zu reproduzierende Ton ist, desto kleiner ist der bedeckte Anteil. Zur Wiedergabe verschiedener Farbnuancen verwendet man bei der klassischen Rasterung mit konstanter Rasterweite (auch Rasterfrequenz genannt) Rasterpunkte, deren Größe vom gewünschten Tonwert abhängt. Bei der frequenzmodulierten Rasterung arbeitet man dagegen mit unterschiedlichen Abständen gleich großer Rasterpunkte. Rastertonwerte werden üblicherweise in Prozent angegeben.

2.2.1 Rastertonwertveränderungen

Bei der Übertragung eines Rasterpunktes vom Film über Platte und Gummituch auf den Bedruckstoff kann sich die geometrische Rasterpunktgröße und damit der Rastertonwert durch verschiedene Einflüsse verändern.

Die verfahrensbedingten Rastertonwertveränderungen (siehe Kap. 2.2.3) können in der Vorstufe kompensiert werden. Dazu werden Druckmuster ausgemessen und mit den Vorlagen verglichen. Hieraus erhält man die Übertragungskennlinien. Wird in der Prozeßkette vom Scanner bis zum fertigen Druckprodukt immer nach gleichen Vorgaben (standardisiert) gearbeitet, kann man ein vorlagengengetreues Druckprodukt erwarten.

Nicht im voraus kalkulierbar sind Rastertonwertveränderungen, die durch Druckschwierigkeiten verursacht werden. Ihnen ist im Druckprozeß besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Hier die wichtigsten:

Weg des Rasterpunktes	Einflüsse auf den Rasterpunkt	Aussehen der Rasterpunkte
Film Montage Filmkopie	Filmkanten, Klebstoff	
Entwicklung	Chemikalien, Entwicklungszeit	Zwei Rasterpunkte auf dem Film (ca. 150fache Vergrößerung).
Druckplatte Plattenkopie	Material, Abnutzung während des Drucks Belichtungszeit, Vakuum, Unterstrahlungen	
Feuchtung	Feuchtmittelmenge, pH-Wert, Oberflächen- spannung, Wasserhärte, Temperatur	Rasterpunkte auf der Platte
Einfärbung	Farbschichtdicke, Konsistenz, Temperatur	
Druck Platte/Gummi	Druckabwicklung	Rasterpunkte auf der Platte nach Einfärbung.
Gummituch	Material, Zustand, Oberfläche	
Druck Gummi/Bedruckstoff	Druckabwicklung	So sehen diese Punkte auf dem Gummituch aus.

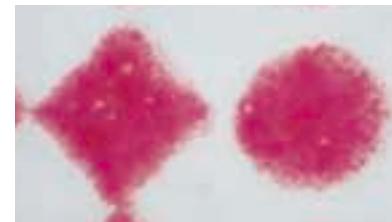
Weg des Rasterpunktes

Einflüsse auf den Rasterpunkt

Aussehen der Rasterpunkte

Bedruckstoff
Bogentransport
Auslage

Oberfläche, Papierqualität
Übergabepasser
Abschmieren



Die starke Vergrößerung zeigt das erstklassige Ergebnis auf dem Bedruckstoff deutlich.

Rasterpunktzunahme/-abnahme

Vollerwerden



Unter Vollerwerden versteht man eine Rastertonwertzunahme des Druckes gegenüber dem Film, wobei ein Teil der Zunahme verfahrens-, material- und maschinenbedingt vom Drucker relativ unbeeinflußbar ist (mitunter auch als Rasterpunktverbreiterung bezeichnet) und der andere Teil vom Drucker, insbesondere durch die Färbung, manipuliert werden kann.

Zusetzen

Zusetzen ist die Verkleinerung der nicht druckenden Stellen in den Tiefen bis zu ihrem völligen Verschwinden. Mitunter kann auch Schieben oder Dublieren für das Zusetzen verantwortlich sein.

Spitzerwerden



Als Spitzerwerden bezeichnet man eine Rastertonwertabnahme des Druckes gegenüber dem Film. Praxisüblich wird unter Spitzerwerden häufig auch eine Verminderung der Rastertonwertzunahme verstanden, obwohl der Druck, bezogen auf den Film, immer noch voller ist.

Rasterpunktdeformation

Beim Schieben wird die Form eines Rasterpunktes während des Druckvorganges durch Relativbewegungen zwischen Druckplatte und Gummituch und/oder zwischen Gummituch und Druckbogen verändert, z. B. erhält ein Kreispunkt eine ovale Form. Schieben in Druckrichtung nennt man Umfangsschieben und Schieben quer dazu Seitenschieben. Treten beide Schiebearten zugleich auf, so stellt sich als Resultierende eine schräge Schieberichtung ein.

Vom Dublieren spricht man beim Offsetdruck, wenn neben dem gewollt gedruckten Rasterpunkt ein schattenförmiger, meist in den Abmessungen geringerer und unbeabsichtigter Farbpunkt sitzt. Dublieren entsteht durch nicht deckungsgleiches Rückübertragen von Farbe durch das nachfolgende Gummituch.

Als Abschmieren werden im Zusammenhang mit der Druckmaschine diejenigen Rasterpunktdeformationen bezeichnet, die nach dem Druckvorgang durch mechanische Einwirkung entstehen. Mitunter wird das Wort Abschmieren auch als Synonym für Abliegen verwendet.

Was der Drucker beachten muß

Vollerwerden kann mittels Kontrollstreifen meßtechnisch und visuell überwacht und größtmäßig erfaßt werden. Für die rein visuelle Beurteilung eignen sich ganz besonders die Signalstreifen. Zusetzen überwacht man vorteilhaft mittels Raster-Meßelementen hohen Tonwertes.

Vollerwerden und Zusetzen haben meist als Ursache zu starke Farbführung, zu geringe Wasserführung, zu hohe Druckbeistellung Platte – Gummituch oder ein nicht fest gespanntes Gummituch. Mitunter stimmt auch die Einstellung der Farb- und Feuchtauftragwalzen nicht.

Schieben



Dublieren



Abschmieren



richtig



falsch



richtig



falsch



Unter normalen Umständen und bei korrekter Plattenkopie fällt ein Druck stets voller als der Film aus. Bei Fehlerscheinungen wie Blindwerden der Platte oder Aufbauen von Farbe auf dem Gummituch kann sich Spitzerwerden einstellen. Gegenmaßnahmen: Gummitücher und Farbwerke häufiger waschen, eventuell Druckfarbe und -reihenfolge wechseln, Auftragwalzen, Druckbeistellung, Abwicklung prüfen.



Schieben wird am auffälligsten von Linienrastern signalisiert. Die parallel zueinander stehenden Linien ermöglichen in vielen Fällen eine Aussage über die Schieberichtung. Umfangsschieben deutet meistens auf Abwicklungs-differenzen zwischen Platten- und Gummizylinder oder zu hohe Druckspannung hin. Deshalb sollten Abwicklung und Druckspannung genauestens kontrolliert werden. Häufig ist auch ein zu gering gespanntes Gummituch oder eine zu starke Färbung verantwortlich. Seitenschieben tritt selten alleine auf. Hier sollte dann dem Bedruckstoff und dem Gummituch besondere Beachtung geschenkt werden.



Zur Kontrolle des Dublierens dienen die gleichen Elemente wie zur Überwachung des Schiebens. Zusätzlich sind Rasterpunkte mittels Lupe zu untersuchen, da die Linienraster-Kontrollelemente allein eine Aussage, ob Schieben oder Dublieren vorliegt, nicht erlauben. Die Ursachen für Dublieren sind vielfältig. In der Regel werden sie beim Bedruckstoff oder in seiner direkten Umgebung zu suchen sein.



Abschmieren tritt an modernen Bogenmaschinen äußerst selten auf. Diejenigen Stellen einer Bogenmaschine, an denen der Bogen auf der frisch bedruckten Seite mechanisch unterstützt wird, kommen am ehesten als Abschmierquellen in Frage. Steifer Bedruckstoff erhöht die Abschmiergefahr. Abschmieren kann auch im Stapel und bei Schön- und Widerdruckmaschinen entstehen.



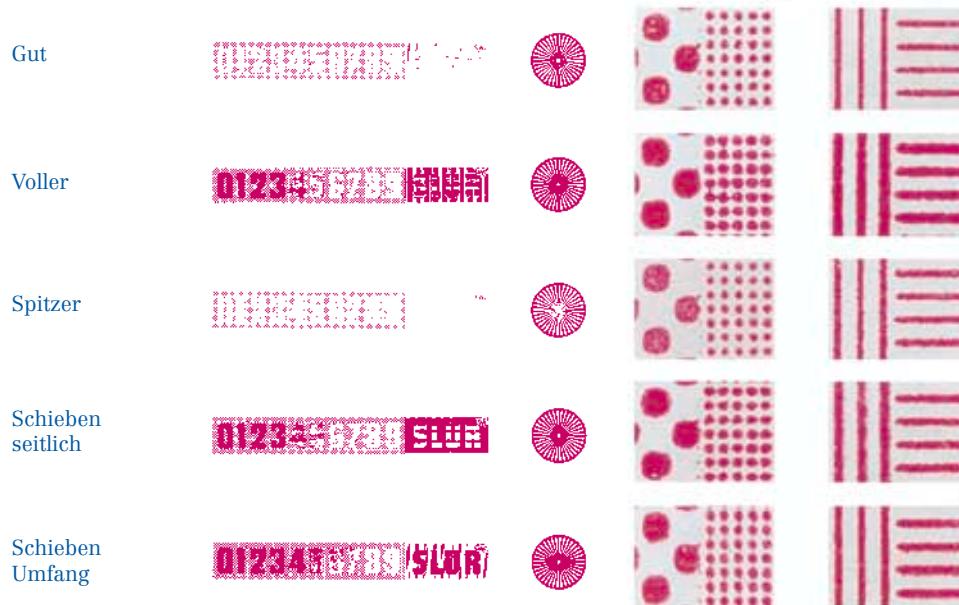
Die Art der Rastertonwertveränderung kann anhand mitgedruckter Signalelemente wie dem SLUR-Streifen optisch schnell ermittelt werden. Diese Signalelemente verstärken optisch das Fehlverhalten im Druck.

Fehler wie Voller- oder Spitzerwerden, Schieben oder Dublieren wirken sich in feinen Rastern stärker aus als in groben. Feine Rasterpunkte nehmen nämlich jeweils um dieselbe Breite ab oder zu wie grobe Rasterpunkte. Viele kleine Rasterpunkte zusammen haben jedoch die mehrfache Umfangslänge von Grobrasterpunkten im gleichen Tonwert. Beim Druck wird also um feine Rasterpunkte im Verhältnis mehr Farbe abgesetzt als um grobe. Feingerasterte Stellen erscheinen deshalb dunkler. Diese Tatsache wird von Signal- und Meßelementen ausgenutzt.

Als Beispiel soll kurz auf den Aufbau und die Funktion des SLUR-Streifens eingegangen werden (Abbildung Seite 30). In diesem Streifen sind Grobrasterelemente (Umfeld) und Feinrasterelemente (Zahlen) kombiniert.

Gegenüber dem gleichmäßigen Tonwert des Grobrasters zeigen die feingerasterten Ziffern von 0 nach 9 zunehmend spitzere Tonwerte. Wenn beim Auflagendruck eines gut gedruckten Bogens die Ziffer 3 und das Grobrasterfeld den gleichen Tonwert zeigen, kann man die Ziffer 3 nicht mehr erkennen. Werden die Raster hingegen beim Druck voller, so nähert sich die nächstgrößere Zahl mit spitzerem Tonwert dem Tonwert des Umfeldes. Je voller man druckt, desto stärker verschiebt sich die Tonwertgleichheit zur höheren Ziffer.

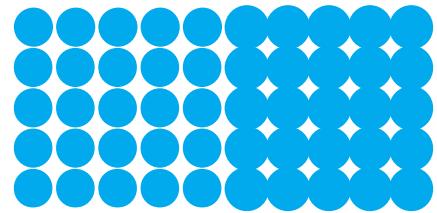
Umgekehrt verhält es sich beim Spitzerwerden. Hier wird gegenüber dem Normaldruck die Ziffer 2, die 1 oder gar die 0 unlesbar. Allerdings lässt sich anhand der Ziffern nur erkennen, ob der Druck voller oder spitzer ist. Die Ursachen müssen mit der Lupe auf der Platte oder im Druck selbst gesucht werden.



Aus dem SLUR-Teil rechts neben den Ziffern ist primär zu erkennen, ob Schieben oder ein Dublieren vorliegt. Bei spitzerem oder vollerem Druck ist das Wort SLUR nicht besser lesbar als bei gutem Druck, wobei das gesamte Feld jedoch etwas heller oder dunkler erscheint.

Die für das Schieben und Dublieren typische, richtungsgebundene Verbreiterung erkennt man leicht am Wort SLUR. Im Falle eines Umfangsschiebens verbreitern sich beispielsweise die waagerechten, parallel zum Druckanfang liegenden Linien, aus denen das Wort SLUR gebildet ist. Bei seitlichem Schieben wird die aus senkrechten Linien bestehende Umgebung des Wortes SLUR dunkler.

Die Abbildung rechts zeigt die Auswirkungen von Rasterpunktveränderungen auf das Druckergebnis am Beispiel des Vollerwerdens. Werden die Rasterpunkte auch nur einer Farbe größer als gewünscht, so ergibt sich ein anderer Farbton. Das wirkt sich natürlich auch im Zusammendruck aus. Beim Offsetdruck werden die Rasterpunkte durch das Übertragungsverfahren meist größer; man spricht daher von Tonwertzunahme.



richtig

falsch

Signalstreifen lassen erkennen, ob ein Druckergebnis gut oder schlecht ist; sie geben aber keine absoluten Größen und Fehler an. Für eine Qualitätsbeurteilung der Rastertonwerte mit belegbaren Zahlen wird daher ein objektives Meßverfahren benötigt.

2.2.2 Tonwertzunahme

Die Tonwertzunahme ist die Differenz zwischen den Raster-tonwerten von Rasterfilm und Druck. Differenzen entstehen zum einen durch geometrische Rasterpunktveränderungen, zum anderen durch den sogenannten Lichtfang (siehe Kap. 3.4.4).

Genau wie der Rastertonwert F wird auch die Tonwertzunahme Z üblicherweise in Prozent angegeben. (Die Berechnungsformeln finden sich im Kap. 3.5). Sie errechnet sich aus der Differenz des gemessenen Rastertonwertes im Druck F_D und dem Rastertonwert im Film F_F . Da die Tonwertzunahme in den verschiedenen Tonwertbereichen unterschiedlich groß ist, sollte bei Angaben über die Tonwertzunahme auch der Rastertonwert



im Film mit angegeben werden. Beispiel: »15 % Tonwertzunahme bei $F_F = 40\%$ oder einfacher $Z_{40} = 15\%$ «.

Moderne Meßgeräte zeigen die Tonwertzunahme direkt an.

Achtung: Die Meßgröße Tonwertzunahme Z gibt den Unterschied zwischen dem Rastertonwert im Druck F_D und dem Rastertonwert im Film F_F in absoluten Zahlen an. Sie bezieht sich also nicht auf den Filmwert.

2.2.3 Druckkennlinie

Die Abweichung des Rastertonwertes im Druck F_D vom Rastertonwert im Film F_F kann anschaulich und für die Reproduktion direkt verwendbar in einer sogenannten Druckkennlinie dargestellt werden.

Zur Ermittlung der Druckkennlinie druckt man Stufenrasterkeile mit mindestens drei, besser fünf oder mehr Rasterstufen und einem Volltonelement. Mit dem Densitometer werden dann die Farbdichten im Vollton und in den Rasterstufen gemessen und daraus die Rastertonwerte errechnet. Trägt man die so erhaltenen Werte in einem Diagramm über die entsprechenden Filmwerte auf, erhält man die Übertragungskennlinie. Diese ist bei standardisierter Kopie eine Druckkennlinie.

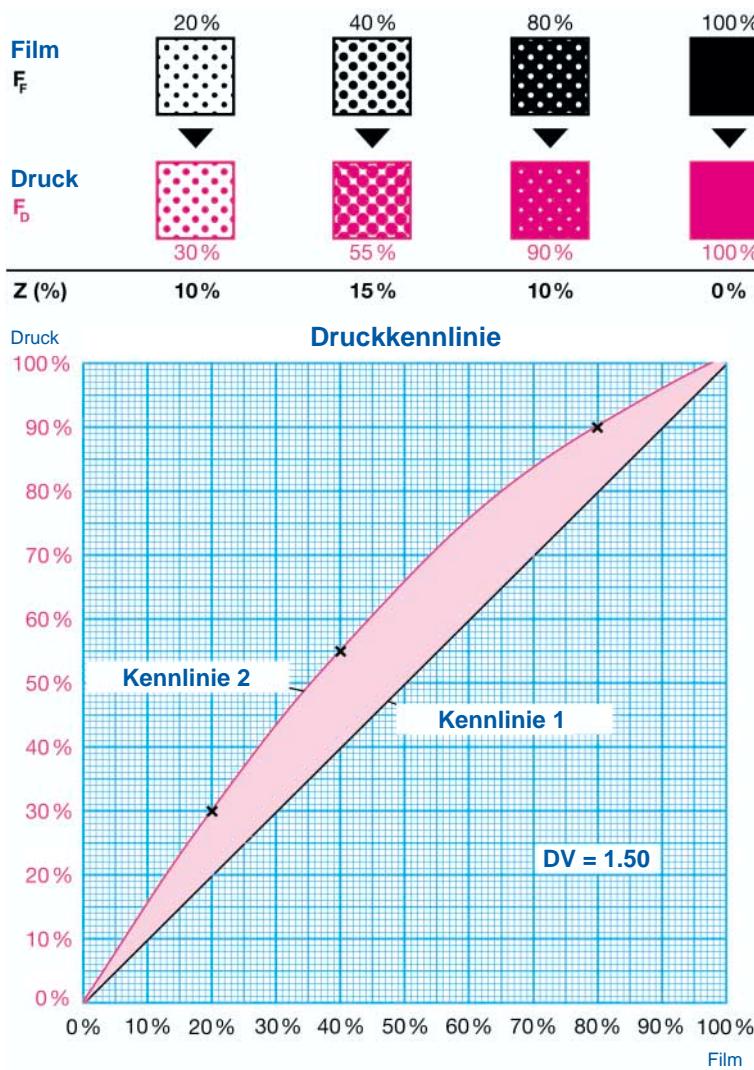
Sie ist nur gültig für diejenige Kombination von Druckfarbe, Papier, Druckbeistellung, Gummituch und Druckplatte, für die sie ermittelt wurde. Druckt man die gleiche Arbeit auf einer anderen Maschine, mit anderer Farbe oder auf anderes Papier, so kann sich eine etwas andere Druckkennlinie ergeben.

In der Abbildung Seite 33 verläuft die Kennlinie 1 unter einem Winkel von 45 Grad. Sie ist die normalerweise nicht erreichbare Linie, bei der Druck und Film optisch gleich sind. Kennlinie 2 gibt die im Druck gemessenen Rastertonwerte wieder.

Der gekennzeichnete Bereich zwischen den beiden Linien ist die Tonwertzunahme.

Für die Ermittlung der Tonwertzunahme im Druck ist der Mitteltonbereich am aussagekräftigsten. Die Druckkennlinie zeigt, daß hier die Tonwertabweichungen am größten sind. Mit Hilfe der Druckkennlinie 2 kann der Rasterfilm bei der Herstellung so eingestellt werden, daß im Druck (mit der üblichen Tonwertzunahme) die gewünschten Tonwerte erreicht werden.

In der Praxis gelingt dies in der Regel allerdings nur annäherungsweise.



2.3 Relativer Druckkontrast

Als Alternative zur Tonwertzunahme wird zuweilen der relative Druckkontrast $K_{rel.}(\%)$ – insbesondere zur Kontrolle des Rasters im Dreiviertelton – ermittelt.

Ein Druck soll möglichst kontrastreich sein. Dazu müssen die Volltöne eine hohe Farbdichte haben, der Raster aber so offen wie möglich gedruckt sein (optimale Tonwertdifferenz). Bei einer Steigerung der Farbführung und der damit verbundenen Zunahme der Rasterpunkt-Farbdichte wird der Kontrast stärker. Dieses Vorgehen ist allerdings nur bis zu einer bestimmten Grenze sinnvoll; danach neigen die Rasterpunkte zum Vollerwerden und damit – besonders in den Tiefen – zum Zugehen. Dadurch verringert sich der Anteil des Papierweiß – der Kontrast nimmt wieder ab.

Steht kein Meßgerät mit direkter Anzeige des Kontrastwertes zur Verfügung, so kann der relative Druckkontrast durch Berechnung oder mit der FOGRA-Netztafel ermittelt werden. (Die Berechnungsformeln finden sich in Kap. 3.5.3)

Wird im Fortdruck der Kontrastwert trotz konstanter Volltondichte schlechter, so kann dies ein Zeichen dafür sein, daß die Gummitücher gewaschen werden müssen. Bei korrekter Volltondichte können anhand des Kontrastwertes verschiedene Faktoren beurteilt werden, die einen Einfluß auf das Druckergebnis haben, beispielsweise:

- Abwicklung und Druckbeistellung,
- Gummitücher und Unterlagen,
- Feuchtung,
- Druckfarben und Zusätze.

Da der relative Druckkontrast im Gegensatz zur Tonwertzunahme sehr stark von der aktuellen Volltondichte abhängt, ist er als Standardisierungsgröße ungeeignet. Seine Bedeutung hat daher in letzter Zeit stark abgenommen.

2.4 Farbbebalance / Bildaufbau

Wie bereits erläutert, werden Farbtöne im Vierfarbendruck durch bestimmte Anteile von Cyan, Magenta, Yellow und Schwarz wiedergegeben. Sobald sich diese Anteile verändern, tritt eine Farbabweichung auf. Um dies zu vermeiden, müssen die Farbanteile in der für den gewünschten Farbton erforderlichen Balance gehalten werden.

Verändert sich nur der schwarze Anteil, so wird der Farbton heller oder dunkler, was vom Menschen als wenig störend empfunden wird. Gleiches gilt, wenn sich die Buntfarben ihren Anteilen entsprechend in gleicher Richtung verändern. Kritisch reagieren wir hingegen auf Farbtonänderungen. Sie entstehen bei ungleichmäßiger oder im schlimmsten Fall gegenläufiger Veränderung der einzelnen Buntfarben. Solche Änderungen der Farbbebalance sind an Graufeld-elementen am deutlichsten zu erkennen. Oft spricht man daher auch von der Graubalance.

Wie stark sich die im Druckprozeß unvermeidlichen Schwankungen der einzelnen Druckfarben auswirken, hängt entscheidend von dem in der Vorstufe gewählten Bildaufbau-prinzip ab. Die druckrelevanten Fragen dabei sind:

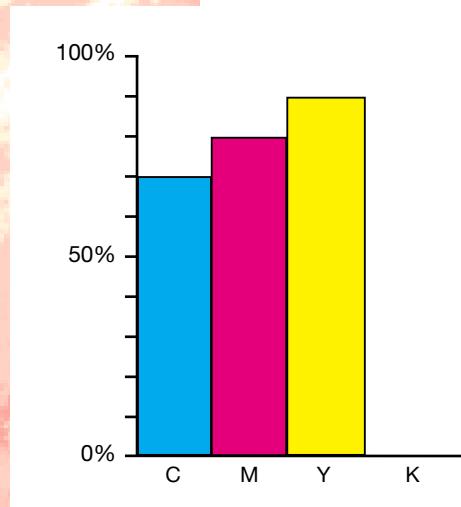
- Aus welchen Druckfarben bestehen die Graubereiche?
- Womit erfolgt das Abdunkeln farbiger Bildbereiche?
- Wie werden die Schatten- und Tiefenzeichnung erzeugt?

Kurzum: Woraus bestehen die Grau- bzw. Unbuntanteile und welche maximale Flächendeckungssumme resultiert daraus?

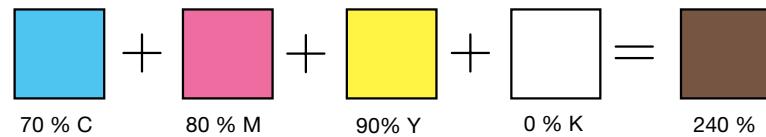
Zur Erinnerung: Grau- bzw. Unbuntwerte können entweder aus Cyan, Magenta und Yellow oder mit der Druckfarbe Schwarz erzeugt werden. Auch eine Kombination ist möglich.

2.4.1 Buntaufbau

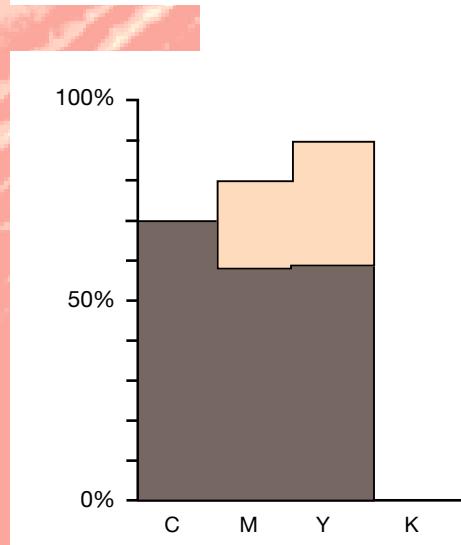
Beim Buntaufbau entstehen prinzipiell alle Unbuntwerte aus Teilmengen der bunten Druckfarben Cyan (C), Magenta (M) und Yellow (Y), d. h. alle grauen Bildbereiche, alle Tertiärtöne



und die Tiefenzeichnung enthalten die drei bunten Druckfarben. Schwarz (K) wird nur zur Unterstützung der Bildtiefen und zur Verbesserung der Tiefenzeichnung eingesetzt (Skelettschwarz).



Das in der Abbildung gezeigte Braun wurde im Buntaufbau aus 70% Cyan, 80% Magenta, 90% Yellow und 0% Schwarz aufgebaut. Insgesamt beträgt die Flächendeckung also 240%.



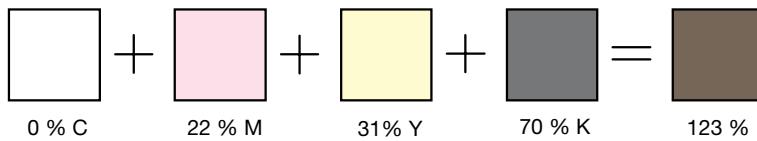
Die Wirkung der Farbanteile ist nebenstehend veranschaulicht. Das Braun setzt sich aus einem unbunten, grauen, und einem bunten Anteil zusammen. 70% Cyan und ca. 58% Magenta und 59% Yellow neutralisieren sich bei Farben nach der Europaskala zu Grau bzw. Unbunt. Nur die verbleibenden 22% Magenta und 31% Yellow bilden den hellbraunen Buntanteil. Dieser wird durch den grauen Anteil zu Dunkelbraun.

Der Buntaufbau führt zu hohen Flächendeckungssummen, die theoretisch 400% betragen können, praktisch aber bei maximal 375% liegen. Diese hohen Flächendeckungssummen beeinflussen das Farbannahmeverhalten, die Trocknung und den Puderverbrauch negativ. Die Farbbebalance ist im Druck schwierig zu halten.

2.4.2 Unbuntaufbau

Im Gegensatz zum Buntaufbau werden beim Unbuntaufbau mehrfarbiger Druckbilder prinzipiell alle Unbuntanteile durch die Druckfarbe Schwarz erzeugt. Neutrale Töne bestehen daher nur aus der Druckfarbe Schwarz und auch das Abdunkeln bunter Töne sowie die Tiefenzeichnung erfolgen durch Schwarz. Alle Farbtöne entstehen aus maximal zwei bunten Druckfarben plus Schwarz. Die Farbbebalance wird stabiler.

Das Braun aus Kap. 2.4.1 setzt sich beim Unbuntaufbau theoretisch wie folgt zusammen: 0 % C + 22 % M + 31 % Y + 70 % K. Die Abbildung zeigt, daß sich beim bloßen Ersetzen des CMY-Unbunts durch Schwarz keine Farbgleichheit ergibt. Ursache



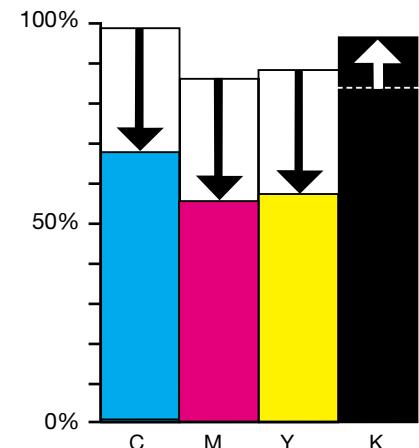
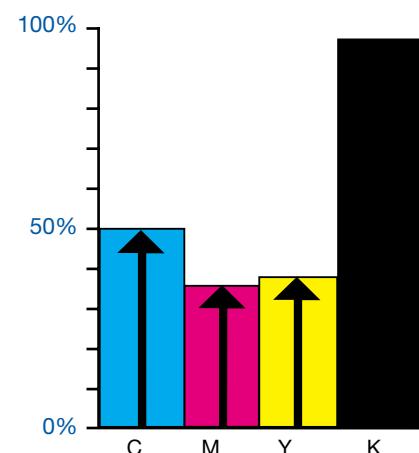
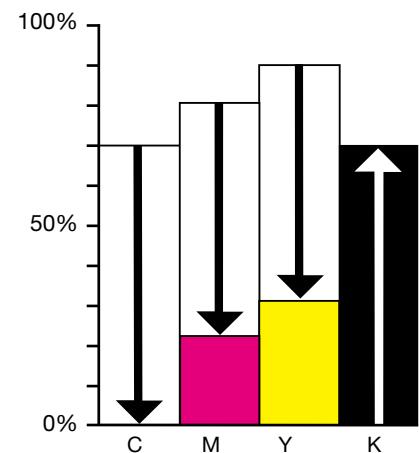
hierfür sind hauptsächlich die Unzulänglichkeiten realer Druckfarben. Farbähnlichkeit ergibt sich nur bei Änderung des Bunt- und Modifikation des Schwarzanteiles, z. B. auf 62 % M, 80 % Y und 67 % K. Der Unbuntaufbau entspricht 100 % GCR (Kap. 2.4.6).

2.4.3 Unbuntaufbau mit Buntfarben-Addition (UCA)

Die Druckfarbe Schwarz allein ergibt mitunter im dunklen Bereich der Grauachse nur eine ungenügende Bildtiefe. In solchen Fällen werden dieser Bereich und abgeschwächt die angrenzenden Farbbereiche durch Hinzufügen eines Unbuntanteiles aus C+M+Y unterstützt. UCA (englisch »Under Color Addition«) ist insbesondere von der Bedruckstoff-Druckfarbe-Kombination abhängig. Im Deutschen wird als Abkürzung auch BA verwendet. Die nebenstehende Abbildung veranschaulicht eine Buntfarben-Addition in der neutralen Bildtiefe.

2.4.4 Buntaufbau mit Unterfarbenreduzierung (UCR)

Die höchsten Flächendeckungssummen ergeben sich beim Buntaufbau im Bereich der neutralen Dreivierteltöne bis Schwarz. Diesem Nachteil wirkt die Unterfarbenreduzierung (abgekürzt UCR für englisch »Under Color Removal«) entgegen. Der Anteil des aus C+M+Y gebildeten Unbunts wird in dem neutralen Tiefenbereich und abgeschwächt in den angrenzenden Farbbereichen reduziert, der Anteil der Druckfarbe Schwarz angehoben. Im nebenstehenden Beispiel wird die Ausgangsflächendeckung von 98 % Cyan + 86 % Magenta + 87 % Yellow + 84 % Schwarz = 355 % auf 68 % Cyan + 56 % Magenta + 57 % Yellow + 96 % Schwarz = 277 % um 78 % durch UCR reduziert. Dies wirkt sich positiv auf das Farbannahmeverhalten, die Trocknung und die Tiefenbalance aus.



2.4.5 Buntaufbau mit Graustabilisierung

Bunt aufgebaute Grautöne sind im Druckprozeß schwierig in Balance zu halten. Es kommt leicht zu Farbstichen. Dem wirkt die Graustabilisierung entgegen. Unbuntanteile aus C+M+Y werden entlang der gesamten Grauachse und abgeschwächt in den angrenzenden Farbbereichen, also nicht wie bei UCR nur am dunklen Ende der Grauachse, teilweise oder völlig durch entsprechende Schwarzanteile ersetzt. In der Praxis wird auch von »langem Schwarz« gesprochen.

2.4.6 Buntaufbau mit Graukomponentenreduzierung (GCR)

Bei der Graukomponentenreduzierung (abgekürzt GCR für englisch »Gray Component Replacement«) werden sowohl im neutralen als auch im farbigen Bildbereich sich zu Grau neutralisierende Anteile von C+M+Y durch die unbunte Druckfarbe Schwarz ersetzt. GCR ermöglicht daher alle Zwischenstufen zwischen bunt und unbunt aufgebauten Bildern in allen Bildbereichen, ist also nicht wie UCR, UCA oder Graustabilisierung auf die Graubereiche begrenzt. Die Graukomponentenreduzierung wird mitunter auch als Komplementärfarbenreduktion bezeichnet.

Das Braun aus Kap. 2.4.1 und 2.4.2 könnte beispielsweise mit GCR theoretisch wie folgt aufgebaut sein:

$$\begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} + \begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} + \begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} + \begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} = \begin{array}{c} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array}$$

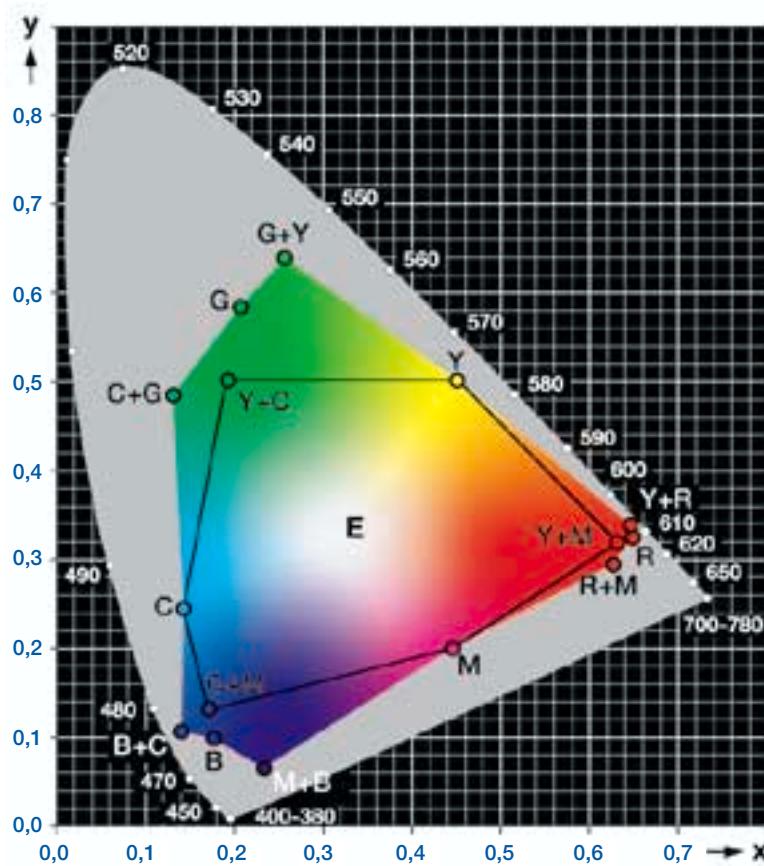
50 % C 60 % M 70 % Y 200 % K

Genau wie beim Unbuntaufbau (Kap. 2.4.2.), ergibt sich auch hier in der Praxis keine Farbgleichheit, wenn ohne Änderung des Buntanteiles nur ein Teil des CMY-Unbunts durch Schwarz ersetzt wird. Farbähnlichkeit wird z. B. wie folgt erzielt:

$$49\% \text{ C} + 70\% \text{ M} + 80\% \text{ Y} + 30\% \text{ K}$$

2.4.7 Fünf-, Sechs- und Siebenfarbendruck

Der moderne Vierfarbendruck wird auch hohen Qualitätsansprüchen in der Bildwiedergabe gerecht. Dennoch können manche Bildvorlagen und höchste Qualitätsansprüche die Verwendung spezieller Farbsätze erforderlich machen. Der reproduzierbare Farbumfang kann durch den Einsatz weiterer Farben (neben den vier Grundfarben) oder spezieller Skalenfarben erweitert werden. In der folgenden Abbildung sind die gemessenen Werte eines Siebenfarbendrucks in die CIE-Normfarbtafel eingetragen.



Das innen liegende Sechseck zeigt den Farbumfang der Skalenfarben Cyan, Magenta und Yellow (gemessene Werte). Das umgebende Zwölfeck zeigt den erweiterten Farbumfang, der mit den zusätzlichen Farben Grün (G), Rot (R) und Blau (B) erreicht worden ist.

2.5 Farbannahme und Farbreihenfolge

2.5.1 Farbannahme

Eine weitere Einflußgröße für die Farbtonwiedergabe ist das Farbannahmeverhalten (Trapping). Es sagt aus, wie gut die Farbe auf einer bereits vorgedruckten Farbe im Vergleich zum Druck auf den reinen Bedruckstoff angenommen wird. Dabei muß zwischen dem Druck »naß auf trocken« und dem Druck »naß in naß« unterschieden werden.

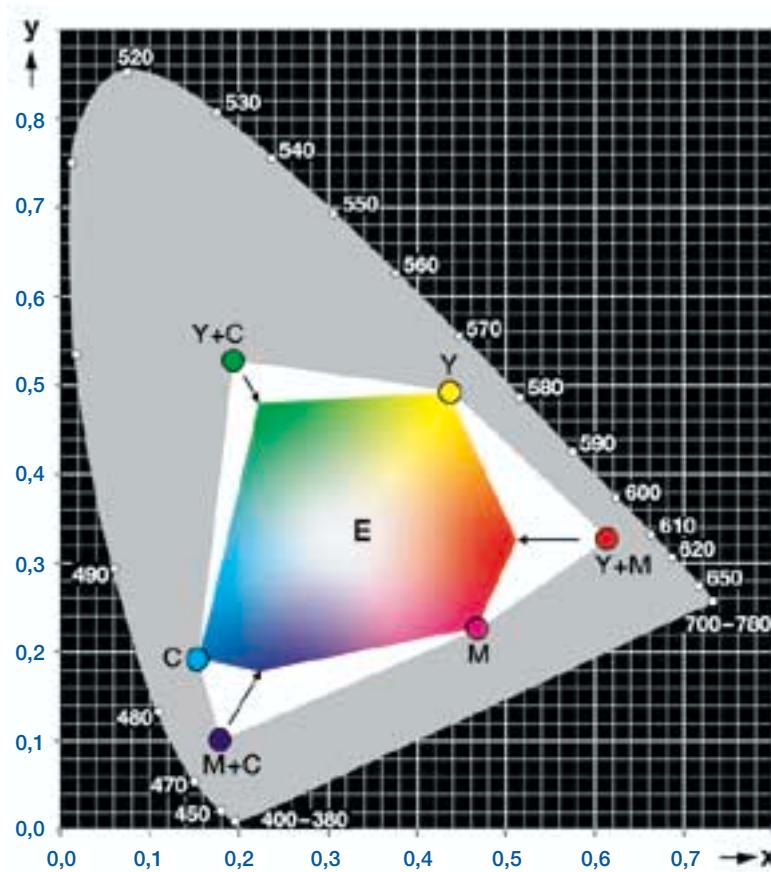
Vom Druck »naß auf trocken« spricht man, wenn eine Druckfarbe direkt auf den Bedruckstoff oder auf eine bereits trockene Farbe gedruckt wird. Wird die Folgefärbe dagegen auf eine noch nasse Farbe aufgebracht, spricht man vom »Naß-in-Naß«-Druck. Es hat sich eingebürgert, beim Druck auf Mehrfarbenmaschinen generell vom »Naß-in-Naß«-Druck zu sprechen.

Erreicht man beim Drucken eine gleichmäßig gedeckte Fläche und liegt der Farbton am gewünschten Farbort, spricht man von einem guten Farbannahmeverhalten.

Läßt sich hingegen der gewünschte Farbton nicht erreichen, ist das Farbannahmeverhalten gestört. Das kann für alle Mischfarben zutreffen. Die Folge: Der Farbumfang verkleinert sich, bestimmte Farbnuancen werden nicht mehr wiedergegeben.

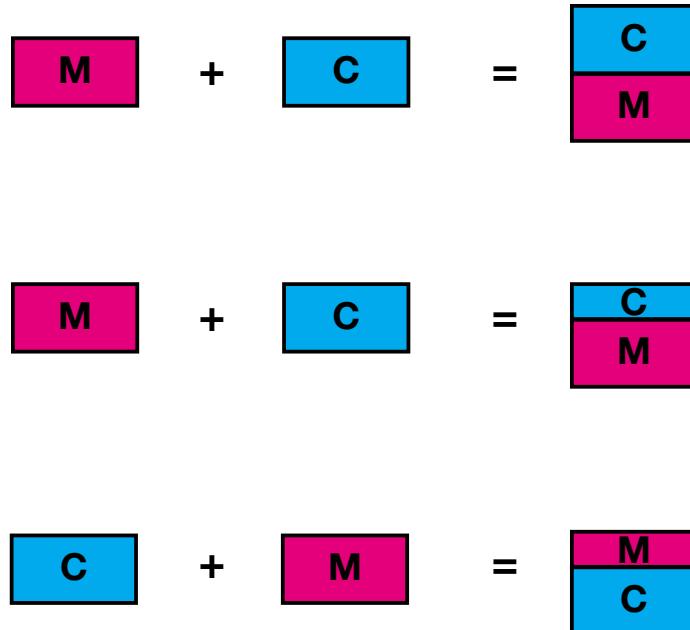
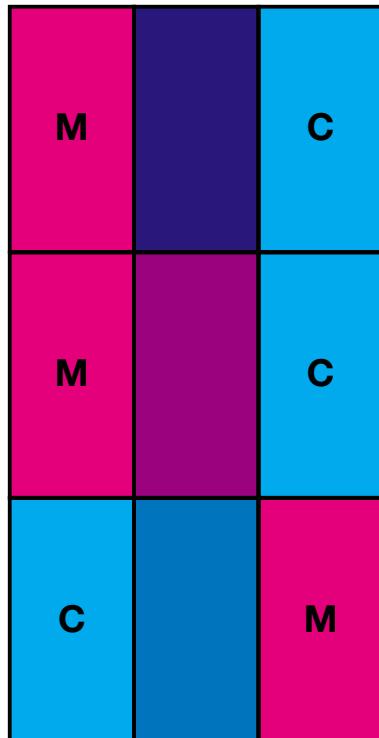
Wird bei einem Farbsatz mit den richtigen Farbschichtdicken gedruckt und liegen die Farborte der Grundfarben Cyan, Magenta und Yellow am Soll-Farbort, kann es dennoch vorkommen, daß die Soll-Farborte der Mischfarben Rot, Grün und Blau durch Störungen im Zusammendruck nicht erreicht werden können.

In der folgenden CIE-Normfarbtafel sind die Auswirkungen eines gestörten Farbannahmeverhaltens oder einer ungünstigen Farbreihenfolge auf das Druckergebnis dargestellt. Der weiße Bereich veranschaulicht den Umfang der Tonwertverringerung infolge der Farbannahmestörungen.



2.5.2 Farbreihenfolge

Die schematische Darstellung veranschaulicht drei verschiedene Übereinanderdrucke der Farben Cyan und Magenta.



Im ersten Beispiel wurde auf einer Einfarbenmaschine zunächst eine Magentafläche gedruckt. Darüber wurde nach dem Trocknen eine Cyanfläche gelegt (»naß auf trocken«). Beide Farben haben die gleiche Schichtdicke. Die Farbannahme ist gut und der gewünschte Farbort erreicht.

Das zweite Beispiel entstand auf einer Mehrfarbenmaschine. Zunächst wurde Magenta auf das trockene Papier (naß auf trocken) gedruckt, danach Cyan auf das noch feuchte Magenta (»naß in naß«). Während Magenta vom Papier gut angenommen wurde, war das Farbannahmeverhalten von Cyan (bedingt durch die Farbspaltung im Zusammendruck) weniger gut. Insgesamt erhält man ein rotstichiges Blau.

Im dritten Beispiel wurde ebenfalls naß in naß gedruckt, allerdings mit umgekehrter Farbreihenfolge (Magenta auf Cyan). Das Ergebnis ist ein blaustichiges Rot.

Beim Vierfarbendruck hat sich als Standard die Farbreihenfolge Schwarz – Cyan – Magenta – Yellow durchgesetzt.

Um in Sonderfällen die Auswirkungen von Farbannahmeh Schwierigkeiten zu verringern, sollten Vorlage und Druckplatten vor dem Einspannen kritisch überprüft werden. Es kann beispielsweise bei Tonflächen von Vorteil sein, die leichtere Form vor der schwereren zu drucken.

Dies gilt insbesondere für den Übereinanderdruck von Rastern und Flächen. Zunächst sollte der Raster auf das weiße Papier und darüber die Farbfläche gedruckt werden.

2.6 Farbmeßstreifen

Zur meßtechnischen Qualitätserfassung werden Farbmeßstreifen mitgedruckt, die von verschiedenen Forschungsinstituten und Zulieferfirmen angeboten werden.

Dabei dürfen nur Originale verwendet werden, da beim Kopieren auf Duplikatfilm Abweichungen entstehen, die zu falschen Meßergebnissen führen können.

Farbmeßstreifen gibt es für Vier- bis Achtfarbenmaschinen. Bei Farbmeßstreifen für mehr als vier Farben reduziert sich die Zahl der Raster- und Schiebeelemente zugunsten der für die Regelung erforderlichen Vollton- und Farbbebalancelemente.

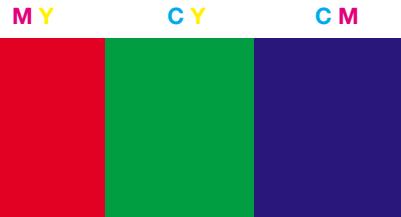
Alle Farbmeßstreifen bestehen aus mehreren Meßelementen. Nachfolgend sind die wichtigsten Meßelemente des Farbmeßstreifens Heidelberg CPC sowie der Streifen von FOGRA und Brunner beschrieben.

2.6.1 Volltonelemente



Mit Volltonelementen wird die Gleichmäßigkeit der Färbung kontrolliert. Zweckmäßigerweise verwendet man ein Volltonelement pro Druckfarbe im Abstand der Farbkasten-Zonenbreite (bei Heidelberg 32,5 Millimeter). Volltonelemente können so für eine automatische Volltonregelung verwendet werden.

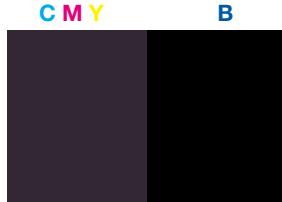
2.6.2 Vollton-Übereinanderdruck-Elemente



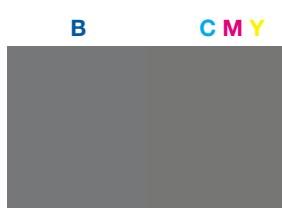
Diese Elemente dienen zur visuellen und meßtechnischen Beurteilung des Farbannahmeverhaltens.

2.6.3 Farbbebalancelemente

Man unterscheidet Vollton- und Raster-Farbbebalancelemente.



Bei Volltonelementen soll sich nach dem Übereinanderdruck der Farben Cyan, Magenta und Yellow ein näherungsweise neutrales Schwarz ergeben. Zum Vergleich wird neben das Übereinanderdruckelement ein schwarzes Volltonelement gedruckt.



Die Rasterelemente von Cyan, Magenta und Yellow ergeben bei richtiger Farbschichtdicke, Standardfarbreihenfolge und normaler Tonwertzunahme im Zusammendruck ein annäherndes neutrales Grau. Die Hersteller verwenden in den Filmen der einzelnen Farben unterschiedliche Rastertonwerte, entsprechend der Graubedingung der zugrundeliegenden Farbskala, z. B. der Europaskala nach DIN 16 539 (siehe Kap. 2.4.1).

Farbbebalancelemente werden zur visuellen Kontrolle (siehe Kap 2.4) und auch für eine automatische Graubalance-Farbregelung der Farben Cyan, Magenta und Yellow verwendet (siehe Kap. 4.12.1).

Heidelberg:	70 % Cyan	60 % Magenta	60 % Yellow
FOGRA:	28 % Cyan	21 % Magenta	19 % Yellow
Brunner:	50 % Cyan	41 % Magenta	41 % Yellow

2.6.4 Rasterelemente

Rasterelemente enthalten je nach Hersteller unterschiedliche Filmrastertonwerte.

Aus den Meßwerten der Raster- und Volltonelemente werden Tonwertzunahme und relativer Druckkontrast berechnet.

Heidelberg

70 %



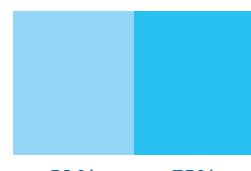
Fogra

40 % und 80 %



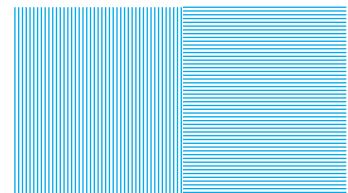
Brunner

50 % und 75 %



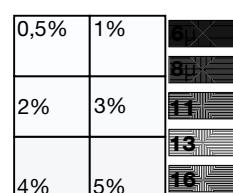
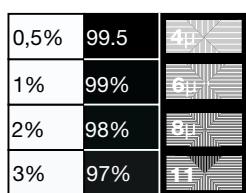
2.6.5 Schiebe- und Dublierelemente

Linienraster unterschiedlicher Winkelung dienen der visuellen und meßtechnischen Kontrolle von Schiebe- und Dublierfehlern (siehe Kap. 2.2.1).



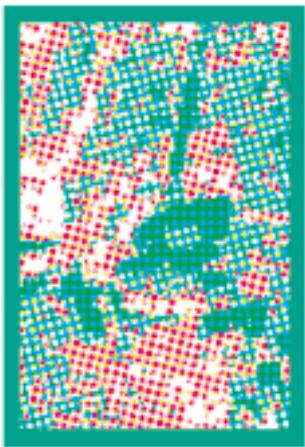
2.6.6 Plattenkopieelemente

Plattenkopieelemente dienen zur visuellen Kontrolle der Plattenkopie. Die gezeigten Kontrollelemente haben Mikrolinien und -spalten sowie Spitzpunkte.



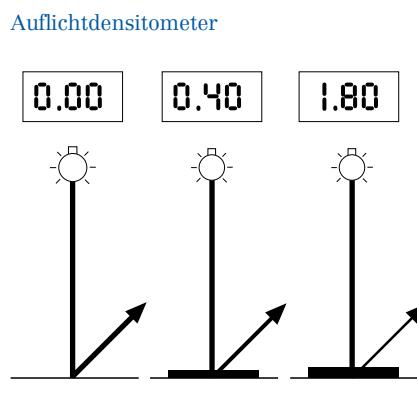
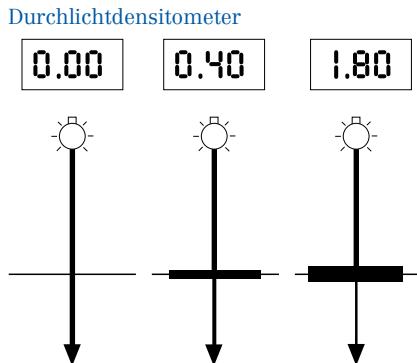


Densitometrie



3 Densitometrie

3.1	Meßprinzip des Auflichtdensitometers	48
3.2	Filter im Densitometer	52
3.2.1	Farbfilter und Helligkeitsfilter	52
3.2.2	Polarisationsfilter	54
3.3	Densitometrische Meßwerte	55
3.4	Messung	56
3.4.1	Kalibrierung auf Papierweiß	56
3.4.2	Volltondichte	56
3.4.3	Rasterdichte	56
3.4.4	Optisch wirksame Flächendeckung (Rastertonwert)	57
3.5	Auswertung	58
3.5.1	Rastertonwert	58
3.5.2	Tonwertzunahme	58
3.5.3	Relativer Druckkontrast	58
3.5.4	Farbannahme	59
3.6	Standardisierung im Druck	60
3.7	Grenzen der Densitometrie	62



Das preiswerteste und am weitesten verbreitete Meßverfahren in Reproduktion und Druck ist die Densitometrie. Densitometer sind als Handgeräte oder als automatisierte Meßanlagen (sogenannte Scanning Densitometer) im Einsatz.

Entsprechend dem Verwendungszweck unterscheidet man zwei Arten von Densitometern:

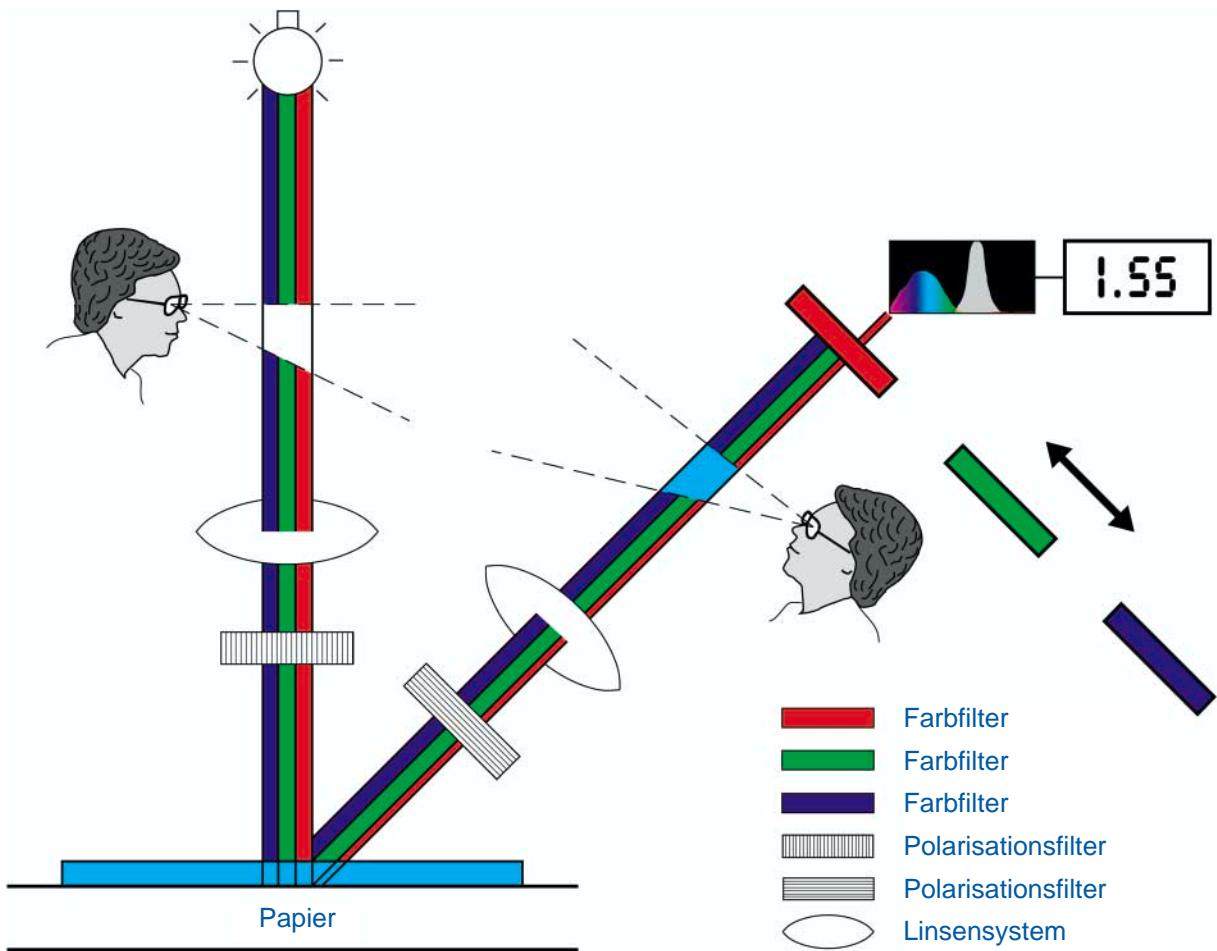
- Das Durchlichtdensitometer wird in der Reproduktion zur meßtechnischen Erfassung der Filmschwärzung eingesetzt (Durchsichtvorlagen).
- Für die meßtechnische Beurteilung von Drucken (Aufsichtsvorlagen) werden Auflichtdensitometer verwendet.

Im folgenden soll auf die Technik der Auflichtdensitometrie näher eingegangen werden.

3.1 Meßprinzip des Auflichtdensitometers

Bei der Auflichtdensitometrie wird die zu messende Druckfarbe von einer Lichtquelle beleuchtet. Der Lichtstrahl durchdringt die durchscheinende (lasierende) Farbschicht und wird dabei abgeschwächt. Der verbleibende Rest des Lichts wird von der Papierunterlage stark gestreut. Von diesem Streulicht durchläuft ein Teil nochmals die Farbschicht und wird weiter abgeschwächt. Der jetzt noch verbleibende Rest erreicht schließlich einen Meßfühler, der das Licht in elektrische Energie umwandelt. Das Ergebnis der Auflichtdensitometrie wird in Dichteeinheiten angegeben.

Bei der Messung werden zur Bündelung des Lichts Linsensysteme eingesetzt. Polarisationsfilter dienen zur Unterdrückung des Naßglanzes (siehe Kap. 3.2.2); bei der Messung bunter Farben werden Farbfilter vorgeschaltet (siehe Kap. 3.2.1).



Die Abbildung zeigt das Prinzip am Beispiel einer bunten Druckfarbe. Das aufgestrahlte weiße Licht besteht im Idealfall aus gleichen Anteilen von Rot, Grün und Blau. Die aufgedruckte Farbe enthält Pigmente, die Rot absorbieren und Grün und Blau reflektieren, weshalb wir sie cyanfarbig nennen. Mit dem Densitometer wollen wir im Absorptionsbereich der jeweiligen Farbe messen, weil Dichte und Farbschichtdicke hier gut korreliert sind. Im Beispiel wird daher ein Rotfilter verwendet, das Blau und Grün sperrt und nur Rot durchlässt.

Die Farbdichte einer Druckfarbe ist in erster Linie abhängig von der Pigmentart, ihrer Konzentration und der Farbschichtdicke. Für eine gegebene Druckfarbe ist die Farbdichte zwar ein Maß für die Schichtdicke, sagt aber nichts über den Farbton aus.

3.2 Filter im Densitometer

3.2.1 Farbfilter und Helligkeitsfilter

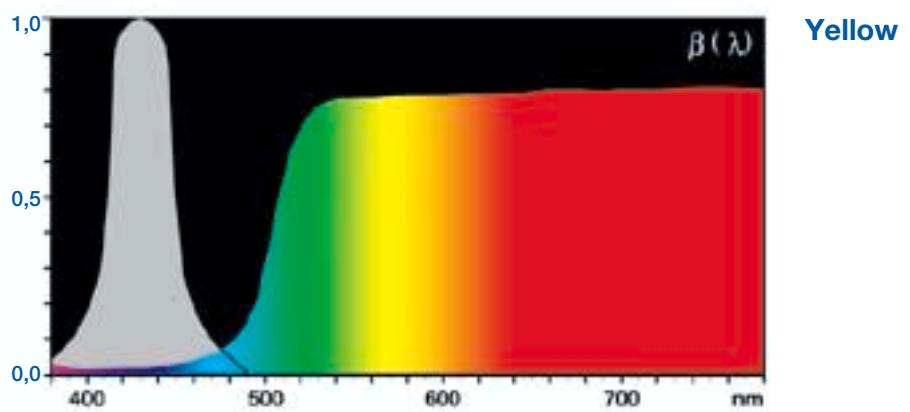
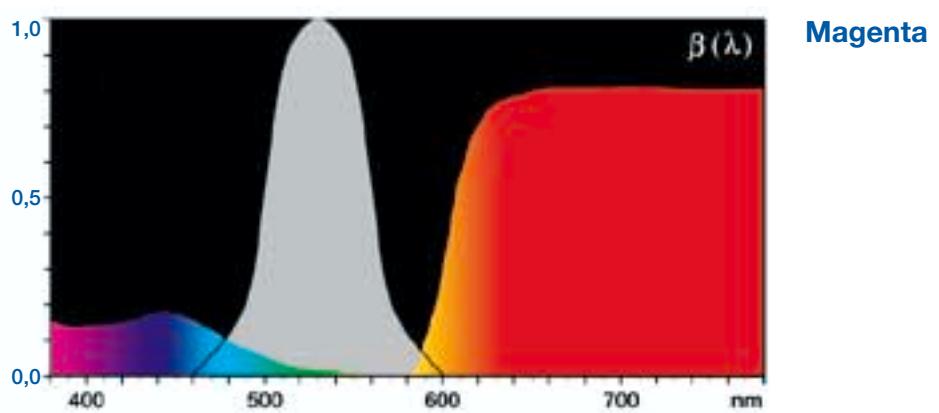
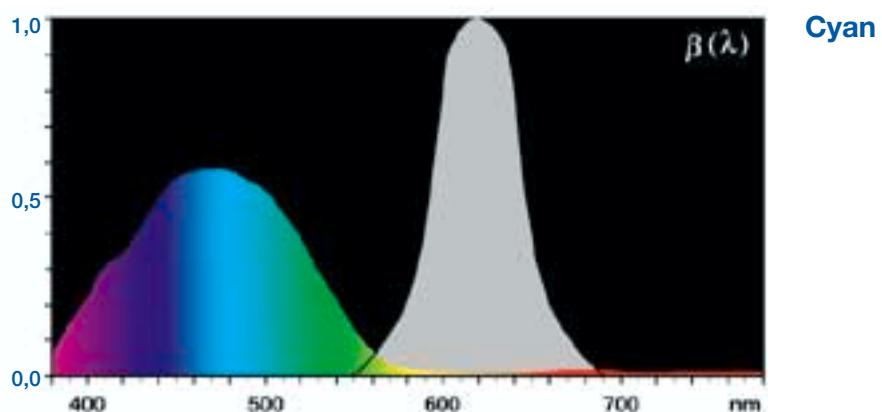
Die Farbfilter in einem Densitometer sind auf das Absorptionsverhalten von Cyan, Magenta und Yellow abgestimmt.

In einschlägigen Normen wie DIN 16 536 und ISO/ANSI 5/3 sind die spektralen Durchlaßbereiche und die Lage der Durchlaßmaxima dementsprechend festgelegt. Von den dort definierten schmal- und breitbandigen Farbfiltern (bei ISO mit Status A und T bezeichnet) sollten die schmalbandigen bevorzugt verwendet werden. Sie ergeben geringere Meßwertabweichungen unter den einzelnen Fabrikaten.

Die Farbfilter sind stets gegenfarbig zu den zu messenden Druckfarben zu wählen. Schwarz wird mit einem Visualfilter bewertet, das dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges angepaßt ist. Sonderfarben werden mit dem Filter gemessen, das den höchsten Meßwert ergibt.

Druckfarbe	Filterfarbe
Cyan	Rot
Magenta	Grün
Yellow	Blau

Die folgenden drei Abbildungen zeigen die Reflexionskurven der Druckfarben Cyan, Magenta und Yellow mit ihren jeweiligen Farbfiltern nach DIN 16 536.



3.2.2 Polarisationsfilter

Mit einem Densitometer können sowohl trockene als auch nasse Druckfarben gemessen werden.

Nasse Farben haben eine glatte, glänzende Oberfläche.

Beim Trocknen paßt sich die Farbe der unregelmäßigen

Struktur der Papieroberfläche an und verliert an Glanz.

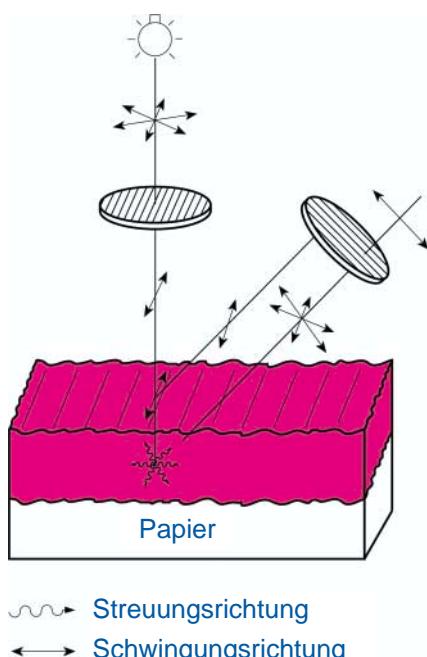
Wird eine Farbe zunächst naß und anschließend trocken
gemessen, so ergeben sich unterschiedliche Meßergebnisse.

Als Abhilfe werden zwei gekreuzte Linear-Polarisationsfilter in den Strahlengang gesetzt. Polarisationsfilter lassen von den in allen Richtungen schwingenden Lichtwellen jeweils nur eine Schwingungsrichtung durch. Die durch den ersten Polarisationsfilter ausgerichteten Lichtstrahlen werden von der Farboberfläche teilweise spiegelnd reflektiert. Dabei ändert sich ihre Schwingungsrichtung nicht. Der zweite Polarisationsfilter ist gegenüber dem ersten um 90° gedreht, so daß diese reflektierten Lichtwellen nicht durchgelassen werden.

Wenn Lichtstrahlen jedoch in die Farbschicht eindringen und von dort oder erst vom Bedruckstoff zurückgeworfen werden, verlieren sie ihre einheitliche Schwingungsausrichtung (Polarisation). Sie werden daher vom zweiten Polarisationsfilter teilweise durchgelassen und gelangen auf den Meßfühler.

Durch das Abblocken der von der nassen Farbe reflektierten Glanzanteile des Lichts erreicht man also, daß die Meßergebnisse an nassen und trockenen Farben annähernd gleich sind.

Wegen der Absorption durch die Polarisationsfilter gelangt jedoch weniger Glanzlicht auf den Empfänger; die gemessenen Zahlenwerte sind bei solchen Geräten daher höher als bei anderen, je nach Glanz mehr oder weniger.



3.3 Densitometrische Meßwerte

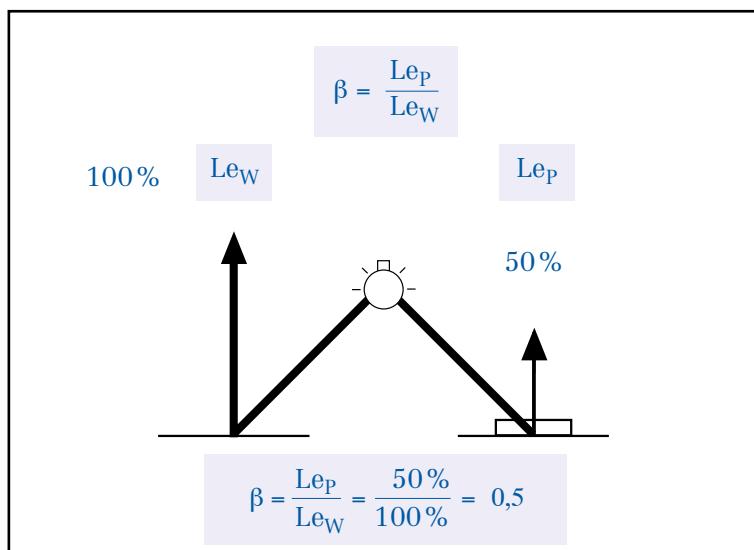
Densitometer zeigen als Meßergebnis eine logarithmische Zahl – die Farbdichte D – an. Sie ist das logarithmische Verhältnis der Lichtabsorption durch ein Vergleichsweiß zur Lichtabsorption der gemessenen Farbschicht.

In der Praxis spricht man meist nur von der »Dichte«.

Der Farbdichtewert errechnet sich nach folgender Formel:

$$D = \lg \frac{1}{\beta}$$

Der Reflexionsgrad (auch Beta-Wert genannt) wird wie folgt berechnet:



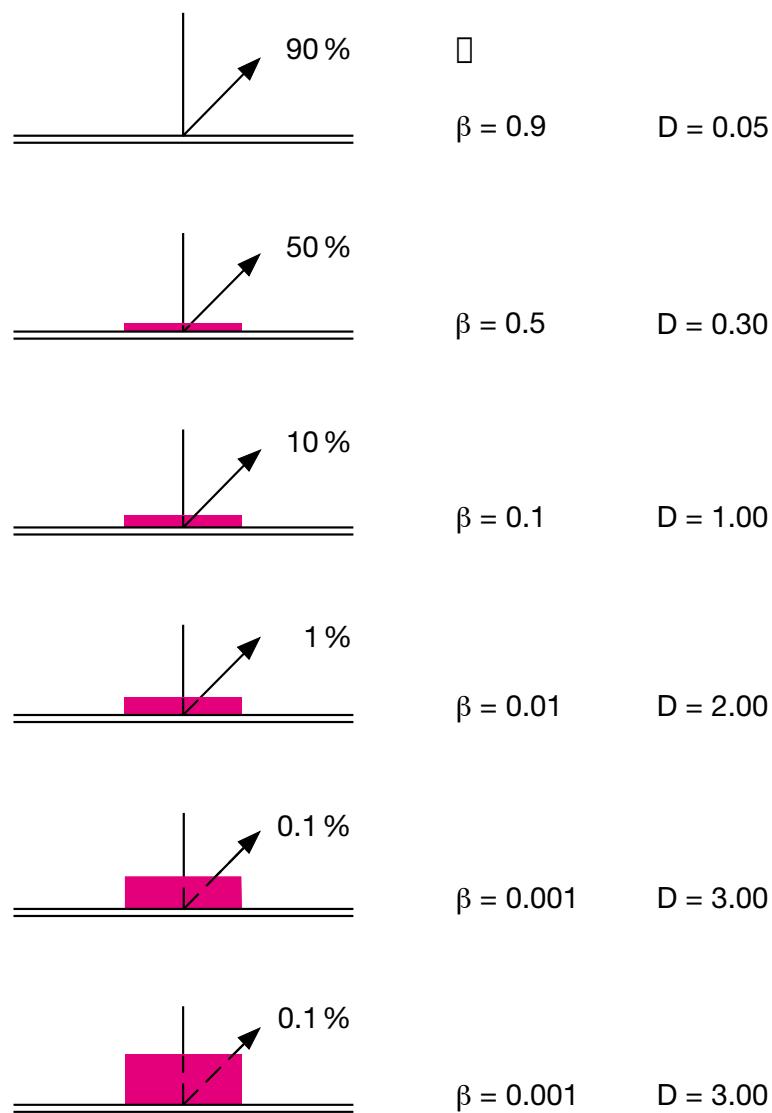
wobei Le_P die Reflexion der untersuchten Druckfarbe und Le_W die Reflexion des Referenzweiß ist.

Der Reflexionsgrad β gibt das Verhältnis zwischen den Lichtreflexionen einer zu messenden Probe (Druckfarbe) und einem Weiß (Referenzwert) an.

Mit obigem β -Wert ergibt sich folgende Farbdichte:

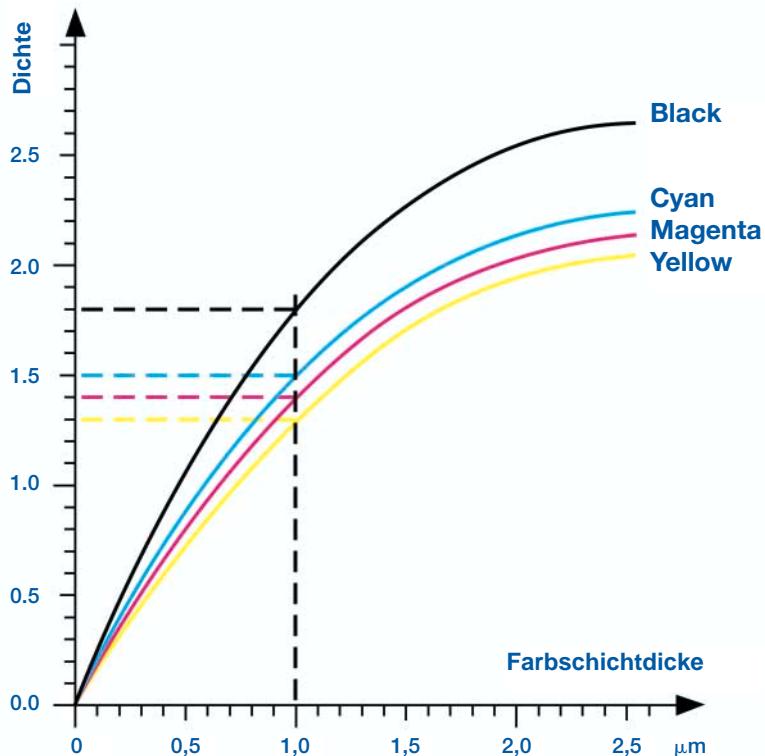
$$D = \lg \frac{1}{\beta} = \lg \frac{1}{0,5} = \lg 2 = 0.30$$

Zwischen der Farbschichtdicke und der Farbdichte besteht ein enger Zusammenhang. In der Darstellung erkennt man, daß mit zunehmender Farbschicht die Reflexion abnimmt und der Dichtewert größer wird.



Die Formeln zur Berechnung finden Sie auf Seite 53.

Das Diagramm zeigt den Zusammenhang von Farbschichtdicke und Dichte für die vier Skalenfarben im Offsetdruck.



Die gestrichelte senkrechte Linie kennzeichnet die im Offsetdruck übliche Farbschichtdicke von etwa einem Mikrometer. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, daß die Dichtekurven erst bei wesentlich höheren Werten abflachen.

Ab diesen Schichtdicken ist kaum noch eine Erhöhung der Farbdichte zu verzeichnen; selbst bei einer Messung in der gefüllten Farbdose ergäbe sich kein höherer Wert.

Allerdings sind diese Farbschichtdicken für den Skalendruck nicht mehr von Bedeutung.

3.4 Messung

3.4.1 Kalibrierung auf Papierweiß

Densitometer werden vor der Messung auf das jeweilige Papierweiß (Bezugsweiß) kalibriert, um Einflüsse der Papierfärbung und -oberfläche bei der Bewertung der aufgedruckten Farbschichtdicke auszuschließen.

Hierzu wird die Dichte des Papierweiß bezogen auf »Absolutweiß« gemessen und dieser Wert auf Null gesetzt (Anzeige D = 0.00).

3.4.2 Volltondichte

Die Meßwerte einer Volltonfläche nennt man Volltondichte, abgekürzt DV. Sie wird auf einem Farbmeßstreifen gemessen, der quer zur Druckrichtung auf dem Druckbogen mitgedruckt wird und neben anderen Kontrollelementen Volltonelemente für alle vier Skalenfarben (und erforderlichenfalls für die Sonderfarben) hat.

Mit Hilfe der Volltondichte kann eine gleichmäßige Farbschichtdicke über die Bogenbreite und eine gesamte Auflage hinweg kontrolliert und (mit gewissen Toleranzen) eingehalten werden.

3.4.3 Rasterdichte

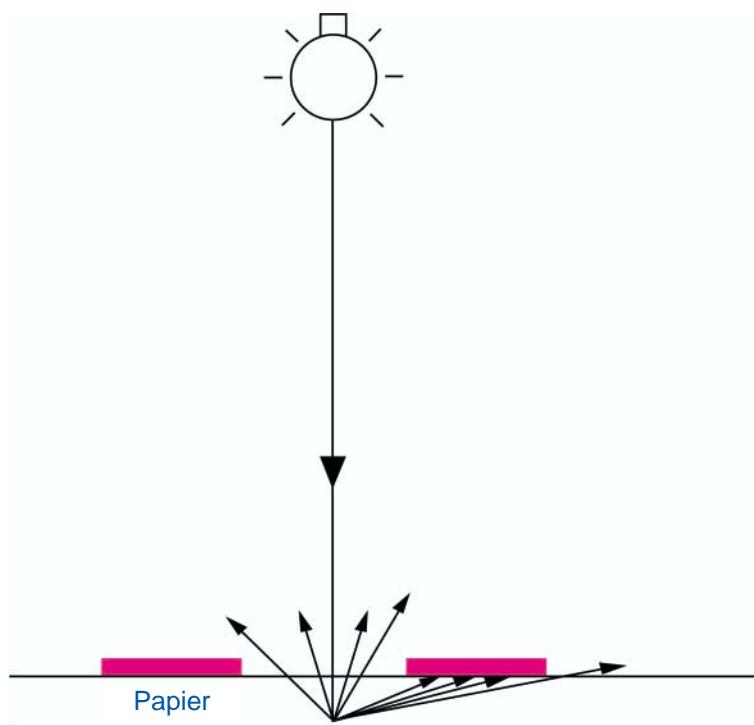
Die Rasterdichte wird in den Rasterelementen des Farbmeßstreifens gemessen. Im drei bis vier Millimeter großen, meist runden Meßfleck wird – wie beim menschlichen Auge – eine Kombination aus Rasterpunkten und Papierweiß erfaßt.

Meßgröße ist die Rasterdichte DR. Der Meßwert liegt um so höher, je größer der Anteil der Rasterpunkte an der Meßfläche und je größer die Schichtdicke der Farbe ist.

3.4.4 Optisch wirksame Flächendeckung (Rastertonwert)

Bei der densitometrischen Messung von Rastern wird nicht die geometrische Flächendeckung (der flächenmäßige Anteil von Rasterpunkten am Meßfleck) gemessen, sondern die »optisch wirksame Flächendeckung«.

Der Unterschied zwischen geometrischer und optisch wirksamer Flächendeckung beruht darauf, daß sowohl bei der visuellen Betrachtung als auch bei der densitometrischen Messung ein Teil des aufgestrahlten Lichts an den unbedruckten Stellen zwischen den Rasterpunkten in das Papier eindringt, bei der Reflexion aber teilweise unter die Punkte gerät und dort absorbiert wird.



Diesen Effekt nennt man »Lichtfang«. Er bewirkt, daß die Rasterpunkte optisch größer erscheinen, als sie in Wirklichkeit sind. Die optisch wirksame Flächendeckung setzt sich also aus der geometrischen Flächendeckung und der optischen Flächenzunahme zusammen.

3.5 Auswertung

Mit den Meßwerten von Vollton und Raster können Rastertonwert, Tonwertzunahme und Kontrast errechnet werden. Voraussetzung ist allerdings die vorausgegangene Kalibrierung des Densitometers auf Papierweiß.

3.5.1 Rastertonwert

Aus den Meßwerten DV und DR läßt sich der Rastertonwert im Druck F_D nach der Formel von Murray-Davies ermitteln:

$$F_D (\%) = \frac{1-10^{-DR}}{1-10^{-DV}} \cdot 100$$

3.5.2 Tonwertzunahme

Die Tonwertzunahme Z ergibt sich aus der Differenz des gemessenen Rastertonwertes im Druck F_D und des bekannten Rastertonwertes im Film F_F .

$$Z (\%) = F_D - F_F$$

3.5.3 Relativer Druckkontrast

Der relative Druckkontrast wird ebenfalls aus den Meßwerten der Farbdichte im Vollton DV und der Farbdichte im Raster DR errechnet. Der DR-Wert wird hierbei bevorzugt im Dreiviertelton gemessen.

$$K_{rel.} (\%) = \frac{DV-DR}{DV} \cdot 100$$

3.5.4 Farbannahme

Die Farbannahme wird aus den Farbdichten von ein-, zwei- und dreifarbigem Vollton-Übereinanderdruckfeldern bei Beachtung der Farbreihenfolge errechnet.

Die nach den folgenden Formeln berechnete Farbannahme sagt aus, zu wieviel Prozent eine Farbe auf einer anderen liegt, wobei als Vergleich die allein auf das Papier gedruckte Farbe dient, deren Farbannahme gleich 100 % gesetzt wird.

3.5.4.1 Zweifarbiger Übereinanderdruck

$$FA_2 \text{ (%) } 1 = \frac{D_{1+2} - D_1}{D_2} \cdot 100$$

Dabei sind

- D_{1+2} die Farbdichte des Übereinanderdrucks beider Farben,
 D_1 die Farbdichte der zuerst gedruckten Farbe und
 D_2 die Farbdichte der zuletzt gedruckten Farbe.

Achtung: Alle Farbdichten müssen mit dem zur zweiten Farbe gegenfarbigen Farbfilter gemessen werden.

3.5.4.2 Dreifarbiger Übereinanderdruck

$$FA_3 \text{ (%) } 2 = \frac{D_{1+2+3} - D_{1+2}}{D_3} \cdot 100$$

Dabei sind

- D_{1+2+3} die Farbdichte des Übereinanderdrucks aller drei Farben und
 D_3 die Farbdichte der zuletzt gedruckten Farbe.

Achtung: Alle Farbdichten müssen mit dem zur dritten Farbe gegenfarbigen Filter gemessen werden.

Die genannten Formeln werden auch von der Heidelberger Qualitätskontrolleinrichtung CPC verwendet.

Daneben gibt es noch andere Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Farbannahme. Alle Methoden sind umstritten, weshalb die ermittelten Werte nicht zu streng gesehen werden sollten. Für einen Vergleich von Auflage zu Auflage (und insbesondere innerhalb einer Auflage) sind sie jedoch aussagefähig. Je höher der FA-Wert ist, desto besser ist das Farbannahmeverhalten.

3.6 Standardisierung im Druck

Von der Vorlage bis zum Druck werden im Offsetdruckverfahren zahlreiche Prozeßschritte durchlaufen, darunter Reproduktion (Farbauszugsherstellung), Andruck oder Proof, Plattenkopie und Auflagendruck. Bei jedem dieser Prozeßschritte verändert sich die Größe der Druckbildelemente: Rasterpunkte werden größer oder kleiner, Striche dünner oder dicker.

Das typische Verhalten in jedem dieser Prozeßschritte kann durch sogenannte Übertragungskennlinien beschrieben werden. Die bekanntesten sind die Kopierkennlinie und die Druckkennlinie (siehe dazu auch Kap. 2.2.3).

Ziel des gesamten Reproduktionsprozesses ist es, Vorlage und Druck in Übereinstimmung zu bringen. Die Druckvorstufe muß daher alle Übertragungskennlinien kennen. Nur dann können verfahrenstechnisch bedingte Veränderungen der Druckbildelemente gegeneinander kompensiert werden. Wirtschaftlich ist dies aber nur möglich, wenn es wenige unterschiedliche Kennlinien gibt.

Ziel der Standardisierung ist daher, einige Standardkennlinien zu definieren und ihre Toleranzen festzulegen, um Reproduktionen unabhängig von den Eigenschaften bestimmter Kopiereinrichtungen oder Druckmaschinen kostengünstig und in guter Qualität herstellen zu können.

Alle Prozeßschritte müssen darauf ausgerichtet und ihre Konstanz überwacht werden. Dabei helfen Farbmeßstreifen, Plattenkopiekontrollelemente und insbesondere auch Farbmeßanlagen an der Druckmaschine.

International gibt es zahlreiche unterschiedliche Standardisierungssysteme. In der Zielsetzung sind sie jedoch alle gleich: konstant gute Qualität wirtschaftlich produzieren.

Forschungsinstitute und die Zulieferindustrie vertreiben verschiedene Anleitungen zur Standardisierung im Druck. Stellvertretend sei hier das von der FOGRA, der Deutschen Forschungsgesellschaft für Druck- und Reproduktionstechnik e. V., im Auftrag des BVD (Bundesverband Druck e. V.) erarbeitete Standardisierungskonzept genannt.

Es ist in der »Anleitung zur Standardisierung im Offsetdruckverfahren – Unterweisungsmaterial für Kopie und Druck« ausführlich und anschaulich beschrieben. Die Veröffentlichung (im Ringordner DIN A4) sowie eine gleichnamige Videokassette können beim Bundesverband Druck e. V. in Wiesbaden und seinen Landesverbänden angefordert werden.



3.7 Grenzen der Densitometrie

Densitometer arbeiten ähnlich der Farbauszugstechnik mit speziellen, auf die vier Skalenfarben abgestimmten Filtern. Sie liefern ein relatives Maß für die Farbschichtdicke, geben aber kein Maß, das der menschlichen Farbempfindung entspricht.

- ✗ = geeignet für Skalenfarben
- = geeignet für Sonderfarben
- () = eingeschränkte Eignung

Sonderfarben rezeptieren

Densitometer	Farbmeßgerät	
	Dreibereich	Spektral

Farbe stellen (einrichten)

• nach Standards	✗ (•)	✗ •	✗ •
• nach Andruck-Meßstreifen	✗ (•)	✗ •	✗ •
• nach Zahlenangaben		(x) (•)	✗ •
• nach Proof		✗ •	✗ •
• nach beliebigem Muster		✗ •	✗ •
• nach Bilddaten (Repro)		(x) (•)	✗ •
• Farbeignung erkennen		(x) (•)	✗ •

Farbe abstimmen (vergleichen)

	✗ •	✗ •
--	-----	-----

Fortdruck regeln

• nach Volltonfeld	✗ (•)	✗ •	✗ •
• nach Einfarben-Rasterfeld	✗ (•)	✗ •	✗ •
• nach Mehrfarben-Rasterfeld	(x)	✗ •	✗ •
• im Bild		✗ •	✗ •
• Farbverschmutzung erkennen		✗ •	✗ •
• Bedruckstoffänderungen erkennen		✗ •	✗ •

Meßwerte

• Volltondichte	✗ (•)	(x) (•)	✗ •
• Rastertonwert/-Zunahme	✗ (•)	(x) (•)	✗ •
• Farbannahme relativ	✗ (•)	(x) (•)	✗ •
• Farbannahme absolut		✗ •	✗ •
• Metamerieindex		(x) (•)	✗ •
• empfindungsgemäß		✗ •	✗ •

Diese Tatsache beschränkt ihren Einsatzbereich.

Die Tabelle gibt ihre typischen Einsatzgebiete im Vergleich zu den Dreibereichs- und Spektralfotometern an.

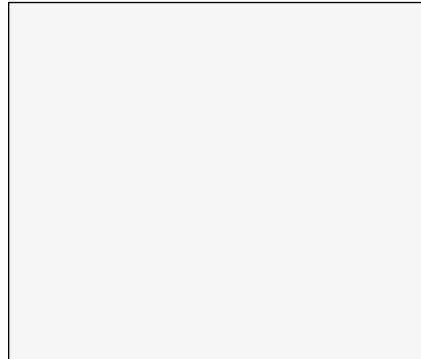
Eine wesentliche Einschränkung der Densitometrie ist, daß gleiche Farbdichten nicht zwingend denselben optischen Eindruck hervorrufen. Dies ist immer dann der Fall, wenn sich die zu vergleichenden Farbsubstanzen unterscheiden. Dies ist der Grund dafür, daß von Proofs, Andrucken auf anderem Papier und/oder mit anderer Farbe als im Auflagedruck oder sonstigen Mustern keine Sollwerte für das Einstellen von Druckfarbe auf Papier abgenommen werden können.

Ähnlich wichtig ist die Beschränkung auf die drei Farbfilter Rot, Grün und Blau. Sobald Farbsätze aus mehr als den vier Skalenfarben aufgebaut sind, treten Probleme beim Messen der Zusatzfarben auf. Meist sind für diese keine richtigen Filter vorhanden, was zu niedrigen Farbdichte- und unkorrekten Tonwertzunahmewerten führt.

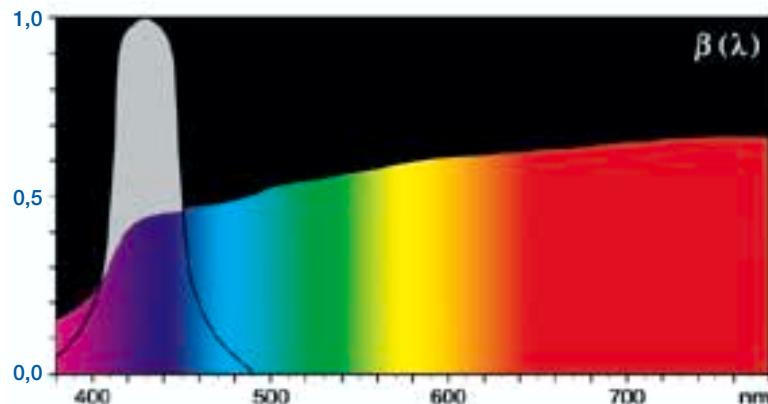
Kritisch ist der Einsatz von Densitometern auch bei der Farbregelung nach Mehrfarbenrasterfeldern (beispielsweise Graufeldern). Beim Messen eines Graufeldes mit den drei Farbfiltern ergeben sich andere Farbdichten als bei Messung der jeweiligen Farbe allein. Jede der drei Druckfarben steuert einen mehr oder weniger großen Anteil zu allen Farbdichten bei. Grund dafür ist, daß die Skalenfarben keine hundertprozentigen Zweidrittelfarben sind und deshalb auch in anderen Wellenlängenbereichen Licht absorbieren.

Sinnvoll sind Densitometer zur Auflagenüberwachung eines Vierfarbendrucks. In allen anderen Fällen sind Densitometer nur beschränkt geeignet.

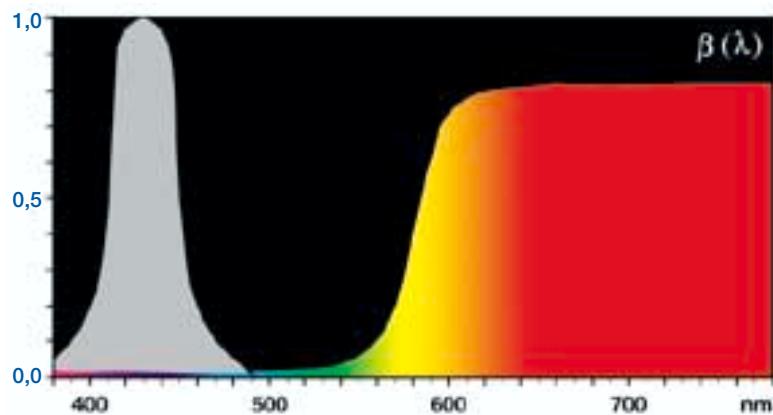
Anhand von drei Beispielen soll erläutert werden, wie Sonderfarben mit einem Densitometer gemessen werden.



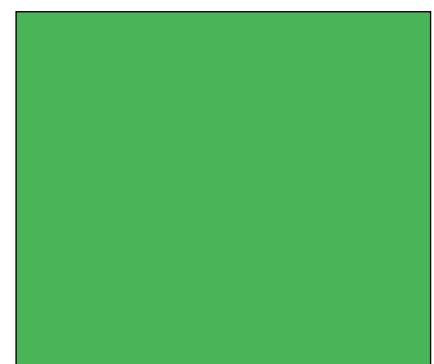
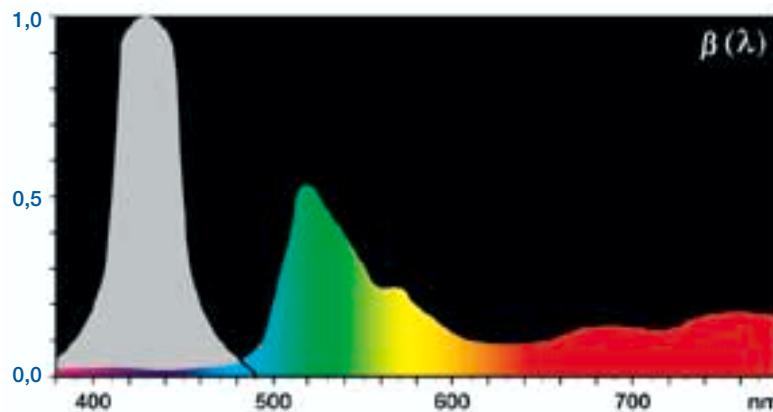
Farbmuster Pantone Warm Gray 1



Der abgebildete Farbton (Pantone Warm Gray 1) hat – wie im daneben befindlichen Schema zu sehen – eine relativ hohe Remission, die im blauen Bereich (380 bis 500 Nanometer) leicht abfällt. Dementsprechend wird mit einem Blaufilter der höchste Dichtewert gemessen (0.27). Dieser niedrige Wert ist nicht leicht zu regeln, da Schichtdickenveränderungen nur sehr kleine Dichteänderungen bewirken. Helle Pastellfarben werden daher in der Praxis visuell nach einem OK-Bogen beurteilt und manuell korrigiert.



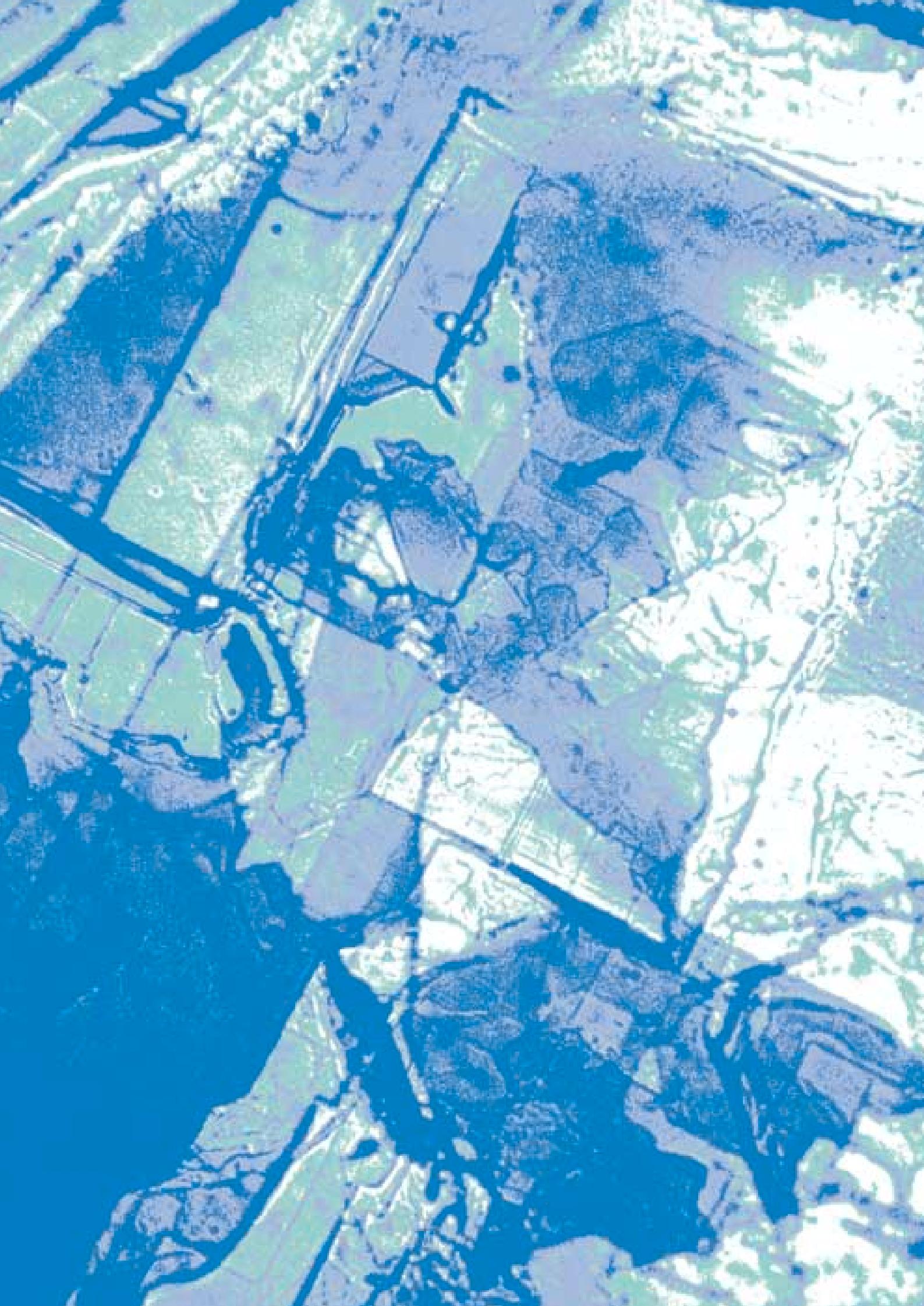
Farbmuster HKS 8



Farbmuster HKS 65

Die im zweiten und dritten Beispiel gezeigten Sonderfarben HKS 8 und HKS 65 sind im Farbton grundverschieden. Das zeigen auch die beiden Remissionskurven. Bei beiden Farben ist die Absorption im blauen Bereich (380 bis 500 Nanometer) am größten, so daß wiederum mit dem Blaufilter der höchste Dichtewert (jeweils 1.60) gemessen wird. Mit demselben Farbfilter gemessene gleiche Dichtewerte bedeuten also keineswegs gleiche Farbtöne!

Aussagen über das Aussehen der Farbe kann nur die Farbmessung in Verbindung mit der Farbmetrik machen.



Farbmetrik



4 Farbmetrik

4.1	Farbe messen	68
4.2	Normfarbwerte/Weißbezug	70
4.3	Normlichtarten	70
4.4	Normalbeobachter/Spektralwertfunktionen	72
4.5	Auswertung beim Spektralfotometer	74
4.6	Farbabstand ΔE	76
4.6.1	CIELAB	79
4.6.2	CIELUV	82
4.6.3	CIELCH	83
4.6.4	CMC	84
4.7	Munsell	86
4.8	Dreibereichsverfahren	87
4.9	Spektralverfahren	88
4.10	Meßprinzip der spektralen Qualitätskontrolle Heidelberg	90
4.11	Proof- und Farbmeßstreifen	91
4.11.1	Proofmeßstreifen	91
4.11.2	Farbmeßstreifen	92
4.12	Farbregelung mit Heidelberg	93
4.12.1	Farbmetrische Graufeldregelung	93
4.12.2	Farbmetrische Volltonregelung	95
4.12.3	Densitometrische Volltonregelung	96
4.12.4	Farbmetrische Bildregelung	97
4.13	Vorteile der Farbmetrik für den Offsetdruck	98



Wie im Kapitel »Farbsysteme« erläutert, sind zur eindeutigen Kennzeichnung einer Farbe drei Maßzahlen erforderlich. Die Farbmetrik beschreibt, wie diese Zahlen ermittelt werden und wie sie zusammenhängen. Voraussetzung ist allerdings, daß Farben meßbar sind. Farbmessung und Farbmetrik hängen also unmittelbar zusammen.

4.1 Farbe messen

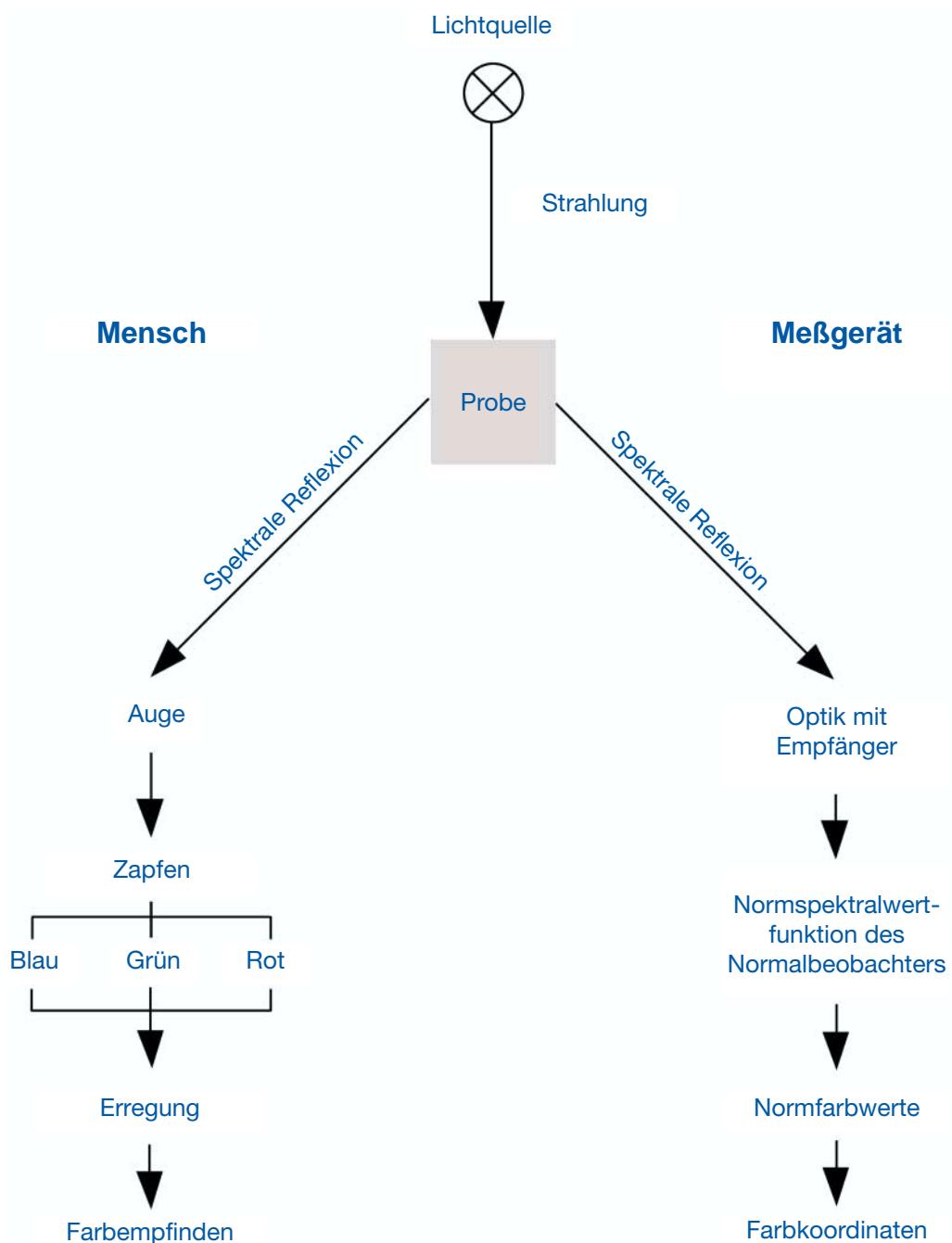
Zur Farbmessung werden Dreibereichs- oder Spektralfotometer verwendet. Sie werden im Kap. 4.8 und 4.9 beschrieben.

Der prinzipielle Aufbau von Farbmeßgeräten lehnt sich an das Seh- und Empfindungsmodell des Menschen an (siehe Abbildung).

Die Farbe (Probe) wird von einer Lichtquelle (Strahlung) beleuchtet. Ein Teil des Lichts wird von der Probe absorbiert, der Rest wird reflektiert. Das reflektierte Licht wird von unseren Augen aufgenommen. Dort werden die rot-, grün- und blauempfindlichen Zapfen (Farbrezeptoren) gereizt. Diese Erregung löst über den Sehnerv in unserem Gehirn das entsprechende Farbempfinden aus.

Dieser natürliche Vorgang wird im Meßgerät nachvollzogen.

Beim Meßvorgang wird Licht auf die gedruckte Probe gesendet. Das reflektierte Licht gelangt durch eine Optik auf einen Sensor. Dieser mißt für jede Farbe das empfangene Licht und leitet die Werte an einen Rechner weiter. Dort werden sie mit Funktionen gewichtet, die den Bewertungsfunktionen der drei Zapfenarten im menschlichen Auge nachempfunden und von der CIE für den Normalbeobachter festgelegt wurden. Als Ergebnis erhält man die Normfarbwerte X, Y und Z. Diese werden abschließend in Koordinaten der Normfarbtafel oder anderer Farbenräume (beispielsweise CIELAB oder CIELUV) umgerechnet.



4.2 Normfarbwerte/Weißbezug

Bei der Farbmessung setzt die Ermittlung der Normfarbwerte aus gemessenen Reflexionen und Emissionen genormte Bedingungen voraus. Die meisten davon sind vom Gerätehersteller festgelegt oder so umgesetzt, daß sich der Benutzer darum nicht zu kümmern braucht. Drei Bedingungen sind jedoch bei der Messung von Körperfarben zumeist variabel und müssen vom Anwender eingestellt werden: der Weißbezug, die Lichtart und der Beobachter.

Im Normalfall werden farbmetrische Werte auf »Absolutweiß« bezogen. Die Kalibrierung erfolgt auf den Weißstandard des Meßgerätes, der seinerseits auf ein (theoretisches) Absolutweiß kalibriert ist. Im Gegensatz zur Densitometrie wird die Messung nur in Sonderfällen auf das Papier bezogen.

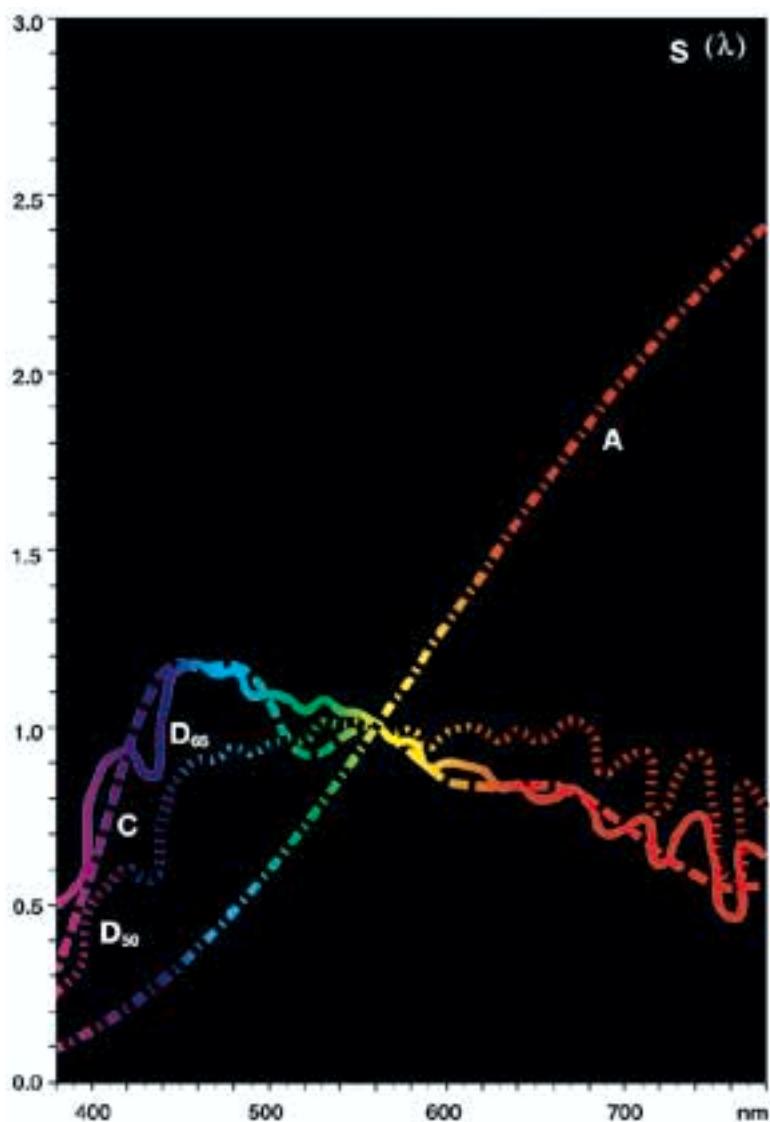
4.3 Normlichtarten

Ohne Licht gibt es keine Farbe. Das bedeutet aber auch, daß die Art des Lichts unseren Eindruck von der Farbe mitbestimmt. Die Farbe des Lichts ist durch seine spektrale Zusammensetzung festgelegt.

Bei natürlichem Sonnenlicht beeinflussen das Wetter sowie Jahres- und Tageszeit die spektrale Zusammensetzung. Fotografen und Filmemacher müssen oft lange warten, bis die Lichtverhältnisse ihren Vorstellungen entsprechen.

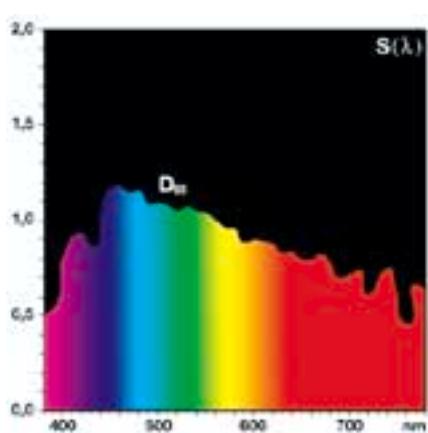
Bei künstlichem Lampenlicht gibt es ebenfalls Unterschiede in der spektralen Zusammensetzung. Einige Lampen senden rötliches Licht aus, während andere eher grünlich oder bläulich leuchten.

Entsprechend der Lichtverhältnisse verändert sich die spektrale Reflexion und damit die Farbempfindung. Normfarbwerte müssen sich daher auf Normlicht beziehen.



Bei der Normung wurde die Strahlungsverteilung (Intensität) für verschiedene Lichtarten im Bereich von 380 bis 780 Nanometer (mit Abständen von fünf Nanometern) festgelegt. In der obenstehenden Abbildung sind die spektralen Verteilungen für die genormten Lichtarten A, C, D₅₀ und D₆₅ dargestellt.

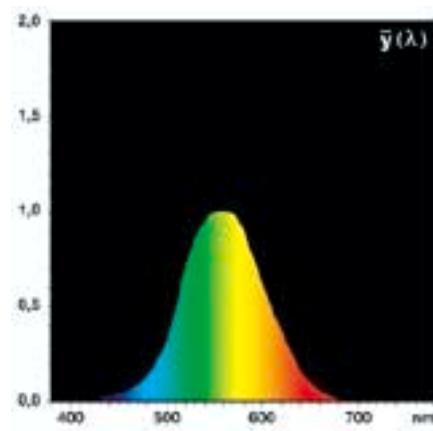
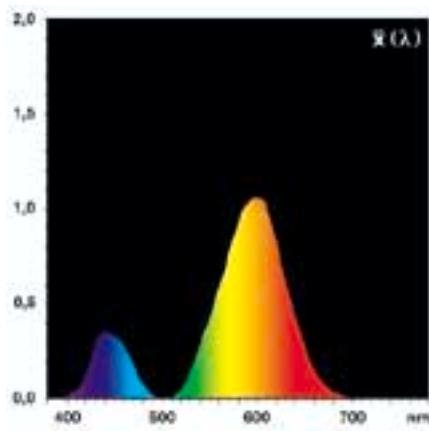
Die Normlichtarten C, D₅₀ und D₆₅ ähneln dem durchschnittlichen Tageslicht und haben im blauen Bereich die höchste Strahlungsintensität. Die Abbildung rechts zeigt die Zusammensetzung der Lichtart D₆₅. Beim Normlicht A liegt die höchste Intensität im roten Bereich; es wirkt also rötlich (Abendlicht und Glühlampenlicht).



4.4 Normalbeobachter/Spektralwertfunktionen

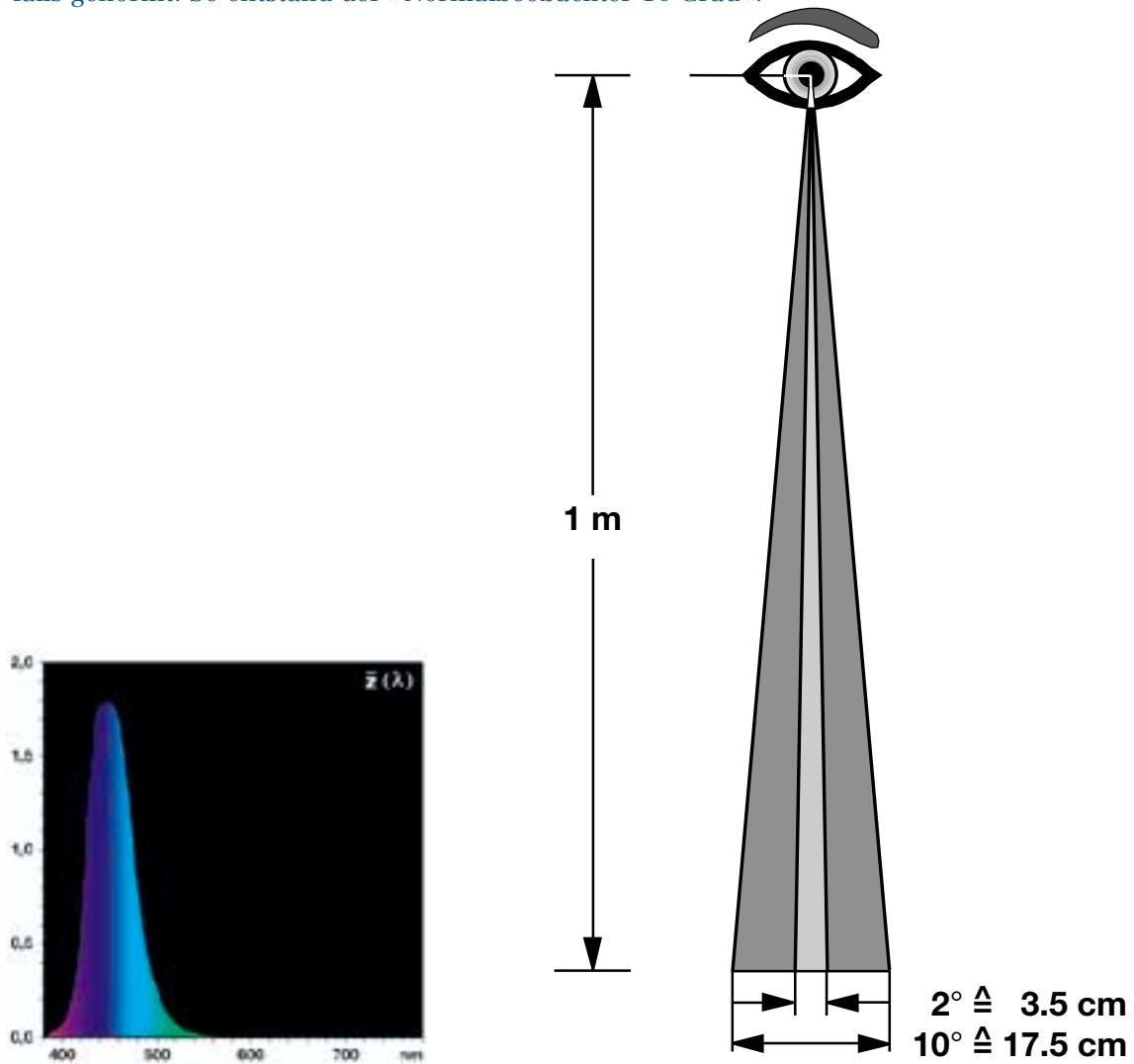
Jeder Mensch verfügt über drei Spektralwertfunktionen zur Bewertung von Rot, Grün und Blau. Bei farbnormalsichtigen Personen sind diese annähernd gleich. Daher werden Farben nur in Grenzbereichen unterschiedlich empfunden. Was für den einen beispielsweise noch bläuliches Grün ist, empfindet ein anderer bereits als grünliches Blau.

Für die Farbmehrheit mußte deshalb ein durchschnittlich empfindender Mensch definiert werden, der »Normalbeobachter«. Dazu wurde im Jahre 1931 eine Testreihe mit farbnormalsichtigen Personen durchgeführt. Daraus wurden die Normspektralwertfunktionen \bar{x} , \bar{y} und \bar{z} abgeleitet, die von der CIE festgelegt und durch nationale und internationale Normen wie DIN 5033 und ISO/CD 12 647 verbindlich wurden.



Untersucht wurde jeweils ein Gesichtsfeld von 2 Grad. Unter »Gesichtsfeld« im Sinne der farbmetrischen Normen versteht man den Sehwinkel, unter dem eine Farbfläche gesehen wird (siehe Abbildung rechts). Betrachtet man beispielsweise eine Fläche mit einem Durchmesser von 3,5 Zentimetern aus einer Entfernung von einem Meter, nimmt sie genau einen Sehwinkel von 2 Grad ein.

Im Jahre 1964 wurde der gleiche Test für einen Sehwinkel von 10 Grad wiederholt, und die Ergebnisse wurden ebenfalls genormt. So entstand der »Normalbeobachter 10 Grad«.



4.5 Auswertung beim Spektralfotometer

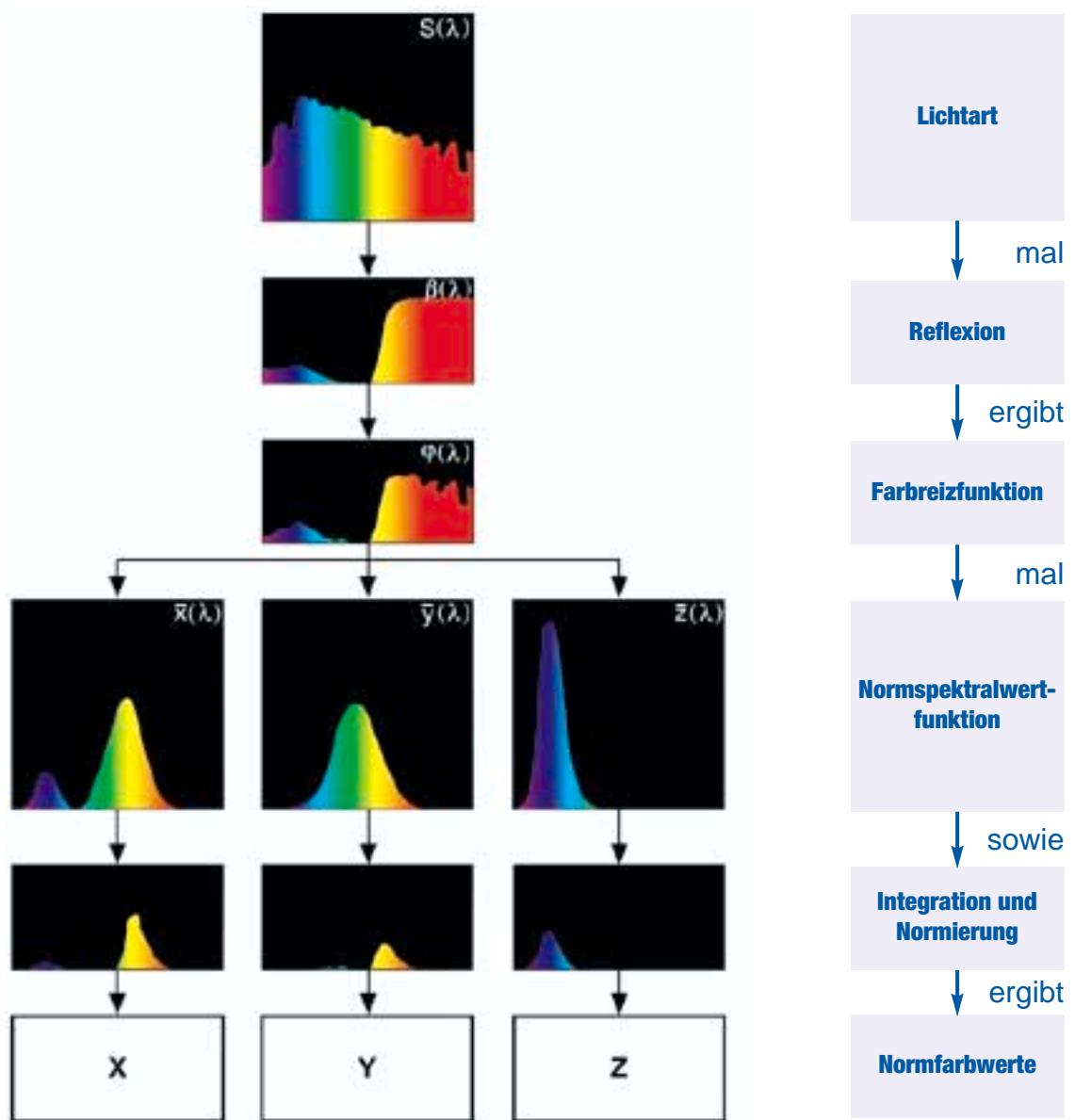
Die Normfarbwerte errechnen sich aus dem Spektrum der Lichtart $S(\lambda)$, dem gemessenen spektralen Reflexionsgrad der Farbe $\beta(\lambda)$ sowie den genormten Normspektralwertfunktionen $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ und $\bar{z}(\lambda)$ des Normalbeobachters.

Das in Klammern stehende Lambda (λ) zeigt, daß die Berechnung abhängig von der Wellenlänge λ des Lichts durchgeführt wird (beispielsweise in einem Wellenlängenbereich von 400 bis 700 Nanometer in Intervallen von 5 Nanometern).

Dazu werden im ersten Rechenschritt für jede Wellenlänge λ (also für jede Spektralfarbe einer Lichtart) die Strahlungsfunktion der Normlichtart $S(\lambda)$ mit den für die Farbe gemessenen Reflexionswerten $\beta(\lambda)$ multipliziert. Das Ergebnis ist eine neue Kurve, die Farbreizfunktion $\varphi(\lambda)$.

Im zweiten Schritt werden die Werte der Farbreizfunktion mit denen der Normspektralwertfunktionen $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ und $\bar{z}(\lambda)$ multipliziert. Daraus entstehen drei neue Kurven.

Aus den Flächen unter diesen Kurven werden durch Integration und Multiplikation mit einem Normierungsfaktor schließlich die Normfarbwerte X, Y und Z errechnet, mit denen sich die gemessene Farbe exakt beschreiben läßt.

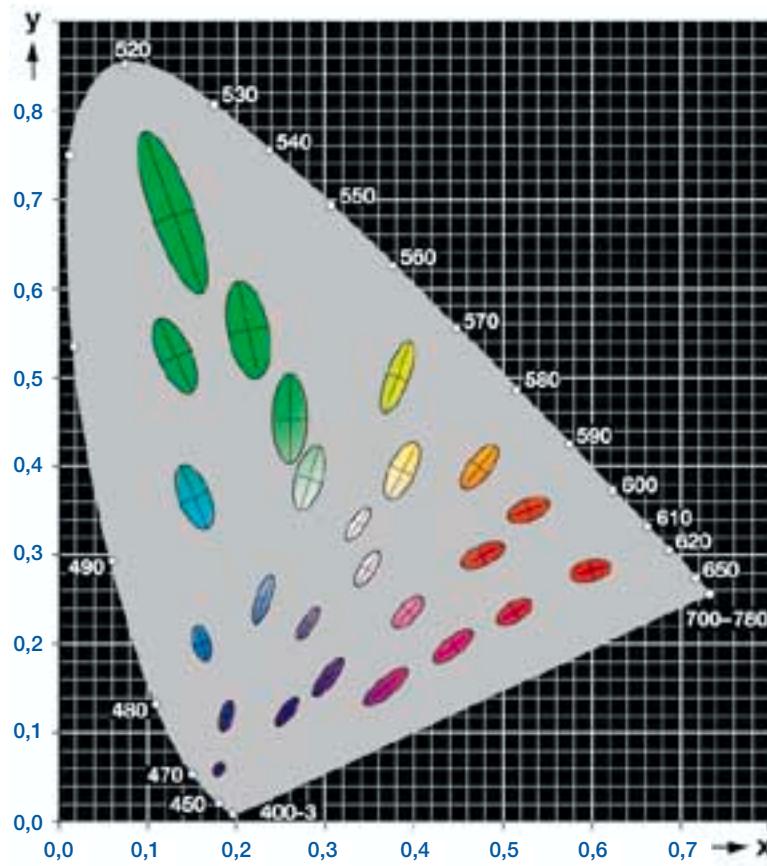


4.6 Farbabstand ΔE

Der Farbabstand ΔE ist ein Maß für den räumlichen Abstand zwischen zwei Farborten im Farbenraum (beispielsweise zwischen Vorlage und Druckbogen).

Im Kapitel 1.4 Farbsysteme wurde bereits der CIE-Farbenraum erklärt. Dieser Farbenraum hat jedoch einen gewichtigen Nachteil: Zahlenmäßig gleich große Farbabstände werden bei unterschiedlichen Farbtönen vom Menschen nicht als gleich groß empfunden.

Der Amerikaner MacAdam hat diese Tatsache in langen Testreihen untersucht, größenmäßig erfaßt und dargestellt. Die Abbildung zeigt die sogenannten MacAdam-Ellipsen in zehnfacher Vergrößerung. Da der CIE-Farbenraum dreidimensional ist, handelt es sich in Wirklichkeit um Ellipsoide,

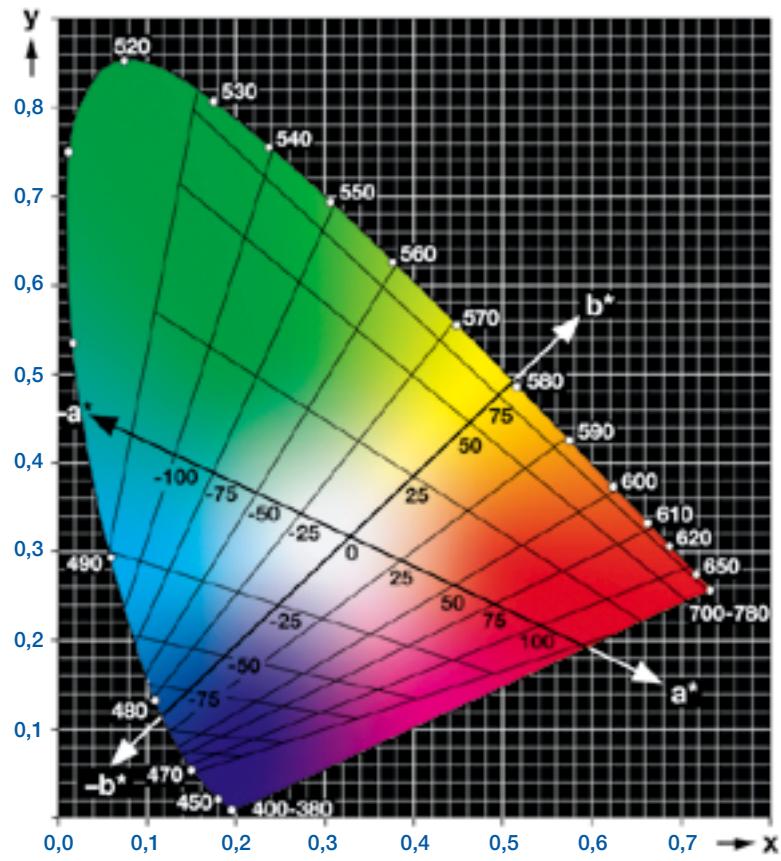


also ellipsenförmige räumliche Körper. Die Größe der Ellipsoide ist ein Maß für die Erkennbarkeitsschwelle von Farbabweichungen (vom jeweiligen Ellipsoid-Mittelpunkt aus gesehen und für den jeweiligen Farbton).

Für die praktische Anwendung bei der Bewertung von Farbabständen ist dieses System daher unbrauchbar. Es würde bedeuten, daß die zu akzeptierenden Toleranzen für jeden Farbton unterschiedlich wären. Für zuverlässige und aussagekräftige Farbabstandsberechnung benötigt man daher einen Farbenraum, in dem gleich empfundene Farbabstände auch zahlenmäßig gleich groß sind. Zwei solche Systeme sind CIELAB und CIELUV; sie wurden durch mathematische Transformation aus dem CIE-Farbenraum entwickelt.

Die unterschiedlich großen MacAdam-Ellipsoide wurden durch diese Transformation auf annähernd gleich große Kugeln abgebildet. Auf diese Weise werden zahlenmäßig gleich große Farbabstände bei allen Farben vom Menschen auch annähernd als gleich groß empfunden.

Im Jahre 1976 wurden die heute in der Druckindustrie am häufigsten angewandten Farbenräume CIELAB und CIELUV international genormt.



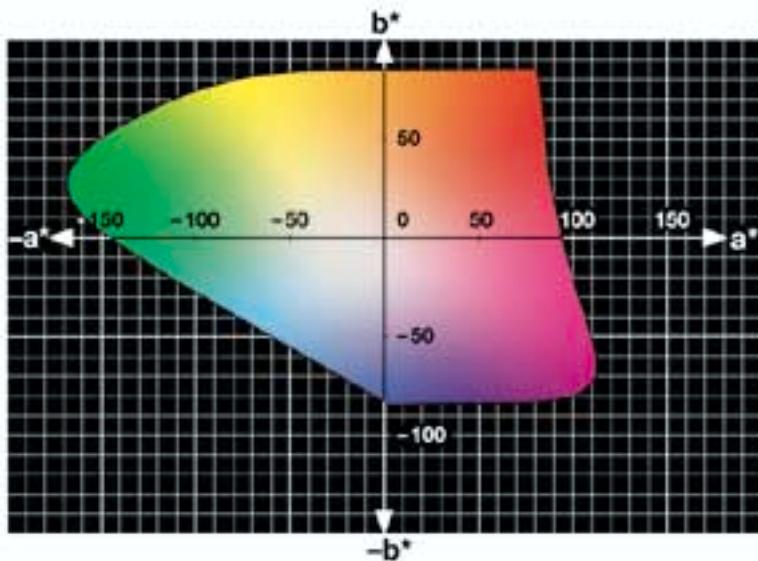
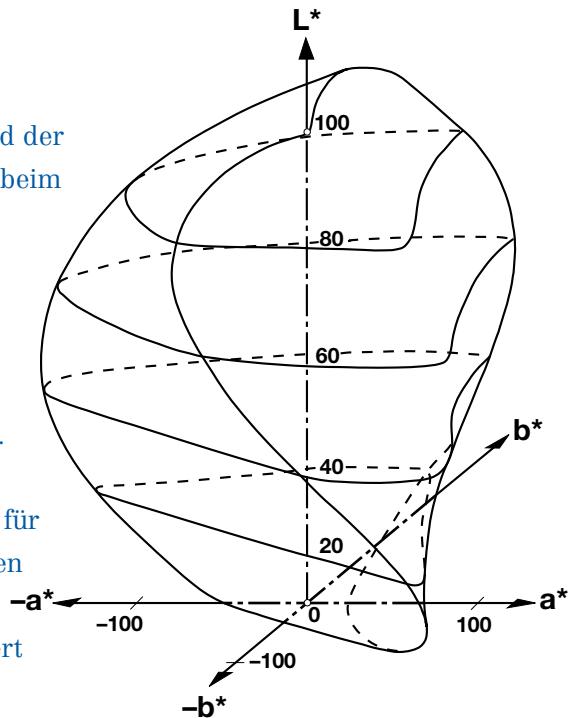
Die Abbildung zeigt die Lage der a^* - und b^* -Achse des CIELAB-Farbenraumes in der x-y-Farbtafel.

In den USA werden mitunter auch andere Farbenräume wie das CMC-System und der Munsell-Farbenraum verwendet.

4.6.1 CIELAB

Für das Messen von Körperfarben (Druckfarben) wird der CIELAB-Farbenraum am häufigsten angewendet (so beim Erstellen von Farbrezepturen und bei der Farbmessung im Druck). Farbton und Sättigung werden auf den Achsen a^* und b^* aufgetragen. Die a^* -Achse verläuft von $-a^*$ (Grün) nach $+a^*$ (Rot), die b^* -Achse von $-b^*$ (Blau) bis $+b^*$ (Gelb). Die Helligkeitsachse L^* verläuft von 0 (Schwarz, unten) bis 100 (Weiß, oben).

Die Abbildung rechts zeigt den CIELAB-Farbenraum für Körperfarben. Da er durch Transformation entstanden ist, ist er anders geformt als der CIE-Farbenraum. Auch die Form der einzelnen Helligkeitsebenen ändert sich mit L^* .



In der Abbildung oben ist ein Schnitt durch den CIELAB-Farbenraum für Körperfarben bei einer Helligkeit von $L^* = 50$ dargestellt. Deutlich zu sehen ist der verkleinerte grüne und der erweiterte blaue Bereich.

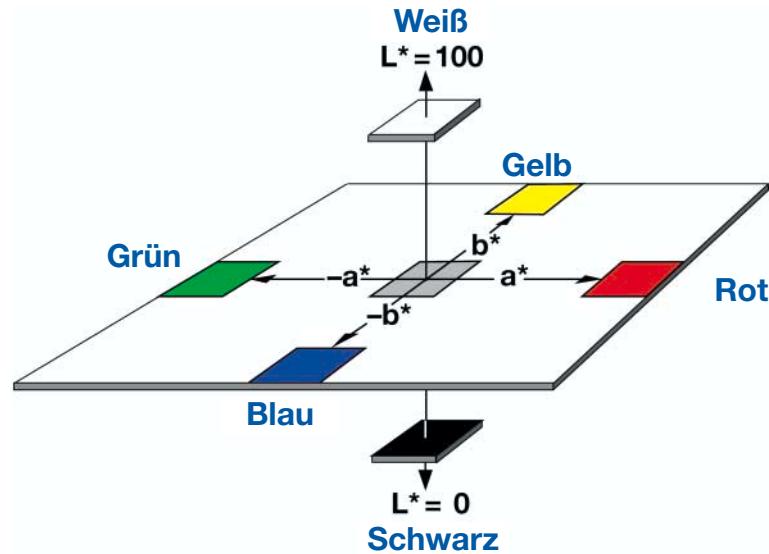
Die Farbabstände werden nach folgenden Formeln berechnet:

$$\Delta L^* = L_{\text{ist}}^* - L_{\text{soll}}^*$$

$$\Delta a^* = a_{\text{ist}}^* - a_{\text{soll}}^*$$

$$\Delta b^* = b_{\text{ist}}^* - b_{\text{soll}}^*$$

$$\Delta E_{\text{ab}}^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

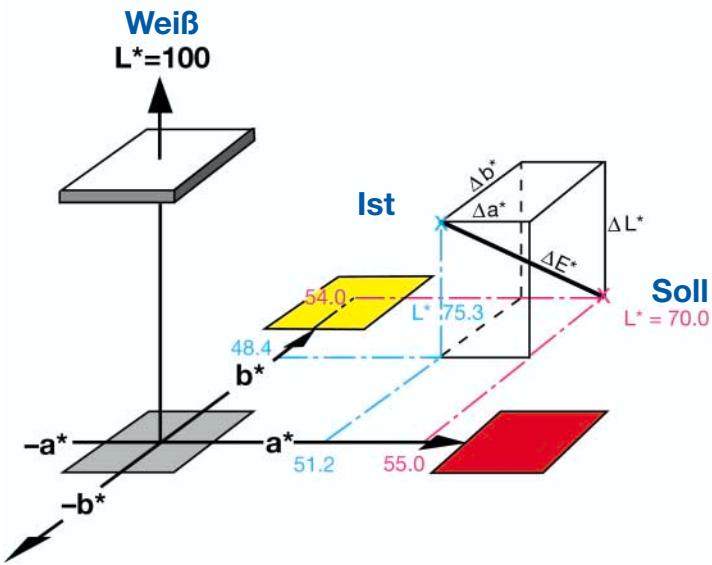


Für den Anwender ist die Verwendung einer schematischen Darstellung besonders praktisch.

Beispiel:	vorgegebener Soll-Farbort	gemessener Ist-Farbort
L^*	70,0	75,3
a^*	55,0	51,2
b^*	54,0	48,4

$L^* = 75,3$ bedeutet, daß es sich um eine helle Farbe handelt, deren Position mit $a^* = 51,2$ und $b^* = 48,4$ zwischen Gelb und Rot liegt. Im vorliegenden Beispiel handelt es sich also um ein helles Gelbrot oder Orange.

Ergebnis: Vorgegebener Soll-Farbort und gemessener Ist-Farbort weichen voneinander ab.



Die Berechnung ergibt:

$$\Delta L^* = 75,3 - 70,0 = 5,3$$

$$\Delta a^* = 51,2 - 55,0 = -3,8$$

$$\Delta b^* = 48,4 - 54,0 = -5,6$$

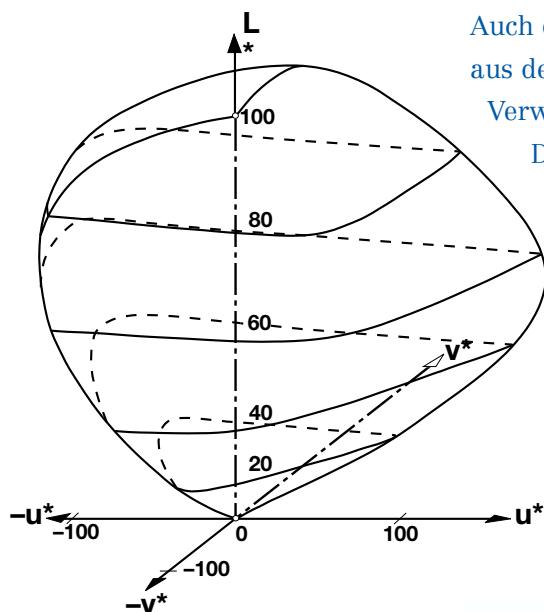
$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{5,3^2 + (-3,8)^2 + (-5,6)^2} = 8,6$$

Entsprechend ihrer Sichtbarkeit können Farbschwankungen wie folgt eingestuft werden:

ΔE zwischen 0 und 1	normalerweise nicht sichtbare Abweichung
ΔE zwischen 1 und 2	sehr kleine Abweichung; nur von einem geschulten Auge erkennbar
ΔE zwischen 2 und 3,5	mittlere Abweichung; auch von einem ungeschulten Auge erkennbar
ΔE zwischen 3,5 und 5	deutliche Abweichung
ΔE über 5	starke Abweichung

Da die verwendete Transformation nicht linear ist, lassen sich die Gesetzmäßigkeiten des CIE-Farbenraumes nicht auf den CIELAB-Farbenraum übertragen. Für seine Verwendung spricht allerdings seine weltweite Verbreitung.

4.6.2 CIELUV

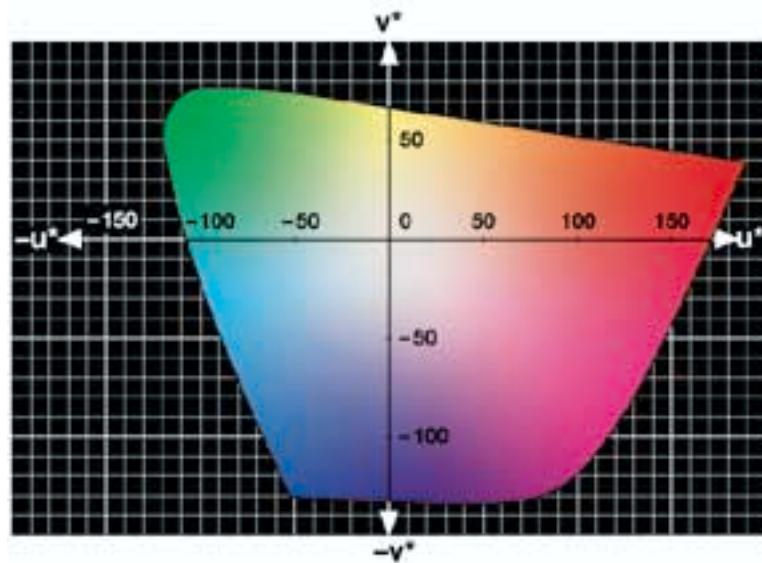


Auch der CIELUV-Farbenraum wurde durch Transformation aus dem CIE-Farbenraum hergeleitet, allerdings unter Verwendung anderer Formeln als bei ersterem.

Die drei Koordinatenachsen werden mit L^* , u^* und v^* bezeichnet.

Da CIELUV-Farbenraum und CIELAB-Farbenraum durch unterschiedliche Transformationen entstehen, unterscheiden sie sich auch in ihrer Form.

Beide werden für Körperfarben verwendet.



Die Abbildung zeigt einen Schnitt durch den CIELUV-Farbenraum für Körperfarben bei einer Helligkeit von $L^* = 50$. Der grüne Bereich ist im CIELUV-Farbenraum weiter nach innen verlagert als im CIELAB-Farbenraum; zudem ist der blaue Bereich vergrößert (vergleiche Kap. 4.6.1).

Der CIELUV-Farbenraum wird häufig für die Lichtfarbenbewertung von Farbbildschirmen (beispielsweise von Scannern oder Computern) eingesetzt. Sein Vorteil liegt in der Linearität der Transformation, so daß alle Gesetzmäßigkeiten des CIE-Farbenraumes unverändert gelten. (Dies ist beim CIELAB-Farbenraum nicht der Fall.)

4.6.3 CIELCH

Man spricht vom CIELCH, wenn im CIELAB- oder CIELUV-Farbenraum anstelle der kartesischen Koordinaten a^* , b^* bzw. u^* , v^* die Polarkoordinaten C (Entfernung vom Zentrum) und h (Winkel) verwendet werden. Es handelt sich also nicht um einen zusätzlichen Farbenraum.

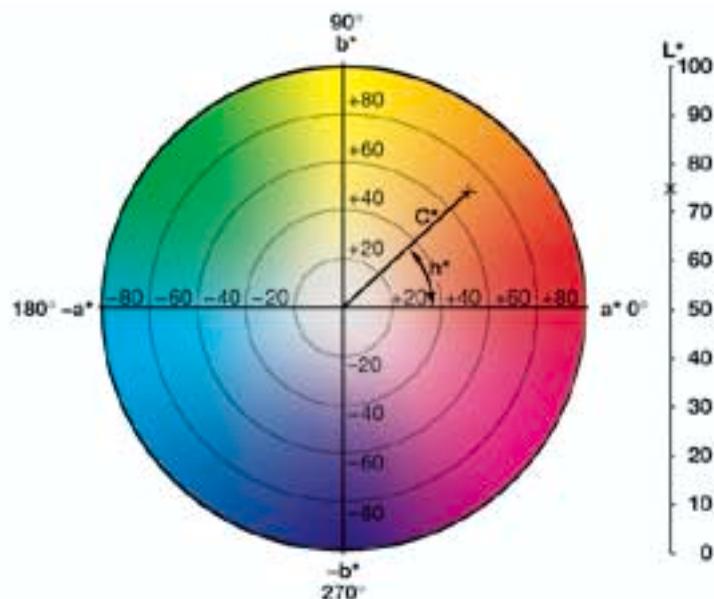
Die Helligkeit L^* bleibt unverändert bestehen.

Die Buntheit C_{ab}^* wird errechnet nach $C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$.

Der Buntonwinkel h_{ab}^* ergibt sich aus $h_{ab}^* = \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$.

Bei CIELUV ist die Berechnung entsprechend.

Hier eine schematische Darstellung mit dem gleichen Ist-Farbort wie im Kap. 4.6.1



Ist-Farbort: $L^* = 75,3$
 $C^* = 70,5$
 $h^* = 43,4^\circ$

4.6.4 CMC

CMC, eine auf dem CIELAB-Farbenraum basierende Farbabstandsbewertung, wurde 1988 in Großbritannien vom Farbmeßkomitee der Gesellschaft der Färber und Maler (»The Colour Measurement Committee of the Society of Dyers and Colourists« [CMC] entwickelt. Sie beschreibt nicht (wie CIELAB oder CIELUV) die Wahrnehmung von Farbabweichungen, sondern ihre Akzeptanz durch den Betrachter.

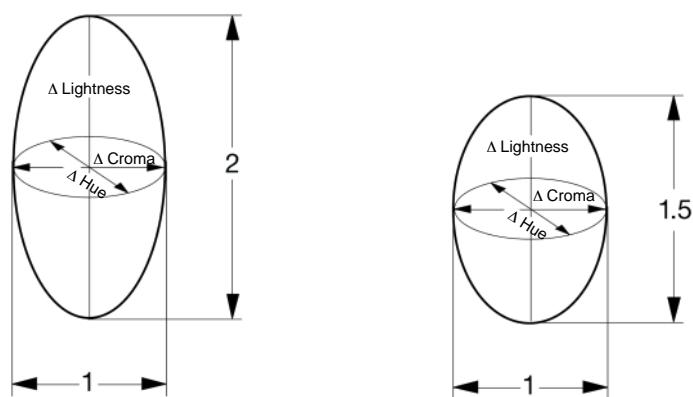
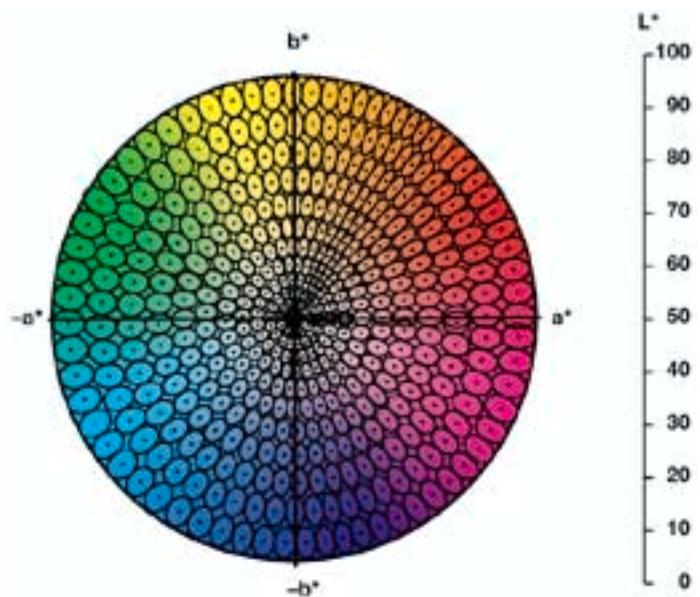
Im allgemeinen werden nämlich Farbschwankungen nahe der Helligkeitsachse als viel störender empfunden als in gesättigten Farben. Ebenso werden Schwankungen in der Buntheit (Sättigung) viel eher toleriert als im Buntonwinkel.

Die Abbildung verdeutlicht das Prinzip der CMC-Farbabstandsbewertung im CIELAB-Farbenraum.

Jede Ellipse zeigt die Farborde mit konstantem Farbabstand nach der CMC-Formel, bezogen auf den Kreismittelpunkt (Soll-Farbort). Man erkennt deutlich, daß die Ellipsen (die Toleranzbereiche im CMC-Farbenraum) im Unbuntbereich kleiner sind als im Bereich hoher Sättigung. Zudem sind sie so geformt, daß die zulässigen Abweichungen im Buntonwinkel kleiner sind als in der Buntheit. Sie ermöglichen zudem eine individuelle Anpassung für die Bewertung von Helligkeits- und Farbtonabweichungen. Diese Anpassung erfolgt durch zwei Gewichtungsfaktoren l und c . (l ist dabei der Gewichtungsfaktor für die Helligkeit; der Gewichtungsfaktor c für den Farbton ist in der Regel gleich 1.)

Die Textilindustrie arbeitet häufig mit einem Verhältnis der Gewichtungsfaktoren $l:c=2:1$; dies bedeutet, daß Helligkeitsabweichungen um den Faktor zwei eher akzeptiert werden als Farbtonabweichungen.

Dieses Verhältnis kann der jeweiligen Anwendung angepaßt werden. Dies hat aber zur Folge, daß die Werte für Farbstände nur in Verbindung mit den Gewichtungsfaktoren aussagekräftig und vergleichbar sind.

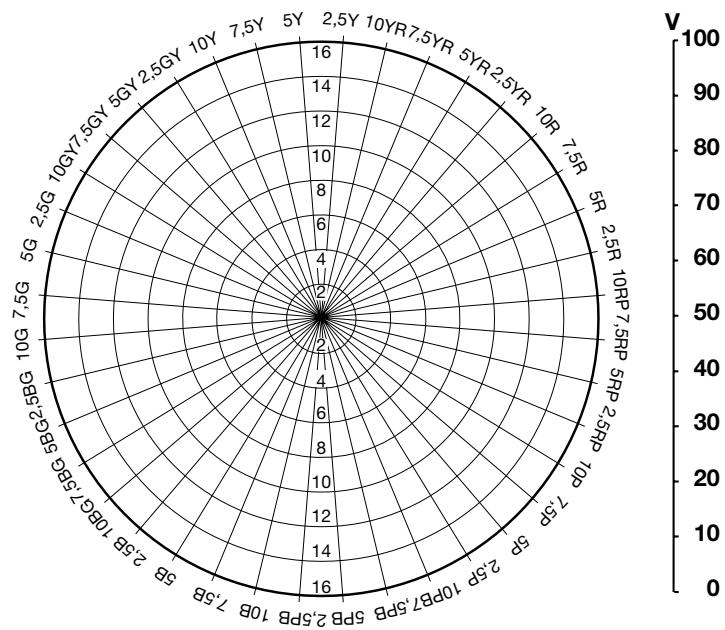


Lightness = Helligkeit; Croma = Buntheit; Hue = Buntonwinkel

4.7 Munsell

Munsell entwickelte schon 1905 ein empfindungsgemäß gleichabständiges Farbenordnungssystem. In diesem sind die Farben nach Farbton (Hue), Helligkeit (Value) und Buntheit (Croma) geordnet. Basisfarbtöne sind Rot, Gelb, Grün, Blau und Purpur. 1915 wurde es als »Munsell Book of Color« für 40 Farbtöne, Lichtart C sowie glänzende und matte Muster veröffentlicht.

Die fünf Basisfarbtöne sind ihrerseits in bis zu 100 geradzahlige Farbtöne unterteilt, von denen jeder 16 Buntheits- und 10 Helligkeitsstufen aufweist. Die Abbildung zeigt einen Querschnitt durch den Farbkörper für 40 Farbtöne. Da bei verschiedenen Farben und Helligkeitsstufen nicht alle Felder belegt sind, ergibt sich ein unregelmäßiger Farbenkörper.



Die Munsell-Koordinaten sind nicht in CIE-Koordinaten umrechenbar.

Weitere Farbordnungssysteme sind die DIN-Farbenkarte (DIN 6164), das »Natural Colour System« NCS, das OSA-System (der **Optical Society of America**) und das RAL-Design-System (RAL-DS).

4.8 Dreibereichsverfahren

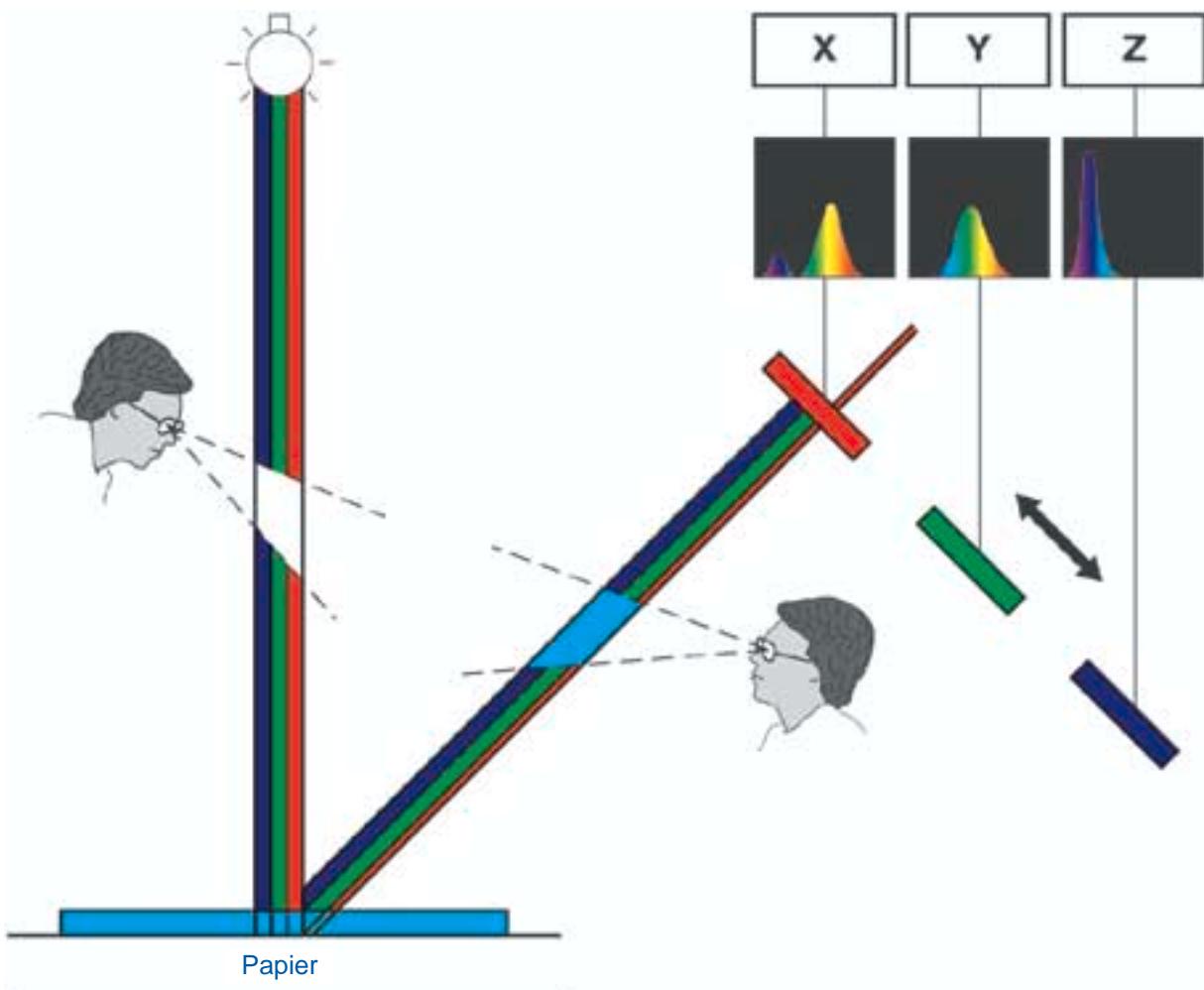
Dreibereichsfotometer sind ähnlich aufgebaut wie Densitometer. Anstelle der drei Farbfilter Rot, Grün und Blau sowie des Visualfilters werden Filterkombinationen verwendet, welche die drei Normspektralwertfunktionen \bar{x} , \bar{y} und \bar{z} nachbilden.

Dreibereichsfotometer haben jedoch eine geringere absolute Meßgenauigkeit als Spektralfotometer, da in der Regel weder die Normspektralwertfunktionen absolut exakt nachgebildet werden können noch das gewünschte Normlicht vorhanden ist. Sie eignen sich jedoch zur Bestimmung von Farbabständen, da dabei die Absolutgenauigkeit keine große Rolle spielt.

Dreibereichsgeräte sind deutlich billiger als Spektralfotometer.

Mit einer Lampe, deren spektrale Zusammensetzung einer Normlichtart angenähert ist, wird das Meßfeld beleuchtet. In unserem Beispiel auf Seite 88 soll Cyan gemessen werden.

Die spektrale Reflexion wird mit drei verschiedenen Filtern \bar{x} , \bar{y} und \bar{z} gemessen: Hinter Filter \bar{x} (Rot) wird der Normfarbwert X gemessen, hinter Filter \bar{y} (Grün) der Normfarbwert Y und hinter dem Filter \bar{z} (Blau) der Normfarbwert Z. Anschließend können die Normfarbwerte in ein empfindungsgemäß gleichabständiges System (CIELAB oder CIELUV) umgerechnet werden.



Meßprinzip des Dreibereichsfotometers

4.9 Spektralverfahren

Beim Spektralverfahren wird das sichtbare Spektrum zum Beispiel von 380 bis 780 Nanometer gemessen. Dabei wird das von einer Druckfarbe reflektierte Licht beispielsweise durch ein Beugungsgitter in seine spektralen Bestandteile zerlegt und von einer Vielzahl von Sensoren erfaßt.

Je nach Genauigkeitsanforderungen erfolgt die Erfassung in Abständen von einem, fünf oder zehn Nanometern. Aus den gemessenen Reflexionen werden die Normfarbwerte X, Y und Z errechnet. Dazu sind im Rechner die Normspektral-

wertfunktionen \bar{x} , \bar{y} und \bar{z} abgespeichert. Da diese Funktionen nicht durch Filter nachgebildet werden müssen, ist die Absolutgenauigkeit von Spektralfotometern sehr hoch. Allerdings sind sie auch teurer als Dreibereichsfotometer.

Ein wichtiger Vorteil des Spektralverfahrens – neben der hohen Absolutgenauigkeit – ist die Tatsache, daß Spektralfotometer die Normfarbwerte prinzipiell für alle genormten Lichtarten und Beobachter ausgeben können, sofern die entsprechenden Werte gespeichert sind. Sie können zudem Farbdichten für beliebige Filternormen berechnen.

Am konsequentesten wird die Spektralmessung bislang in der Farbenindustrie angewendet.

Farbenfabriken müssen sich bei Farbanreibungen exakt nach Vorgaben richten. Dies ist sehr wichtig bei den genormten Farben (Europaskala), aber auch bei HKS-Farben und allen Sonderanreibungen. Dazu wird das Muster mit dem Spektralfotometer gemessen und das Mischungsverhältnis für die Druckfarbe über einen Personalcomputer mit entsprechendem Rezepturprogramm berechnet.

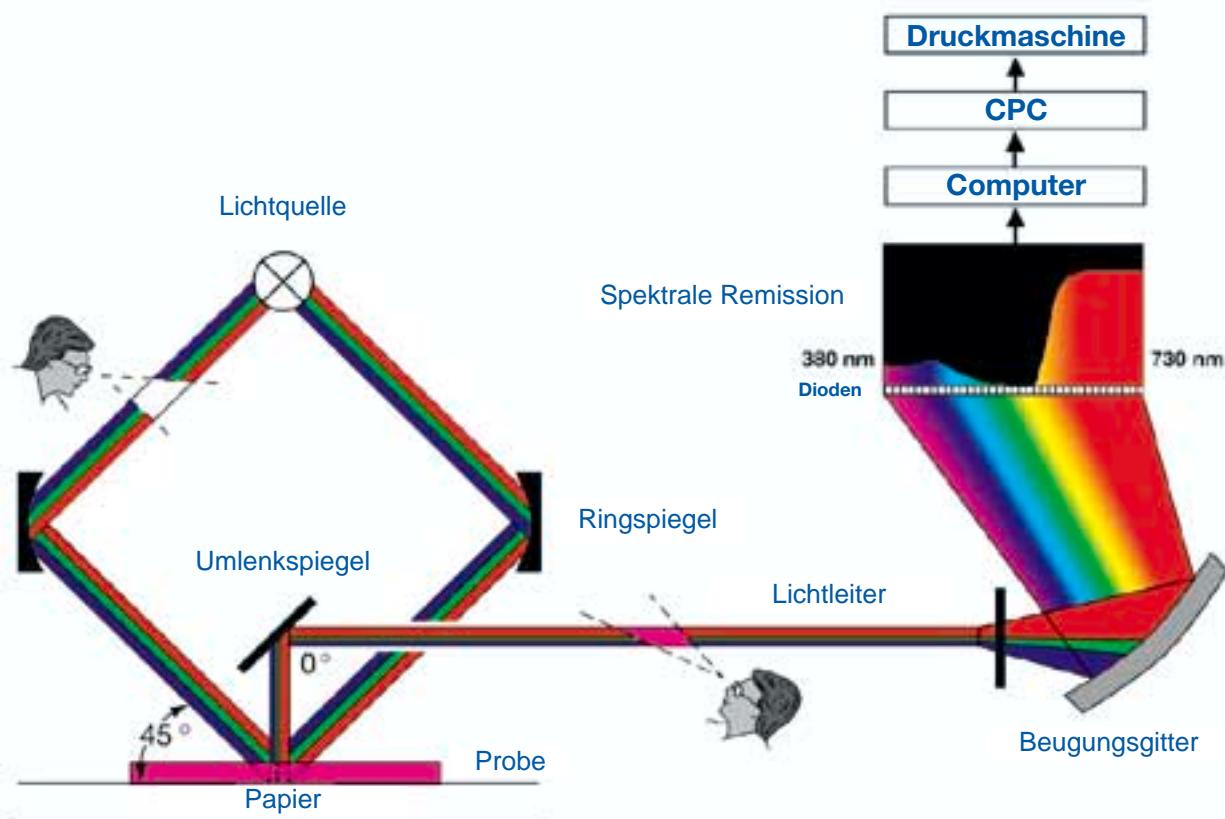
In Druckereien konnten Spektralfotometer früher nicht optimal eingesetzt werden. Sie waren teuer und unhandlich, und ihre Meßwerte waren nicht unmittelbar für die Skalenfarben verwertbar. Sie wurden deshalb nur für Einzelmessungen von Sonderfarben und in der Materialprüfung (beispielsweise von Bedruckstoffen und Druckfarben) eingesetzt. Für die Qualitätssteuerung im Druck hatten sie keine Bedeutung.

4.10 Meßprinzip der spektralen Qualitätskontrolle Heidelberg CPC

Heidelberg hat als erster und einziger Hersteller auf der DRUPA 1990 eine spektrale Meßanlage für den Offsetdruck gezeigt, welche über die automatische Farbfernsteuerung CPC 1 unmittelbar mit der Offsetdruckmaschine gekoppelt ist: die Meßanlage CPC 21 und seit der IPEX 98, die spektrale Bildmeßanlage CPC 24.

Beim Messen fährt ein Meßkopf über den Farbmeßstreifen bzw. über das Bild und mißt dabei alle Kontrollelemente bzw. Bildpunkte spektral aus. Dabei kann wahlweise mit den Normlichtarten A, C, D₅₀ oder D₆₅ und den Normbeobachtern 2° und 10° gearbeitet werden. Das Meßprinzip eines Spektralphotometers ist auf folgendem Schema dargestellt.

Zunächst wird das beleuchtende Licht über eine Ringspiegeloptik unter einem Einfallswinkel von 45° auf die gedruckte Probe geleitet. Das unter einem Winkel von 0° reflektierte



Licht wird über einen Umlenkspiegel und einen Lichtleiter (Glasfaserkabel) aus dem Meßkopf in das Spektralfotometer weitergeleitet. Dort wird es mit Hilfe eines Beugungsgitters (ähnlich wie mit einem Prisma) in seine Spektralfarben zerlegt.

Fotodioden messen die Strahlungsverteilung im gesamten sichtbaren Spektrum (zwischen 380 und 730 Nanometer) und leiten die Ergebnisse an einen Computer weiter. Dort werden die Meßwerte farbmetrisch bewertet und als Normfarbwerte X, Y und Z und als Normfarbwertanteile x, y und Y ausgegeben.

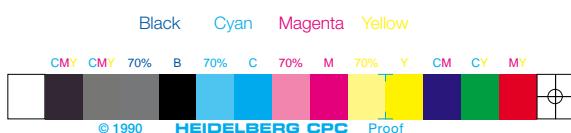
Nach einem Vergleich der gemessenen Werte mit zuvor eingegebenen Sollwerten und unter Berücksichtigung der eingegebenen ΔE -Toleranz werden die notwendigen Korrekturen mit Hilfe von CPC 1 an die Farbkästen der einzelnen Druckwerke weitergeleitet und unmittelbar ausgeführt.

4.11 Proof- und Farbmeßstreifen

4.11.1 Proofmeßstreifen

Immer öfter wird als Druckvorlage ein Proof (Andruckersatz) anstelle eines Andruckes verwendet. Der Grund: Ein Proof ist kostengünstiger und schneller erstellt als ein Andruck. Es gibt verschiedene Proofverfahren; alle arbeiten ohne Offsetdruckfarben. Zudem sind die Farbmittel der Proofs (also die Toner) und Offsetdruckfarben in ihrer Zusammensetzung unterschiedlich.

Heidelberg hat einen speziellen Proofkontrollstreifen entwickelt (siehe Abbildung).





Er enthält Volltonelemente der Farben Schwarz, Cyan, Magenta und Yellow. Dazu kommt pro Farbe ein Rasterfeld mit 70 % Flächendeckung sowie Farbannahmeelemente und ein Graufeld, bestehend aus 70 % Cyan, 60 % Magenta und 60 % Yellow. Ferner ist ein Einpaßelement für die automatische Sollwertübernahme mit CPC 21 vorhanden.

4.11.2 Farbmeßstreifen

Der Farbmeßstreifen für die spektrale Messung wurde ebenfalls von Heidelberg entwickelt und enthält (bis auf das Einpaßelement) die gleichen Meßelemente wie der Proofstreifen. Zusätzlich sind Kopierkontrollelemente zur Durchführung einer standardisierten Plattenkopie vorhanden.

Heidelberg vertreibt vier verschiedene Farbmeßstreifen: den Meßstreifen 4 GS (»Graufeld- und Volltonregelung [Solid]«) für vier Druckfarben, den 6 GS und 6S für fünf und sechs Druckfarben sowie den 8 GS für sieben und acht Druckfarben.

In CPC 21 sowie CPC 24 sind die Daten dieser Farbmeßstreifen und der Druckkontrollstreifen der älteren densitometrischen Meßanlage CPC 2-01 hinterlegt.

4.12 Farbregelung mit Heidelberg

Bei Heidelberg kann unter vier Farbregelarten gewählt werden:

- farbmetrisch nach Graufeld,
- farbmetrisch nach Vollton oder Raster,
- densitometrisch nach Vollton oder Raster (nur CPC 21),
- farbmetrisch im Bild (nur CPC 24).

4.12.1 Farbmetrische Graufeldregelung

Wie in Kap. 2.4 erläutert, ist die Farbbebalance entscheidend für den optischen Eindruck eines gedruckten Bildes.

Störungen der Farbbebalance treten in Graufeldern besonders deutlich hervor. Es liegt daher nahe, Graufelder sowohl zum meßtechnisch geführten Abstimmen als auch zur Überwachung und Regelung der Auflage zu verwenden.

Für diese Aufgabe eignet sich die Farbmetrik auf ganz hervorragende Weise. Die Druckfarben Cyan, Magenta und Yellow sollten daher farbmetrisch nach Graufeldern (möglichst im Dreiviertelton) geregelt werden. Als Sollwerte können sowohl hausinterne Standards als auch von Proofmeßstreifen eingelesene Werte gewählt werden.



Die Abbildung zeigt eine Bildschirmdarstellung von CPC 21. In der a-b-Ebene links oben ist die Lage des Soll-Farbortes dargestellt. In unserem Beispiel liegt er nahe dem Zentrum, also fast auf der Grauachse. Die Bildmitte zeigt eine Vergrößerung um den Soll-Farbort. Die drei Kreise umgrenzen die drei ΔE -Toleranzklassen eng, mittel und weit. Am rechten Bildschirmrand findet sich die Helligkeitsachse, ebenfalls bezogen auf den Soll-Farbort. Auch hier sind die drei Toleranzklassen eingezeichnet.

Jedes Kreuz kennzeichnet einen Meßwert. Im gezeigten Beispiel weichen die Ist-Farborte der einzelnen Farbzonen in Richtung Gelbgrün und heller ab.

Sind die Abweichungen größer als die erlaubte ΔE -Toleranz, ermittelt der Rechner automatisch die erforderlichen Korrekturen für Cyan, Magenta und Yellow. Dazu werden außer den spektralen Meßwerten des Graufeldes auch diejenigen der Einfarbenvollton- und -rasterfelder von Cyan, Magenta

und Yellow sowie die spektralen Meßwerte der Vollton-übereinanderdrucke ausgewertet. Auf diese Weise werden alle Einflußgrößen berücksichtigt. Die Ausführung der Korrekturen in der Maschine erfolgt danach automatisch über den Maschinensteuerstand CPC 1.

4.12.2 Farbmetrische Volltonregelung

Die farbmetrische Volltonregelung wird bevorzugt für Schwarz sowie für Sonderfarben eingesetzt. Schwarz wirkt sich in erster Linie auf die Helligkeit aus. Da Helligkeitsabweichungen vom Menschen eher toleriert werden als Farbabweichungen, kann Schwarz auf der Basis von Volltonfeldern geregelt werden. Die Praxis zeigt, daß damit der Einfluß von Schwarz auf die Farbbebalance ausreichend erfaßt wird.

Sonderfarben werden größtenteils alleinstehend und flächig gedruckt. Es ist deshalb naheliegend und richtig, sie auf der Grundlage von Volltonfeldern zu überwachen.

Aber auch bei der Volltonregelung hat die spektrale Messung und farbmetrische Bewertung wichtige Vorteile gegenüber der Dichteregelung: Es wird nämlich exakt geprüft, ob ein vorgegebener Farbton erreicht wird. Zudem können Soll-Farborte sowohl als Zahlenwerte als auch durch Mustermessung eingegeben werden. Dies ist bei Farbdichtemessung nicht möglich.

Die Heidelberg-Farbmeßeinrichtungen geben bereits nach der ersten Messung an, ob der Soll-Farbort mit der gegebenen Farbe erreicht werden kann oder nicht. Falls nicht, wird der zu erwartende Farbabstand ΔE_{kann} ausgegeben.



Treten Abweichungen außerhalb der erlaubten ΔE -Toleranz auf, werden wieder die erforderlichen Korrekturen berechnet. In die Berechnung gehen die spektralen Meßwerte der Einfarbenvoltton- und Einfarbenrasterfelder ein.

4.12.3 Densitometrische Volltonregelung

Spektralfotometer können neben farbmetrischen Daten auch Dichtemeßwerte für beliebige Farbfilter ermitteln. Als Hilfestellung für den Benutzer gibt Heidelberg deshalb regelartunabhängig auch Farbdichten aus.

Insbesondere für Wiederholaufträge, für die bereits Farbdichte-Sollwerte vorliegen, bietet sich die Volltondichteregelung als Alternative an.

4.12.4 Farbmetrische Bildregelung

Mit CPC 24 (siehe Bildschirmanzeige links) wird der Druckbogen vollständig spektralphotometrisch erfaßt und in Meßpunkte von 2,0 mm × 2,4 mm aufgeteilt. Bei einem 1020 mm × 720 mm großen Bogen ergeben sich 160 000 Meßpunkte. Dadurch ist erstmals eine farbmetrische Bildregelung auf Basis des Druckbilds möglich. Sie erfolgt für den Vierfarbdruck nach einer standgenauen Sollbild-Vorlage oder einem OK-Bogen, für Sonderfarbbereiche nach Farbmustern oder OK-Bogen. Neben der Bildregelung ist auch eine Regelung nach Farbmeßstreifen möglich. Beide Regelverfahren können jederzeit miteinander kombiniert werden.

Da bei der Bildregelung die Steuerung der Druckmaschine nur mit Kenntnis des Bildaufbaus möglich ist, wird das Druckbild automatisch in die Farbauszüge zerlegt. Sonderfarben werden separat geregelt und müssen deshalb manuell definiert werden. Dies geschieht beispielsweise durch Anwahl eines mit der Sonderfarbe gedruckten Bildbereichs oder durch Auswahl der Sonderfarbe aus einer Datenbank.

Nach der Eingabe der verwendeten Sonderfarbtöne werden die zugehörigen Bildbereiche automatisch erkannt. Die Farbverstellungen werden so berechnet, daß der Farbabstand aller Bildstellen zum Sollbild minimiert wird. Optisch sichtbare Abweichungen in kritischen Farbtönen und homogene Farbflächen werden hierbei stärker berücksichtigt, da dort Farbabweichungen schneller störend sichtbar sind, als in gesättigten Farbtönen und unruhigen Bildteilen.

Einschränkungen für die Bildregelung:

- Übereinanderdrucke von Sonderfarben
- Bildaufbau mit mehr als vier Farben
- Fünfte Farbe im Bild
- Hexachrome
- Hifi-Color

4.13 Vorteile der Farbmetrik für den Offsetdruck

Abschließend ein Überblick über die wesentlichen Vorteile der Farbmetrik für den Offsetdruck:

- Die Meßwerte stimmen weitestgehend mit dem visuellen Empfinden überein.
- Die Farbmetrik ist eine verfahrensneutrale Farbwertung, die durchgängig von der Vorstufe über die verschiedensten Proofs bis hin zur Qualitätskontrolle im Warenausgang einsetzbar ist.
- Farbmetrische Sollwerte sind auch als Zahlen übertragbar. Eine Ankopplung an die Vorstufe ist möglich.
- Farbmetrische Sollwerte können von Mustern übernommen werden.
- Farbmetrik ist die einzige Möglichkeit zur objektiven Abstimmung.
- Die Farbmetrik ermöglicht die bildrelevante Farbregelung (beispielsweise anhand von Graufeldern) ohne farbspezifische Kalibrierung und ohne gespeicherte Umrechnungstabellen.
- Alle Farben, auch sehr helle Sonderfarben, lassen sich mit der Farbmetrik korrekt und sicher regeln.

- Tonwertzunahmen werden auch bei Sonderfarben durch spektrale Messung exakt erfaßt.
- Die Fortdruckregelung ist sicherer, da Bedruckstoffänderungen, Farbverschmutzungen und Metamerie erfaßbar sind.
- Auch Rasterdruck mit mehr als vier Farben kann korrekt geregelt werden.
- Die Druckqualität kann besser charakterisiert und belegt werden. Es gibt ein farbtonunabhängiges Maß für Farbabweichungen: ΔE .
- Die spektrale Messung ermöglicht die Entwicklung besserer Farbregelmodelle.
- Die Druckindustrie paßt sich dem in allen farbgebenden Industrien gängigen Farbmeßprinzip an.
- Die Densitometrie ist fester Bestandteil der spektralen Farbmessung.
- Der Entwicklung zur Verwendung von mehr als vier Druckfarben wird Rechnung getragen.
- Auch gedruckte Bildstellen können mit Vorlagen meßtechnisch verglichen werden.